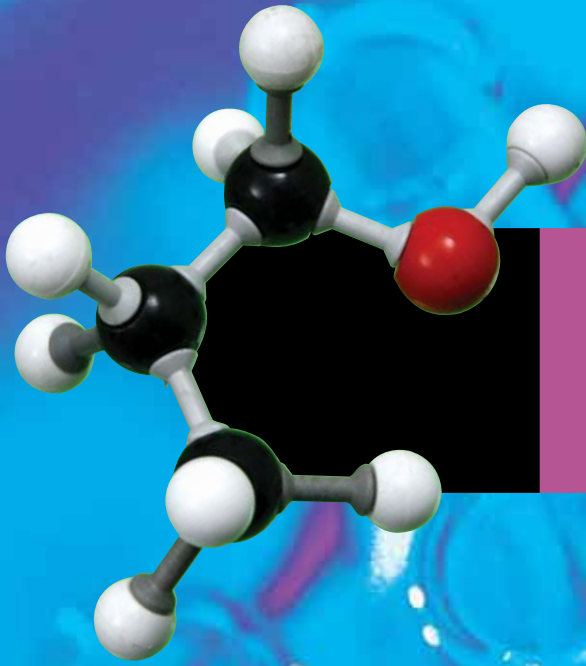


서울특별시교육감 인정

2011. 1. 4.

2011-74-심



고등학교

화학 I

박종석 | 윤 용 | 정지오 | 조은미 | 류시경



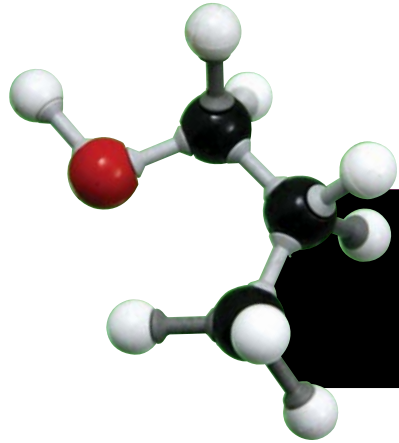
(주)교학사





인류 문명의 발전과 화학

오래 전에 인간은 동물과는 달리 서서 걸어다닐 수 있었고, 또한 도구를 사용할 수 있었다. 인간이 불을 이용하게 된 것은, 화산이 폭발하면서 흘러내리는 용암이나 나무들끼리 부딪쳐 발생하는 마찰열에 의한 산불, 또는 벼락을 맞은 나무에서 일어나는 불 등을 발견하고부터이다.



고등학교

화학 I

박종석 | 윤 용 | 정지오 | 조은미 | 류시경



머리말

교육과학기술부에서 고시한 2009 개정 교육과정에 따라 화학을 선택한 학생들을 위해 만든 본 교과서는 I. 화학의 언어, II. 개성 있는 원소, III. 아름다운 분자 세계, IV. 넓은꼴 화학 반응의 네 단원으로 구성되었다.

본 교과서의 주요한 특징은 다음과 같다.

첫째, 대단원에서 ‘도달하기’를 제시하여 학생들이 대단원에서 도달해야 할 학습 목표를 알 수 있게 하였고, 중단원에서는 ‘들어가기’를 제시하여 단원에 대한 흥미와 관심을 유도하기 위한 도입의 역할을 할 수 있게 하였으며, 소단원에서는 ‘다가서기’를 제시하여 구체적인 학습 목표를 진술하였다.

둘째, 본문 내용을 학습하면서 차시별 수업 내용을 학생들이 자가 평가할 수 있도록 ‘확인’ 문제를 제시하였으며, 본문 내용과 관련된 ‘자료’와 ‘심화자료’를 제시하여 학습을 보충하고 좀 더 심화된 내용을 학습할 수 있도록 구성하였다.

셋째, 중단원 학습의 마무리로 단원의 주요 개념을 기반으로 학생들이 흥미를 가지고 단원을 정리할 수 있는 참신한 ‘만화’를 제시하였으며 ‘창의성 기르기’, ‘인성 기르기’를 통해 2009 개정 교육과정에서 중요시하고 있는 학생들의 창의성 신장과 인성 교육에 연계하였다. 또한 ‘되짚어 보기’, ‘도전 문제’를 통해서 중단원을 마무리할 수 있도록 하였고, 과학 논술 지도를 위해 ‘과학 글쓰기’를 제시하였다.

넷째, 대단원 마무리에는 ‘개념 정리’를 통해서 단원에서 학습한 주요 개념을 확인, 정리하고 이를 토대로 학습 내용에 대해 충분한 평가가 이루어질 수 있도록 ‘정리문제’, ‘종합문제’를 제시하였다.

다섯째, 학습 내용 중 공식이나 수식이 도입되는 경우는 학습 내용을 이해하고 적용할 수 있게 ‘익히기’와 ‘다지기’를 제시하였다. 익히고 다지는 과정을 통해 학생들은 학습 내용을 충분히 이해하고 적용할 수 있을 것이다.

여섯째, 실험과학인 화학의 특성을 살릴 수 있는 다양한 ‘탐구’ 활동을 통해서 기본적인 실험 조작 기능과 탐구 능력을 향상시킬 수 있도록 하였다.

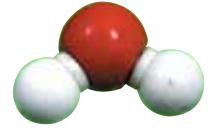
일곱째, ‘화학과 생활’, ‘과학·기술·사회’를 통해서 실생활과 관련 있는 화학의 특성을 나타내었으며, 과학을 발전시켜온 과학자의 삶을 학습할 수 있는 ‘과학자 생애’와 화학이 인류 문명 발전에 크게 영향을 미쳐왔음을 알 수 있는 ‘화학의 과거·현재·미래’를 제시하였다.

이상과 같은 특징으로 구현된 본 교과서를 충분히 학습하고 나면, 화학적 지식과 탐구 방법을 터득하게 될 것이며, 창의성 신장과 인성 교육이 제대로 이루어져 화학의 발전에 공헌하고 국가 발전에 기여할 수 있는 인재로 육성될 수 있을 것이다.

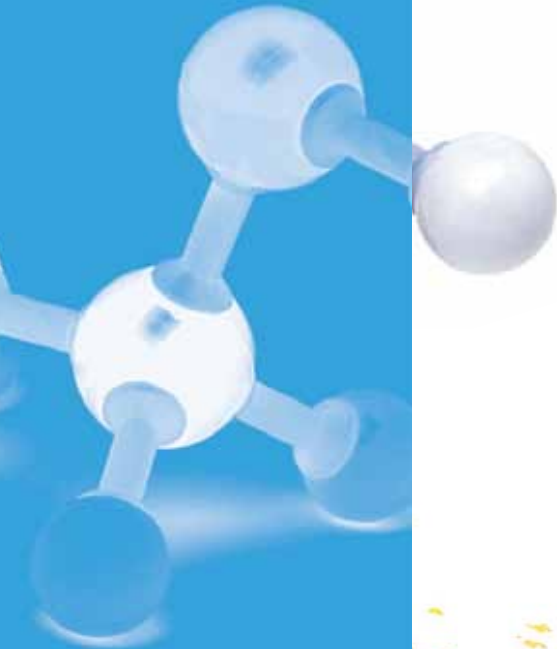
지은이

차례

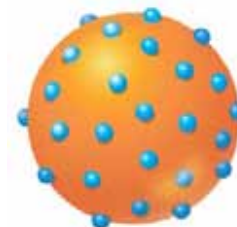
I 화학의 언어



1. 인류 문명의 발전과 화학	12
1-1 인류 문명과 화학 반응	14
1-2 원소와 화합물	20
1-3 화학식량과 몰	23
중단원 마무리	26
2. 물질의 조성과 화학 반응식	30
2-1 화학식과 원소 분석	32
2-2 화학 반응식과 양적 관계	38
중단원 마무리	42
대단원 정리, 종합 문제	46



II 개성 있는 원소



1. 원자의 구조 54

1-1 원자의 구성 입자 56

1-2 원소의 기원과 동위 원소 64

1-3 보어의 원자 모형 70

1-4 오비탈과 전자 배치 75

중단원 마무리 82

2. 주기적 성질 86

2-1 주기율 88

2-2 원소의 주기적 성질 95

2-3 원소들의 규칙성 106

중단원 마무리 110

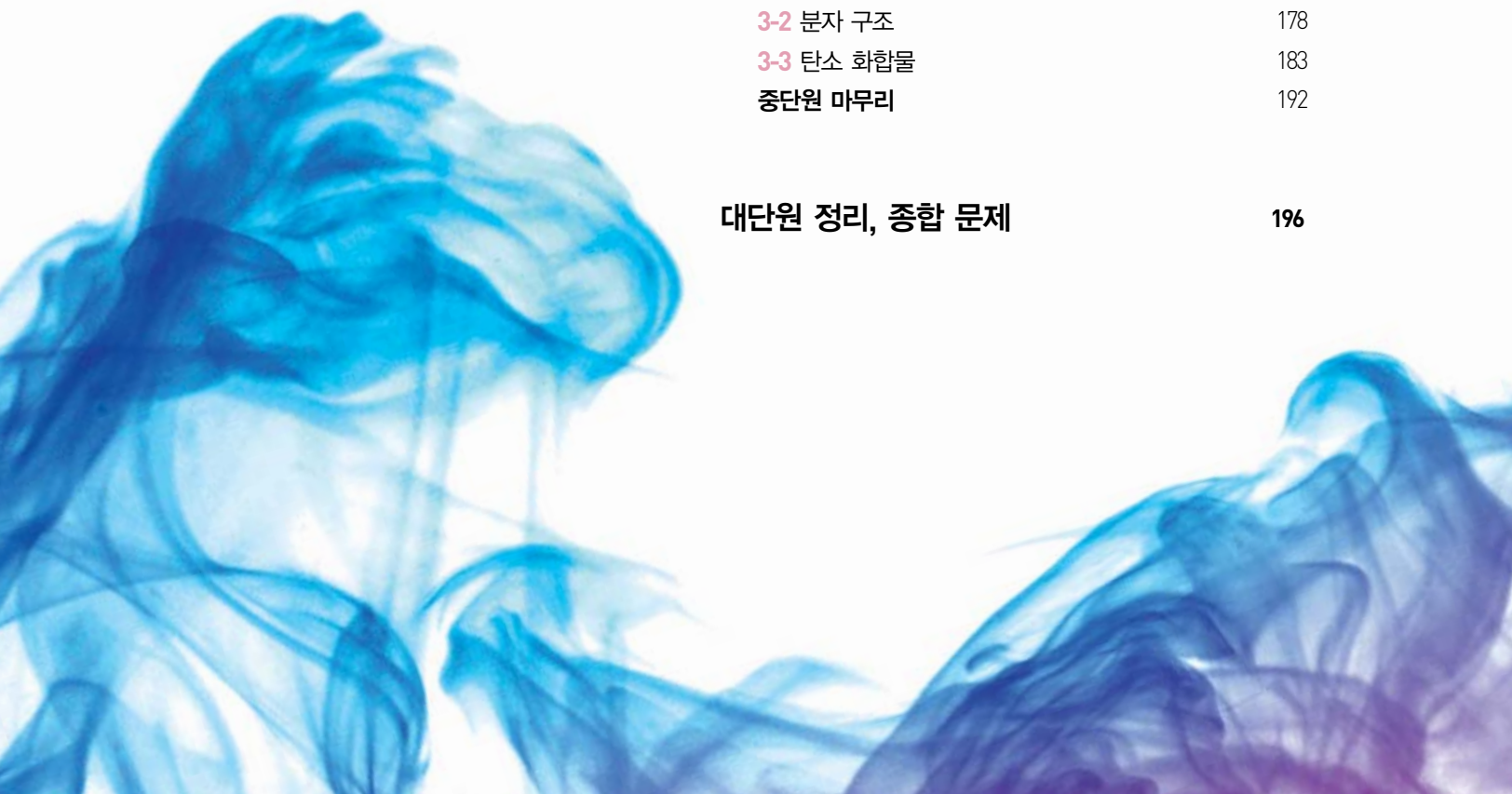
대단원 정리, 종합 문제 114





Ⅲ 아름다운 분자 세계

1. 분자 세계의 건축 예술	122
1-1 분자 구조의 다양성	124
1-2 분자의 구조와 기능	135
중단원 마무리	140
2. 화학 결합	144
2-1 화학 결합의 종류	146
2-2 옥텟 규칙	158
2-3 결합의 극성	166
중단원 마무리	170
3. 분자의 구조	174
3-1 전자쌍 반발 이론	176
3-2 분자 구조	178
3-3 탄소 화합물	183
중단원 마무리	192
대단원 정리, 종합 문제	196



IV **맑은꼴 화학 반응**

1. 산화와 환원	204
1-1 산화-환원 반응	206
1-2 산화-환원과 산화수	213
중단원 마무리	218
2. 산과 염기	222
2-1 산과 염기의 정의	224
2-2 산과 염기의 성질과 세기	227
2-3 중화 반응	240
2-4 생명 현상에 관여하는 산과 염기	245
중단원 마무리	252
대단원 정리, 종합 문제	256



부 록

1. 학습 참고 자료 / 264
2. 학생 활동 자료 / 276
3. 정답 및 해설 / 289
4. 찾아보기 / 296
5. 참고 문헌 및 사진 출처 / 299



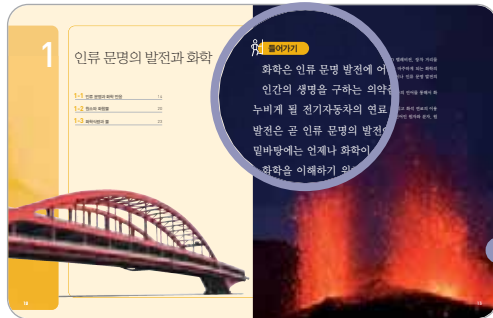
이 책의 구성과 특징

단원 내용 전개



대단원 도입

대단원이 시작되는 부분으로, 사진과 삽화를 통해 학습 동기를 유발하였으며, 학습 목표인 '도달하기'를 제시하였다



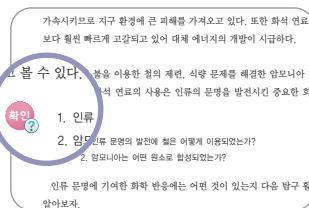
중단원 도입

'들어가기'로 학습할 내용을 소개하고, 본문과 연계되는 사진 삽화로 화학에 대한 흥미를 불러일으켜 학습 동기를 유발하도록 꾸몄다.



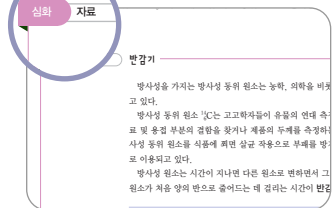
본문 전개

목표인 '다가서기'를 제시한 후, 실생활 관련 내용을 서술하여, 화학의 필요성을 제시하였다. 그리고 계산이 필요한 경우 '익히기', '다지기'로 응용력을 기르게 하였다.



확인하기

학습한 내용마다 확인 문제를 제시하여 학습 내용을 되새김하도록 제시하였다.



자료와 심화 자료

본문의 내용을 보충하는 자료를 실었으며, 수준별 학습을 위한 심화 자료를 난을 두어 화학에 대한 더 깊은 학습을 유도하였다.

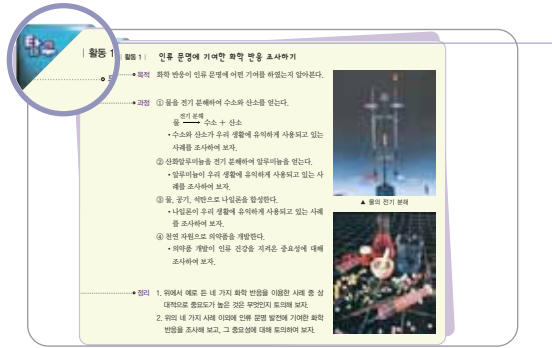


생활 관련 화학

화학과 생활, 화학과 직업, 과학자, 첨단 과학, 과학·기술·사회 난을 두어 과학 지식 확대와 독서 능력을 기르도록 제시하였다.

본 교과서는 교육과학기술부의 교육과정을 준수하여 집필한 학습 내용으로, 'I. 화학의 언어, II. 개성 있는 원소, III. 아름다운 분자 세계, IV. 닦은꼴 화학 반응'으로 구성하였다. 매 단원 민주 시민으로서 갖추어야 할 화학의 기본 개념을 다루면서 자발적으로 탐구 활동을 수행하고 미래의 삶에 대처할 수 있는 능력을 배양하도록 하였으며, 화학에 흥미를 가지고 창의력과 인성을 기를 수 있도록 꾸몄다.

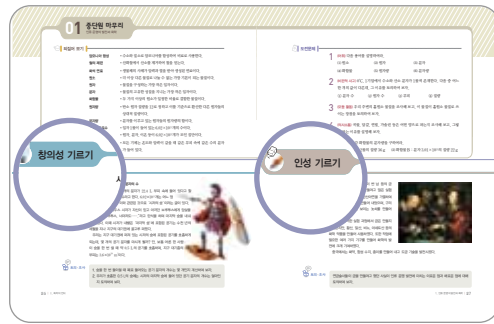
탐구 능력 신장



탐구 활동

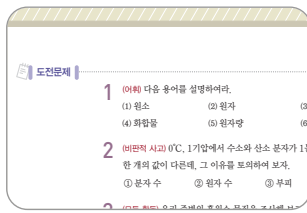
탐구를 통해 본문 내용을 심화하고 탐구 능력과 과학적 태도를 신장시키며 협동 정신을 배양하도록 하였다.

중단원 마무리



창의성 기르기, 인성 기르기

'창의성 기르기'를 통하여 민주 시민으로서의 과학적 소양과 창의적인 생각을 하며, '인성 기르기'를 통하여 개인과 사회에 봉사하는 마음을 가지도록 하였다.



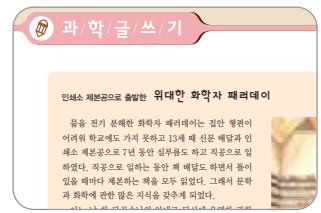
도전 문제

본문 내용의 요약을 실어 학습 내용을 되짚어 보고, 도전문제로 본문 내용을 문제화하여 평가에 활용하고 문제 해결력을 기르도록 하였다.



만화로 보는 정리

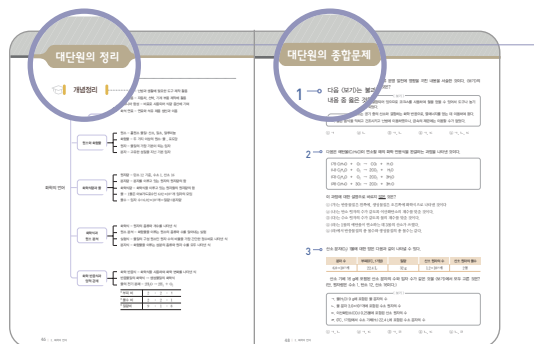
본문 중 핵심 내용을 만화로 엮어 학습 내용의 기억을 되살리도록 하였다.



과학 글쓰기

과학 관련 내용을 제시하여 과학 글쓰기를 훈련함으로써 논술 능력 향상을 기하였다.

대단원 정리, 종합 문제



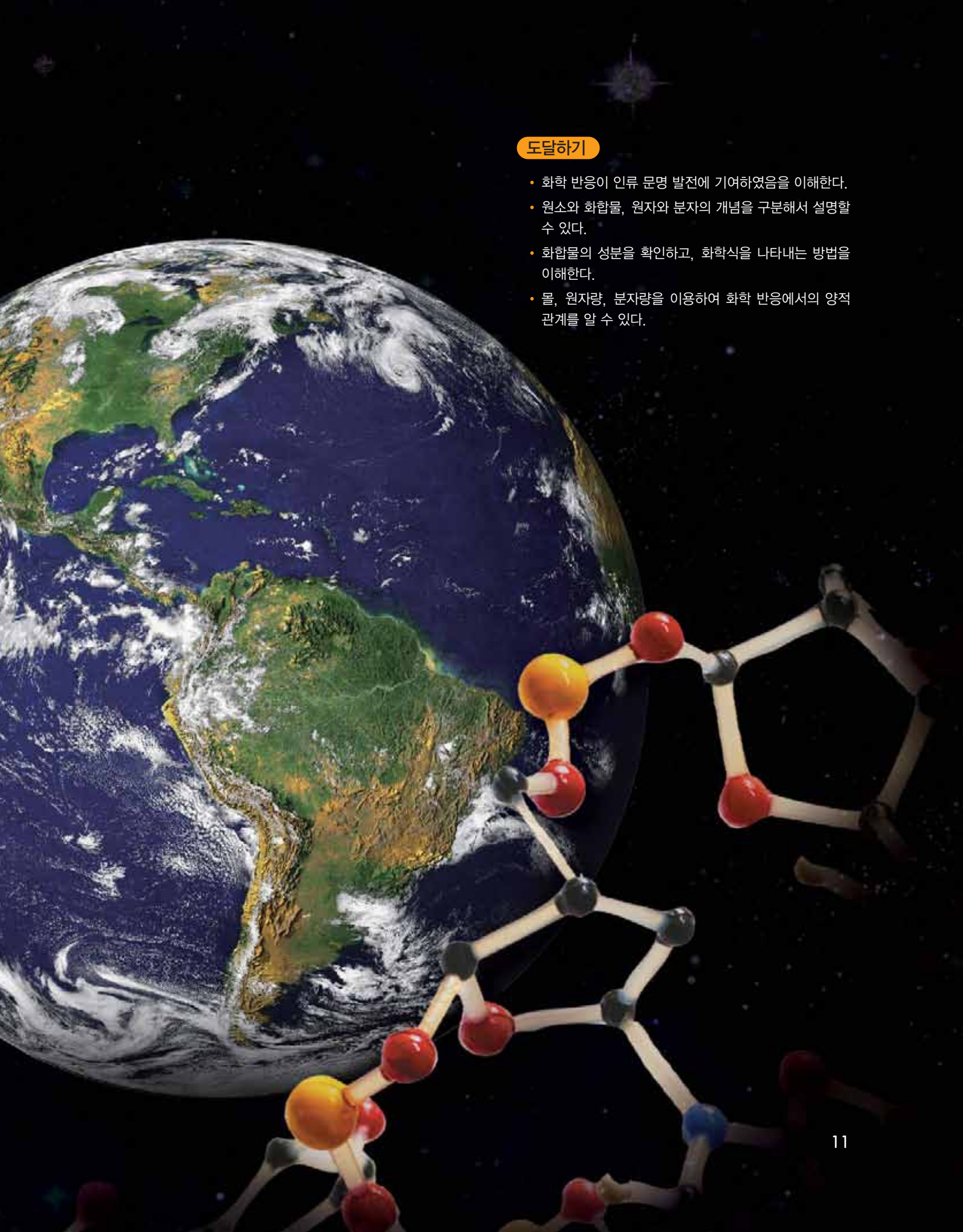
대단원 정리, 종합 문제

대단원마다 개념 정리를 두어 총정리하도록 하고 내신 평가 준비를 위한 평가 문항을 정리 문제에 수록하였으며, 수능 대비를 위한 평가 문항을 종합 문제에 수록하였다.

I 화학의 언어

1. 인류 문명의 발전과 화학
2. 물질의 조성과 화학 반응식





도달하기

- 화학 반응이 인류 문명 발전에 기여하였음을 이해한다.
- 원소와 화합물, 원자와 분자의 개념을 구분해서 설명할 수 있다.
- 화합물의 성분을 확인하고, 화학식을 나타내는 방법을 이해한다.
- 몰, 원자량, 분자량을 이용하여 화학 반응에서의 양적 관계를 알 수 있다.

1

인류 문명의 발전과 화학

1-1 인류 문명과 화학 반응 14

1-2 원소와 화합물 20

1-3 화학식량과 몰 23



원 들어가기

화학은 인류 문명 발전에 어떠한 역할을 하였을까?

인간의 생명을 구하는 의약품, 매일매일 보게 되는 LCD 텔레비전, 장차 거리를 누비게 될 전기자동차의 연료 전지 등 우리 삶 속 어디서나 마주하게 되는 화학의 발전은 곧 인류 문명의 발전이었다. 이와 같이 과학의 발전이나 인류 문명 발전의 밑바탕에는 언제나 화학이 자리 잡고 있다.

화학을 이해하기 위해서는 화학의 언어를 알아야 하며, 화학의 언어를 통해서 화학의 세계를 이해할 수 있다.

이 단원에서는 불의 발견과 이용, 철과 암모니아의 이용 그리고 화석 연료의 이용이 인류 문명에 어떤 영향을 끼쳤는지 알아본다. 또 화학의 언어인 원자와 분자, 원소와 화합물, 화학식량과 몰 등의 개념을 학습한다.

1-1 인류 문명과 화학 반응



다가서기

- 불의 발견과 이용이 인류 문명 발전에 기여하여 왔음을 이해한다.
- 철의 이용, 암모니아의 합성, 화석 연료의 이용으로 인류 문명이 발전하였음을 이해한다.

핵심 용어

- 화학 반응
- 연금술
- 철광석
- 산화철(Ⅲ)
- 암모니아
- 촉매
- 화석 연료

1 불의 발견과 이용

인류가 불을 사용하기 시작한 것은 구석기 시대 이후로 알려져 있다. 인류는 화산의 폭발이나 번개, 산불 등에서 불씨를 얻었을 것이다. 이렇게 얻은 불씨를 이용하여 음식을 익혀 먹게 되었고, 추위로부터 종족을 지킬 수 있게 되었다. 또한 인류는 자연의 불을 이용했을 뿐만 아니라, 마찰을 이용하여 불씨를 얻어 불을 사용함으로써 훨씬 나은 생활을 영위하게 되었다.

특히 인류는 불을 이용하여 광석에서 구리나 철, 금 등을 얻어 내는 기술을 터득하게 되었고, 생활에 필요한 많은 도구를 만들어 쓰게 되었다. 이를 통해 인류는 석기 시대에서 청동기 시대를 거쳐 철기 시대로 발전할 수 있었다. 화학의 출발점이라고 볼 수 있는 연금술에서도 연금술사들은 불을 사용하여 납을 금으로 바꾸려고 노력하였으며, 그 과정에서 화학과 관련한 많은 지식과 기술이 축적되었다.

그림 1-1 원시 사회에서의 불의 이용





그림 1-2 철을 다루어 도구를 만드는 대장간 모습

따라서 불의 발견과 이용은 인류가 자연 환경을 극복하고 새로운 문명 세계로의 길을 여는 데 결정적인 역할을 하였으며, 물질을 탐구하는 화학의 초석이 되었다.

2 철의 발견과 이용

인류가 불을 이용하여 천연의 광석에서 금속을 얻을 수 있게 된 것은 역사적으로 매우 큰 의미를 가진다. 금속은 우리 생활에서 광범위하게 이용되고 인류 문명의 발전에 큰 역할을 해 왔다.

처음에 철은 화산이 폭발한 후 흘러내린 용암 속에서 발견되었을 것이다. 인류는 철이 나무나 돌로 만든 도구보다 더 단단하다는 것을 알았고, 농기구나 도구를 만들어 사용함으로써 보다 나은 생활을 할 수 있었다.

자연에서 철은 순수한 상태로는 거의 존재하지 않고 주로 산소와 결합한 철광석 형태로 존재하기 때문에 역사적으로 철은 구리보다 훨씬 늦게 사용되었다. 즉 철광석은 주로 철과 산소의 화합물인 산화철(Ⅲ)이며, 또한 철은 구리보다 녹는점이 높아 순수한 물질을 얻기 힘들었으므로 구리보다 늦게 사용되기 시작하였다.

오늘날 사용하는 강철에는 탄소가 어느 정도 섞여 있으며, 강철은 자동차의 차체, 대형 선박, 건축물, 기계 부품 등에 쓰이고 있다. 또한 가정용 싱크대나 주방기구 등에 사용되는 스테인리스 강철은 크롬, 니켈 등을 넣은 합금으로, 녹이슬지 않는 성질을 가지고 있다.

이와 같이 철의 이용은 인류 문명에 크게 기여해 왔으며, 철이 사용된 지 수천 년이 지난 오늘날에도 철은 우리 생활과 밀접한 관계가 있다.



그림 I-3 질소 화합물을 만드는 콩과 식물의 뿌리혹

3 암모니아의 합성과 이용

불을 이용한 철의 제련과 더불어 암모니아의 합성은 인류 문명의 발전에서 매우 중요한 사건이다.

식물은 잎의 기공을 통하여 들어온 이산화탄소와 뿌리에서 빨아들인 물을 이용하여 포도당을 합성하고, 최종적으로 우리에게 필요한 탄수화물을 만든다. 그런데 생명에 필요한 단백질과 핵산을 만들려면 탄소, 수소, 산소와 함께 질소와 인이 필수적이다. 자연에서는 번개와 같은 에너지가 질소 화합물을 만드는 데 중요한 역할을 하며, 콩과 식물의 경우에는 뿌리혹박테리아가 공기 중의 질소를 이용할 수 있게 해 준다.



하버(Haber, F.: 1868~1934)
독일의 화학자. 보슈와 함께
공중 질소 고정법에 의한 암
모니아의 공업적 합성법을
발명하였다. 1918년에 노벨
화학상을 받았다.

농경이 시작된 이래 인류는 식량을 전적으로 토지에서 얻어 왔으며, 식물을 잘 자라게 하기 위해서는 질소 성분을 토지에 공급해야 한다는 사실을 알았다. 그리고 식량 생산을 늘리기 위해서 동물의 분뇨를 퇴비로 사용하여 왔다. 그러나 인구의 증가에 비하여 식량의 증산은 크게 미치지 못하므로 획기적인 식량 증산 대책이 필요하게 되었다.

하버에 의해 개발된 암모니아의 합성 방법은 인공적으로 질소 비료를 생산할 수 있게 하였고, 인류의 식량 문제를 개선하는 데 결정적인 공헌을 하였다. 암모니아는 질소 비료의 원료로서 인, 칼륨과 함께 식물의 3대 비료 중의 하나이기 때문이다.



그림 I-4 인구 증가는 식량의 대량 생산을 필요로 한다.

하버는 공기 중의 질소 기체와 수소 기체를 촉매와 함께 반응시켜 암모니아를 합성해 내었으며, 그 후 보슈와 함께 하버-보슈법을 개발하여 암모니아를 대량 생산하였다. 현재는 암모니아를 원료로 황산암모늄, 요소, 복합 비료 등을 생산하여 식량 증산에 이바지하고 있다.



보슈(Bosch, K.: 1874~1940)
독일의 공업 화학자. 암모니아를 고압에서 합성하는 하버-보슈 법을 개발한 공로로 1931년 노벨 화학상을 받았다.

4 화석 연료의 이용

화석 연료는 주요한 에너지원인 석탄, 석유, 천연가스 등을 말하며, 동식물의 사체가 수억 년에 걸쳐 분해하여 생성된 것이다. 석탄과 석유는 대부분 탄소와 수소로 되어 있으며, 이들을 태우면 산소와 반응하여 많은 열이 발생한다.

인류는 나무나 숲을 연료로 사용하였으나, 사용량이 늘면서 공급량이 모자라자 그것의 대체 에너지로 석탄을 사용하였다. 특히 18~19세기에는 석탄을 연료로 사용하는 증기 기관을 발명하여 증기 기관차나 선박 등을 만드는 등 산업 혁명의 시대를 열었다.

석유는 발견된 초기에는 등불에 많이 이용되었지만, 1800년대 발명된 내연 기관과 벤츠가 만든 자동차는 석유에서 얻은 가솔린을 연료로 사용하였다. 20세기에는 석유가 항공기의 연료나 산업의 에너지원으로 사용되었으며, 현재는 가솔린뿐만 아니라 등유, 경유, 중유 등을 정제할 수 있게 되어 석유는 더욱 다양한 에너지원으로 사용되고 있다. 이와 같이 산업 혁명과 교통 혁명을 가져온 화석 연료의 이용은 인류 문명의 발전에 매우 중요하다.



(나)



(가)

그림 1-5 석탄을 이용한 증기 기관차(가)와 석유를 사용한 초기의 벤츠 자동차(나)

그러나 근래 화석 연료의 연소에 의해 발생하는 이산화탄소는 지구 온난화를 가속시키므로 지구 환경에 큰 피해를 가져오고 있다. 또한 화석 연료가 생성된 것보다 훨씬 빠르게 고갈되고 있어 대체 에너지의 개발이 시급하다.

이와 같이 불을 이용한 철의 제련, 식량 문제를 해결한 암모니아 합성, 생활을 풍요롭게 한 화석 연료의 사용은 인류의 문명을 발전시킨 중요한 화학 반응이라고 볼 수 있다.



1. 인류 문명의 발전에 철은 어떻게 이용되었는가?
2. 암모니아는 어떤 원소로 합성되었는가?

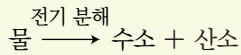
인류 문명에 기여한 화학 반응에는 어떤 것이 있는지 다음 탐구 활동을 통하여 알아보자.

탐구

| 활동 1 | 인류 문명에 기여한 화학 반응 조사하기

• **목적** 화학 반응이 인류 문명에 어떤 기여를 하였는지 알아본다.

• **과정** ① 물을 전기 분해하여 수소와 산소를 얻는다.



• 수소와 산소가 우리 생활에 유익하게 사용되고 있는 사례를 조사하여 보자.

② 산화알루미늄을 전기 분해하여 알루미늄을 얻는다.

• 알루미늄이 우리 생활에 유익하게 사용되고 있는 사례를 조사하여 보자.

③ 물, 공기, 석탄으로 나일론을 합성한다.

• 나일론이 우리 생활에 유익하게 사용되고 있는 사례를 조사하여 보자.

④ 천연 자원으로 의약품 개발한다.

• 의약품 개발이 인류 건강을 지켜온 중요성에 대해 조사하여 보자.

• **정리** 1. 위에서 예로 든 네 가지 화학 반응을 이용한 사례 중 상대적으로 중요도가 높은 것은 무엇인지 토의해 보자.

2. 위의 네 가지 사례 이외에 인류 문명 발전에 기여한 화학 반응을 조사해 보고, 그 중요성에 대해 토의하여 보자.



▲ 물의 전기 분해





연금술과 화학

alchemy는 연금술이라고 번역된다. 아랍어의 관사인 al과 깃털이 달린 모자를 쓰고 가죽 신발을 신고 다니는 그리스 신의 이름과 관련이 있는 용어인 chemy의 합성어이다.

또다른 유래로는 당시에 금속을 녹여서 틀에 부어 어떤 형태를 만들려면 흙이 필요하였는데, 이러한 작업을 하는 지방의 흙 색깔이 검은색이었으므로 이 마을을 '검은 흙의 마을'이라는 뜻으로 chem(그리스어 keme, 검은색) 마을이라고 불렀다. 또한 신들의 아들이 인간의 딸을 사랑한 증거로 물려준 비법을 chema라고 하였으며, 값싼 금속으로 귀한 금속을 제조하는 기술이나 옷감의 염색법, 진주 등의 모조 보석을 만드는 법 등 인간이 신비스럽다고 생각하는 기술을 chemia라고 불렀다. 중세에 들어서면서 그리스어의 chemia에 아랍어의 al이 더해져서 alchemy가 되었으며, 여기에서 나온 기술이 chemistry이다.

연금술은 실험에 바탕을 두고 발전해 왔는데, 백반을 강하게 가열하여 황산을 얻기도 하고, 초석과 황산구리를 사용하여 질산을 만들어 이 질산으로 은을 녹일 수 있게 되었다. 그리고 금이 질산에 녹지 않자 염산과 질산을 혼합한 왕수를 만들어 금을 녹일 수 있었다. 그 밖에 금속의 제련, 가죽의 염색, 구리의 제조 등 수많은 작업을 수행하여 오늘날 화학 발전의 기틀을 이루었다.



STS 활동

화학의 역사 속에서 연금술사는 어떤 역할을 했고, 그 역할은 화학의 발전에 어떤 영향을 끼쳤는지 조사해 보자.



1-2 원소와 화합물



다가서기

- 우리 주변의 물질을 원소와 화합물, 분자와 원자로 구분할 수 있다.
- 광합성을 통하여 원소와 화합물, 원자와 분자의 차이를 알고 구분할 수 있다.

핵심 용어

- 원소
- 화합물
- 홑원소 물질
- 원자
- 분자
- 광합성

1 원소와 화합물

고대의 철학자들은 물질을 이루고 있는 근본 요소에 대해 많은 논의들을 하였다. 아리스토텔레스는 만물은 물, 불, 흙, 공기의 네 가지 요소로 이루어져 있다고 생각하였으며, 중국에서는 불, 나무, 흙, 금, 물이 만물을 이루는 근본 요소라고 생각하였다.

여기에서는 원소와 화합물의 의미를 알고, 원소는 어떻게 표현해 왔는지 알아보자.

원소는 더 이상 다른 물질로 나눌 수 없는 가장 기본적인 물질을 말한다. 예를 들어, 공기 속에 들어 있는 질소와 산소는 화학적 방법으로 더 이상 다른 물질로 분해할 수 없으므로 원소이다. 지금까지 발견된 원소의 종류는 약 100여 종 정도이다.

한편, 물이나 이산화탄소, 포도당 등은 두 종류 이상의 원소로 이루어져 있다. 물은 수소와 산소, 이산화탄소는 탄소와 산소로 분해할 수 있으므로 물과 이산화탄소는 원소가 아니다.

한 종류의 원소로 구성된 물질을 홑원소 물질이라고 하고, 두 가지 이상의 서로 다른 종류의 원소가 결합하여 만들어진 물질을 화합물이라고 한다. 순금은 금만으로 이루어진 홑원소 물질이며, 물은 전기 분해하여 수소와 산소를 얻을 수 있으므로 화합물이다.

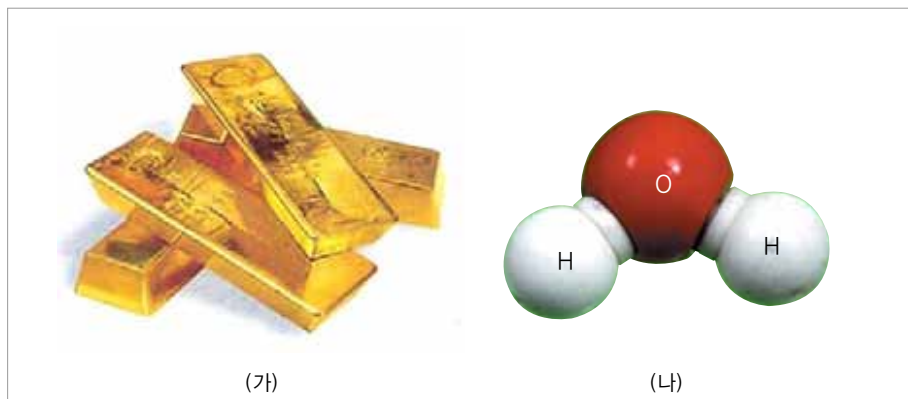


그림 1-6 순금(가)과 두 가지 성분으로 이루어진 물 분자 모형(나)

2 원자와 분자

원자는 물질을 구성하는 가장 작은 입자로서, 더 이상 쪼갤 수 없고 종류에 따라 크기와 질량이 다르다. 은은 은 원자, 금은 금 원자로 이루어져 있으며, 은과 금 원자는 그 성질과 질량이 서로 다르다.

분자는 몇 개의 원자가 결합하여 이루어진 입자로서, 그 물질의 고유한 성질을 가진다. 공기 중의 산소 기체는 두 개의 산소 원자가 결합한 산소 분자의 형태로 존재한다. 산소 원자는 산소 기체의 성질을 가지지 않지만, 산소 분자는 산소 기체의 성질을 가진다.



그림 I-7 은 덩어리를 확대경과 전자 현미경으로 확대하여 본 모습

한편, 헬륨이나 네온 등은 원자가 단독으로 존재하지만 고유한 성질을 가지므로 분자이다.

소금은 나트륨 이온과 염화 이온으로 이루어져 있는 화합물로서, 이들 이온들이 반복적으로 결합하고 있는 결정의 형태로 존재한다.



(가)

(나)

그림 I-8 네온 기체를 사용한 광고용 네온사인(가) 및 소금 결정(나)

검색 전자 현미경

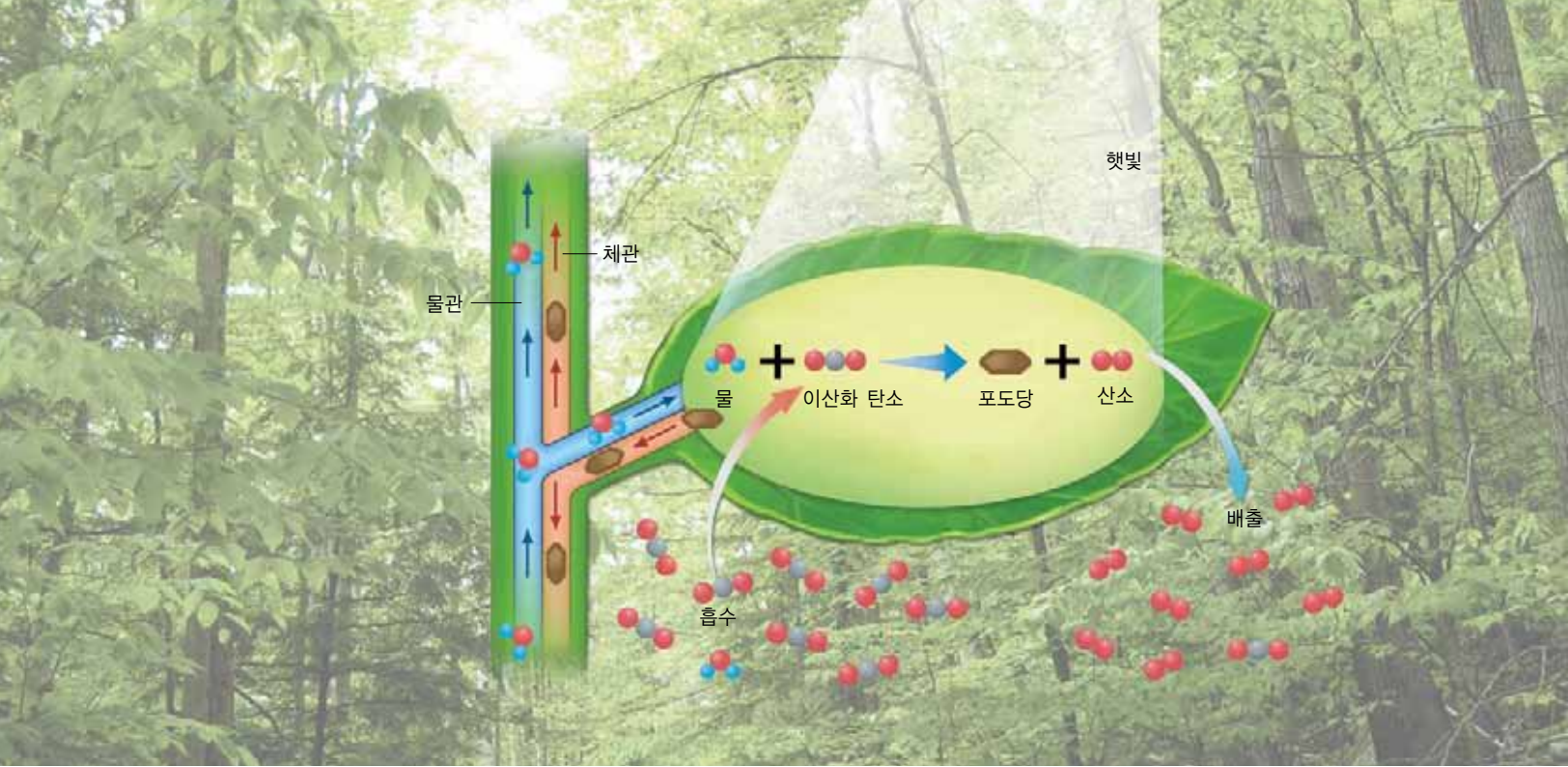


그림 1-9 녹색 식물의 잎에서의 광합성

광합성 반응을 예로 들어 원소와 화합물, 원자와 분자의 차이를 알아보자.
 녹색 식물의 잎에서 이루어지는 광합성에서, 반응물질은 이산화탄소와 물이고
 생성물질은 포도당과 산소이다.

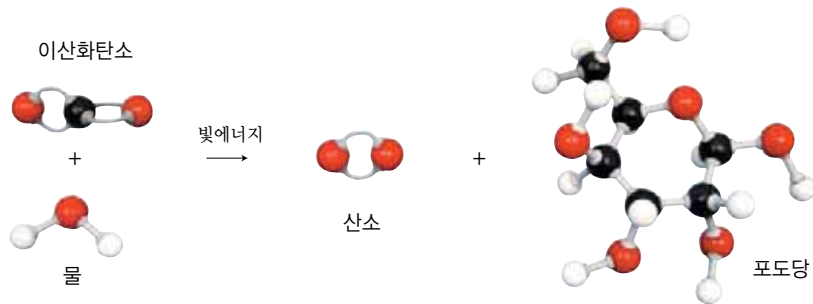
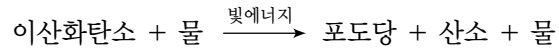


그림 1-10 이산화탄소, 물, 산소, 포도당의 분자 모형

탄소와 산소가 결합된 이산화탄소 및 수소와 산소가 결합된 물은 화합물이며,
 이산화탄소는 탄소 원자와 산소 원자 그리고 물은 수소 원자와 산소 원자로 이루어진 분자이다. 생성물인 포도당은 탄소 원자와 수소 원자, 산소 원자로 이루어진 분자이며 동시에 화합물이다. 산소는 원자로 있건 분자로 있건 관계없이 한 종류의 원자로 이루어져 있기 때문에 화합물은 아니며 원소이다.



1. 원자와 분자의 다른 점은 무엇인가?
2. 광합성 반응에서 포도당이 생성되려면 어떤 화합물이 필요한가?

1-3 화학식량과 몰

다가서기

- 원자량과 분자량을 설명할 수 있다.
- 몰과 아보가드로수의 관계를 설명할 수 있다.

원자나 분자는 크기가 아주 작은 입자이기 때문에 그 질량도 매우 작다. 예를 들어, 수소 원자 한 개의 질량은 1.67×10^{-24} g으로, 실제 질량을 그대로 사용하는 것은 매우 불편하다. 따라서 어떤 원자의 질량을 기준으로 한 다음, 다른 원자의 질량은 그 기준 원자의 질량의 몇 배인가를 나타내는 상대적 질량으로 나타내면 편리하다. 이렇게 정해진 값을 **원자량**이라고 한다.

현재는 탄소 원자의 질량을 12로 정하고 이를 기준으로 다른 원자들의 원자량을 상대적 질량 값으로 구한다. 즉 탄소의 원자량이 12일 때 수소의 원자량은 1, 산소의 원자량은 16이 된다. 이는 수소 원자의 질량이 탄소 원자의 $\frac{1}{12}$, 산소 원자의 $\frac{1}{16}$ 이라는 것을 뜻한다.

분자량은 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값이다. 예를 들어, 물(H₂O)은 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 이루어져 있으므로 물의 분자량은 18이 된다.

염화나트륨(NaCl)과 같이 분자로 존재하지 않는 물질은 분자량과 마찬가지로 화학식을 이루는 원자들의 원자량 합인 **화학식량**으로 나타낸다. 염화나트륨의 화학식량은 나트륨의 원자량(23)과 염소의 원자량(35.5)을 합한 58.5이다.

핵심 용어

- 원자량
- 분자량
- 화학식량
- 몰(mole)
- mol
- 아보가드로수

- 물(H₂O)의 분자량
 =(H의 원자량)×2+(O의 원자량)
 =2+16=18
- 염화나트륨(NaCl)의 화학식량
 =(Na의 원자량)×1+(Cl의 원자량)×1
 =23+35.5=58.5

탐구

| 활동 2 | 작은 물질의 상대적 질량

- **목적** 작은 입자의 상대적 질량을 어떻게 정할 수 있는지 알아본다.
- **준비물** 전자저울, 시계 접시, 핀셋, 녹두, 콩 등
- **과정** ① 콩과 녹두를 각각 100개씩 세어 시계 접시에 넣고 전자저울로 질량을 잰다.
 ② 콩과 녹두 각각 한 개의 질량을 계산한다.
- **정리** 1. 콩과 녹두 한 개의 질량은 각각 얼마인가?
 2. 녹두 한 개의 질량을 1.0으로 했을 때 녹두와 콩의 질량비는 얼마인가?





아보가드로(Avogadro, A: 1776 ~1856) 이탈리아의 화학자·물리학자.

원자나 분자와 같이 매우 작은 입자는 아주 작은 양이라도 그 속에는 많은 수의 입자가 들어 있다. 이 수가 너무 크기 때문에 일일이 헤아리는 것은 불편하다. 일상생활 속에서는 이러한 경우에 여러 가지 묶음 단위를 사용한다. 예를 들어 채소 100개를 묶어 '접'이라는 단위를 쓴다. 배추 100개도 한 접이고 무 100개도 한 접이다. 화학자들은 원자와 분자의 입자 수를 나타내기 위하여 몰(mole, 기호 mol)이라는 단위를 사용한다.

어떤 물질 속에 들어 있는 원자, 분자 1몰은 6.02×10^{23} 개의 입자 수를 의미하며, 이 수를 아보가드로수라고 한다. 탄소 원자 1몰은 탄소 원자 6.02×10^{23} 개, 물 분자 1몰은 물 분자 6.02×10^{23} 개를 의미한다.

이와 같이 원자 1몰이나 분자 1몰 모두 아보가드로수 6.02×10^{23} 개를 의미하고, 그 질량은 각각의 원자량과 분자량에 g을 붙인 값과 같다. 예를 들어 탄소 원자 1몰의 질량은 12.0 g, 물 분자 1몰의 질량은 18.0 g이다.

표 1-1 원자, 분자의 몰 수, 입자 수, 질량 관계

몰 수	입자 수	질량
원자 1 몰	6.02×10^{23} 개의 원자	원자량에 g
분자 1 몰	6.02×10^{23} 개의 분자	분자량에 g

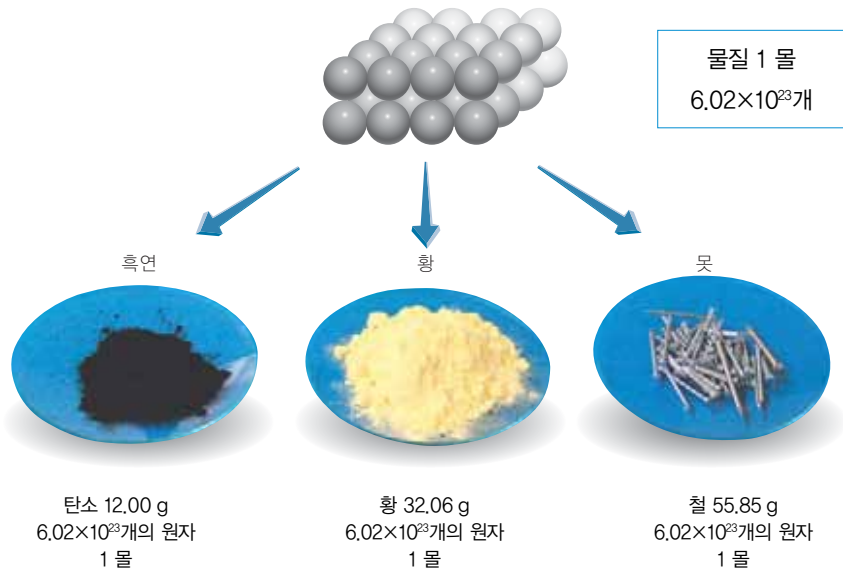


그림 1-11 물질 1몰이 나타내는 의미

어떤 물질의 원자량이나 분자량을 이용하면 그 물질의 질량으로부터 물질에 포함된 입자 수를 알 수 있다. 그러나 기체는 질량보다 부피를 측정하기가 쉽다. 그러므로 기체의 경우 그 분자 수는 부피를 통해서 구할 수 있다.

아보가드로 법칙에 따르면 ‘모든 기체는 온도와 압력이 같을 때 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어 있다.’ 실험에 의하면 0°C, 1기압에서 1몰 즉 6.02×10^{23} 개의 분자가 차지하는 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L로 일정하다.

즉, 0°C, 1기압에서 기체 분자 1몰이 차지하는 부피는 22.4 L이다. 예를 들어 0°C, 1기압에서 산소 기체 1몰, 즉 32 g이 차지하는 부피는 22.4 L이고, 그 속에 6.02×10^{23} 개의 산소 분자가 들어 있다.

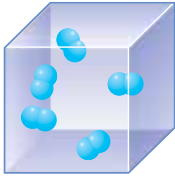
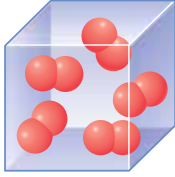
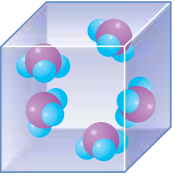
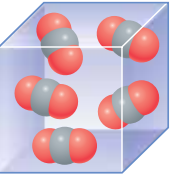


그림 I-12 산소 1몰의 부피

확인 물 분자 6.02×10^{22} 개는 몇 몰인가?

표 I-2는 몇 가지 기체 분자 1몰의 질량, 분자 수, 부피 관계 및 같은 온도와 압력에서의 분자 모형을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이, 같은 온도와 압력에서 기체 분자의 부피와 분자 수는 기체의 종류에 관계없이 서로 같다.

표 I-2 기체 분자 1몰의 질량, 분자 수, 부피 관계 및 분자 모형

	수소(H ₂)	산소(O ₂)	암모니아(NH ₃)	이산화탄소(CO ₂)
질량(g)	2.0	32.0	17.0	44.0
분자 수(개)	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}
기체의 부피(L) (0°C, 1기압)	22.4	22.4	22.4	22.4
분자 모형 (같은 온도, 압력)				

따라서 몰수와 질량, 분자 수, 부피와의 관계식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{몰수(몰)} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{분자량(g/몰)}} = \frac{\text{분자수(개)}}{6.02 \times 10^{23}(\text{개/몰})} = \frac{\text{부피(L)}}{22.4(\text{L/몰})} (0^\circ\text{C}, 1\text{기압})$$

확인 0°C, 1기압에서 0.5몰의 이산화탄소 기체가 있다.

1. 이산화탄소 기체의 분자 수는 몇 개인가?
2. 이산화탄소의 질량은 몇 g인가?
3. 이산화탄소의 부피는 몇 L인가?

01 중단원 마무리

인류 문명의 발전과 화학

되짚어 보기

- 암모니아 합성** • 수소와 질소로 암모니아를 합성하여 비료로 사용한다.
- 철의 제련** • 산화철에서 산소를 제거하여 철을 얻는다.
- 화석 연료** • 생물체의 사체가 압력과 열을 받아 생성된 연료이다.
- 원소** • 더 이상 다른 물질로 나눌 수 없는 가장 기본이 되는 물질이다.
- 원자** • 물질을 구성하는 가장 작은 입자이다.
- 분자** • 물질의 고유한 성질을 지니는 가장 작은 입자이다.
- 화합물** • 두 가지 이상의 원소가 일정한 비율로 결합한 물질이다.
- 원자량** • 탄소 원자 질량을 12로 정하고 이를 기준으로 환산한 다른 원자들의 상대적 질량이다.
- 분자량** • 분자를 이루고 있는 원자들의 원자량의 합이다.
- 아보가드로수** • 입자 1몰이 들어 있는 6.02×10^{23} 개의 수이다.
- 몰** • 원자, 분자, 이온 등이 6.02×10^{23} 개가 모인 집단이다.
- 아보가드로 법칙** • 모든 기체는 온도와 압력이 같을 때 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어 있다.



창의성 기르기

시저의 마지막 숨과 공기 분자의 수

어떤 기체 6.02×10^{23} 개의 분자가 22.4 L 부피 속에 들어 있다고 할 때, 이 수를 아보가드로수라고 한다. 6.02×10^{23} 개는 어느 정도의 양을 의미할까? 이와 관련된 것으로 '시저의 숨'이라는 글이 있다.

로마 황제 율리우스 시저가 자신이 믿고 아끼던 브루투스에게 암살을 당하면서 "브루투스, 너마저도……."라고 탄식을 하며 마지막 숨을 내쉬고 죽었다. 이때 시저가 내뿜은 '마지막 숨'에 포함된 공기는 수천 년의 세월을 지나 지구의 대기권에 골고루 퍼졌다.

우리는 지구 대기권에 퍼져 있는 시저의 숨에 포함된 공기를 호흡하게 되는데, 몇 개의 공기 분자를 마시게 될까? 단, 보통 어른 한 사람이 숨을 한 번 쉴 때 약 0.5 L의 공기를 호흡하며, 지구 대기층의 부피는 $3.6 \times 10^{18} \text{ m}^3$ 이다.



토의·조사

1. 숨을 한 번 들이쉴 때 폐로 들어오는 공기 분자의 개수는 몇 개인지 계산하여 보자.
2. 우리가 호흡한 0.5 L의 숨에는 시저의 마지막 숨에 들어 있던 공기 분자의 개수는 얼마인지 토의하여 보자.

도전문제

- 1 (어휘) 다음 용어를 설명하여라.
 (1) 원소 (2) 원자 (3) 분자
 (4) 화합물 (5) 원자량 (6) 분자량
- 2 (비판적 사고) 0°C, 1기압에서 수소와 산소 분자가 1몰씩 존재한다. 다음 중 어느 한 개의 값이 다른데, 그 이유를 토의하여 보자.
 ① 분자 수 ② 원자 수 ③ 부피 ④ 질량
- 3 (모둠 활동) 우리 주변의 홑원소 물질을 조사해 보고, 이 물질이 홑원소 물질로 쓰이는 장점을 토의하여 보자.
- 4 (의사소통) 곡물, 달걀, 연필, 가솔린 등은 어떤 양으로 파는지 조사해 보고, 그렇게 파는 이유를 설명해 보자.
- 5 (적용) 다음 각 화합물의 분자량을 구하여라.
 (1) 화합물 A : 2몰의 질량 36 g (2) 화합물 B : 분자 3.01×10^{23} 의 질량 22 g



인성 기르기

중세의 연금술사들은 값이 싼 납 등의 금속으로 값이 비싼 금을 만들려고 많은 실험을 수행하였다. 구리와 탄산아연을 가열하여 금과 비슷한 노란색을 만들어 내었으며, 구리와 아연으로 금처럼 보이는 놋쇠를 만들어 내었다.

이들은 이러한 실험 과정에서 금은 만들지 못하였지만, 황산, 질산, 비누, 아세트산 등의 화학 약품을 만들어 사용하였다. 또한 작업에 필요한 여러 가지 기구를 만들어 화학의 발전에 크게 기여하였다.

중국에서는 화약, 합성 수지, 종이를 만들어 내고 도금 기술을 발전시켰다.



토의·조사

연금술사들이 금을 만들려고 했던 사실이 인류 문명 발전에 미치는 이로운 점과 해로운 점에 대해 토의하여 보자.



만화로 보는 정리





인쇄소 제본공으로 출발한 위대한 화학자 패러데이

물을 전기 분해한 화학자 패러데이는 집안 형편이 어려워 학교에도 가지 못하고 13세 때 신문 배달과 인쇄소 제본공으로 7년 동안 심부름도 하고 직공으로 일하였다. 직공으로 일하는 동안 책 배달도 하면서 틈이 있을 때마다 제본하는 책을 모두 읽었다. 그래서 문학과 화학에 관한 많은 지식을 갖추게 되었다.

어느 날 한 단골손님의 안내로 당시에 유명한 과학자들의 단체인 왕립연구소의 강연을 듣게 되었다.

이 강연 중 새로운 원소인 나트륨을 발견했던 유명한 화학자 데이비의 실험과 강연을 듣고 도취되어, 4번이나 강연을 들으면서 강의와 실험 내용을 노트에 꼼꼼히 모두 기록하였다.

그 후 데이비의 조교로 채용되어 왕립연구소 이층에 연구 실험실을 배정받고 대중에게 실험과 강연을 하면서 연구에 몰두하여 물의 전기 분해, 염화수소와 암모니아를 액화시키는 방법, 강철의 합금 제조, 전기에 관한 실험 연구, 그리고 유명한 전기 화학에서의 ‘패



▲ 패러데이의 실험실

러데이 법칙’ 등 수많은 화학에 관한 업적을 남겨 당시에 영국에서 가장 존경 받는 화학자가 되었다.

1 다음 용어를 설명하여라.

(1) 액화

(2) 합금

(3) 전기 화학

2 패러데이가 화학에 관심을 가지게 된 동기는 무엇일까?

3 어려운 환경에서 가장 유명한 화학자로 존경 받게 된 패러데이에 관한 이야기를 읽고 느낀 점을 글로 써 보자.

2

물질의 조성과 화학 반응식

2-1 화학식과 원소 분석 32

2-2 화학 반응식과 양적 관계 38





들어가기

지구 상에 존재하고 있는 물질의 종류는 2,000만 개 이상이 된다. 이것은 100여 종에 이르는 원소의 원자가 다양하게 조합하기 때문에 가능하다. 이처럼 다양한 물질을 어떻게 나타낼 수 있을까? 그리고 이들 화합물의 구성 원소의 종류와 비율은 어떠한가?

이들 물질은 여러 가지 화학 변화를 한다. 이러한 변화는 화학 반응식으로 나타낼 수 있으며, 반응물질과 생성물질 사이에 양적 관계가 형성된다.

이 단원에서는 원소 분석으로 화학식을 결정하는 과정을 익히고, 화학적 변화를 화학식을 이용하여 화학 반응식으로 나타내는 방법 및 화학 반응에서의 양적 관계를 학습한다.



2-1 화학식과 원소 분석

다가서기

- 원소 기호를 사용하여 물질의 화학식을 나타낼 수 있다.
- 불꽃 반응을 이용하여 화합물의 성분 원소를 확인할 수 있다.
- 원소 분석을 통하여 실험식을 구할 수 있다.

핵심 용어

- 원소 기호
- 화학식
- 분자 모형
- 원소 분석
- 조성비
- 실험식
- 분자식

1 원소 기호와 화학식

현재까지 알고 있는 100여 종의 원소를 나타낼 때, 그리스어나 라틴어, 영어로 된 알파벳 원소 이름의 첫 글자를 대문자로 나타내거나 대문자와 알맞은 글자를 소문자로 조합한 원소 기호로 표시한다.

표 1-3 원소의 이름과 원소 기호

알루미늄	Al	베릴륨	Be	플루오린	F	수은	Hg	질소	N	납	Pb
은	Ag	탄소	C	철	Fe	아이오딘	I	나트륨	Na	황	S
아르곤	Ar	염소	Cl	갈륨	Ga	칼륨	K	네온	Ne	규소	Si
금	Au	크로뮴	Cr	수소	H	리튬	Li	산소	O	우라늄	U
붕소	B	구리	Cu	헬륨	He	마그네슘	Mg	인	P	아연	Zn



돌턴(Dalton, J.: 1766~1844) 영국의 화학자. 화학 변화의 원리를 설명하기 위하여 원자의 개념을 도입하였다.



(가)

ELEMENTS		
Hydrogen 1	Stonian 46	
Air 5	Barites 68	
Carbon 6	Iron 50	
Oxygen 7	Zinc 58	
Phosphorus 9	Copper 56	
Sulphur 13	Lead 50	
Magnesia 20	Silver 190	
Lime 24	Gold 190	
Soda 28	Platina 190	
Potash 48	Mercury 167	

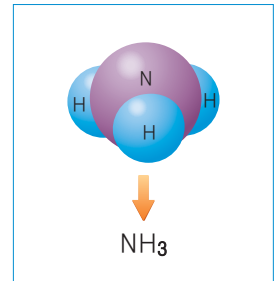
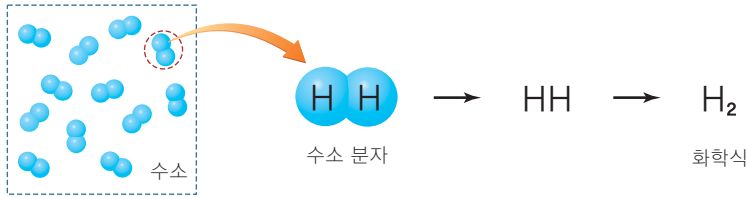
(나)

그림 1-13 연금술사들이 나타낸 물질 기호(가)와 돌턴의 원소 기호(나)

원소 기호를 사용하면 다양한 종류의 화합물을 쉽게 표현할 수 있다. 이처럼 원소 기호를 사용하여 물질을 구성하고 있는 원자, 분자 또는 이온을 나타낸 식을 화학식이라고 한다. 따라서 화학식을 사용하면 홑원소 물질과 화합물을 구별할 수 있다.

● 수소 분자 모형과 화학식

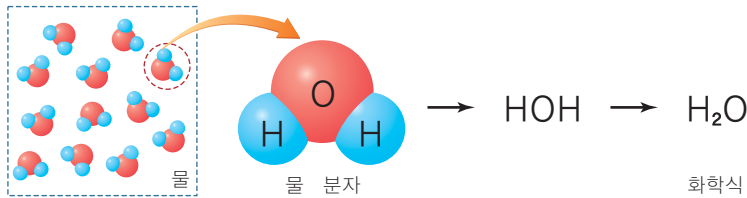
홀원소 물질인 수소 분자 1개는 수소 원자 2개가 결합된 것이므로, 화학식으로 표시하면 H₂가 된다. 같은 방법으로 산소 분자의 화학식은 O₂로 표시한다.



▲ 암모니아 분자 모형과 화학식

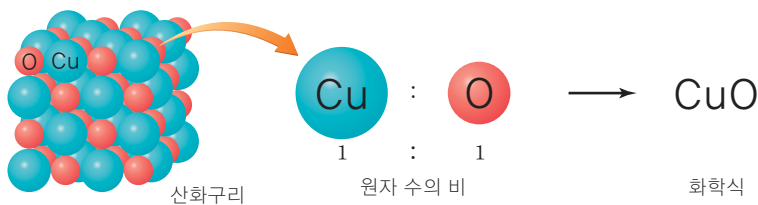
● 물 분자 모형과 화학식

화합물인 물 분자 1개는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개가 결합되어 있는 것이므로, 화학식으로 표시하면 H₂O가 된다. 같은 방법으로 이산화탄소 분자의 화학식은 CO₂로 표시한다.



● 산화구리 모형과 화학식

화합물인 산화구리는 결합되어 있는 구리 원자와 산소 원자 수의 비가 1:1이 된다. 화합물을 화학식으로 표시하는 경우 그 화합물의 원자 수의 비를 함께 써서 표시하지만, 1:1의 경우는 비를 생략하여도 좋기 때문에 CuO라고 표시한다.



2 원소 분석

화합물의 성분 원소를 확인할 때 흔히 불꽃 반응과 양금 생성 반응을 이용한다. 리튬, 나트륨, 칼륨은 그림 I-14의 (가)에 나타낸 것과 같이 불꽃 반응에서 특유의 색깔을 나타내므로 확인하기가 쉽다. 즉 리튬은 붉은색, 나트륨은 노란색, 칼륨은 연한 보라색을 나타낸다. 이 반응은 불꽃놀이에도 이용된다.



아름다운 색깔로 밤하늘을 수놓는 불꽃놀이

염화리튬 수용액에 무색의 질산은 용액을 한두 방울 가하면 그림 I-14의 (나)와 같이 흰색의 앙금이 생성된다. 이 앙금은 질산은 용액의 은 이온과 염화리튬 용액의 염화 이온이 반응하여 물에 잘 녹지 않는 염화은이 생성된 것이다.

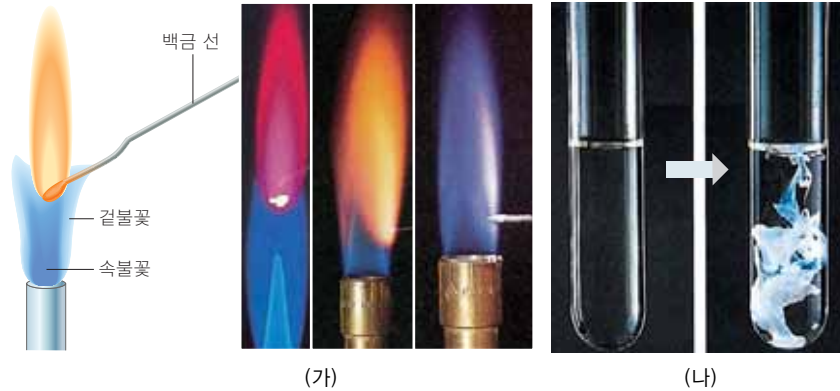


그림 I-14 리튬, 나트륨, 칼륨의 불꽃 반응(가)과 염화은의 흰색 앙금(나)

불꽃 반응은 화합물에 어떤 금속 원소가 들어 있는지 확인하기에 적당한 실험 방법이다. 그러나 불꽃 반응으로는 원소들의 종류를 알 수 있지만, 화합물을 구성하는 원소들의 구성 비율은 알 수 없다. 따라서 화합물의 구성 비율을 알기 위해서 원소 분석 방법을 활용한다.

원소 분석은 화합물을 이루는 원소의 종류와 조성비를 알아내는 실험이다.

다음 탐구 활동으로 무색 결정의 성분을 확인하여 보자.

탐구

| 활동 3 | 물질의 성분 원소의 검출

- **목적** 화합물을 이루고 있는 성분을 확인한다.
- **준비물** 버너, 니크롬선, 시험관, 스포이트, 염화리튬, 염화나트륨, 염화칼륨의 무색 결정 시료, 질산은 용액
- **과정**
 - ① 세 가지 무색 결정을 물에 녹인 다음, 이 용액을 각각 니크롬선에 묻혀 가스버너의 겉불꽃에 넣어 나타나는 색을 관찰한다.
 - ② 시험관 3개에 과정 ①의 용액을 각각 넣고 질산은 용액을 한 방울씩 떨어뜨린다.
- **정리**
 1. 과정 ①의 불꽃색은 어떠한가?
 2. 과정 ②에서 무엇을 관찰할 수 있는가?
 3. 실험 결과로 보아 각각의 화합물은 어떤 성분으로 이루어진 물질인가?



3 실험식 구하기

리비히(Liebig, J. F.)는 1831년에 유기 화합물 속의 탄소와 수소의 조성을 알아내는 분석 방법을 발표하였다. 유기 화합물을 연소시켰을 때 생성되는 이산화탄소와 물의 질량을 측정하여 탄소, 수소, 산소의 성분 질량비를 알아내는 것이다. 각 성분의 질량을 알게 되면 각각의 질량 값을 성분 원소의 원자량으로 나누어 조성비를 구할 수 있다.

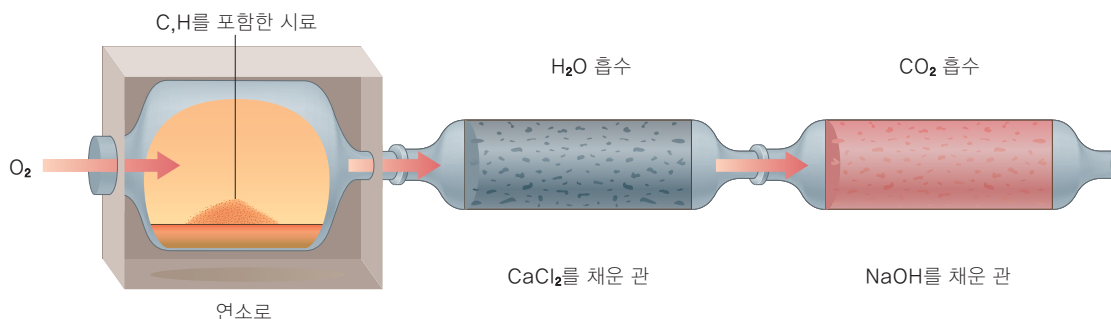


그림 I-15 연소에 의한 원소 분석 장치

탄소와 수소로 이루어진 화합물의 조성비는 그림 I-15의 원소 분석 장치를 사용하여 알아낼 수 있다. 이 장치에서, 질량을 알고 있는 화합물을 산소 속에서 완전히 태워 이산화탄소와 물을 발생시킨다. 이때 발생한 물은 염화칼슘(CaCl_2)에 흡수되고, 이산화탄소는 수산화나트륨(NaOH)에 흡수된다. 증가된 각 관의 질량을 측정하여 물과 이산화탄소의 질량을 측정하면, 화합물을 이루고 있는 탄소와 수소의 질량을 계산할 수 있다. 또한 각 성분의 질량을 각 성분의 원자량으로 나누어 주면 조성비를 구할 수 있다. 조성비를 구한 다음 구성 원소의 원자 개수의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 식을 실험식이라고 한다.

실험식을 구하는 과정을 나타내면 다음과 같다.

검색 실험식 ▼

- CO_2 흡수제의 나중 질량 - CO_2 흡수제의 처음 질량 = CO_2 질량
- C의 질량 = CO_2 질량 \times 12/44 (44: CO_2 분자량, 12: C 원자량)
- H_2O 흡수제의 나중 질량 - H_2O 흡수제의 처음 질량 = H_2O 질량
- H의 질량 = H_2O 질량 \times 2/18 (18: H_2O 의 분자량, 2: H 원자량의 합)
- C와 H 조성비 = $\frac{\text{C 질량}}{\text{C 원자량}} : \frac{\text{H 질량}}{\text{H 원자량}} = x : y$ (x, y 는 간단한 정수비)
- 실험식: C_xH_y

포도당과 같이 탄소, 수소, 산소로 구성된 화합물을 연소시키면 이산화탄소와 물이 생성된다. 예를 들어, 포도당 90 mg을 연소시켜 이산화탄소 132 mg과 물 54 mg을 얻었다면, C의 질량은 36 mg, H의 질량은 6 mg, O의 질량은 48 mg 이 된다.

여기에서 각 원소의 몰수 비는 다음과 같이 구한다.

$$C : H : O = 36/12 : 6/1 : 48/16 = 1 : 2 : 1 \text{ 이 된다.}$$

즉 포도당은 탄소, 수소, 산소가 1 : 2 : 1의 비율로 결합된 화합물로서, 실험식은 CH_2O 로 표현한다.

익히기

탄소, 수소, 산소로 이루어진 화합물 4.00 mg을 완전 연소시켰더니, CO_2 7.70 mg과 H_2O 4.59 mg을 얻었다.

이 화합물의 실험식을 구하여라.

분석	<ul style="list-style-type: none"> • 주어진 자료 화합물 질량: 4.00 mg CO_2 질량: 7.70 mg H_2O 질량: 4.59 mg 	<ul style="list-style-type: none"> • 구하는 것 화합물의 실험식: ?
----	---	--

계획 성분 원소 1몰의 질량: 탄소 12 g/몰, 수소: 1 g/몰, 산소 16 g/몰
 생성물의 분자량: 이산화탄소 44, 물 18

계산 시료 중의 각 원소의 질량을 구한다.

$$C: 7.70 \times 12/44 = 2.10 \text{ mg}$$

$$H: 4.59 \times 2/18 = 0.51 \text{ mg}$$

$$O: 4.00 - (2.10 + 0.51) = 1.39 \text{ mg}$$

성분의 몰수 비를 구한다.

$$C : H : O \\ = \frac{2.10 \times 10^{-3} \text{ g}}{12 \text{ g/몰}} : \frac{0.51 \times 10^{-3} \text{ g}}{1 \text{ g/몰}} : \frac{1.39 \times 10^{-3} \text{ g}}{16 \text{ g/몰}} = 2 : 6 : 1$$

검토 몰수 비는 원자 수의 비와 같으므로 실험식은 C_2H_6O 이다.



1. 검은색의 산화구리를 화학식으로 나타내어라.
2. 포도당($C_6H_{12}O_6$)을 실험식으로 나타내어라.

4 분자식 구하기

실험식만으로는 화합물을 구성하고 있는 탄소, 수소, 산소의 원자 수를 정확하게 알 수 없고, 단지 구성 원자 수의 정수비만을 알 수 있을 뿐이다. 따라서 화합물을 구성하고 있는 원자의 종류와 수를 모두 나타내는 분자식을 알려면 분자량을 측정해야 한다.

원소 분석으로 포도당의 실험식이 CH_2O 임을 구하였지만, 포도당의 분자식이 실험식의 2배인 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 인지 6배인 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 인지를 확인하려면 포도당의 분자량을 알면 된다.

분자식은 실험식에 정수를 곱한 식으로 표현한다. 즉,

$$\text{분자식} = \text{실험식} \times n \quad (n = \text{정수})$$

정수 n 은 실험식량과 분자량을 이용하여 구한다.

$$\text{분자량} = \text{실험식량} \times n \quad n = \text{분자량} / \text{실험식량}$$

포도당의 경우 측정한 분자량은 180이다.

$$\text{따라서 } n = 180 / 30 = 6$$

$$\text{포도당 분자식: } \text{CH}_2\text{O} \times 6 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

익히기

집을 지을 때 단열재로 사용하는 스티로폼의 원료인 스티이렌을 원소 분석한 결과 탄소 92.3 g, 수소 7.7 g을 얻었으며, 측정한 분자량은 104이었다. 이 화합물의 분자식을 구하여라.

분석	주어진 자료	구하는 것
	분자량: 104	스티이렌 분자식: ?
	탄소: 92.3 g	
	수소: 7.7 g	

계획

$$\text{각 성분의 몰수 비} = \frac{\text{탄소 질량}}{\text{탄소 1몰의 질량}} : \frac{\text{수소의 질량}}{\text{수소 1몰의 질량}}$$

$$\text{분자량} = \text{실험식량} \times n$$

계산

$$\text{C} : \text{H} = \frac{92.3 \text{ g}}{12 \text{ g/몰}} : \frac{7.7 \text{ g}}{1 \text{ g/몰}} = 1 : 1$$

실험식 CH

$$(\text{CH})_n = 104 \quad 13n = 104 \quad n = 8$$

분자식 C_8H_8

2-2 화학 반응식과 양적 관계



다가서기

- 화학식을 사용하여 화학 반응식을 나타낼 수 있다.
- 우리 주변에서 볼 수 있는 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.
- 화학 반응 전과 후의 양적 관계를 계산할 수 있다.

핵심 용어

- 화학 반응식
- 반응물질
- 생성물질
- 몰 비
- 계수 비
- 부피 비



라부아지에(Lavoisier, A. L.: 1743~1794) 프랑스의 화학자. 근대 화학의 창시자로, 연소의 원리를 발견하고 물의 조성을 밝혀 내었다.

1 화학 반응식

우리 생활 주변의 화학 반응을 어떻게 나타낼 수 있을까? 또한, 반응물질과 생성물질 사이에는 어떤 양적 관계가 있을까?

화학식을 사용하여 화학 변화를 나타낸 식을 **화학 반응식**이라고 한다. 화학 반응식을 사용하면 반응 전 물질이나 반응 후 생긴 물질을 나타낼 수 있으므로 화학 변화의 과정을 쉽게 알 수 있게 된다.

화학 반응식은 왼쪽에는 반응물질을, 오른쪽에는 생성물질을 화학식으로 표시하고 화살표로 연결한다.



그림 I-16 화학 반응식에서 화살표 사용

이때 화살표의 양쪽에 있는 원자의 종류와 개수가 같아지도록 표시한다. 이것은 화학 반응이 일어날 때 원자가 새로 생기거나 없어지지 않기 때문이다. 따라서 각 화학식 앞의 계수를 맞추어 화학 반응식을 완결한다.

철과 산소의 반응을 화학 반응식으로 나타내어 보자.

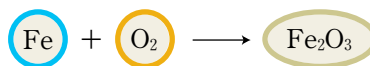
익히기

철과 산소의 화합

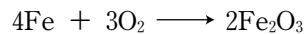
1. 철과 산소가 화합하면 산화철(Ⅲ)이 생긴다.



2. 이것을 화학식으로 표현한다.



3. 반응물질과 생성물질의 원자 수를 같게 한다.



다지기

다음 단계에 따라 물의 전기 분해를 화학식으로 나타내어 보자.

1. 물을 전기 분해하면 수소와 산소가 생긴다.

2. 이것을 화학식으로 표시한다.

3. 반응물질과 생성물질의 원자 수를 같게 한다.



▲ 물의 전기 분해

- 반응 전과 후의 물질이 두 종류 이상인 경우 그 화학식을 +로 연결한다.

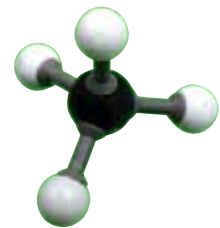
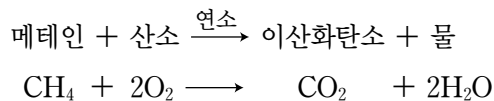
그림 I-17과 같이 물의 전기 분해를 화학 반응식으로 표시할 때, 왼쪽의 H₂O 앞의 2는 물 분자가 두 개라는 뜻이며, 수소 다음의 아래 첨자 2는 수소 원자가 두 개라는 뜻이다. 마찬가지로, 2H₂에서 앞의 2는 수소 분자가 두 개라는 뜻이다. O₂의 경우는 산소 분자가 1개이기 때문에 앞에 표시할 1은 생략되었다.



그림 I-17 화학 반응식의 표시 방법

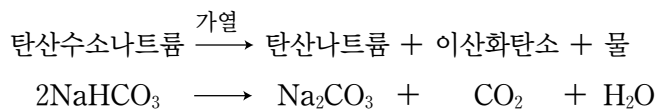
우리 주변에서 볼 수 있는 화학 반응에는 어떤 것이 있을까? 이러한 화학 반응을 화학 반응식으로 나타내어 보자.

버스에 사용하는 기체 연료인 압축 천연 가스의 주성분은 메테인이다. 메테인의 연소 반응은 공기 중의 산소와 결합하는 반응으로, 이산화탄소와 물이 생성된다.

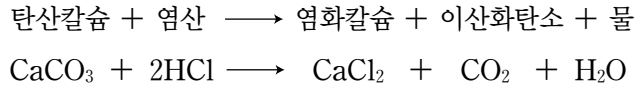


메테인

빵을 구울 때 부풀어 오르는 이유는, 제빵가루의 주성분인 탄산수소나트륨을 가열하면 이산화탄소 기체가 발생하기 때문이다.



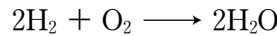
달걀 껍데기나 석회암의 주성분은 탄산칼슘이다. 탄산칼슘에 염산을 가하면 이산화탄소가 발생하면서 녹는다. 이 반응을 이용하면 암석 중에서 석회암의 주성분인 탄산칼슘을 확인할 수 있다.



2 화학 반응에서의 양적 관계

화학 반응식은 반응물질로부터 어떤 생성물질이 만들어지는가뿐만 아니라 반응 전후 물질의 양이 어떻게 변하는지도 나타낸다. 즉, 반응에 관여하는 각 물질의 입자 수, 질량 관계, 기체의 경우는 부피 관계를 나타낸다.

예를 들어, 수소와 산소가 반응하여 수증기가 되는 반응을 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



- 수소, 산소의 원자량
H = 1
O = 16

위의 화학 반응식에서 반응물질과 생성물질 사이의 분자 수의 비는 수소 : 산소 : 수증기 = 2 : 1 : 2이며, 질량비는 수소 : 산소 : 수증기 = 1 : 8 : 9이다.

그리고 부피 비는 수소 : 산소 : 수증기 = 2 : 1 : 2이다.

이 내용을 표로 정리하면 다음과 같다.

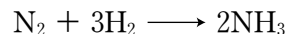
- 수소, 산소, 물의 분자량
H₂ = 1×2 = 2
O₂ = 16×2 = 32
H₂O = 1×2+16 = 18

표 I-4 화학 반응식에서의 양적 관계

화학 반응식	2H ₂	+	O ₂	→	2H ₂ O
몰수 비	2		1		2
분자 수(개)	(6.02×10 ²³)×2		(6.02×10 ²³)×1		(6.02×10 ²³)×2
분자 수의 비	2		1		2
질량(g)	4		32		36
질량비	1		8		9
부피(L) (0°C, 1기압)	22.4×2		22.4×1		22.4×2
부피 비	2		1		2

이와 같이 화학 반응식에서 계수 비는 각 물질의 입자 수의 비를 나타내고, 기체의 경우는 부피 비를 나타낸다.

다음의 암모니아 합성 반응식에서 암모니아 34 kg을 생산하는 데 필요한 수소의 질량을 계산하여 보자.



먼저 암모니아의 질량 34 kg을 몰수로 바꾼다.

$$34 \times 10^3 \text{ g} \div 17 \text{ g/몰} = 2 \times 10^3 \text{ 몰}$$

화학 반응식으로부터, 2몰의 암모니아를 생산하기 위해서는 3몰의 수소가 필요하므로, 암모니아 2×10^3 몰을 생산하기 위해서는 3×10^3 몰의 수소가 필요하다. 따라서 암모니아 34 kg을 생산하는 데 필요한 수소의 질량은 6 kg이다.

$$3 \times 10^3 \text{ 몰} \times 2 \text{ g/몰} = 6 \times 10^3 \text{ g} = 6 \text{ kg}$$

이때 수소의 질량을 부피로 나타내면 0°C , 1기압에서 $67.2 \times 10^3 \text{ L}$ 이다.

$$3 \times 10^3 \text{ 몰} \times 22.4 \text{ L/몰} = 67.2 \times 10^3 \text{ L} (0^\circ\text{C}, 1\text{기압})$$

• 기체의 부피는 온도와 압력이 변하면 달라진다.

익히기

가정용 연료로 사용하는 프로페인의 연소 화학 반응식에서 다음과 같은 양적 관계를 알아낼 수 있다.

	프로페인	+	산소	→	이산화탄소	+	수증기
화학 반응식	C_3H_8	+	5O_2	→	3CO_2	+	$4\text{H}_2\text{O}$
질량(g)	44		5×32		3×44		4×18
기체의 부피(L) (0°C , 1기압)	22.4		5×22.4		3×22.4		4×22.4
몰 수(mol)	1		5		3		4
분자 수(개)	6.02×10^{23}		$5 \times 6.02 \times 10^{23}$		$3 \times 6.02 \times 10^{23}$		$4 \times 6.02 \times 10^{23}$

다지기

수소를 태워 물 90 g을 얻었다. 다음 물음에 답하여라.

- (1) 화학 반응식을 완성하여라.
- (2) 물 분자 1개의 질량은 몇 g인가?
- (3) 물 90 g은 몇 몰인가?
- (4) 물 90 g에는 물 분자가 몇 개 있는가?
- (5) 물 90 g을 얻는 데 꼭 필요한 산소의 양은 몇 g인가?



1. 철과 황의 반응을 화학 반응식으로 나타내어라.
2. 수소를 태워서 36 g의 물을 얻으려면 몇 g의 수소를 연소시켜야 할까?

도전문제

- 1 (어휘) 다음 용어를 설명하여라.
 (1) 원소 기호 (2) 화학식 (3) 원소 분석
 (4) 실험식 (5) 불꽃 반응
- 2 (비판적 사고) 기체 연료인 메테인(CH_4)이 불완전 연소할 때와 완전 연소할 때 생성되는 기체가 인체에 미치는 영향은 어떤 차이가 있는지 토의하여 보자.
- 3 (모둠 활동) 현재 사용하는 원소 기호 작성의 유래를 조사해 보고, 여러 원소의 원소 기호가 혼동되는지 토의하여 보자.
- 4 (의사소통) 제빵가루의 주성분인 탄산수소나트륨을 가열할 때 일어나는 화학 반응을 써 보고, 왜 빵을 구울 때 이 화합물을 사용하는지 의견을 나누어 보자.
- 5 (적용) 수소와 산소의 혼합 기체를 태우면 폭발적으로 반응하여 물이 생성된다. 이 반응의 화학 반응식을 완성한 후 반응물질과 생성물질의 몰수 비를 구하여라.



인성 기르기

우리가 일상 이용하고 있는 버스는 중요한 대중교통 수단으로 시민의 발 역할을 해 준다. 오랫동안 버스의 연료로 경유를 사용하여 왔는데, 연소한 후에 생기는 배출 가스로 인한 공해를 줄이기 위하여 오염 물질이 적은 압축 천연 가스로 대체하였다. 그런데, 버스의 압축 천연 가스 탱크가 폭발하는 사고가 일어난 일이 있다.

한편 수소 기체를 연료로 전기를 발생시켜 달리는 수소 연료 전지 자동차가 개발되어, 높은 연료 효율 및 대기 오염과 온실 가스를 줄일 수 있는 무공해 자동차로 기대되고 있다.



▶ 수소 연료 전지 자동차

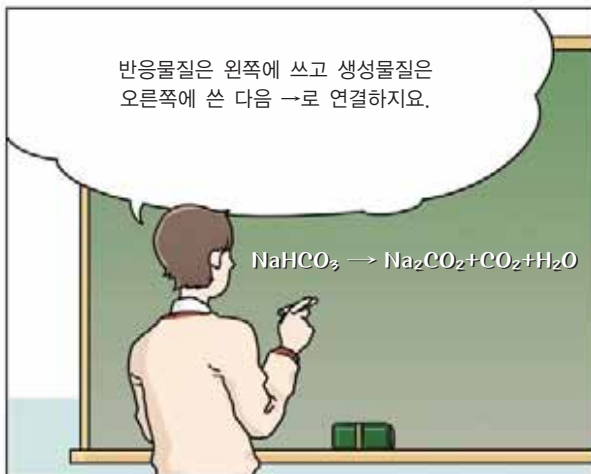
1. 버스를 이용하는 시민과 운전자, 버스 운송업자로 역할을 나누어 사고 예방에 대한 대책을 토의하여 보자.
2. 수소 연료 전지 자동차가 압축 천연 가스 자동차보다 안전하고 유익한지 조사하여 보자.



토의·조사



만화로 보는 정리





기체 연료

가정이나 식당, 버스에 사용하는 기체 연료에 대하여 알아보자.

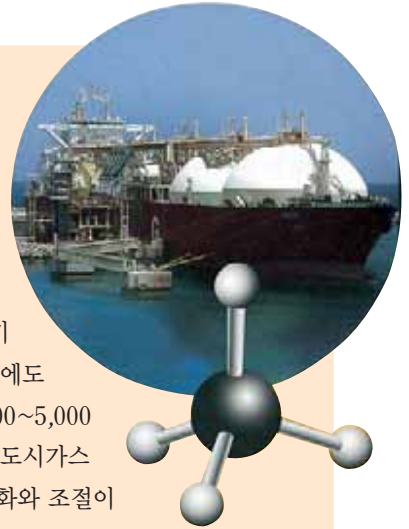
자료 1
LPG

석유의 성분 중에서 끓는점이 낮은 프로페인, 뷰테인 가스 등을 상온에서 가압하여 액화시킨 것을 액화 석유 가스, LPG(Liquefied Petroleum Gas) 또는 LP 가스라고 한다. 이 가스를 소형 압력 용기(봄베)에 넣어 가정이나 영업 장소, 공장에서 연료로 사용하며, 자동차에도 가솔린 대신 사용하고 있다. 발열량은 1 m³당 약 24,000 kcal로, 도시가스의 4,000~5,000 kcal보다 매우 높다. LPG의 칼로리 당 비용은 등유나 도시가스보다 많이 들지만, 도시가스 배관이 되어 있지 않은 지역에서는 LPG가 운반이나 장치가 간단하고, 등유보다 점화와 조절이 수월하기 때문에 널리 이용되고 있다.

자료 2
CNG

천연가스를 약 200기압으로 압축시킨 것을 압축 천연 가스, CNG(Compressed Natural Gas)라고 한다. 천연가스의 주성분인 메테인은 1기압에서 -161.5℃ 이하로 내려가면 액체가 되는데, 액화된 메테인의 부피는 0℃, 1기압에서의 부피의 $\frac{1}{600}$ 정도이고, 비중은

0.42로 원유의 비중의 약 $\frac{1}{2}$ 이 된다. 이 때문에 천연가스를 액화함으로써 수송 및 저장하는 데 이점이 있다. 우리나라에서는 인도네시아 천연가스를 수입해서 사용하고 있는데, 현지에서 액화시킨 다음 특수 설비된 운반선으로 수송하고 있다. 이곳에서 다시 기체 상태로 된 천연가스는 배관을 통하여 각 가정으로 공급되고 있다.



기체 연료의 성질

기체 연료	화학식	비중(공기=1)	발열량(kcal/m ³)
일산화탄소	CO	0.966	3050
메테인	CH ₄	0.553	9520
프로페인	C ₃ H ₈	1.452	22540
뷰테인	C ₄ H ₁₀	2.004	32010
도시가스	—	0.5~0.7	5000

1 다음 용어를 설명하여라.

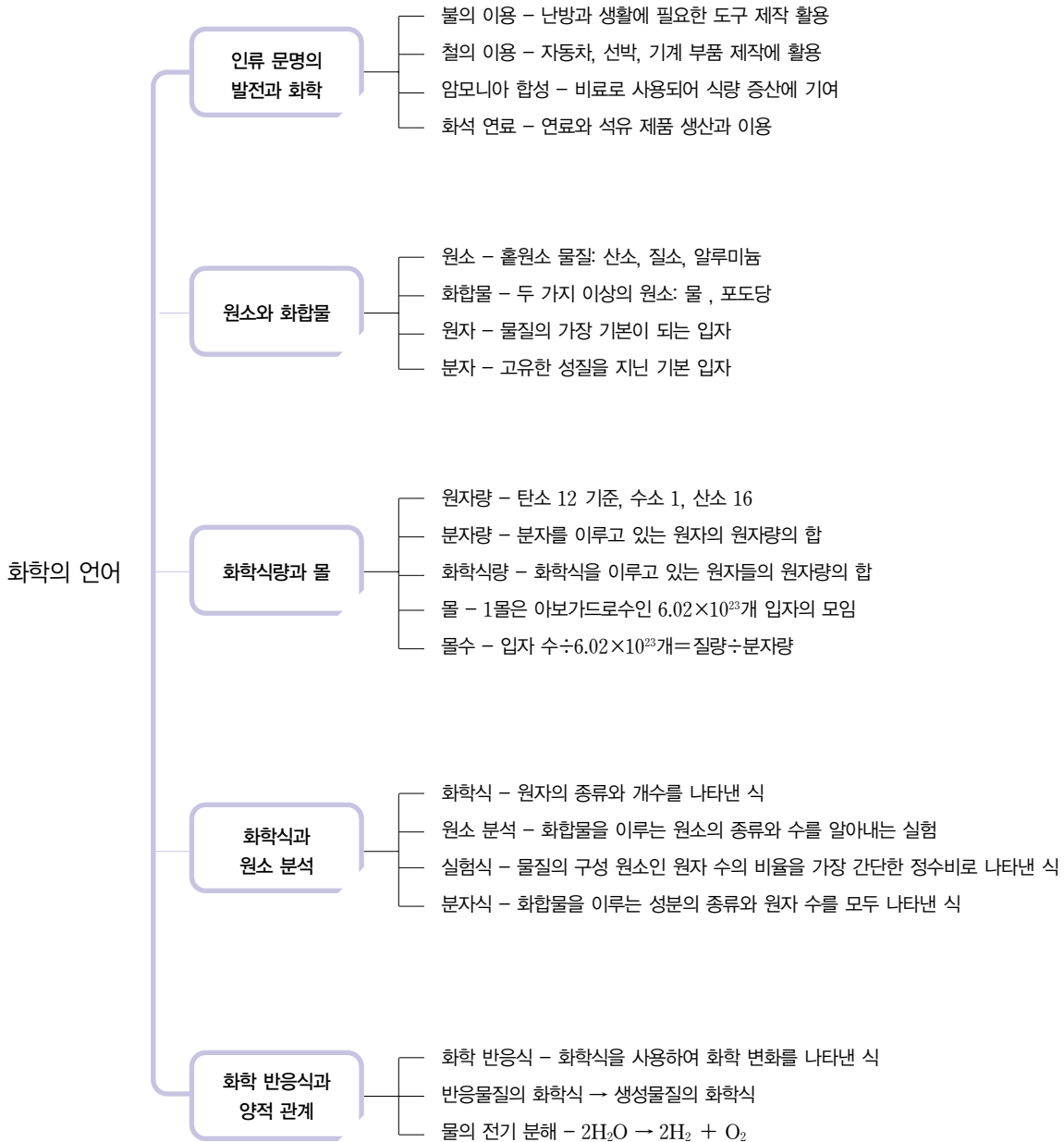
- (1) LPG (2) 프로페인
(3) CNG (4) 기체 연료

2 (1) 메테인의 연소 반응식을 써라.
(2) 프로페인의 연소 반응식을 써라.

3 LPG와 CNG가 누출될 때 행동 대책을 글로 써 보자.

대단원의 정리

개념정리



* 부피 비	2 : 2 : 1
* 몰수 비	2 : 2 : 1
* 질량비	9 : 1 : 8



정리문제

♣ 다음 <보기>의 개념을 () 안에 넣어 문장을 완성하여라.

— < 보기 —			
• 실험식	• 화학 반응식	• 분자식	
• 화합물	• 원자량	• 분자량	• 원소 분석

1 포도당은 탄소, 수소, 산소로 이루어진 ()로서 ()은 CH_2O 이며, 분자량이 180이므로 ()은 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 이다.

2 ()의 기준은 탄소 12로, 수소의 상대적 질량은 1이다. 따라서 수소(H_2)의 ()은 2이다.

3 화학식을 사용하여 화학 변화를 나타낸 것이 ()이다.

4 ()은 화합물을 이루고 있는 원소의 종류와 구성비를 알아내는 실험이다.

♣ 다음 진술 내용이 옳으면 ○, 옳지 못하면 ×를 () 안에 표시하여라.

5 플루오린의 원소 기호는 N이다. ()

6 수소 원자량은 1, 산소 원자량은 16이므로, 물의 분자량은 17이다. ()

7 4몰의 철이 3몰의 산소와 반응하면 2몰의 산화철(III)이 생성된다. ()

8 다음은 염화리튬에 관한 설명이다. 옳지 않은 것은?

- ① 염화리튬의 화학식은 LiCl 이다.
- ② 두 가지 원소가 결합된 혼합물이다.
- ③ 불꽃 반응색은 붉은색이다.
- ④ 수용액에 질산은을 가하면 흰색 앙금이 생긴다.
- ⑤ 염화 이온과 리튬 이온이 결합된 물질이다.

9 수소 분자 0.5몰에는 몇 개의 원자가 들어 있을까?

대단원의 종합문제

- 1 — 다음 <보기>는 불과 철의 이용이 인류 문명 발전에 영향을 끼친 내용을 서술한 것이다. <보기>의 내용 중 옳은 것을 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 철의 원광석에는 산소가 결합되어 있으므로 코크스를 사용하여 철을 얻을 수 있어서 도구나 농기구를 만들어 사용하게 되었다.
 ㄴ. 화석 연료의 연소는 공기 중의 산소와 결합하는 화학 반응으로, 열에너지를 얻는 데 이용하여 왔다.
 ㄷ. 불은 음식을 익히고 건조시키고 난방에 이용하였으나, 금속의 제련에는 이용할 수가 없었다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 2 — 다음은 에탄올(C_2H_6O)이 연소할 때의 화학 반응식을 완결하는 과정을 나타낸 것이다.

- (가) $C_2H_6O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
 (나) $C_2H_6O + O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$
 (다) $C_2H_6O + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$
 (라) $C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

이 과정에 대한 설명으로 바르지 않은 것은?

- ① (가)는 반응물질은 왼쪽에, 생성물질은 오른쪽에 화학식으로 나타낸 것이다
 ② (나)는 탄소 원자의 수가 같도록 이산화탄소의 계수를 맞춘 것이다.
 ③ (다)는 수소 원자의 수가 같도록 물의 계수를 맞춘 것이다.
 ④ (라)는 1몰의 에탄올이 연소하는 데 3몰의 산소가 쓰였다.
 ⑤ (라)에서 반응물질의 총 몰수와 생성물질의 총 몰수는 같다.

- 3 — 산소 분자(O_2) 1몰에 대한 양은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

분자 수	부피($0^\circ C$, 1기압)	질량	산소 원자의 수	산소 원자의 몰수
6.0×10^{23} 개	22.4 L	32 g	1.2×10^{24} 개	2몰

산소 기체 16 g에 포함된 산소 분자의 수와 입자 수가 같은 것을 <보기>에서 모두 고른 것은? (단, 원자량은 수소 1, 탄소 12, 산소 16이다.)

< 보기 >

- ㄱ. 물(H_2O) 9 g에 포함된 물 분자의 수
 ㄴ. 물 분자 3.0×10^{23} 개에 포함된 수소 원자의 수
 ㄷ. 이산화탄소(CO_2) 0.25몰에 포함된 산소 원자의 수
 ㄹ. $0^\circ C$, 1기압에서 수소 기체(H_2) 22.4 L에 포함된 수소 분자의 수

- ① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ ③ ㄱ, ㄹ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄹ

- 4 — 다음은 몸무게 60 kg인 사람을 기준으로 우리 몸을 구성하고 있는 주요 원소들에 대한 자료를 제시한 것이다. (단, A, B, C, D는 임의의 원소이다.)

원소	60 kg 중에서 차지하는 질량(kg)	상대적 원자량
A	36.0	16
B	11.7	12
C	5.3	1
D	2.9	14

위의 자료로부터 추론할 수 있는 것으로 옳은 것은?

- ① 인체 내 주요 원소 중 A 원자의 수가 가장 많다.
- ② 인체 내 주요 원소 중 A 원자의 크기가 가장 크다.
- ③ 인체 내 주요 원소 중 B와 C는 몰수가 같다.
- ④ 인체 내 주요 원소 중 C 원자의 수가 가장 많다.
- ⑤ 인체 내 주요 원소 중 D 원자가 가장 무겁다.

- 5 — 어떤 기체 상태의 물질을 0°C, 1기압에서 5.6 L 취하여 질량을 재어 보았더니 11.0 g이었다.

이 물질의 분자량을 구하려고 할 때 <보기>에서 이용해야 할 것을 있는 대로 고른 것은?

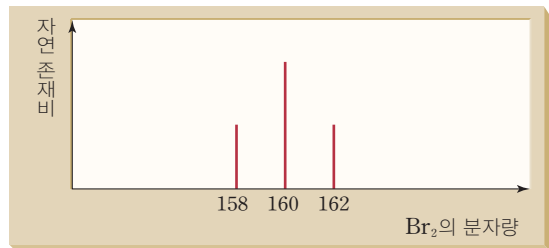
< 보기 >

ㄱ. 기체 1 몰의 부피 22.4 L
 ㄴ. 5.6 L의 몰수
 ㄷ. 이 기체 1 몰의 질량

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 6 — 수소 원자는 세 가지 동위 원소(^1H , ^2H , ^3H)로 존재하며, 오른쪽 그림은 브로민 분자(Br_2)의 분자량과 자연 존재비를 나타낸 것이다.

위의 자료에 대한 추론으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



< 보기 >

ㄱ. 브로민 원자(Br)는 두 가지 동위 원소로 존재한다.
 ㄴ. 분자량이 서로 다른 9가지의 HBr가 가능하다.
 ㄷ. 여러 종류의 HBr 중 분자량이 가장 작은 것은 80이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

인류 문명의 발전과 과학



인간은 불을 발견하고 이용하게 되었다.



불을 이용하여 난방을 할 줄 알게 되자 거주 지역이 넓어졌다.

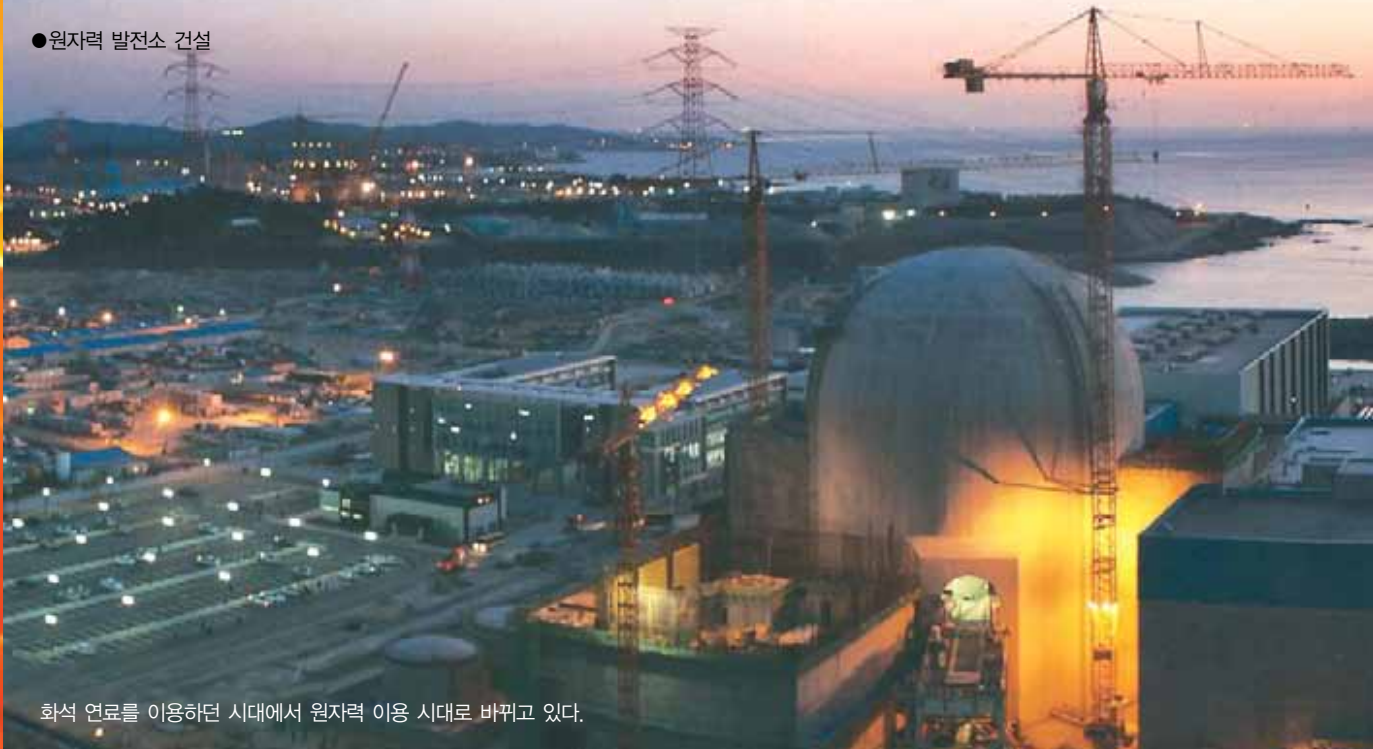


인류가 먼저 발견한 금속은 금이었다.



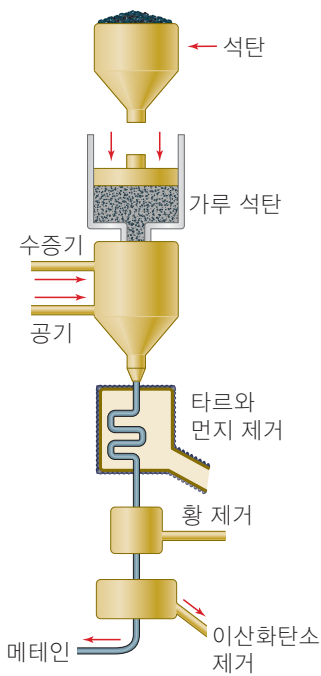
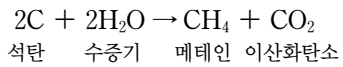
불을 사용하면서 우연히 구리를 발견하였다.

● 원자력 발전소 건설



화석 연료를 이용하던 시대에서 원자력 이용 시대로 바뀌고 있다.

석탄의 가스화

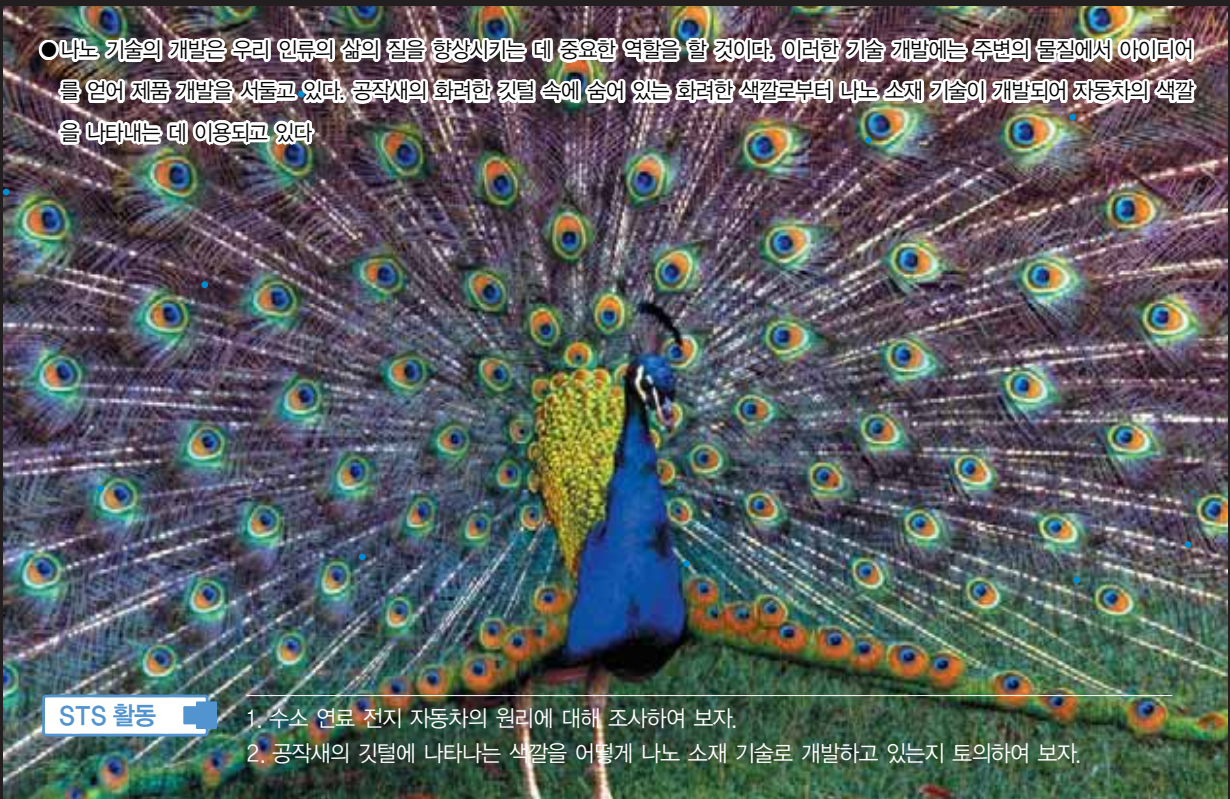


태양으로부터 무공해 에너지를 얻는 태양광 발전 시설을 이용하고 있다.



청정에너지를 이용한 수소 자동차가 개발되어 도로 위를 달린다.

○나노 기술의 개발은 우리 인류의 삶의 질을 향상시키는 데 중요한 역할을 할 것이다. 이러한 기술 개발에는 주변의 물질에서 아이디어를 얻어 제품 개발을 서둘러 있다. 공작새의 화려한 깃털 속에 숨어 있는 화려한 색깔로부터 나노 소재 기술이 개발되어 자동차의 색깔을 나타내는 데 이용되고 있다

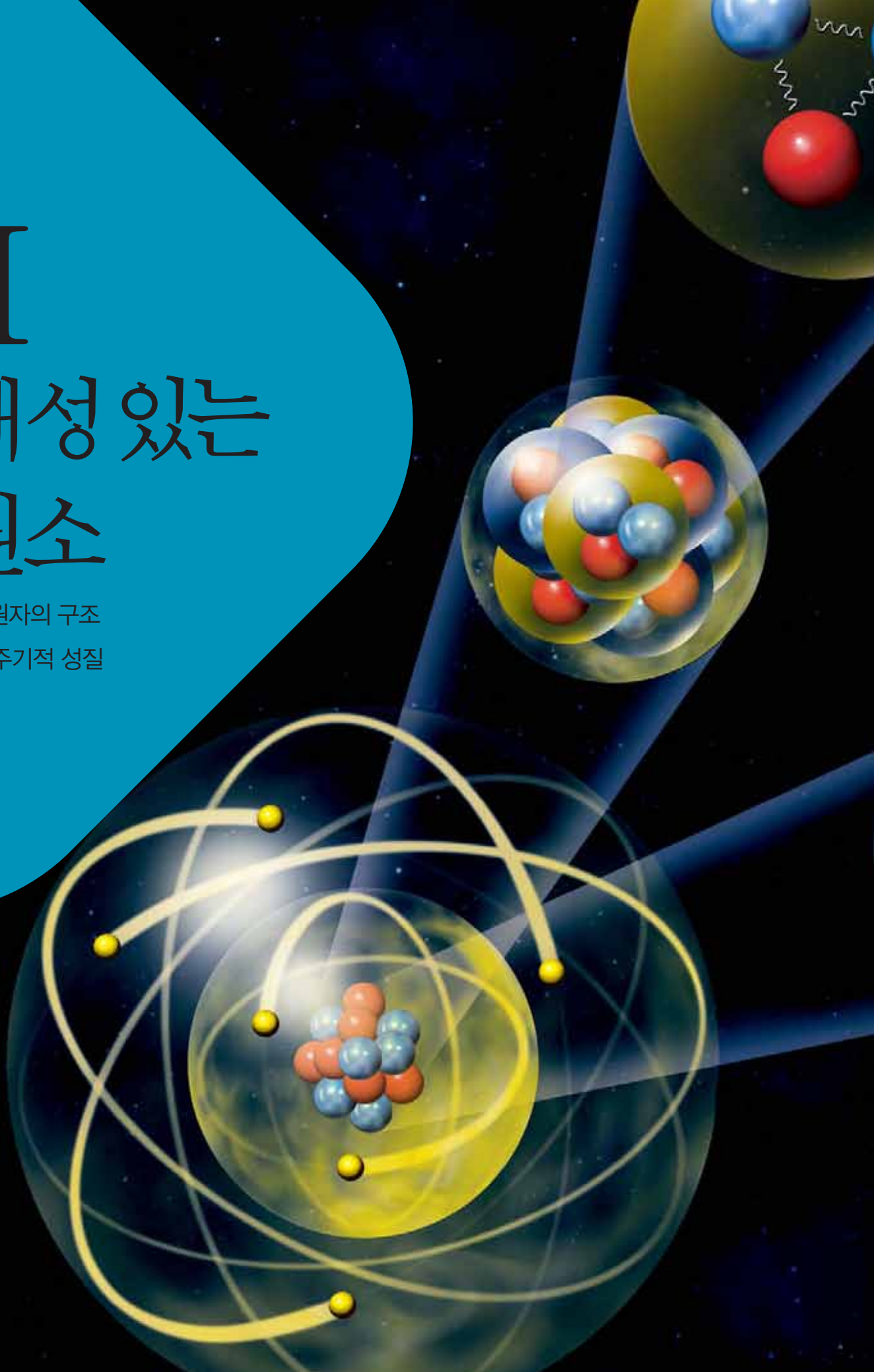


STS 활동

1. 수소 연료 전지 자동차의 원리에 대해 조사하여 보자.
2. 공작새의 깃털에 나타나는 색깔을 어떻게 나노 소재 기술로 개발하고 있는지 토의하여 보자.

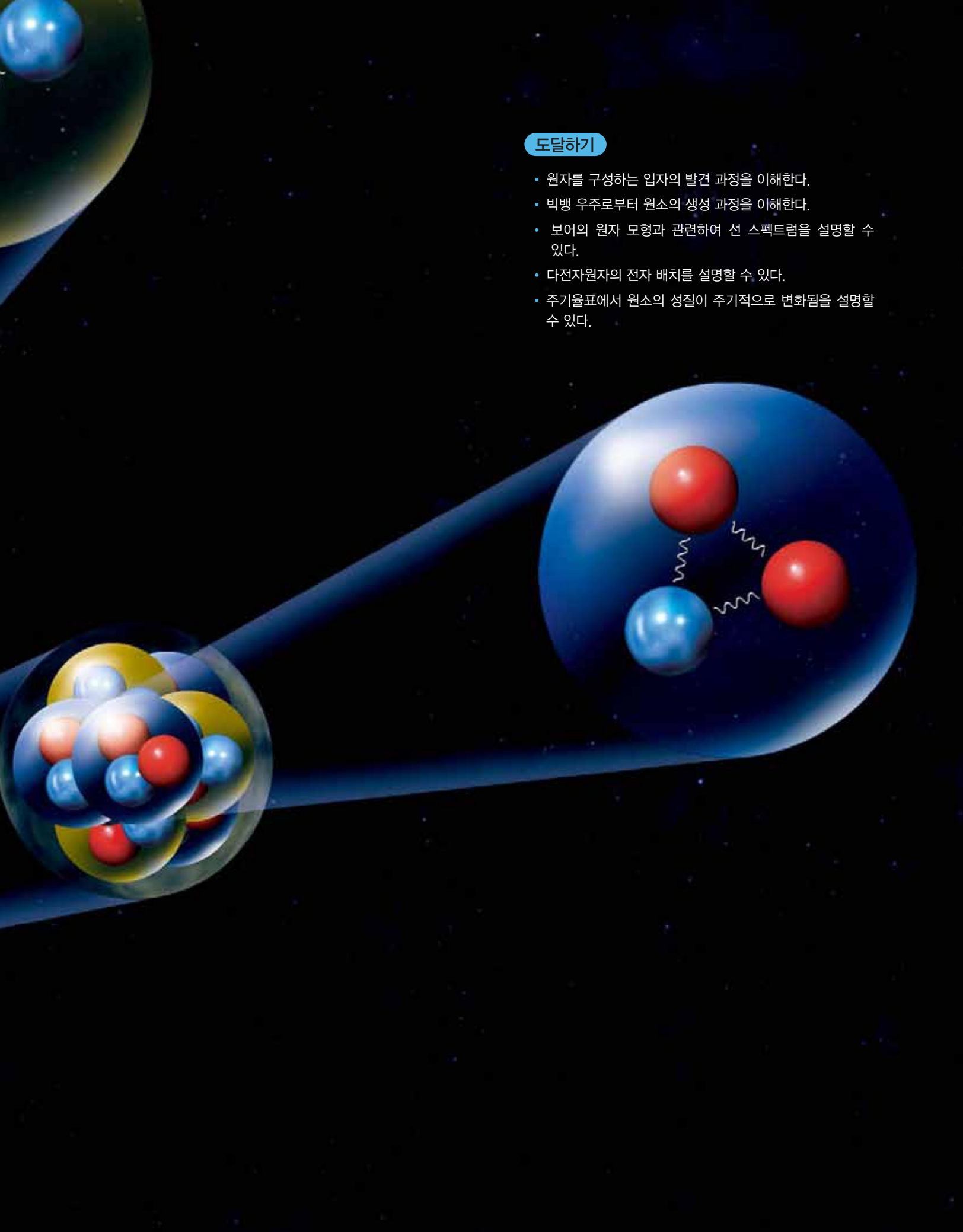
II 개성 있는 원소

1. 원자의 구조
2. 주기적 성질



도달하기

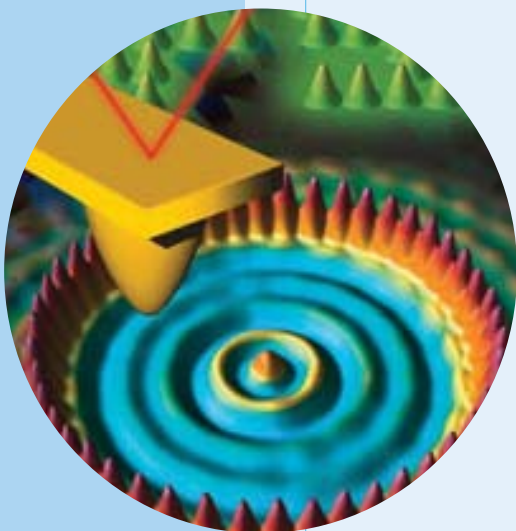
- 원자를 구성하는 입자의 발견 과정을 이해한다.
- 빅뱅 우주로부터 원소의 생성 과정을 이해한다.
- 보어의 원자 모형과 관련하여 선 스펙트럼을 설명할 수 있다.
- 다전자원자의 전자 배치를 설명할 수 있다.
- 주기율표에서 원소의 성질이 주기적으로 변화됨을 설명할 수 있다.



1

원자의 구조

1-1 원자의 구성 입자	56
1-2 원소의 기원과 동위 원소	64
1-3 보어의 원자 모형	70
1-4 오비탈과 전자 배치	75



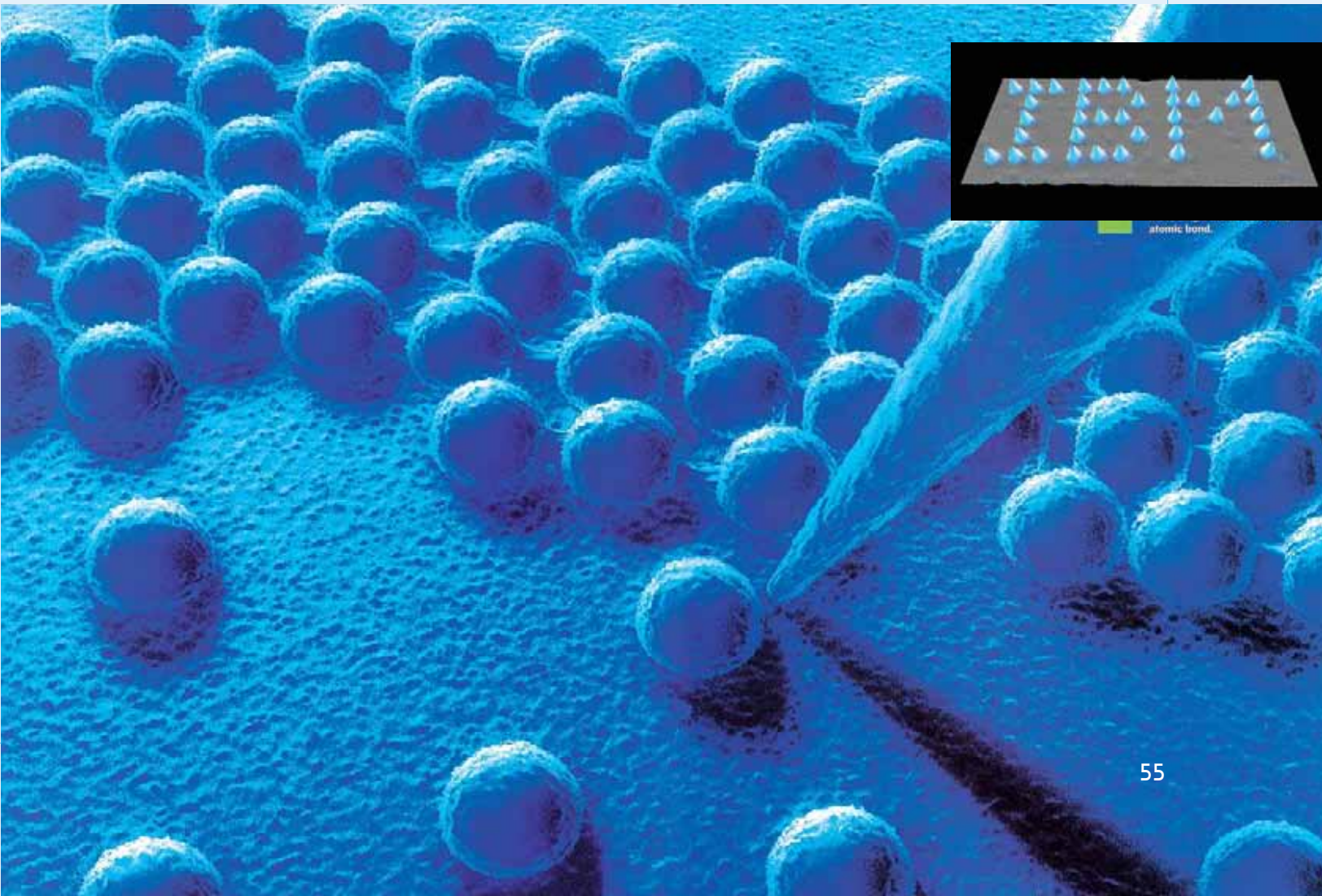
▲ 주사 터널 현미경을 사용하여 얻은 철 원자의 상

인물 소개

물질을 이루고 있는 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있다. 원자핵은 더 작은 기본 입자인 소립자로 이루어져 있다. 원자를 이루는 입자들은 어떻게 발견되었을까?

보어는 러더퍼드의 원자 모형을 수정하였는데 어떤 점을 주장하였을까? 보어 원자 모형과 현대의 원자 모형은 어떻게 다를까? 또한 원자 내에서 전자들의 행동을 어떻게 설명하고 있을까?

이 단원에서는 원자를 구성하고 있는 입자와 원소의 기원 및 원자의 전자 배치에 대해 학습한다.



1-1 원자의 구성 입자



다가서기

- 원자를 구성하고 있는 입자의 발견 과정을 이해한다.
- 원자를 구성하는 입자의 종류와 성질을 이해한다.

핵심 용어

- 전자
- 원자핵
- 양성자
- 중성자
- 쿼크
- 원자 번호
- 질량수

금은 무엇으로 이루어져 있을까? 그림 II-1에서 보는 것과 같이, 금덩어리를 계속 쪼개면 금을 이루고 있는 기본 입자를 알아낼 수 있을까?

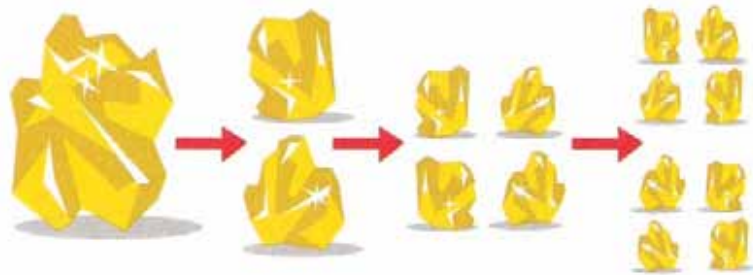
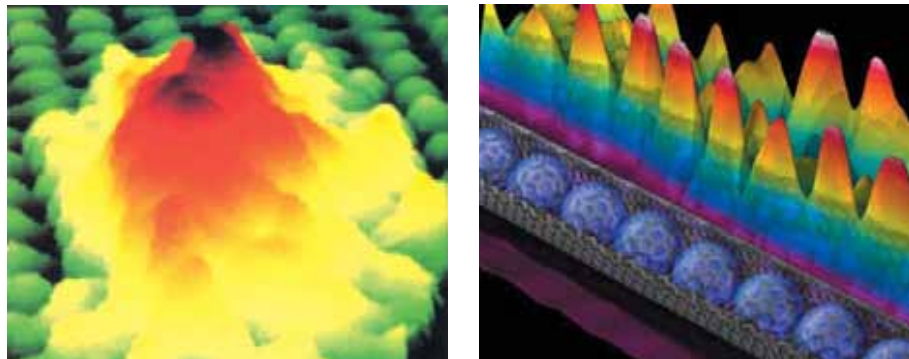


그림 II-1 금을 더 작게 쪼개 나갈 때의 모형

‘물질은 무엇으로 이루어져 있는가?’에 대한 논쟁이 고대 학자들 사이에 오랫동안 계속 되어 온 이후, 그리스의 데모크리토스는 ‘물질은 더 이상 쪼개지지 않는 원자로 이루어져 있다’라고 생각하였다. 데모크리토스의 생각은 19세기 초에 돌턴에 의해 다시 빛을 보게 되었다.

돌턴은 수소, 질소, 산소 등 모든 기체가 원자로 이루어져 있으며, 원자는 더 이상 쪼갤 수 없는 가장 기본이 되는 입자라고 주장하였다. 그러나 오늘날 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있음을 알게 되었으며, 성능이 좋은 전자 현미경을 이용하여 그림 II-2에 나타낸 것과 같이 금 원자의 상(가)과 탄소 원자로 이루어진 탄소 나노 튜브의 상(나)도 얻을 수 있게 되었다.



(가)

(나)

그림 II-2 흑연 위의 금 원자 상(가)과 탄소 원자로 이루어진 나노 튜브(나)

현재 알려져 있는 원자의 구성 입자에는 어떤 것이 있으며, 이들 입자를 어떻게 발견하였는지 알아보자.



톰슨(Thomson, Sir J. J.: 1856~1940) 영국의 물리학자. 전자의 존재를 확인하고 질량을 측정하였으며 원자 모형을 고안하였다.

1 전자의 발견

과학자들은 원자의 구성 입자인 전자를 어떻게 발견하였을까?

톰슨은 그림 II-3과 같은 실험 장치의 진공관 안에 낮은 압력의 기체를 넣고 높은 전압을 걸어 음극 쪽에서 양극 쪽으로 빛을 내며 직진하는 선이 흐르는 것을 관찰하였는데, 이 선이 **음극선**이다.

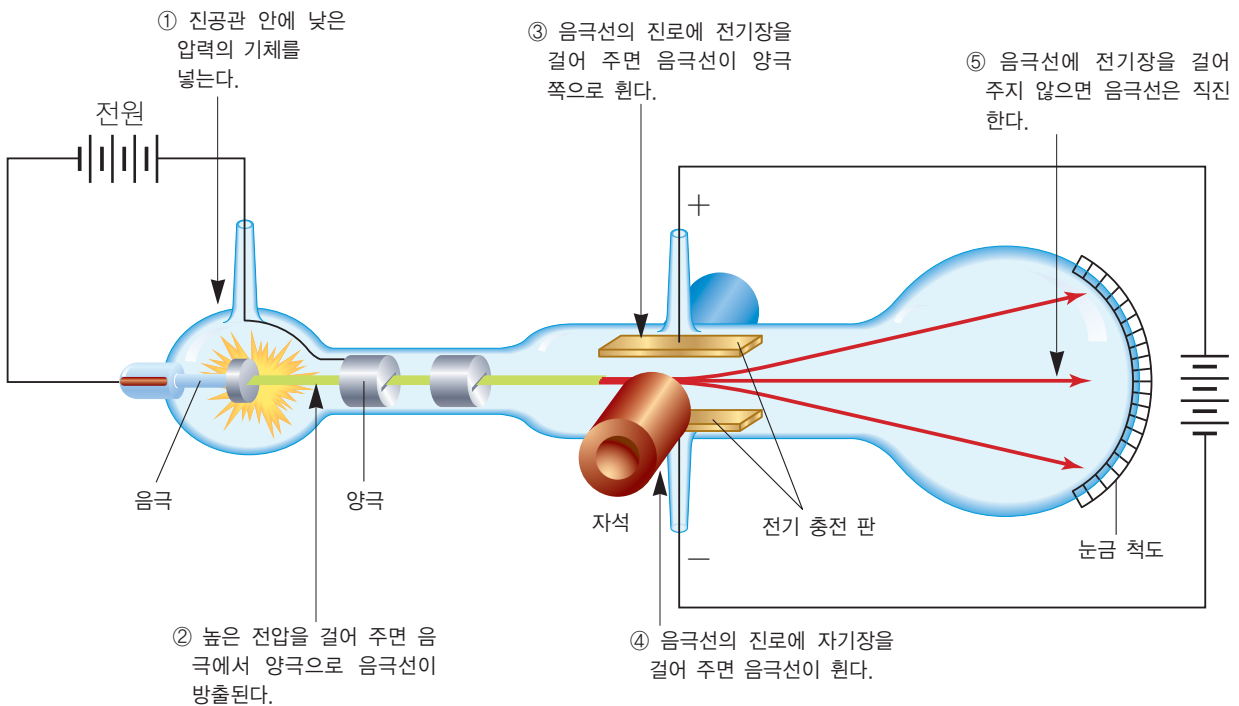


그림 II-3 톰슨의 음극선 실험 장치

톰슨은 외부에서 전기장이나 자기장을 걸어 줄 때 음극선이 휘는 것을 관찰하고, 음극선은 질량을 가지며 음전하를 띤 입자의 흐름이라는 것을 밝혔다. 이 입자가 **전자**이다.

또한 톰슨은 전자의 질량에 대한 전하량의 비를 밝혀내었다.

$$\frac{\text{전자의 전하량}}{\text{전자의 질량}} = \frac{e}{m} = 1.76 \times 10^8 \text{ C/g}$$

이 값은 진공관에 넣어 준 기체의 종류와 전극으로 사용한 금속의 종류에 관계 없이 일정하였다.

톰슨은 실험 결과를 토대로, 고전압을 걸어 주었을 때 음극선과 같은 전자의 흐름이 생기기 위해서는 양전하를 띤 공 모양의 물체에 음전하를 띤 전자가 박혀 있

어야 한다고 생각하였다. 그림 II-4에서 보는 것과 같이, 건포도가 박힌 플럼 푸딩처럼 전자가 양전하 속에 묻혀 있는 원자 모형을 제시하여 원자의 구조를 이해하는 기초를 마련하였다.

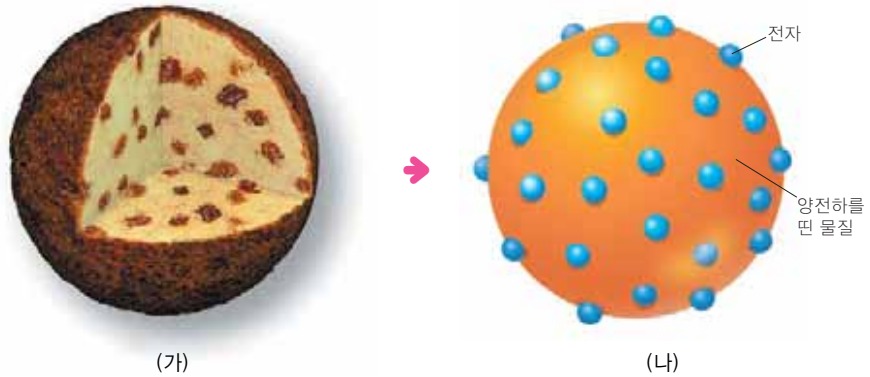


그림 II-4 영국 전통의 플럼 푸딩(가)과 톰슨의 원자 모형(나)



1. 음극선은 어떤 전하를 가진 입자인가?
2. 톰슨이 전자의 흐름을 관찰한 실험 장치는 무엇인가?

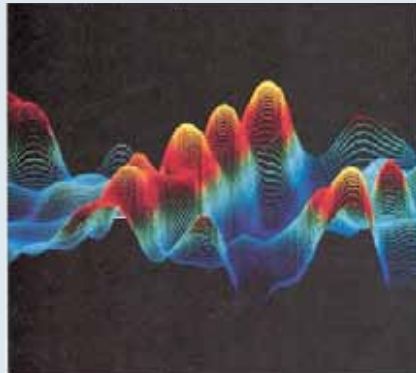
과학 기술

전자 현미경

톰슨이 전자를 발견한 후 30년이 지나서 과학자들은 전자 빔을 사용하여 원자의 상을 얻는 방법을 고안해 내었다.

일반 광학 현미경은 물체를 확대하기 위하여 빛과 렌즈를 사용하는데, 전자 현미경은 자기장이나 전기장을 구성하는 렌즈와 전자 빔을 사용한다.

전형적인 광학 현미경은 배율이 1,000배 정도이지만, 전자 현미경은 물체를 10만 배 이상 확대한 상을 얻을 수 있다.



▲ 주사 터널 전자 현미경으로 얻은 DNA의 이중 나선의 상



▲ 약 5 mm 크기의 개미가 마이크로칩을 턱에 물고 있는 모습을 전자 현미경으로 확대한 상

STS 활동

현재 어떤 전자 현미경이 개발되고 있는지 조사해 보고, 새로 고안된 전자 현미경의 장점에 대해 토의하여 보자.

2 원자핵의 발견

1911년에 러더퍼드는 얇은 금박을 사용한 알파(α) 입자 산란 실험으로 원자 내의 양전하는 원자의 중심에 집중되어 있다는 사실을 발견하였다.

러더퍼드는 그림 II-5와 같은 장치를 이용하여 라듐에서 방출되는 높은 에너지의 알파 입자를 금으로 된 얇은 막에 충돌시켜 보았다. 알파 입자의 대부분은 금박을 그대로 통과하여 금박 뒤편의 형광판에서 반짝이는 섬광을 나타내었다. 그런데 알파 입자 약 10,000개 중 1개 정도가 큰 각도로 튕겨 나오는 것을 관찰하였다.

러더퍼드는 알파 입자 산란 실험 후 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 원자의 내부는 대부분이 빈 공간이다.
- 원자의 중심에 크기가 매우 작으며, 원자 질량의 대부분을 차지하는 양전하를 띤 입자가 있다.

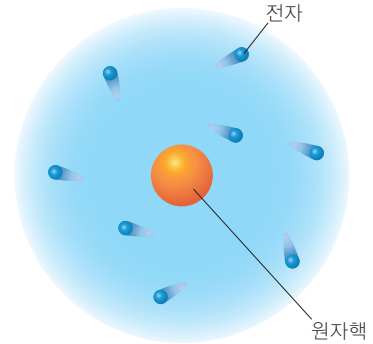
이 원자의 중심 부분이 오늘날의 원자핵이다.

1919년에 러더퍼드는 질소 원자에 알파 입자를 충돌시켰을 때 양전하를 띤 가벼운 입자가 튀어 나오는 실험을 하였다.

이 입자가 모든 원소에 들어 있는 양전하를 가진 기본적인 입자임을 확신하고, 이를 양성자라고 이름 붙였다.

| 알파 입자 |

방사성 물질에서 방출되는 입자 중의 하나로, 헬륨의 원자핵 (He^{2+})이다.



▲ 러더퍼드의 원자 모형

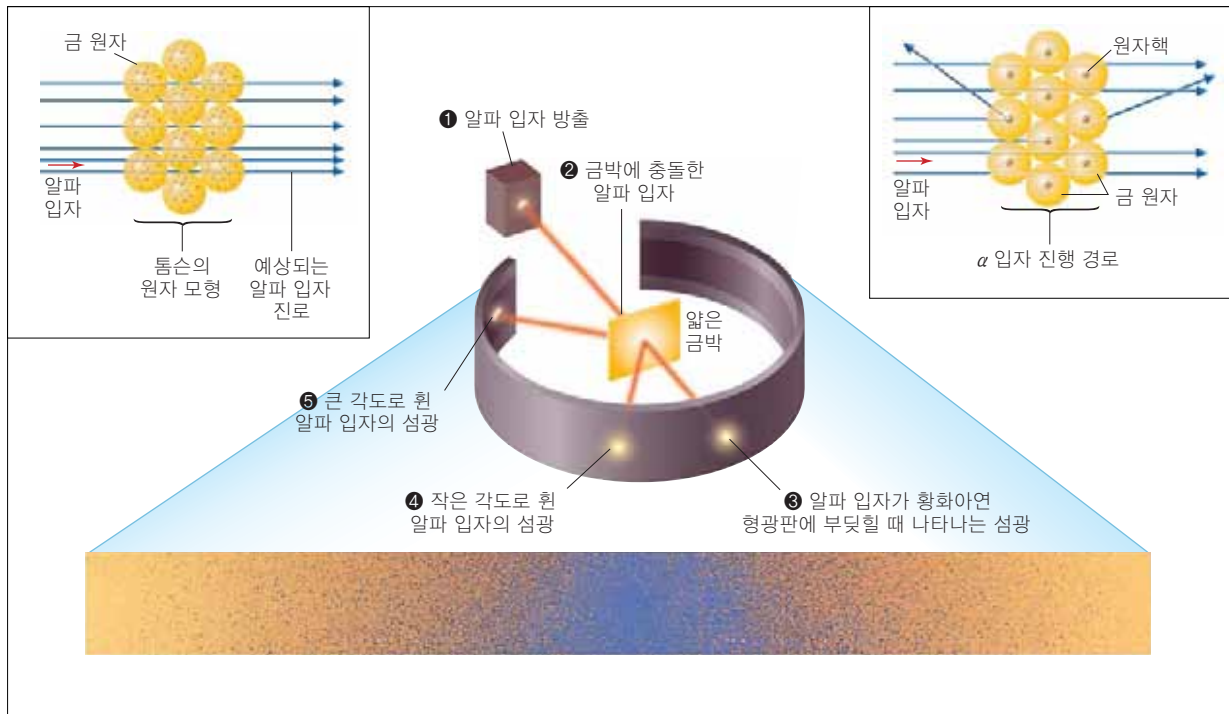


그림 II-5 러더퍼드의 알파 입자 산란

러더퍼드는 양성자 발견 이후에 새로운 의문이 떠오르기 시작하였다. 만일 전자와 양성자가 반대 전하를 띠고 있고 원자가 중성이라면, 같은 수의 전자와 양성자를 가지고 있어야 한다.

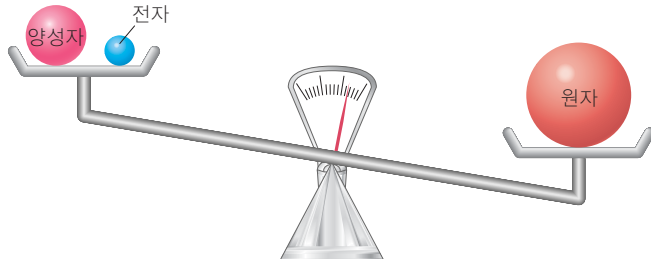


그림 II-6 원자와 양성자, 전자의 질량 비교



채드윅(Chadwick, J.: 1891 ~1974) 영국의 물리학자. 1932년에 중성자를 발견하고, 1935년에 노벨 물리학상을 받았다.

실험에 의하면, 그림 II-6에 나타난 것과 같이 수소를 제외하고 모든 원자들의 질량은 전자 수와 양성자 수를 합한 질량보다 더 크게 측정되었다.

그로 인하여 원자에는 양성자와 전자 이외의 다른 입자가 존재할 것이라는 가정을 하게 되었다. 채드윅은 베릴륨의 원자핵에 알파 입자를 충돌시켰을 때 전하를 띠지 않으며 투과력이 강한 입자가 방출되는 것을 발견하고, 이 입자를 중성자라고 하였다.

채드윅의 중성자 발견 이후, 양성자만으로 설명할 수 없었던 헬륨(He)의 질량을 설명할 수 있게 되었으며, 그림 II-7과 같이 양성자와 중성자로 이루어진 원자핵을 가지는 새로운 원자 모형이 제안되었다.

러더퍼드 이후 원자의 내부에서 어떤 입자를 발견하였을까?

빅뱅 우주론을 주장하는 과학자들은 지금부터 137억 년 전에 우주에서 초고밀

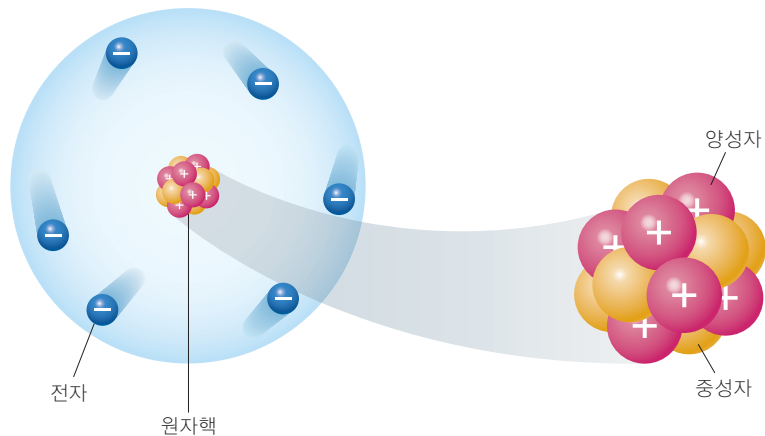
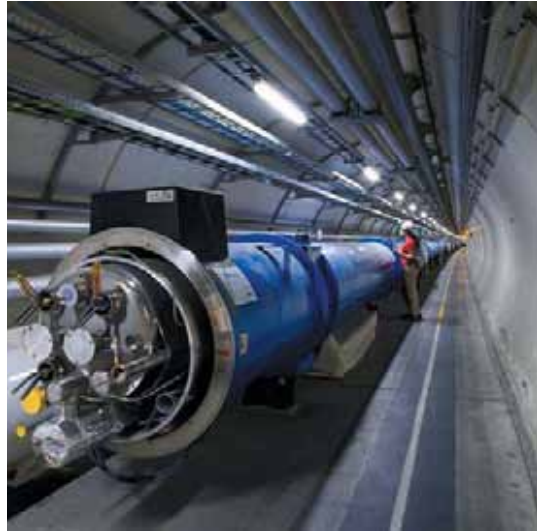


그림 II-7 중성자 발견 후의 원자 모형



(가)

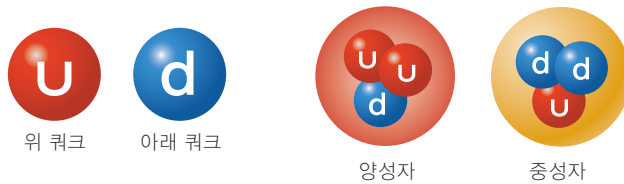
(나)

그림 II-8 페르미 연구소에 설치된 고에너지 입자 가속기의 외부 모습(가)과 내부 모습(나)

도와 초고온 상태에서 입자들이 생성되었는데, 양성자나 중성자가 생성되기 전에 기본 입자인 쿼크가 먼저 생성되었다고 주장하고 있다.

1960년대 초 입자 가속기의 발전으로 원자핵 내부에 쿼크라는 더 작은 기본 입자가 존재한다는 사실이 밝혀졌다. 가속된 전자를 양성자와 중성자에 충돌시킨 실험에서 중성자와 양성자 각각에서 세 개씩의 작고 단단한 기본 입자를 찾아내었다. 이 입자가 쿼크이다.

쿼크 입자의 종류는 위 쿼크와 아래 쿼크 등 6종류가 알려져 있다. 양성자는 두 개의 위 쿼크와 한 개의 아래 쿼크로 이루어져 있으며, 중성자는 한 개의 위 쿼크와 두 개의 아래 쿼크로 이루어져 있다. 쿼크 입자들은 강력한 핵력에 의해 양성자와 중성자를 이룬다.



(가)

(나)

그림 II-9 위 쿼크와 아래 쿼크(가) 및 쿼크로 이루어진 양성자와 중성자(나)



1. 원자의 중심에서 알파 입자가 반발하여 튀어 나온 이유는 무엇 때문일까?
2. 러더퍼드는 톰슨의 원자 모형에서 어떤 점을 더 발전시켰는가?



그림 II-10 원자를 월드컵 경기장이라고 하면 원자핵은 그라운드에 놓여 있는 작은 구슬에 비유된다.

3 원자의 구성 입자의 공통점과 차이점

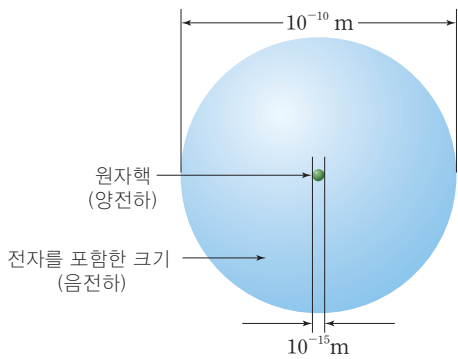


그림 II-11 원자의 크기

우리 주변에 있는 수소, 산소, 질소, 탄소, 철 등의 원자들은 각각 다른 성질을 나타낸다. 이 원자들의 공통점과 차이점은 무엇일까?

실제 원자의 크기는 원자핵 주위에 전자가 존재하는 공간의 의미이다. 현재 밝혀진 원자의 지름은 10^{-10} m 정도이며, 원자핵의 지름은 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ m이다. 원자의 크기를 그림 II-10과 같은 월드컵 경기장이라고 가정하면, 원자핵의 크기는 경기장 안에 놓여 있는 작은 구슬에 비유될 수 있다.

원자를 구성하고 있는 입자들의 몇 가지 성질은 표 II-1과 같다.

표 II-1 원자를 구성하는 입자의 성질

성질		질량 (g)	상대적 질량	전하량(C)	상대적 전하량
입자	양성자	1.673×10^{-24}	1	$+1.602 \times 10^{-19}$	+1
	중성자	1.675×10^{-24}	1	0	0
전자		9.109×10^{-28}	$\frac{1}{1837}$	-1.602×10^{-19}	-1

모든 원자들은 중심에 원자핵을 가지고 있다. 원자핵은 양전하를 띤 양성자를 가지고 있으며, 수소를 제외한 다른 원자들은 전하를 띠지 않은 중성자를 포함하고 있다. 그리고 원자핵 주위에는 음전하를 띤 전자가 있다.

원자핵의 총 양전하량과 전자의 총 음전하량이 같으므로 원자는 중성이다.

표 II-2는 H, C, N, O, Fe 원자의 공통점과 차이점을 정리한 것이다.

원자들을 구성하고 있는 양성자, 중성자, 전자의 수가 원자마다 다르므로 각각 다른 성질을 나타낸다. 특히 양성자 수가 달라지면 성질이 크게 차이가 난다.

표 II-2 H, C, N, O, Fe 원자의 공통점과 차이점

원자	공통점	차이점			
		양성자 수	전자 수	중성자 수	질량수
H	원자핵과 전자를 갖는다.	1	1	0	1
C	중성 원자이다.	6	6	6	12
N	생물체를 이루는 원자이다.	7	7	7	14
O	자연에 존재한다.	8	8	8	16
Fe	다른 원자와 결합하여 화합물을 만든다.	26	26	30	56

영국의 모즐리(Moseley, H. G-J.)는 원자의 양성자 수를 결정하였는데, 이 양성자의 수가 오늘날 사용하고 있는 원자 번호이다.

원자 번호는 각 원소에 대한 고유한 값이며, 같은 원소의 원자는 모두 같은 원자 번호를 가진다. 따라서 원자 번호를 알면 그 원자 내의 양성자 수와 전자 수를 알 수 있다.

$$\text{원자 번호} = \text{양성자 수} = \text{전자 수}$$

$$\text{헬륨: } 2 = 2 = 2$$

$$\text{탄소: } 6 = 6 = 6$$

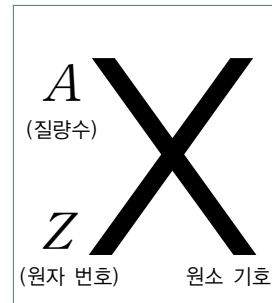
한편 전자의 질량은 양성자나 중성자의 $\frac{1}{1837}$ 로 매우 작으므로, 한 원자의 질량은 원자핵의 질량과 거의 같다. 따라서 원자핵 속의 양성자 수와 중성자 수를 합친 것이 그 원자의 질량수이다.

$$\text{양성자 수} + \text{중성자 수} = \text{질량수}$$

$$\text{탄소: } 6 + 6 = 12$$

$$\text{산소: } 8 + 8 = 16$$

어떤 원소 X의 원자 번호(Z)와 질량수(A)를 나타낼 때에는, 원소 기호의 왼쪽 아래에 원자 번호를 쓰고 왼쪽 위에 질량수를 써서 나타내면 편리하다.



- 원자 번호가 15이고 질량수가 31인 인의 양성자 수, 전자 수, 중성자 수는 각각 몇 개인가?
- 질소의 원소 기호에 질량수와 원자 번호를 보기의 탄소와 같이 나타내어라.
<보기> $^{12}_6\text{C}$

1-2 원소의 기원과 동위 원소

다가서기

- 빅뱅 우주로부터 원자가 만들어졌음을 이해한다.
- 방사성 동위 원소의 특성을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 빅뱅
- 쿼크
- 중성자
- 동위 원소
- 방사능
- 추적자
- 연대 측정
- 핵융합

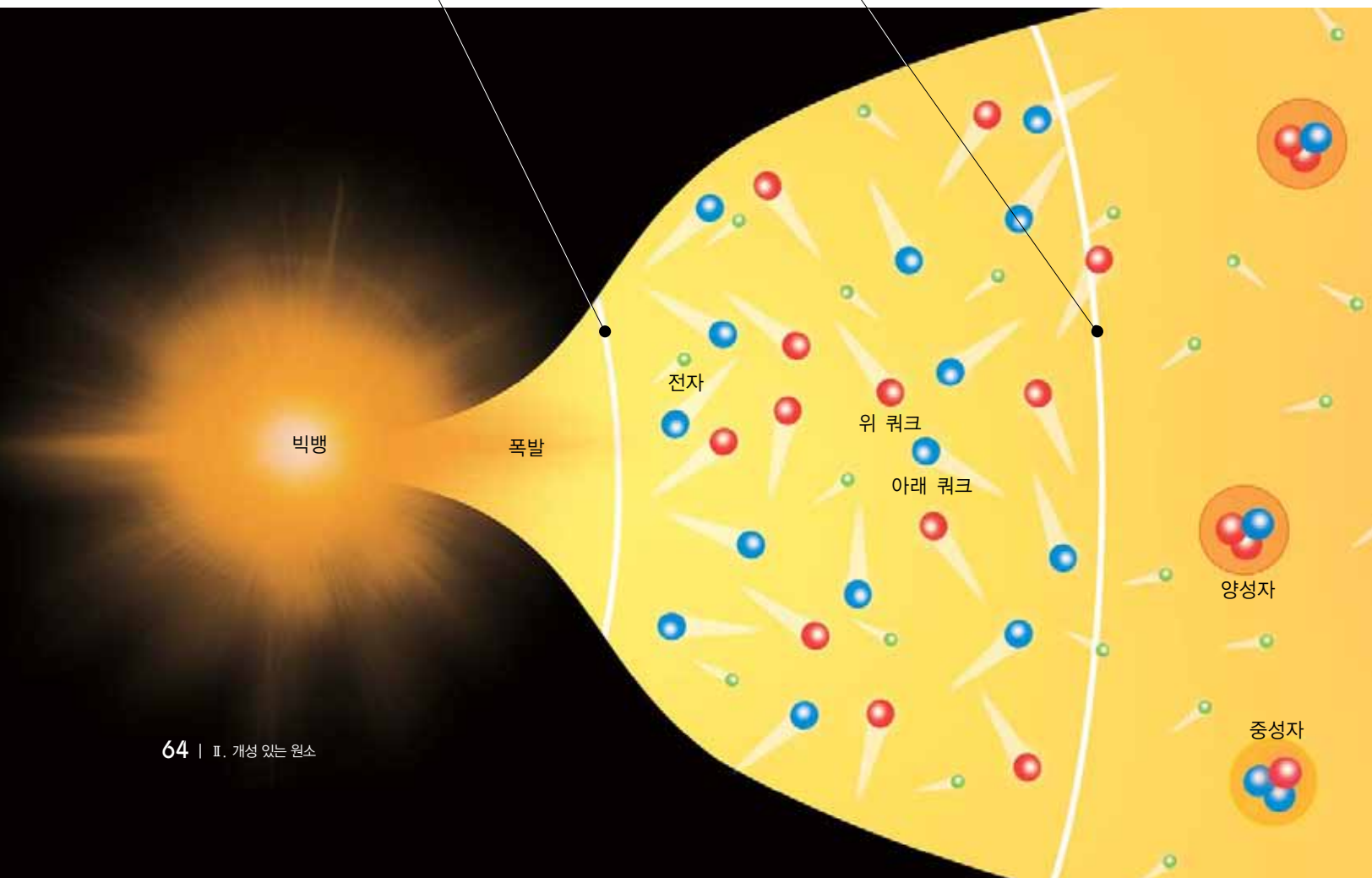
우주를 구성하는 모든 물질의 기본인 ‘원소’는 어떻게 만들어졌을까? 또한 우주의 탄생에서부터 원소가 어떻게 만들어져 현재에 이르렀는지 알아보자.

1 원소의 기원

과학자들의 연구에 의하면, 우주는 대략 137억 년 전에 대폭발로 시작한 우주에서 우주의 나이가 10^{-10} 초가 되기 이전에 쿼크가 생성되었으며, 이때 가벼운 전자도 만들어졌다.

그림 II-12 빅뱅 이후 원자의 생성 과정

입자의 탄생 시간 온도	쿼크, 전자 생성	양성자, 중성자 생성
	10^{-10} 초	10^{-5} 초
	약 10^{27} °C	약 2조°C



온도가 약 2조℃까지 내려가자 양성자와 중성자가 만들어졌다. 우주 탄생 후 약 3분 후 우주의 온도가 더욱 내려가자, 그림 II-12에서와 같이 양성자와 중성자가 충돌하여 강한 핵력에 의해 중수소 원자핵(양성자 한 개와 중성자 한 개)이 형성되었고, 또 중수소 원자핵이 융합하여 삼중수소 원자핵(양성자 한 개와 중성자 두 개)이 형성되었다. 그리고 중수소와 삼중수소가 융합하여 헬륨의 원자핵이 생성되었다.

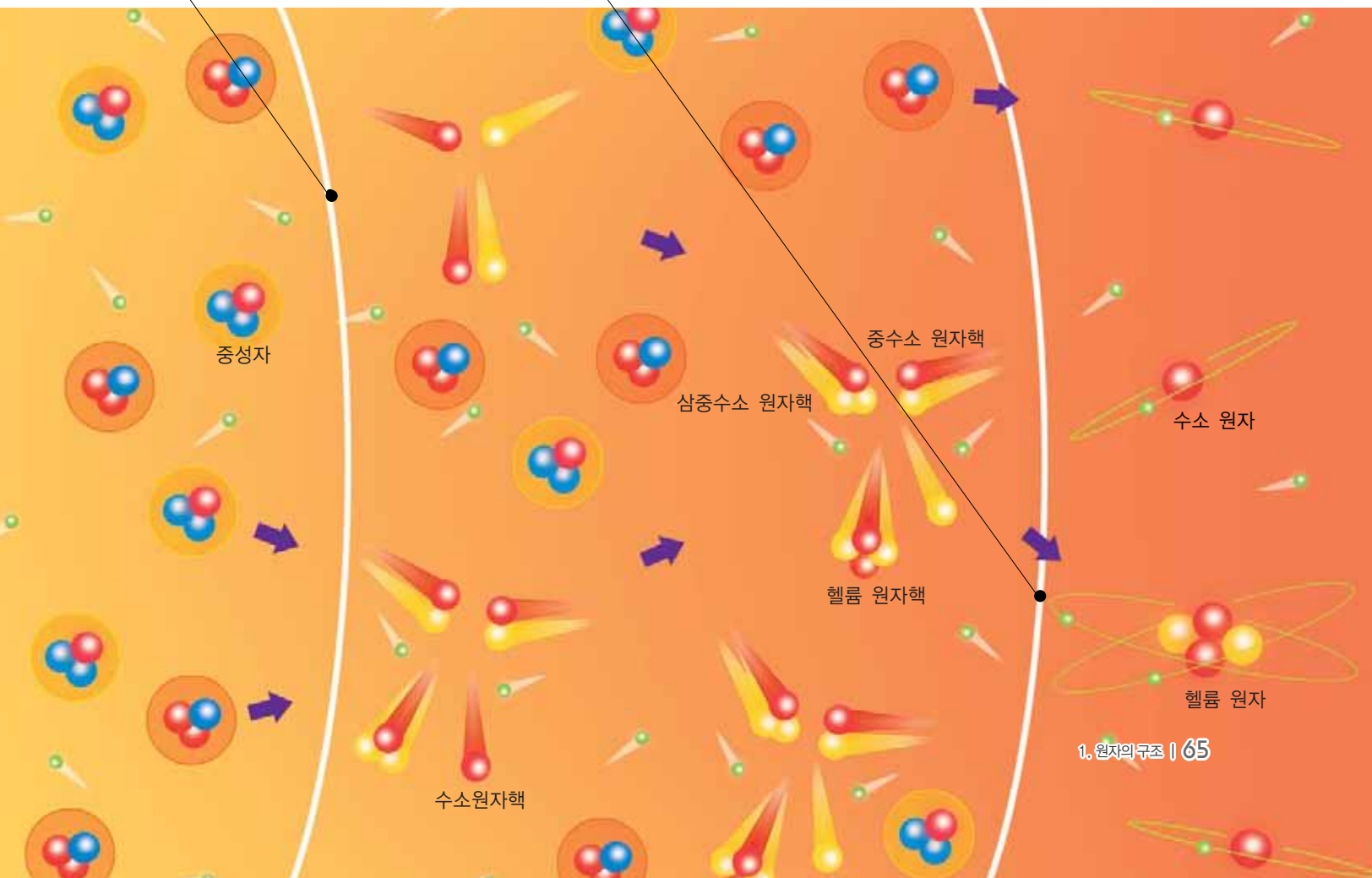
온도가 다시 약 3000℃까지 내려가면 자유로이 날아다니던 전자가 수소 원자핵과 헬륨 원자핵에 붙잡혀 수소 원자와 헬륨 원자가 생성되었다.

초기 우주에서는 생명에 필요한 탄소, 산소, 질소는 생성되지 않았으며, 이런 원소들은 태양보다 질량이 훨씬 큰 별이 탄생할 때 생성되었다.

원자가 만들어지는 과정에서 중수소와 삼중수소는 수소와 같은 원소이고 양성자 수가 같다. 중수소는 수소와 비교할 때 중성자 한 개, 삼중수소는 중성자 두 개를 가지고 있다. 이와 같이 양성자 수는 같으나 중성자 수가 달라서 질량수가 다른 원소를 동위 원소라고 한다.

중수소, 삼중수소, 헬륨 원자핵 생성
3분
약 수백만℃

수소, 헬륨 원자 생성
약 30만 년
약 3,000℃



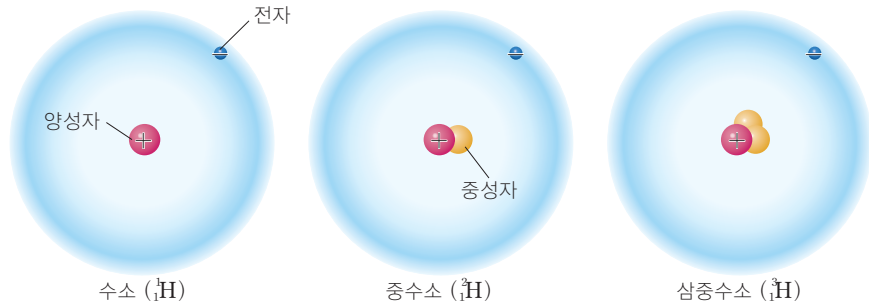
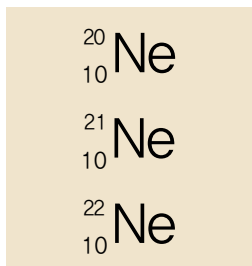


그림 II-13 수소의 동위 원소

우주 초기에 형성된 헬륨에는 중성자가 1개인 ${}^3\text{He}$ 과 중성자가 2개인 ${}^4\text{He}$ 의 두 종류의 동위 원소가 있다.



▲ 네온의 동위 원소

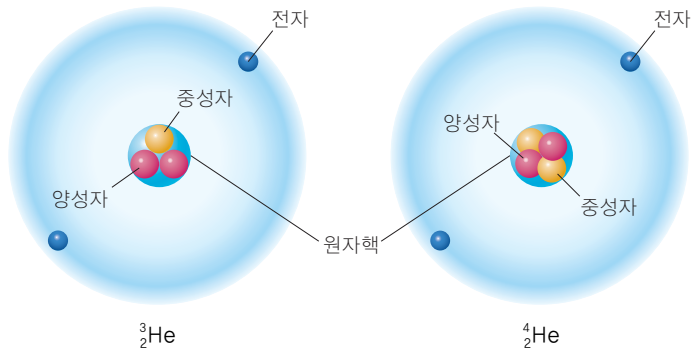


그림 II-14 헬륨의 동위 원소

생명체를 이루고 있는 중요한 원소인 탄소, 질소, 산소에는 다음과 같은 여러 종류의 동위 원소가 존재한다.

표 II-3 생명체 구성 원소의 동위 원소

원소	탄소			질소		산소		
	${}^{12}\text{C}$	${}^{13}\text{C}$	${}^{14}\text{C}$	${}^{14}\text{N}$	${}^{15}\text{N}$	${}^{16}\text{O}$	${}^{17}\text{O}$	${}^{18}\text{O}$
양성자 수	6	6	6	7	7	8	8	8
중성자 수	6	7	8	7	8	8	9	10
전자 수	6	6	6	7	7	8	8	8
존재비(%)	98.89	1.11	0.0x 이하	99.63	0.37	99.76	0.04	0.20



1. 우주의 기원에서 헬륨핵은 어떻게 형성되었을까?
2. ${}^3\text{He}$ 와 ${}^4\text{He}$ 원자에서 중성자는 각각 몇 개인가?

2 핵융합과 방사성 동위 원소

태양계에는 100여 종의 원소가 존재하며, 이들 중에서 전체 질량의 71%는 수소이고 27%는 헬륨이다. 수소와 헬륨을 제외한 탄소, 산소, 규소, 마그네슘 등은 태양보다 훨씬 무거운 별의 중심부 온도가 매우 높을 때 핵융합으로 생성된다. 그러나 이런 원소보다 훨씬 무거운 우라늄은 초신성이 폭발할 때 만들어지는 많은 중성자가 가벼운 원자핵과 충돌하여 만들어진다.

퀴리 부부는 우라늄보다 더 많은 방사선을 내는 라듐과 폴로늄을 발견하였다. 방사선이란 원자핵이 불안정하여 내놓는 입자의 흐름이며, 원소가 방사선을 방출하는 능력을 방사능이라고 한다.

자연에 존재하는 탄소 원소에는 중성자가 6개인 $^{12}_6\text{C}$ 보다 중성자 수가 2개 많으며 방사선을 내는 동위 원소 $^{14}_6\text{C}$ 가 존재한다. 이런 동위 원소를 방사성 동위 원소라고 한다.



퀴리(Curie, M.: 1867~1934) 프랑스 물리학자. 남편 퀴리와 함께 라듐과 폴로늄을 발견하였다.

| 추적자 |

병의 진단, 치료, 제조제, 살충제, 비료 등의 효과를 추적하는 데 쓰이는 방사성 동위 원소

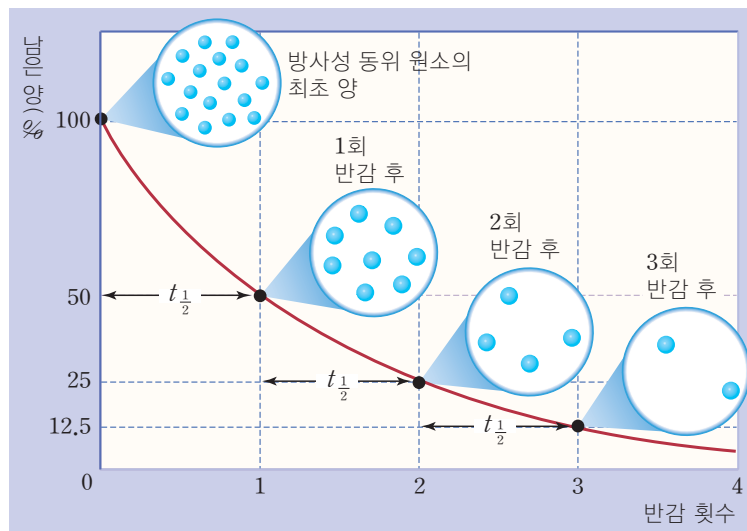
심화 자료

반감기

방사성을 가지는 방사성 동위 원소는 농학, 의학을 비롯하여 생물학 연구 등에 널리 이용되고 있다.

방사성 동위 원소 $^{14}_6\text{C}$ 는 고고학자들이 유물의 연대 측정에 이용하고 있으며, $^{60}_{27}\text{Co}$ 은 암 치료 및 용접 부분의 결함을 찾거나 제품의 두께를 측정하는 비파괴 검사에 이용한다. 또한 방사성 동위 원소를 식품에 찍면 살균 작용으로 부패를 방지할 수 있고, 질병의 진단에 추적자로 이용되고 있다.

방사성 원소는 시간이 지나면 다른 원소로 변하면서 그 원소의 원자 수가 줄어든다. 방사성 원소가 처음 양의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이 반감기이다.



▲ 방사성 동위 원소의 반감기 모형

방사성 동위 원소를 이용한 연대 측정

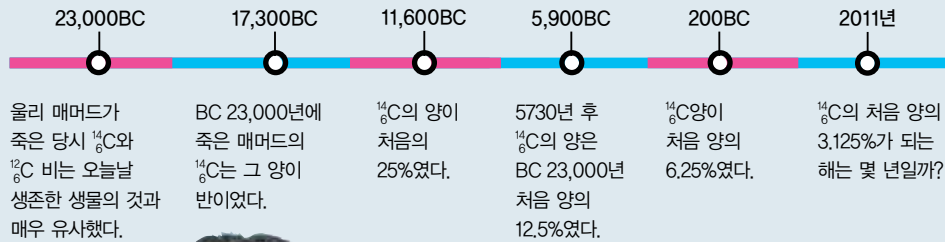
탄소의 동위 원소인 방사성 탄소 ^{14}C 는 고고학자들이 화석으로 발견되는 동물의 골격, 나무, 옷감, 공예품 등의 연대를 200년에서 약 5만 년 전까지 측정할 수 있다.

방사성 탄소 ^{14}C 는 대기 상층의 우주 복사선이 대기 중의 기체와 충돌할 때 생성된다. 이들이 산소와 결합하여 방사성 탄소 ^{14}C 를 포함한 이산화탄소를 형성하여 살아 있는 생물체가 이를 흡수하게 되어 동물과 식물의 조직에 미량이 남아 있게 된다.

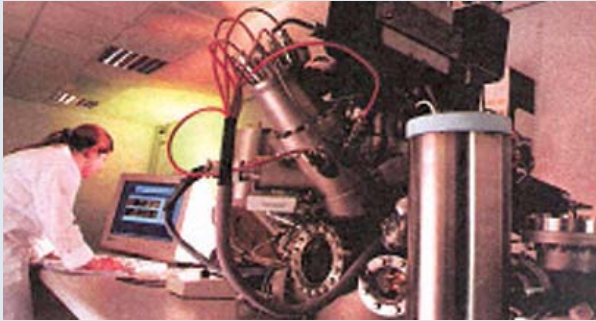
생물체가 죽게 되면 방사성 탄소 ^{14}C 를 더 취할 수 없게 되며, 남아 있는 방사성 탄소 ^{14}C 는 붕괴되어 질소로 변한다. 이때 방사성 탄소 ^{14}C 의 양이 반으로 줄어드는 데 걸리는 반감기가 5730년이다.

화석이나 유물에 남아 있는 방사성 탄소 ^{14}C 와 ^{12}C 의 양의 비를 구하여 생물체의 생존 시기를 밝히고 있다.

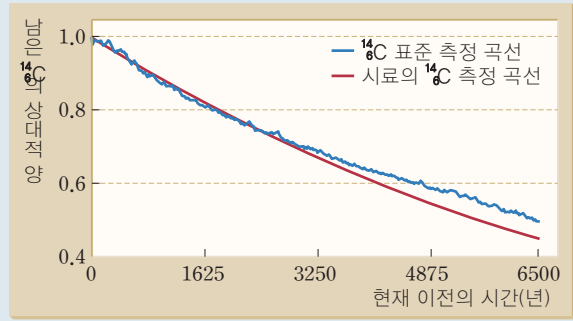
검색 연대 측정 ▼



▶ 250만 년 전에 살았던 매머드 모습



▲ ^{14}C 의 양을 측정하는 질량 분석기



▲ 나이테에 바탕을 둔 ^{14}C 표준 곡선과 시료의 자료

검색 자연사 박물관

현대 고고학자들은 동식물이 죽은 시기를 결정하기 위하여 액체 섬광 계수라고 부르는 특별한 시험을 하는데, 이것은 형광체에 방사선을 쬐 때 섬광이 방출되는 것으로, 이런 현상을 질량 분석기를 사용하여 방사성 동위 원소인 탄소 ^{14}C 와 ^{12}C 의 양의 비를 측정한다. 이 비가 작을수록 시료의 죽은 시기가 오래된 것이다.

고고학자들은 생물체가 죽었을 때 대기 중의 방사성 탄소 ^{14}C 의 양의 변화를 설명하기 위해 나무의 나이테로부터 수집한 표준 측정 곡선을 이용한다.



(가)

▶ 1900년 시베리아 만년빙 속에서 발견된 잘 보존된 어린 울리 매머드 화석(가)과 발굴 작업을 하고 있는 고고학자들(나)



(나)

STS 활동

1. 방사선의 종류와 성질을 조사해 보자.
2. 질병 치료에 방사선이 어떻게 이용되는지 토의하여 보자.

1-3 보어의 원자 모형

다가서기

- 수소의 선 스펙트럼을 분석하여 원자 모형을 예상할 수 있다.
- 전자의 에너지 준위를 이해하고, 보어의 원자 모형을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 주양자수
- 에너지 준위
- 전자껍질
- 바닥상태
- 들뜬상태
- 발머 계열
- 라이먼 계열
- 파셴 계열
- 보어의 원자 모형

리튬, 나트륨, 칼륨 등의 금속을 가열할 때 고유한 불꽃색이 나타나듯이, 네온과 아르곤이 들어 있는 방전관에 높은 전압을 걸어 주면 네온 방전관에서는 붉은 빛을 방출하고, 아르곤 방전관에서는 푸른 빛을 방출한다. 이 빛을 분광기에 통과시켜 보면, 특정한 파장의 빛으로 이루어진 불연속적인 스펙트럼을 관찰할 수 있다.

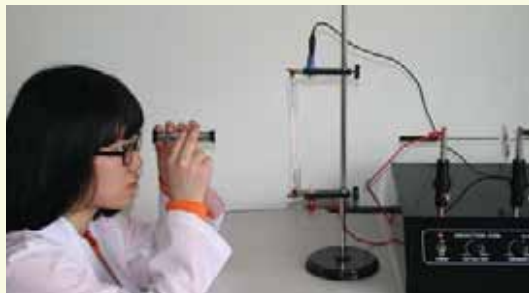
이 스펙트럼과 원자의 구조 사이에는 어떤 관계가 있을까?

다음 탐구 활동을 통하여 수소의 선 스펙트럼과 원자의 구조 사이에는 어떤 관계가 있는지 알아보자.

탐구

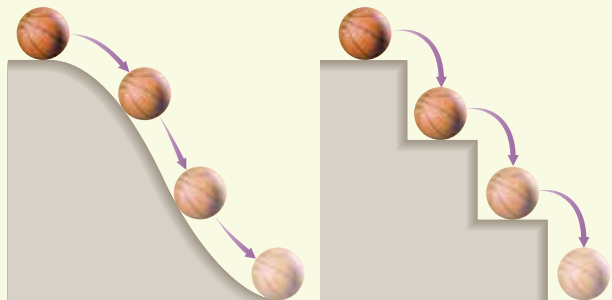
| 활동 4 | 수소의 스펙트럼

- **목적** 수소 원자의 선 스펙트럼을 해석하여 보면 불연속적임을 알 수 있다.
- **준비물** 간이 분광기, 전원, 수소 방전관, 스탠드, 모눈종이
- **과정**
 - ① 수소 방전관과 전원을 설치하자.
 - ② 전원을 켜 다음 수소의 스펙트럼을 관찰하고 모눈종이 위에 스펙트럼의 위치와 색깔을 나타내어 보자.



▲ 수소 방전관과 간이 분광기

- **정리**
 1. 수소의 스펙트럼의 색깔은 각각 어떠한가?
 2. 수소의 선 스펙트럼은 어떻게 설명할 수 있는지 토의하여 보자.
 3. 다음 그림과 같이 비탈길과 계단에서 공을 떨어뜨릴 경우 공이 가지는 에너지를 연속 스펙트럼 및 선 스펙트럼과 관련지어 토의하여 보자.



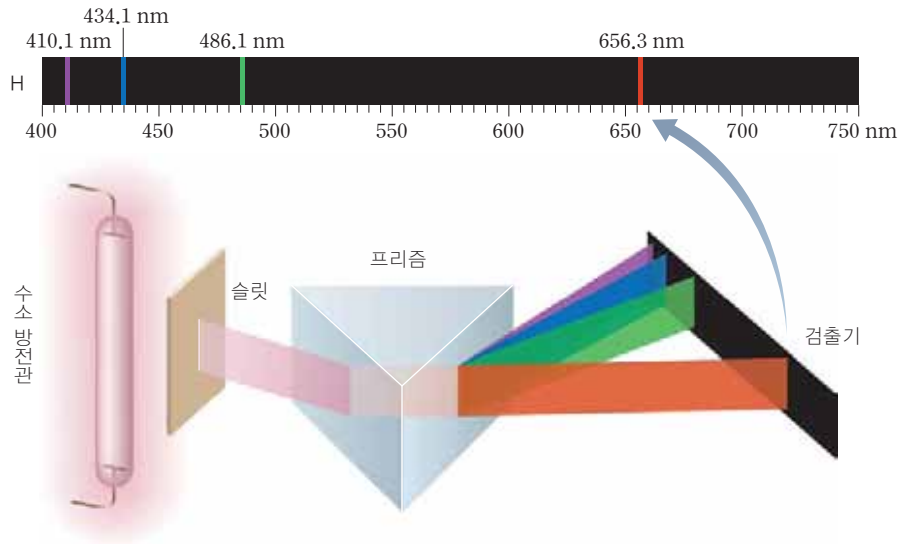


그림 II-15 수소 원자의 선 스펙트럼

수소 방전관에 높은 전압을 걸어 주면 방전관에서 빛이 방출된다. 이 빛을 프리즘에 통과시켜 분광기로 관찰해 보면 그림 II-15에 나타난 것과 같이 보라색, 푸른색, 초록색, 붉은색의 선 스펙트럼을 볼 수 있다.

1913년 보어는, 발머(Balmer, J. J.)의 스펙트럼 연구와 플랑크(Planck, M.)가 발표한 빛에너지는 불연속적이라는 양자화 설명에 관한 연구 등을 종합하여 다음과 같은 가정을 제안하였다.

첫째, 원자핵 주위의 전자는 무질서하게 운동하는 것이 아니라, 특정한 에너지를 가진 원형 궤도를 따라 빠르게 원운동을 한다. 이 원형 궤도를 전자껍질이라고 한다.

전자껍질은 그림 II-16에서 보는 것과 같이 마치 여러 겹의 양파 껍질처럼 층



그림 II-16 보어 원자 모형에서의 전자껍질과 양파 껍질의 비유



보어(Bohr, N. H. D.: 1885~1962) 덴마크의 물리학자. 수소 스펙트럼의 모형을 설명하고, 양자론을 원자 구조와 분자 구조에 최초로 적용하였다. 1922년 노벨 물리학상을 받았다.

1 양자

어느 종류의 양이 어느 단위량의 정수배로 나타나는 경우 그 단위량을 양자라고 한다.

을 이루며, 원자핵에 제일 가까운 전자껍질을 K 전자껍질($n=1$), 두 번째 껍질을 L 전자껍질($n=2$), 세 번째 껍질을 M 전자껍질($n=3$), 네 번째 껍질을 N 전자껍질($n=4$), …… 등의 기호를 사용한다. 여기에서 n 을 주양자수라고 한다.

각 궤도의 전자가 가질 수 있는 에너지 준위는 다음 식으로 나타낸다.

$$E_n = -\frac{1312}{n^2} (\text{kJ/mol}) \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots)$$

둘째, 전자가 같은 전자껍질을 돌고 있을 때는 에너지를 흡수하거나 방출하지 않으나, 낮은 에너지 준위에 있는 전자가 높은 에너지 준위로 이동할 때에는 두 에너지 준위의 차이만큼의 에너지를 흡수한다.

또한 높은 에너지 준위의 전자가 낮은 에너지 준위로 이동할 때에는 두 에너지 준위의 차이만큼의 에너지를 방출한다.

• 전자의 에너지가 가장 낮은 안정한 상태를 바닥상태라고 한다. 에너지를 흡수하여 높은 에너지 준위로 올라가 있는 상태를 들뜬상태라고 한다.

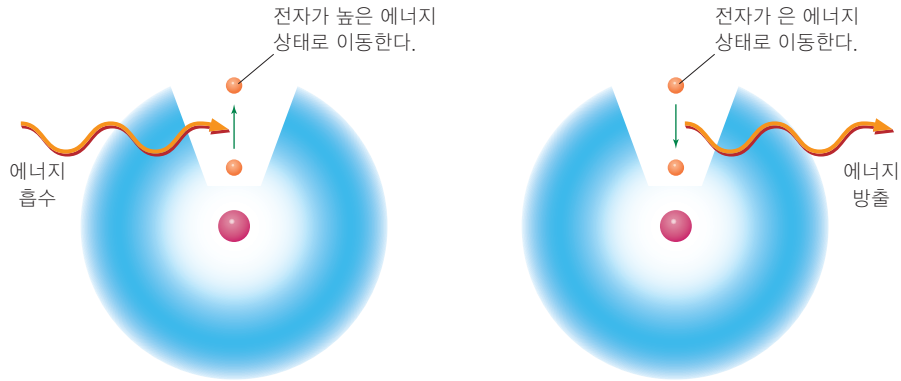
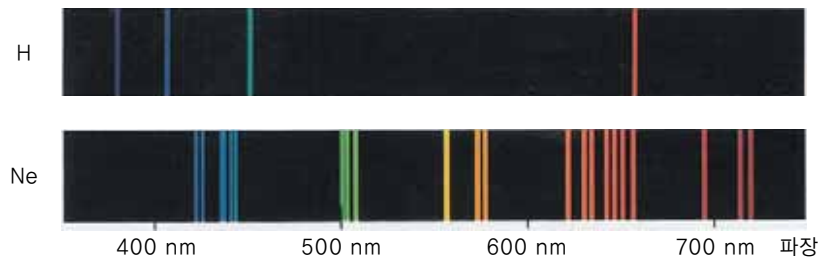


그림 II-17 전자의 전이와 에너지의 출입

확인 ?

1. M 전자껍질의 주양자수는 얼마인가?
2. $n=3$ 에서 수소의 전자가 가지는 에너지는 얼마인가?
3. 다음은 가열된 방전관에서 나오는 수소(H)와 네온(Ne)의 선 스펙트럼을 나타낸 것이다. 두 선 스펙트럼에서 공통점과 차이점을 두 가지 이상 설명하여라.

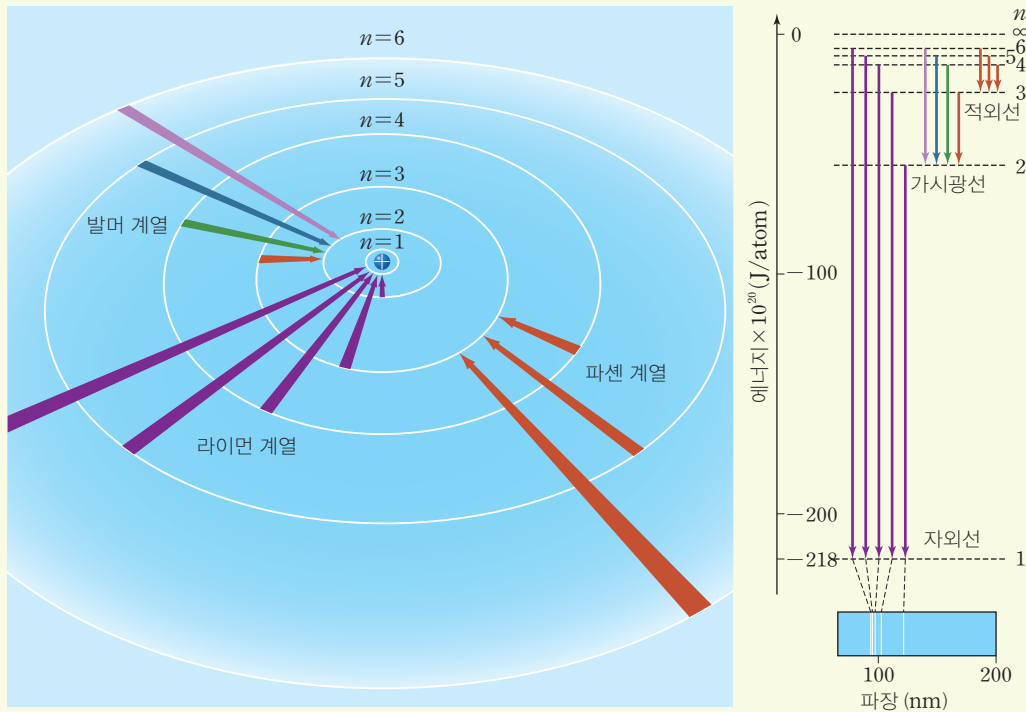


| 활동 5 | 보어의 원자 모형과 수소의 선 스펙트럼

수소의 선 스펙트럼이 불연속적임을 알아보자. 다음은 수소의 선 스펙트럼에 관한 설명이다.

수소 원자의 선 스펙트럼이 불연속적으로 나타나는 것은 전자가 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로 이동할 때 방출되는 에너지가 불연속적이기 때문이다.

수소 원자의 선 스펙트럼 중 가시광선 영역에서 나타나는 한 무리의 선 스펙트럼을 **발머 계열**이라고 한다. 발머 계열의 $n=3$ 에서 $n=2$ 로 전자가 이동할 때 내어놓는 빛이 파장 656.3 nm의 붉은색 선 스펙트럼이다. 자외선 영역에 나타난 것을 **라이먼 계열**, 적외선 영역에 나타난 것을 **파셴 계열**이라고 한다.



▲ 수소의 선 스펙트럼의 여러 가지 계열

- **과정** ① $E = -\frac{1312}{n^2}$ kJ/mol을 사용하여 발머 계열에서 전자가 $n=2$ 일 때 에너지는 얼마인지 계산하여 보자.
- ② 전자가 $n=3$ 에서 $n=2$ 로 떨어질 때 방출하는 에너지는 얼마인가? 또 그 과정에서 방출되는 선을 찾아 표시하여 보자.
- **정리** 위의 자료에서 빛에너지가 양자화되어 있다는 사실을 추론하여 보자.

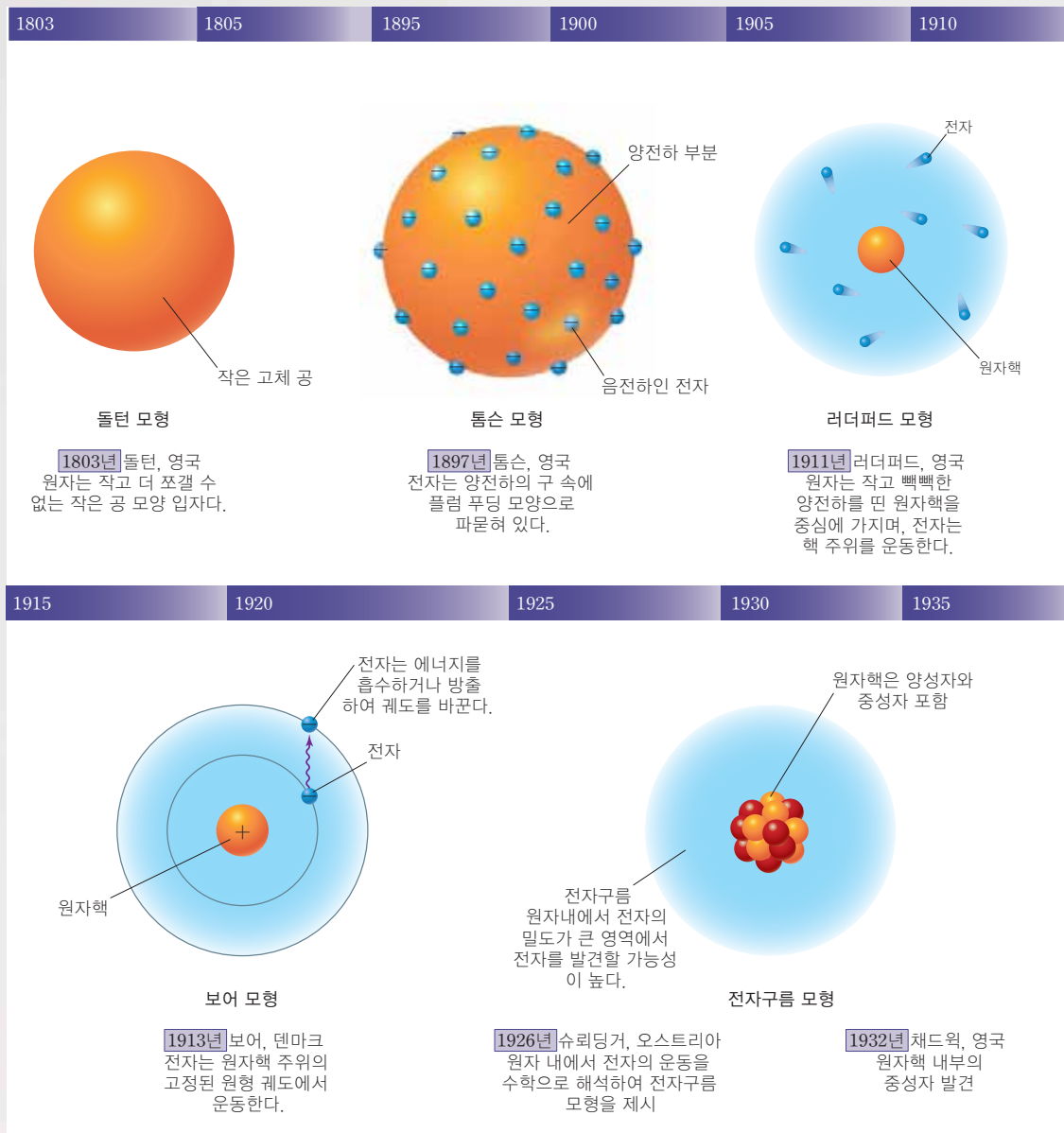
보어가 제안한 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수는 있었지만, 전자가 2개 이상의 다른 원자에는 전자의 운동을 궤도만으로 나타내는 것은 불합리하므로 적용할 수가 없었다.

A. 수소의 스펙트럼과 보어의 원자 모형

보어의 가설에 의하면, 원자핵 주위의 전자는 특정한 에너지 준위에서만 원운동을 한다. 전자가 같은 궤도를 운동하고 있을 때는 에너지를 흡수하거나 방출하지 않으나, 수소 방전관에서처럼 전압을 걸어 주면 음극에서 양극으로 이동하는 전자가 수소 분자와 충돌하여 높은 에너지를 가지는 수소 원자를 생성하고, 이 수소 원자 속의 들뜬상태로 전자들이 바닥상태로 이동하면서 에너지를 빛의 형태로 발산한다.

B. 원자 모형의 변천 과정

돌턴 이후의 원자 구조의 변천 과정은 다음과 같다.



1-4 오비탈과 전자 배치

다가서기

- 오비탈에 따른 전자 배치를 이해한다.
- 전자 배치의 규칙성에 따라 원자의 전자를 배치할 수 있다.

꽃에서 꿀을 모으는 벌이 벌집으로 드나들 때나 작은 점이 있는 선풍기 날개가 회전할 때, 벌이나 작은 점의 어느 순간의 위치를 정할 수 있을까?



그림 II-18 벌집을 드나드는 벌이나 회전하는 선풍기 날개의 한 점은 순간의 위치를 결정하기 어렵다.

핵심 용어

- 원자가 전자
- 전자구름 모형
- 오비탈
- 부양자수
- 전자쌍
- 전자 스핀
- 쌍음 원리
- 파울리의 배타 원리
- 훈트 규칙

1 보어 모형과 전자 배치

보어의 원자 모형에서 전자는 전자껍질에 어떤 순서로 채워질까?

전자껍질에 전자가 채워질 때 바닥상태에 있는 전자는 가장 낮은 에너지 상태의 K 전자껍질에 2개까지 채워질 수 있다. 그 다음 L 전자껍질에는 8개, 세 번째 M 전자껍질에는 18개가 채워지며, 각 껍질에 수용되는 최대 전자 수는 $2n^2$ 개이다.

표 II-4 전자껍질에 수용되는 최대 전자 수

주양자수(n)	1	2	3	4
전자껍질	K	L	M	N
최대 수용 전자 수($2n^2$)	2	8	18	32

표 II-4는 각 전자껍질에 수용될 수 있는 최대 전자 수를 나타낸 것이다.

원자핵 밖의 전자 배치와 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위 관계를 모형으로 나타내어 보면 그림 II-19와 같다.

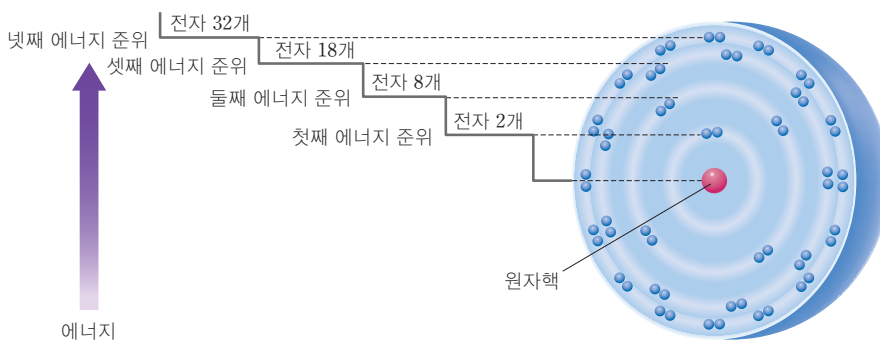


그림 II-19 에너지 준위와 원자핵 밖에 수용되는 최대 전자 수

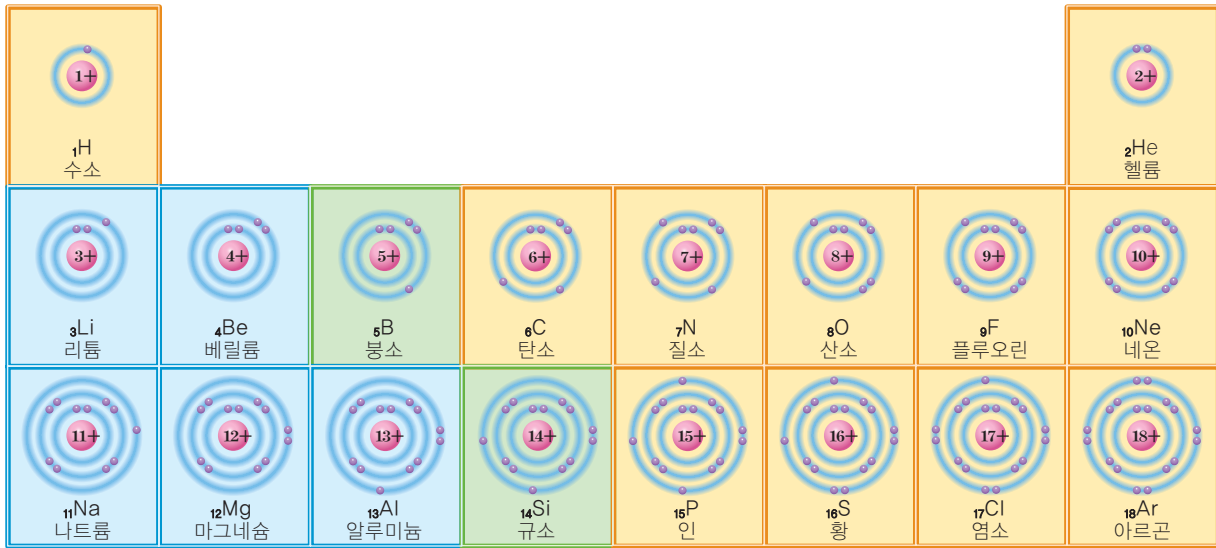


그림 II-20 원자 번호 1에서 18까지의 원자의 전자 배치

원자 번호 1인 수소에서 원자 번호 18인 아르곤까지의 전자 배치는 그림 II-20과 같이 나타낼 수 있다.

원자의 전자 배치에서 맨 바깥 껍질에 배치되는 전자를 원자가 전자라고 부른다. 모든 원소에서 원자가 전자는 8개를 초과할 수 없으며, 원자가 전자는 원소의 화학적 성질을 결정한다.

표 II-5 ${}_{19}\text{K}$, ${}_{20}\text{Ca}$ 의 전자 배치

	K	L	M	N
칼륨 (${}_{19}\text{K}$)	2	8	8	1 (원자가 전자)
칼슘 (${}_{20}\text{Ca}$)	2	8	8	2 (원자가 전자)

보어의 수소 원자 모형에서 바닥상태에 있는 수소 원자의 전자는 K 껍질에 놓이게 된다. 수소 이외의 원자에서 전자가 2개 이상일 때는 먼저 K 껍질에 전자 2개를 채운 다음 L 껍질을 채우게 된다. L 껍질에는 전자가 8개까지 채워진다.

표 II-5에서 ${}_{19}\text{K}$ 의 원자가 전자는 맨 바깥 껍질의 전자 수가 8개를 초과할 수 없으므로, 원자가 전자는 9개가 아닌 1개이고, ${}_{20}\text{Ca}$ 의 원자가 전자는 2개이다. 따라서 이 두 원자는 서로 다른 화학적 성질을 나타낸다. 예를 들면, 칼륨은 원자가 전자 하나를 잃으면 K^+ 가 되고, 칼슘은 원자가 전자 두 개를 잃으면 Ca^{2+} 가 되므로 화학적 성질이 서로 다르다.



- 탄소 원자의 전자 배치에서 원자가 전자는 몇 개인가?
- ${}_{15}\text{P}$ 의 전자 배치를 K, L, M 전자껍질에 배치하여 보아라.

2 오비탈

보어의 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있었지만, 전자가 2개 이상인 다른 원자에는 적용할 수가 없었다. 더구나 전자가 파동성과 입자성의 두 가지 성질을 가진다는 사실이 확인되면서, 전자의 운동을 궤도만으로 나타내는 것은 불합리하였다. 그렇다면 원자 내의 전자는 어디에 있을까? 또 전자가 존재하는 위치를 알 수 없다면, 전자의 존재는 어떤 방법으로 표현해야 할까?

1926년 슈뢰딩거는 수소 원자에서 전자의 행동을 설명하는 새로운 원자 모형을 제시하였다.

전자가 어느 순간에 어느 위치에 있는지를 정하기 어렵다. 다만 전자가 존재할 수 있는 확률만으로 결정할 수 있을 뿐이다. 따라서 전자를 발견할 확률을 희미한 구름으로 나타내는데, 이것을 **전자구름 모형**이라고 한다.

슈뢰딩거는 원자핵 주위의 여러 위치에서 전자를 발견할 확률을 나타내는 데 오비탈이라는 표현을 사용하였다. **오비탈**이란 전자를 발견할 확률이 높은 공간 영역으로, 전자의 분포 모양을 나타내는 함수이다.

오비탈은 전자의 에너지 준위를 나타내는 주양자수 n 과 오비탈의 모양을 표시하는 부양자수 l 로 나타낸다. 부양자수 0은 s , 1은 p , 2는 d , 3은 f 로 나타내며, 주양자수와 함께 $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d, 4s, 4p, 4d, 4f$ 로 나타낸다. 전자껍질, 주양자수, 부양자수의 관계는 표 II-6과 같다.

표 II-6 전자껍질과 양자수와의 관계

전자껍질	주양자수 (n)	부양자수 (l)	오비탈 기호
K	1	0	s
L	2	0, 1	s, p
M	3	0, 1, 2	s, p, d
N	4	0, 1, 2, 3	s, p, d, f

그림 II-21는 수소 원자에서 전자의 존재 확률(가)과 수소 원자의 오비탈(나)을 나타낸 것이다. 수소 원자의 오비탈은 원자핵 주위에 공 모양으로 분포되어 있으며, 전자가 존재할 확률은 원자핵으로부터 약 0.053 nm 떨어진 곳이 가장 높다.

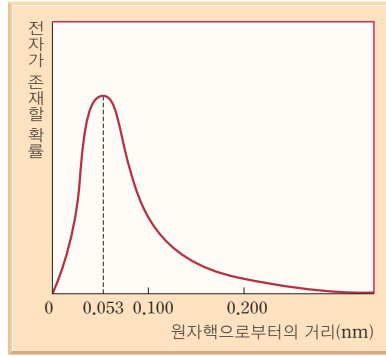
주양자수 $n=1$ 인 K 껍질에는 원자핵에 가장 가까운 한 개의 오비탈이 존재한다. 이 오비탈은 주양자수 $n=1$ 과 오비탈의 모양을 나타내는 s 를 붙여 $1s$ 로 나타낸다. $1s$ 오비탈은 원자핵에 가장 가까우며 방향성이 없는 공 모양이다.

오비탈의 수는 주양자수 n 값에 따라 정해지며, 각 에너지 준위에 존재하는 오비탈의 수는 n^2 개이다.

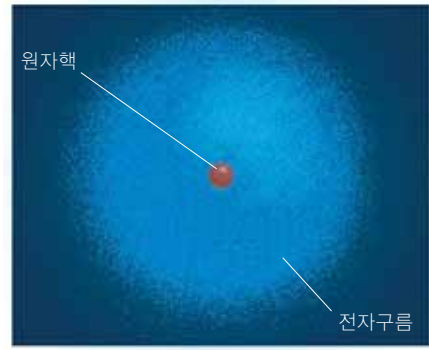


슈뢰딩거(Schrödinger, E.: 1887~1961) 오스트리아의 물리학자. 물질 파동 개념을 기초로, 양자 역학 이론을 확립하였다. 1933년 노벨 물리학상을 받았다.

s : sharp
 p : principle
 d : diffuse
 f : fundamental



(가)



(나)

그림 II-21 원자핵으로부터 거리에 따른 전자의 존재 확률(가)과 수소 원자의 오비탈(나)

주양자수 $n=2$ 인 L 껍질의 에너지 준위에는 $2^2=4$ 개의 오비탈이 존재한다. 즉 공 모양의 2s 오비탈 한 개와 방향성이 다른 2p 오비탈 3개가 존재한다.

2s 오비탈의 모양은 1s 오비탈과 같은 공 모양이지만, 주양자수가 크므로 전자가 1s 오비탈보다 더 멀리 떨어진 곳에 분포되어 있다.

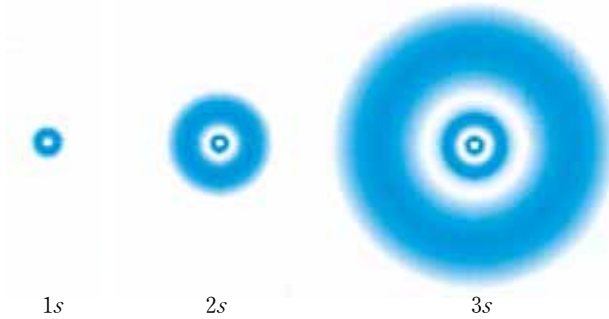


그림 II-22 1s, 2s, 3s 오비탈 모형

그림 II-22에 1s, 2s, 3s 오비탈 모형을 나타내었다. 주양자수 $n=2$ 인 2p 오비탈은 전자가 아령 모양으로 분포되어 있으며, 원자핵을 중심으로 x , y , z 방향으로 놓여 있다.

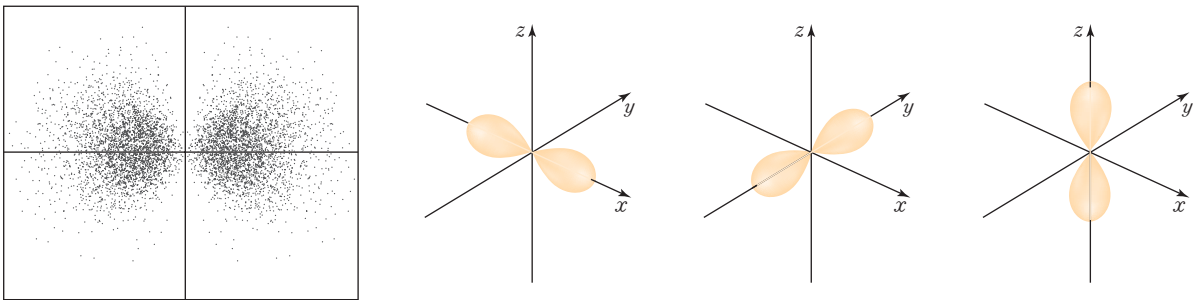


그림 II-23 x , y , z 축의 세 방향으로 아령 모양을 한 2p 오비탈

확인 주양자수 $n=2$ 인 경우 몇 개의 오비탈이 존재하는가?

3 오비탈과 전자 배치

한 원자 내에서 원자핵과 전자는 가장 안정한 배치를 만들려고 상호 작용하고 있다. 전자가 원자핵 주위에서 여러 오비탈에 안정하게 배치되려면 다음의 세 가지 규칙에 따르게 된다.

● 쌓음 원리

낮은 에너지를 갖는 오비탈부터 전자를 채워 나가는 원리를 **쌓음 원리**라고 한다. 수소 이외의 다전자 원자에서 전자는 다음과 같이 에너지 준위가 낮은 오비탈에서 에너지 준위가 높아지는 순서로 채워진다.

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p \dots\dots$$

3d 오비탈은 4s 오비탈보다 에너지가 높으므로 4s 다음에 전자가 채워진다.

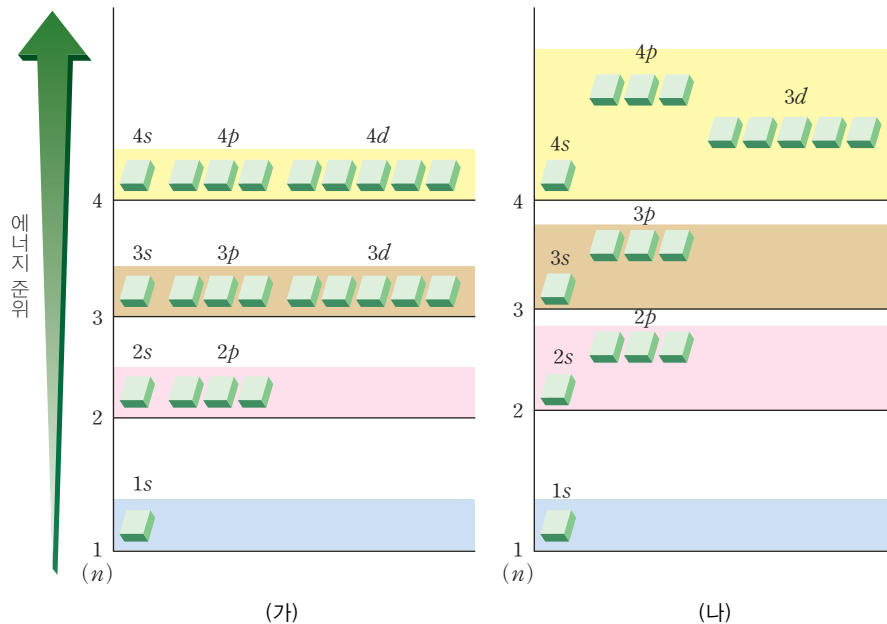


그림 II-24 수소 원자(가)와 다전자원자(나)의 오비탈 에너지 준위

● 파울리의 배타 원리

파울리는 한 오비탈에 채워질 수 있는 최대의 전자 수는 2개까지이며, 그 이상의 전자는 같은 오비탈에 채워질 수 없다는 사실을 밝혀내었다. 이것을 **파울리의 배타 원리**라고 한다.

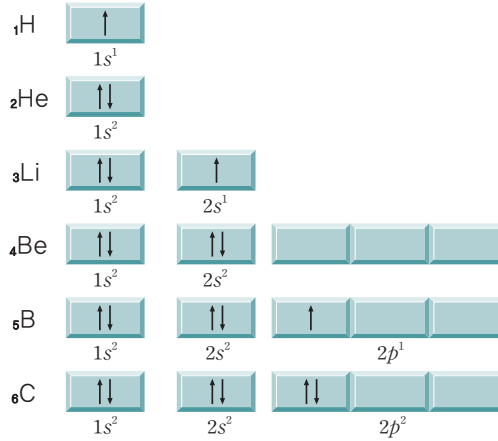
한 오비탈에 2개의 전자가 채워져 쌓을 이룰 때 각 전자는 시계 방향 또는 반시계 방향의 스핀을 가져야 한다. 따라서 수직 화살표로 나타낼 때는 전자의 스핀 방향을 ↑ 또는 ↓로 나타낸다. 쌓을 이룬 전자를 포함한 오비탈은 ↑↓로 표현한다.



▲ 전자의 스핀은 두 방향이다.

| 스핀 |

같은 주양자수를 가진 에너지가 다른 전자의 회전.



파울리의 배타 원리에 따른 전자 배치는 위 그림과 같이 나타낸다.

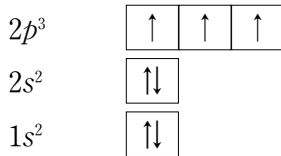
전자가 6개인 탄소의 경우 $2p$ 오비탈 하나에서 전자가 짝을 이루면 서로 반발하여 불안정하게 된다. 따라서 더 안정한 배치가 필요하게 된다.

● **훈트 규칙**

전자들이 서로 다른 오비탈을 채울 때, 서로 떨어져 있으면 전자들 사이의 반발력이 감소하므로 더 안정하다. 따라서 에너지 준위가 같은 오비탈에 전자가 채워질 때 가능한 한 짝을 이루지 않도록 배치되는데, 이것을 **훈트 규칙**이라고 한다.

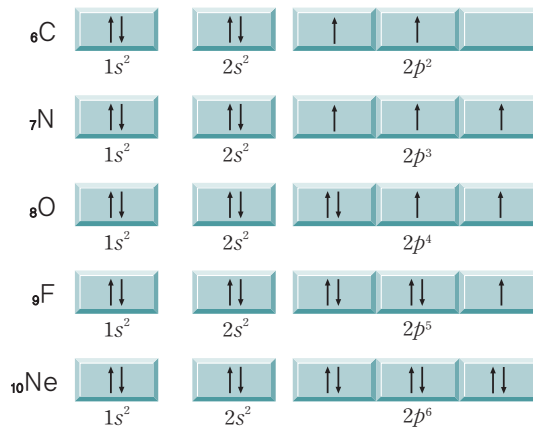
전자 배치에서 짝을 짓지 않고 홀로 있는 전자를 **홀전자**라고 하며, 한 오비탈에서 짝을 이루고 있는 전자를 **전자쌍**이라고 한다. 따라서 질소 원자는 바닥상태에서 홀전자가 3개이며, 2개의 전자쌍을 가진다.

산소 원자는 바닥상태에서 2개의 홀전자와 3개의 전자쌍을 가지고 있다.



▲ 질소 원자의 바닥 상태에서의 전자 배치

다음은 훈트 규칙에 따라 몇 종류의 원소들의 전자 배치를 나타낸 것이다.



활동 6 | 오비탈 역할놀이

- 목적 역할놀이를 통해 원자의 전자 배치 알아보기

지금까지 배운 원자의 전자 배치에 관한 역할놀이를 하여 보자.

- 준비물 A4 용지 한 장 크기의 카드, 필기도구

교실의 책상과 인원을 다음과 같이 배치하고, 카드 앞쪽에 자기 옆에 해당되는 에너지 준위를 카드에 기록한다.

칠판 쪽에서부터	제1열	2명	1s				
	제2열	2명	2s	2명	2명	2명	2p
	제3열	2명	3s	2명	2명	2명	3p



- 진행
 - 진행자와 채점자를 각각 한 명씩 둔다.
 - 진행은 칠판 쪽에서 볼 때 오른쪽에서부터 시작한다.
 - 전자가 쌍을 이룬 전자 배치를 하면 두 사람이 어깨동무를 한다.
 - ① 진행자가 “에너지 준위 외쳐” 하면 앞 열에서 뒤쪽으로 오비탈 기호를 큰 소리로 외친다.
 - ② 진행자가 “수소의 전자 배치” 하고 외치면 제1열 오른쪽 학생이 카드 뒷면에 1s¹이라고 적고 채점자에게 보이면서 나머지 학생도 오비탈 기호를 적은 카드를 보인다.
 - ③ 진행자가 “헬륨 전자 배치” 하고 외치면, 제1열 두 사람이 카드 뒷면에 1s²라고 적고 채점자에게 보인 후 어깨동무를 한다. 나머지 학생도 오비탈 기호를 적는다.
 - ④ 같은 요령으로 ¹⁸Ar까지 진행한다.
- 정리 역할놀이가 끝나면 채점자는 카드를 모으고 오비탈 기호가 순서대로 맞게 기록되었는지 점검 후 본인에게 돌려 준다.

확인 ?

1. 반도체의 원료인 규소(¹⁴Si) 원자의 전자 배치를 오비탈 기호로 나타내어라.
2. 비료의 한 성분인 칼륨(¹⁹K) 원자의 전자 배치를 오비탈 기호로 나타내어라.

01 중단원 마무리

원자의 구조

❏ 되짚어 보기

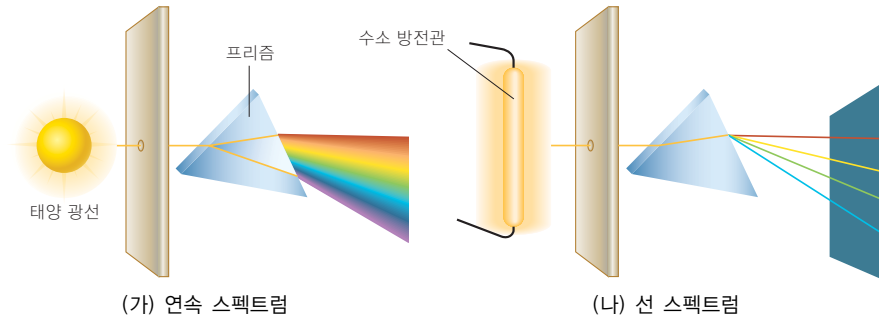
- 원자의 구성 입자** • 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있으며, 원자핵은 양성자와 중성자를 포함하고 있다.
- 빅뱅 우주** • 모든 에너지가 한 점에 모여 있다가 대폭발이 일어난 다음, 팽창하여 현재의 우주가 생겼다는 이론
- 질량수** • 양성자 수와 중성자 수를 합친 것
- 쿼크** • 양성자와 중성자를 이루고 있는 기본 입자
- 동위 원소** • 양성자 수는 같지만 중성자 수가 달라 질량수가 다른 원소
- 선 스펙트럼** • 특정한 기체가 가열될 때 방출하는 빛을 분광기로 볼 때 나타나는 선
- 보어 원자 모형** • 원자 내의 전자가 특정한 에너지 준위에서 원형 운동을 한다는 모형
- 오비탈** • 각 에너지 준위에서 전자가 원자핵 주위의 어떤 공간을 차지하는가를 확률적으로 나타내는 함수
- 파울리의 배타 원리** • 한 오비탈에는 스핀이 반대 방향인 전자가 최대 2개까지 채워질 수 있다.
- 훈트 규칙** • 에너지 준위가 같은 오비탈에 전자가 채워질 때 가능한 한 쌍을 이루지 않도록 배치된다.



창의성 기르기

연속 스펙트럼은 태양 빛, 백열전등 빛, 뜨겁게 가열되어 녹고 있는 철에서 나오는 빛, 별의 압축된 기체로부터 나오는 빛에서 관찰할 수 있다. 선 스펙트럼은 밝기와 색깔이 다른 선이 띄엄띄엄 나타나는 스펙트럼이다. 밝은 색의 선은 일정한 빛의 파장에 의해 나타난다.

과학자들은 우주에 있는 별이나 태양 스펙트럼을 분석하여 별이나 태양을 구성하고 있는 원소를 발견하였다. 이러한 업적을 남기게 된 것은 분광기의 발명이 큰 역할을 하였다.



토의·조사

1. 연속 스펙트럼과 선 스펙트럼이 차이가 나는 이유를 설명하여 보자.
2. 분광기의 관찰로 새로운 원소를 어떻게 찾아냈는지 조사해 보자.
3. 회절격자 필름을 사용하여 간섭 분광기를 만들어 보자.

도전문제

- 1 (어휘)** 다음 용어를 정의하여라.
(1) 전자껍질 (2) 선 스펙트럼 (3) 주양자수
(4) 원자가 전자 (5) 에너지 준위
- 2 (비판적 사고)** 보어 모형에서 해결하지 못한 점을 오비탈 모형에서 어떻게 해결하였는지 설명하여라.
- 3 (모둠 활동)** 질소의 오비탈 모형을 적절한 소재를 선택하여 표현해 보아라.
- 4 (의사소통)** $^{12}_6\text{C}$ 원자의 바닥상태의 전자 배치를 오비탈 기호로 나타내어 보고, 들뜬상태에서의 오비탈을 어떻게 나타내면 좋을지 토의하여 보자.
- 5 (적용)** 탄소의 동위 원소를 조사해 보자. 탄소의 동위 원소 $^{14}_6\text{C}$ 가 연대 측정에 사용될 수 있는 까닭을 설명하여 보자.



인성 기르기

보어는 우라늄을 중성자로 때릴 때 우라늄 원자핵이 분열될 가능성이 있다는 오토 한의 의견을 듣고, 덴마크로 돌아가 원자 폭탄 제조의 가능성을 알게 되었다. 그는 제2차 세계 대전 중 독일이 덴마크를 점령하자 조국에서 탈출하여 미국으로 건너가 원자 폭탄 개발에 참여하였다. 보어는 1922년 원자 구조 연구의 공로로 노벨 물리학상을 수상하였으며, 그 후 원자력의 평화 이용의 활동으로 1957년 노벨 평화상을 받았다.



◀ 원자 폭탄의 폭발 모습



토의·조사

- 원자력을 우리 생활에 이용하는 예를 조사해 보자.
- 보어가 원자 폭탄 개발에 참여한 후, 원자력의 평화적 이용에 기여한 업적이 우리 인류에게 어떤 영향을 미치고 있는지 토의하여 보자.



만화로 보는 정리



아 그거, 탄소 원소 중 ^{14}C 처럼 방사선을 내는 원소야.



그럼, ^{12}C 와 ^{14}C 중 방사선을 내는 물질이야!



채영이가 오비탈이 뭐냐고 물었는데…….



그래! 전자가 운동할 때 나타내는 공간이지!



파울리의 배타 원리가 생각나는군! 팝콘이 저 통 속에 한없이 들어갈 수는 없지!



훈트 규칙대로 놓으면 집어가기 쉬운데!

이 공원에서 지킬 규칙 세 가지

1. **쌓음 원리**
쓰레기는 차곡차곡 밑에서부터 쌓아 둔다.
2. **파울리의 배타 원리**
한 텐트에 두 사람까지 수용한다.
3. **훈트의 규칙**
텐트가 셋, 사람이 셋일 때는 편하게 한 텐트에 한 사람씩 사용한다.

퀴리 부인

폴란드 바르샤바에서 태어난 마리 퀴리는 베크렐이 우라늄 방사능을 발견한 것에 자극을 받아 남편과 공동으로 방사능 연구에 착수하였다. 여러 가지 재료에 대해 방사능 측정을 하던 그들은, 불안정 상태에 놓인 특정 원자들이 보다 안정된 상태로 변형될 때 방사능이 방출된다는 사실을 처음 발견하였다.

1902년에는 광석에서 순수 라듐 1 dg(데시그램)을 추출하는 데 성공하여 새로운 물질의 원자량을 최초로 결정하였다.

방사성 원소인 폴로늄과 라듐 두 원소는 퀴리 부



퀴리 부부

부가 최초로 발견한 것으로, 새로운 방사성 원소를 탐구하는 계기가 되었다.

1903년 마리 퀴리는 남편 피에르 퀴리, 베크렐과 함께 노벨 물리학상을 받았다. 이듬해 피에르는 파리 대학 교수가 되었다.

1906년에는 여성 최초로 파리 대학 강사가 되었으며, 이어서 1908년에는 교수가 되었다. 마리는 남편과 함께 연구하던 염화라듐 0.1 g을 원료로 해서 라듐을 화학물이 아닌 금속으로 얻는 노력을 계속하였다.

1910년 마침내 미량의 금속 라듐을 얻는 데 성공하였고, 이 업적을 인정받아 1911년 노벨 화학상을 수상하였다. 이리하여 마리는 역사상 최초로 두 번의 노벨상 수상자가 되었다.

1 위 문장을 이용하여 다음 용어를 설명해 보자.

- (1) 방사성 물질
- (2) 라듐
- (3) 폴로늄
- (4) 원자량

2 퀴리 부인은 무슨 공로로 인하여 노벨상을 받았는가?

3 퀴리 부인은 방사성 원소를 다루는 과정에서 백혈병으로 생을 마감하였다. 과학자의 삶에 대해 자신이 느낀 점을 글로 써 보자.

2

주기적 성질

2-1 주기율	88
2-2 원소의 주기적 성질	95
2-3 원소들의 규칙성	106



들어가기

우리는 식물이나 동물의 다양성을 다룰 때 이를 계통적으로 분류하여 학습하고 있다. 따라서 우리 주변에는 무수히 많은 물질들이 있는데, 이 물질세계에서 질서와 분류의 체계가 이루어지면 매우 편리하다.

화학을 학습할 때에도 100여 종류의 원소가 모여 수많은 물질세계를 이루고 있으므로 분류 체계가 필요하다.

이 단원에서는 주기율과 주기율표는 무엇이며, 원자의 전자 배치와 원소의 주기적 성질과는 어떤 관련이 있는지 학습한다.



2-1 주기율



다가서기

- 원소들을 성질에 따라 분류할 수 있다.
- 주기율표에서 원소의 성질이 주기적으로 변화됨을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 주기율
- 주기율표
- 족
- 주기
- 준금속
- 알칼리 금속
- 할로젠
- 비활성 기체

지금까지 알려져 있는 원소는 100여 종이 넘으며, 이들이 결합하여 이루어진 화합물은 수백만 종이 넘는다. 이 원소들과 화합물들을 아무런 연관을 맺지 않고 하나하나 배운다면 어떻게 될까?

원소들을 체계적으로 분류하여 그들 사이의 규칙성을 파악하는 것은 물질세계의 규칙성을 이해하는 데 매우 중요하다.

화학자들은 원소들을 어떻게 분류하였을까?

1789년경, 라부아지에는 당시에 알려진 33종의 원소들을 다음과 같이 4무리로 분류하였다.

원 소	분 류
• 빛, 열소, 산소, 질소, 수소	→ 모든 물체의 원소라고 볼 수 있는 홑원소 물질
• 황, 인, 탄소, 붕산기, 염산기 등	→ 비금속 홑원소 물질
• 안티몬, 구리, 금, 백금, 납, 코발트, 수은, 니켈, 아연, 텅스텐 등	→ 금속 홑원소 물질
• 생석회, 알루미늄, 마그네시아 등	→ 염이 될 수 있는 물질

라부아지제의 분류는 원소들을 체계적으로 다루려는 출발점이 되었지만, 오늘날의 화학적 지식으로는 받아들일 수 없는 점이 많다. 그 이후 1861년 독일의 뉘베라이너는 세쌍 원소설을 제안하였고, 1863년 영국의 놀랜즈는 그 당시에 알려진 수소 외의 16종 원소들을 원자량 순서로 배열하였을 때 성질이 비슷한 원소가 8번째마다 나타난다는 옥타브설을 제시하였다.

그러나 놀랜즈의 분류는 갈슘까지는 그 성질이 주기적으로 일치하였으나 그 밖의 원소를 분류할 수 없어서 인정을 받지 못하였다.



확인 라부아지제의 4무리 분류에서 오늘날 받아들일 수 있는 점과 받아들일 수 없는 점은 무엇일까?

다음 탐구 활동을 통하여 원소들을 분류하여 보자.

| 활동 7 | 원소의 분류

- 목적 성질이 비슷한 원소를 분류한다.
- 준비물 A4 용지 2장, 가위, 자, 필기도구
- 과정
 - ① A4 용지를 네 번 접어 모두 20장의 카드를 만든다.
 - ② 각 카드에 1~20번 원소까지 오른쪽 <보기>와 같이 부록의 원소 자료를 참고하여 기입한다.
 - ③ 자료를 기입한 카드를 원자 번호 순으로 아래 표와 같이 나열하여 보자.

원자가 전자 4
K L

$1s^2 2s^2 2p^2$

원자량 12

끓는점 4,492℃

실온에서 고체 상태

1							2
3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18
19	20						

- 정리 표의 가로와 세로에 나열된 원소에서 원소의 성질에 대한 규칙성을 찾아보자.

과학자



멘델레예프

멘델레예프(Mendeleev, D.: 1834~1907)는 1865년에 ‘알코올류와 물의 결합’이라는 주제로 박사 학위를 받은 후 공업 고등학교 화학 교사로 임명되었고, 1866년에는 대학 교수가 되어 화학 강의를 맡았다. 1867년에 대학 강의용 ‘화학의 원리’를 출판하였는데, 이 책은 1891년 이후 영어, 독일어, 프랑스어로 번역되어 대학생들에게 널리 알려졌다. 1868년에 러시아 화학회를 창립하고 그 첫 모임을 그의 아파트에서 가졌다. 1869년 ‘원소의 원자량과 그 성질과의 관계’라는 논문을 러시아 화학회에서 발표할 예정이었으나, 병석에 누운 멘델레예프를 대신해서 그의 첫 제자 멘슈트킨이 대독하면서 세상에 주기율이 드러나게 되었다. 멘델레예프는 처음 주기율표에 족과 주기, 에카-규소, 에카-알루미늄 등 6군데 빈 자리를 남겨 놓았으며, 2년 후에는 수직으로 배열했던 표를 수정해서 원소들을 원자량 크기 순으로 옆으로 배열하고 족과 주기라는 용어를 처음 사용하였다.



STS 활동

멘델레예프의 삶으로부터의 어떤 교훈을 얻을 수 있는지 생각해 보자.

여러 가지 원소들의 원자량을 순서대로 나열하여 보면, 화학적 성질이 비슷한 원소들이 일정한 간격을 두고 주기적으로 나타난다. 이것을 원소의 주기율이라고 한다.

원소의 주기율을 기준으로 하여 원소를 배열한 표가 주기율표이다. 러시아의 멘델레예프는 그 당시에 알려진 63종의 원소들의 성질을 조사하고 원자량을 측정하여 이들 원소를 원자량 크기 순서로 나열하여 보았다. 그는 시계의 초침이 60초를 주기로 일정한 간격으로 돌아오듯이 화학적 성질이 비슷한 원소가 주기적으로 나타나는 것을 발견하였다. 1869년 멘델레예프는 화학적 성질이 비슷한 원소들을 배열한 주기율표를 발표하였다.

표 II-7 멘델레예프가 발표한 63종 원소의 주기율표

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ										
ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
I	H 1									
II	Li 7	Be 9,4	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19			
III	Na 23	Mg 24	Al 27,4	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5			
IV	K 39	Ca 40	? 45	Ti 50	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56	Co 59	Ni 59
V	Cu 63,4	Zn 65,2	? 68	? 70	As 75	Se 79,4	Br 80			
VI	Rb 85,4	Sr 87,6	Yt? 88	Zr 90	Nb 94	Mo 96	? 100	Ru 104,4	Rh 104,4	Pd 106,6
VII	Ag 108	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 128?	J 127			
VIII	Cs 133	Ba 137	Di? 138	Ce? 140						
IX										
X			Er? 178	La? 180	Ta 182	W 186		Pt 197,4	Ir 198	Os 199
XI	Au 197?	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 210					
XII				Th 231		U 240				

1871년에는 표 II-7의 주기율표에서 빈칸에 해당하는 에카-알루미늄과 에카-규소의 성질을 예측하였다. 그 후 다른 화학자들이 에카-규소에 해당하는 저마늄(Ge)과 에카-알루미늄에 해당하는 갈륨(Ga) 원소를 발견하여 그의 예측이 정확했다는 사실이 입증되었다.

이와 같이 원소들을 그 성질에 따라 주기적으로 배치해 봄으로써 아직까지 발견되지 않은 새로운 원소를 찾을 수 있다.

현장 체험 - 과학관에서 보는 주기율표



▲ 멘델레예프와 주기율표

국립 과천 과학관은 미래를 향해 날아오르는 비행체 형상의 본관 등에 기초과학관, 첨단 기술관, 어린이 탐구 체험관, 자연사관, 전통과학관 등의 5개 상설 전시관과 옥외에 천체 투영관, 천체 관측소, 야외 전시장, 곤충 생태관 등이 있으며, 전시품의 50% 이상이 체험과 참여 활동을 할 수 있도록 꾸며져 있다.

주기율표와 관련된 전시품에서 라부아지에와 멘델레예프의 원소 분류를 자세히 관람할 수 있다.



▶ 라부아지에와 원소표



찾아가는 길 : 서울 지하철 4호선 어린이대공원 역 5번 출구

개관 시간 : 9시 30분 ~ 17시 30분

휴관일 : 1월 1일, 매주 월요일

입장료 : 어른 4,000원, 청소년 2,000원

표 II-8 멘델레예프가 예측한 원소의 성질

구분	에카-알루미늄	갈륨(1875년 발견)	구분	에카-규소	저마늄(1886년 발견)
원자량	68	69.7	원자량	72	72.6
밀도(g/cm^3)	5.9	5.9	밀도(g/cm^3)	5.5	5.3
녹는점	낮음	29.8℃	산화물 화학식	EO ₂	GeO ₂
산화물 화학식	E ₂ O ₃	Ga ₂ O ₃	산화물의 밀도(g/cm^3)	4.7	4.2

멘델레예프의 주기율표는 새로운 원소들을 찾아내는 데 훌륭한 도구였지만, 그의 주기율표에서 나타난 아이오딘과 텔루륨과 같이 원자량 크기 순서로 배열되지 않는 원소가 있었다. 이 문제를 어떻게 해결하였을까?

영국의 모즐리는 원자량 순서보다는 양성자 수, 즉 원자 번호 순으로 원소를 배열함으로써 멘델레예프의 주기율표를 더 발전시켰다. 즉 현재 사용하고 있는 주기율표는 원소들을 원자 번호의 순서에 따라 가로로 나열하면서 화학적 성질이 비슷한 원소들을 세로줄에 배열하도록 한 것이다.

주기율표에서 세로줄을 족이라고 하고, 왼쪽에서 오른쪽으로 1족에서 18족까지 구분한다. 주기율표에서 가로줄을 주기라고 하고, 위에서 아래로 1주기에서 7주기까지 구분한다.

주기율표에서 1, 2족과 13~18족에 해당하는 원소들은 족의 번호 끝자리 수와 원자가 전자 수가 같고, 또한 화학적 성질이 비슷하여 주기율표에서 원소들의 규칙성을 잘 나타낸다.

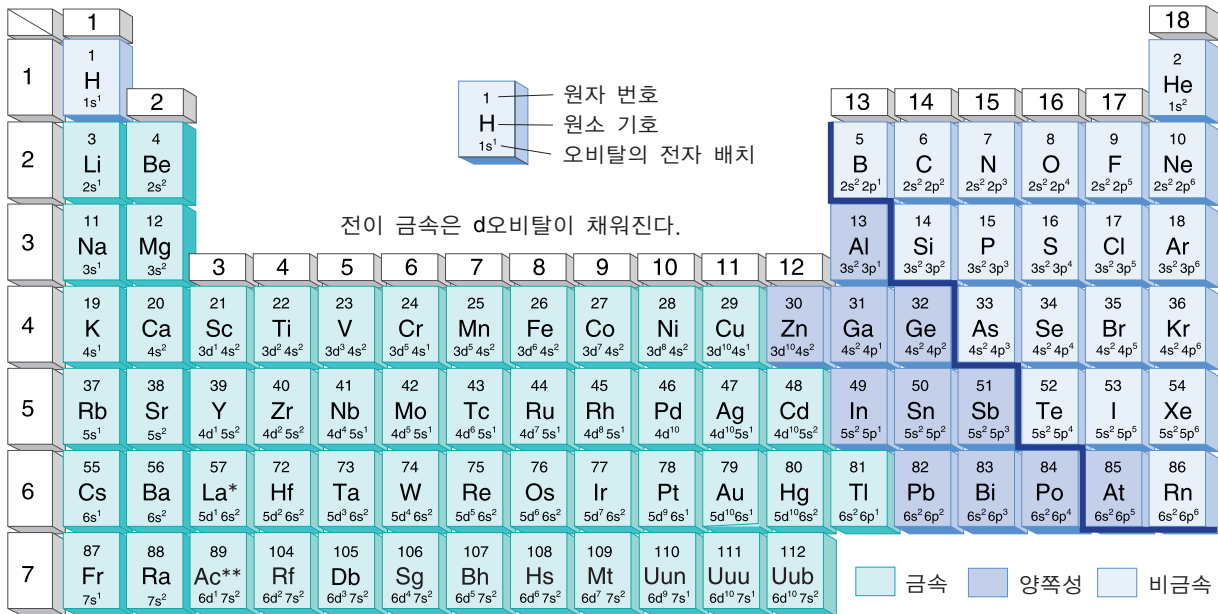


그림 II-25 현대의 원소의 주기율표

주기율표의 원소들은 그림 II-26과 같이 금속 원소와 비금속 원소로 구분할 수 있다. 금속 원소들은 수은을 제외하고 실온에서 고체 상태로 존재하며 전기 전도성이 좋다. 또한 전자를 잃기 쉬워 양이온으로 되기 쉽다. 비금속 원소는 실온에서 기체, 액체, 고체 상태로 존재하며 전기 전도성이 좋지 않다. 또한 전자를 얻기 쉬워서 음이온으로 되기 쉽다. 금속 원소와 비금속 원소의 경계 부분에 위치한 녹색 부분의 원소들을 준금속이라고 한다.

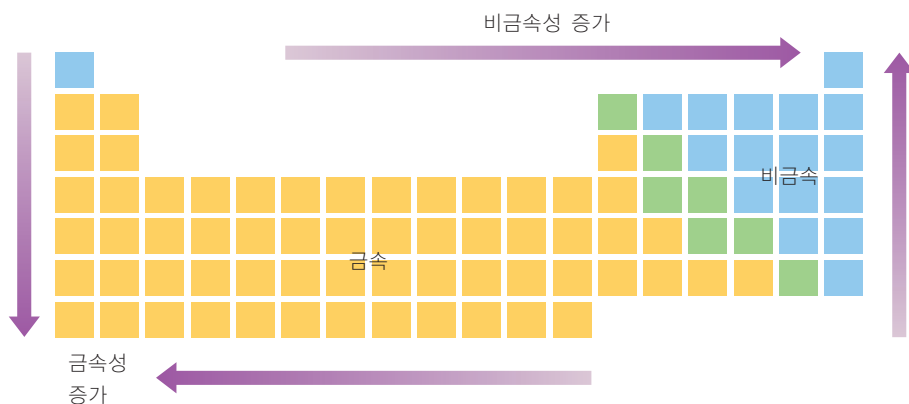


그림 II-26 주기율표에서 금속 원소와 비금속 원소의 위치



- 제3주기에서 금속과 비금속 원소는 각각 몇 종류인가?
- 17족 제3주기 원소의 이름은 무엇인가?
- ${}_{15}\text{P}$ 는 금속인가, 비금속인가?

표 II-9는 족에 따른 원자가 전자 수를 나타낸 것이다. 족의 원자가 전자 수는 족의 번호의 끝자리 수와 일치한다. 예를 들어 13족 원소인 알루미늄의 원자가 전자 수는 3개이다.

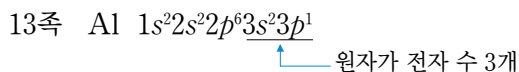
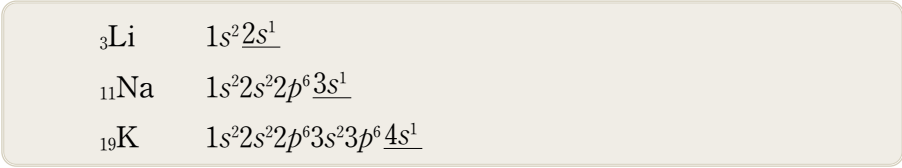


표 II-9 족에 따른 원자가 전자 수

족	1	2	13	14	15	16	17
원자가 전자 수	1	2	3	4	5	6	7
오비탈 전자 배치	s^1	s^2	$s^2 p^1$	$s^2 p^2$	$s^2 p^3$	$s^2 p^4$	$s^2 p^5$

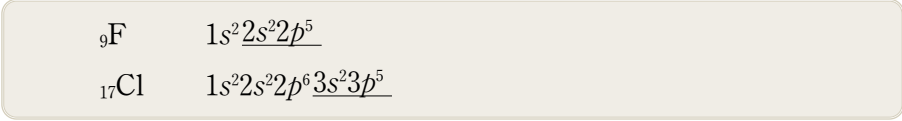
원소를 원자 번호 순으로 나열했을 때 일정한 간격을 두고 성질이 비슷한 원소가 나타나는 것은 원소의 전자 배치와 어떤 관계가 있는지 알아보자.

1족 원소인 리튬(Li), 나트륨(Na), 칼륨(K)은 알칼리 금속이라고 하며, 원자가 전자가 모두 ns^1 의 전자 배치를 한다.



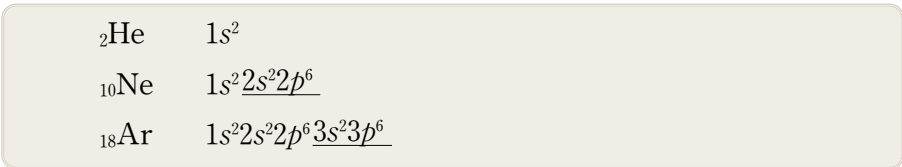
알칼리 금속은 물과 반응하면 수소 기체가 발생하며, 염기성 용액이 생성되는 등 화학적 성질이 비슷하다.

17족 원소인 플루오린(F), 염소(Cl), 브로민(Br), 아이오딘(I)을 할로젠이라고 하며, 원자가 전자가 모두 $ns^2 np^5$ 의 전자 배치를 한다.



할로젠 원소는 알칼리 금속과 반응하여 이온성 물질을 형성하는 등 화학적 성질이 비슷하다.

18족 원소인 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar)은 비활성 기체라고 하며, 헬륨을 제외한 원자가 전자의 전자 배치는 $ns^2 np^6$ 이다.



비활성 기체는 맨 바깥 전자껍질에 전자가 8개 채워져 있어서 화학적으로 안정하며, 다른 물질과 거의 반응하지 않는다.

이와 같이 같은 족 원소들의 화학적 성질은 대체로 원자가 전자에 의해서 결정된다.



그림 II-27 네온, 아르곤, 제논의 독특한 색깔의 방출 빛

2-2 원소의 주기적 성질

👤 다가서기

- 주기율표와 관련지어 원소들의 주기적 성질을 이해한다.
- 원자 반지름, 이온화 에너지, 전기 음성도를 정의하고 주기성을 설명할 수 있다.
- 전자 친화도와 전기 음성도를 정의하고 주기성을 설명할 수 있다.

원소들의 주기성을 나타내는 성질에는 어떤 것이 있으며, 그 성질은 어떻게 설명할 수 있는지 알아보자.

먼저, 원소들의 주기성을 설명하는 데 필요한 개념인 유효 핵전하는 무엇일까?

수소 원자는 양성자 1개와 전자 1개로 이루어져 있으므로 원자핵과 전자 사이의 인력만 존재한다. 따라서 수소 원자의 전자는 1+의 핵 전하량을 그대로 느끼게 된다.

그러나 2개 이상의 전자를 가지는 원자의 경우에는 핵과 전자 사이의 인력뿐 아니라 전자 사이의 반발력도 고려해야 한다. 즉 가장 바깥 껍질에 있는 전자는 안쪽 전자껍질에 있는 전자들에 의해 가려지는 효과 때문에 원래의 핵 전하량을 느낄 수 없다.

이러한 현상은 같은 전자껍질에 있는 다른 전자들에 의해서도 나타나는데, 이러한 현상을 가려막기 효과라고 한다. 따라서 2개 이상의 전자를 가지는 원자에서 가장 바깥 껍질에 있는 전자가 실제로 느끼는 핵의 전하는 가려막기 효과로 인해 감소하게 된다.

예를 들어 탄소(C) 원자와 산소(O) 원자는 똑같이 L 전자껍질에 전자가 배치되어 있으나, 전자들 사이의 반발력으로 인하여 핵에 끌어당겨지는 인력이 줄어든다. 이때의 전하를 유효 핵전하라고 한다.

그림 II-28에서 전자 A는 안쪽 전자껍질에 있는 전자 C와 D의 가려막기 효과 및 같은 전자껍질에 있는 전자 B에 의한 가려막기 효과 때문에 실제 핵 전하량보다 작은 전하를 느끼게 된다.

수소, 탄소, 산소의 유효 핵전하를 비교해 보면, $H < C < O$ 의 순이다. 유효 핵전하가 크면 원자핵과 전자 사이의 인력이 크다.

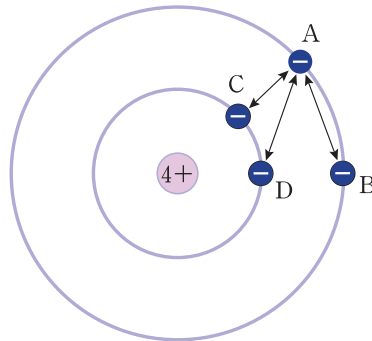


그림 II-28 전자의 가려막기 효과

📖 핵심 용어

- 가려막기 효과
- 유효 핵전하
- 원자 반지름
- 이온화 에너지
- 순차적 이온화 에너지
- 전기 음성도
- 전자 친화도

1 원자 반지름

원자를 구성하는 전자는 명확한 경계를 갖지 않으므로 한 개의 원자로써 그 원자의 반지름을 결정하기는 쉽지 않다. 따라서 원자 반지름은 원자들의 핵 사이의 거리를 측정해서 결정한다. 즉 원자 반지름은 같은 종류의 원자가 결합해 있을 때 두 원자의 핵간 거리의 반이다.

• 나노미터(10^{-9} m)나 피코미터(10^{-12} m) 단위로 나타내는 것이 편리하다.

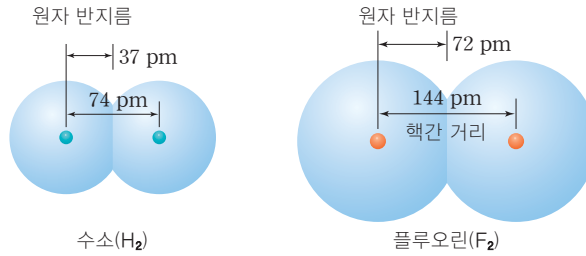


그림 II-29 원자 반지름은 핵간 거리의 반이다.

원자 반지름의 크기는 전자껍질의 수와 유효 핵전하의 영향을 받는다.

같은 족에서는 원자 번호가 커질수록 원자 반지름은 커진다. 이것은 원자 번호가 증가할수록 전자껍질 수가 증가하여 핵으로부터의 거리가 멀어지기 때문이다.

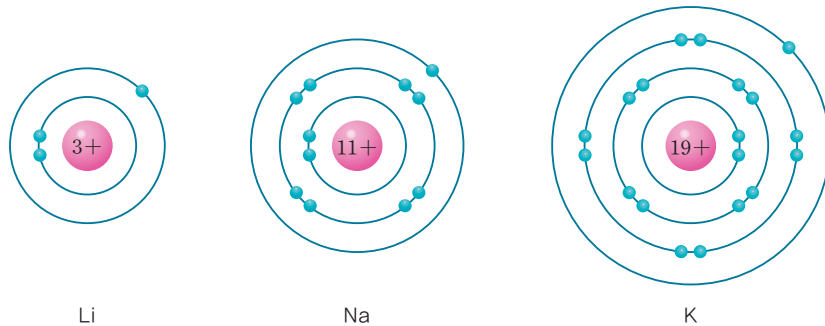


그림 II-30 같은 족에서 원자 반지름 비교

같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름은 감소한다. 이것은 원자 번호가 커질수록 원자가 전자의 유효 핵전하가 커지기 때문이다.

유효 핵전하가 커지면 핵과 전자 사이의 인력이 증가하여 전자가 핵 쪽으로 강하게 끌려간다.

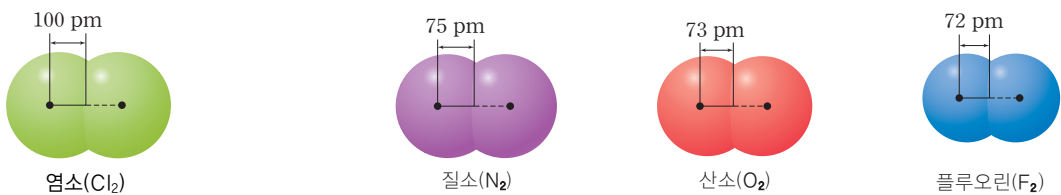
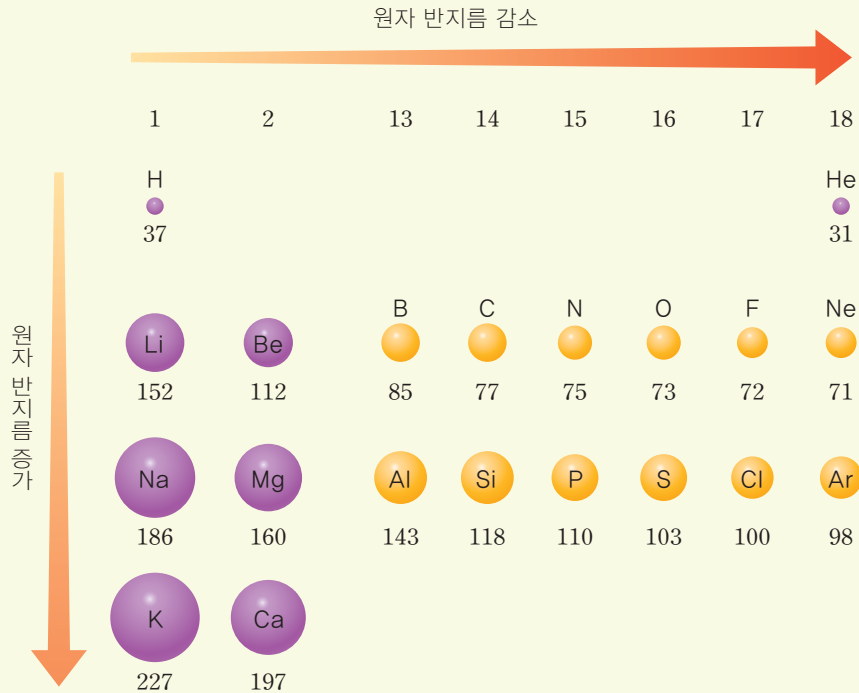


그림 II-31 같은 주기에서 원자 반지름 비교

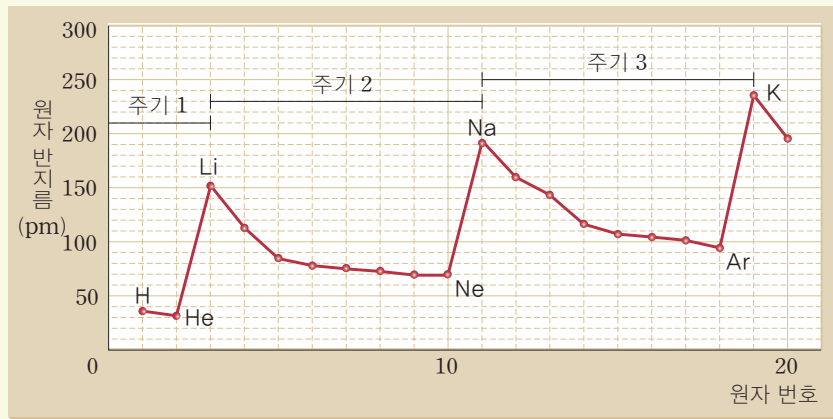
활동 8 | 자료로 본 원자 반지름의 주기성

다음은 주기율표에서 원자 반지름의 변화를 나타낸 것이다.

• 자료 1



• 자료 2



원자 번호에 따른 원자 반지름의 주기성

- 정리
1. 자료 1에서 원자 번호가 증가할 때 원자 반지름의 크기는 어떤 경향을 나타내는가?
 2. 자료 2에서 Na보다 K의 원자 반지름이 큰 이유를 토의하여 보자.

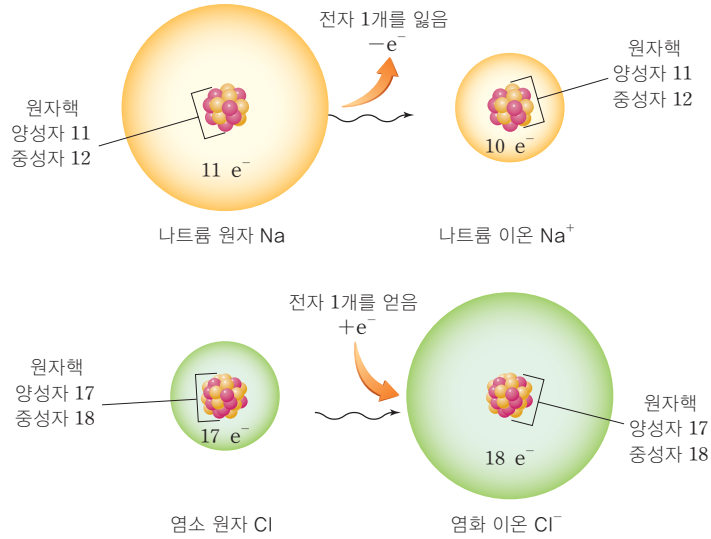


그림 II-32 양이온과 음이온의 형성

원자가 전자를 잃고 양이온이 되거나 전자를 얻어 음이온이 되면 각 이온의 반지름은 원자의 반지름과 크기가 달라진다.

예를 들어, 알칼리 금속의 하나인 나트륨 원자는 전자 한 개를 쉽게 잃음으로써 양이온이 되기 쉽다. 이때 이온 반지름은 원자 반지름보다 작아지는데, 이는 가장 바깥 전자껍질의 전자가 떨어져 나가 전자껍질의 수가 감소하기 때문이다.

또한 할로젠 원소의 하나인 염소 원자는 전자 한 개를 쉽게 얻음으로써 음이온이 되기 쉽다. 이때 이온 반지름은 원자 반지름보다 커지는데, 이는 전자 사이의 반발력이 증가하여 유효 핵전하가 감소하기 때문이다.

그림 II-33는 몇 가지 원소의 원자 반지름과 이온 반지름을 피코미터(pm) 단위로 나타낸 것이다.

	1	2	13	14	15	16	17	족
2	Li 152	Be 112	B 85	C 77	N 75	O 73	F 72	
	59 Li ⁺	31 Be ²⁺	20 B ³⁺		N ³⁻ 171	O ²⁻ 140	F ⁻ 133	
3	Na 186	Mg 160	Al 143	Si 118	P 110	S 103	Cl 100	
	99 Na ⁺	65 Mg ²⁺	50 Al ³⁺		P ³⁻ 212	S ²⁻ 184	Cl ⁻ 181	
4	K 227	Ca 197	Ga 122	Ge 123	As 125	Se 116	Br 114	
주기	K ⁺ 138	99 Ca ²⁺	62 Ga ³⁺		69 As ³⁺	Se ²⁻ 198	Br ⁻ 196	

그림 II-33 원자 반지름과 이온 반지름 비교

2 이온화 에너지

중성인 원자가 에너지를 흡수하면 전자들은 더 높은 에너지 준위로 들뜨게 된다. 원자핵 내의 양성자의 인력을 극복할 만큼 충분한 에너지를 흡수하면 전자는 원자핵으로부터 완전히 떨어져 나간다.

기체 상태의 원자 1몰로부터 전자 1몰을 떼어 내어 이온으로 만드는 데 필요한 최소 에너지를 **이온화 에너지**라고 하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

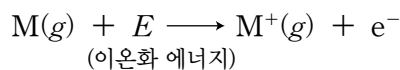


그림 II-34는 나트륨 원자의 이온화 에너지를 나타낸 것이다.

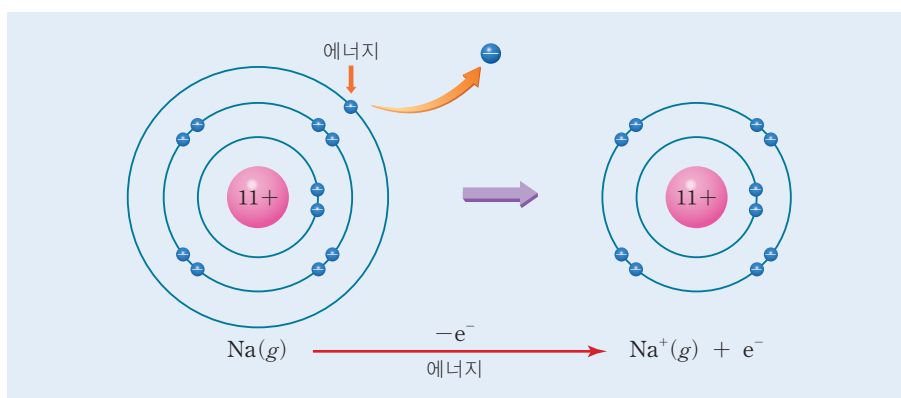


그림 II-34 기체 상태 나트륨의 이온화 에너지

같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지는 감소한다. 이것은 원자 번호가 증가할수록 전자껍질 수가 증가하여 원자핵과 전자 사이의 거리가 멀어지므로 인력이 감소하기 때문이다.

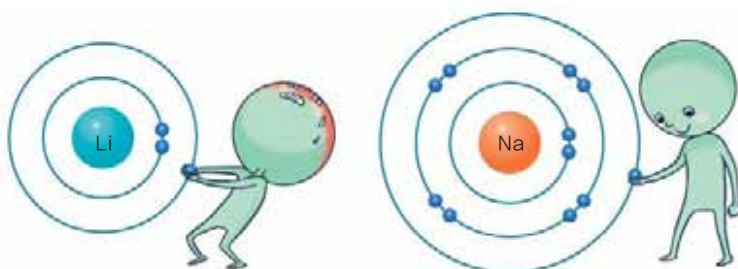
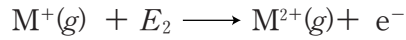
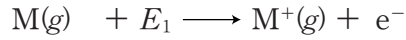


그림 II-35 Li 원자보다 전자를 떼어 내기 쉬운 Na 원자

같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지는 대체로 증가한다. 이것은 원자 번호가 증가할수록 유효 핵전하가 증가하여 원자핵과 전자 사이의 인력이 증가하기 때문이다.

기체 상태의 중성 원자 M에서 2개 이상의 전자를 순차적으로 떼어 낼 때 필요한 에너지를 **순차적 이온화 에너지**라고 하며, 제일 이온화 에너지(E_1), 제이 이온화 에너지(E_2), 제삼 이온화 에너지(E_3), 로 나타낸다.

- 마그네슘(Mg)의 순차적 이온화 에너지
- $Mg(g) \rightarrow Mg^+ + e^-$
 $E_1 = 735 \text{ kJ/mol}$
- $Mg^+(g) \rightarrow Mg^{2+} + e^-$
 $E_2 = 1445 \text{ kJ/mol}$
- $Mg^{2+}(g) \rightarrow Mg^{3+} + e^-$
 $E_3 = 7730 \text{ kJ/mol}$



원자에서 이온화가 진행될수록 전자 사이의 반발력은 감소하고, 원자핵과 전자 사이의 인력은 증가하므로 순차적 이온화 에너지는 점점 증가한다.

순차적 이온화 에너지의 크기 : $E_1 < E_2 < E_3, \dots$

주기율표에서 이온화 에너지의 주기성은 어떻게 되는지 다음 탐구 활동을 통하여 알아보자.

탐구

| 활동 9 | 이온화 에너지의 주기성 (자료 해석)

- 목적 이온화 에너지의 주기성 알아보기

다음은 원자 번호에 따른 이온화 에너지를 나타낸 것이다.

원자 번호	원소	제일 이온화 에너지 (kJ/mol)
1	H	1312
2	He	2372
3	Li	520
4	Be	900
5	B	801
6	C	1086
7	N	1402
8	O	1314
9	F	1681
10	Ne	2081
11	Na	496
12	Mg	738
13	Al	578
14	Si	786
15	P	1012
16	S	1000
17	Cl	1251
18	Ar	1521
19	K	419
20	Ca	590

원자 번호에 따른 제일 이온화 에너지의 주기성

- 정리
 1. 제2주기에서 원자 번호가 커질 때 이온화 에너지의 경향은 어떠한가?
 2. 알칼리 금속과 비활성 기체의 이온화 에너지의 경향은 각각 어떠한가?
 3. 같은 족과 같은 주기에서 나타나는 이온화 에너지의 경향이 왜 그런지 설명하여 보자.

한편, 원자로부터 원자가 전자 수만큼의 전자를 떼어 내기는 비교적 쉽지만, 그 이상의 전자를 떼어 낼 때는 이온화 에너지가 매우 커진다. 이것은 안쪽 전자껍질에 있는 전자가 느끼는 유효 핵전하가 훨씬 커져서 그 전자를 떼어 내기 어렵기 때문이다. 따라서 어떤 원자의 순차적 이온화 에너지 값을 해석하면 그 원자의 원자가 전자 수를 예측할 수 있다.

확인 순차적 이온화 에너지의 값이 $E_1 < E_2 < E_3$ 로 증가하는 이유는 무엇일까?

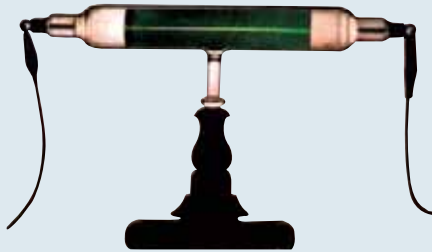
이온화 에너지의 측정

원자의 이온화 에너지는 음극선관을 사용하여 측정한다. 음극선관에 이온화 에너지를 측정하려는 기체 상태의 원소를 넣어 밀봉하고 전원 장치와 전류계를 설치한다.

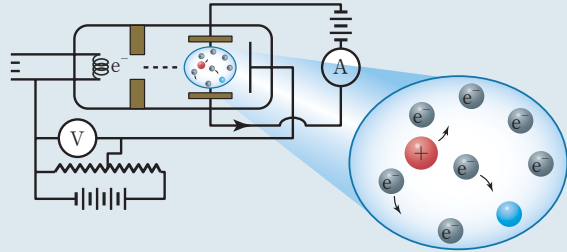
이 장치에서 전압을 서서히 높여 전류계의 눈금이 급격히 올라갈 때의 전압을 측정한다.

이때 전류계의 눈금이 급격히 올라가는 현상은 음극선관 속의 기체 원소의 원자가 전자를 잃고 양이온으로 되기 때문이다.

전압을 다시 서서히 높일 때 전류계의 눈금이 또다시 급격하게 올라가는 현상이 일어나면 이것은 두 번째 전자가 제거되는 것으로, 제이 이온화 에너지를 흡수한 것이다.

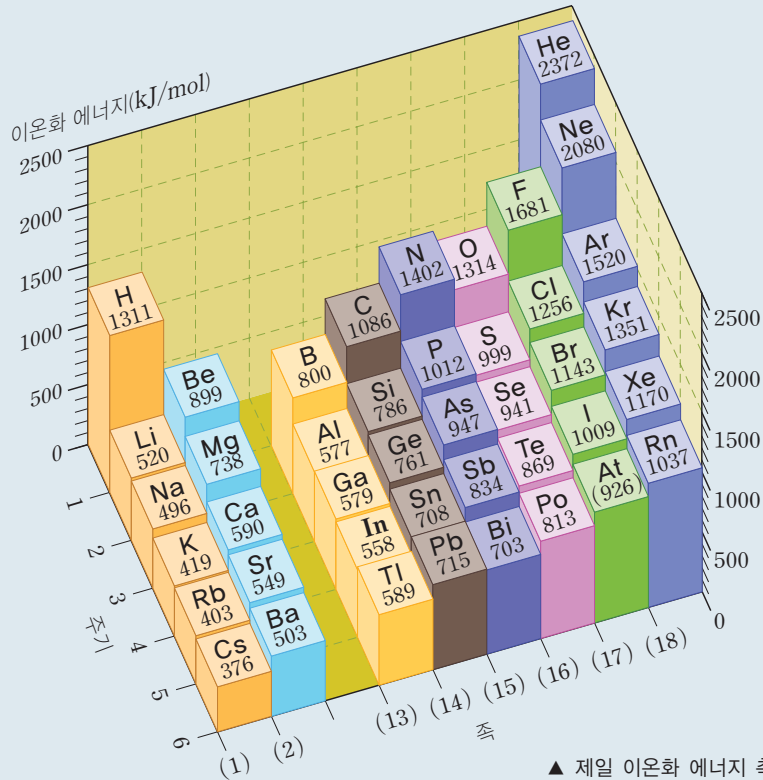


(가)



(나)

▲ 전자가 흐르는 음극선관(가) 및 내부에서의 전자의 이동 모식도(나)



▲ 제일 이온화 에너지 측정값

3 전기 음성도

원자 반지름과 이온화 에너지는 원자에 관한 성질이다. 그러나 대부분의 물질들은 분자를 형성하고 있으므로, 분자 내의 전자쌍이 어느 원자 쪽으로 치우치는지를 아는 것이 중요하다.

염화수소(HCl)와 같이 다른 종류의 원자로 구성된 화합물에서 전자쌍은 염소 원자 쪽으로 치우쳐 있다. 이것은 수소 원자와 염소 원자가 전자쌍을 끌어당기는 능력이 서로 다르기 때문이다. 이러한 능력을 수치로 나타낸 값을 전기 음성도라고 한다.

그림 II-36은 폴링이 제시한 전기 음성도 값으로, 전기 음성도가 가장 큰 플루오린(F)의 값을 4.0으로 정하여 비교 측정할 값을 나타낸 것이다.

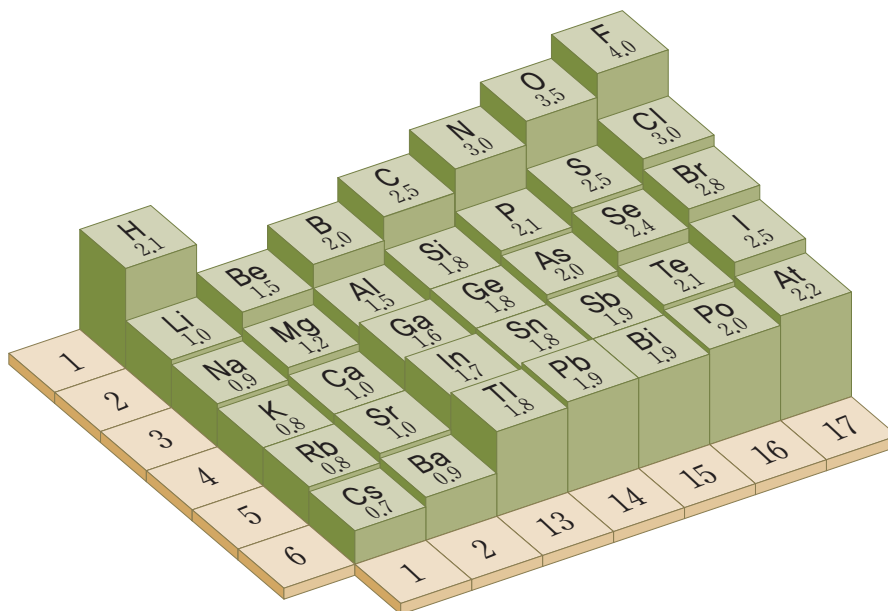


그림 II-36 폴링의 전기 음성도 값

전기 음성도 값이 가장 큰 원소는 플루오린(F)으로 전자를 가장 세게 끌어당기는 경향이 있으며, 또한 세슘(Cs)은 전기 음성도가 가장 작은 값을 가지는 것을 의미한다. 제2주기에서는 원자 번호가 증가할 때 0.5씩 커지는 특징이 있다.

같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 전기 음성도는 대체로 감소한다. 이것은 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름이 커져서 원자핵과 전자 사이의 인력이 감소하므로 화합물 내의 전자쌍을 끌어당기는 힘이 약해지기 때문이다.

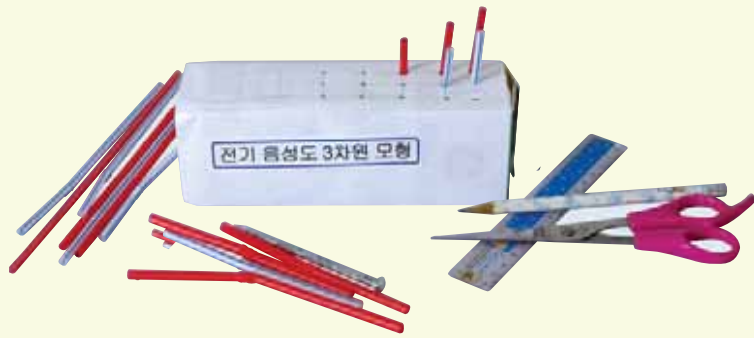
같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 전기 음성도는 대체로 증가한다. 이것은 원자 번호가 증가할수록 원자 반지름은 작아지고 유효 핵전하는 커져서 원자핵과 전자 사이의 인력이 증가하므로 화합물 내의 전자쌍을 끌어당기는 힘이 커지기 때문이다.

| 활동 10 | 전기 음성도의 3차원 모형

- 목적 전기 음성도의 3차원 모형을 만들어 본다.
- 준비물 종이 상자(또는 우유팩), 긴 못, 가위, 빨대 25개, 자, 사인펜
- 과정
 - ① 그림과 같이 종이 상자 위에 오른쪽 표의 전기 음성도를 참고하여 모형을 설계한다.
 - ② 설계한 원소 이름이 있는 곳에 큰 못을 이용하여 구멍을 만든다.
 - ③ 종이 상자의 높이와 같게 빨대 전부에 표준선을 긋는다.
 - ④ 각 빨대에 표준선에서 1 cm 간격으로 선을 4 cm까지 표시(플루오린의 전기 음성도가 4.0이다)한다.
 - ⑤ 각 빨대에 표준선 위로 전기 음성도의 값에 해당하는 곳에 선을 긋는다.
 - ⑥ 표시된 값의 위치에서 빨대를 자른 다음 종이 상자의 해당되는 위치에 꽂는다.
 - ⑦ 3차원 모형을 완성한다.

H 2.1						
Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca			As	Se	Br
Rb	Sr				Te	I
Cs	Ba				Po	At

※ 원소 기호 아래에 전기 음성도 값을 적는다.



- 분석 전기 음성도 3차원 모형을 관찰하고 아래 질문에 답하여 보자.
 1. 같은 족에서 전기 음성도의 경향은 어떠한가?
 2. 같은 주기에서 전기 음성도의 경향은 어떠한가?
 3. 금속과 비금속의 주기율표상의 위치와 전기 음성도의 경향은 어떤 관계가 있는지 토의하여 보자.

도전 1. 추론	도전 2. 설계
* 18족 원소 제논 ${}_{54}\text{Xe}$ 의 전기 음성도 값은 2.6이다. (1) 제논 Xe를 3차원 모형에 배치한다면 전기 음성도의 경향을 뒷받침하는가? (2) 제논은 화합물을 형성하리라고 예측하는가?	(1) 제일 이온화 에너지의 3차원 모형을 설계하여 보자.(1 cm를 300 kJ/mol로 표현하여라.) (2) 원자 반지름의 3차원 모형을 설계하여 보자.

4 전자 친화도

원자가 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향은 이온화 에너지로 비교할 수 있는데, 원자가 전자를 받아들여 음이온이 되려는 경향은 어떻게 비교할 수 있는지 알아보자.

기체 상태의 원자 1몰이 전자 1몰을 받아들일 때 에너지가 발생하는 데 이 에너지를 전자 친화도라고 한다.

전자 친화도로 중성 원자가 음이온이 되려는 경향을 비교할 수 있다. 전자 친화도가 큰 원자일수록 전자를 받아들일 때 큰 에너지가 방출되며 전자를 쉽게 받아들여 음이온이 되기 쉽다.

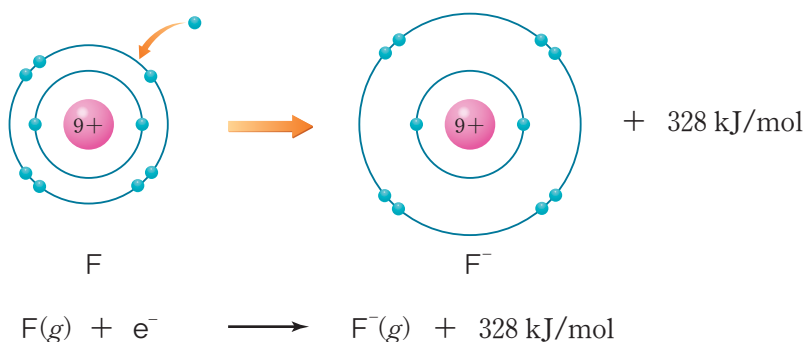


그림 II-37 플루오린(F) 원자의 전자 친화도

그림 II-37에서 플루오린 원자의 전자 친화도는 328 kJ/mol이다.

그림 II-38은 원자 번호 1~20번까지 전형 원소의 전자 친화도를 나타낸 것이다.

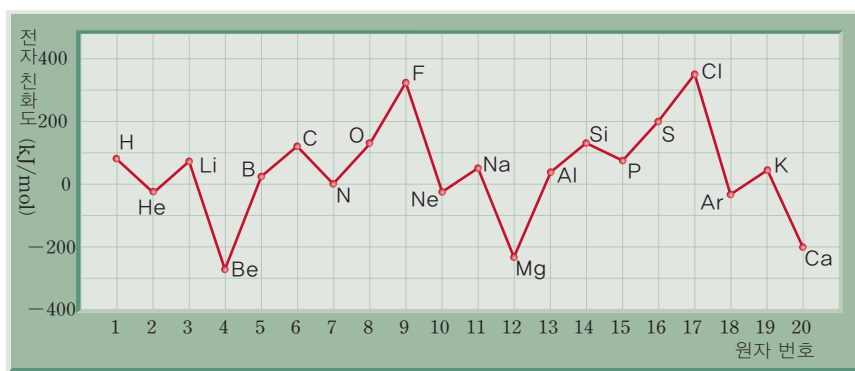


그림 II-38 원자 번호 1~20번 원소의 전자 친화도



1. 전기 음성도가 가장 큰 원소는 어느 것인가?
2. 전기 음성도는 같은 족에서 어떤 경향을 나타내는가?



문화재와 화학



고대 유물 보존 연구가

고대 유물, 문화재, 미술품, 건축물, 서적 등은 세월이 흐르면 변질되거나 손상된다.

그 이유는 온도와 습도, 정화되지 않은 공기, 매연, 햇빛, 관광객의 접촉 등으로 표면이 더러워지고 탈색되며 산화막이 생기기 때문이다.

그런데 박물관에 보관된 유물들은 비교적 잘 보존되고 있다. 그것은 알맞은 온도와 습도를 유지하고 산화막이 생기지 않도록 고분자 물질로 표면 처리하거나 채색이 변색되지 않으면서 오래 보존되도록 화학 물질을 개발하여 사용하기 때문이다. 더구나 이런 귀중한 문화재를 보존하고 관리할 수 있는 전문 지식과 기술이 있는 화학 전공 전문가들이 일하고 있기 때문이다.

UNESCO에서는 범 세계적으로 문화 유산을 보존하기 위한 활동을 전개하고 있으며, 이런 기관에도 화학 전공자가 필요하다.

핵심 기술

- 화학 전공 학위 인증
- 고고학 및 미술 부전공
- 영어 외 필요한 외국어
- 화학 분석 기구를 다룰 수 있는 기술
- 컴퓨터 활용과 자료 분석력

필요한 교육

대학에서 화학을 전공하고 고고학이나 미술 분야에 관한 연구가 필요하다.

진로 방향

- 국내 박물관 연구자 및 학예사
- 국제적으로 UNESCO 세계 문화 유산 관리 보존 연구자
- 고고학 관련 유물 경매 업무
- 문화재 복원 업무
- 대학의 관련 학과 교수
- 고고학, 문화재 관련 신문기자



▲ 박물관의 조각 전시실

STS 활동

1. UNESCO에서 세계 문화 유산 보존 업무로 무엇을 하고 있는지 조사하여 보자.
2. UNESCO에서 활동하기 위하여 어떤 준비를 하면 되겠는가?

2-3 원소들의 규칙성



다가서기

- 주기율표에서 1족과 17족 원소들의 성질을 이해한다.
- 같은 족 원소끼리는 화학적 성질이 비슷함을 설명할 수 있다.



핵심 용어

- 알칼리 금속
- 할로젠 원소

1 알칼리 금속

알칼리 금속인 Li, Na, K, Rb, Cs은 주기율표의 1족에 속하는 원소이다. Li, Na, K의 전자 배치는 아래의 표 II-10과 같다.

알칼리 금속은 다음과 같은 공통적인 성질이 있다.

표 II-10 Li, Na, K의 전자 배치

원소	전자껍질(주양자수)				오비탈 기호
	K(1)	L(2)	M(3)	N(4)	
리튬 ${}_3\text{Li}$	2	1			$1s^2 2s^1$
나트륨 ${}_{11}\text{Na}$	2	8	1		$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
칼륨 ${}_{19}\text{K}$	2	8	8	1	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$

- 원자가 전자가 1개이므로, 전자 1개를 잃고 1+의 양이온이 되려는 경향이 크다.



- 물과 반응하여 수소 기체를 발생하며, 남은 용액은 염기성을 나타낸다.



탐구

| 활동 11 | 알칼리 금속의 성질

- **목적** 알칼리 금속의 성질을 알아본다.
- **준비물** 비커 3개, 칼, 핀셋, 물, 페놀프탈레인 용액, 실험용 장갑, 보안경, 팔알 크기의 Li, Na, K
- **유의점** 재료가 팔알 크기보다 크면 위험하며, 알칼리 금속 조각이 피부에 닿지 않도록 주의한다.
- **과정**
 - ① 3개의 비커에 물을 1/3쯤 넣는다.
 - ② 각각의 비커에 페놀프탈레인 용액을 한 방울씩 넣는다.
 - ③ 비커에서 멀리 떨어진 장소에서 핀셋으로 리튬 조각을 비커의 물에 넣고 관찰한다.
 - ④ 나트륨 조각과 칼륨 조각을 각각 과정 ③과 같이 실험한다.
- **정리**
 1. 물과의 반응 정도는 서로 어떻게 다른가?
 2. 비커 속의 용액은 어떻게 변하는가? 그 이유를 설명하여 보자.



확인 ?

리튬(Li)을 사용하여 다음 반응을 화학 반응식으로 나타내어 보자.

(1) 이온화 반응

(2) 물과의 반응

2 할로젠 원소

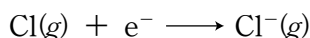
할로젠 원소인 F, Cl, Br, I은 주기율표의 17족에 속하는 원소이다. F, Cl의 전자 배치는 표 II-11과 같다.

표 II-11 F, Cl의 전자 배치

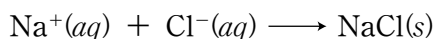
원소	전자껍질(주양자수)			오비탈 기호
	K(1)	L(2)	M(3)	
플루오린 ${}_9\text{F}$	2	7		$1s^2 2s^2 2p^5$
염소 ${}_{17}\text{Cl}$	2	8	7	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$

할로젠 원소는 다음과 같은 성질이 있다.

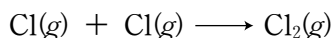
- 원자가 전자가 7개이므로 전자 1개를 얻어 1-의 음이온이 되려는 경향이 크다.



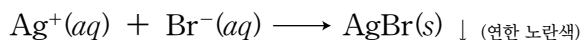
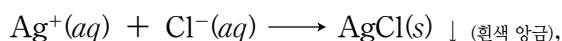
- 금속 양이온과 반응하여 염을 생성한다.



- 두 원자가 결합하여 이원자 분자를 이룬다.



염화 이온, 브로민화 이온은 은 이온과 반응하여 앙금을 생성한다.



탐구

| 활동 12 | 할로젠의 앙금 생성 반응

- **목적** 할로젠의 성질을 알아본다.
- **준비물** 시험관 3개, 시험관대, 스포이트, 염화나트륨 용액(A), 브로민화나트륨 용액(B), 아이오딘화나트륨 용액(C), 질산은 용액
- **유의점** 질산은 용액이 피부에 묻지 않도록 주의한다.
- **과정** ① 3개의 시험관에 각각 A, B, C 용액을 1/4 정도 넣는다.
② 각 시험관 용액에 질산은 용액을 2~3 방울을 가하고 일어나는 변화를 관찰한다.
- **정리** 1. 앙금이 생성되는 과정을 화학 반응식으로 나타내어 보자.
2. 각각의 앙금의 색깔은 어떠한가?

확인

아이오딘화 이온(I⁻)을 사용하여 다음 반응을 화학 반응식으로 나타내어 보자.

- (1) 이산화 반응
- (2) Na⁺과의 반응
- (3) Ag⁺과의 반응
- (4) 이원자 분자 생성 반응



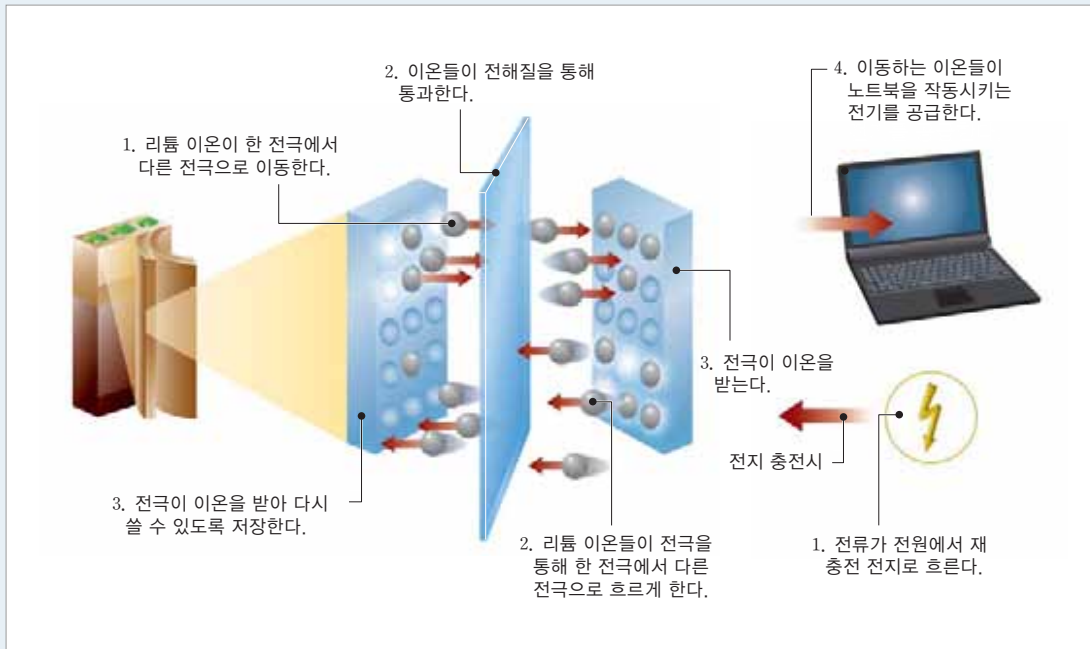
재충전 리튬 이온 전지

재충전 전지는 여러 번 사용할 수 있는 간편한 화학 전지이다. 재충전 전지는 약 10년간 사용이 가능하며 1,000번 이상을 재사용할 수 있다. 최근에는 재충전 리튬 전지를 많이 사용하고 있다.

노트북 컴퓨터 속의 전지에는 하나 또는 그 이상의 분리된 전력을 발생해 주는 셀이라고 하는 구성물이 들어 있다. 각 셀은 전해질로 분리된 두 전극을 포함한다.

충전하는 동안 리튬 이온들이 한 전극에서 다른 전극으로 이동하여 저장된다. 노트북 컴퓨터의 스위치를 작동시켜 전지가 연결되면 이온들은 즉시 다른 전극으로 옮겨가기 시작하는데, 이 움직임이 전기이다.

이온들이 각 셀을 통해 흐를 때 점점 전지가 작동 능력을 잃게 된다. 충전되지 않은 전지에서 이 과정은 한 번만 일어난다. 모든 이온이 한 전극에서 다른 전극으로 이동하면 전지는 완전히 소모된 것이다. 재충전 전지에서 방전과 충전 과정이 몇 번이고 다시 일어날 수 있다. 일단 모든 이온들이 한 전극에서 다른 전극으로 이동해 가면 전지는 이온들을 되돌려 보내는 재충전을 할 수 있다. 이온들이 다시 돌아오면 전력이 다시 저장된다.



▲ 리튬 전지의 이온의 이동

STS 활동

1. 전지의 발전은 우리 생활에 어떤 영향을 미쳤는지 토의하여 보자.
2. 선진국에서 리튬(Li) 금속을 확보하려는 이유를 조사하여 보자.



1. 알칼리 금속 화합물의 이용



(가) 나트륨 증기는 에너지를 받으면 파장이 긴 노란 빛을 내므로 터널 속의 나트륨등, 자동차 안개등으로 사용한다.



(나) 염전에서 바닷물을 이용하여 만든 소금은 주성분이 NaCl이다.



(다) 이온 음료에는 땀으로 배출되는 알칼리 금속 이온을 보충하기 위하여 칼륨 이온(K^+)이 들어 있다.

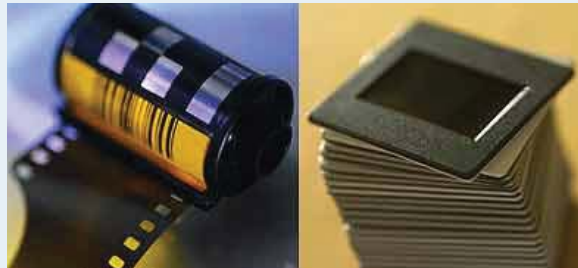


(라) 전지의 수명을 길게 하고 부피를 줄인 제품으로는 리튬(Li) 전지가 쓰이고 있다.

2. 할로젠 화합물의 이용



(가) 수영장에서 소독용으로 염소를 적당량 사용하여 미생물의 번식을 막는다.



(나) 사진 필름은 셀룰로이드 등에 브로민화은(AgBr)을 바른 것으로, 브로민화은이 빛에 감광되는 성질을 이용한다.



(다) 알코올에 아이오딘(I), 아이오딘화칼륨(KI)을 녹인 것이 요오드팅크 용액이다. 요오드팅크 용액은 상처에 바르거나 치료용 소독제로 사용한다.



(라) PVC는 염화수소(HCl)를 원료로 합성한 것으로, 난방용 배관, 전선, 파이프 등의 제조에 사용된다.

02 중단원 마무리

주기적 성질

🎓 되짚어 보기

주기율	• 화학적 성질이 비슷한 원소들이 일정한 간격을 두고 주기적으로 나타나는 성질이다.
멘델레예프	• 원자량을 크기 순서로 나열한 원소의 주기율표를 제안하였다.
모즐리	• 핵의 양성자 수(원자 번호) 순으로 배치한 주기율표를 제안하였다.
원자가 전자	• 원자의 가장 바깥 전자껍질에 있는 전자로, 화학적 성질에 관여한다.
유효 핵전하	• 가장 바깥 껍질에 있는 전자가 실제로 느끼는 핵의 전하이다.
원자 반지름	• 두 원자가 결합했을 때 핵간 거리의 반이다.
이온화 에너지	• 기체 상태의 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 내는 데 필요한 에너지이다.
순차적 이온화 에너지	• 기체 상태의 중성 원자에서 2개 이상의 전자를 순차적으로 떼어낼 때 필요한 에너지.
전자 친화도	• 기체 상태의 원자 1몰이 전자 1몰을 받을 때 내놓는 에너지이다.
전기 음성도	• 두 원자 사이의 공유 결합에서 전자쌍을 잡아당기는 힘을 상대적인 수치로 나타낸 값이다.
알칼리 금속	• Li, Na, K, Rb, Cs은 1+의 양이온이 되려는 경향이 크다.
할로젠 원소	• F, Cl, Br, I은 1-의 음이온이 되려는 경향이 크다.



창의성 기르기

빅뱅 우주 이후에 가벼운 원소인 수소와 헬륨 원소가 생성되었으며, 초기 우주에서는 생성되지 않았던 생명에 필요한 탄소, 산소, 질소 등이 초신성 폭발로 탄생하였다. 그 후 긴 세월을 거치면서 과학자들은 지구에 존재하는 원소들을 하나하나 발견하기 시작하였다.

데이비(Davy, H.: 1778-1829)는 백반과 질산 용액에 아연판과 구리판을 담가 만든 전지로 알칼리 용액을 전기 분해하였을 때 물만 분해되는 결과를 얻었으나, 방법을 개량한 실험으로 칼륨(K)과 나트륨(Na) 원소를 발견하였다.



▲ 데이비의 실험 강연



토의·조사

1. 수소와 산소가 발견되는 과정을 조사하여 보자.
2. 데이비의 실험 방법을 조사하고, 그가 칼륨과 나트륨을 얻는 과정에 대해 토의하여 보자.

도전문제

- 1 (어휘)** 다음 용어를 설명하여라.
(1) 유효 핵전하 (2) 주기
(3) 이온화 에너지 (4) 전기 음성도
- 2 (비판적 사고)** 칼륨 원자와 칼륨 이온의 크기를 비교하기 위하여 유효 핵전하와 가려막기 효과를 들어 설명하여라.
- 3 (모둠 활동)** 일상생활에 할로젠 화합물이 사용되고 있는 제품을 조사해 보고, 유익한 점과 유익하지 못한 점을 토의하여 보자.
- 4 (의사소통)** 같은 주기에서 제일 이온화 에너지의 크기가 변화는 이유를 토의하여 보자.
- 5 (적용)** 음료수 중에 이온 음료는 왜 '이온'이라는 용어를 붙여 판매할까?



인성 기르기

소금의 주성분은 염화나트륨이다. 염화나트륨에 포함된 나트륨 이온은 식물보다 인간이나 동물에게 매우 중요한 물질이다.

나트륨 이온은 혈액이 콩팥에서 걸러질 때 혈액에서 빠져 나가므로 규칙적으로 공급해 주어야 한다. 그런데 소금은 염전이 있는 한정된 지역에서 생산되므로, 독점으로 가격을 높여 판매하거나 외국에서 값이 싼 소금을 수입하여 섞어서 파는 사례가 있다.



▲ 염전에서 생산된 소금



토의·조사

- 천일제염으로 소금을 생산할 때 필요한 협동 정신은 무엇인지 조사하여 보자.
- 수입해 온 값이 싼 소금을 우리 고유의 소금에 섞어 판매하는 상인의 행위에 대해 어떻게 대처하는 것이 좋을지 토의하여 보자.



만화로 보는 정리





영국의 젊은 화학자 모즐리

영국의 물리학자 모즐리(Moseley, H. G-J.: 1887~1915)는 유명한 과학자 집안에서 태어났다. 아버지는 옥스퍼드 대학 해부학 교수로, 처음으로 심해를 탐험하기 위해 챌린저 호에 승선한 박물학자이다. 모즐리는 소년 시절부터 생물학보다 물리학에 관심이 더 많았다. 이튼 교를 거쳐 옥스퍼드 대학을 졸업한 모즐리는 결정에 의한 X선 회절 기술을 이용하여 여러 원소의 원자 번호를 처음으로 확립하였다. 원소가 방출하는 X선 파장이 원소의 원자량이 증가함에 따라 완만하게 감소하는 것을 밝혀내었다.

멘델레예프가 원자량 순서로 원자를 정돈한 데 반해서, 모즐리는 원자핵의 전하(양성자 수)의 순서로 원소를 배열함으로써 멘델레예프의 주기율표를 완벽한 것으로 만들어 놓았다. 모즐리는 X선 기술로 주기율표 안에 있는 미발견 원소가 어느 위치에 있는지(1914년 모즐리가 원자 번호의 개념을 확립하였을 때는 미발견 원소가 11개) 정리하고, 또한 빈칸에 해당되는 새로운 원소가 발견될 경우 그 발견이 옳은지 X선 분석 기술을 통해서 그 진위를 확인하였다. 이처럼 그의 X선 분석 기술은 새로운 화학 분석 기술로

등장하였다. 모즐리의 연구는 원자 구조론에서 획기적인 사건이었다.

러더퍼드의 지도를 받고 있는 중에 모즐리는 제1차 세계대전으로 육군에 입대하였다. 러더퍼드는 그에게 과학적 임무를 부여함으로써 전쟁의 위험으로부터 그의 안전을 지키려고 하였지만 그가 전사함으로써 결국 허사가 되고 말았다.



1 위 문장에 사용한 다음 용어에 대해 정리하여 보자.

- | | |
|-----------|-----------|
| (1) 박물학자 | (2) X선 |
| (3) 원자 번호 | (4) 화학 분석 |

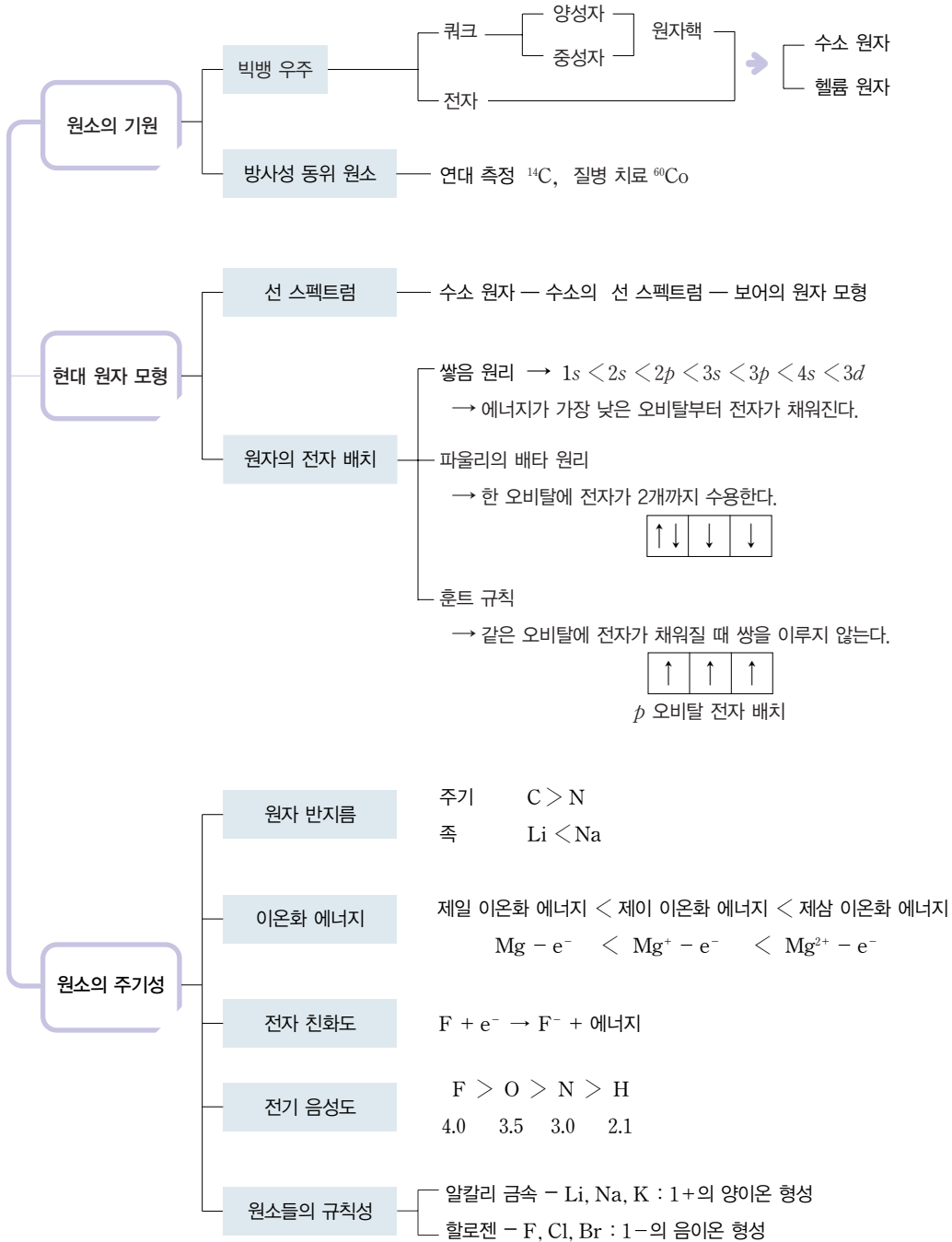
2 모즐리가 완성한 업적은 무엇인가?

3 모즐리의 행동에서 과학자의 사회적 활동에 대해 느낀 점을 글로 써 보자.

대단원의 정리

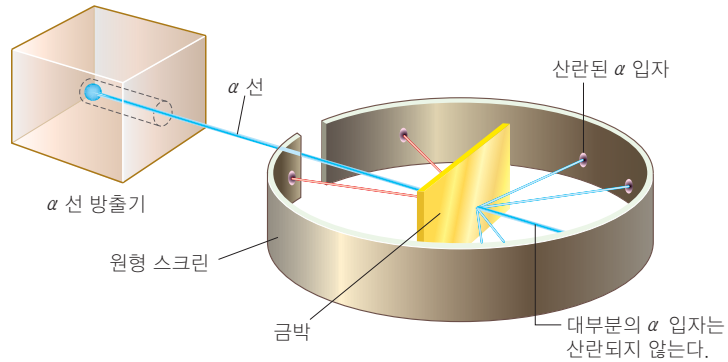
개념정리

개성 있는 원소



대단원의 종합문제

- 1 — 1911년 러더퍼드는 그림과 같은 장치를 이용하여 알파(α) 입자를 금박에 충돌시키는 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.



실험 결과

- 대부분의 α 입자는 산란되지 않고
- 약 2만 개 중 하나의 확률로 90° 이상의 각도로 산란되는 입자가 발견되었다.

이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

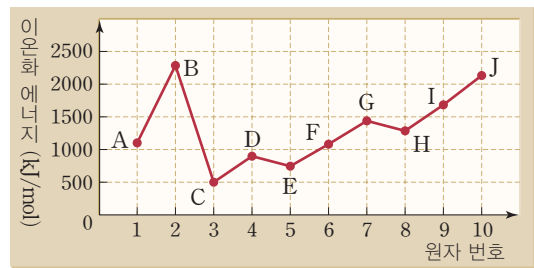
< 보기 >

- ㄱ. 원자의 대부분은 빈 공간이다.
- ㄴ. 원자핵은 원자 질량의 대부분을 차지한다.
- ㄷ. 원자핵은 음전하를 띠고 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

- 2 — 그림은 원자 번호 1~10인 원소 A~J의 이온화 에너지를 나타낸 것이다.

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

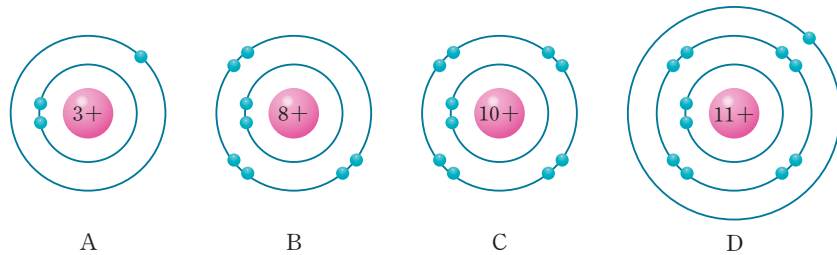


< 보기 >

- ㄱ. A는 C보다 반응성이 작다.
- ㄴ. 이온 반지름은 G가 H보다 작다.
- ㄷ. 제이 이온화 에너지는 D가 E보다 작다.
- ㄹ. 같은 족의 경우, 원자 번호가 클수록 이온화 에너지가 증가한다.

- ① ㄱ, ㄴ ② ㄱ, ㄷ ③ ㄱ, ㄹ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄷ, ㄹ

3 — 다음 그림은 임의의 원자 A, B, C, D에 대한 보어 모형이다.



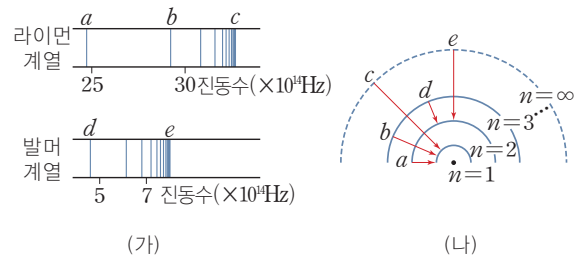
위 모형으로부터 원자나 그 이온의 성질을 옳게 추론한 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

— < 보기 —

ㄱ. 이온 반지름은 $B^{2-} < D^{+}$ 이다.
 ㄴ. A와 B가 결합하면 A_2B 를 만든다.
 ㄷ. A~D의 원소 중 반응성이 가장 작은 원소의 원자는 C이다.
 ㄹ. A~D 중 제일 이온화 에너지가 가장 작은 원자는 A이다.

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

4 — 그림 (가)는 수소의 선 스펙트럼 중 라이먼 계열과 발머 계열을 진동수로 표현한 것이고, (나)는 (가)의 선 a~e에 해당하는 전자 전이를 보여 주는 수소 원자 모형에 나타난 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

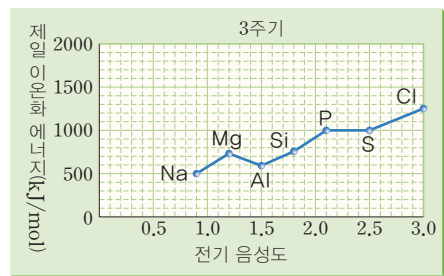
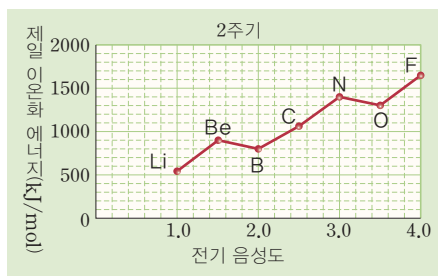


— < 보기 —

ㄱ. n값이 커질수록 이웃하는 궤도 간의 에너지 차이가 작아진다.
 ㄴ. b와 a의 진동수 차이는 d선의 진동수와 같다.
 ㄷ. e선에 해당하는 에너지는 수소의 이온화 에너지와 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

5 — 아래 그래프는 2, 3주기 원소의 전기 음성도와 이온화 에너지 관계를 나타낸 것이다. 주어진 자료에서 얻을 수 있는 일반적인 경향성을 서술하시오.



과학 기술의 발전과 현미경



▲ 로버트 훅이 만든 현미경과 코르크의 세포

맨눈으로 사물이 잘 보이지 않을 때 사람들은 유리나 수정으로 돋보기를 만들어 사용하였다.

1590년 네덜란드의 안경 제도가였던 안센 부자는 렌즈 2개를 조립하여 처음으로 현미경을 만들었다.

이 현미경의 배율은 고작 10배밖에 되지 않았으나, 이 현미경으로 벼룩을 관찰한 갈릴레오는 벼룩이 양만큼 크게 보인다고 감탄하였다.

그 후 영국의 과학자 로버트 훅은 자신이 만든 배율이 100배인 현미경으로 얇은 코르크 조각을 관찰하여 식물의 세포를 발견하였다.

오늘날에는 광학 현미경, 실체 현미경, 전자 현미경 등이 계속 새롭게 개발되어 사용하고 있다. 과학 기술의 발달은 현미경 배율을 높였을 뿐만 아니라 사용 범위도 확대해 나갔다. 예를 들면 보석용 현미경은 일종의 광학 현미경이지만 용도에 맞게 기술적인 개발을 하여 무색 투명한 다이아몬드에서 결함을 찾아낼 수 있다. 이러한 결함은 다이아몬드의 값에 큰 영향을 미치게 된다.



(가)



(나)

▲ 보석용 현미경(가)과 다이아몬드에 포함된 결함을 레이저로 구멍을 뚫어 메운 흔적(나)



▲ 한국기초과학지원연구원에 설치된 투과 전자 현미경의 외부 모습

금세기에 들어서서 과학·기술 분야에 나노 기술이 도입되면서 극미한 원자의 세계를 탐색할 수 있는 전자 현미경의 중요성이 크게 부각되고 있다.

현재 국내 나노 과학의 주요 연구 분야에서 물질 구조를 관찰하고 분석하기 위하여 물질의 표면 구조를 관찰하는 주사 전자 현미경(SEM)이 약 1,000대, 물질의 원자 수준의 내부 구조 연구에 사용되는 투과 전자 현미경이 약 300여 대 설치되어 있다.

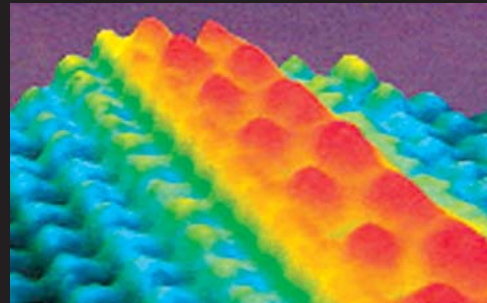
투과 전자 현미경의 발명은 1931년 독일의 루스카(Ruska)가 전자 빔을 이용하여 백금 그리드를 13배 확대하여 영상화하는 데 성공하였다. 루스카는 이 업적으로 1986년 노벨상을 수상하였다.

투과 전자 현미경은 전자 빔을 시료에 투과시켜 형광판이나 사진 필름에 초점을 맞추어 영상을 얻는데, 100 kV 이상의 높은 전압을 사용한다.

관찰하고자 하는 시료는 전자가 투과되어야 하기 때문에 시료의 두께가 20 nm 정도로 얇아야 하며, 이러한 시료를 만드는 일이 가장 까다롭다.

오늘날 컴퓨터 기술의 발달과 점목시켜 원자 세계의 영상을 5000만 배 이상 확대하여 볼 수 있는 주사 터널 현미경이 개발되어 원자의 3차원 구조를 관찰할 수 있게 되었다.

미래에는 나노 기술의 발전과 컴퓨터의 개선으로 더 미세한 세계를 더 확대하여 관찰하고 연구할 수 있는 현미경이 개발되어 의료 분야 등 인간의 삶의 질을 향상시킬 것으로 기대된다.



▲ 비소-갈륨 표면 위의 세슘(붉은색) 원자의 상



전자 현미경은 빛을 사용하는 대신에 무엇을 사용하는가?

III

아름다운 분자 세계

1. 분자 세계의 건축 예술
2. 화학 결합
3. 분자의 구조



도달하기

- 대칭적인 아름다움을 가지는 다양한 분자들이 화학 결합으로 이루어져 있음을 이해한다.
- 화학 결합에는 전자가 관여하며, 분자의 구조와 성질은 전기적 힘에 의하여 결정됨을 설명할 수 있다.
- 화학 결합의 기본적 개념을 바탕으로 분자의 물리적, 화학적 성질을 설명할 수 있다.
- 다양한 구조를 형성하는 탄소 화합물의 구조와 특성을 설명할 수 있다.

1

분자 세계의 건축 예술

1-1 분자 구조의 다양성 124

1-2 분자의 구조와 기능 135

Helium
all the
of Na row

one kernel inside the a



Na Na
Na

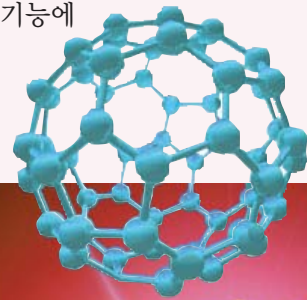




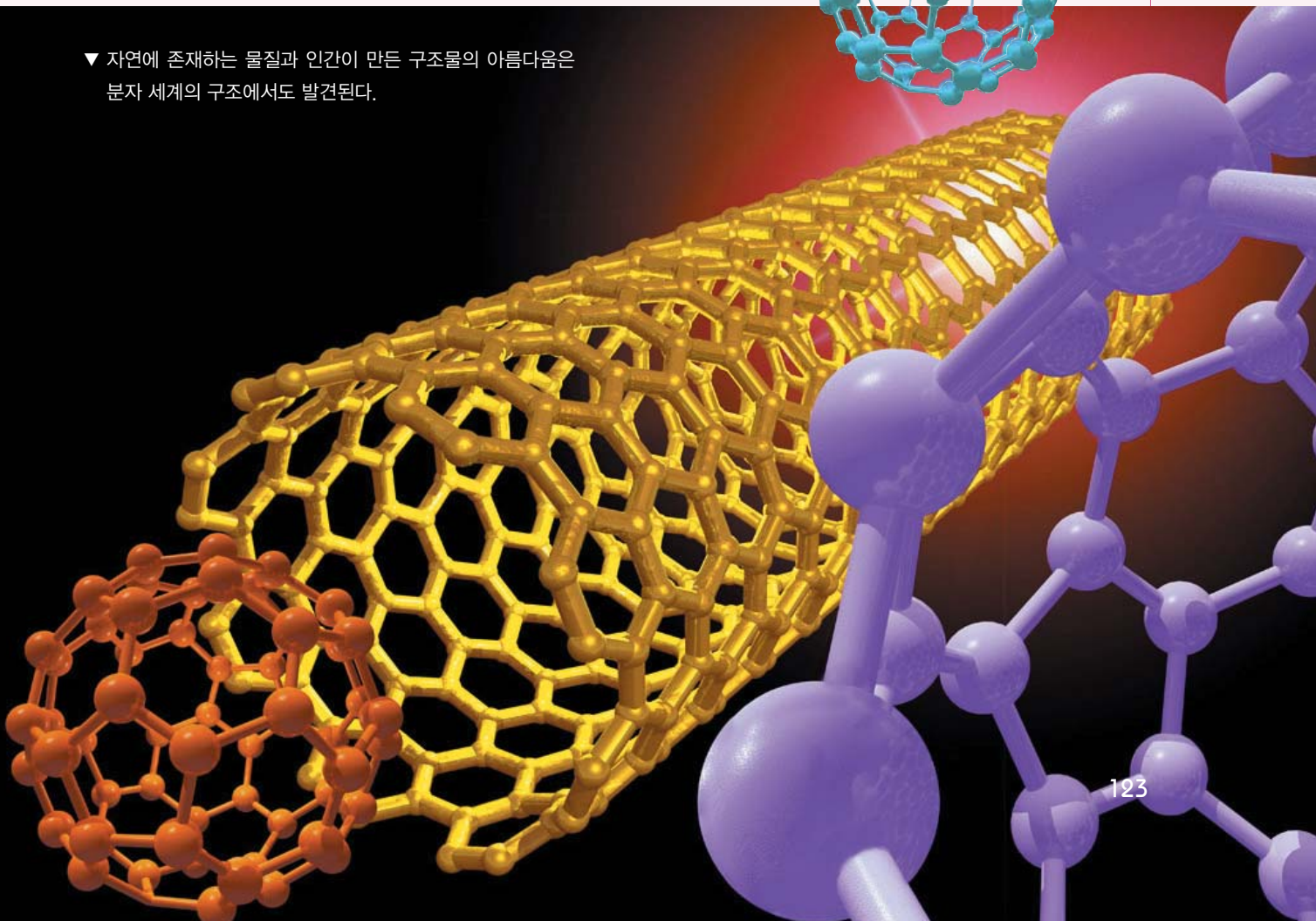
들어가기

우리가 사는 세상에는 다양하고 복잡한 구조물들이 있다. 세계 최고층 건물인 아랍 에미리트의 부르즈 칼리파를 비롯한 현대식 고층 건물이나 다리뿐만 아니라, 전통 가옥이나 고대의 피라미드에도 독특한 구조가 있다. 또한 자동차나 비행기에도 특별한 기능을 위해 고안된 다양한 구조가 있으며, 자연 속에서도 곤충의 눈이나 입처럼 구조와 기능이 밀접하게 관련된 경우를 얼마든지 찾아볼 수 있다. 분자 수준에서는 이중 나선 모양의 DNA와 같은 복잡한 구조의 생체 분자 및 축구공 모양의 구조를 가진 풀러렌이 있으며, 우리에게 친숙한 산소와 물은 매우 간단한 구조를 가지면서도 생명체에 필수적인 물질이다.

이 단원에서는 우리 주변에서 쉽게 접할 수 있는 물질의 구조를 알아보고, 각 물질을 구성하는 입자들의 다양성과 규칙성을 알아본다. 또한 생명 현상에 필수적인 생체 분자인 DNA의 구조와 기능의 관련성을 통해 분자의 구조가 기능에 어떻게 영향을 미치는지 학습한다.



▼ 자연에 존재하는 물질과 인간이 만든 구조물의 아름다움은 분자 세계의 구조에서도 발견된다.



1-1 분자 구조의 다양성

다가서기

- 우리 주변에 분자로 존재하는 물질들의 구조적 특징을 설명할 수 있다.
- 다이아몬드, 흑연, 풀러렌, 탄소 나노 튜브의 구조와 성질의 차이점을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 다이아몬드
- 흑연
- 풀러렌
- 탄소 나노 튜브

형형색색의 작은 플라스틱 블록을 조합하여 크고 작은 주택이나 자동차, 비행기, 배 등 여러 가지 모형을 만들 수 있다. 우리 주변에 존재하는 물질들을 이루고 있는 기본 입자들은 어떻게 구성되어 있을까?



그림 Ⅲ-1 블록을 짜맞추어 만든 항구 도시

우리 주변에 존재하는 물질들의 분자 구조는 매우 다양하며 규칙성이 있다. 다음 탐구 활동을 통하여 우리 주변에 존재하는 사물들의 구조적 특징을 알아보자.

탐구

| 활동 13 | 우리 주변에 있는 사물들의 대칭 구조

- 목적 우리 주변에 있는 사물들의 구조적 특징을 알아본다.



(가) 꽃



(나) 나비



(다) 자동차



(라) 다보탑

- 정리
 1. 위 사물들의 구조가 가지는 공통적인 특징은 무엇인가?
 2. 위에서 나타낸 것 외에, 주변에서 볼 수 있는 대칭 구조를 가진 것에는 어떤 것들이 있는가?
- 조사 자연에 존재하는 화합물 중 대칭 구조를 가지는 분자에는 어떤 것이 있는지 조사하여 보자.

대부분의 꽃과 나비, 세공한 보석, 그리고 간단한 분자들은 대칭 구조를 하고 있다. 다른 조건이 같다면, 대칭성이 가장 좋은 분자 구조가 가장 안정한 구조인 경우를 자주 볼 수 있다.

1 분자로 존재하는 물질

공기 중에 가장 많이 포함되어 있는 기체는 질소(N_2)로서, 생물체나 토양 등을 통해 자연계를 순환하고 있다. 질소 다음으로 많은 기체는 동식물의 호흡이나 물질의 연소에 꼭 필요한 산소(O_2)이다. 그 밖에도 공기에는 이산화탄소(CO_2)와 아르곤(Ar) 등의 기체가 포함되어 있다. 일상적인 조건에서 질소와 산소는 질소 원자(N)와 산소 원자(O)가 각각 두 개씩 모여 분자를 이루고, 이산화탄소는 탄소 원자(C) 한 개와 산소 원자(O) 두 개가 모여 분자를 이룬다. 반면, 아르곤(Ar)은 하나의 원자로서 자연에서 안정하게 존재한다.

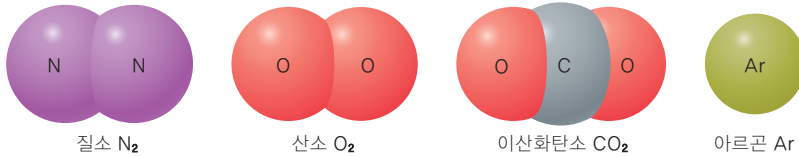


그림 Ⅲ-2 공기를 구성하는 분자

물은 산소 원자(O) 한 개와 수소 원자(H) 두 개가 결합한 물 분자(H_2O)로 이루어져 있다. 물 분자 자체는 중성을 띠지만, 두 개의 수소 원자는 그림 Ⅲ-3에서처럼 굽어 있으며, 수소 원자 쪽은 양의 부분 전하를 띠고 있고 산소 원자 쪽은 음의 부분 전하를 띠고 있다. 물이 얼음이 되면 물 분자들은 규칙적인 배열을 하여 빈 공간이 늘어난다.

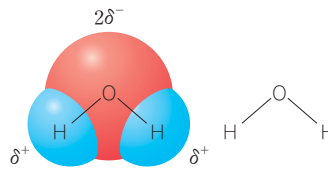


그림 Ⅲ-3 물의 분자 모형과 극성

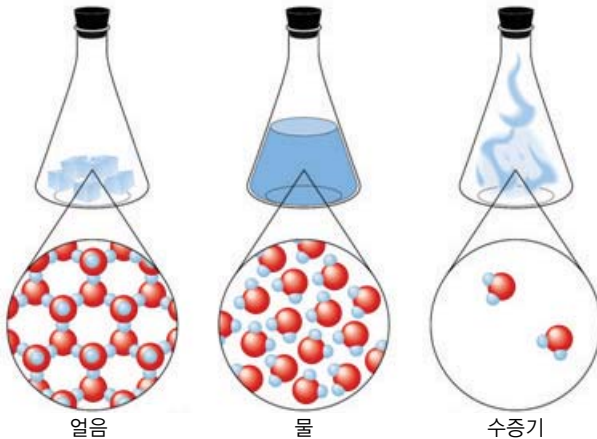
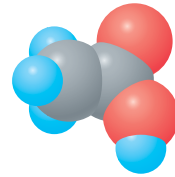
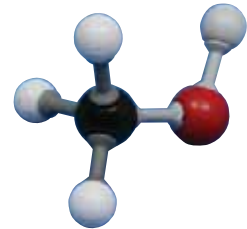


그림 Ⅲ-4 물(H_2O)의 세 가지 상태와 분자들의 배열



| 공간 채움 모형 |

전자가 차지하고 있는 공간을 나타내며, 분자의 모양을 나타낸다.



| 공·막대기 모형 |

각 공은 원자의 위치를 나타내고, 막대는 결합을 나타낸다.



그림 Ⅲ-5 얼음은 물보다 밀도가 작아서 물에 뜬다.

공기나 물 외에도 수많은 물질들이 분자를 그 기본 구성 입자로 가진다. 이러한 물질의 예로서 수소 분자(H_2), 염화수소 분자(HCl), 암모니아 분자(NH_3), 메테인 분자(CH_4), 에탄올 분자(C_2H_5OH), 아세트산 분자(CH_3COOH), 설탕 분자($C_{12}H_{22}O_{11}$) 등이 있다.

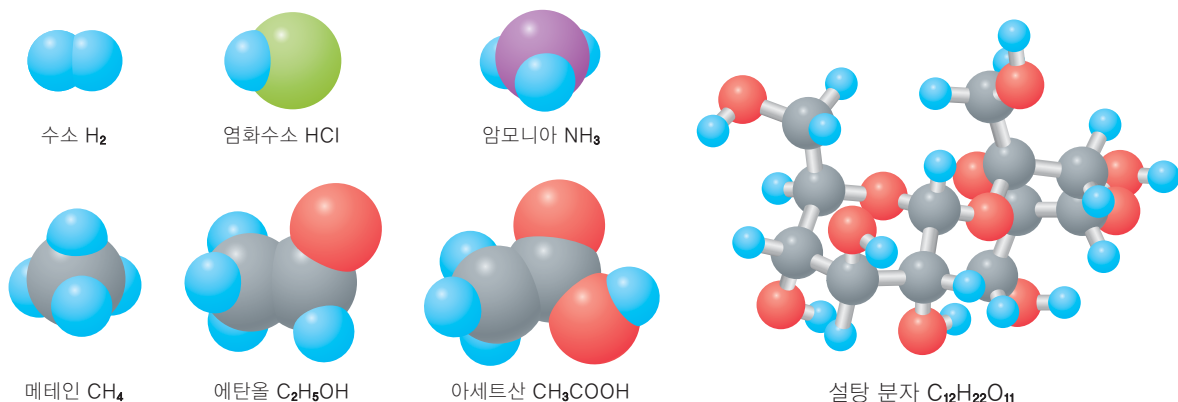


그림 III-6 여러 가지 물질의 분자 모형: 설탕 분자는 공·막대기 모형으로 나타내었다.

2 탄소 원자로 이루어진 물질

자연에는 분자로 존재하는 물질도 있지만, 원자가 모두 이어져서 엄청나게 큰 구조를 만들기도 한다. 대표적으로 탄소 원자로 이루어진 **다이아몬드**와 **흑연**을 들 수 있다.

다이아몬드는 탄소 원자로 이루어진 가장 단단한 보석으로, 한 개의 탄소 원자가 다른 네 개의 탄소 원자들과 결합하여 만들어진 3차원 그물 구조의 물질이다. 즉 정사면체의 중심에 있는 탄소 원자 하나는 정사면체 꼭짓점에 위치한 네 개의

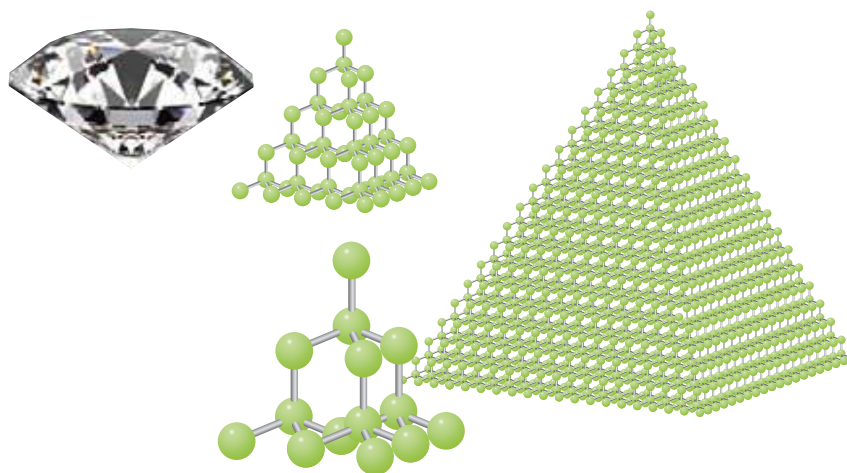


그림 III-7 다이아몬드의 구조

다른 탄소 원자와 결합하고 있다. 이들 네 개의 탄소 원자들은 각각 다른 세 개의 탄소 원자에 차례로 결합되어 원자의 배열이 매우 규칙적인 결정을 이루고 있다.

다음 탐구 활동을 통하여 다이아몬드의 모형을 만들어 보자.



| 활동 14 | 다이아몬드 모형 만들기

- **목적** 탄소 원자 모형으로 다이아몬드 모형을 만들어 다이아몬드의 구조적 특징을 알아본다.
- **준비물** 탄소 원자 모형, 결합선
- **과정**
 - ① 그림 (가)처럼 4개의 구멍이 뚫린 탄소 원자에 4개의 결합선을 연결한다.
 - ② 그림 (나)처럼 각 결합선에 탄소 원자를 각각 연결하고, 각 탄소 원자에 3개의 결합선을 연결한다.



그림 (가)



그림 (나)

- ③ 과정 ①, ②와 같은 방법으로 각 결합선에 탄소 원자를 각각 연결한 다음, 각 탄소 원자에 3개의 결합선을 계속 연결해 간다(그림(다)).

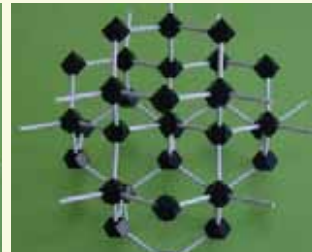
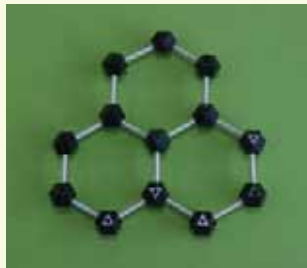


그림 (다)

- **참고** 다음은 탄소 원자 모형으로 흑연을 만드는 과정과 구조를 나타낸 것이다.



첫 번째 판



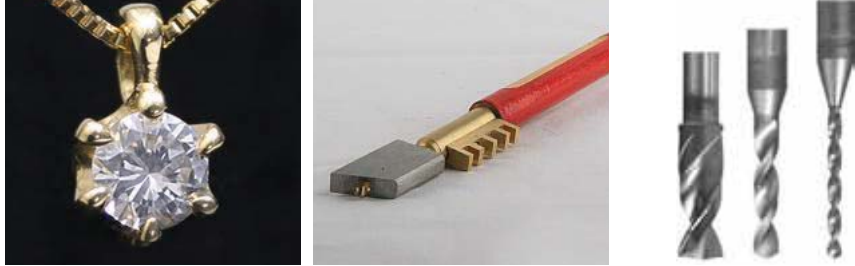
두 번째 판



세 번째 판

- **정리**
 1. 다이아몬드 구조의 모양과 특징은 어떠한가?
 2. 다이아몬드의 구조와 흑연의 구조는 어떠한 차이가 있는지 토의하여 보자.

다이아몬드를 구성하는 탄소 원자들의 구조적 특징 때문에 다이아몬드는 천연의 광물 중에서 가장 단단하고 녹는점이 매우 높다. 다이아몬드는 보석 외에도 기계류의 단단한 금속 부품들을 절단하거나 다듬는 데 사용되고 있으며, 드릴에 붙여 굴착기에 사용되기도 한다. 또한 유리를 자르는 유리칼로도 사용되고 있다.



(가) 다이아몬드 보석

(나) 유리칼

(다) 다이아몬드 드릴

그림 Ⅲ-8 다이아몬드의 이용

연필심에 들어 있는 흑연도 탄소 원자로 이루어진 물질로서 다이아몬드와 성분이 같다. 흑연은 탄소 원자들이 120° 의 각도로 육각형 모양의 평평한 판을 구성하며, 동일 평면상의 탄소 원자들은 매우 강한 결합을 한다. 그러나 각 탄소판들은 아래위로 쌓여 있으며, 각 판들 사이에는 약한 인력이 작용하여 판들은 서로 잘 미끄러진다. 연필로 글을 쓸 수 있는 것도 흑연이 잘 벗겨져 종이의 거친 표면에 달라붙어 자취를 남길 수 있기 때문이며, 같은 이유로 흑연은 윤활제로도 사용된다. 또한 각 탄소 판 사이의 전자들은 평면 사이를 따라 쉽게 움직일 수 있어서 흑연은 전기를 잘 통하는 물질이다.

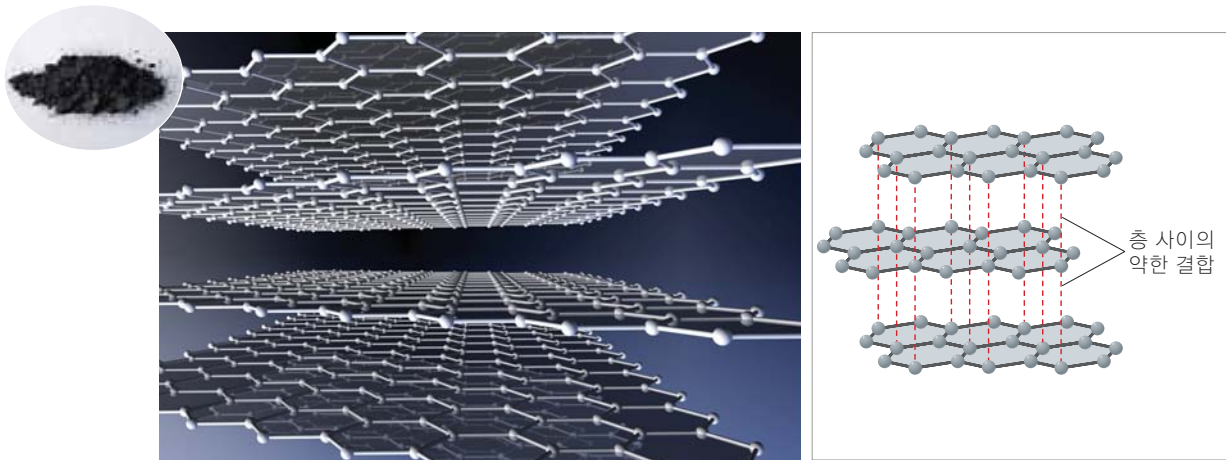


그림 Ⅲ-9 흑연의 구조

흑연을 구성하는 탄소 원자들의 구조적 특징 때문에 흑연은 연필심 외에도 건전지의 탄소 전극에 사용되고 있으며, 로켓의 케이스나 흑연 도가니와 같은 내열성 장비의 재료로도 사용된다.



(가) 연필심



(나) 탄소 전극(건전지)



(다) 흑연 도가니

그림 Ⅲ-10 흑연의 이용



그림 Ⅲ-11 전극으로 사용되는 흑연

탄소 원자는 서로 결합하여 다이아몬드나 흑연과는 매우 다른 성질을 가지는 물질, 즉 풀러렌이나 탄소 나노 튜브를 만들기도 한다.

풀러렌(C₆₀)은 그림 Ⅲ-12에서 보는 것과 같이 속이 빈 축구공을 닮았으며, 표면은 탄소 원자 60개가 20개의 육각형 고리(축구공의 흰색 고리)와 12개의 오각형 고리(축구공의 검은색 고리)로 이루어져 있다. 축구공의 이음새 부분이 탄소 원자들 사이의 결합을 나타내며, 이음새가 만나는 자리에 탄소 원자가 위치한다.

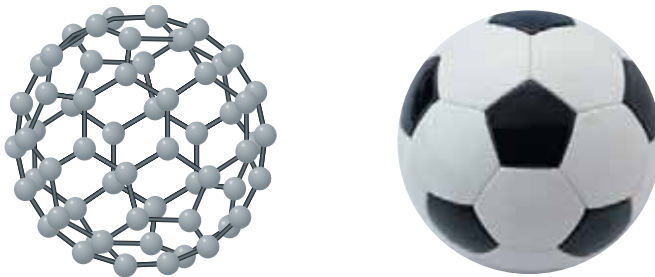
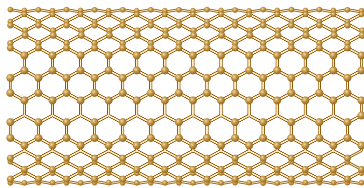
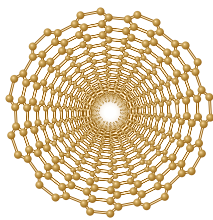


그림 Ⅲ-12 풀러렌 C₆₀의 구조(가)와 축구공 (나)

축구공이 무수히 많은 발길질에도 끄떡없이 견뎌 내듯이, 풀러렌은 대단히 높은 온도와 압력을 견뎌 낼 수 있을 정도로 매우 안정된 구조를 가진다.

탄소 나노 튜브는 탄소 원자들이 nm(10⁻⁹ m) 크기 수준의 튜브 모양으로 결합되어 있는 물질로서, 여름밤에 이용하는 죽부인과 비슷한 구조를 하고 있다.



(가)



(나)

그림 Ⅲ-13 탄소 나노 튜브의 구조(가) 및 여름날 더위를 이기기 위해서 안고 자는 죽부인(나)

| 동소체 |

다이아몬드, 흑연, 풀러렌은 탄소 원소로만 이루어져 있지만, 배열 구조가 달라 물리적, 화학적 성질이 서로 다르다. 이처럼 같은 원소로 이루어져 있으나 성질이 서로 다른 물질을 동소체라고 한다.

| 풀러렌 |

풀러렌(C₆₀)을 발견한 스몰리, 컬, 크로토는 이 물질의 구조와 비슷한 형태의 구조물을 설계한 미국의 건축가인 버크민스터 풀러(Buckminster Fuller)의 이름을 따서 버크민스터풀러렌(buckminsterfullerene)이라고 이름 붙였으나 현재는 줄여서 풀러렌이라고 부른다.

| 탄소 나노 튜브 |

1991년, 일본의 이지마(Iijima)가 풀러렌을 연구하던 중 기둥과 긴 대롱 모양의 탄소 나노 튜브를 최초로 발견하였으며, 이때 합성된 나노 튜브의 지름이 대략 수 nm(10^{-9} m) 정도로 작아서 '탄소 나노 튜브'라고 명명하게 되었다.

탄소 나노 튜브에서 하나의 탄소 원자는 3개의 다른 탄소 원자와 결합하여 육각형 모양의 벌집무늬를 이룬다. 만일 평평한 종이 위에 이러한 벌집무늬를 그린 다음 종이를 둥글게 말면 나노 튜브 구조가 된다.

탄소 나노 튜브는 전기적으로 매우 좋은 도체이며, 다이아몬드보다 좋은 열 전달 물질이다. 또한 탄소 원자와 탄소 원자가 강하게 결합되어 있어서, 고강도 합금에 비해 20배 이상 강하다. 따라서 탄소 나노 튜브의 응용 분야는 무한하며, 꿈의 소재로 각광받고 있다.

그림 Ⅲ-14는 탄소 원자로 이루어진 다양한 물질의 분자 구조와 탄소가 이용되는 분야를 나타낸 것이다.

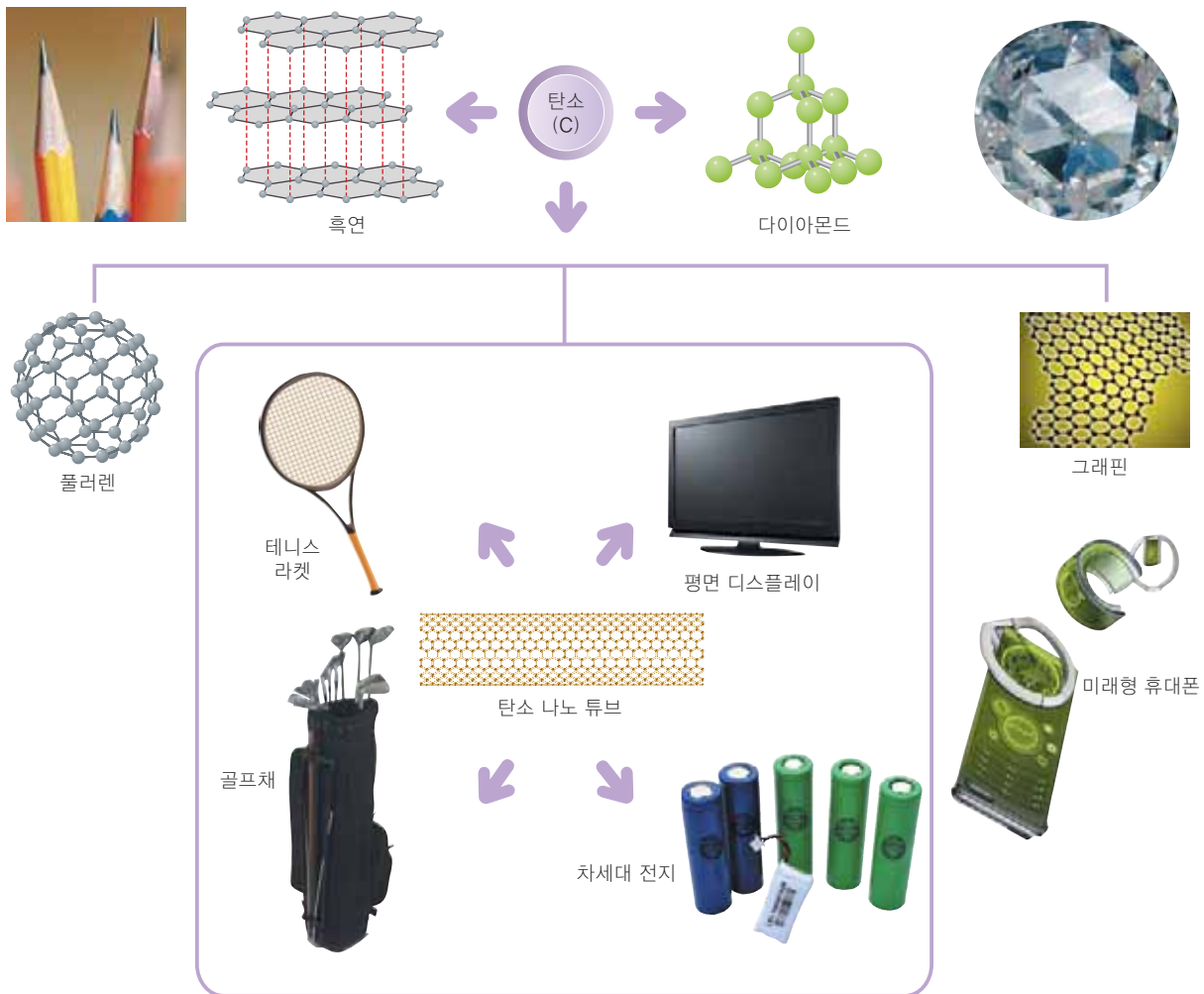


그림 Ⅲ-14 탄소(C)로 이루어진 여러 가지 물질의 이용

다음 탐구 활동을 통하여 종이를 이용한 풀러렌 모형을 만들어 보자.
(권말 부록 '풀러렌 모형 만들기' 이용)

| 활동 15 | 폴러렌 모형 만들기

- 목적 종이를 이용하여 폴러렌 모형을 만들어 폴러렌의 구조적 특징을 알아본다.
- 준비물 종이, 자, 컴퍼스, 가위, 풀
- 과정 ① 종이에 그림 (가)처럼 그려 청색 실선을 따라 가위로 종이를 오린다. 점선은 접는 부분이다.
 ② 그림 (가)의 a' 윗면에 풀을 칠한 다음 a 아랫면에 붙인다. 또, b' 윗면에 풀을 칠하고 b 아랫면에 붙인다(그림 (나)). 같은 방법으로 c, d도 붙인다.

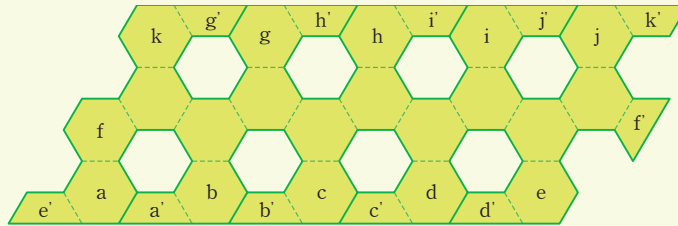


그림 (가)

- ③ e' 윗면에 풀을 칠한 다음 e 아랫면에 붙인다(그림 (다)).
- ④ f' 윗면에 풀을 칠한 다음 f 아랫면에 붙인다(그림 (라)).
- ⑤ 과정 ②~④와 같은 방법으로 g' ~k' 에 풀을 칠하고, g~k에 각각 붙이면 완성된다(그림 (마)).

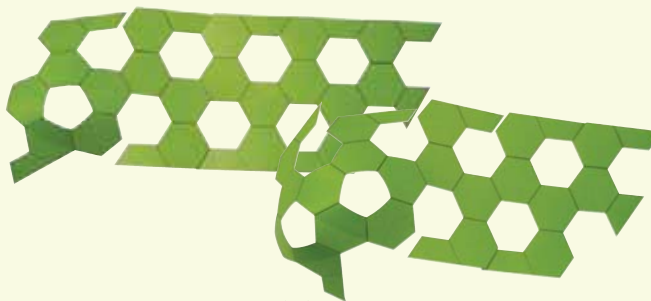


그림 (나)



그림 (다)



그림 (라)

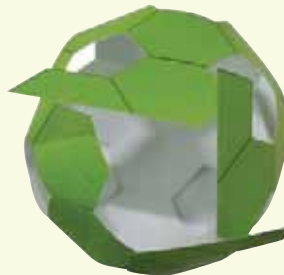


그림 (마)

- 정리 1. 폴러렌 모형에는 정오각형과 정육각형이 각각 몇 개 있는가?
 2. 폴러렌은 모두 몇 개의 면이 모인 구조인지 토의하여 보자.

인터넷 자료 찾아보기



위에서 설명한 방법 외에, 폴러렌 모형을 만드는 방법에는 어떤 것이 있는지 인터넷에서 찾아보자.

쇠구슬과 자석으로 된 막대기로 여러 가지 모양을 만드는 '자석 블록'이라는 장난감이 있다. 쇠구슬과 자석만으로 자동차, 비행기 등 여러 가지 모양을 만들 수 있다. 분자 세계에서 쇠구슬은 탄소 원자이고, 자석은 탄소 원자 사이의 결합선이라고 가정할 수 있다.

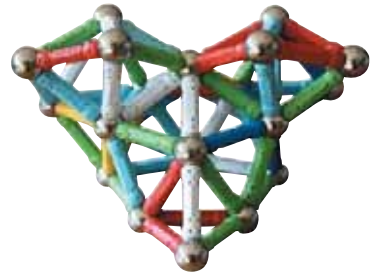


그림 Ⅲ-15 자석 블록



그림 Ⅲ-16 유리로 만든 실험 기구

이러한 쇠구슬과 자석을 이용하면 분자들을 이루고 있는 원자들의 규칙적인 배열을 나타낼 수 있다. 그러나 유리처럼 원자들이 불규칙적으로 배열된 물질도 있다.



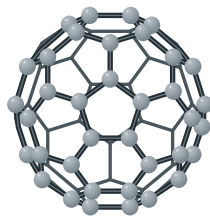
다이아몬드는 전기가 통하지 않지만 흑연은 전기가 잘 통한다. 흑연 구조의 특성을 바탕으로 그 이유를 설명하여라.

심화

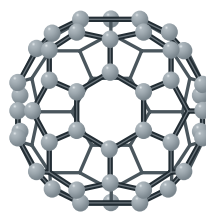
자료

풀러렌과 탄소 나노 튜브의 다양한 구조

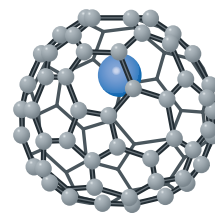
풀러렌이란 C_{60} 만을 가리키는 말은 아니다. C_{60} 을 합성할 때 닫힌 바구니 모양의 탄소 화합물과 비슷한 모양의 물질들이 동시에 생성된다. 몇 가지 예를 나타내면 다음과 같다. 여기에서 $La@C_{60}$ 은 C_{60} 바구니 속에 란타넘(La) 원자가 갇힌 구조를 나타낸다. '@'는 풀러렌 안에 La 원자가 가두어져 있는 것을 나타낸다.



C_{60}



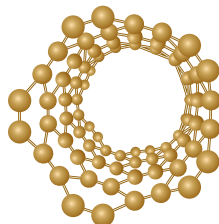
C_{70}



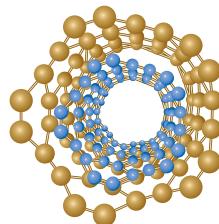
$La@C_{60}$

▲ 풀러렌의 여러 가지 구조

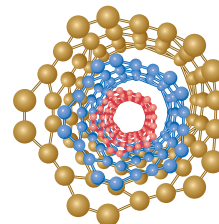
또한 탄소 나노 튜브는 아래 그림과 같이 여러 가지 구조를 가진다.



단일벽 탄소 나노튜브



이중벽 탄소 나노튜브



다중벽 탄소 나노튜브

▲ 여러 가지 모양의 탄소 나노 튜브

연필에는 납이 없다?

연필심을 흑연(黑鉛, black lead, 검은 납)이라고 하는 이유를 이상하다고 생각해 본 적은 없는가? 오늘날의 연필에는 납이 들어 있지 않지만, 로마 시대부터 납과 필기 사이에는 연관성이 있었다. 로마 시대에는 필기도구로 납봉을 사용하여 종이에 회색 글씨를 썼기 때문이다.

수 세기가 지난 후, 1564년 글을 쓰기에 좋은 검은 물질이 영국 보로데일 지방에서 발견되었다. 이 지방에서 발견된 엄청난 양의 흑연 덩어리는 매우 순수하고 단단해서, 막대 형태로 잘라 내어 쓰기에 매우 좋았다고 한다. 그 당시에는 이 물질이 납과



상관이 있다고 생각하였기 때문에 영어에서는 아직도 연필심을 'lead(납)'라고 부르고 있으며, 그 후에 흑연을 'graphite'(그리스어의 graphein(쓰기)에서 유래)로 명명하기까지는 'black lead'라고 불렀다. 이것을 우리는 흑연(黑鉛)이라고 부르고 있는 것이다.

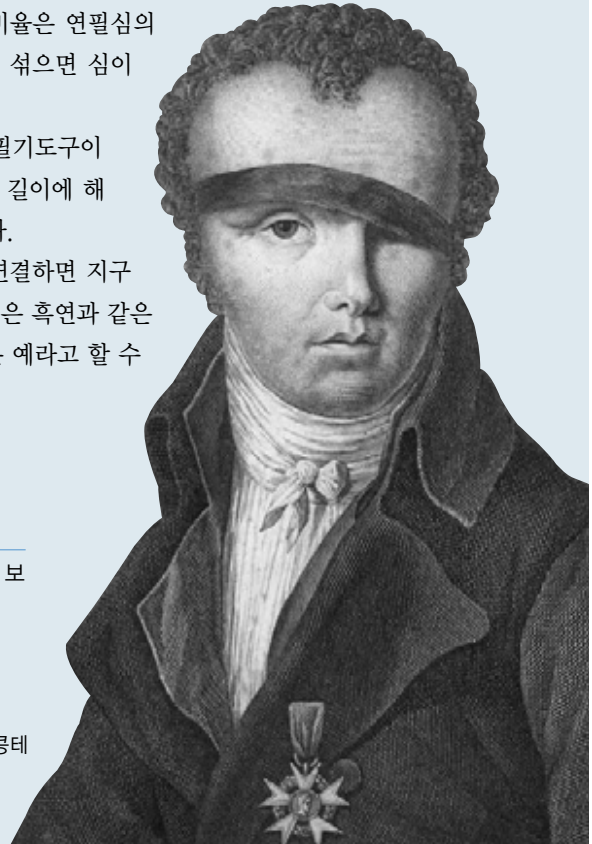
1795년에 프랑스의 콩테(Conté, N.J.: 1765~1805)는 진흙과 물을 섞어 '연필심(lead, 납)'을 만드는 방법을 개발하였다.

오늘날에도 이 방법이 여전히 사용되고 있는데, 연필 공장에서는 흑연에 진흙을 섞어 고운 가루로 만든 다음 물을 첨가한다. 이 가루를 며칠 동안 뒤섞은 후에 말리고 다시 가루로 만들어 물을 첨가하여 회색 반죽을 만든다. 이 반죽을 금속관을 사용하여 연필심으로 뽑아 연필 길이만큼 끼운다. 이 심을 매끄럽고 단단해질 때까지

1,000℃로 가열한다. 진흙과 흑연의 비율은 연필심의 용도에 따라 조절하는데, 진흙을 많이 섞으면 심이 단단해지고 연한 검은색으로 된다.

연필은 단순한 물건이지만 놀라운 필기도구이다. 보통 한 개의 연필은 약 56 km의 길이에 해당하는 평균 45,000단어까지 쓸 수 있다.

매년 미국에서 만들어지는 연필을 연결하면 지구의 15바퀴 길이에 이른다고 한다. 연필은 흑연과 같은 단순한 물질이 유용하게 사용되는 좋은 예라고 할 수 있다.



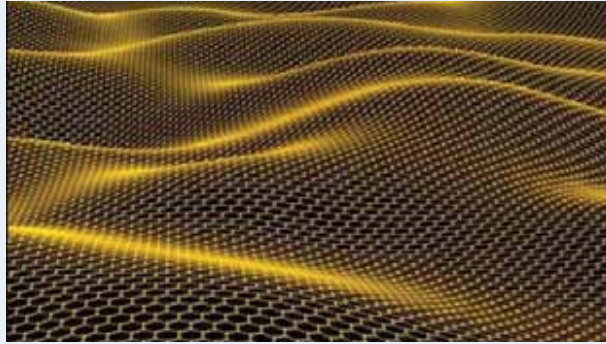
STS 활동

흑연이 우리 생활에 사용되는 예를 조사해 보고, 생활에 편리한 점에 대해 토의하여 보자.

▶ 연필심을 개발한 콩테



꿈의 나노 소재 ‘그래핀’



▲ 그래핀의 육각형 구조

실리콘 반도체를 대체할 꿈의 나노 소재로 불리는 그래핀. 최근 그래핀을 얇은 면적으로 합성하는 기술이 개발되면서 휘어지는 디스플레이나 전자 종이, ‘입는 컴퓨터’가 우리 곁에 가까이 다가왔다. 이것이 가능하려면 실리콘과 비슷한 전기 전도성을 가지면서 동시에 변형

에 잘 견디는 유연한 소재가 필요하다. 이러한 조건을 모두 만족시키는 소재가 바로 꿈의 나노 물질로 불리는 ‘그래핀’이다.

그래핀은 평면에서 탄소 원자가 육각형 형태로 무수히 연결되어 벌집 구조를 이루는 물질로서, 연필심에 쓰이는 흑연을 뜻하는 ‘그래파이트’와 화학에서 탄소 이중 결합을 가지는 분자를 뜻하는 접미사인 ‘-ene’을 결합해 만든 용어이다.

탄소 원자들이 한 층으로 되어 있는 그래핀은 두께가 0.35 nm 정도로 얇지만, 물리·화학적으로 안정하고 전기 전도성이 뛰어나다. 그래핀은 상온에서 단위 넓이당 구리보다 약 100배 많은 전류를 실리콘보다 100배 이상 빠르게 전달할 수 있다. 그뿐 아니라 그래핀은 열전도성이 가장 좋은 물질로 평가하는 다이아몬드보다 열전도성이 2배 이상 높다. 또한 그래핀은 강철보다 약 200배 이상 기계적 강도가 강하며, 신축성도 좋아 10% 이상 늘이를 늘리거나 완전히 접어도 전기 전도성을 잃지 않는다.

STS 활동

화학자들이 새로운 소재를 개발할수록 우리 삶의 질은 어떻게 되겠는지 예상하고 논의하여 보자.



▲ 접을 수 있는 투명 디스플레이



▲ 입는 컴퓨터



1-2 분자의 구조와 기능



다가서기

- DNA의 이중 나선 구조의 특징을 설명할 수 있다.
- DNA의 이중 나선 구조와 유전 정보의 저장과 복제 및 전달과의 관계를 설명할 수 있다.

생명 활동에 직접 관여하는 것은 단백질로서 궁극적으로는 단백질을 구성하는 아미노산의 배열 순서가 중요한데, 아미노산의 배열 순서를 결정하는 것은 DNA의 염기의 배열 순서이다. 즉 DNA에는 생물의 특성을 결정하는 정보 및 생물이 필요로 하는 수천 가지의 단백질 생산에 필요한 모든 유전 정보들이 암호화되어 있다. DNA는 어떻게 유전 정보를 저장하고 복제하며 전달할 수 있는 것일까? 또 이러한 DNA의 기능은 분자의 구조와 어떤 관계가 있을까?

1 DNA의 구조

세포핵 안의 염색체에서 발견되는 DNA는 대대로 전달되는 유전 정보를 포함하고 있다. DNA는 5탄당인 디옥시리보오스와 염기인 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 그리고 티민(T)으로 이루어져 있다. 아데닌은 수소(H), 탄소(C), 질소(N)의 세 가지 원소의 화학 결합으로 이루어져 있고, 티민, 구아닌, 사이토신은 산소(O)를 추가적으로 가지고 있다. 그러므로 네 가지 염기는 네 가지 원소로 이루어진 셈이다. 각 염기의 구조는 그림 III-17과 같다.

염기와 결합된 5탄당은 인산기와 결합되어 있는데, 이것이 DNA의 단위체이며 뉴클레오타이드라고 한다.

한 뉴클레오타이드의 5탄당과 다른 뉴클레오타이드의 인산기가 연결되어 이루어진 고분자를 폴리뉴클레오타이드라고 한다.

핵심 용어

- DNA
- 뉴클레오타이드
- 폴리뉴클레오타이드
- 상보적
- 이중 나선 구조
- DNA 복제
- 효소

1 DNA |

DNA는 DeoxyriboNucleic Acid (디옥시리보핵산)의 약자이다.

1 5탄당 |

다섯 개의 탄소 원자를 가지는 당류이다.

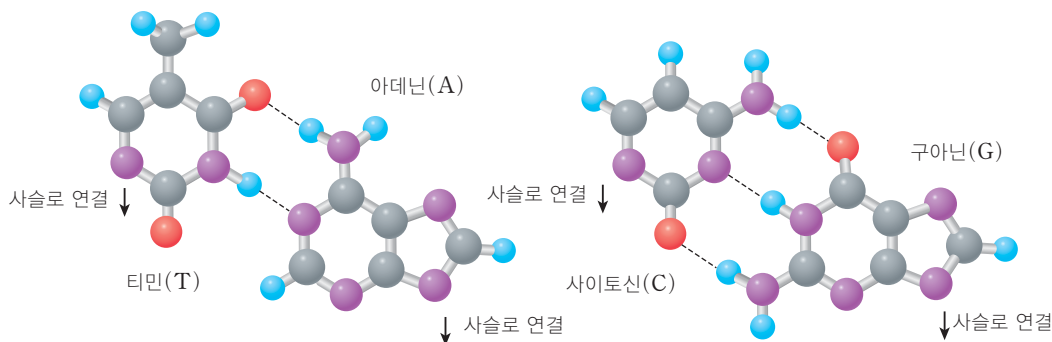


그림 III-17 DNA의 네 가지 염기

| 수소 결합 |

전기 음성도가 큰 원자(플루오린, 산소, 질소)와 수소가 결합한 화학물들 사이에 작용하는 인력이다. 수소 결합을 하지 않는 비슷한 분자량을 가지는 화합물보다 강한 인력이 작용한다.

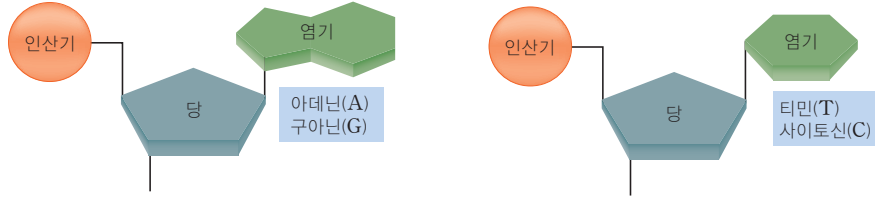


그림 Ⅲ-18 DNA의 단위체: 디옥시리보오스 당, 염기(A, G, T, C), 인산기로 구성된다.

DNA 분자는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 수소 결합에 의해 붙들려 있으며, 두 가닥이 새끼줄처럼 꼬인 이중 나선 구조를 이룬다. 수소 결합이 없다면 두 가닥의 선은 제각기 따로따로일 것이다. 이것은 마치 두 조각의 천이 벨크로에 의해 함께 붙어 있듯이 두 가닥이 수소 결합으로 서로 결합되어 있으며, 벨크로로 붙여 놓은 천을 따로 떼어 낼 수 있듯이 이 두 가닥을 서로 분리할 수도 있다.

| 벨크로 |

두 조각의 천에 한쪽은 무수한 작은 갈고리가 붙어 있고, 다른 한쪽은 섬유가 엉켜져 있어 서로 붙였다 뗐다를 되풀이할 수 있도록 만든 소품으로, 부츠나 보호 장구, 점퍼 등에 자주 쓰이고 있다.

또한 만일 한 가닥 위에 아데닌이 있다면 반대편 가닥에는 티민이 있어야 하고, 만일 구아닌이 있다면 반대편에는 사이토신이 있을 때만 수소 결합에 의해 연결될 수 있다.

이러한 DNA의 이중 나선 구조는 월킨스와 프랭클린의 연구를 바탕으로 1953년에 왓슨과 크릭에 의해 제안되었다.



DNA는 이중 나선 구조이다. 두 개의 가닥이 이중 나선 구조를 유지할 수 있는 이유는 무엇인가?



▲ 왓슨과 크릭

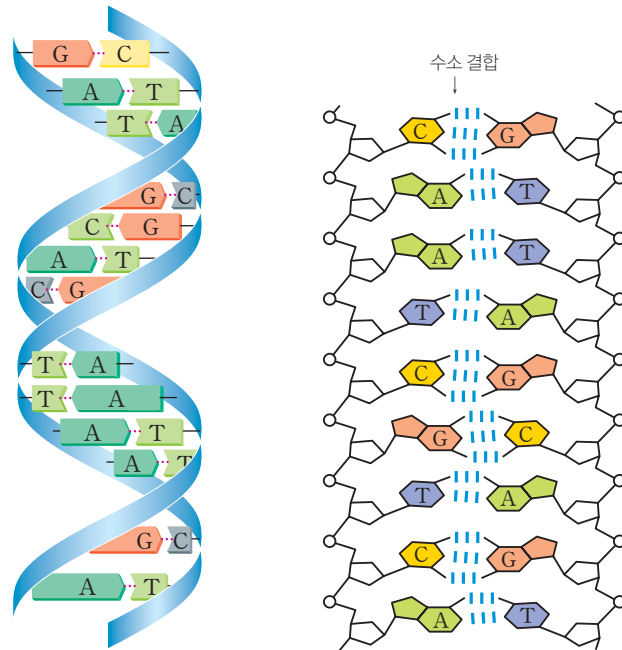


그림 Ⅲ-19 DNA 이중 나선 구조의 입체 모형(왼쪽)과 수소 결합

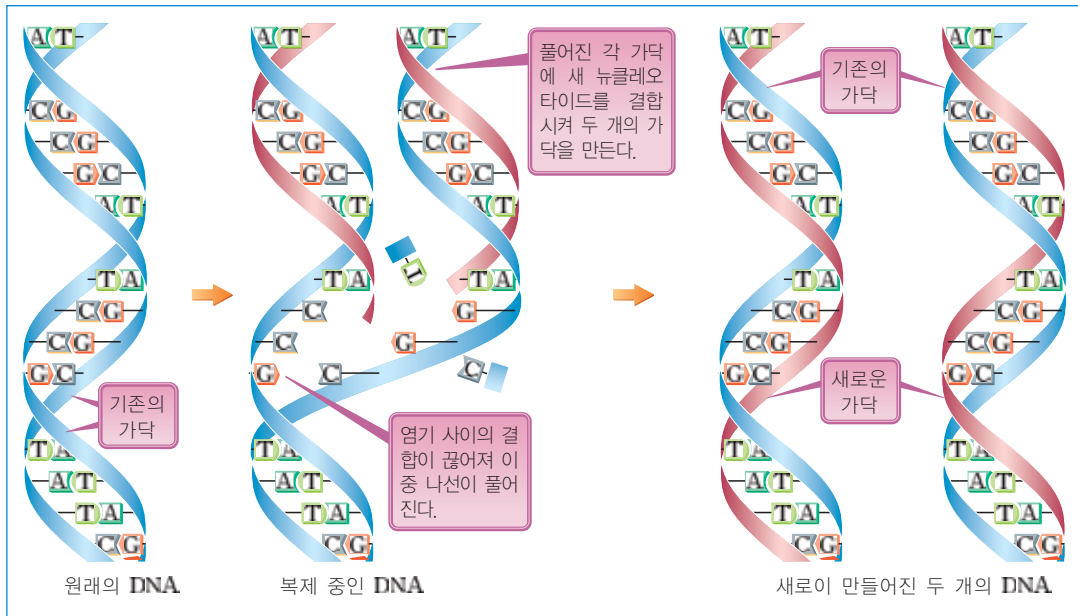


그림 Ⅲ-20 DNA의 복제

2 DNA의 기능

분자의 구조는 생명 현상과 밀접한 관련이 있다. 예를 들어, DNA의 이중 나선 구조는 DNA가 유전 정보를 저장, 복제, 전달하는 역할을 한다.

인간의 유전 정보는 30억 개의 염기쌍으로 DNA에 기록되어 있고, 이러한 염기 서열로 기록된 유전 정보에 따라 콩이 되기도 하고 팔이 되기도 하며, 인간이 되기도 한다. 또한 DNA의 이중 나선 구조는 자기 복제를 통한 생명의 연속성을 설명해 줄 수 있다. 즉 DNA 분자들은 복제 능력을 가지고 있어 스스로를 정확하게 복사한다. 먼저 이중 나선의 꼬여 있던 사슬이 풀어져 수소 결합이 끊어지며, 각각 하나의 가닥으로 분자가 풀린다. 사슬이 풀어지면서 새로운 가닥들이 두 가닥의 노출된 염기 부분에 상보적으로 부착하게 되고, 각각은 오래된 가닥과 하나의 새로운 가닥으로 구성된 새로운 DNA 이중 나선으로 전환된다. 이와 같은 DNA의 복제가 유전 정보의 전달을 가능하게 한다.

상보적 |

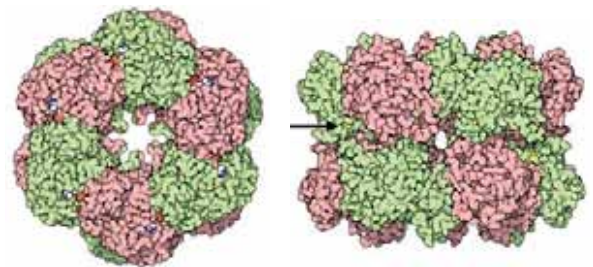
염기는 반드시 한 사슬의 아데닌(A)은 다른 사슬의 티민(T)과, 그리고 한 사슬의 구아닌(G)은 다른 사슬의 사이토신(C)과 결합한다. 이와 같이, 어떤 염기가 특정 상대하고만 결합하여 염기쌍을 만드는 것을 상보적이라고 한다.



확인 ? DNA 한 분자가 어떻게 똑같은 두 분자로 복제될 수 있을까?

DNA의 구조를 이용하여 그 과정을 설명하여라.

우리 몸속에서 대칭을 이루는 대표적인 물질에는 단백질로 이루어진 효소가 있다. 그림 Ⅲ-21의 글루타민을 만드는 효소 덩치처럼, 작은 효소들이 모이면 전체적으로 아름다운 대칭 구조를 이룬다. 마치 같은 모양의 블록을 정육면체로 쌓았을 때 그 모습이 대칭을 이루는 것과 같은 원리이다. 그러나 효소 단백질 분자에는 대칭적인 구조를 가지지 않는 경우도 많이 있다.



(가)

(나)

그림 Ⅲ-21 글루타민을 만드는 효소 덩치를 앞(가)과 옆(나)에서 본 모습

대칭성과 미(美)

대칭은 우리 주변의 세계에서 흔히 볼 수 있는 현상이다. 일반적으로 대칭성을 가지는 동식물이나 인공 물들은 매우 아름다운 모양이나 무늬를 가진다.

아름다운 무늬를 가지고 있는 나비의 왼쪽 날개를 오른쪽으로 옮겨 그리면 나비가 날개를 펼친 모양이 된다. 나비는 몸통을 중심으로 왼쪽과 오른쪽이 대칭을 이루기 때문이다.

대칭은 그것을 보는 방법에 따라 다르게 표현할 수 있지만, 크게 좌우 대칭, 방사 대칭, 구대칭, 거울 대칭으로 나뉜다. 각 대칭은 대칭이 되는 기준인 대칭축에 따라 구분한다. 중심을 지나는 축이 하나이면 좌우 대칭, 여러 개이면 방사 대칭이다.

우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 동물이나 난과 같은 꽃들은 대개 좌우 대칭이다. 방사 대칭에서는 중심이 되는 대칭축이 3개 이상이다. 반면에 비대칭은 일정한 대칭축을 가지고 있지 않거나, 축을 중심으로 양쪽 모양이 서로 다르다. 구대칭은 어디로 자르든 중심을 지나기만 하면 잘린 두 조각이 똑같다. 그래서 구대칭에서 대칭축은 무한히 많으며, 구대칭도 방사 대칭의 하나라고 할 수 있다. 거울 대칭은 두 물체가 서로 거울에 비친 모양이 되는 것을 말하는데, 좌우 대칭과 차이가 있다면 좌우 대칭은 한 물체 안에서 대칭이 되는 것이고, 거울 대칭은 보통 서로 다른 두 물체가 거울에 비친 듯 대칭을 이루는 것이다. 거울 대칭은 손을 예로 들 수 있는데, 손바닥을 서로 포갤 수는 있지만 겹쳐지지는 않는다.



▲ 좌우 대칭인 나비



▲ 좌우 대칭인 호접란과 토끼



▲ 방사 대칭인 불가사리와 꽃



▲ 구대칭인 공과 구슬



▲ 거울 대칭인 손과 구두



식물은 대부분 방사 대칭에서 좌우 대칭으로 진화하였는데, 꽃은 아직 방사 대칭인 경우가 많다. 게다가 반대로 좌우 대칭에서 방사 대칭으로 진화하는 꽃도 있다. 즉 환경에 따라 그때그때 모양이 바뀌는 것이다.

꽃의 모양은 일반적으로 꽃가루받이를 해 주는 곤충과 관련이 있다. 나비와 나방은 방사 대칭 꽃을 더 좋아하지만, 벌은 콩이나 난과 같은 좌우 대칭 꽃을 더 좋아한다. 좌우 대칭 꽃이 방사 대칭 꽃보다 벌이 더 쉽게 얻을 수 있는 모양이기 때문이다. 어떤 좌우 대칭 꽃은 암벌의 뒷모습과 비슷하여 수벌이 더 많이 앉기도 한다.

한편 세계에서 가장 화려한 건물인 인도의 타지마할이나 그리스의 파르테논 신전, 그리고 우리나라의 창덕궁 등 옛날 건물들은 좌우 대칭에 맞추어 지은 것들이 많다. 예전에는 지금처럼 철골을 사용하지 않고 돌이나 벽돌 등을 바로 쌓아 벽을 지었는데, 양쪽으로 힘이 똑같이 나뉘어져야 건물이 무너지지 않기 때문이다.

그러나 20세기가 되어 철근 콘크리트가 등장하면서 건축의 틀이 자유로워졌다. 즉 점차 비대칭 모양의 예술적인 건물이 많이 생기게 된 것이다. 비대칭 건물의 예로는 아랍 에미리트의 수도 아부다비에 세워진 '캐피털 게이트'가 있는데, 이 건물은 피사의 사탑보다 무려 18°나 기울어진 비대칭 모양이며, '가장 기울어진 건물'로 기네스북에 올랐다.



▲ 방사 대칭인 꽃(위)과 좌우 대칭인 꽃(아래)



▲ 인도의 '타지마할' 과 아랍 에미리트의 '캐피털 게이트'

STS 활동

과학은 예술의 진보에 얼마나 기여할 수 있을지 생각하여 보자.

01 중단원 마무리

분자 세계의 건축 예술

되짚어 보기

- | | |
|-----------------------|---|
| 탄소의 동소체 | • 같은 탄소 원자가 서로 다른 배열을 이루게 되면 다이아몬드, 흑연, 풀러렌, 탄소 나노 튜브 등의 동소체를 만든다. |
| 다이아몬드 | • 1개의 탄소 원자가 4개의 탄소 원자와 강하게 결합하여 만들어진 그물 모양의 구조로서, 모든 광물 중에서 가장 단단하다. |
| 흑연 | • 탄소 원자들이 육각형 모양의 판으로 구성되어 있으며, 이 판들이 아래위로 쌓여 있는 구조로서 판들은 서로 잘 미끄러진다. |
| 풀러렌(C ₆₀) | • 탄소 원자들이 축구공 모양으로 결합을 하고 있다. |
| 탄소 나노 튜브 | • 탄소 원자가 nm(10^{-9} m) 크기 수준의 튜브 모양을 하고 있는 물질이며, 우리나라의 죽부인과 비슷한 구조이다. |
| 뉴클레오타이드 | • DNA의 기본 단위로서, 당, 염기, 인산으로 구성되어 있다. |
| DNA 분자 | • 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드가 수소 결합에 의해 나선형으로 꼬여 있는 이중 나선 구조로서 유전 정보의 저장과 복제 및 전달의 기능을 가지고 있다. |
| DNA의 복제 | • 복제된 DNA에서 하나의 사슬은 원래의 것이고 다른 하나는 새로이 복제된 것이다. |



창의성 기르기

다음은 우리 생활 주변에서 DNA와 비슷한 구조를 가지는 것들을 나타낸 것이다.



그림 (가)



그림 (나)



그림 (다)



그림 (라)



토의·조사

1. 위 사물들과 DNA의 구조를 비교해 볼 때, 비슷한 점과 차이점은 무엇인가?
2. 위에서 나타낸 것 이외에, 우리 주변에서 발견할 수 있는 DNA 이중 나선 구조를 가진 것들은 무엇이 있는가?

도전문제

- 1 (어휘)** 다음 용어를 설명하여라.
(1) 동소체 (2) 플러렌
(3) 수소 결합 (4) DNA 복제
- 2 (비판적 사고)** DNA를 구성하고 있는 염기인 구아닌(G)과 사이토신(C), 티민(T)과 아데닌(A) 사이의 수소 결합을 이용하여 각 분자의 조합 구조를 만들 때, 각 염기쌍들은 몇 개의 수소 결합을 가지는가?
- 3 (모둠 활동)** 주변에 있는 재료를 이용하여 탄소 나노 튜브를 모형으로 만들어 보고, 그 구조의 특징을 토의하여 보자.
- 4 (의사소통)** 우리 주변의 건축물은 대칭 구조뿐만 아니라 비대칭 구조를 가지기도 한다. 옛날에 비하여 비대칭 구조의 건물이 증가한 이유가 무엇인지 자신의 생각을 발표하여 보자.
- 5 (적용)** 자연에서 액체 상태의 물 분자와 고체 상태의 얼음 분자가 어떻게 존재하고 있는지를 비교해서 설명하여 보자.



인성 기르기

시에라리온은 아프리카의 서남부 대서양 연안에 위치하고 있는 아주 작은 나라이다. 영화 '블러드 다이아몬드'의 배경이 되었던 나라로 국민의 평균 수명이 25~35세로 매우 짧으며, 인구 대비 신체장애자와 난민의 수가 가장 많은 나라이다. 그러면서도 다이아몬드의 주요 생산국이며, 세계에서 세 번째로 큰 다이아몬드가 발견된 나라이다. 이 다이아몬드를 '시에라리온의 별'이라고 부른다.



토의·조사

값비싼 보석인 '아름다운 탄소 덩어리 다이아몬드'가 많이 나는 데도 불구하고, 난민이 그렇게 많은 이유는 무엇일까? 시에라리온이 '세상에서 가장 아름다운 보석 때문에 세상에서 가장 슬픈 나라'라고 하는 이유를 조사하여 보자.



만화로 보는 정리





영화 '아이언맨'에서는 로봇 슈트인 '마크6'가 눈에 띈다.

로봇 슈트는 현재 전 세계 곳곳에서 개발 중이다. 2009년 미국 록히드마틴 사는 90 kg의 군장을 메고 시속 16 km로 걸을 수 있도록 돕는 '군인 로봇 슈트'를 개발하여 공개하였다. 이에 앞서 2007년 일본 쓰쿠바 대학 요시유키 교수는 'HAL-5'라는 로봇 슈트를 만들었다. 이 로봇 슈트는 뇌의 전기적 신호를 이용하여 팔다리의 움직임을 돕는데, 사람의 힘을 5배 더 강하게 할 수 있다. 현재 일본의 일부 병원에서는 한 달에 약 2,000달러를 받고 거동이 불편한 노인과 장애인에게 HAL-5를 빌려 준다.

문제는 로봇 슈트의 무게이다. 로봇 슈트가 너무 무거워 움직이기 힘들면 있어도 없느니만 못하다. 실제로 2008년 미국 사르코스 사는 사람의 힘을 20배나 더 세계 하는 로봇 슈트를 개발하였지만, 무게가 68 kg이나 되어 상용화에 실패하였다. 전문가들은 '탄소



아이언 맨의 모습

나노 튜브로 만든 소재가 유용할 것'이라고 내다보고 있다. 탄소 나노 튜브는 탄소 6개로 이루어진 육각형들이 벌집처럼 서로 연결된 신소재로서, 탄소 나노 튜브를 플라스틱이나 금속과 비교하면 솜털만큼 가볍다고 볼 수 있다. 소수성이어서 물에 젖지 않는 것도 장점이며, 강화재로도 유용하다.

호주 시드니 대학 연구진은 '탄소 나노 튜브로 방탄복을 만들면 초속 2,000 m로 날아오는 총알에도 무리가 없다'는 연구 결과를 2007년 11월 영국 물리

학회의 "나노 테크놀로지"에 발표한 바 있다. 현재 총알의 속력은 초속 1000 m 수준이다. 연구진은 두께 600 μm (마이크로미터, 1 μm =100만분의 1 m)인 탄소 나노 튜브 섬유로 방탄조끼를 만들면 총알도 튕겨 나온다고 예측하였다. 총알에도 끄떡없는 아이언 맨의 '마크6'에도 탄소 나노 튜브 소재가 사용되었으리라고 짐작할 수 있다.

1

다음 용어를 설명하여라.

(1) 탄소 나노 튜브

(2) 신소재

(3) 소수성

2

로봇 슈트를 탄소 나노 튜브로 만들 때의 장점은 무엇인가?

3

현재 탄소 나노 튜브를 섬유로 만드는 기술은 미흡한 상황이라고 한다. 이에 어떤 문제점이 있을지 자신의 생각을 글로 써 보자.

2

화학 결합

2-1 화학 결합의 종류	146
2-2 옥텟 규칙	158
2-3 결합의 극성	166

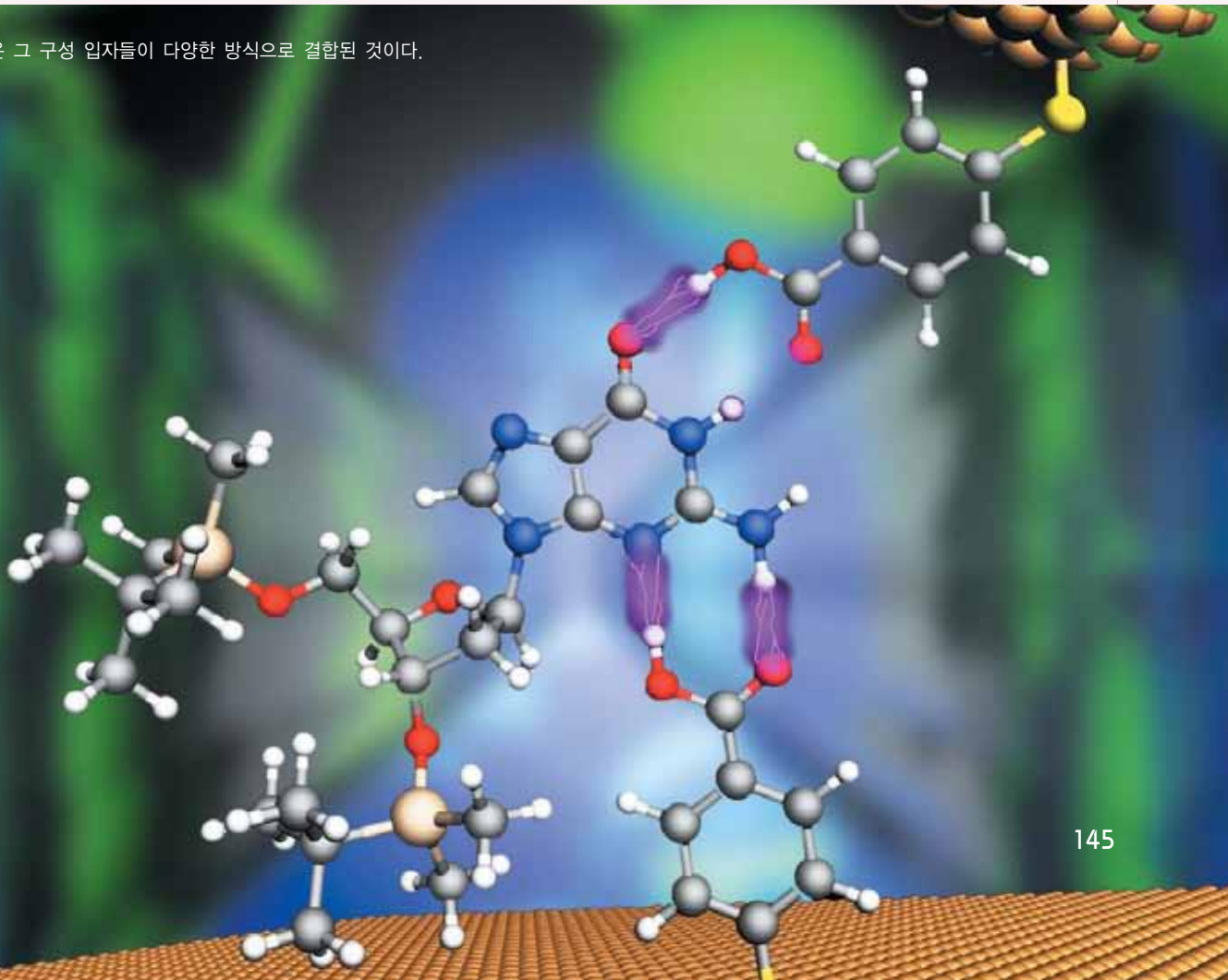
들어가기

바위, 흙, 석유, 나무, 사람의 몸 등은 서로 다른 종류의 원자로 이루어진 화합물이 모인 복잡한 혼합물이다. 대기 중의 아르곤이나 천연가스에 들어 있는 헬륨과 같이 한 가지 원자로 되어 있는 물질도 자연에 존재하지만 매우 드물다. 즉 자연에 존재하는 대부분의 물질은 두 가지 이상의 원소가 서로 결합하여 한 가지 화합물을 형성하고, 또 그 화합물들이 모여 혼합물을 이루고 있다.

원자가 결합하는 방식은 물리·화학적 성질에 크게 영향을 미친다. 예를 들어 흑연은 연필심이나 윤활제로 쓰이는 무르고 매끄러운 물질이고, 다이아몬드는 보석이나 공업용 절단기 등에 쓰이는 가장 단단한 물질 중 하나이다. 모두 탄소로만 구성된 두 물질이 왜 이처럼 서로 다른 성질을 나타내는 것일까?

이 단원에서는 물질을 구성하는 입자들의 다양한 결합 방식에 대하여 학습한다.

▼ 물질은 그 구성 입자들이 다양한 방식으로 결합된 것이다.



2-1 화학 결합의 종류

다가서기

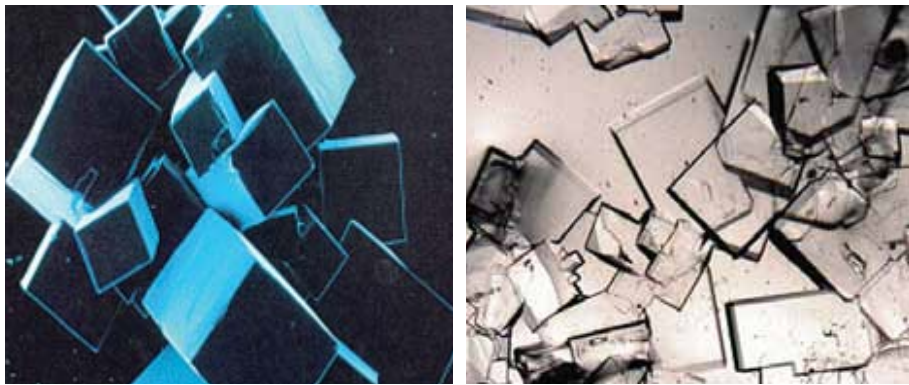
- 이온 결합의 형성 원리를 이해하고, 이온 결합 물질의 성질을 설명할 수 있다.
- 공유 결합의 형성 원리를 이해하고, 공유 결합 물질의 성질을 설명할 수 있다.
- 화학 결합에는 전자가 관여하고 있음을 이해한다.

핵심 용어

- 이온 결합
- 공유 결합
- 결합 길이
- 공유 결합 반지름
- 전기 분해

우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 물질로 소금과 설탕을 들 수 있다. 소금의 주성분은 염화나트륨(NaCl)으로, 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-) 간의 정전기적 인력에 의해 결합되어 있다. 반면 설탕은 설탕 분자($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)로 되어 있으며, 분자를 구성하는 원자들 간의 인력에 의해 결합되어 있다.

소금은 수용액에서 이온들을 제공하는 전해질이지만, 설탕은 설탕 분자 그대로 존재하는 비전해질이다. 이러한 성질은 화학 결합과 어떤 관계가 있을까?



(가) (나)
그림 Ⅲ-22 소금(가)과 설탕(나)의 결정 모양(현미경 사진)

이온 결합과 공유 결합이 형성되는 원리를 통하여 화학 결합에 전자가 관여하는지 알아본다.

1 이온 결합

생활 속에서 자주 접하는 소금과 설탕 가루는 눈으로 쉽게 구별할 수 없다. 더구나 두 물질을 물에 녹이면 모두 무색의 투명한 용액을 만들기 때문에 더욱 구별하기 어렵다. 맨눈으로 쉽게 구별할 수 없는 소금과 설탕을 어떻게 구별할 수 있을까?

다음 탐구 활동을 통하여 두 물질을 물에 녹일 때 전기 전도도가 어떻게 달라지는지 알아보자.



활동 16 | 소금 수용액과 설탕 수용액의 전기 전도도 측정

- **목적** 소금 수용액과 설탕 수용액의 전기 전도도 변화가 서로 다른 이유를 알아본다.
- **준비물** 컴퓨터, 접속 장치, 전도도 센서, 250 mL 비커, 부피 실린더, 유리 막대, 시약포지, 약숟가락, 전자저울, 소금, 설탕, 증류수
- **유의 사항** 전도도 센서의 전극 표면이 긁히지 않도록 주의한다.
- **과정**
 - ① 전자저울을 이용하여 소금을 0.02 g씩 총 7회 측정하여, 각각 시약포지로 포장해 둔다.
 - ② 250 mL 비커에 증류수 100 mL를 넣는다.
 - ③ 전도도 센서의 탐침 끝을 증류수로 세척한다.
 - ④ 컴퓨터, 접속 장치, 전도도 센서를 그림 (가)처럼 연결한다.
 - ⑤ 프로그램을 실행시키고, '측정 간격'을 30초, '실험 시간'을 240초로 설정한다.
 - ⑥ 전도도 센서를 증류수에 넣고 '실험 시작'을 누른 다음, 증류수의 전도도를 측정할 때까지 기다린다(그림 (나)).



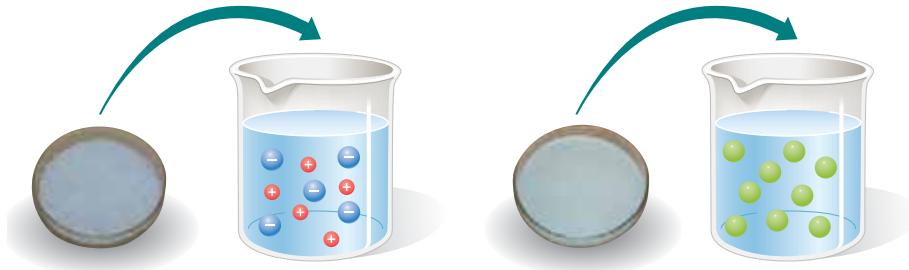
(가) 컴퓨터, 접속 장치, 전도도 센서 연결



(나) 전도도 측정

- ⑦ 증류수의 전도도 값이 측정되면, 미리 측정하여 놓은 소금 0.02 g을 증류수에 넣고 유리 막대로 저으면서 전도도 값을 측정한다. 단, 전도도 측정 간격을 30초로 설정하였으므로 전도도가 측정된 즉시 소금 0.02 g을 다시 가한다.
 - ⑧ 두 번째 전도도가 측정되면 즉시 소금 0.02 g을 다시 가하고 ⑦번과 같은 방법으로 전도도 값을 측정한다.
 - ⑨ 소금 대신 설탕으로 ①~⑧의 실험 과정을 다시 수행하고 결과를 저장한다.
- **정리**
 1. 실험 결과를 그래프로 그려 보자.
 2. 증류수에 소금과 설탕을 점점 더 많이 넣을 때 전기 전도도는 각각 어떻게 변화였는가?
 3. 소금 수용액과 설탕 수용액의 전기 전도도 변화가 다른 이유는 무엇인지 토의하여 보자.

소금과 설탕을 물에 녹이면, 설탕물은 전기가 통하지 않지만 소금물은 전기가 통한다. 소금의 주성분인 염화나트륨이 물에 녹아 전류를 흐르게 하는 것은 설탕과는 달리 나트륨 이온과 염화 이온으로 나누어지기 때문이다.



(가) 물에서의 소금 입자 (가) 물에서의 설탕 입자
그림 Ⅲ-23 소금과 설탕의 물에 녹아 있는 모형

염화나트륨을 구성하는 나트륨 이온과 염화 이온은 각각 어떻게 형성되고 두 이온은 어떻게 결합한 것일까?

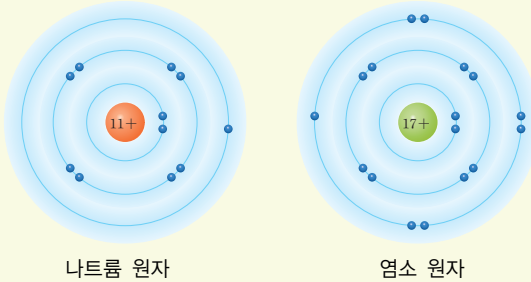
다음 탐구 활동을 통하여 이온이 형성되는 과정을 알아보자.

탐구

활동 17 | 이온의 형성

• 목적 전자의 배치를 이용하여 이온이 형성되는 과정을 알아본다.

다음은 나트륨(Na) 원자와 염소(Cl) 원자의 전자 배치를 나타낸 것이다.



나트륨 원자

염소 원자

- 정리
1. 나트륨 원자와 염소 원자가 각각 안정한 전자 배치를 가지기 위해서는 어떻게 되어야 할까?
 2. 나트륨 원자와 염소 원자가 각각 안정한 전자 배치가 되었을 때의 이온의 모형을 그려 보자.

이온은 중성인 원자가 전자를 잃거나 얻은 것이다. 따라서 이온이 되면 전자 수에 변화가 생겨 양전하나 음전하를 띠게 된다. 나트륨 이온은 나트륨 원자가 전자 1개를 잃어 10개의 전자를 가지는 양이온으로 되어, 네온(Ne) 원자와 같은 전자 배치를 하고 있다. 반면, 염화 이온은 염소 원자가 전자 1개를 얻어 18개의 전자를 가지는 음이온으로 되어, 아르곤(Ar) 원자와 같은 전자 배치를 하고 있다.

검색 비활성 기체의 전자 배치 ▼

나트륨과 같이 양이온이 되기 쉬운 원자와 염소와 같이 음이온이 되기 쉬운 원자가 각각 전자를 잃거나 얻어서 양이온과 음이온이 될 때, 두 이온 사이에 정전기적 인력이 작용하여 결합이 형성된다.

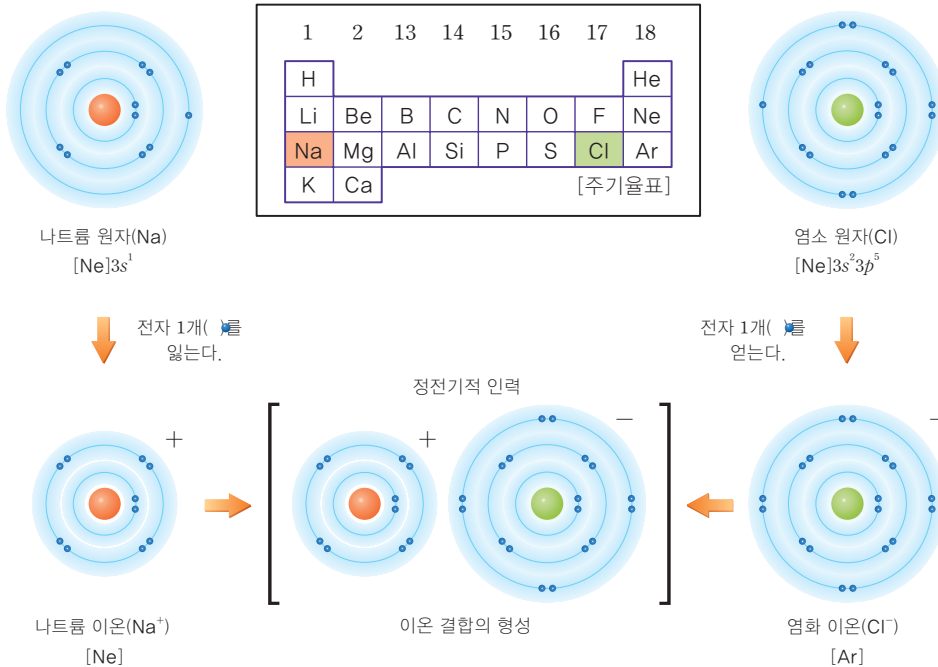


그림 Ⅲ-24 이온 결합의 형성 과정

이와 같이, 서로 다른 전하를 가지는 입자들이 정전기적 인력에 의하여 결합이 형성될 때 이를 이온 결합이라고 한다. 이온 결합은 주로 금속과 비금속 사이에서 형성되며, 서로 반대되는 전하 사이에 작용하는 인력에 이온들이 붙잡혀 있다.

• 양이온과 음이온이 접근하면 정전기적 인력이 점점 커지며 가장 안정한 거리에서 이온 결합이 형성된다.

그림 Ⅲ-25는 이온 결합이 형성될 때 양이온과 음이온 사이의 거리에 따른 에너지 변화를 나타낸 것이다.

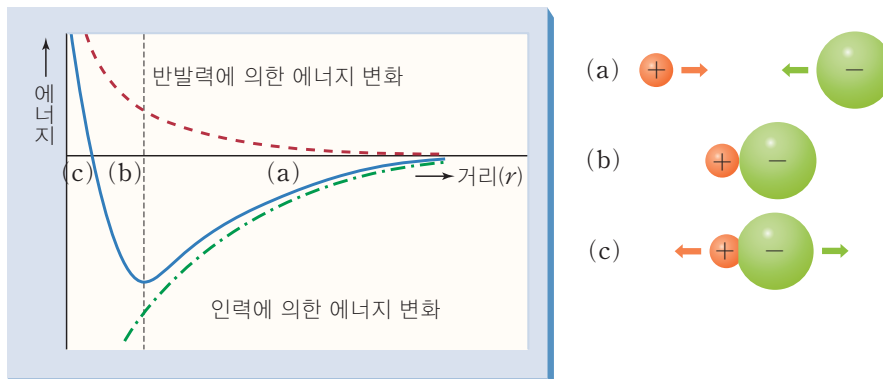


그림 Ⅲ-25 양이온과 음이온 사이의 거리와 에너지 변화

그림 Ⅲ-25에서 멀리 떨어져 있던 양이온과 음이온이 점점 가까워질수록 정전기적 인력도 점점 증가한다(그림의 (a)에서 (b) 구간). 그러다가 (b) 위치에 오면 두 이온 간의 에너지가 가장 낮아지며, 이 거리에서 가장 안정한 상태가 된다. 그러나 (c) 위치에서처럼 두 이온이 너무 가까워지면 정전기적 반발력이 너무 커져서 두 이온 간의 에너지가 높아져 불안정한 상태가 된다. 따라서 (b) 위치에서 가장 안정한 이온 결합이 이루어진다.

다음 탐구 활동을 통하여 이온 결합 물질은 어떤 성질을 가지고 있는지 알아보자.

탐구

활동 18 | 이온 결합 물질의 성질

- **목적** 이온 결합 물질의 전기 전도성을 알아본다.
- **준비물** 염화나트륨, 질산칼륨, 염화칼슘, 증류수, 전원 장치, 꼬마전구, 스테인리스강 전극, 도선, 비커, 약순가락, 유리 막대
- **과정**
 - ① 그림 (가)와 같이 실험 장치를 만들어 고체 상태의 염화나트륨, 질산칼륨, 염화칼슘에 전극을 대어 꼬마전구에 불이 켜지는지 관찰하여 보자.
 - ② 그림 (나)와 같이 염화나트륨, 질산칼륨, 염화칼슘의 각 수용액에 전극을 넣어 꼬마전구에 불이 켜지는지 관찰하여 보자.



그림 (가)



그림 (나)

- **정리**
 1. 고체 상태의 염화나트륨, 질산칼륨, 염화칼슘은 전기가 통하는가?
 2. 염화나트륨, 질산칼륨, 염화칼슘의 각 수용액은 전기가 통하는가?
 3. 이온 결합 물질의 고체 상태와 수용액 상태에서의 전기 전도성에 차이가 있다면, 왜 그렇게 된다고 생각하는가?
- **토의** 염화나트륨을 가열하여 녹인 용융액을 이용하여 위와 같은 실험을 한다면 결과는 어떻게 될까? 또 이온 결합 물질의 액체 상태에서의 전기 전도성은 어떻게 될지 토의하여 보자.

대부분의 이온 결합 물질은 고체 상태에서는 전류가 통하지 않지만, 수용액이나 용융 상태에서는 전류가 잘 통한다. 왜 그럴까? 그 이유는 이온 결합 물질은 전하를 띤 이온으로 구성되어 있으나 고체 상태에서는 이온들이 제자리에서 진동 운동만 하고 있어 전기 전도성을 나타내지 못하기 때문이다.

그러나 물에 녹아 수용액 상태가 되거나 용융이 되어 액체 상태가 되면, 이온들은 서로 자유롭게 움직일 수 있어 전류를 흐르게 하므로 전기 전도성을 나타낸다.

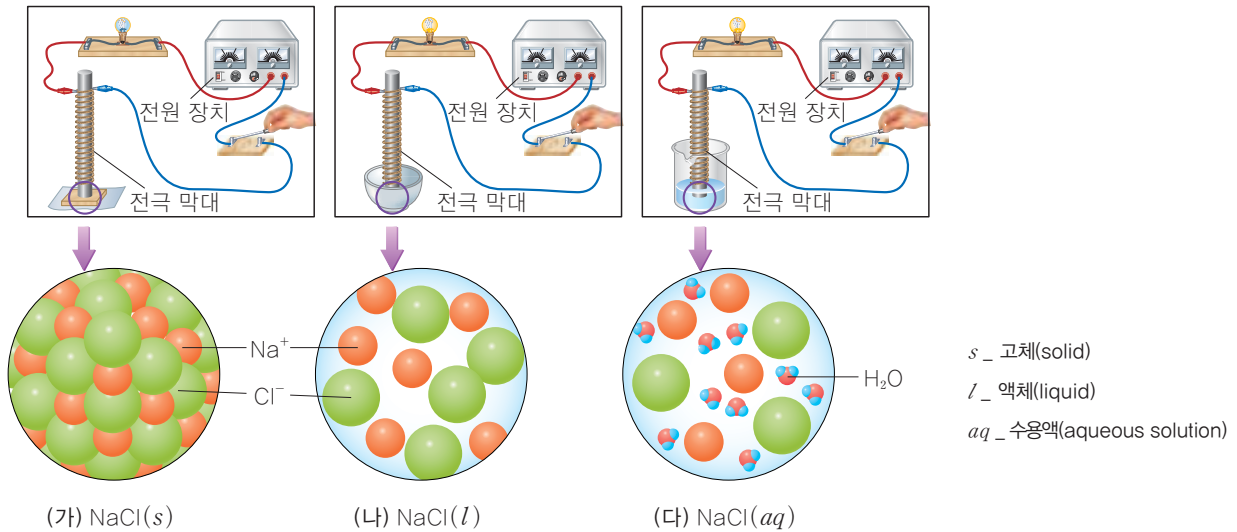


그림 Ⅲ-26 염화나트륨(NaCl)의 전기 전도성

대부분의 이온 결합 물질은 단단하고 휘발성은 없으나 부서지기는 쉽다. 왜 그럴까? 그 이유는 이온 결합 물질에 힘을 가하면 이온의 층이 밀려 같은 전하를 띤 이온들끼리 반발력이 생기기 때문이다.



확인 주기율표의 1족 원소인 알칼리 금속(Li, Na, K)과 이온 결합을 형성할 수 있는 원소들을 찾아 화학식을 3개씩 써 보자.

용융 상태의 소금(NaCl)을 전기 분해하면 어떻게 될까?

다음 탐구 활동을 통하여 알아보자.

검색 전기 분해 ▼

탐구

| 시범 활동 19 | 소금 용융액의 전기 분해

- **목적** 소금 용융액을 전기 분해할 때 발생하는 물질을 알아낼 수 있다.
- **과정** 오른쪽 그림과 같이 소금 용융액에 두 개의 전극을 꽂고 전기 분해 하였더니 다음과 같은 현상이 일어났다.
- **결과**
 1. 양극에서는 자극성 냄새가 나는 황록색의 기체가 발생하였다.
 2. 음극에서는 녹아 있는 금속성 물질이 관찰되었다.
- **정리**
 1. 양극과 음극에서 발생하는 물질은 각각 무엇이라고 예상하는가?
 2. 이 실험 결과로 알 수 있는 사실은 무엇인지 토의하여 보자.

소금은 나트륨 이온과 염화 이온이 결합한 이온 결합 물질이다. 용융 상태의 소금에 전자를 제공하면(-극) 나트륨 금속(Na)이 발생하고, 전자를 빼앗으면(+극) 염소 기체(Cl₂)가 발생한다. 즉 소금을 구성하는 나트륨 이온과 염화 이온의 이온 결합이 전자와 관련이 있음을 알 수 있다.

이온 결합 물질은 이온들 사이의 강한 인력 때문에 녹는점과 끓는점이 비교적 높다. 다음 탐구 활동을 통하여 이온 결합 물질의 녹는점에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 알아보자.

탐구

| 활동 20 | 이온 결합 물질의 녹는점에 영향을 미치는 요인

- 목적 이온 결합 물질의 녹는점에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 알아본다.

다음은 몇 가지 이온 결합 물질의 양이온과 음이온의 이온 반지름과 녹는점을 나타낸 것이다.

이온 결합 물질	양이온 반지름(pm)	음이온 반지름(pm)	녹는점(°C)	이온 결합 물질	양이온 반지름(pm)	음이온 반지름(pm)	녹는점(°C)
NaF	95	136	993	MgO	65	140	2853
NaCl		181	801	CaO	99		2614
NaBr		195	747	SrO	113		2430
NaI		216	661	BaO	142		1923

- 정리
 1. 이온 간 거리와 녹는점과의 관계를 알아보려면 어떤 이온 결합 물질들을 비교해야 하는가?
 2. 이온의 전하량과 녹는점과의 관계를 알아보려면 어떤 이온 결합 물질들을 비교해야 하는가?
 3. 이온 결합 물질의 녹는점은 이온 간 거리 및 이온의 전하량과 어떤 관계가 있는지 토의하여 보자.

양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력은 이온 간의 거리가 짧을수록, 이온의 전하량이 클수록 커진다. 그러므로 이온 결합 물질의 녹는점은 이온 간의 거리가 짧을수록, 이온의 전하량이 클수록 높아진다.



이온 결합 물질인 염화나트륨은 물에 잘 녹고, 수용액은 전류를 잘 통한다. 그 이유를 설명하여라.

2 공유 결합

공유 결합을 형성하는 대표적인 물질로는 물(H₂O)과 설탕(C₁₂H₂₂O₁₁)을 들 수 있다. 물은 수소와 산소, 설탕은 탄소와 수소, 산소의 비금속 원소로 이루어진 물질이다. 이들 비금속들은 어떻게 결합한 것일까?

수소(H₂)나 염소(Cl₂)와 같은 비금속의 홑원소 물질은 이온 결합과는 달리 두 개의 원자가 전자를 서로 공유하여 분자를 형성한다. 물이나 염화수소와 같이 서로 다른 비금속 원소 사이의 결합 또한 전자를 서로 공유하여 분자를 형성한다. 메테인(CH₄)이나 에테인(C₂H₆)과 같은 탄소 화합물도 마찬가지이다.

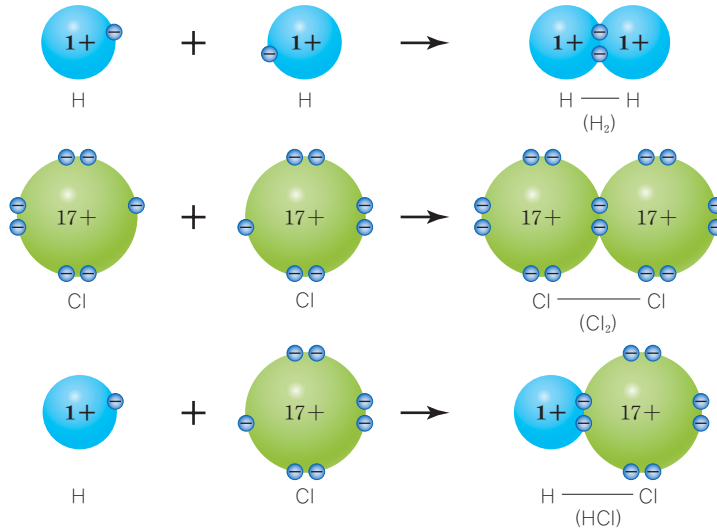
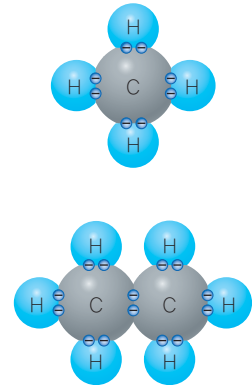


그림 Ⅲ-27 공유 결합에 의한 H₂, Cl₂, HCl의 형성



▲ 메테인(CH₄)과 에테인(C₂H₆)의 공유 결합 모형

물 분자에서, 두 개의 수소 원자가 각각 한 쌍의 전자를 공유하면 헬륨 원자의 전자 배치와 같아지게 된다. 또한 한 개의 산소 원자가 두 개의 수소 원자와 각각 한 쌍의 전자를 공유하면 네온 원자의 전자 배치와 같아지게 된다.

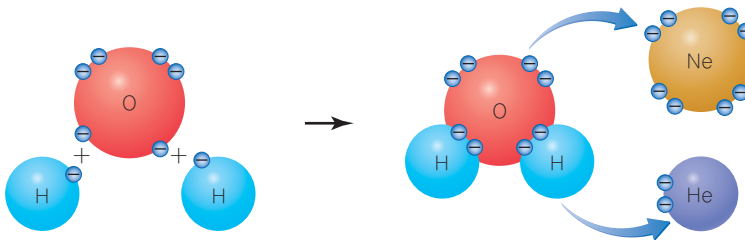


그림 Ⅲ-28 물 분자의 공유 결합 형성과 전자 배치와의 비교

이와 같이 비금속 원자가 서로 전자를 내어 전자쌍을 만들고, 이 전자쌍을 두 원자가 공유함으로써 형성되는 결합을 공유 결합이라고 한다.

수소 분자를 이루는 수소 원자 사이의 에너지 관계를 살펴보면, 한쪽 수소 원자의 원자핵과 다른 쪽 수소 원자의 전자 사이에는 인력이 작용한다. 그러나 두 원자핵 사이나 두 전자 사이에는 반발력이 작용한다. 원자핵과 전자 사이의 인력이 두 원자핵 사이나 두 전자 사이의 반발력보다 더 크면 두 수소 원자는 결합이 이루어진다.

두 개의 비금속 원자가 서로 가까이 접근하면 인력은 점점 커지며, 가장 안정한 거리에서 공유 결합이 형성된다.

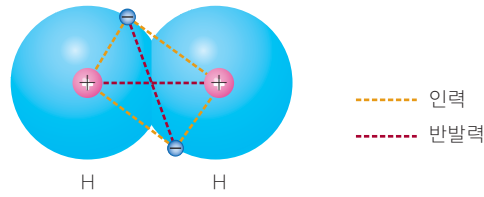


그림 Ⅲ-29 두 수소 원자 사이에 작용하는 힘



암모니아(NH₃)는 질소 원자와 수소 원자가 공유 결합한 것이다. 공유 결합이 형성되는 과정을 설명하여라.

다음은 두 개의 수소 원자가 서로 접근할 때 두 원자 사이의 거리에 따른 에너지 변화를 나타낸 것이다.

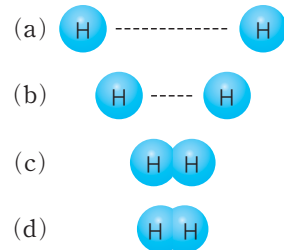
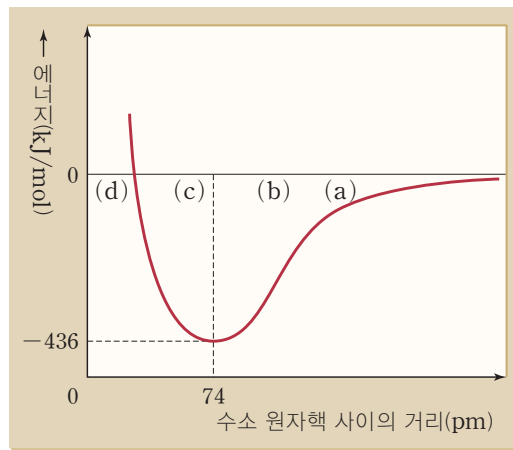
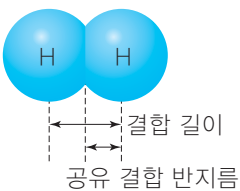


그림 Ⅲ-30 수소 원자 사이의 거리와 에너지 변화

그림 Ⅲ-30에서, 두 원자가 점점 가까워지면 에너지는 점점 낮아지며(그림 (a)에서 (c) 구간), 두 원자핵 사이의 거리가 74 pm가 되면 에너지가 가장 낮아진다(그림 (c)). 이 위치에서 공유 결합이 형성되어 수소 분자를 형성한다. 그러나 두 원자가 더 가까워지면 두 원자핵과 전자 사이의 반발력이 크게 작용하여 에너지는 급격하게 높아진다(그림 (c)에서 (d) 구간).



공유 결합으로 수소 분자가 형성될 때의 두 수소 원자핵 사이의 평균 거리를 **결합 길이**라고 하며, 결합 길이의 반을 그 원자의 **공유 결합 반지름**이라고 한다.

이온 결합으로 이루어진 염화나트륨은 녹는점이 높아서 실온에서 고체 상태로 존재한다. 그러나 공유 결합으로 이루어진 메테인이나 암모니아는 녹는점이 대단히 낮아 기체 상태로 존재한다. 그 이유는 무엇일까?

다음 탐구 활동을 통하여, 이온 결합 물질과 공유 결합 물질의 성질이 어떻게 다른지 알아보자.

탐구

| 활동 21 | 이온 결합 물질과 공유 결합 물질의 성질 비교

- **목적** 이온 결합 물질과 공유 결합 물질의 녹는점과 전기 전도성 차이를 알아본다.

다음은 몇 가지 이온 결합 물질과 공유 결합 물질의 녹는점 및 고체 상태와 액체 상태에서의 전기 전도성을 나타낸 것이다.

물 질		이온 결합 물질			공유 결합 물질		
		염화나트륨 (NaCl)	염화칼륨 (KCl)	브로민화나트륨 (NaBr)	메테인 (CH ₄)	암모니아 (NH ₃)	사염화탄소 (CCl ₄)
녹는점(°C)		801	770	747	-182.5	-77.7	-23
전기 전도성	고체	없음	없음	없음	없음	없음	없음
	액체	있음	있음	있음	없음	없음	없음

- **정리** 1. 이온 결합 물질의 녹는점은 공유 결합 물질의 녹는점과 어떤 차이가 있는가?
- 2. 이온 결합 물질의 전기 전도성은 공유 결합 물질의 전기 전도성과 어떤 차이가 있는가?

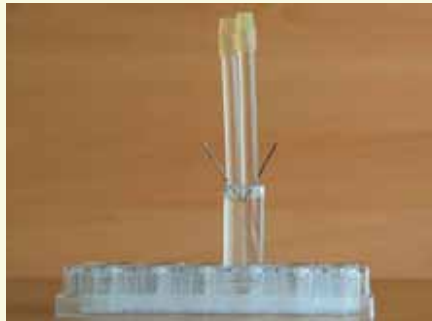
일반적으로 공유 결합 물질의 녹는점이나 끓는점은 이온 결합 물질보다 훨씬 낮다. 또한 공유 결합을 하고 있는 전자쌍은 자유롭게 이동할 수 없기 때문에 고체 상태나 액체 상태에서 전기가 거의 통하지 않는다.

지금까지 알아본 화학 결합은 물질을 구성하는 특정 원자 사이에 존재하는 강한 인력이다. 공유 결합 물질인 물을 전기 분해하면 어떤 현상이 관찰될까? 또 그 이유는 무엇일까?

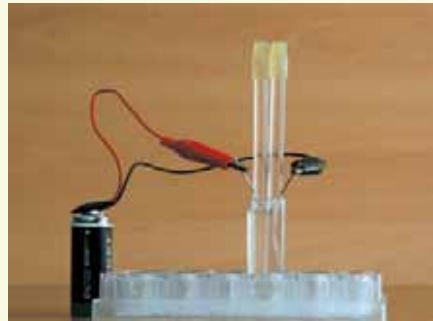
다음 탐구 활동을 통하여 순수한 물을 전기 분해하여 보고, 화학 결합의 전기적 성질에 대하여 알아보자.

| 활동 22 | 물의 전기 분해

- 목적 물의 전기 분해를 통하여 화학 결합의 전기적 성질에 대해 알아본다.
- 준비물 24홈 판, 플라스틱 병, 투명 플라스틱 빨대 2개(약 10 cm 길이), 빨대 마개 2개, 침 핀 2개, 집게 도선 2개, 스포이트, 9 V 건전지, 가위, 증류수, 수산화나트륨
- 과정
 - ① 증류수 100 mL에 수산화나트륨 약 2.0 g을 녹여 수산화나트륨 수용액을 만든다.
 - ② 24홈 판에 플라스틱 병을 꽂고 수산화나트륨 수용액을 약 2/3 정도 채운다.
 - ③ 2개의 투명 플라스틱 빨대의 한쪽 끝 부분을 각각 빨대 마개로 막은 다음, 수산화나트륨 수용액을 관 속에 가득 채운다.
 - ④ 2개의 빨대를 마개가 위로 오도록 플라스틱 병에 꽂고 빨대 아래쪽에 침 핀을 꽂은 다음(그림 (가)), 이 침 핀에 9 V 건전지를 연결하여 전기 분해를 한다(그림 (나)).
 - ⑤ 반응이 끝난 후 (+)극과 (-)극에서 발생한 기체의 부피를 비교해 본다.



(가)



(나)

- 정리
 1. (+)극과 (-)극에서 발생한 기체는 각각 무엇이라고 예상하는가?
 2. (+)극과 (-)극에서 발생한 기체의 부피를 비교하면 어떤 관계가 있는가?
 3. 각 전극에서 기체가 발생하는 이유는 무엇이라고 생각하는가? 전자의 이동으로 설명하여라.

물은 공유 결합 물질이지만 전기 분해하면 수소와 산소로 분해된다. 전기 분해는 외부 전원을 통하여 물질에 전자를 제공하거나(-극) 빼앗기(+극) 때문에, 물 분자는 (-)극에서는 전자를 얻어 수소가 발생하고 (+)극에서는 전자를 빼앗겨 산소가 발생한다. 즉 전기 분해 실험을 통하여 물을 구성하는 수소 원자와 산소 원자의 공유 결합에는 전자와 관련이 있음을 알 수 있다.

또, 소금 용융액을 전기 분해하면 (-)극에서는 나트륨 이온이 전자를 받아 나트륨 금속이 만들어지고, (+)극에서는 염화 이온이 전자를 잃어 염소 기체가 발생한다. 즉 소금을 구성하는 나트륨 이온과 염화 이온의 이온 결합 역시 물과 마찬가지로 전자와 관련이 있음을 알 수 있다.

따라서 모든 화학 결합은 전자가 관여하고 있으며, 이 때문에 분자의 구조와 성질은 전기적 힘에 의하여 결정된다.

세계 최대의 결정들이 만드는 기묘한 동굴 경관

2000년 멕시코 북부에 있는 나िका 광산의 지하 240 m 지점에서 거대한 결정으로 가득 찬 동굴이 발견되었다. 이 동굴의 결정 중에는 전체 길이 11 m, 폭 1 m가 넘는 것도 발견되었다. 이 거대 결정의 동굴은 어떻게 만들어진 것일까?

동굴의 결정 성분은 '석고'로 되어 있는데, 석고는 칼슘과 황, 산소 등의 원자가 물 분자를 가둔 구조를 가진다. 즉 '경석고(CaSO_4)'가 일단 열수에 녹은 다음, 물을 포함한 '석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)'의 결정이 생긴다. 이때 수온이 낮으면 '결정의 씨'가 많이 생기기 때문에 서로 성장을 방해하여 결정이 커지지 않는다. 반면, 수온이 높아질수록 결정의 씨는 드물게 생기므로 결정은 크게 성장할 수 있다. 단, 58°C 를 넘으면 결정의 씨는 전혀 생기지 않는다. 이 동굴은 수온이 약 58°C 보다 약간 낮게 유지되어 거대한 결정이 생성되는 최적의 조건이 유지된 것으로 보인다. 이러한 조건이 세계 최대의 결정군을 탄생시킨 것이다.

일본 국립과학박물관의 마쓰바라 사토시는 "거대한 결정은 자연만이 만들어 낼 수 있다. 그래도 이 정도로 거대한 결정이 만들어지는 것은 매우 드문 일이다. 땅 속의 결정은 자연이 원소를 분류하고 선별한 결과이다."라고 말하였다. 실로, 나िका 광산의 결정은 자연이 만들어 낸 예술 작품인 것이다.



▲ 사람보다 큰 결정의 기둥



▲ 벽에서 뿔어 나온 결정 기둥들이 충돌하였지만 서로 지탱하고 있다.

2-2 옥텟 규칙

다가서기

- 화학 결합이 형성되는 이유를 옥텟 규칙을 이용하여 설명할 수 있다.
- 공유 결합 분자들의 루이스 전자점식을 바르게 나타낼 수 있다.

핵심 용어

- 옥텟 규칙
- 루이스 전자점식
- 공유 전자쌍
- 비공유 전자쌍
- 구조식
- 배위 공유 결합

화학 결합에 관여하는 전자들을 원자가 전자라고 한다. 옥텟 규칙과 원자가 전자를 점으로 표시한 루이스 전자점식에 대하여 알아본다.

1 옥텟 규칙

주기율표의 18족 원소인 비활성 기체는 반응성이 매우 작아서 다른 원소와 결합하는 경우가 매우 드물다. 왜 그럴까?

다음 탐구 활동을 통하여 비활성 기체가 안정한 이유를 전자 배치와 관련하여 살펴보고, 이러한 성질을 이용하여 화학 결합이 형성되는 이유를 알아보자.

탐구

| 활동 23 | 비활성 기체의 전자 배치

1. 아래 그림의 광고용 조명 장치에는 네온 기체가 채워져 있고, 백열전구 안에는 아르곤 기체가 채워져 있다.

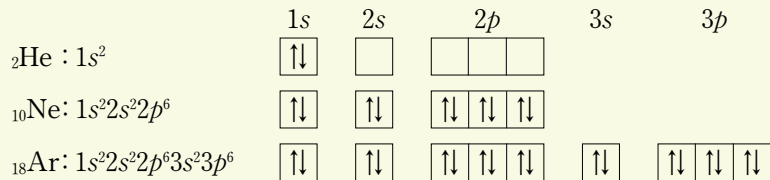


▲ 광고용 조명 장치



▲ 백열전구

2. 다음은 비활성 기체들의 전자 배치를 나타낸 것이다.



- 정리
1. 비활성 기체의 전자 배치에서 공통적인 특징은 무엇인가?
 2. 비활성 기체의 전자 배치는 화학적 성질과 어떤 관계가 있는가?

비활성 기체는 가장 바깥 전자껍질에 전자가 모두 채워진 상태이기 때문에, 다른 원자와 결합하지 않고 안정한 상태로 존재한다. 비활성 기체가 아닌 다른 원소들도 서로 전자를 주고받아 비활성 기체와 같은 전자 배치를 이루게 되며, 이 과정에서 화학 결합이 형성된다. 이처럼 원자들이 비활성 기체의 전자 배치를 가져 안정화되려는 경향을 옥텟 규칙이라고 한다.

원자들은 비활성 기체의 전자 배치와 같이 8개의 원자가 전자로 둘러싸일 때까지 전자를 얻거나 잃거나, 공유하려는 경향이 있다. 단, 헬륨의 전자 배치인 경우는 2개의 전자가 채워지면 안정해진다.

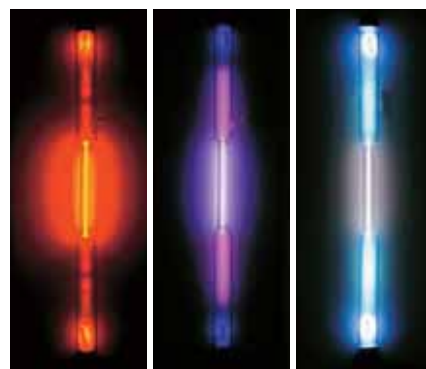


그림 Ⅲ-31 비활성 기체들에 의해 방출되는 색깔

2 루이스 전자점식

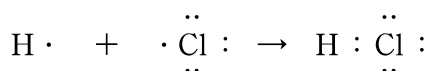
수소 원자(H)로부터 수소 분자(H₂)가 형성되는 과정을 전자를 점으로 표시하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.



수소 원자와 수소 분자의 전자를 모두 점으로 나타내었으며, 수소 분자에서 두 개의 전자는 각 원자의 영역에 일정 시간 머무르게 된다. 이러한 관점에서 수소 분자의 각 원자는 헬륨(He)의 전자 배치와 같이 2개의 전자를 갖는다.



염화수소가 형성되는 과정도 비슷한 방법으로 나타낼 수 있다.



염화수소 분자에서 수소 원자는 헬륨의 전자 배치와 같이 2개의 전자를 가지고, 염소 원자는 아르곤(Ar)의 전자 배치와 같이 8개의 전자를 가진다.



이와 같이 원자가 전자를 점으로 표시하여 나타낸 식을 루이스 전자점식이라고 한다.

염화수소의 루이스 전자점식에서, 공유 결합에 참여한 전자쌍을 공유 전자쌍이라고 하고, 공유 결합에 참여하지 않은 전자쌍을 비공유 전자쌍이라고 한다.

1	2	13	14	15	16	17	18
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca						비활성 기체

그림 Ⅲ-32 주기율표에서 비활성 기체의 위치

• 루이스 전자점식은 원자가 전자만을 나타내며, 루이스(Lewis, G. N.)의 이름을 따서 붙여졌다.

따라서 염화수소는 1개의 공유 전자쌍과 3개의 비공유 전자쌍을 가지고 있다.

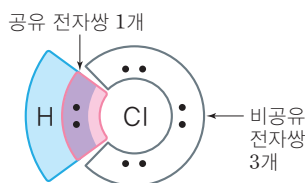


그림 Ⅲ-33 염화수소(HCl)의 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍

다음은 주기율표의 2주기 원소들을 루이스 전자점식으로 나타낸 것이다. 이 원소들은 1개에서 7개의 원자가 전자를 가지므로, 1개에서 7개의 점으로 표시한다.

족 \ 주기	1	2	13	14	15	16	17
2	Li ·	Be :	· B · ·	· C · ·	· N : ·	· O : ·	· F : ·

원자가 전자 중 쌍을 이루지 않은 전자를 **홀전자**라고 하며, 원자가 공유 결합을 이룰 때에는 홀전자가 전자쌍을 이루어 공유 전자쌍을 형성한다.

| 구조식 |

원자와 원자 사이의 공유 결합을 선으로 연결하여 나타낸 화학식

수소 분자(H₂)와 염화수소 분자(HCl)가 형성될 때의 과정을 루이스 전자점식과 구조식으로 나타내면 다음과 같다.

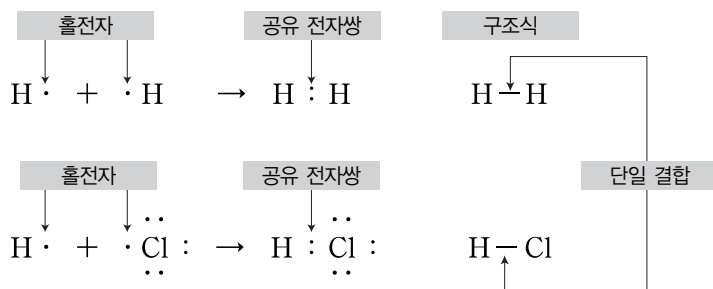
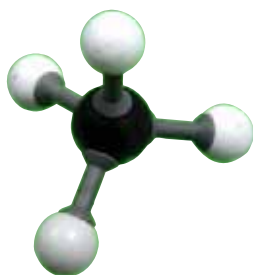
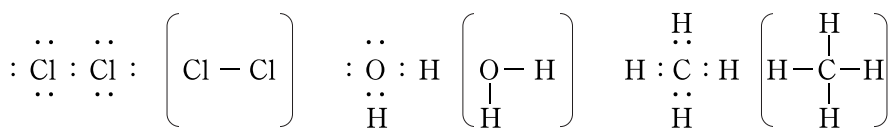


그림 Ⅲ-34 H₂와 HCl이 형성될 때의 루이스 전자점식과 구조식

두 원자 사이에 한 개의 전자쌍을 공유한 결합을 **단일 결합**이라고 하며, 단일 결합은 한 줄의 결합선으로 나타낼 수 있다. 수소 외에도 염소(Cl₂), 물(H₂O), 메테인(CH₄) 등이 단일 결합을 형성한다.



메테인



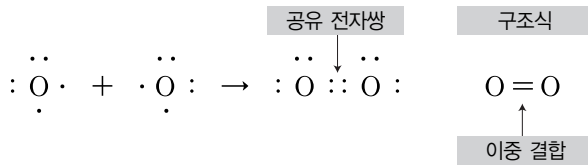
염소 Cl₂

물 H₂O

메테인 CH₄

그림 Ⅲ-35 염소, 물, 메테인의 루이스 전자점식과 구조식(단일 결합)

홀전자가 두 개인 산소 원자(O)가 산소 분자(O₂)를 형성할 때의 루이스 전자점식과 구조식을 나타내면 다음과 같다.

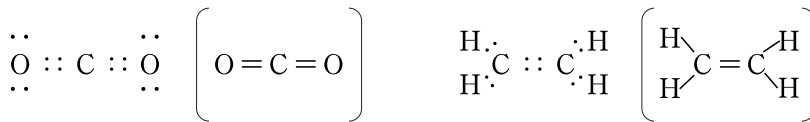


두 원자 사이에 두 개의 전자쌍을 공유한 결합을 **이중 결합**이라고 하며, 이중 결합은 두 줄의 결합선으로 나타낼 수 있다. 산소 외에도 이산화탄소(CO₂), 에텐(C₂H₄) 등이 이중 결합을 형성한다.



에텐

• 에텐은 에틸렌이라고도 한다.

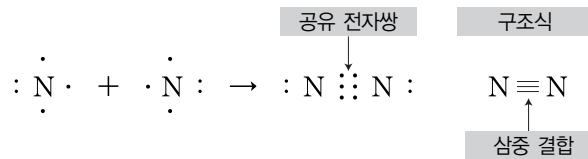


이산화탄소 CO₂

에텐 C₂H₄

그림 Ⅲ-36 이산화탄소와 에텐의 루이스 전자점식과 구조식(이중 결합)

홀전자가 세 개인 질소 원자가 질소 분자(N₂)를 형성할 때의 루이스 전자점식과 구조식을 나타내면 다음과 같다.

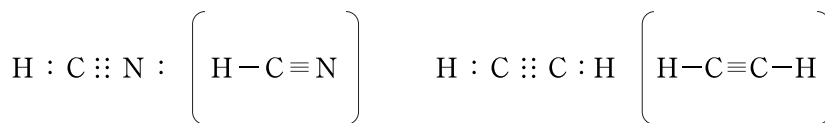


두 원자 사이에 세 개의 전자쌍을 공유한 결합을 **삼중 결합**이라고 하며, 삼중 결합은 세 줄의 결합선으로 나타낼 수 있다. 질소 외에도 사이안산(HCN), 에타인(C₂H₂) 등이 삼중 결합을 형성한다.



에타인

• 에타인은 아세틸렌이라고도 한다.



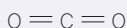
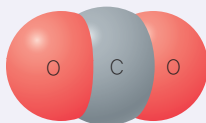
사이안산 HCN

에타인 C₂H₂

그림 Ⅲ-37 사이안산과 에타인의 루이스 전자점식과 구조식(삼중 결합)

루이스 전자점식으로 나타내는 방법은 다음과 같다.

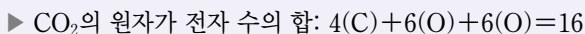
루이스 전자점식으로 나타내는 방법



CO₂의 분자 모형

다음은 루이스 전자점식을 그리는 규칙을 이산화탄소를 예로 들어 설명한 것이다.

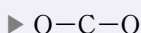
1. 분자를 구성하는 모든 원자들의 원자가 전자 수를 더한다. 만약 음이온이라면 음의 전하수만큼 더하고, 양이온이라면 양의 전하수만큼 빼 준다.



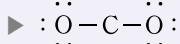
2. 골격 구조를 그린다. 중심 원자를 결정하고 주위에 바깥 원자들을 배치한다.



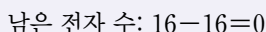
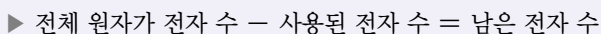
3. 중심 원자와 바깥 원자들을 하나의 공유 전자쌍(단일 결합)으로 연결한다.



4. 바깥 원자들이 옥텟 규칙을 만족하도록 전자를 배치한다.

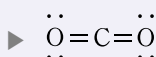


5. 전체 원자가 전자 수에서 지금까지 사용된 전자들의 수를 빼 다음 남은 전자 수를 구한다.



6. 만일 전자가 남았다면 중심 원자에 남은 전자를 배치하고, 옥텟 규칙이 만족하는지 검토한다.

7. 만일 전자가 남지 않았으면 모든 원자가 옥텟 규칙을 만족하는지 검토한다. 만일 만족하지 않으면 옥텟 규칙을 만족시키기 위하여 다중 결합이 되도록 한다.



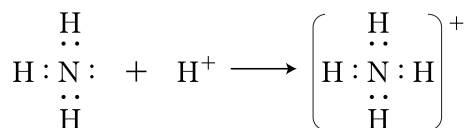
다음 물질을 루이스 전자점식으로 나타내어라.

- (1) HF (2) CO₂ (3) CCl₄ (4) CN⁻ (5) NH₃

두 원자가 전자를 동등하게 제공하여 이루어지는 결합과는 달리, 한쪽 원자에서만 1개의 전자쌍을 일방적으로 제공하여 이루어지는 결합도 있다.

이와 같이, 공유되는 전자쌍을 한쪽 원자에서만 제공하여 이루어진 결합을 배위 공유 결합이라고 한다. 그러나 배위 공유 결합은 공유 결합과 근본적으로 차이가 없다.

다음은 암모니아(NH₃)가 수소 이온(H⁺)과 결합하는 과정을 나타낸 것이다.



수소 이온은 전자가 없으므로 암모니아의 비공유 전자쌍을 일방적으로 받아들여 암모늄 이온(NH₄⁺)을 형성한다. 배위 공유 결합을 하는 물질에는 암모늄 이온 외에도 하이드로늄 이온(H₃O⁺)이 있다.

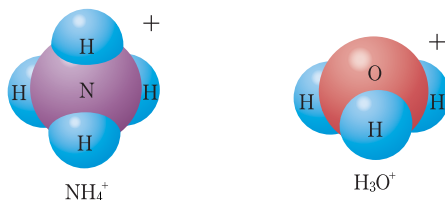
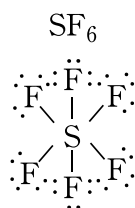
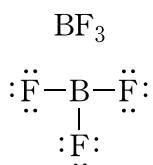
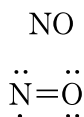


그림 III-38 암모늄 이온과 하이드로늄 이온

많은 분자가 옥텟 규칙을 따르기는 하지만 다음 분자들과 같이 예외인 경우도 많다. 그러나 옥텟 규칙은 화학 결합을 이해하는 데 유용하게 쓰인다.



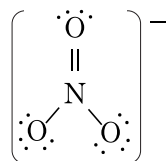
| 옥텟 규칙을 만족하지 않는 예 |

- 홀수 개의 전자 수를 가지는 NO 분자
- 8개의 전자를 가질 수 없어서 6개의 전자로 안정한 BF₃ 분자
- 12개의 전자도 가질 수 있는 SF₆ 분자

심화 자료

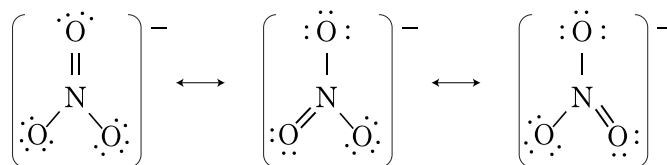
공명 구조

다음은 질산 이온(NO₃⁻)의 루이스 전자점식을 나타낸 것이다.



이것이 질산 이온의 정확한 구조라면 두 종류의 N-O 결합이 관측되어야 한다. 하나는 결합 길이가 짧은 이중 결합이고, 다른 두 개는 결합 길이가 긴 단일 결합이다. 그러나 N-O의 결합 길이는 단일 결합과 이중 결합의 중간 정도의 길이를 가지며, N-O의 길이는 모두 같은 것으로 측정되었다.

따라서 보다 정확한 질산 이온을 나타내기 위해서는 루이스 전자점식을 일부 수정할 필요가 있다. 즉 질산 이온은 아래 세 가지 루이스 전자점식 중 어느 것도 아니며 세 개의 평균이라고 생각할 수 있다. 이때 공명이 일어난다고 하며, 보통 아래와 같이 양 방향 화살표(↔)로 나타낸다.





노벨상에 운이 없었던 루이스

루이스는 미국 매사추세츠 주의 웨스트 뉴턴에서 출생한 미국의 물리화학자이다.

루이스는 1899년 미국의 하버드 대학에서 박사 학위를 받았으며, 라이프치히 대학과 괴팅겐 대학에서 수학하였다. 그 후 하버드 대학교의 강사로 있다가 매사추세츠 공과대학을 거쳐 1912년 캘리포니아 대학교의 화학 대학의 학장을 맡았다.

루이스가 부임한 후 화학부는 세계에서 가장 우수한 화학 연구 집단으로 자리를 잡았고, 루이스의 제자 중에서 유리(Urey, H. C.: 1934년), 지오크(Giauque, W. F.: 1949년), 시보그(Seaborg, G. T.: 1951년), 캘빈(Calvin, M.: 1961년) 등 여러 명의 노벨 화학상 수상자가 배출되었다.

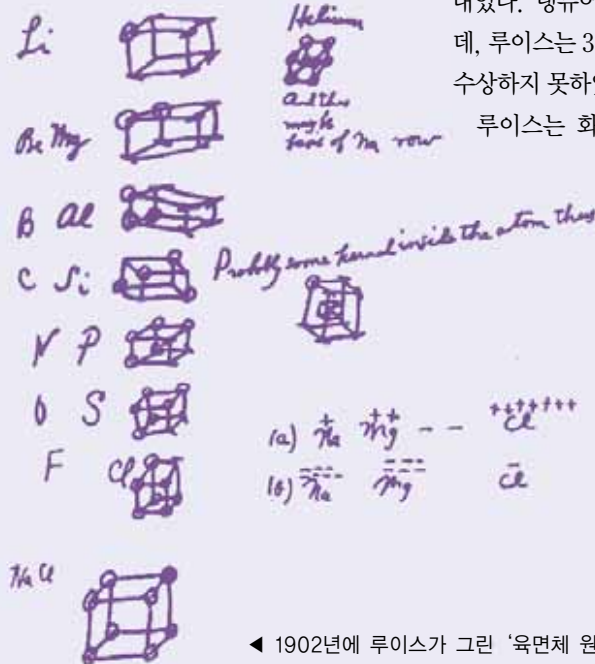


루이스(Lewis, G. N.: 1875~1946) 미국의 화학자·물리학자. 1916년에 분자의 구성에 관한 루이스·랭뮤어의 원자 결합 이론을 제창하였다.

1902년부터 루이스의 강의록에는 화학 결합에서 '8'의 중요성을 보여 주는 정육면체 그림이 등장하였다. 1916년에는 공유 결합을 공식화하는 유명한 논문을 발표하였는데, 이 논문의 제목은 '원자와 분자'였다. 루이스는 이 논문에서 루이스 전자점식을 도입하였다. 1919년에 랭뮤어(Langmuir, I.)는 루이스의 아이디어를 발전시켜

공유 결합, 옥텟 규칙 등 쓰기 편리한 말을 만들어 내었다. 랭뮤어는 1932년 노벨 화학상을 받았는데, 루이스는 35차례나 노벨상 후보로 추천되기도 수상하지 못하였다.

루이스는 화학 결합 외에도 다양한 분야에서 많은 중요한 연구를 하였으나 평생 노벨상을 수상하지 못하였다. 아무튼 우리 주위의 물질세계가 옥텟 규칙에 따른 전자의 공유에 의해 유지되는 한 우리는 루이스의 이름을 화학 교과서에서 계속 만나게 될 것이다.



◀ 1902년에 루이스가 그린 '육면체 원자'

금속 결합

금속의 여러 가지 성질을 설명하려면, 금속 원자의 원자가 전자는 이온 결합이나 공유 결합과는 달리 한 원자에 고정되어 있지 않고 자유롭게 움직인다고 생각해야 한다. 이러한 전자를 **자유 전자**라고 한다.

예를 들어, 금속 나트륨에서는 모든 나트륨 원자가 전자를 잃어 나트륨 이온이 되고, 이때 나온 전자가 나트륨 이온들 사이를 자유롭게 움직이면서 양이온들을 묶어 주는 역할을 한다.

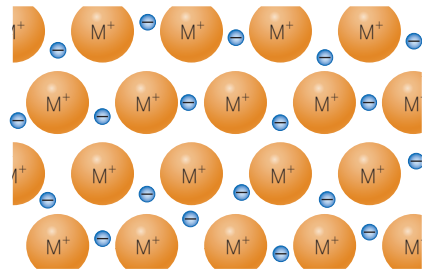
이와 같이 자유 전자가 금속 양이온들을 일정한 위치에 유지하도록 하는 결합을 **금속 결합**이라고 한다.

금속은 대부분 다음과 같은 물리적 특성을 가지고 있다.

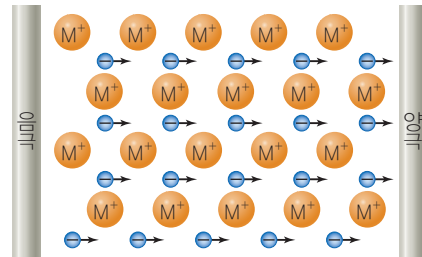
첫째, 금속은 금, 구리, 망간 등 몇 가지를 제외하면 대부분 은백색의 광택을 나타낸다.

둘째, 금속은 고체 상태나 액체 상태에서 전기가 잘 통한다. 이것은 금속에 전압을 걸어 주면 자유 전자가 일정한 방향으로 배열되어 쉽게 양극으로 이동할 수 있기 때문이다. 금속이 높은 열전도성을 가지는 것도 이 자유 전자 때문이다.

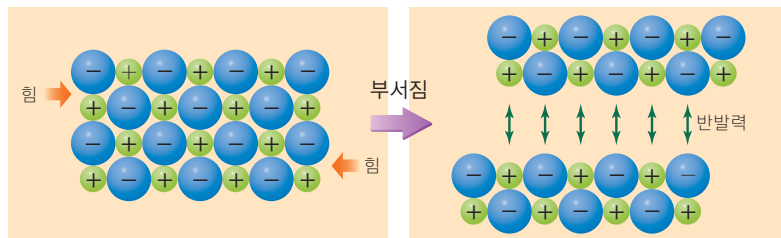
셋째, 금속은 퍼짐성(전성)과 뽑힘성(연성)이 좋다. 이것은 원자들의 위치가 달라져도 인력은 크게 달라지지 않기 때문이다. 따라서 이온 결합 물질에 힘을 가하면 부서지지만 금속은 변형될 뿐이다.



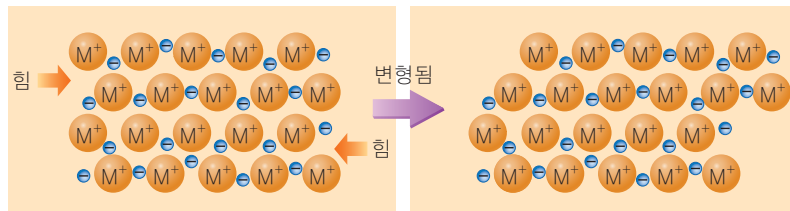
▲ 금속 결합의 모형



▲ 금속의 전기 전도성



▲ 이온 결합 물질의 파괴



▲ 금속의 변형

2-3 결합의 극성

다가서기

- 분자마다 전하의 분포가 다른 이유를 설명할 수 있다.
- 쌍극자 모멘트를 이용하여 다양한 분자의 극성을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 무극성 공유 결합
- 무극성 분자
- 극성 공유 결합
- 극성 분자
- 쌍극자
- 쌍극자 모멘트

원자들이 화학 결합을 통하여 분자를 만들고 나면 분자들 사이의 상호 작용이 중요하게 된다. 화학 결합이 기본적으로 전기적인 작용으로 이루어지는 것처럼, 분자들 사이의 상호 작용도 전기적이다. 부분 전하를 띤 물 분자는 염화나트륨과 같이 전하를 띤 이온을 잘 녹인다.

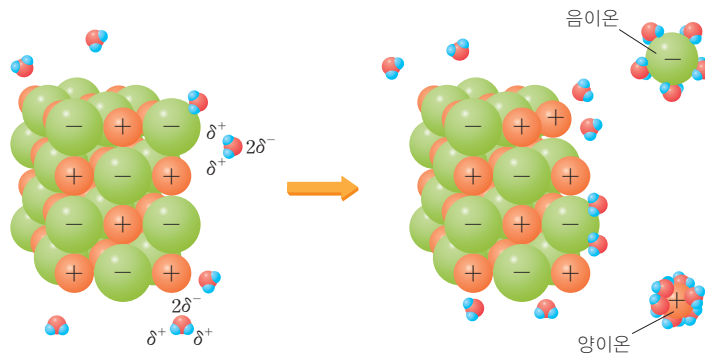


그림 III-39 NaCl의 용해 과정

분자마다 전하의 분포가 다른 이유와 쌍극자 모멘트를 이용하여 분자의 극성을 나타내는 방법에 대해 알아본다.

1 결합의 극성

그림 III-40은 수소, 염화수소, 염화나트륨의 전하의 분포를 나타낸 것이다. 분자마다 전하의 분포가 다른 이유는 무엇일까?

수소 분자(H_2)는 같은 원자로 이루어져 있으며, 두 원자가 공유 전자쌍을 끌어

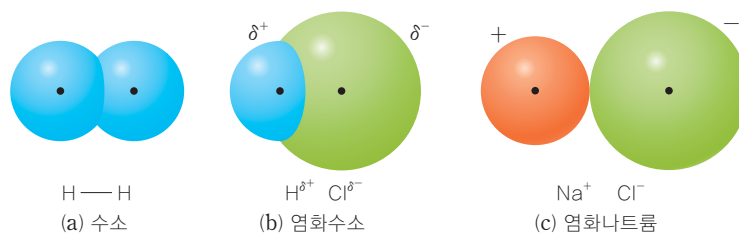


그림 III-40 화학 결합에서 전하의 분포

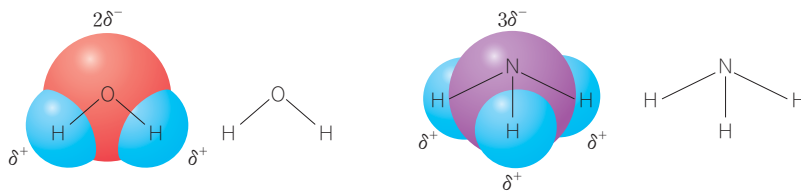
당기는 힘은 같다. 즉 두 수소 원자의 전기 음성도는 같으며, 공유 전자쌍은 두 원자에 동등하게 끌리게 된다. 이러한 결합을 **무극성 공유 결합**이라고 하며, 이 분자를 **무극성 분자**라고 한다. 공유 결합을 이루고 있는 무극성 분자에는 수소 외에도 질소, 산소 등이 있다.



그러나 염화수소 분자를 구성하는 염소 원자와 수소 원자는 공유 전자쌍을 끌어당기는 힘이 서로 다르다. 즉 염소 원자의 전기 음성도(3.0)가 수소 원자의 전기 음성도(2.1)보다 커서 염소 원자가 공유 전자쌍을 더 세게 끌어당긴다. 따라서 공유 전자쌍은 염소 원자 쪽으로 치우쳐 있어 염소 원자 쪽이 부분적인 음전하(δ^-)를 띠며, 수소 원자 쪽은 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다. 이것은 마치 자석에서 N극과 S극이 분리되어 있는 것과 비슷하여 극성이 있다고 말하며, 이러한 결합을 **극성 공유 결합**이라고 하고 이 분자를 **극성 분자**라고 한다. 공유 결합을 이루고 있는 극성 분자에는 염화수소 외에도 물, 암모니아 등이 있다.

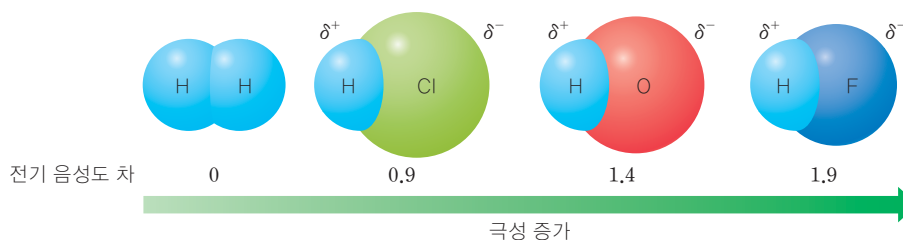
| 전기 음성도 |

공유 결합을 하는 분자에서 각 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 힘의 크기는 서로 다르다. 전기 음성도는 이러한 힘의 크기를 상대적인 수치로 나타낸 것이다.



폴링의 전기 음성도로부터 이온 결합과 공유 결합을 판단할 수 있을까?

전기 음성도가 같은 원자들이 전자쌍을 공유하여 결합을 하면 무극성 공유 결합이 되지만, 전기 음성도가 서로 다른 원자들이 전자쌍을 공유하여 결합을 하면 극성 공유 결합이 된다. 이때 두 원자의 전기 음성도의 차이가 크면 클수록 결합의 극성은 커지게 되고, 결합의 이온성 역시 커진다.



두 원자의 전기 음성도의 차이가 매우 커서 공유 전자쌍이 한쪽 원자로 많이 치우칠수록 이온 결합성이 더 커지게 된다.

전기 음성도의 차이와 결합의 성질 사이의 관계를 나타내면 다음과 같다.

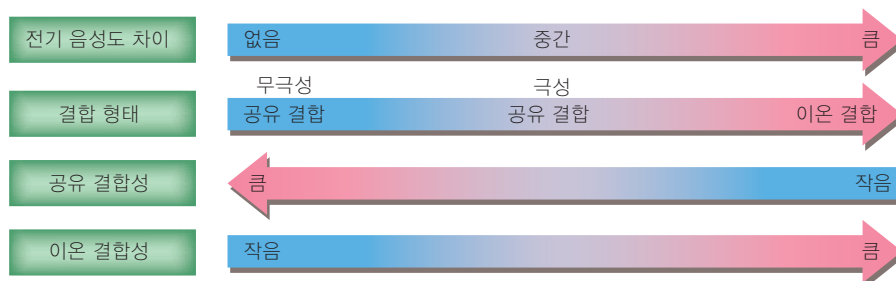
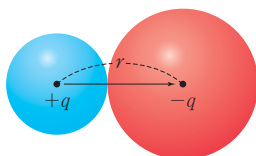


그림 III-44 전기 음성도의 차이와 결합의 성질

| 쌍극자 모멘트(μ)의 표시 |

분자의 쌍극자 성질은 양전하 중심으로부터 음전하 중심으로 향하는 화살표로 나타내며, 단위는 $C \cdot m$ 이다.



| 벡터량 |

크기와 방향을 갖는 물리량으로 그림으로 표시할 때는 화살표를 사용하여 나타내며, 크기는 화살표의 길이이고 방향은 화살의 방향이다.

2 쌍극자 모멘트

하나의 분자 내에 전하의 분포가 균일하지 않고 서로 다른 부분 전하가 있는 경우에 이를 쌍극자라고 하고, 그 크기를 쌍극자 모멘트로 나타낸다. 쌍극자 모멘트는 부분 전하의 크기에 δ^+ 와 δ^- 사이의 거리를 곱한 값으로 나타낸다. 즉 분자를 이루고 있는 원자의 전하가 각각 $+q$, $-q$ 이고 두 전하 사이의 거리를 r 라고 할 때, 쌍극자 모멘트(μ)는 다음과 같이 정의되며 벡터량으로 나타낸다.

$$\mu = q \times r$$

따라서 쌍극자 모멘트는 분리된 전하가 클수록, 두 전하 사이의 거리가 멀수록 커진다. 시소를 탈 때 체중이 작은 어린아이라도 중심축에서 멀리 떨어져 앉아 있으면 중심축에서 가까운 어른과 균형을 잡을 수 있는 것과 마찬가지로, 전하의 크기와 거리 모두 중요한 것이다. 쌍극자 모멘트의 값이 클수록 결합의 이온성이 커진다.

다음은 몇 가지 분자의 쌍극자 모멘트를 나타낸 것이다.

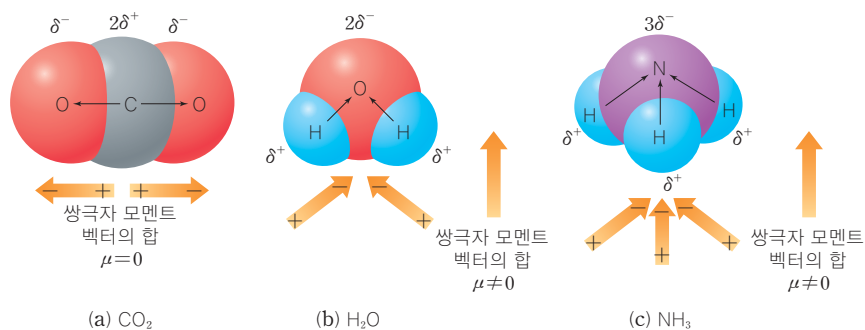
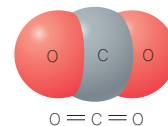


그림 III-45 CO_2 , H_2O , NH_3 분자의 쌍극자 모멘트

이산화탄소 분자의 탄소 원자는 부분적으로 양전하(δ^+)를 띠고, 산소 원자는 부분적으로 음전하(δ^-)를 띤다. 탄소 원자와 산소 원자 사이의 전기 음성도 차이 때문에 전자는 산소 원자 쪽으로 끌려 부분적으로 음전하를 띠며 쌍극자 모멘트를 갖게 된다. 그러나 탄소 원자와 산소 원자의 결합 부분(C=O)의 쌍극자 모멘트는 서로 크기가 같으나 방향이 반대이므로, 두 벡터의 합은 0이 된다. 쌍극자 모멘트의 벡터의 합이 0이 되므로 이산화탄소 분자는 극성 결합을 가지고 있더라도 무극성 분자이다.

무극성 분자인 이산화탄소

이산화탄소(CO_2)는 각각의 결합에 극성이 있으나, 방향이 정반대이므로 서로 극성을 상쇄하여 무극성 분자이다.



반면, 물 분자나 암모니아 분자는 분자 내 각 원자 사이의 쌍극자 모멘트의 크기가 0이 아니고, 방향 또한 반대가 아니다. 따라서 물 분자나 암모니아 분자의 쌍극자 모멘트의 벡터의 합은 0이 아니므로 두 분자는 극성 분자이다.



전기 음성도 값을 이용하여 다음 결합들을 쌍극자 모멘트의 방향으로 나타내어라.

- (1) C - Cl (2) C - N (3) N - H (4) O - H

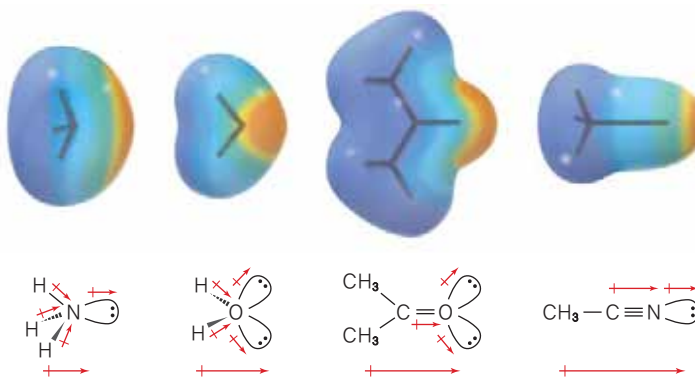
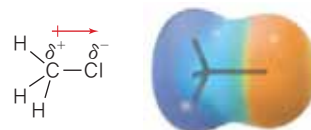
심화 자료

정전기 퍼텐셜 지도

정전기 퍼텐셜 지도(electrostatic potential map, EPM)는 분자 내의 전하의 분포를 색을 사용하여 나타낸 '컴퓨터 계산 분자 표시도'를 말한다. 일반적으로 EPM에서 전자가 풍부한 영역(가장 강한 음 정전기 퍼텐셜)은 붉은색, 전자가 부족한 영역(가장 강한 양 정전기 퍼텐셜)은 파란색으로 나타난다. 그리고 오렌지색, 노란색 및 초록색의 중간색들은 중간 정전기 퍼텐셜을 나타낸다.

예를 들어 클로로메테인(CH_3Cl) 분자에서, 염소 원자는 부분적인 음전하를 띠고 탄소 원자는 부분적인 양전하를 띠어 극성인 탄소-염소 결합을 형성한다. 극성 결합의 음의 끝 부분에는 화살표의 머리를 가지고 있고, 양의 끝 부분에는 양(+)
부호를 가진 화살표로 결합의 극성을 나타낸다.

몇 가지 분자의 정전기 퍼텐셜 지도와 쌍극자 모멘트를 나타내면 다음과 같다.



02 중단원 마무리

화학 결합

🎓 되짚어 보기

이온 결합	• 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력에 의해 형성되는 결합이다.
공유 결합	• 비금속 원자가 서로 전자를 내어 전자쌍을 만들고, 이 전자쌍을 두 원자가 공유함으로써 형성되는 결합이다.
옥텟 규칙	• 원자들이 비활성 기체의 전자 배치를 가져 안정화되려는 경향
루이스 전자점식	• 원자가 전자를 점으로 표시하여 화학 결합을 나타낸 식이다.
전자쌍	• 공유 결합에 참여한 전자쌍을 공유 전자쌍이라고 하고, 공유 결합에 참여하지 않은 전자쌍을 비공유 전자쌍이라고 한다.
무극성 공유 결합	• 두 원자가 전자를 끌어당기는 힘이 서로 같은 결합이다.
극성 공유 결합	• 두 원자의 전기 음성도의 차이가 있어 부분적인 전하를 띠게 되는 결합이다.
쌍극자	• 한 분자 내에 전하의 분포가 균일하지 않고 서로 다른 부분 전하가 있다.
쌍극자 모멘트	• 부분 전하의 크기와 거리를 곱한 값으로, 쌍극자 모멘트의 값이 클수록 결합의 이온성은 커진다.



창의성 기르기

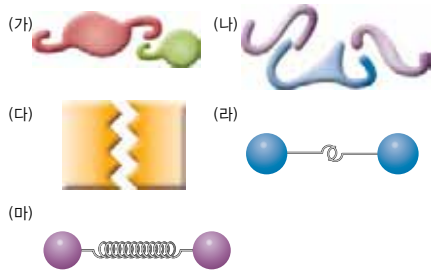
※ 옛날 사람들은 화학 결합을 다음과 같이 여러 가지로 생각하였다.

(가), (나) 원자의 같고리 모양으로 된 부분이 결합하여 화합물을 만드는 모형

(다) 원자의 톱니가 서로 결합하여 화합물을 만드는 모형

(라) 원자의 손이 결합하는 것을 상징적으로 나타낸 모형

(마) 원자의 손이 스프링으로 연결되어 원자 사이에 역동적인 힘이 작용하는 것을 상징한 모형



토의·조사

1. 옛날 사람들이 생각한 각 모형의 문제점은 무엇이라고 생각하는가?
2. 화학 결합을 모형으로 어떻게 나타낼 수 있는지 새로운 아이디어를 제안하여 보자.

도전문제

- 1 (어휘) 다음 용어를 정의하여라.

(1) 홀전자	(2) 옥텟 규칙
(3) 루이스 전자점식	(4) 쌍극자 모멘트

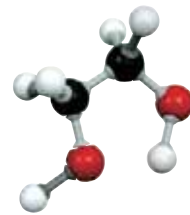
- 2 (비판적 사고) 결합의 극성을 잘못 나타낸 것은 어느 것인가? 또 잘못된 부분을 수정하여라.

(1) $\delta^- \text{H}-\text{F}^{\delta^-}$	(2) $\delta^+ \text{Cl}-\text{I}^{\delta^-}$	(3) $\delta^- \text{Si}-\text{S}^{\delta^-}$
(4) $\delta^- \text{Br}-\text{Br}^{\delta^-}$	(5) $\delta^+ \text{O}-\text{P}^{\delta^-}$	

- 3 (모둠 활동) BF_3 , CF_4 , CO_2 분자는 극성 공유 결합을 가지고 있지만 모두 무극성 분자이다. 그 이유를 토의하여 보자.

- 4 (의사소통) 쌍극자 모멘트는 어떻게 나타내는지 설명하여 보자.

- 5 (적용) 자동차 부동액으로 사용하는 에틸렌글리콜의 화학식은 $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ 이고, 모형으로 나타내면 오른쪽 그림과 같다. 루이스 전자점식으로 나타내어라.



인성 기르기

우리가 보는 대부분의 화합물은 전자를 공유함으로써 형성된 것이다. 두 개의 수소 원자가 한 개의 산소 원자와 공유 결합을 통해 자연과 인체에 꼭 필요한 물을 만든다. 또한 우리의 몸을 구성하는 거의 모든 복잡한 화합물도 물 분자와 유사한 화학 결합의 원리를 따른다. 심지어 행성의 꼬리에서 발견되는 화합물도 마찬가지이다.



토의·조사

만약 공유 결합의 원리가 적용되지 않는다면 우리의 몸은 어떤 일이 발생할까? 또 우리의 일상생활에서 '공유'의 중요성을 토의하여 보자.



만화로 보는 정리



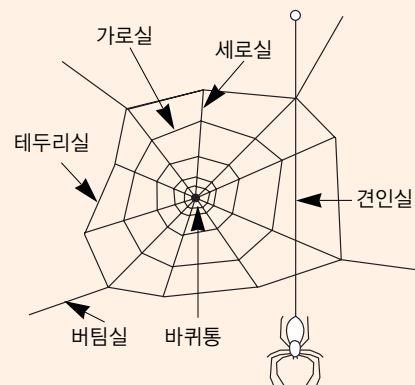


거미줄은 철사보다 강한가?

거미는 자신이 만들어 낸 실로 그물과 집을 만들어 곤충을 포획하여 묶어 놓기도 하고, 알을 감싸서 보존하기도 하며, 실을 따라 걷고 이동하기도 한다. 그물 하나를 만들어 내는 데 필요한 거미줄 길이는 대략 20미터 정도. 아침 이슬을 지탱하는 것도 힘들어 보이지만, 실제로는 거미 자신 몸무게의 4천 배를 지탱할 수 있을 만큼 튼튼하다. 그렇다면, 거미줄에 사람을 매달 수도 있지 않을까?

거미줄에는 여러 종류가 있는데, 용도에 따라 강도와 늘어나는 정도가 다르다. 전형적인 거미집을 예로 들어 보자. 거미줄의 구조는 가운데 부분인 바퀴통으로부터 방사형으로 뻗은 세로실과 집 전체를 둘러싸는 테두리실, 테두리실을 나뭇가지에 연결하는 버팀실로 되어 있다. 이 실들은 집의 뼈대 역할을 하기 때문에 비교적 강한 실이라고 할 수 있다. 또 세로실을 연결하며 원형으로 뻗은 가로실이 있는데, 이 실은 아주 잘 늘어나는 성질이 있어서 거미집에 걸린 먹이를 묶거나 잡을 수 있다. 그러나 가장 강한 실은 견인실로서, 실의 끝을 나뭇가지에 고정하고 집을 짓기 위해서 이동할 때 자신이 매달리는 생명선의 역할을 한다. 견인실은 철사보다 다섯 배나 강하고 나일론보다 두 배나 잘 늘어난다고 한다. 이처럼 강하면서도 잘 늘어나는 거미줄의 비밀은 어디에 있을까?

이러한 비밀은 바로 거미줄의 분자 구조에 있다. 거미줄은 단백질의 일종으로, 아미노산 배열이 규칙적인 부분과 불규칙적인 부분이 있다. 규칙적인 부분이 서로 결합하여 강도를 높이고, 불규칙적인 부분이 서로 얽혀서 잘 늘어나는 성질을 가지게 되는 것이다.



1 다음 용어를 설명하여라.

- (1) 거미줄 (2) 나일론 (3) 단백질의 구조

2 거미줄을 구성하는 각 실의 역할과 특성을 설명하여 보자.

3 거미줄에 사람을 매달 수 있는 이유를 거미줄을 구성하는 분자 구조의 특성을 이용하여 써라.

3

분자의 구조

3-1 전자쌍 반발 이론 176

3-2 분자 구조 178

3-3 탄소 화합물 183

👤 들어가기

아래 피카소의 작품에서 볼 수 있듯이, 흰색 선만으로 한 여인의 얼굴을 묘사하는 것보다 채색에 의한 입체감을 나타낼 때 우리는 실물에 더 가깝게 느낀다.

이 단원에서는 물질이 타거나 호흡할 때 나오는 물질인 이산화탄소와 수증기 및 비료의 성분인 암모니아 등의 분자 구조의 기하학적 표현을 예측해 보며, 탄소 원자가 다른 원자와 결합하여 형성하는 탄소 화합물에 대하여 학습한다.

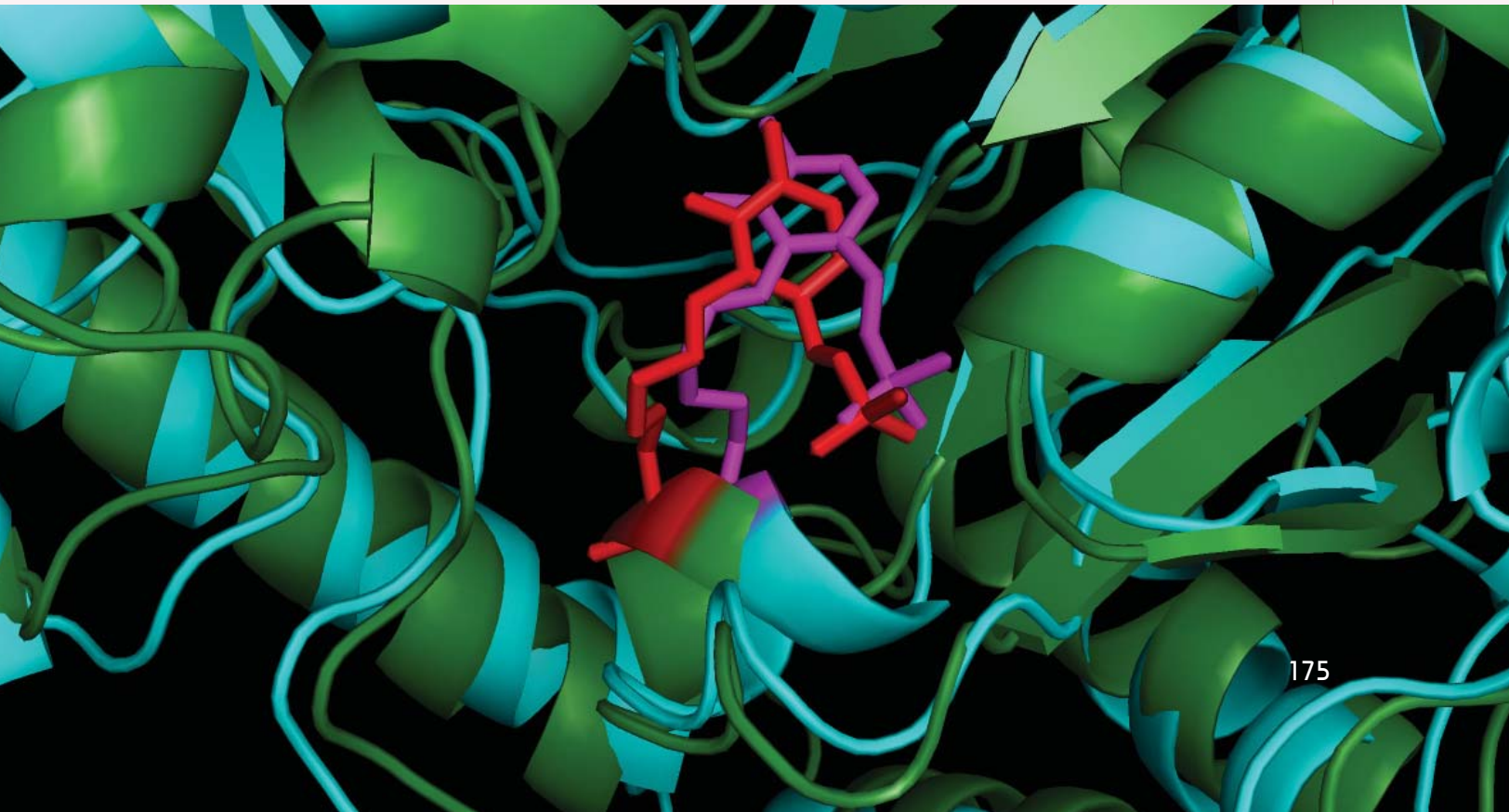


(가)



(나)

▲ 흰 선으로만 나타낸 여인의 묘사(가)와 채색으로 입체감을 나타낸 여인의 모습(나)



3-1 전자쌍 반발 이론

다가서기

• 전자쌍 반발 이론으로 공유 결합 분자의 기본 모양을 예측할 수 있다.

핵심 용어

- 결합각
- 전자쌍
- 전자쌍 반발 이론
- 중심 원자
- 공유 전자쌍

원자들이 공유 결합으로 분자를 형성할 때에는 중심에 위치한 원자 주위에 공유 전자쌍이나 비공유 전자쌍을 형성한다. 이 전자쌍들은 음전하를 띠고 있으므로, 서로 반발하여 멀리 떨어져 있으려고 한다. 따라서 전자쌍들은 중심 원자 주위에 특정한 방향으로 배치된다.



이러한 사실을 비슷한 크기의 고무풍선을 이용하여 알아볼 수 있다.

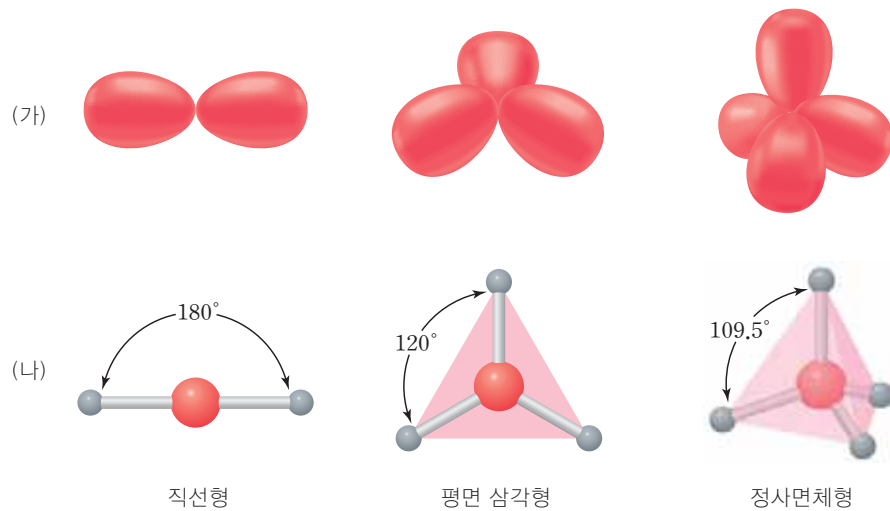


그림 Ⅲ-46 공기를 채운 고무풍선(가) 및 공과 막대기(나)로 표현한 분자 구조

3-2 분자 구조



다가서기

- 전자쌍 반발 원리를 이용하여 공유 결합 분자의 구조를 설명할 수 있다.
- 물질의 물리적, 화학적 성질이 분자 구조에 관계됨을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 직선형
- 평면 삼각형
- 정사면체형
- 삼각뿔형
- 굽은 형

분자의 구조는 물질의 화학적 성질을 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 큰 생체 분자 구조에서 약간의 구조적 변화는 그 세포의 역할을 완전히 파괴할 수도 있으며, 정상적인 세포를 암세포로 변화시킬 수도 있다.

루이스 전자점식과 전자쌍 반발 이론을 적용하여 공유 결합 화합물인 BeCl_2 , BF_3 , CH_4 , CO_2 , NH_3 , H_2O 등의 분자 구조를 예측해 보자.

공유 결합 분자의 모양을 결정할 때는 다음 과정을 거치는 것이 효과적이다.

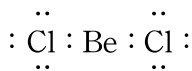
단계 1. 루이스 전자점식을 그린다.

단계 2. 중심 원자 주위의 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 수를 센다.

단계 3. 기하학적 구조를 결정하기 위해서 표 III-1을 이용한다.

표 III-1 전자쌍이 이루는 기하학적 구조

전자쌍 수			기하학적 구조
공유	비공유	전체	
2	0	2	직선형
3	0	3	평면 삼각형
4	0	4	정사면체형
3	1	4	삼각뿔형
2	2	4	굽은형

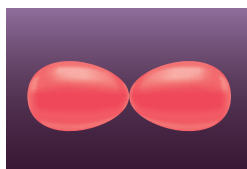


● 염화베릴륨(BeCl_2)의 분자 구조

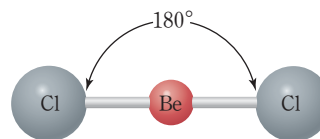
단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 베릴륨(Be)과 염소(Cl) 원자 사이에는 단일 결합이 2개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 2개

단계 3. 기하학적 구조: 직선형



(가)



(나)

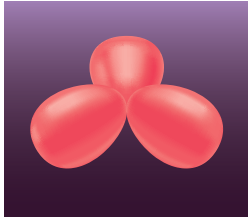
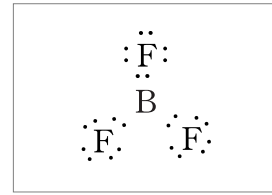
그림 III-48 BeCl_2 분자의 풍선 모형(가)과 공·막대기 모형(나)

● 삼플루오린화붕소(BF₃)의 분자 구조

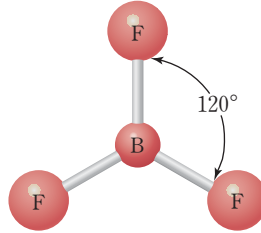
단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 붕소(B)와 플루오린(F) 원자 사이에는 단일 결합이 3개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 3개

단계 3. 기하학적 구조: 평면 삼각형



(가)



(나)

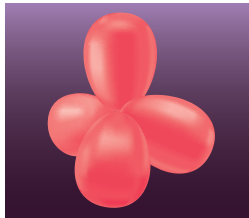
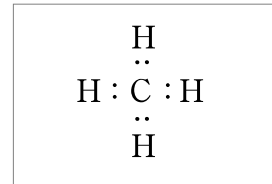
그림 III-49 BF₃ 분자의 궤선 모형(가)과 공·막대기 모형(나)

● 메테인(CH₄)의 분자 구조

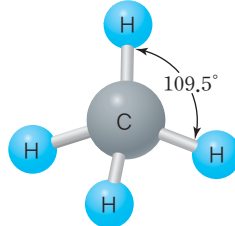
단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 탄소(C)와 수소(H) 원자 사이에는 단일 결합이 4개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 4개

단계 3. 기하학적 구조: 정사면체형



(가)



(나)

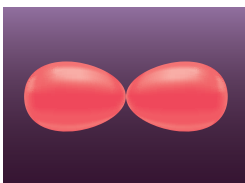
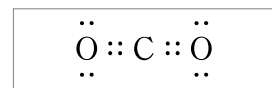
그림 III-50 CH₄ 분자의 궤선 모형(가)과 공·막대기 모형(나)

● 이산화탄소(CO₂)의 분자 구조

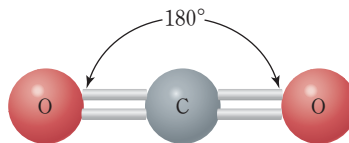
단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 탄소(C)와 산소(O) 원자 사이에는 이중 결합이 2개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 2개

단계 3. 기하학적 구조: 직선형



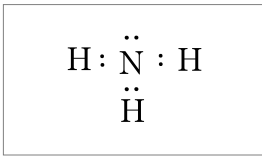
(가)



(나)

그림 III-51 CO₂ 분자의 궤선 모형(가)과 공·막대기 모형(나)

• 분자의 구조를 예측할 때 이중 결합을 공유 전자쌍 1개로 취급한다.



• 비공유 전자쌍과 공유 전자쌍 사이의 반발력이 공유 전자쌍과 공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크다.

● 암모니아(NH₃)의 분자 구조

단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 질소(N)와 수소(H) 원자 사이에는 단일 결합이 3개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 3개, 비공유 전자쌍의 수 1개

단계 3. 기하학적 구조: 삼각뿔형

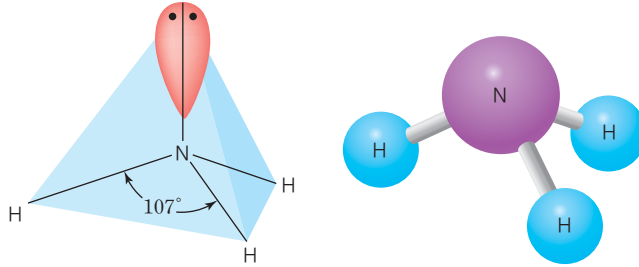
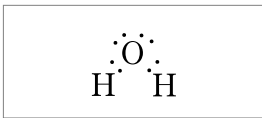


그림 Ⅲ-52 NH₃의 분자 모형

암모니아 분자는 중심 원자인 질소와 수소 원자 사이에 전자쌍을 공유하여 이루어진 공유 결합 화합물로서 삼각뿔형의 구조를 가진다.



• 비공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력이 비공유 전자쌍과 공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크다.

● 물(H₂O)의 분자 구조

단계 1. 루이스 전자점식: 중심 원자인 산소(O)와 수소(H) 원자 사이에는 단일 결합이 2개 존재한다.

단계 2. 전자쌍 수: 공유 전자쌍의 수 2개, 비공유 전자쌍의 수 2개

단계 3. 기하학적 구조: 굽은 형

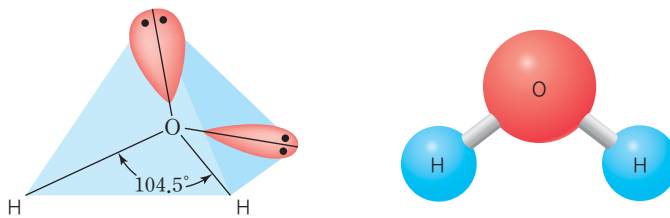


그림 Ⅲ-53 H₂O의 분자 모형

물 분자는 중심 원자인 산소와 수소 원자 사이에 전자쌍을 공유하여 이루어진 공유 결합 화합물로서 굽은 형의 구조를 가진다.



주기율표 제2주기 원소인 플루오린(F)의 수소 화합물의 분자 구조를 예측하여 보아라.

다음 탐구 활동을 통하여 여러 가지 공유 결합 분자의 모형을 만들어 보자.

| 활동 24 | 공유 결합 분자 모형 만들기

- 준비물 이쑤시개, 여러 가지 색의 고무찰흙
- 과정 ① 다음 공유 결합 분자에서 중심 원자의 공유 전자쌍 수와 비공유 전자쌍 수를 조사한다.

	BeH ₂	BCl ₃	H ₂ S	NF ₃	SiH ₄
공유 전자쌍 수					
비공유 전자쌍 수					



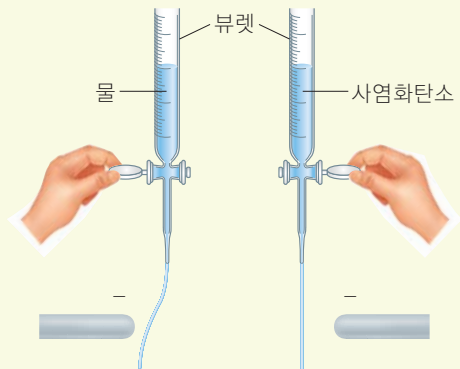
- ② 고무찰흙으로 각각의 원자를 색깔을 다르게 하여 공 모양으로 만든다.
- ③ 이쑤시개와 공 모양 찰흙으로 BeH₂, BCl₃, H₂S, NF₃, SiH₄ 분자 모형을 만든다.

- 정리 1. 모형과 실제 분자 구조와의 차이점은 무엇인가?
2. 같은 분자인데 다른 사람의 것과 모양이 다른 것이 있다면, 왜 그렇게 만들었는지 토의하여 보자.

다음 시범 실험을 통하여 공유 결합 분자의 전기적 성질을 알아보자.

| 시범 활동 25 | 공유 결합 분자의 전기적 성질

- 과정 ① 뷰렛에 증류수를 넣고 가느다란 물줄기가 되도록 꼭지를 열어 증류수를 흘려보내면서, 마른 명주 형짚에 문질러 전하를 띠게 한 유리 막대를 물줄기 가까이 대어 관찰한다.
- ② 털 조각에 문질러 전하를 띠게 한 에보나이트 막대를 물줄기 가까이 대어 본다.
- ③ 다른 뷰렛에 사염화탄소를 넣고, 과정 ①, ②와 같이 실험한 다음 관찰하여 본다.



- 정리 위 두 가지 실험에서 어떤 차이가 나는가? 차이가 난다면 그 이유를 설명하여 보자.

대전된 막대를 사염화탄소의 가는 줄기에 가까이 대었을 때, 사염화탄소는 왜 끌려오지 않을까? 그리고 물은 양전하를 띠거나 음전하를 띤 어떤 경우에도 똑같이 끌려오는 이유는 무엇일까? 이러한 사실을 어떻게 설명하여야 할까?

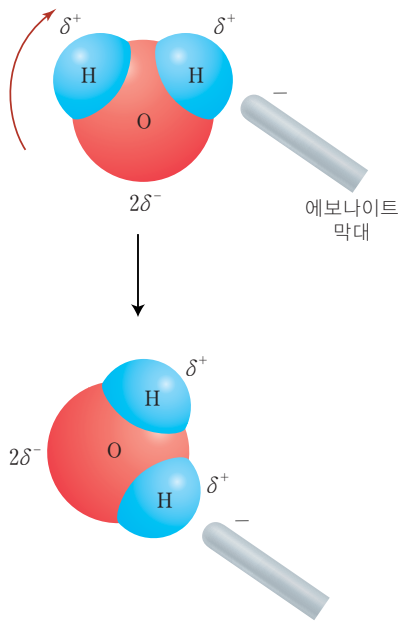


그림 Ⅲ-54 물 분자의 전기적 성질

물 분자의 성질에 대해 다음과 같은 가설을 세워 보자.

[가설 1] 물 분자는 양전하를 띠고 있어서 양전하로 대전된 막대가 가까이 오면 재빨리 음전하로 바뀌어 막대에 끌려오게 된다.

[가설 2] 물 분자는 음전하를 띠고 있는데, 음전하로 대전된 막대가 가까이 오면 재빨리 양전하로 바뀌어 막대에 끌려오게 된다.

[가설 3] 물 분자 안에 양전하 부분과 음전하 부분이 있어서 양전하로 대전된 막대가 가까이 오면 물 분자의 음전하 부분이 끌려오고, 음전하로 대전된 막대가 가까이 오면 물 분자의 양전하 부분 쪽이 끌려온다.

어느 가설이 옳은 것일까?

물 분자는 2개의 수소 원자가 1개의 산소 원자와 약 104.5° 의 결합각을 이루며 공유 결합을 하고 있다.

산소 원자가 수소 원자보다 전기 음성도 값이 더 크므로, 산소 원자 쪽이 부분적으로 음전하를 띠고, 수소 원자 쪽은 부분적으로 양전하를 띠고 있다. 또한 물 분자는 자유롭게 회전할 수 있다. 따라서 '가설 3'이 옳다.

그러나 탄소 원자 1개와 염소 원자 4개로 이루어진 사염화탄소는 정사면체 모양의 분자로 극성을 나타내지 않는다. 따라서 사염화탄소는 대전된 막대에 끌려오지 않는 것이다.

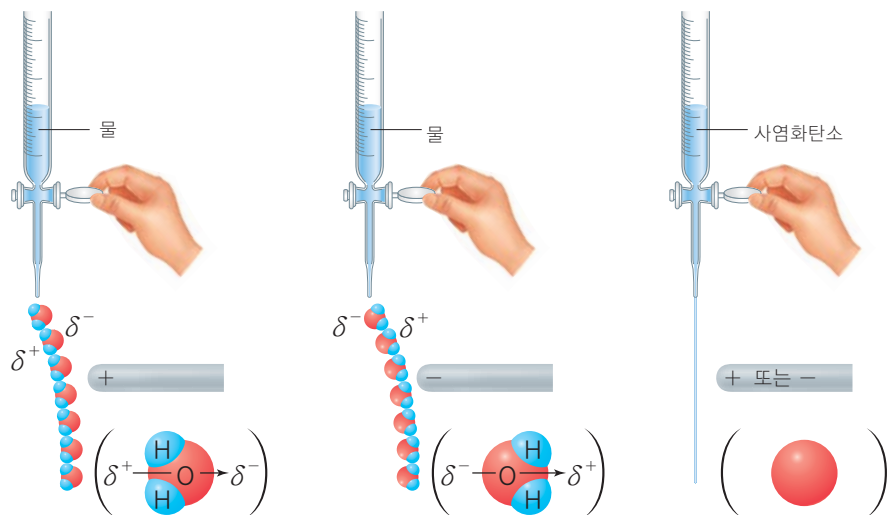


그림 Ⅲ-55 극성 분자인 물과 무극성 분자인 사염화탄소(CCl_4)의 전기적 성질

3-3 탄소 화합물

다가서기

- 다양한 탄소 화합물의 구조적 특징을 설명할 수 있다.

무더운 여름철에 시원한 강가에서 캠핑을 할 때 주변에서 볼 수 있는 텐트나 나무, 고무보트, 모자, 음식, 모닥불 재료 등 거의 대부분의 물질은 탄소를 포함하고 있다.



그림 III-56 연료로 사용되는 뷰테인, 옷, 고무보트, 모자 등은 모두 탄소를 포함하고 있다.

핵심 용어

- 탄소 화합물
- 탄화수소
- 알케인
- 알켄
- 알카인
- 포화 탄화수소
- 불포화 탄화수소
- 이성질체
- 고리형 탄화수소
- 방향족 탄화수소

탄소가 다른 원소보다 더 많은 화합물을 형성하는 이유는 무엇일까?

탄소 원자는 4개의 원자가 전자를 가진다. 즉 탄소는 '4개의 손'을 사용하여 한번에 네 원자와 결합할 수 있다. 예를 들어 탄소 원자 한 개와 수소 원자로 분자를 만들려면, 수소 원자가 4개 필요하고 정사면체형의 기하학적 배열을 한다. 또한 탄소 원자끼리 결합할 때 안정한 탄소-탄소 결합을 하므로, 탄소 원자들만으로 이루어진 긴 사슬 모양을 형성할 수 있다.

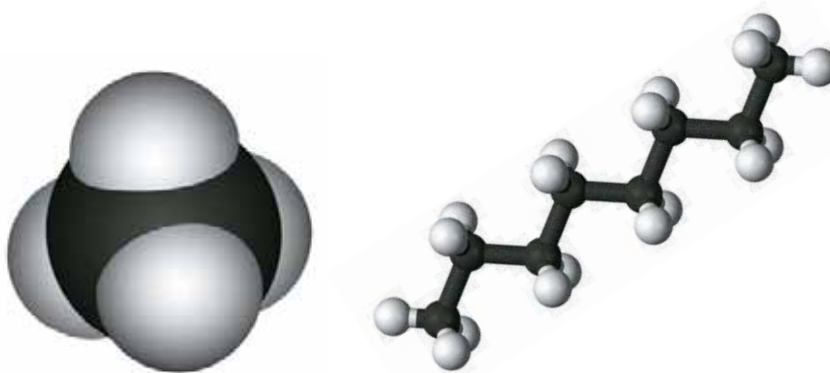


그림 III-57 정사면체 구조와 사슬 모양

탄소 원자는 다른 원자나 탄소 원자끼리 결합함으로써 다양한 형태의 분자를 무수히 만들어 낸다. 특히 탄소 원자는 우리의 생명에 있어서 빠뜨릴 수 없는 물질의 주요 성분이다. 사람이나 동물의 몸을 만드는 단백질은 탄소를 성분으로 하는 아미노산으로 이루어져 있다.



그림 Ⅲ-58 토끼의 몸을 구성하는 아미노산(오른쪽)은 탄소 원자를 포함한다.

1 사슬형 탄화수소

메테인, 에테인, 프로페인, 뷰테인처럼 탄소와 수소로만 이루어진 화합물을 탄화수소라고 부른다.

메테인은 가장 간단한 탄화수소로서 천연가스의 주성분이다. 메테인의 분자식은 CH_4 이며, 탄소 원자 1개에 수소 원자 4개가 공유 결합을 이루고 있다. 탄소 원자와 수소 원자는 각각 단일 결합을 이루며, 결합각이 109.5° 이고 정사면체형을 이룬다.



그림 Ⅲ-59 메테인의 분자 구조

메테인에서 한 개의 수소를 제거한 것을 메틸기($-\text{CH}_3$)라고 하는데, 메틸기는 다른 메틸기와 단일 결합을 형성할 수 있다. 두 메틸기가 결합하여 단일 결합을 이루면 에테인(C_2H_6)이 형성된다.

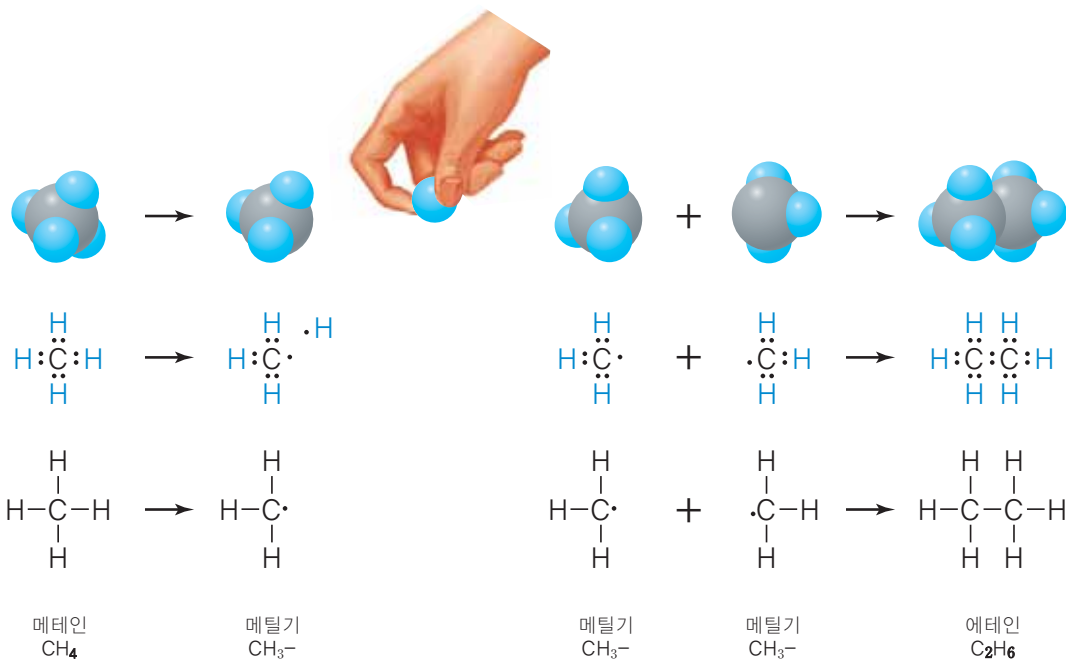


그림 Ⅲ-60 에테인의 형성 과정

메테인(CH_4), 에테인(C_2H_6), 프로페인(C_3H_8) 등과 같이 탄화수소 분자 내의 모든 탄소-탄소 사이의 결합이 단일 결합일 때, 분자에 수소 원자가 더 이상 결합될 수 없으므로 이들 탄화수소를 **포화 탄화수소**라고 부른다.

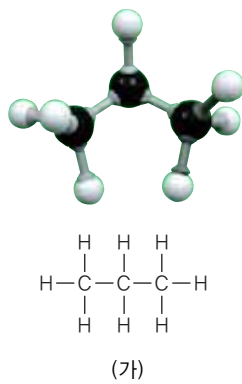


그림 Ⅲ-61 프로페인 분자 모형(가)과 프로페인 가스통(나)

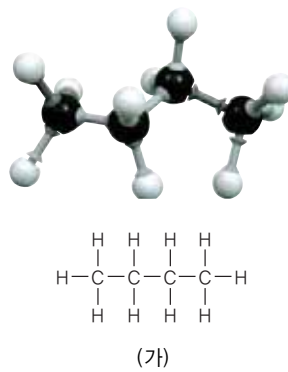


그림 Ⅲ-62 뷰테인 분자 모형(가)과 뷰테인 가스 버너(나)

포화 탄화수소 중 사슬형을 **알케인**이라고 부르며, 분자식은 C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} 등과 같이 쓰고 일반식은 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 로 나타낸다.



탄소 수가 5개인 사슬형 포화 탄화수소의 화학식을 써라.

탄소 수가 적은 사슬형 탄화수소는 끓는점이 낮아서 쉽게 증발하거나 연소되기 쉬워서 좋은 연료로 사용된다. 메테인이나 프로페인은 취사나 가정용 난방 연료로 사용하며, 열기구를 가열할 때에도 사용한다.

뷰테인 (C₂H₆)은 가스라이터의 연료나 캠핑할 때의 취사용 연료로 쓰인다.

그림 Ⅲ-62에서 보는 것과 같이 사슬형 탄화수소 중에서 탄소 원자 사이에 이중 결합이나 삼중 결합을 가지는 탄화수소를 불포화 탄화수소라고 한다. 불포화 탄화수소 중에서 분자 내에 이중 결합을 한 개 가지는 것을 알켄이라고 하며, 일반식은 C_nH_{2n}으로 나타낸다.

알켄의 가장 간단한 분자인 에텐의 화학식은 C₂H₄이다. 에텐은 평면 구조를 가지며, 덜 익은 과일을 익히는 데 쓰인다. 알켄에는 탄소가 3개인 프로펜(C₃H₆)과 4개인 뷰텐(C₄H₈) 등이 있다.

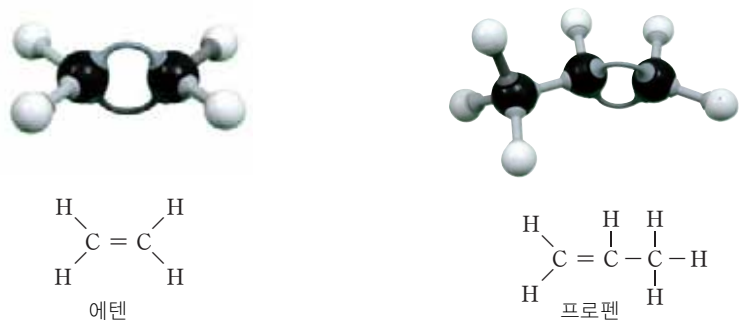


그림 Ⅲ-62 이중 결합을 가진 불포화 탄화수소

알켄 분자의 이중 결합 중 한 개는 강한 결합이지만 다른 하나는 약하므로 쉽게 끊어져 다른 원자와 결합한다. 에텐 기체를 적갈색의 브로민수에 통과시키면 탈색되어 무색으로 되는데, 이것은 불포화 탄화수소인 에텐에 브로민이 첨가되기 때문이다. 이와 같은 반응을 첨가 반응이라고 한다.

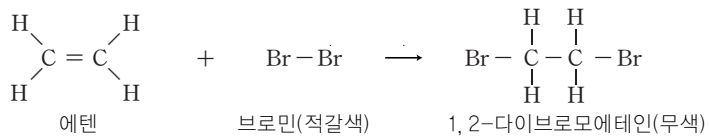
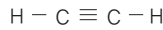


그림 Ⅲ-63 에텐의 첨가 반응

불포화 탄화수소 중에서 분자 내에 삼중 결합 한 개를 가지고 있는 물질을 알카인이라고 하며, 일반식은 C_nH_{2n-2}로 나타낸다. 가장 간단한 알카인은 에타인(C₂H₂)으로, 두 개의 탄소 원자에 수소 원자가 각각 한 개씩 연결된 직선형 구조를 이루고 있다.

에타인은 불포화 화합물이므로 첨가 반응을 잘 한다. 수소를 첨가시켜 얻은 에텐은 폴리에틸렌의 원료가 된다.



구조식



분자 모형

그림 Ⅲ-64 에타인의 분자 구조

에타인은 탄화칼슘(CaC_2)을 물과 반응시키면 생성되는 무색 기체로 아세틸렌이라고도 부르며, 연소할 때 밝은 빛을 내며 $3,000^\circ\text{C}$ 이상의 고온 불꽃이 생기므로 용접에 이용한다(그림 Ⅲ-65).

에텐이나 에타인과 같은 불포화 탄화수소는 에테인과 같은 포화 탄화수소보다 결합의 세기가 강하다. 그러나 분자 내의 이중 결합이나 삼중 결합 중 한 개는 결합의 세기가 강하지만 나머지는 결합이 약해서 쉽게 끊어지기 때문에 다른 물질과 쉽게 결합한다.

다음 탐구 활동을 통하여 간단한 포화 탄화수소와 불포화 탄화수소 모형을 만들어 보자.



그림 Ⅲ-65 산소 아세틸렌 불꽃은 높은 열을 내므로 철 제품 등의 용접에 사용한다.

탐구

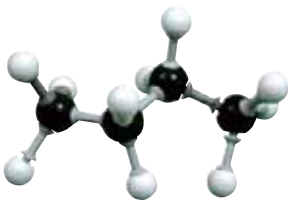
| 활동 26 | 탄소 화합물 모형 만들기

- 목적 간단한 탄소 화합물 모형을 만들 수 있다.
- 준비물 진흙 공, 이쑤시개, 건포도
- 유의점 준비해 온 건포도는 사용 후 먹지 말 것
- 과정
 - ① 작은 진흙 공 4개를 만들어, 4개의 이쑤시개를 사용하여 4방향으로 공간에 균등하게 꽂는다.
 - ② 진흙 공은 탄소 원자, 건포도는 수소 원자로 가정하고, 탄소 원자 주위에 단일 결합만으로 가능한 모형을 만든다.
 - ③ 탄소-탄소 원자에 이중 결합을 가진 모형 3개를 이쑤시개로 만든다. 건포도를 사용하여 탄소 원자 수가 2~4개인 모형을 만든다.
 - ④ 탄소-탄소 원자에 이쑤시개로 삼중 결합을 만든다. 건포도를 사용하여 탄소 원자 수가 두 개인 모형을 만든다.
- 정리
 1. 각 모형을 A4 용지에 그린 다음, 그 아래에 화학식을 써라.
 2. 탄소 원자가 형성하는 화합물의 수에 대하여 무엇을 추리할 수 있는지 토의하여 보자.



탄소 화합물 중에는 분자식은 같으나 탄소 원자의 배열이 다른 화합물이 존재한다. 뷰테인(C_4H_{10})은 그림 Ⅲ-66에 나타난 것과 같이 탄소의 배열이 서로 다른 노말뷰테인과 아이소뷰테인이 존재한다.

노말뷰테인과 아이소뷰테인은 분자의 구조가 다르므로 물리적 성질 또한 다르다.



노말뷰테인

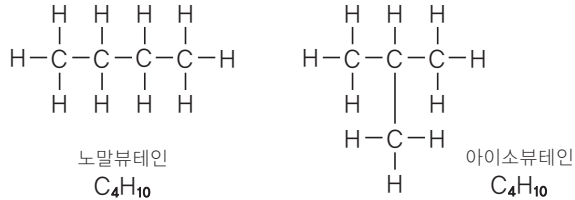
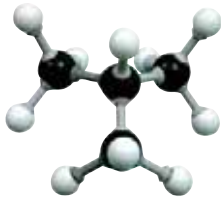


그림 Ⅲ-66 노말뷰테인과 아이소뷰테인의 구조식



아이소뷰테인

이와 같이 분자식은 같으나 성질이 서로 다른 화합물을 이성질체라고 한다. 탄화수소의 탄소 수가 증가하면 이성질체 수도 증가하므로 탄소 화합물의 종류는 매우 많다.



1. 탄소 수가 3개인 프로페인은 이성질체가 존재하는가? 답이 되는 이유를 설명하여라.
2. 탄소 수가 5개인 사슬 모양 포화 탄화수소의 이성질체를 그려 보아라.

2 고리형 탄화수소

탄화수소에서 탄소가 3개 이상일 때 양 끝에 있는 수소 두 개를 제거하고 서로 연결하면 고리형 탄화수소가 형성된다. 탄소 수에 따라 사이클로프로페인, 사이클로뷰테인, 사이클로펜테인 등으로 부르며, 일반식은 C_nH_{2n} 으로 나타낸다. 탄소 수가 6개인 사이클로헥세인(C_6H_{12})은 6각형 모양으로 비교적 안정하며, 의자 모양과 배 모양의 이성질체가 있다.

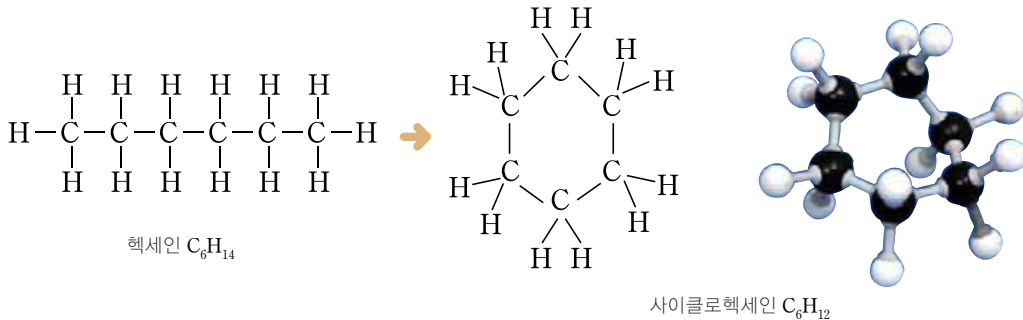
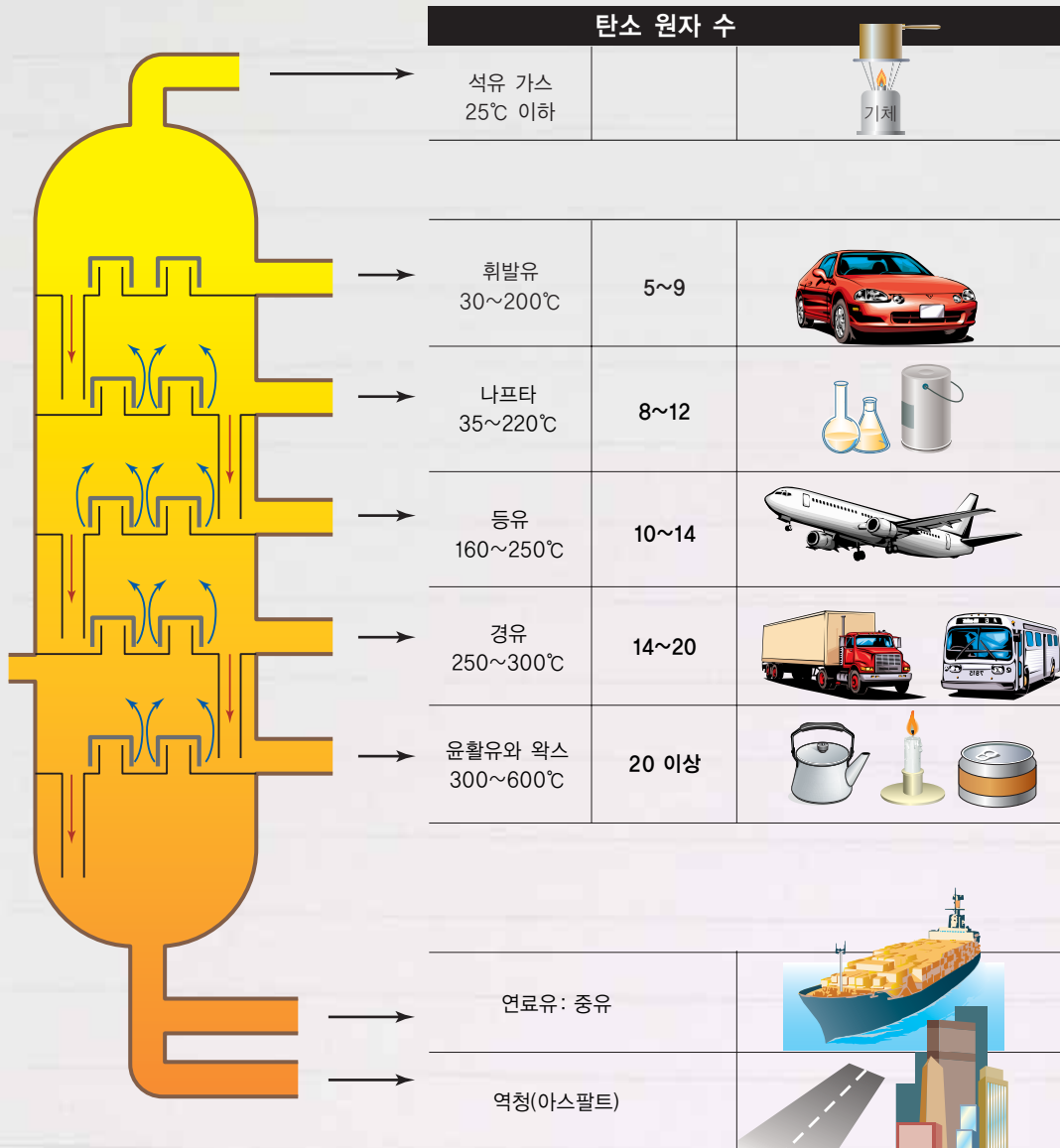


그림 Ⅲ-67 사이클로헥세인의 구조식과 분자 모형

고리형 탄화수소 중에서 벤젠을 포함하는 물질을 방향족 탄화수소라고 한다. 1865년 독일의 케쿨레는 벤젠의 구조를 그림 Ⅲ-68의 (가)와 같이 제안하였다.

원유의 분별 증류

원유는 땅속의 암석 사이에서 채취한 흑갈색의 끈적끈적한 액체로, 여러 가지 탄화수소의 혼합물이다. 증류탑을 이용하여 원유를 끓는점 차이에 따라 분류하면 석유 가스, 나프타, 휘발유, 등유, 경유 등을 얻는다. 이 중 나프타는 열분해 과정을 거쳐서 플라스틱 원료로 사용하는 에텐, 프로펜 및 합성 고무를 만드는 데 사용하는 뷰타다이엔 등의 물질을 얻을 수 있다.



03 중단원 마무리

분자의 구조

되짚어 보기

- 전자쌍 반발 이론** • 공유 결합 분자에서 중심 원자를 둘러싸고 있는 전자쌍들이 정전기적 반발력 때문에 가능한 한 가장 멀리 떨어져 있으려고 한다.
- 분자의 모양** • 공유 결합 분자에서 중심 원자 주위에 공유 전자쌍이 2개 있으면 직선형, 3개 있으면 평면 삼각형, 4개 있으면 정사면체형이다. 또 중심 원자 주위에 공유 전자쌍이 3개, 비공유 전자쌍이 1개 있으면 삼각뿔형, 공유 전자쌍이 2개, 비공유 전자쌍이 2개 있으면 굽은 형이다.
- 알케인** • 탄소와 탄소가 단일 결합으로 이루어진 포화 탄화수소로서 일반식은 C_nH_{2n+2} 이다.
- 알켄** • 탄소와 탄소가 이중 결합으로 이루어진 불포화 탄화수소로서 일반식은 C_nH_{2n} 이다.
- 고리형 탄화수소** • 탄소 수가 6개인 사이클로헥세인은 의자 모양과 배 모양의 이성질체가 있다.
- 알카인** • 탄소와 탄소가 삼중 결합으로 이루어진 불포화 탄화수소로서 일반식은 C_nH_{2n-2} 이다.
- 방향족 탄화수소** • 벤젠을 포함하고 있는 고리형 탄화수소이다.



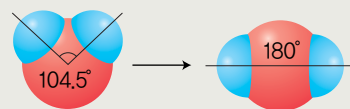
창의성 기르기

물 분자는 104.5°의 결합각을 가진 굽은 모양이며, 수소 원자 쪽은 양의 부분 전하를 띠고 있고 산소 원자 쪽은 음의 부분 전하를 띠고 있다. 자연에서 볼 수 있는 물의 특성은 이러한 물 분자의 구조적 특성과 관련이 있다.



토의·조사

만약 물 분자가 오른쪽 그림과 같이 180°의 결합각을 가지는 직선 모양으로 바뀐다면 물의 특성은 어떻게 변하게 될까?



도전문제

- 1 (어휘)** 다음 용어를 정의하여라.
(1) 전자쌍 반발 이론 (2) 알케인 (3) 이성질체
(4) 탄화수소 (5) 첨가 반응
- 2 (비판적 사고)** 원유를 정제하여 얻은 나프타를 원료로 여러 종류의 플라스틱 제품을 만들어 일상생활에 편리하게 이용하고 있으나, 썩지 않는 성질 때문에 문제를 일으키고 있다. 어떤 피해가 있는가?
- 3 (모둠 활동)** 에타인을 실험실에서 쉽게 얻을 수 있는 방법을 화학 반응식으로 밝히고, 화학 공업의 원료로 어떻게 이용되고 있는지 토의하여 보자.
- 4 (의사소통)** 탄소가 동식물의 근간을 이루는 원소가 되는 이유를 구조적 측면에서 토의하여 보자.
- 5 (적용)** 방향족 탄화수소인 벤젠의 성질을 3가지 이상 쓰고, 벤젠을 용매로 사용하면 어떤 성질의 물질을 녹일 수 있는지 생각하여 보자.



인성 기르기

동물 개체 사이에 신호 전달을 위하여 이용되는 극소량의 화학 물질을 페로몬이라고 한다. 페로몬은 탄화수소, 알코올, 에테르, 알데하이드, 에스터 등의 화학 물질이며, 휘발성이 커서 매우 빠른 속도로 확산될 수 있다. 페로몬에 대해서는 곤충들을 대상으로 많은 연구를 해왔는데, 어떤 곤충은 페로몬을 이용하여 위험을 알리거나 이성 상대를 유인한다.

집시나방의 경우, 수컷은 10 km 밖에서도 암컷의 냄새를 맡을 수 있다. 그런데, 이 나방은 산림과 과수원에 피해를 주므로 과학자들은 암컷의 페로몬을 합성하여 수컷을 유인하여 거세한 후 다시 풀어 주어 산림이나 과수원의 피해를 줄이고 있다.



▲ 집시나방



토의·조사

- 페로몬을 합성하여 산림이나 과수원의 피해를 줄이는 방법이 생태계에 어떤 영향을 미칠 것인지 토의하여 보자.
- 페로몬 합성이 인체에는 어떤 해를 미칠지 토의하여 보자.



만화로 보는 정리





과/학/글/쓰/기

노벨 화학상과 탄소 화합물

2010년 노벨 화학상은 팔라듐(Pd)을 촉매로 탄소 결합 반응을 개발한 세 화학자 헤크(Heck, R.F.: 1931~)와 네기시(Negishi, E.I.: 1935~), 스즈키(Suzuki, A.: 1930~)에게 수여되었다.

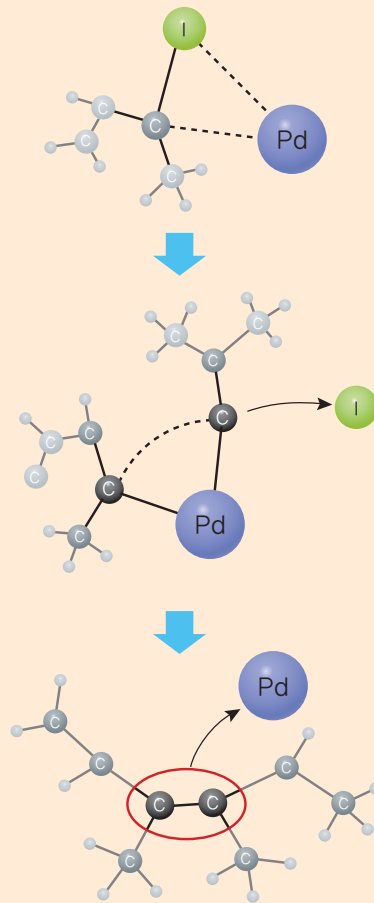
화학은 물질의 구조와 변화를 연구하는 학문인데, 화학의 유기 합성 분야는 탄소를 포함한 분자를 만드는 방법을 연구하는 분야이다.

이 분야는 벽돌이나 철근으로 설계도에 나와 있는 집을 짓는 것과 유사하다. 즉 유기 합성은 탄소, 수소, 산소 등의 원자를 특정한 방식으로 결합하도록 조작해서 분자 구조물을 만든다.

망치와 톱 같은 도구의 발명이 집짓기를 쉽게 했듯이, 원하는 분자 구조를 쉽게 만들어 주는 화학 반응 방법의 개발은 복잡하고 다양한 분자를 만드는 데 큰 도움이 된다.

2010년 노벨 화학상은 팔라듐 촉매를 이용하여 탄소와 탄소 원자의 짝지움 반응을 개발한 공로이다.

팔라듐은 탐사 장비의 코팅이나 은 합금을 만들어 치과 재료로 사용하는 물질이다. 세 명의 화학자가 개발한 반응으로 의약품과 전자 산업에 필요한 새로운 화합물이 등장할 것으로 기대한다.



▲ 팔라듐 촉매의 반응 메커니즘

1 윗글 속의 다음 용어에 대하여 설명하여라.

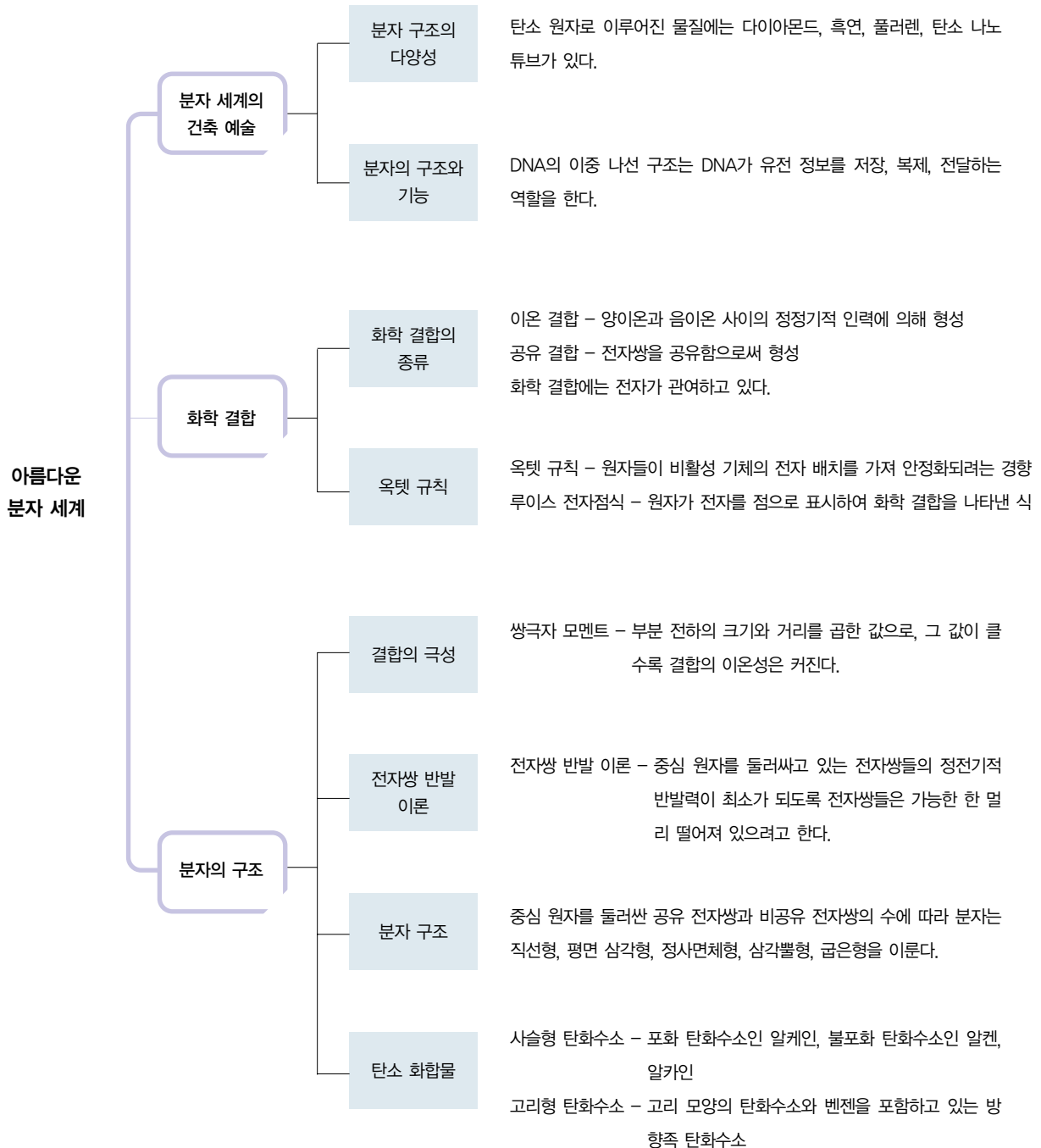
- (1) 유기 합성
(3) 촉매

- (2) 팔라듐
(4) 탐사

2 탄소-탄소 결합이 왜 중요한가?

3 세 사람이 노벨상을 함께 받은 사실에 대한 자기 느낌을 글로 써 보자.

개념정리



 정리문제

▣ 다음 <보기>의 용어를 () 안에 넣어 문장을 완성하여라.

— < 보기 —

•극성 공유 •무극성 공유 •직선형 •평면 삼각형 •정사면체형 •삼각뿔형 •굽은형 •옥텟 규칙 •전자 •알케인 •알켄 •알카인

- 1 물을 전기 분해하면 물을 구성하는 수소 원자와 산소 원자의 공유 결합이 ()와 관련이 있음을 알 수 있다.
- 2 원자들이 비활성 기체의 전자 배치를 가져 안정화되려는 경향을 ()이라고 한다.
- 3 두 원자 사이의 공유 전자쌍이 한쪽으로 치우쳐 있는 결합을 () 결합이라고 한다.
- 4 암모니아(NH₃)의 분자 모양은 ()이다.
- 5 포화 탄화수소 중 사슬 모양의 화합물을 ()이라고 한다.

▣ 다음 문장의 진술이 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×를 하여라.

- 6 폴러렌은 탄소 60개가 축구공 모양으로 결합된 물질이다. ()
- 7 대부분의 이온 결합 물질은 고체 상태에서는 전류가 통하지 않으나, 수용액이나 용융액에서는 전류가 잘 통한다. ()
- 8 황화수소(H₂S)의 분자 모양은 직선형이다. ()
- 9 다음은 세 가지 탄화수소의 성질을 조사하여 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B, C는 에테인(C₂H₆), 에텐(C₂H₄), 에타인(C₂H₂) 중 하나이다.)

구분	A	B	C
결합	-	이중 결합	-
결합 에너지	가장 크다.	-	-
염소와의 반응	-	-	치환 반응

— < 보기 —

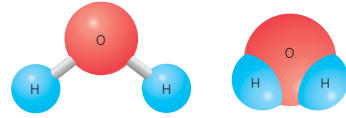
ㄱ. A는 탄소 사이에 삼중 결합을 형성한다. ㄴ. B는 첨가 반응을 잘한다. ㄷ. C는 에타인이다.
--

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

대단원의 종합문제

1 — 다음은 물 분자의 모형을 나타낸 것이다.

물 분자의 구조에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



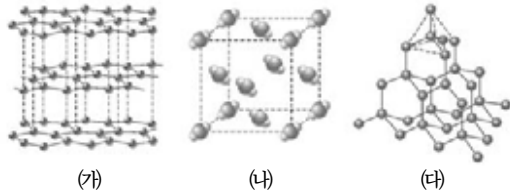
< 보기 >

- ㄱ. 물 분자는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개가 각각 전자를 1개씩 내어 전자쌍을 공유함으로써 결합을 형성한다.
- ㄴ. 산소 원자는 수소 원자보다 전자를 끌어당기는 힘이 강하여 공유 전자쌍이 산소 쪽으로 치우쳐 있다.
- ㄷ. 산소 원자는 부분적으로 양전하를 띠고, 수소 원자는 부분적으로 음전하를 띠고 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

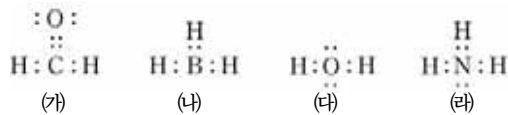
2 — 다음은 탄소 원자로 이루어진 물질을 모형으로 나타낸 것이다.

오른쪽 그림에 대한 설명으로 옳은 것은?



- ① 원자와 원자의 결합은 (가)와 (다)만 공유 결합으로 되어 있다.
- ② (가)는 층간의 밀림이 있어 고체 윤활유로 쓸 수 있다.
- ③ (나)는 구성단위가 분자이며, 분자 사이에 강한 힘이 존재한다.
- ④ (다)는 전기 전도성이 있어서 전극으로 쓸 수 있다.
- ⑤ (가)와 (다)는 녹는점이 낮다.

3 — 다음 그림은 HCHO, BH₃, H₂O, NH₃의 루이스 전자점식을 나타낸 것이다.



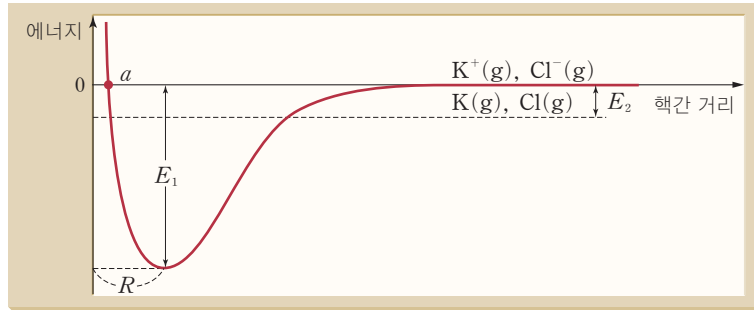
위 분자들에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. (가)와 (나)의 분자 모양은 평면 삼각형이다.
- ㄴ. 결합각이 가장 작은 것은 (다)이다.
- ㄷ. 모든 분자는 극성 분자이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

4 — ◦ 그림은 KCl(g)이 생성 될 때 두 이온 사이의 핵간 거리에 따른 에너지를 나타낸 것이다.



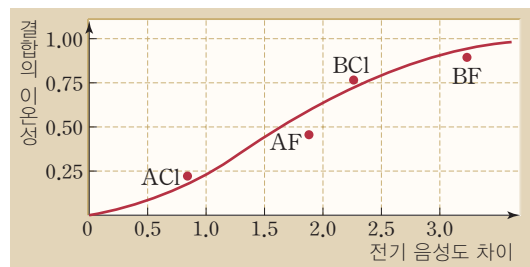
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. a점에서 두 이온 사이의 정전기적 인력과 반발력은 같다
- ㄴ. KF(g)이 생성될 경우 R는 작아지고 E₁은 커진다.
- ㄷ. Na(g)과 Cl(g)로부터 NaCl(g)이 생성될 경우 E₂는 커진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5 — ◦ 다음 그림은 전기 음성도 차이에 의한 화학 결합의 이온성을 나타낸 것이다. 이 자료에 대한 해석으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



< 보기 >

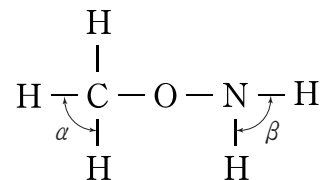
- ㄱ. 전기음성도는 A < B이다.
- ㄴ. ACl은 공유 결합성 물질이다.
- ㄷ. A와 B가 결합한 화합물에서 B의 산화수는 +1이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

6 — ◦ 그림은 메톡시아민(CH₃ONH₂)의 구조식을 나타낸 것이다. 이 화합물에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 결합각 α는 β보다 크다.
- ㄴ. 비공유 전자쌍은 3개이다.
- ㄷ. 분자 사이에 수소 결합이 존재한다.



- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

탄소의 화학

화학은 물질의 조성을 어떻게 규명한 것일까? 사람들은 고대 그리스 시대부터 주변 물질이 어떤 성분으로 되어 있는지 궁금하게 생각하였다. 그러나 그것을 과학적으로 검증하게 된 것은 18세기 말의 일이었다. 19세기가 되자 물질을 몇몇 원소로 분해하는 정밀한 장치가 발명되었으며, 화학자들은 이 장치를 써서 주변에 있는 물질을 분해해서 조사하기 시작하였다. 이러

1830년 무렵 원소 분석 장치의 발명



독일의 화학자 리비히(1803~1873)는 유기물에 포함된 탄소, 산소, 수소를 정확히 조사할 수 있는 장치를 발명하였으며, 빌러는 유기 화합물인 요소를 합성하였다.

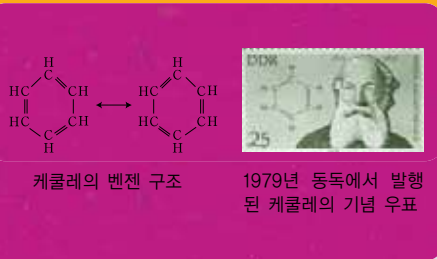


▲ 유기물의 분석 장치를 발명한 리비히

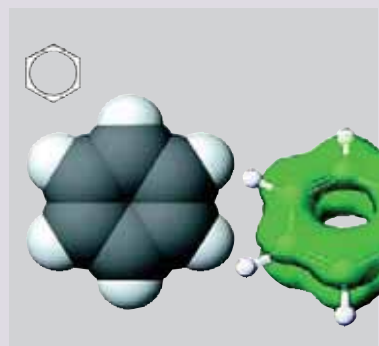


▲ 요소를 합성한 빌러

1857~1865년 케쿨레, 탄소의 '연결 방식'



독일의 화학자 케쿨레는 '산소와 수소는 각각 2개와 1개의 결합손을 가지고 있다. 탄소는 4개의 결합손을 가지고 있어 한 번에 네 개의 원자와 결합할 수 있다.'는 설을 발표하였다.



▲ 벤젠의 모형

한 노력은 20세기로 이어졌으며, 탄소 화합물의 구조와 결합 방식을 알게 되었다.

더 나아가, 새롭고 유용한 탄소 화합물을 합성할 수 있게 되어 새로운 약을 개발하거나 플라스틱이나 합성 고무를 만들어 내는 등 획기적인 성과를 이루어 내었다.



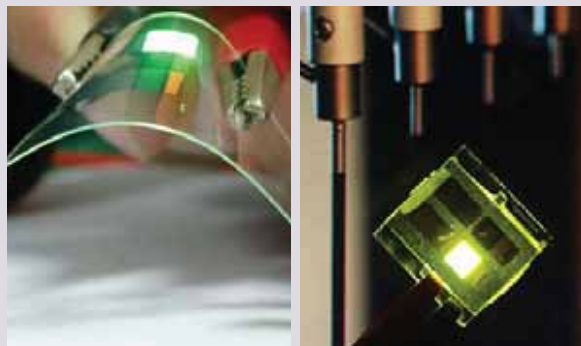
19세기까지 화학자들에게 유기 화합물은 '생명이 만들어 내는 것'이었으나, 20세기에 들어 석유에서 얻은 사슬형의 긴 분자인 '고분자'를 인간이 만들어 냄으로써 유기 화합물을 탄소 화합물이라고 불렀다.



컴퓨터로 설계한 분자의 성질을 분자의 구조로부터 예측할 수 있다. 앞으로는 원하는 분자만을 포착하는 센서나 약을 써서 환부에 운반하는 캡슐 등 다양한 응용이 가능하다.



▲ 나일론을 개발한 캐러더스



▲ 유기 EL(ElectroLuminescent) 디스플레이

IV

다은꼴

화학 반응

1. 산화와 환원
2. 산과 염기

도달하기

- 광합성과 호흡, 철광석의 제련과 철의 부식이 산소에 의한 산화-환원 반응임을 이해한다.
- 암모니아의 합성이 전자의 이동에 의한 산화-환원 반응을 이해한다.
- 산화수의 정의를 이용하여 산화-환원 반응을 설명할 수 있다.
- 산과 염기가 원소의 산화와 환원에 의하여 만들어진다는 사실을 이해하고, 산과 염기의 중화 반응을 이해한다.
- DNA에서 인산의 구조와 역할을 알고, 염기인 아데닌(A), 티민(T), 구아닌(G), 사이토신(C)의 수소 결합을 설명할 수 있다.

1

산화와 환원

1-1 산화 - 환원 반응 206

1-2 산화 - 환원과 산화수 213





들어가기

포항 호미곶의 해맞이 광장 앞바다에는 '상생의 손'이라는 청동 조각품이 있다.

바닷물을 뚫고 올라온 사람의 손 형상은 우리에게 예술적 의미를 던지고 있다. 그런데 조각 작품의 표면색은 처음 만들었을 때와는 매우 다르다.

철이나 구리 등의 금속으로 된 조각품들은 시간이 지나면 녹이 슬게 된다. 금속이 녹스는 것은 공기 중의 산소와 반응하는 산화 반응이다. 물질의 연소나 음식물을 소화시켜 에너지를 얻는 과정도 산화 반응이다. 한편, 철광석을 제련하여 철을 얻는 것은 환원 반응이다.

이 단원에서는 산화-환원 반응에 대한 기본 개념을 익히고, 광합성과 호흡, 철광석의 제련과 철의 부식이 산소에 의한 산화-환원 반응임을 알아본다. 그리고 질소와 수소의 반응에 의한 암모니아의 합성이 전자 이동에 의한 산화-환원 반응이며, 산화-환원 반응을 산화수로 설명할 수 있음을 학습한다.



1-1 산화-환원 반응



다가서기

- 산화-환원 반응이 산소와 관계됨을 이해한다.
- 전자의 이동으로 산화-환원 반응을 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 산화
- 환원
- 철광석의 제련
- 부식

1 산소와 산화-환원 반응

임진각 근처에는 ‘철마는 달리고 싶다’라는 뜻말과 함께 녹슨 기차와 한국전쟁 당시 사용하였던 녹슨 철모가 전시되어 있다. 또한 철로 된 조각품 중에는 붉은색 녹이 슬어 원래와는 사뭇 다른 느낌이 들게 하는 작품도 있다. 철이 녹스는 것은 무엇 때문일까?

다음 탐구 활동을 통하여 산화-환원 반응을 알아보자.

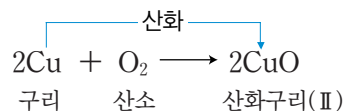
탐구

| 활동 27 | 구리의 산화

- **목적** 구리와 산소의 반응으로 산화-환원 반응을 이해한다.
- **준비물** 구리 망, 알코올램프, 집게
- **과정**
 - ① 알코올램프의 겉불꽃에 구리 망을 가져다 대고 가열한 후 관찰한다.
 - ② 식힌 구리 망을 알코올램프의 속불꽃에 넣고 관찰한다.
- **정리**
 1. 겉불꽃과 속불꽃에서 구리 망은 어떻게 변하는가?
 2. 겉불꽃과 속불꽃에서 구리가 변하는 이유에 대해 토의하여 보자.



붉은색의 구리선을 알코올램프로 가열하면 공기 중의 산소와 결합하면서 점점 검은색의 물질로 변하는데, 이 물질이 산화구리(II)이다. 이와 같이 물질이 산소와 결합하여 새로운 물질이 생성되는 현상을 산화라고 한다. 이를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다. 이때 생성된 산화구리(II)는 구리와는 전혀 성질이 다른 물질이다.



검게 변한 구리선을 고온으로 가열하여 수소가 들어 있는 시험관에 넣으면 원래대로 붉은색의 구리선으로 돌아온다. 이때 구리와 결합하였던 산소는 수소와 반응하여 수증기가 된다. 이와 같이, 결합하고 있던 산소를 잃고 본래의 물질로 돌아오는 현상을 환원이라고 한다. 이를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

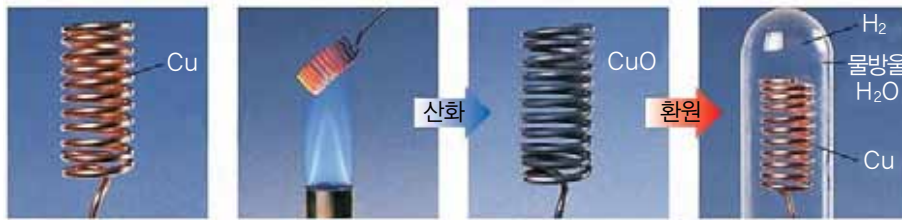
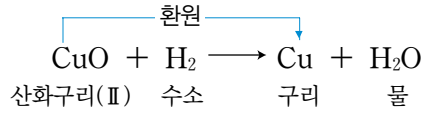


그림 IV-1 구리의 산화-환원

식물의 광합성과 호흡 작용이 산소와 관계되는 산화-환원 반응인지 알아보자. 식물의 녹색 잎은 양분을 만드는 공장이다. 식물이 빛에너지를 이용하여 자신이 생활하는 데 필요한 양분을 합성하는 과정이 광합성이다.

광합성 반응에서 이산화탄소의 탄소 원자는 포도당이 되면서 산소 원자를 내어 놓고 환원이 된다.

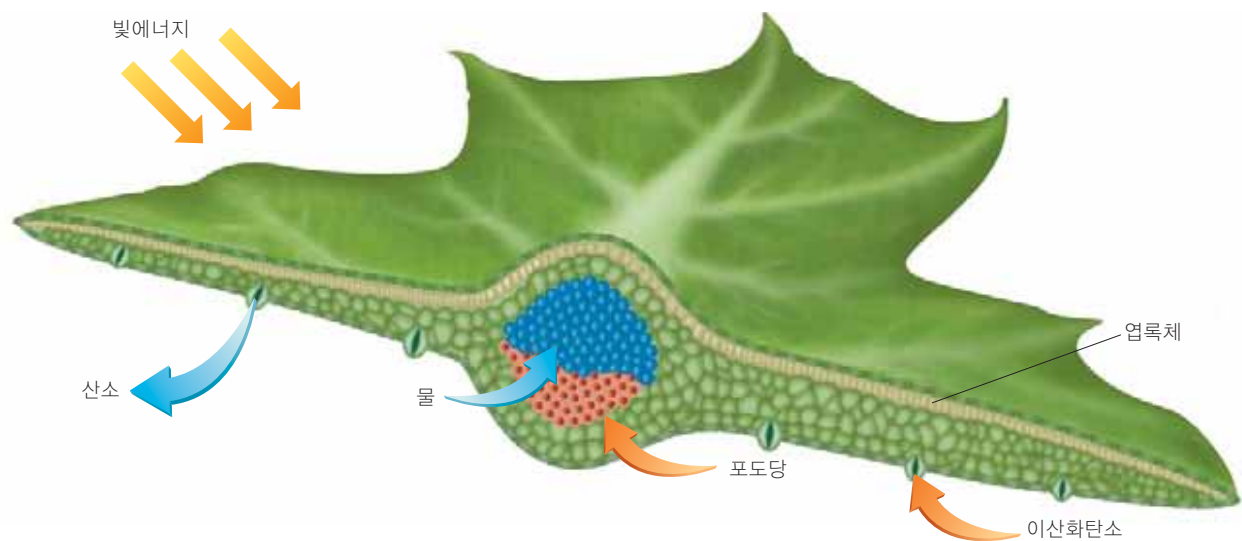
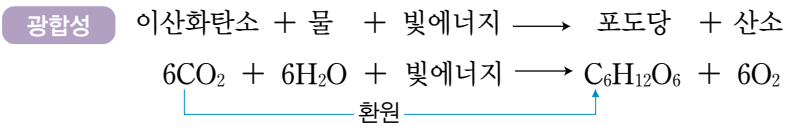
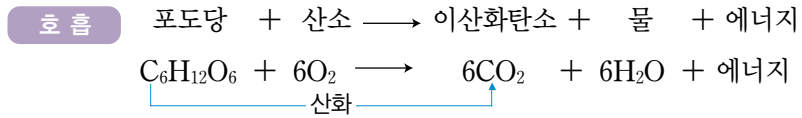


그림 IV-2 식물의 광합성

식물의 호흡은 광합성의 역반응으로, 포도당의 탄소 원자는 산소 원자를 얻어 산화된다.



철광석으로부터 철의 제련이 산소와 관계되는 산화-환원 반응인지 알아보자.



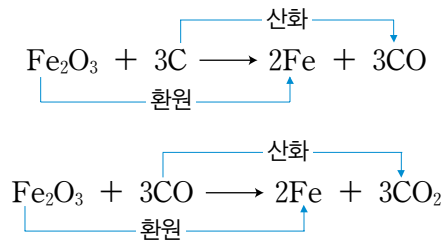
그림 IV-3 용광로에서의 철의 제련

철광석은 주로 철의 산화물인 산화철(Ⅲ)(Fe₂O₃)이다. 따라서 철을 얻으려면 철광석에서 산소를 제거해야 한다.

철광석을 탄소 성분인 코크스(C), 석회석(CaCO₃)과 함께 용광로에 넣고 1250℃ 이상의 뜨거운 공기를 불어 넣으면, 철광석이 녹으면서 코크스는 불완전 연소되어 일산화탄소가 된다. 일산화탄소는 녹은 철광석에서 산소를 얻어 이산화탄소로 되고 쇳물이 녹아 나온다. 이것을 무쇠 또는 선철이라고 한다.

철광석에서 철을 제련하는 과정에서 코크스가 산소와 결합하여 일산화탄소로 되는 것은 산화 과정이며, 철광석이 산소를 잃고 철로 되는 것은 환원 과정이다.

이 과정을 다음과 같이 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.

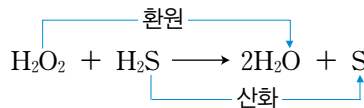


심화

자료

수소와 산화-환원

3% 과산화수소(H₂O₂)의 수용액에 황화수소(H₂S) 수용액을 섞으면 황(S)이 석출하여 용액이 부영계 흐려진다.



과산화수소는 산소를 잃어서 환원이고, 황화수소는 수소를 잃어서 산화된 것이다. 수소를 잃는 과정은 산화이고 수소를 얻는 과정은 환원이다.



(가)



(나)

그림 IV-4 특수한 합금으로 녹슬지 않도록 만든 우주선(가) 및 강철에 페인트칠을 한 미시건 대학에 전시된 작품(나)

금속이 공기 중의 산소와 수분에 의해 녹스는 현상이 부식이며, 금속의 부식은 산소와 수분에 의한 산화-환원 반응이다.

철의 부식을 방지하려면 어떻게 해야 할까?

철로 만든 군함의 선체는 특수한 페인트칠을 하여 녹을 방지하며, 문구용으로 사용하는 칼은 기름종이에 싸서 판매한다. 또한 철, 크로뮴, 니켈 등의 금속으로 만든 합금인 스테인리스 강철은 녹이 슬지 않으므로 실험실이나 가정용 싱크대를 만들기도 하고, 도로의 난간, 건물의 자재 등으로 이용되고 있다.



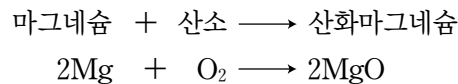
1. 광합성에서 이산화탄소로부터 포도당이 생성되는 반응은 산화인가, 환원인가?
2. 철광석에서 철이 생성되는 반응에서 일산화탄소가 이산화탄소로 되는 것은 산화인가, 환원인가?

2 전자의 이동과 산화-환원 반응

우리 주변에서 관찰할 수 있는 현상 중에 전자의 이동에 의한 반응이 있을까?

경축일이나 기념일에 공중으로 쏘아 올려 터뜨리는 불꽃놀이의 아름다운 불빛은 여러 종류의 금속 산화물에 불을 붙여 폭발시킨 것이다. 이때 내는 밝은 빛은 마그네슘을 태울 때 나오는 빛이다. 그러면 마그네슘이 탈 때 전자의 이동은 어떠한지 알아보자.

금속 마그네슘(Mg)을 태우면 밝은 빛이 나며 흰색의 고체인 산화마그네슘(MgO)이 남는다.





(가)

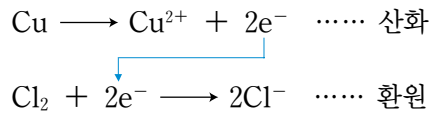
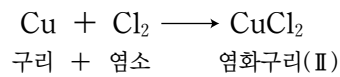


(나)

그림 IV-5 불꽃놀이(가)와 마그네슘의 연소(나)

가열한 구리줄을 염소 기체가 들어 있는 집기병에 넣으면, 격렬하게 반응하여 녹색의 염화구리(II)가 생성된다.

이 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

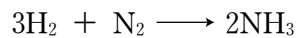


▲ 구리와 염소의 반응

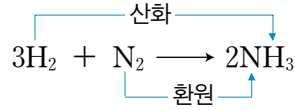
즉 구리는 전자를 잃어 산화되고, 염소는 전자를 얻어 환원된 것이다.

이와 같이, 산소나 수소가 관여하는 산화-환원 반응 외에도 전자의 이동으로 산화-환원을 설명할 수 있다. 즉, 어떤 물질이 전자를 잃으면 산화, 전자를 얻으면 환원이라고 하며 산화와 환원은 항상 동시에 일어난다.

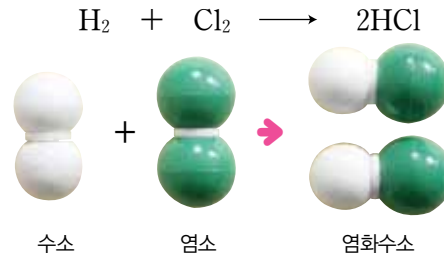
암모니아(NH₃)는 수소(H₂)와 질소(N₂)를 합성하여 생산한다. 이 반응을 전자의 이동에 의한 산화-환원 과정으로 설명할 수 있을까?



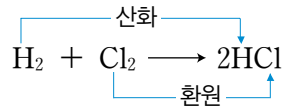
이 반응에서 생성된 암모니아 분자에서 수소 원자와 질소 원자의 전기 음성도는 각각 2.1과 3.0이다. 따라서 질소는 수소보다 전기 음성도가 크므로 수소 원자로부터 전자를 얻어 환원되었으며, 수소는 질소 원자에게 전자를 잃어 산화되었다.



수소와 염소가 반응하면 염화수소가 생성된다. 이 반응을 전자의 이동으로 설명하여 보자.



염소는 수소보다 전기 음성도가 크므로 수소 원자로부터 전자를 얻어 환원되었으며, 수소는 염소 원자에 전자를 잃어 산화되었다.

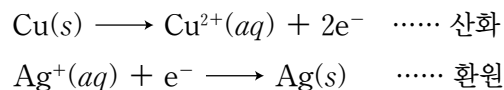


질소와 수소로 암모니아를 합성할 때 산화되는 물질은 어느 것인가?

용액에서도 전자가 이동하는 산화-환원 반응이 일어날까?

질산은(AgNO₃) 수용액에 구리줄을 넣으면 구리줄 표면에 은이 석출되며 용액의 색이 옅은 푸른색으로 변하는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 구리가 전자를 잃어 구리 이온(Cu²⁺)이 되고, 질산은 수용액 속의 은 이온(Ag⁺)은 전자를 얻어 은 입자로 석출되기 때문이다.

이 반응은 다음과 같이 전자의 이동으로 나타낼 수 있다.



산화-환원 반응에서는 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같으므로, 이동하는 전자 수를 맞추어 주면 전체 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



그림 IV-6 구리와 질산은 수용액의 반응

1-2 산화-환원과 산화수



다가서기

- 산화수를 정의할 수 있다.
- 산화수의 변화와 관련지어 산화-환원 반응을 설명할 수 있다.

산소가 관여하거나 전자의 이동이 아닌 다른 방법으로 산화-환원 과정을 설명할 수 있을까?

산소나 전자의 이동으로 산화-환원 반응을 설명하기 어려운 경우에는 산화수의 개념을 도입하여 설명할 수 있다.

공유 결합 물질에서 공유 전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때, 각 원자에 할당된 전하수를 산화수라고 한다. 산화수는 공유 결합 물질의 원자 사이에 주고받는 전자의 수로 나타내며, 전자를 잃은 상태는 (+)부호를 붙여 나타내고, 전자를 얻은 상태는 (-)부호를 붙여 나타낸다. 산화수는 산화-환원 반응을 설명하기에 편리하도록 다음과 같이 규칙을 정하여 사용한다.

핵심 용어

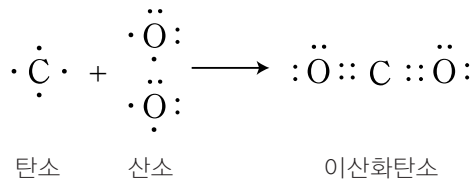
- 산화수
- 산화제
- 환원제



산화수의 규칙

1. 홑원소 물질을 구성하는 원자의 산화수는 0으로 한다.
예 $\text{H}_2(\text{H } 0)$, $\text{Na}(0)$
2. 일원자 이온의 산화수는 그 이온의 전하수와 같다.
예 $\text{Cu}^{2+}(\text{Cu } +2)$, $\text{Cl}^{-}(\text{Cl } -1)$
3. 이원자 화합물에서는 전기 음성도가 큰 원자가 '-'의 산화수를 갖는다.
예 $\text{NO}(\text{O } -2)$, $\text{CF}_4(\text{F } -1)$
4. 플루오린의 산화수는 항상 -1이다.
예 $\text{LiF}(\text{F } -1)$
5. 산소는 다른 원소와 결합하면 대부분 산화수가 -2이고, 플루오린과 결합하면 +2이며, 과산화물에서는 -1이다.
예 $\text{NO}_2(\text{O } -2)$, $\text{OF}_2(\text{O } +2)$, $\text{H}_2\text{O}_2(\text{O } -1)$
6. 대부분의 화합물에서 수소의 산화수는 +1이고, 금속 화합물에서는 -1이다.
예 $\text{H}_2\text{O}(\text{H } +1)$, $\text{CaH}_2(\text{H } -1)$
7. 화합물을 구성하는 각 원자의 산화수의 총합은 0이다.
예 $\text{CaCO}_3: (+2) \times 1 + (+4) \times 1 + (-2) \times 3 = 0$
8. 다원자 이온을 구성하는 각 원자의 산화수의 총합은 그 이온의 전하수와 같다.
예 $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}: (+1) \times 2 + (+5) \times 1 + (-2) \times 4 = -1$

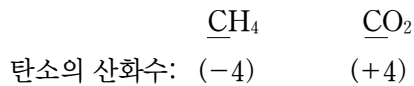
원자	탄소	산소
전기 음성도 비교	2.5	< 3.5



▲ 이산화탄소 분자

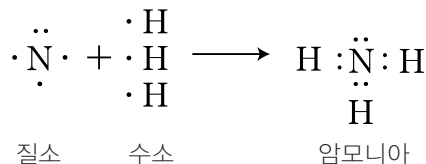
이산화탄소 분자에서 탄소 원자와 산소 원자 사이의 공유 전자쌍을 산소 원자가 모두 차지한다고 가정할 수 있다. 따라서 탄소 원자는 2개의 산소 원자에게 각각 2개씩 모두 4개의 전자를 내준 셈이므로 산화수가 +4이고, 각각의 산소 원자는 전자 2 개를 얻은 셈이므로 산화수는 -2이다.

메테인과 이산화탄소에서 알아본 것과 같이, 같은 원자라도 결합되는 원자가 다르면 서로 다른 산화수를 가진다. 즉 메테인과 이산화탄소에서 탄소 원자의 산화수는 각각 -4, +4이다.



암모니아 분자에서 질소와 수소의 전기 음성도를 비교하면 다음과 같다.

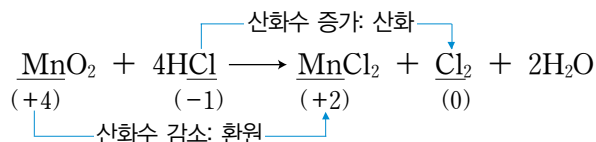
원자	질소	수소
전기 음성도 비교	3.0	> 2.1



암모니아 분자

암모니아 분자에서 질소 원자와 수소 원자 사이의 공유 전자쌍을 질소 원자가 모두 차지한다고 가정할 수 있다. 따라서 질소 원자는 3개의 수소 원자로부터 3개의 전자를 얻은 셈이므로 산화수가 -3이고, 각각의 수소 원자는 전자 한 개를 내준 셈이므로 산화수는 +1이다.

염산과 이산화망가니즈의 반응을 산화수의 변화로 알아보자.



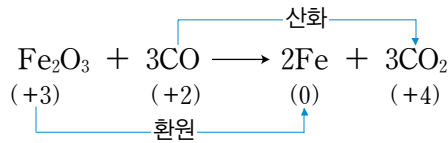
HCl에서 Cl의 산화수는 -1에서 0으로 증가되고, MnO₂에서 Mn의 산화수는 +4에서 +2로 감소되었다.

화학 변화 중에 산화수가 증가한 것은 전자를 잃었다는 의미이고, 산화수가 감소한 것은 전자를 얻었다는 의미이다. 따라서 산화수가 증가하면 산화, 산화수가 감소하면 환원이라고 한다.

익히기

철의 제련 과정에서의 산화-환원 반응을 산화수의 증감으로 설명하여 보자.

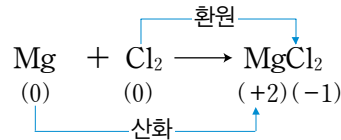
분석 | 각 원자의 산화수의 변화를 조사한다.



정리 | Fe₂O₃에서 Fe의 산화수는 +3에서 0으로 감소되었으므로 환원되었고, CO에서 C의 산화수는 +2에서 +4로 증가되었으므로 산화되었다.

산화-환원 반응에서 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질을 산화제, 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질을 환원제라고 한다.

다음은 마그네슘과 염소의 반응을 나타낸 것이다.



위의 반응에서 마그네슘은 산화수가 0에서 +2로 증가하였으므로 산화되었고, 염소는 산화수가 0에서 -1로 감소되었으므로 환원되었다. 따라서 마그네슘은 환원제이고 염소는 산화제이다.

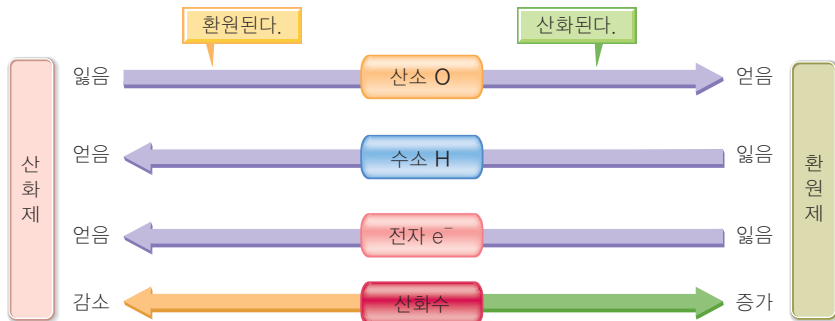


그림 IV-8 산화-환원 반응에서 산소, 수소 전자, 산화수의 변화

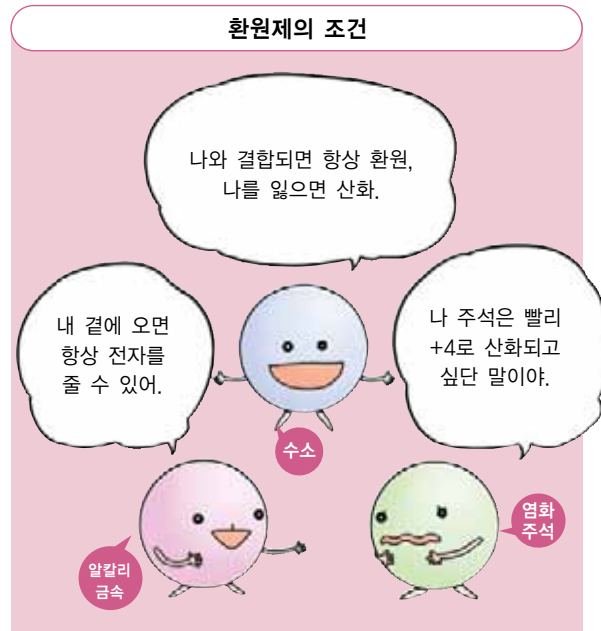
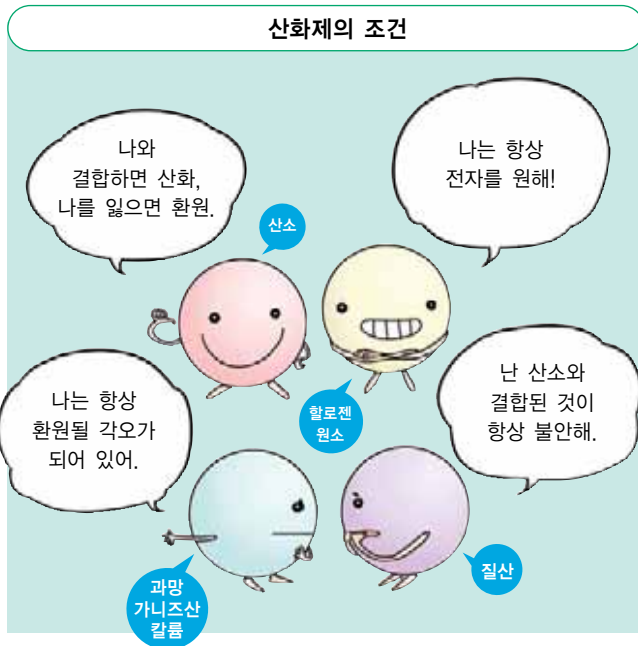
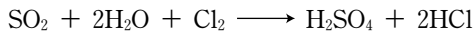


그림 IV-9 산화제와 환원제의 조건

산업 현장에서 사용하는 산화제로는 과망가니즈산칼륨, 질산, 할로젠 등이 있으며, 환원제로는 수소, 알칼리 금속, 염화주석 등이 있다.



1. 화합물 KMnO_4 에서 각 원자의 산화수를 구하여라.
2. 다음 반응에서 산화제와 환원제를 지적하여라.

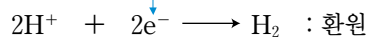
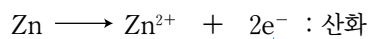


심화 자료

볼타 전지의 원리

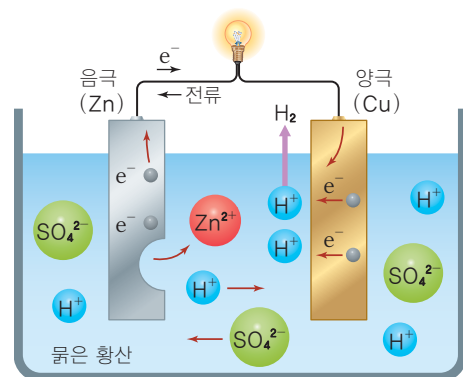
볼타 전지는 이탈리아의 볼타가 고안한 전지로서, 묽은 황산에 아연판과 구리판을 꽂아 도선으로 두 극판을 연결한 것이다.

각 전극에서의 반응은 다음과 같다.



아연에서 나온 전자는 도선을 따라 구리판으로 이동하여 양극의 수소 이온에게 전달되므로 회로가 형성되어 전류가 흐른다.

이와 같이 전지의 원리는 전자의 이동에 의한 산화-환원 과정이다.



▲ 볼타 전지의 원리

01 중단원 마무리

산화와 환원

되짚어 보기

산화	• 어떤 물질이 산소와 결합하는 반응으로 전자를 잃고 산화수가 증가하는 반응이다.
환원	• 어떤 물질이 산소를 잃는 반응이며 전자를 얻고 산화수가 감소하는 반응이다.
광합성	• 물과 이산화탄소가 반응하여 포도당이 생성되는 산화-환원 반응이다.
철의 제련	• 철광석에서 환원 반응에 의해 철을 얻는다.
철의 녹	• 녹은 공기 중의 산소와 결합하는 산화 반응이다.
산화수	• 공유 결합 화합물에서 공유한 전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 할 때, 각 원자에 할당된 전하수이다.
산화제	• 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질이다. 질산, 과망가니즈산칼륨
환원제	• 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질이다. 수소, 리튬, 나트륨



창의성 기르기

환경과 경제적인 측면에서 자동차보다 친인간적인 교통수단인 자전거를 활용하려는 도시인이 늘고 있다. 현재 많이 이용하고 있는 자전거는 재질이 철 대신에 녹이 잘 슬지 않고 무게가 가벼운 재질을 많이 사용하고 있다. 도시인들이 자동차보다 자전거를 활용할 수 있게 하기 위해서는 자전거 전용도로가 차도나 인도와 구분 설치되어야 한다. 또한 자전거 보관 설치대, 사고 및 도난 방지 대책 등도 세워야 한다.



▲ 자전거를 이루고 있는 많은 부품



▲ 자전거 전용 도로와 표지판



토의·조사

1. 자전거 제작에 어떤 소재를 개발하여 사용하고 있는지 조사해 보고, 유익한 점에 대해 토의하여 보자.
2. 자전거 도로를 운영하기 위해 어떤 실천을 하고 있는지 조사하여 보자.

도전문제

- 1 (어휘) 다음 용어를 설명하여라.
 (1) 부식 (2) 선철 (3) 산화수
 (4) 산화제 (5) 환원제
- 2 (비판적 사고) 구리와 염소가 반응하면 염화구리(II)가 생성된다. 반응물질과 생성물질 중 어떤 물질이 인체에 해로운지 토의하여 보자.
- 3 (모둠 활동) 우리 생활에 유용하게 사용되는 산화제를 조사하여 보자. 그 산화제가 사용 목적에 적절한지 토의하여 보자.
- 4 (의사소통) 철물점에서 파는 쇠못을 어떻게 보관하는 것이 효과적인지 의견을 나누어 보자.
- 5 (적용) 납축전지의 다음 반응에서 산화된 것과 환원된 물질은 어느 것인가?

$$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$$



인성 기르기

철이 녹스는 것은 공기 중의 산소와 물에 의한 산화-환원 반응 때문이다. 철이 녹슬어 광택을 잃고 산화철이 생성되어 부스러지기 쉬운 현상이 부식이다.

녹슨 못은 묽은 염산에 담갔다가 물로 세척하여 녹을 제거한 다음 말려서 사용할 수 있다. 그런데 녹을 없애는 데 사용한 묽은 염산 폐액을 철물점 주인이 하수구에 버렸다.



▲ 녹을 방지한 철 작품



▲ 녹이 슬게 한 철 작품



토의·조사

1. 사용하고 난 묽은 염산 폐액을 처리하는 방법을 조사하여 보자.
2. 철물점 주인의 행동에 대하여 어떤 조언을 해 주어야 할지 토의하여 보자.



이번 산화-환원 반응 대회에 8명의 선수가 참가하였습니다.
다음은 각 선수들의 경력입니다. 경력에 맞는 선수를 가려내세요.

- A. 전자쌍을 세게 끌어당기는 상대적 세기
- B. 자신은 산화되면서 다른 물질을 환원시키는 물질
- C. 이것이 이동하면 산화-환원 반응
- D. 자신은 환원되면서 다른 물질을 산화시키는 물질
- E. 연소할 때 산소가 필요하다.
- F. 공기보다 가벼운 기체로, 이것을 잃으면 산화
- G. 환원소 물질은 이것이 '0'이다.
- H. 철광석에서 철을 얻는 제련 과정



노벨과 다이너마이트

서기 900년경에 중국의 연금술사들은 숯가루와 황가루, 질산칼륨으로 놀라운 혼합물을 만들어 내었다. 그들은 이 혼합물에 불을 붙였을 때 심한 냄새와 폭음, 흰 구름 같은 연기, 빠르게 팽창하는 뜨거운 기체가 생기는 것을 알게 되었다. 그리고 이 혼합물을 그릇 속에 넣어 점화시킨다면 그릇 밖으로 상당히 큰 힘으로 목적물에 이동할 수 있을 것이라고 생각하였다. 중국 사람들은 불꽃놀이나 먼 거리에 신호를 전달하는 수단으로 이와 같은 흑색화약을 사용하여 왔다.

한편 유럽에서는 1866년에 스웨덴의 노벨(Nobel, A. B.: 1833~1896)이 중국과는 다른 재료를 사용하여 다이너마이트를 발명하였다. 원래 노벨이 다이너마이트를 발명하기 이전에 이탈리아의 한 화학자가 질산과 황산, 글리세롤을 사용하여 나이트로글리세린을 만들었는데, 나이트로글리세린을 만들기 위해 황산과 질산을 혼합하면 많은 열이 발생하며 종종 폭발하는 문제점이 생겼다.

노벨은 상당한 기간 동안 연구 끝에 안전한 나이트로글리세린을 개발하여 상업화하는 데 성공하였다. 노벨은 기름 상태의 액체에 실리카를 혼합하여 밀가루 반죽 같은 막대 모양의 나이트로글리세린을 고안해 내었으며, 나무로 만든 플러그에 화약 가루를 넣어 도화선에 불을 붙임으로써 안전하게 폭발시



▲ 노벨과 노벨상 메달

킬 수 있는 발파 캡을 고안하였다. 그 후 나이트로글리세린을 젤리와 같이 되도록 연구해 내었다.

노벨이 만든 발파 캡과 도화선의 고안으로 암반에 구멍을 뚫고 폭약을 안전하게 폭발시킬 수 있게 되어, 단 한 개의 막대 모양 화약으로 수백 명이 해야 할 작업을 단지 수 분 만에 완성할 수 있게 되었으며, 도로 건설이나 광산 채굴 등에 널리 이용하게 되었다.

노벨은 자신이 발명한 다이너마이트 폭약이 폭력적인 면에서 사용되자, 그의 전 재산을 평화적인 목적을 추구하는 사람에게 주도록 9백만 달러를 노벨상 기금으로 남겼다.

오늘날 노벨의 제안을 실현하는 의약, 물리학, 화학, 경제, 문학, 평화 부분의 노벨상이 매년 수상되고 있다.

1

윗글에 사용한 다음 용어의 의미를 설명하여라.

(1) 연금술사

(2) 발파 캡

(3) 실리카

(4) 도화선

2

노벨은 자신이 남긴 전 재산을 무엇에 사용되기를 원하였는가?

3

중국의 화약과 노벨이 발명한 다이너마이트가 유익한 일에 사용되는 사례를 중심으로 글을 써 보자.

2

산과 염기

2-1 산과 염기의 정의	224
2-2 산과 염기의 성질과 세기	227
2-3 중화 반응	240
2-4 생명 현상에 관여하는 산과 염기	245



인물 들어가기

로마의 실력가 안토니우스는 클레오파트라가 자신의 적을 도와주었다는 사실을 항의하기 위하여 이집트를 방문한다. 클레오파트라는 이를 해명하기 위해 안토니우스의 마음을 돌릴 방법을 생각해 내었다. 그녀는 성대한 연회 중에 시종에게 식초를 담은 술잔을 가져오게 하고 진주 귀걸이 한쪽을 술잔에 담근다. 술잔에 들어간 진주는 서서히 녹아 버리고 만다. 클레오파트라가 진주를 녹인 식초를 마신 다음 귀걸이 한쪽을 다시 술잔에 넣으려 하자, 안토니우스는 그 진주의 귀함과 클레오파트라의 대범함에 결국 자신의 항의를 철회하고 클레오파트라에게 마음을 빼앗기게 된다. 이것이 바로 '클레오파트라의 진주'에 관한 이야기이다.

이 단원에서는 산과 염기의 개념이 어떻게 발전되어 왔으며, 산과 염기의 성질과 세기, 수용액에서의 pH, 중화 반응 및 아미노산과 핵산에 대해서 학습한다.

▼ 클레오파트라의 연회와 진주(조반니 티에폴로 작)



2-1 산과 염기의 정의

다가서기

- 산과 염기의 개념이 어떻게 발전되어 왔는지 설명할 수 있다.
- 화학 반응에서 산과 염기를 찾아낼 수 있다.

핵심 용어

- 산
- 염기
- 하이드로늄 이온
- 수산화 이온
- 양성자 주개
- 양성자 받개
- 양쪽성 물질

신맛이 나는 과일에는 산성 물질인 시트르산이 들어 있으며, 미끄러운 촉감이 나는 비누는 염기성 물질인 수산화나트륨을 사용하여 만든다. 화학자들은 이들 산과 염기를 어떻게 정의하여 왔을까?



아레니우스(Arrhenius, S. A.: 1859~1927) 스웨덴의 화학자. 이온화설을 제창하였으며, 1903년에 전해질 용액 이론으로 노벨 화학상을 받았다.

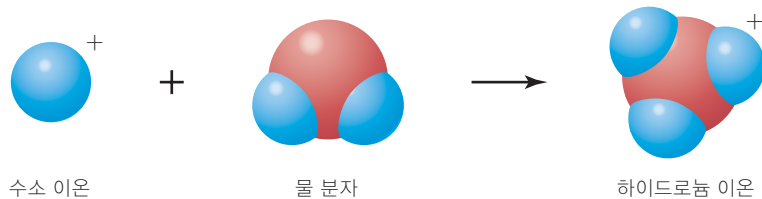
| 하이드로늄 이온(H_3O^+) |

아레니우스 시절에는 H_3O^+ 이 알려지지 않았으므로 H^+ 로만 나타내었다.

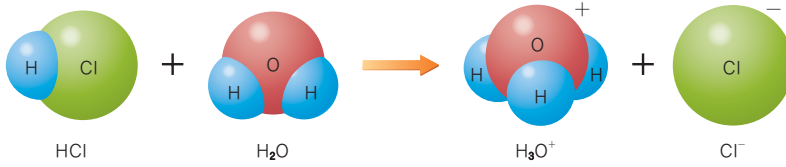
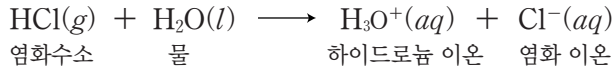
1 아레니우스의 정의

1884년 스웨덴의 화학자 아레니우스는 산과 염기가 물에 녹았을 때 내어놓는 이온과 관련시켜 산과 염기를 정의하였다. 즉 산은 수용액에서 수소 이온(H^+) 또는 하이드로늄 이온(H_3O^+)을 내어놓는 물질이며, 염기는 수용액에서 수산화 이온(OH^-)을 내어놓는 물질이라고 정의하였다.

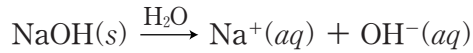
물에서 H^+ 은 물과 반응하여 양으로 대전된 하이드로늄 이온을 생성한다.



염산(HCl), 황산(H_2SO_4), 아세트산(CH_3COOH)은 물에 녹아 공통적으로 수소 이온을 생성하므로 모두 아레니우스의 산에 해당한다.



또한 수산화나트륨(NaOH), 수산화칼륨(KOH), 수산화바륨(Ba(OH)₂), 수산화암모늄(NH₄OH)은 물에 녹아 공통적으로 수산화 이온(OH⁻)을 생성하므로 모두 아레니우스의 염기이다.

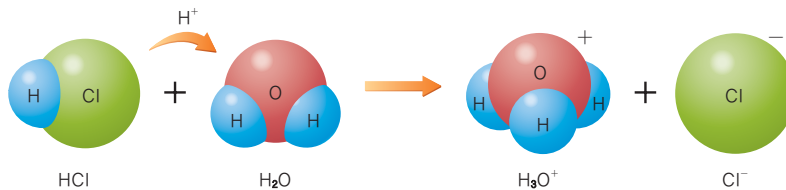
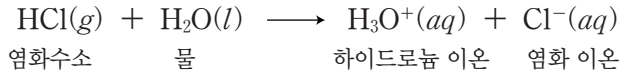


2 브뢴스테드-로우리의 정의

아레니우스의 정의는 수용액에서만 적용되어 물이 아닌 다른 용매에서는 산과 염기를 설명할 수가 없다. 따라서 수용액이 아닌 다른 용매에서도 산-염기 반응을 설명하기 위해서 1923년 브뢴스테드와 로우리가 각각 산-염기의 보다 더 일반적인 정의를 제안하였다.

브뢴스테드와 로우리는 산은 다른 물질에게 수소 이온을 내줄 수 있는 분자나 이온이고, 염기는 다른 물질로부터 수소 이온을 받을 수 있는 분자나 이온이라고 제안하였다. 즉 수소 이온은 양성자이므로 산은 양성자 주개, 염기는 양성자 받개라고 할 수 있다.

염화수소 기체가 물에 녹아 하이드로늄 이온과 염화 이온을 생성하는 반응을 살펴보자.



이 반응에서 염화수소는 물에 양성자를 내주었으므로 산이고, 물은 염화수소로부터 양성자를 받았으므로 염기이다. 브뢴스테드와 로우리의 산-염기 반응에서는 양성자가 산에서 염기로 이동하는 것을 알 수 있다.

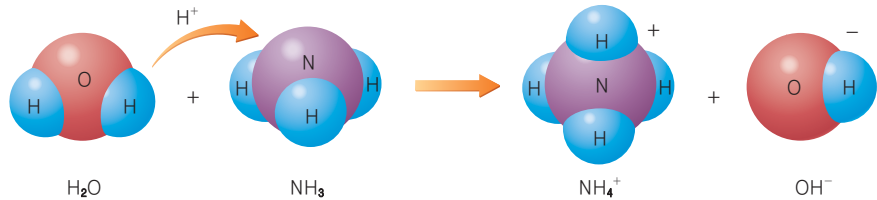
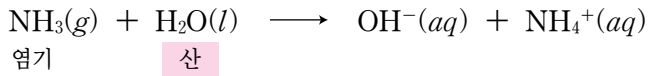
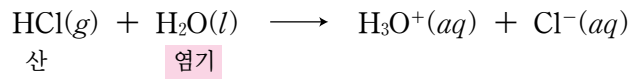


브뢴스테드(Bronsted, J. N.: 1879~1947) 덴마크의 물리 화학자. 산을 수소 이온의 공여체로, 염기를 수용체로 정의하였다.



로우리(Lowry, T. M.: 1874~1936) 브뢴스테드와 독립적으로 산과 염기에 대하여 같은 개념을 발전시켰다.

염화수소와 물의 반응에서는 물이 양성자를 받으므로 염기로 작용하고, 암모니아와 물의 반응에서는 물이 양성자를 내어주므로 산으로 작용한다.

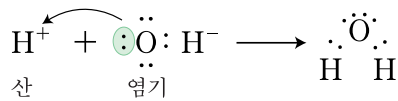
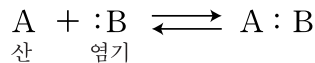
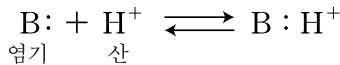


물과 같이 산으로도 작용할 수 있고 염기로도 작용할 수 있는 물질을 양쪽성 물질이라고 한다.

3 루이스의 정의

산-염기의 또 다른 개념으로 루이스는 산은 비공유 전자쌍을 받는 물질이며, 염기는 비공유 전자쌍을 주는 물질이라고 제안하였다.

이 개념은 아레니우스나 브뢴스테드-로우리의 정의보다 더 폭넓은 것이다. 루이스 산은 공유 결합을 형성하기 위하여 비공유 전자쌍을 받는 물질이고, 루이스 염기는 공유 결합을 형성하기 위하여 비공유 전자쌍을 주는 물질이다.



산-염기의 정의를 정리하면 다음 표 IV-1과 같다.

표 IV-1 산-염기의 정의

	산	염기
아레니우스	수용액에서 H ⁺ 을 내는 물질	수용액에서 OH ⁻ 을 내는 물질
브뢴스테드-로우리	양성자 주개	양성자 받개
루이스	비공유 전자쌍 받개	비공유 전자쌍 주개

2-2 산과 염기의 성질과 세기



다가서기

- 산과 염기가 나타내는 공통 성질을 설명할 수 있다.
- 산과 염기의 세기를 설명할 수 있다.

우리가 먹는 음식에는 산성인 것과 염기성인 것이 있다. 건강을 위해 섭취하는 비타민 C에는 아스코르브산이 들어 있다. 우리 혈액 내의 산-염기 반응은 생명을 유지할 수 있게 해 준다. 우리 생활에서 중요한 역할을 하고 있는 산과 염기의 성질과 세기에 대하여 알아보자.

핵심 용어

- 강산
- 약산
- 강염기
- 약염기
- 지시약
- 변색 범위
- pH(수소 이온 농도 지수)

1 산의 성질

다음 탐구 활동을 통하여 산의 공통된 성질을 알아보자.

탐구

| 활동 28 | 산의 성질

- **목적** 산의 공통 성질 조사
- **준비물** 24홈 판, 마이크로 전도도 측정기, 핀셋, 보안경, 실험용 장갑, 1 M 염산, 황산, 아세트산 각 10 mL, 푸른 리트머스 종이, 달걀 껍데기, 마그네슘 리본 5 cm
- **과정**
 - ① 24홈 판에 염산, 황산, 아세트산을 넣고 전기 전도도를 측정한다.
 - ② 산을 넣은 홈 판에 푸른 리트머스 종이를 넣어 본다.
 - ③ 각각의 산에 마그네슘 리본 조각을 넣고 관찰한다.
 - ④ 달걀 껍데기에 염산, 황산, 아세트산을 각각 떨어뜨리고 관찰한다.
- **정리**
 1. 산 수용액의 전기 전도성은 어떠한가?
 2. 푸른 리트머스 종이의 색깔은 어떻게 되었는가?
 3. 과정 ③과 ④에서 일어나는 변화에 대해 그 이유를 설명하여 보자.
 4. 산이 공통 성질을 나타내는 이유를 토의하여 보자.



산은 신맛이 나고 전기 전도성이 있으며, 종이, 피부, 섬유 등을 손상시킨다. 또한 마그네슘이나 알루미늄 등의 금속에 산을 가하면 수소가 발생한다.

산이 이러한 공통적인 성질을 나타내는 이유는 무엇 때문일까?

여러 가지 산은 수용액에서 다음과 같이 이온화하여 공통적으로 수소 이온(H^+)을 내어놓는다.

HCl 염산	→	H^+ 수소 이온	+	Cl^- 염화 이온
H_2SO_4 황산	→	$2H^+$ 수소 이온	+	SO_4^{2-} 황산 이온
HNO_3 질산	→	H^+ 수소 이온	+	NO_3^- 질산 이온
CH_3COOH 아세트산	→	H^+ 수소 이온	+	CH_3COO^- 아세트산 이온

산의 공통성은 수용액 속에서 생성된 수소 이온(H^+)에 의하여 나타난다. 산 수용액에 공통으로 존재하는 수소 이온의 이동을 다음 탐구 활동을 통하여 알아보자.

탐구

| 시범 활동 29 | 수소 이온의 이동

- **목적** 수소 이온의 이동을 관찰할 수 있다.
- **과정**
 - ① 반침 유리 위에 그림과 같이 수돗물에 적신 거름종이를 올려놓고, 그 위에 붉은색과 푸른색 리트머스 종이를 놓은 다음 집게로 고정한다.
 - ② 실에 묶은 염산을 적셔 리트머스 종이의 중앙에 올려놓고, 집게의 양 끝에 직류 전원을 연결하고 관찰한다.
- **정리**
 1. 색 변화가 나타나는 리트머스 종이는 어느 것인가?
 2. 색 변화가 이동한다면 그 이유를 토의하여 보자.

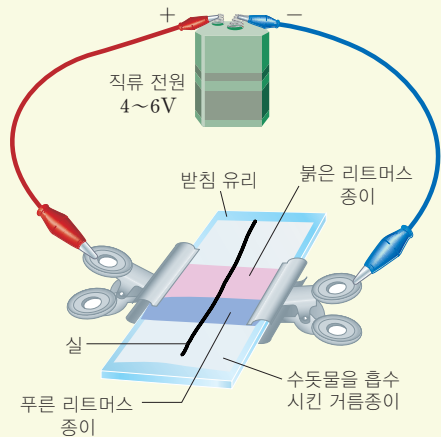


그림 IV-10 우리 생활에 이용되는 산 및 산을 이용하여 만든 여러 가지 제품

2 염기의 성질

옛날에는 짚이나 콩각지를 태워 남은 재를 물에 녹여 만든 잿물로 빨래를 하였다. 이 잿물 속에는 여러 가지 염기가 들어 있어서 빨래에 묻어 있는 동물성 지방이나 단백질인 때를 녹여 낸다.

다음 탐구 활동을 통하여 염기의 성질을 알아보자.

탐구

| 활동 30 | 염기의 성질

- **목적** 염기의 공통 성질을 조사한다.
- **준비물** 1 M 수산화칼륨, 수산화 나트륨, 수산화 암모늄 수용액 각 10 mL, 마이크로 전도도 측정기, 알루미늄 조각, 24홈 판, 붉은 리트머스 종이, 실험용 장갑, 핀셋
- **유의점** 염기는 피부의 단백질을 녹이는 성질이 있으므로 실험실에서 맨손으로 만지거나 맛을 보면 절대 안 된다.
- **과정**
 - ① 24홈 판에 염기를 넣고 전기 전도도를 측정한다.
 - ② 붉은 리트머스 종이를 각각의 염기에 묻혀 본다.
 - ③ 각각의 염기에 알루미늄 조각을 넣고 관찰한다.
- **정리**
 1. 각각의 염기는 전기 전도성이 있는가?
 2. 과정 ②와 ③에서 일어나는 변화에 대해 그 이유를 토의하여 보자.
 3. 염기가 공통 성질을 나타내는 이유를 토의하여 보자.



염기는 미끈거리는 촉감과 쓴맛을 가지고 있으며, 때를 녹여서 빼는 성질이 있다. 또한 전기 전도성이 있으며, 붉은 리트머스 종이를 푸르게 변화시키는 성질이 있다.

염기가 이러한 성질을 나타내는 이유는 무엇 때문일까?

여러 가지 염기는 수용액에서 다음과 같이 이온화하여 공통적으로 수산화 이온(OH⁻)을 내어놓는다.

NaOH 수산화나트륨	→	Na ⁺ 나트륨 이온	+	OH ⁻ 수산화 이온
KOH 수산화칼륨	→	K ⁺ 칼륨 이온	+	OH ⁻ 수산화 이온
NH ₄ OH 수산화암모늄	→	NH ₄ ⁺ 암모늄 이온	+	OH ⁻ 수산화 이온

염기의 공통성은 수용액 속에서 공통적으로 생성된 수산화 이온으로 인하여 나타난다. 염기의 수용액에 공통으로 존재하는 수산화 이온의 이동을 다음 탐구 활동을 통해 확인하여 보자.

탐구

| 시범 활동 31 | 수산화 이온의 이동

- 목적 수산화 이온의 이동을 관찰할 수 있다.
- 과정
 - ① 그림과 같이 받침 유리 위에 수돗물에 적신 거름종이를 놓고, 그 위에 붉은색과 푸른색 리트머스 종이를 올려놓은 다음 집게로 고정시킨다.
 - ② 실에 수산화나트륨 수용액을 적셔 리트머스 종이의 중앙에 놓는다.
 - ③ 집계의 양 끝에 직류 전원을 연결하고 관찰한다.
- 정리
 1. 색 변화가 나타나는 리트머스 종이와 색 변화의 이동 방향은 어떠한가?
 2. 색 변화가 나타나는 이유는 무엇인가?

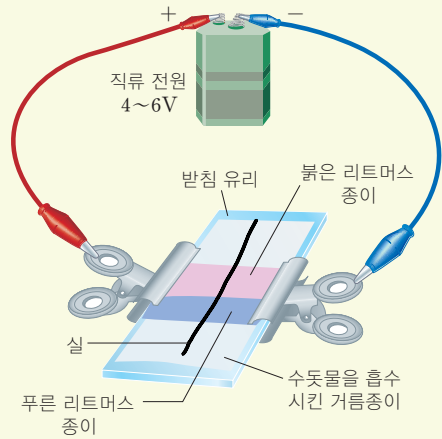


그림 IV-11 우리 생활에서 이용하는 염기 및 염기를 이용하여 만든 여러 가지 제품

3 지시약

지시약은 산 또는 염기와 반응하는 화합물로, 용액의 액성에 따라 눈에 띄는 색을 나타내는 물질이다.



탐구

| 활동 32 | 양배추 지시약을 이용한 카멜레온 볼

- **목적** 양배추 지시약으로 만든 카멜레온 볼로 우리 주변의 물질들을 산과 염기로 구분할 수 있다.
- **유의점** 물을 끓일 때 화상을 입지 않도록 주의한다.
- **준비물** 플라스틱 컵, 비커 2개, 플라스틱 숟가락, 스포이트, 천연 양배추, 염산, 암모니아수, 알긴산나트륨($\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$)_n, 염화칼슘, 체, 실험용 장갑, 보안경
- **과정**
 - ① 비커에 잘게 자른 양배추와 물을 넣고 끓인다.
 - ② 양배추를 끓인 액을 체로 걸러 비커에 받은 다음 알긴산나트륨 한 스푼을 넣고 젓는다.
 - ③ 물을 넣은 비커에 염화칼슘 두 숟가락을 넣어 녹인 다음, 스포이트로 과정 2의 양배추 용액을 방울방울 넣는다. 이때 너무 많이 넣지 않도록 주의한다.
 - ④ 과정 3에서 만들어진 카멜레온 볼을 숟가락으로 건져 묶은 염산과 암모니아수에 넣고 관찰한다.
 - ⑤ 두 용액을 섞으면서 색깔 변화를 관찰한다.
- **정리**
 1. 끓는물에서 우려나온 양배추 추출액의 색깔은 어떠한가?
 2. 묶은 염산과 암모니아수에서 카멜레온 볼의 색깔은 어떠한가?
 3. 카멜레온 볼의 색깔이 물질의 액성에 따라 변하는 내용을 아래 표와 비교하여 토의해 보자.
 4. 우리 주변의 물질인 오렌지 주스, 비눗물, 락스, 우유 등에 카멜레온 볼을 넣고 색깔 변화를 관찰하여 보자.

▼ 양배추 추출액을 함유한 카멜레온 볼의 변색 범위

pH	0-2	3-4	5-7	8	9-12	13	14
색 변화	붉은색	분홍색	보라색	푸른색	청록색	황록색	노란색



실험실에서 용액의 액성을 판단하기 위하여 사용하는 지시약에는 페놀프탈레인 용액과 리트머스 용액, BTB 용액, 메틸 오렌지 용액 등이 있다.

여러 가지 지시약의 색깔 변화와 변색 범위를 그림 IV-12에 나타내었다.

페놀프탈레인은 pH 8.3 이하인 용액에서는 무색이고, pH 8.3 이상에서는 붉은색이 진해져서 pH 10에 이르면 진한 붉은색으로 된다. 지시약의 색깔이 변하는 pH 범위를 변색 범위라고 한다.

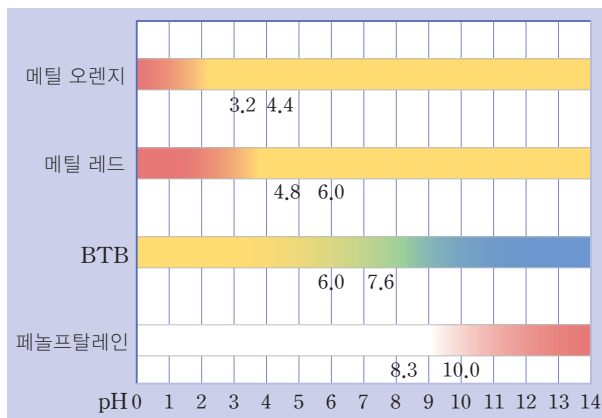


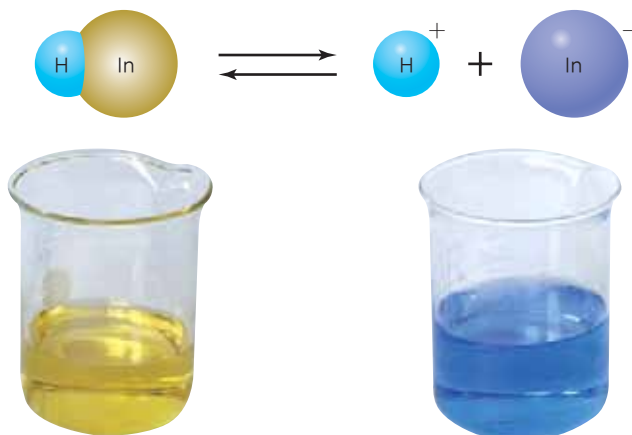
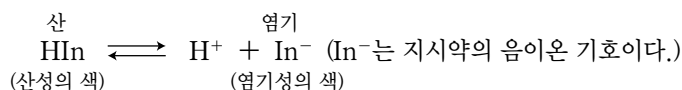
그림 IV-12 여러 가지 지시약의 색깔 변화와 변색 범위

심화

자료

지시약이 산-염기에 따라 변색하는 이유

지시약은 그들 자신이 약한 산이나 약한 염기이다. 용액 내에서 약한 산인 지시약의 평형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



산성 용액에서 In⁻은 브뢴스테드-로우리의 염기로, 산으로부터 양성자를 받아 HIn 형태를 가지며, 지시약은 HIn의 색깔을 띤다. BTB 용액의 경우 노란색을 나타낸다. 염기성 용액의 OH⁻은 지시약의 H⁺과 반응한다. 이때, 지시약은 In⁻ 형태로 되어 In⁻의 색깔을 띠며 BTB 용액의 경우 푸른색을 나타낸다.

4 산의 세기

강한 산과 약한 산은 어떤 차이가 있으며, 또 어떤 기준으로 구별하는 것일까?

같은 농도의 서로 다른 산 수용액의 세기는 어떻게 다를까? 다음 탐구 활동을 통해서 산의 세기를 구별할 수 있는 방법을 알아보자.

탐구

활동 33 | 산의 세기

- 목적 강산과 약산의 세기의 차이를 알아본다.
- 준비물 0.1 M 염산, 0.1 M 아세트산 수용액, 아연 조각, 비커, 시험관, 시험관대, 전원 장치, 전류계, 스테인리스강 전극, 집게 달린 전선, 실험용 장갑, 보안경
- 과정 ① 2개의 시험관에 0.1 M 염산과 0.1 M 아세트산 수용액을 각각 10 mL씩 넣자.
② 과정 ①의 두 시험관에 같은 크기의 아연 조각을 넣고, 어느 시험관에서 기포가 활발히 발생 하는지 관찰하여 보자.



(가)



(나)

- ③ 그림 (나)와 같이 전류계를 이용하여 두 수용액에 전류가 흐르는지 관찰하자. 전류가 흐른다면 어떤 용액에서 전류의 세기가 더 큰가?

- 정리 1. 산 수용액에 아연 조각을 넣을 때 발생하는 기체는 무엇인가?
2. 염산과 아세트산 수용액에서 기포의 발생 정도는 어떠한가?
3. 두 용액에 흐르는 전류의 세기에 대해 토의하여 보자.

위의 탐구 활동에서와 같이, 같은 농도의 염산과 아세트산 수용액을 비교하면, 염산이 아세트산에 비해 이온화가 더 잘 되는 것을 알 수 있다.

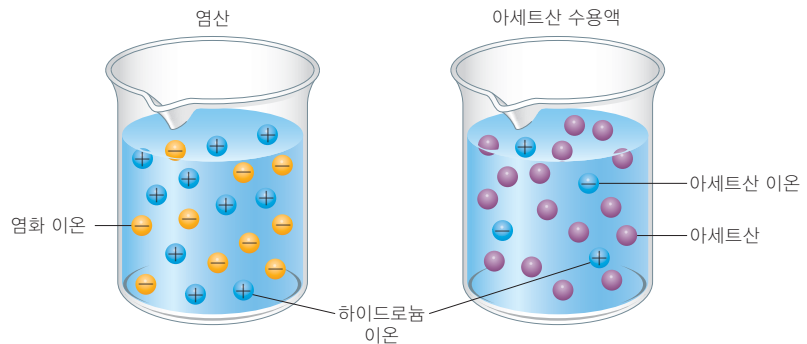


그림 IV-13 염산과 아세트산의 이온화 비교

염산과 같이 수용액에서 거의 대부분 이온화되는 산을 강산이라고 하고, 아세트산과 같이 일부가 이온화되는 산을 약산이라고 한다.

같은 농도의 여러 가지 산에서 전류의 세기는 산의 세기에 따라 달라지는데, 강산일수록 수용액 속에 이온이 많아 전류의 세기가 강하다.

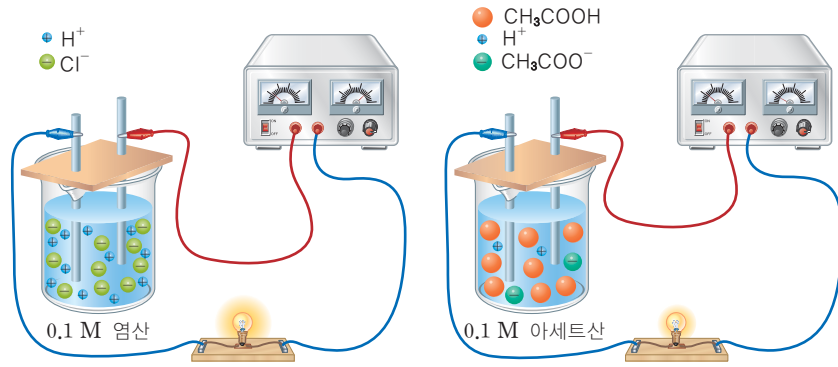


그림 IV-14 염산과 아세트산 수용액의 전류의 세기 비교

스스로 분해되는 종이

뉴욕 시의 공공도서관에는 88 마일의 길이에 해당하는 책 선반이 있는데, 36 마일 정도의 선반 위에 놓인 책들의 종이는 표지 사이에서 서서히 분해되고 있다. 사실상 미국 내에 있는 장서 중 약 40% 가량은 곧 다루기 어려울 정도로 손상될 것이라는 예측이 나오고 있다.

문제는 지난 세기 동안 책을 발간하기 위하여 산성 종이를 사용하여 왔다는 점에서 유래한다. 일반적인 예상과는 달리 18세기, 17세기, 16세기, 심지어 15세기에 발간된 책들은 지금

까지도 보존 상태가 더 우수하다. 구텐베르크 성경의 종이는 아직도 놀라울 정도로 양호한 상태이다. 그 당시 종이는 아마포로부터 수작업으로 만들었는데, 19세기에 들어서면서 값싼 종이에 대한 수요가 폭발적으로 증가하게 되었다. 제조업자들은 나무의 펄프와 기계를 이용하면 보다 경제적으로 종이를 만들 수 있다는 사실을 발견하였다. 종이의 질을 좋게, 즉 습기에 강하고 잉크가 번지지 않도록 하기 위해서 많은 양의 명반 $Al_2(SO_4)_3$ 을 첨가하였다. 명반이 공기 중의 수증기에 녹아 수화된 알루미늄 이온 $Al(H_2O)_6^{3+}$ 은 산성을 띠므로 명반이 첨가된 종이는 산성을 띠게 되고, 시간이 지날수록 종이의 섬유질은 분해되어 결국 종이가 휘손되는 것이다.

◀ 오래되어 훼손된 책



5 염기의 세기

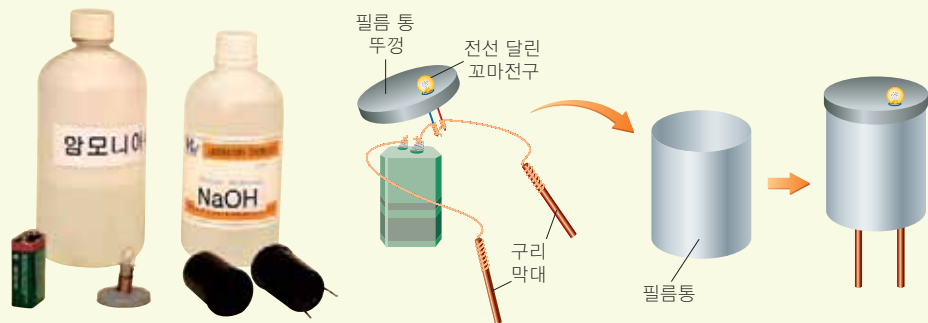
수산화나트륨, 수산화칼륨과 같은 강한 염기는 수용액 중에서 대부분 이온화하며, 수산화암모늄, 수산화마그네슘과 같은 약한 염기는 대부분 분자 형태로 존재하고 일부만 이온화한다. 같은 농도의 서로 다른 염기 수용액의 세기는 어떻게 다를까?

다음 탐구 활동을 통해서 염기의 세기를 구별할 수 있는 방법을 알아보자.

탐구

| 활동 34 | 염기의 세기

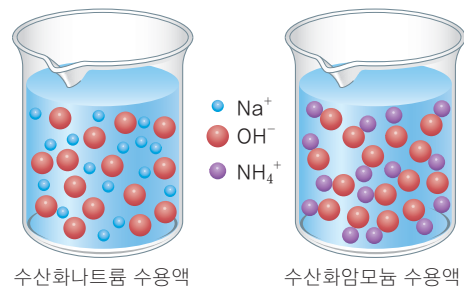
- **목적** 강염기와 약염기의 세기의 차이를 알아본다.
- **준비물** 필름 통, 꼬마전구, 전선, 전지, 구리 막대, 0.1 M NaOH와 0.1 M NH_4OH 수용액 각 100 mL, 비커 2개, 실험용 장갑, 보안경
- **과정**
 - ① 아래 그림과 같이 필름 통 뚜껑에 구멍을 뚫어 전선이 달린 꼬마전구를 끼운 다음, 구리 막대와 전지를 연결한다.
 - ② 필름 통 바닥에 두 개의 구멍을 뚫어 과정 ①에서 만든 뚜껑을 그림과 같이 끼우고 뚜껑을 닫는다.
 - ③ 2개의 비커에 각각 0.1 M NaOH와 0.1 M NH_4OH 수용액을 $\frac{1}{3}$ 정도 넣는다.
 - ④ 필름 통의 구리 전극을 수용액에 각각 담가 꼬마전구의 밝기를 비교하자.



- **정리**
 1. 꼬마전구의 밝기는 어떠한가?
 2. 꼬마전구의 밝기가 차이가 난다면 그 이유를 토의하여 보자.

위 탐구 활동의 결과로 같은 농도의 수산화나트륨과 수산화암모늄 수용액을 비교하면 수산화나트륨이 수산화암모늄에 비해 이온화가 잘 되는 것을 알 수 있다.

같은 농도의 여러 가지 염기에서 전류의 세기는 염기의 세기에 따라 달라지는데, 강한 염기일수록 이온이 많아 전류의 세기가 강하다.



수산화나트륨 수용액

수산화암모늄 수용액

그림 IV-15 강염기와 약염기의 이온화 비교

| pH : 수소 이온 농도 지수 |

수소 이온 H⁺은 산의 공통적인 성질을 나타내는 이온으로서, 용액에 들어 있는 수소 이온의 농도에 따라 용액의 액성이 결정된다. pH는 용액 속의 H⁺의 농도를 간단하게 농도의 지수를 사용하여 나타내는 편리한 방법이다.



그림 IV-16 만능 pH 시험지

6 수용액의 pH: 수소 이온 농도 지수

수영장이나 온천 지역에서 가끔 물의 액성을 판별하기 위하여 pH를 측정한다. 샴푸나 탈취제에도 'pH 조절'이라는 용어를 사용하고 있다.

pH란 무엇인가?

pH는 용액의 산성과 염기성의 정도를 수치로 나타내는 것으로, pH 척도는 0에서 14까지 범위를 정하여 사용하고 있다. 산성 용액은 pH가 7보다 작으며, 0에 가까울수록 강한 산성을 나타낸다.

pH가 7인 용액은 중성으로, 염기성 용액은 pH가 7보다 크다.

pH가 14인 용액은 매우 강한 염기성이다.

pH < 7 산성 용액, pH = 7 중성 용액, pH > 7 염기성 용액

pH 척도는 질량이나 부피의 척도와는 다른 의미를 지닌다. 예를 들면 추가 한 개일 때의 질량이 1 kg이면 추가 두 개일 때는 2 kg으로 1 kg의 두 배가 되지만, 산성 용액에서 pH 1의 변화는 10배의 변화를 뜻한다.

예를 들면 한 용액의 pH가 1이고 다른 용액의 pH가 2이면, pH가 1인 용액이 pH가 2인 용액보다 10배 더 산성이 강하다는 뜻이 된다.

따라서 pH의 강한 정도를 결정하기 위해서는 10ⁿ을 계산에 사용한다. 여기에 n은 pH 간의 차이이다.

심화

자료

pH(수소 이온 농도 지수)

모든 수용액 속에 들어 있는 [H₃O⁺]와 [OH⁻]의 곱은 항상 K_w(물의 이온곱 상수)로 일정하므로 [H₃O⁺]를 알면 [OH⁻]를 구할 수 있고, [OH⁻]를 알면 [H₃O⁺]를 구할 수 있다. 하지만, [H₃O⁺]나 [OH⁻]는 그 값이 매우 작은 경우가 많아서 그대로 사용하기가 불편하다.

수용액 속에 들어 있는 [H₃O⁺]를 쉽게 나타낼 수 있는 방법을 제시한 사람은 덴마크의 과학자 쇠렌센(Sørensen, S.P.L.: 1868~1939)으로, 산과 염기의 세기를 나타내는 pH를 제안하였다.

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]} = -\log[H_3O^+]$$

예를 들면, 25℃ 중성 용액의 [H₃O⁺]=1.0×10⁻⁷ M 이므로 pH=7.0이다.

$$pH = -\log(1.0 \times 10^{-7} \text{ M}) = 7.0$$

[H₃O⁺]가 1.0×10⁻⁷ M보다 큰 산성 용액의 pH는 7.0보다 작고, [H₃O⁺]가 1.0×10⁻⁷ M보다 작은 염기성 용액에서는 pH가 7.0보다 크다.



▲ 수용액의 액성 측정과 pH 미터

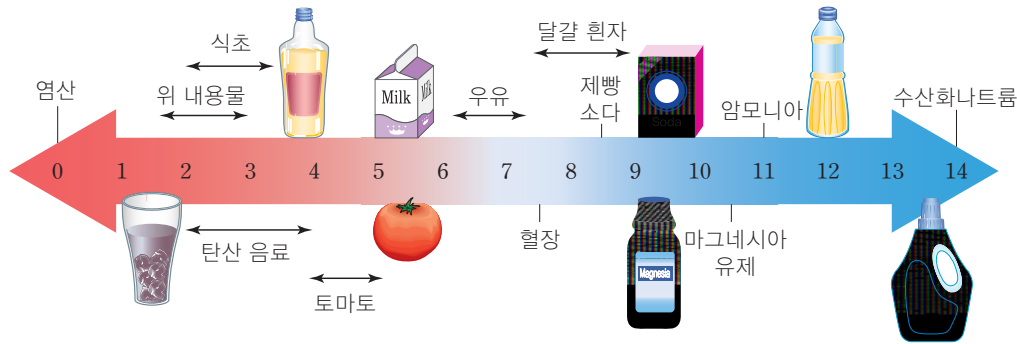


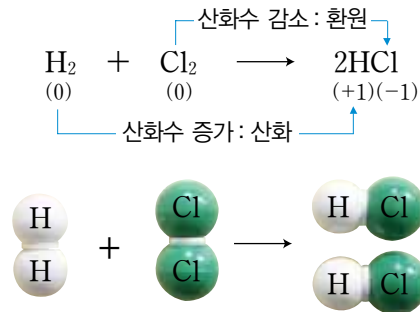
그림 IV-17 산성, 중성, 염기성 용액을 pH 척도로 분류할 수 있다.

pH를 측정하는 도구로 pH 미터와 만능 pH 시험지가 사용된다.

7 산-염기와 산화-환원

산과 염기는 산화-환원 반응과 어떤 관계가 있을까? 염소와 수소가 반응하면 기체인 염화수소가 생성된다. 염화수소의 생성 과정을 산화-환원 반응과 관련하여 살펴보자.

수소와 염소가 반응하여 염화수소가 생성될 때, 전자는 전기 음성도가 큰 염소 쪽으로 끌려가게 되고, 그 결과 수소는 양전하 부분을 가지고 염소는 음전하 부분을 가지게 된다. 수소는 염소에게 전자를 내어주어 산화되고 염소는 수소로부터 전자를 받아서 환원되는 것으로, 산화와 환원이 동시에 일어남을 알 수 있다.



염소는 수소에 의해서 환원되었고, 수소는 염소에 의해서 산화되었다.

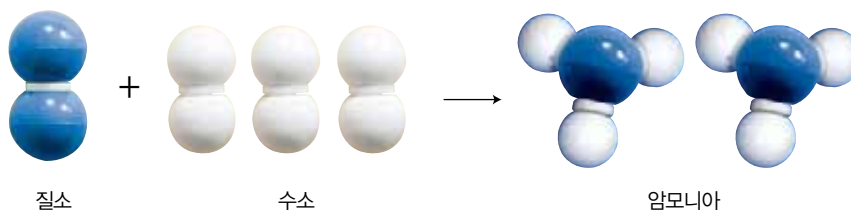
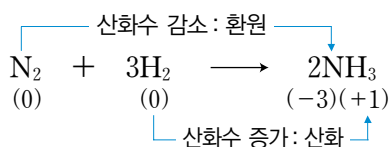
전기 음성도의 차이가 큰 수소와 염소로 이루어진 HCl은 물에서 거의 100% 이온화되는 강산으로, 반응성이 커서 금속의 표면이나 벽돌에 붙은 모르타르를 깨끗이 할 때 사용하며, 실험실용 시약이나 염기를 중화할 때 쓰인다. 또한 우리 몸에서 위 속의 위산을 이루어 음식을 잘게 부수거나 음식물을 통해 들어오는 박테리아를 죽인다.

염산 외에 흔히 사용하는 산에는 비료, 염료, 화약, 플라스틱을 만드는 데 사용하는 질산 및 배터리 등에 사용하는 황산 등이 있다.

암모니아는 자극성 냄새가 나는 무색의 기체로서 물에 잘 녹는다. 암모니아의 생성 과정을 산화-환원 반응과 관련시켜 설명하여 보자.

암모니아는 수소와 질소가 화합하여 생성되는데, 전기 음성도가 작은 수소는 전기 음성도가 큰 질소에게 전자를 내주고 극성 공유 결합을 한다. 이때 수소는 전자를 내주어 산화되고, 동시에 질소는 수소로부터 전자를 받아 환원된다.

따라서 산과 염기는 전기 음성도가 큰 원소와 전기 음성도가 작은 원소 사이의 산화-환원 반응에 의해 생성되는 물질임을 알 수 있다.



또한 질소는 산화수가 감소하였으므로 환원되었고, 수소는 산화수가 증가하였으므로 산화되었다.

암모니아는 벌레의 독을 완화시켜 주는 의약품에 사용되며, 지방 성분을 녹이므로 유리나 변기의 세척에 이용한다. 또한 토양의 산성화 방지에도 사용한다.

그 밖에 석회라고 부르는 수산화칼슘은 운동장에 흰 줄을 긋는 데 사용하며, 수산화나트륨은 비누 제조나 오븐 세척제에 이용한다.



그림 IV-18 건물의 유리창 세척에 사용하는 암모니아수

질소의 고정 - 하버의 암모니아 합성

19세기에 들어서 유럽의 인구가 폭발적으로 증가하자 농업은 마침내 한계를 보이기 시작하였다. 그 한계란 '질소의 위기'였다. 질소는 식물의 성장에 없어서는 안 될 원소이다. 질소는 땅속에 질산칼륨이나 암모늄염 등과 같은 질소 화합물의 형태로 들어 있는데, 식물이 여러 해 동안 질소 화합물 속의 질소를 쓰고 나면 질소가 고갈되어 농업 생산성이 급격히 떨어지게 된다.

질소 화합물을 대량으로 생산하는 방법은 독일의 화학자 하버가 열었다. 19세기 말 화학자들은 공기 중의 질소와 수소를 반응시켜 암모니아를 얻는 방법을 연구하고 있었지만, 아무리 노력해도 에너지 소모가 적은 경제성 있는 암모니아를 생산할 수 없었다. 그런데 1905년 하버가 높은 온도에서 철을 촉매로 사용하여 질소와 수소로부터 소량의 암모니아를 합성할 수 있다고 발표하였다. 이어 촉매를 바꿔 500℃, 200 기압에서 6~10%의 수율로 암모니아를 합성해 내었다. 1913년에는 BASF 사의 보슈와 협력하여 하루에 20톤의 암모니아를 생산할 수 있었다.

STS 활동

제1차 세계 대전 시 하버의 활동을 조사해 보고 과학자의 사회적 참여에 대해서 토의하여 보자.



암모니아 합성 공장

2-3 중화 반응

다가서기

- 산과 염기의 중화 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.
- 산과 염기의 중화 반응에서 양적 관계를 설명할 수 있다.

핵심 용어

- 중화 반응
- 중화열
- 알짜 이온
- 구경꾼 이온
- 염

머리를 비누로만 감으면 머리카락이 뻣뻣해서 잘 빗어지지 않는다. 그러나 마지막에 식초 한 방울을 떨어뜨린 물에 헹구면 머리카락이 훨씬 부드럽게 느껴진다. 또한 벌레나 개미에 물리면 붓고 아픈데 이것은 벌레나 개미의 침에 들어 있는 물질 때문이다. 이때 묽은 암모니아수를 발라 주면 붓고 아픈 증상이 사라진다.

머리카락이 부드러워진 것은 비누의 성분과 식초의 성분이 반응하였기 때문이다. 비누와 식초가 만나면 어떤 변화가 생겨 머리카락이 부드러워지며, 암모니아수가 벌레나 개미의 침 속의 성분과 어떤 반응을 하는지 알아보자.

1 중화 반응

산과 염기를 반응시키면 산과 염기의 성질이 사라지는데, 이것은 산과 염기가 반응하여 물과 염을 생성하기 때문이다. 이러한 반응을 **중화 반응**이라고 하는데, 이때 물은 산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온의 결합으로 생성된다. 또한 염은 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합하여 생성되는 물질을 말한다.

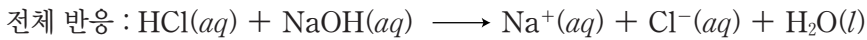
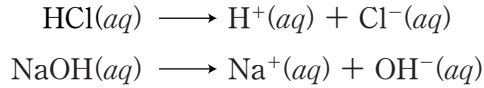


염산과 수산화나트륨 수용액의 반응을 통해 중화 반응을 알아보자

염산은 수소 이온과 염화 이온으로 이온화하고, 수산화나트륨은 수용액에서 나트륨 이온과 수산화 이온으로 이온화한다. 두 수용액이 반응하여 염화나트륨인 염과 물이 생성되는데, 이를 다음과 같은 반응식으로 나타낼 수 있다.



그림 IV-19 중화 반응



다음 탐구 활동을 통하여 산성 물질과 염기성 물질을 서로 반응시킬 때의 변화를 확인해 보자.

탐구

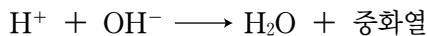
시범 활동 35 | 산과 염기의 중화 반응

- **목적** 지시약으로 중화 반응 확인
- **준비물** 3% 수산화나트륨 수용액, 3% 묽은 염산, pH 1~13 완충 용액, 1자형 13홈 판, 24홈 판, 만능 pH 지시약, 스포이트
- **과정**
 - ① 1자형 13홈 판에 pH 1부터 13까지 완충 용액을 순서대로 세 방울씩 떨어뜨린 다음, 만능 pH 지시약을 각각 한 방울씩 떨어뜨린다.
 - ② 이때 각 pH에서 나타나는 만능 pH 지시약의 색깔 변화를 관찰한다.
 - ③ 24홈 판의 비어 있는 홈에 만능 pH 지시약 한 방울과 3% 묽은 염산 10방울을 넣는다.
 - ④ 여기에 3% 수산화나트륨 수용액을 한 방울 떨어뜨리고, 다음 홈에는 두 방울, 그 다음 홈에는 세 방울, ……, 이렇게 한 방울씩 증가시키면서 떨어뜨린다. 지시약의 색깔 변화를 관찰하여 그 색에 해당하는 pH 값을 기록한다.
 - ⑤ 각 홈에서 나타나는 만능 pH 지시약의 색깔 변화를 관찰하고, pH 7에 가장 가까운 색깔 변화가 나타난 홈을 찾아본다.
- **정리**
 1. 묽은 염산에 수산화나트륨 수용액을 방울 수를 증가시키면서 떨어뜨렸을 때 만능 pH 지시약의 색깔 변화는 어떠한가?
 2. 묽은 염산에 수산화나트륨 수용액을 떨어뜨릴 때 관찰되는 pH 변화를 통해 용액의 성질은 어떻게 변하는지 토의하여 보자.



이 실험에서 사용한 것과 같이, 지시약은 어떤 용액의 액성에 따라 산성 또는 염기성에서 색깔이 달라지므로, 중화 반응에서 용액이 중화가 되는 순간을 찾는 데 매우 유용하다.

지시약을 사용하는 것 외에 산과 염기가 중화되었다는 것을 어떻게 알 수 있을까?
 산 수용액과 염기 수용액을 혼합하면 온도가 상승하게 되는데, 이것은 중화 반응이 일어날 때 열이 발생하기 때문이다. 이때 발생하는 열을 **중화열**이라고 한다.



산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온이 가장 많이 반응한 경우 중화열도 가장 많이 발생하므로 온도가 가장 높게 올라간다. 산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온이 최대로 반응하였을 때 중화점에 도달하였다고 볼 수 있으므로, 중화열을 측정하면 지시약을 사용하지 않고도 용액이 중화되었는지를 알아낼 수 있다.

2 중화 반응에서의 이온 모형

강산과 강염기가 완전히 중화 반응을 하면 산성도 염기성도 아닌 중성의 용액이 생성된다. 두 용액을 섞었을 때 어떤 반응이 일어나는지 묽은 염산과 수산화나트륨 수용액의 중화 반응을 통하여 살펴보자.

그림 IV-20의 모형에 따르면, 수산화나트륨 수용액에는 나트륨 이온과 수산화 이온이 들어 있고, 묽은 염산에는 수소 이온과 염화 이온이 들어 있다. 이 두 수용액이 만나서 중화 반응을 일으킬 때 수소 이온과 수산화 이온은 1:1의 개수 비로 서로 반응하여 물 분자를 생성하게 된다.

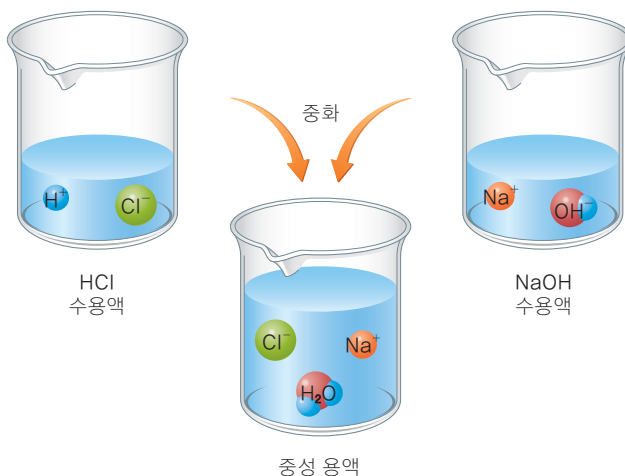
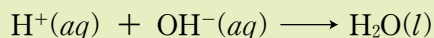


그림 IV-20 중화 반응 때의 이온 모형

실제로 반응에 참여한 이온을 **알짜 이온**이라고 하고, 이를 화학 반응식으로 나타낸 것을 **알짜 이온 반응식**이라고 한다.



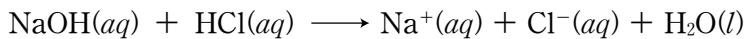
그렇다면 산의 음이온인 염화 이온과 염기의 양이온인 나트륨 이온은 어떻게 되었을까?

실제로 반응한 수소 이온과 수산화 이온과는 달리 나트륨 이온이나 염화 이온은 반응에 참여하지 않고 그대로 남아 있다. 이러한 이온을 **구경꾼 이온**이라고 부른다.

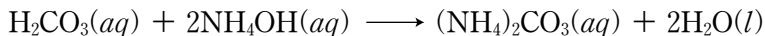
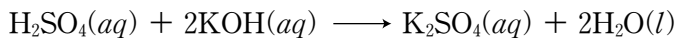
산과 염기의 수용액이 만나서 중화 반응을 하면 수소 이온과 수산화 이온은 반응하여 물이 되고, 산의 음이온과 염기의 양이온은 용액 중에 이온 상태로 남아 있다. 이 용액을 가열하여 물을 증발시키면 나트륨 이온과 염화 이온이 결합하여 고체 염화나트륨이 된다.

이처럼 중화 반응에서 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합하여 생성된 염화나트륨과 같은 물질이 **염**이다.

수산화나트륨 수용액과 묽은 염산에서 염과 물이 생성되는 중화 반응을 식으로 나타내면 다음과 같다.



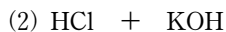
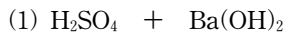
몇 가지 중화 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



중화 반응은 일상생활에서 다양하게 이용되고 있다. 벌에 쏘였을 때 암모니아수를 바르거나 산성화된 토양에 석회 가루를 뿌리는 것은 바로 중화 반응을 이용한 예이다. 또 위산이 많이 분비되어 속이 쓰릴 때 제산제를 복용하는 것도 중화 반응을 이용한 예이다. 신 김치에 달걀 껍데기나 조개껍데기를 넣어 두는 것도 산을 중화시켜 신맛이 덜 나게 하기 위한 것이다.



아래 산과 염기의 반응을 화학 반응식으로 완성하여라.



| 쥐불놀이 |

정월 대보름 풍습 중의 하나인 쥐불놀이는 강통에 불을 담아 논과 밭을 태우는 것이다. 해충의 애벌레를 제거하려는 목적 외에 타고 남은 재가 산성화된 토양을 중화시키는 역할을 하기 때문이다.



▲ 쥐불놀이 모습

A. 위산과 제산제

사람의 위에는 소화를 돕는 위액이 하루에 2~3 L 분비되는데, 이 위액에는 pH가 1.0~3.0 정도의 염산이 들어 있다.

그런데 심한 스트레스를 받거나, 과식이나 상한 음식을 먹게 되면 위에 산이 증가하여 팽만감, 근육 수축, 통증, 출혈 등이 나타난다. 이런 경우에 과량의 염산을 중화시킬 수 있는 약품이 제산제이다.

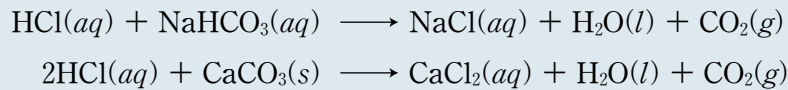


▲ 제산제를 물에 넣었을 때 발생하는 이산화탄소 기포



▲ 제산제

제산제는 위 속의 과량의 염산과 반응하여 해가 없는 물질과 물을 생성하므로 통증을 완화시켜 준다.



B. 헬리코박터 균

위는 염산을 분비하여 pH 1~3을 유지하는데, 염산은 소화 효소인 펩신을 활성화시키며 미생물을 죽이는 살균 효과가 있다. 그런데 위궤양의 원인이 되는 헬리코박터 균은 이러한 강산의 환경에서도 살 수 있다. 헬리코박터 균은 '유리에이즈'라는 효소를 가지고 있어서 염기인 암모니아를 만들어 염산을 중화시킨다. 따라서 위산이 분비되면 헬리코박터 균들 중 일부가 터져 유리에이즈를 나머지 헬리코박터 균에 뿌려 주어 살게 되고, 위산의 분비가 감소하면 몇 시간 안에 원래의 숫자로 증식한다. 이것이 헬리코박터 균의 박멸이 어려운 이유 중 하나이다.

STS 활동

위산의 분비가 적거나 많을 때, 우리 건강에 어떤 영향을 미치는지 토의하여 보자.



2-4 생명 현상에 관여하는 산과 염기



다가서기

- 아미노산의 산-염기로서의 특성을 이해한다.
- 생명 현상에 관여하는 핵산의 구조를 설명할 수 있다.

음식의 맛을 내는 데 쓰이는 조미료는 아미노산을 포함하고 있다. 모든 생물체는 단백질을 포함하고 있으며, 단백질은 생명 현상에 필요한 모든 기능을 수행하는 중요한 역할을 하고 있다.

단백질을 구성하는 단위는 아미노산이다. 이와 관련된 실험으로 밀러의 실험으로 들 수 있는데, 밀러의 실험은 원시 지구의 대기 성분으로 예상되는 메테인, 암모니아, 수증기와 같은 화합물에 전기적 자극을 주어 생명의 기초적인 단위인 아미노산을 생성하는 실험이다.

암모니아는 루이스의 산-염기 정의로 볼 때 비공유 전자쌍 주개로 루이스의 염기에 해당하며, 화학 반응을 통해 쉽게 수소 이온과 결합하여 암모늄 이온 등의 화합물 형태를 지니게 된다. 암모니아 분자는 분자가 지닌 극성과 루이스 염기로서의 특성은 세포 내의 용해성을 높이며, 아미노산과 핵산의 구성 성분으로 생명 현상을 유지하는 데 중요한 물질이 된다.

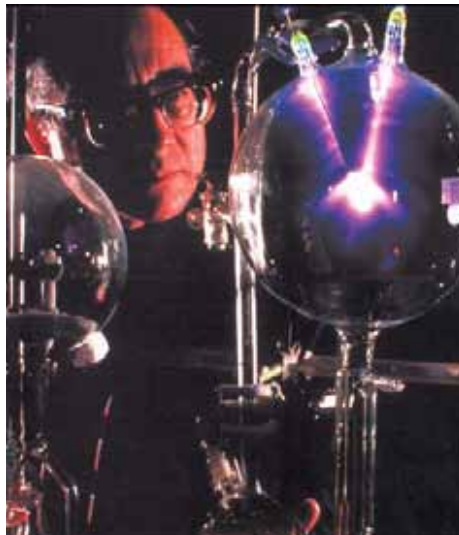


그림 IV-21 밀러의 실험 장치

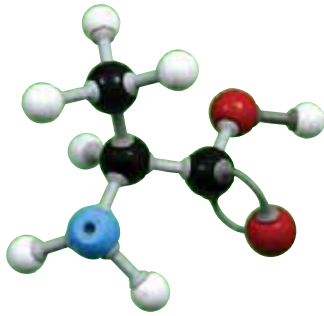
핵심 용어

- 암모니아
- 아미노산
- 핵산
- 뉴클레오타이드
- 인산 결합
- 뉴클레오사이드
- 폴리뉴클레오타이드 중합체
- 상보적 염기쌍

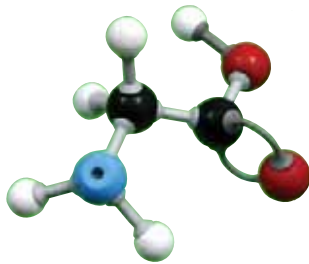
1 아미노산

아세트산에서 탄소와 결합하고 있는 3개의 수소 원자 중에서 1개를 $-NH_2$ 로 치환하면 아미노산이 얻어진다. 이때 $-NH_2$ 단위를 아미노기라고 하는데, 암모니아와 마찬가지로 아미노기도 비공유 전자쌍을 가지고 있으므로 브뢴스테드-로우리의 염기 또는 루이스 염기로 작용하여 수소 이온을 쉽게 받아들인다.

아미노산은 한 분자 안에 아미노기($-NH_2$)와 카복시기($-COOH$), 즉 염기성 부분과 산성 부분을 동시에 가지고 있는 화합물이다. 20여 개의 서로 다른 아미노산들이 단백질을 만드는 데 사용된다.



알라닌



글라이신

이 아미노산들은 모두 그림 IV-22에 나타난 것과 같이 중앙의 탄소 원자에 아미노기 한 개와 카복시기 한 개, 수소 원자 한 개 또는 알킬기 R-로 둘러싸인 구조를 하고 있다.

아미노산은 수용액의 액성에 따라 분자의 존재 형태가 달라지는데, 산성 용액에서는 아미노기를 구성하는 질소 원자의 비공유 전자쌍이 수소 이온과 결합하는 염기로 작용하므로 수소 이온을 받고, 염기성 용액에서는 카복시기가 산으로 작용하므로 수소 이온을 내어놓는다.

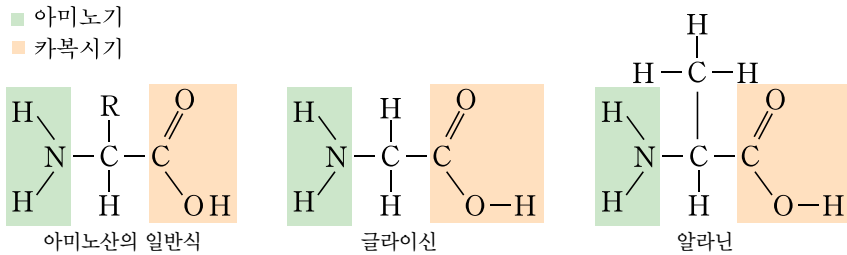
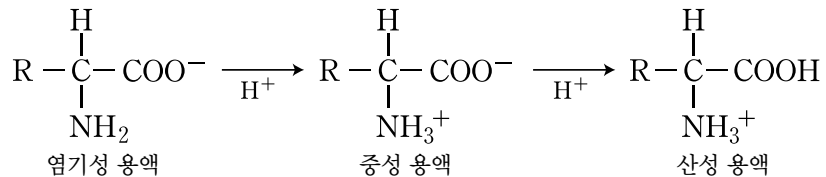


그림 IV-22 아미노산의 일반식과 대표적인 아미노산

아미노산은 물에 녹아 있을 때 분자 내에 음이온 $-\text{COO}^-$ 과 양이온 $-\text{NH}_3^+$ 을 가지는 양쪽성 이온의 상태로 존재한다.



아미노산이 물에는 잘 녹지만 유기 용매에 잘 녹지 않는 것은 아미노산이 분자 내에서 이온화되어 극성을 띠기 때문이다.

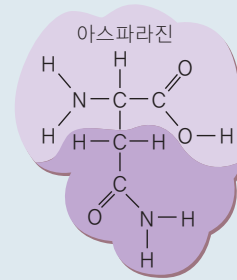
아미노산은 이러한 극성으로 인해 체액의 대부분을 차지하는 물에 녹아 세포 내에서 세포 활동에 참여할 수 있는 특성을 지닌다.

2 핵산

부모와 자식이 닮은 것은 유전자 때문으로, 유전자는 유기체를 형성하기 위해 물려주는 청사진이라고 할 수 있다. 유전자의 본질이 DNA임이 밝혀지자, 과학자들은 DNA의 분자 구조를 밝히면 유전 정보의 저장, 복제, 전달 및 발현 과정을 명확하게 이해할 수 있을 것으로 생각하였다. 유전 정보를 지닌 기본 분자인 핵산에 대하여 알아보자.

사람은 식품에서 9가지 아미노산을 얻어야 한다. 이들은 인체에서 만들어 내지 못하는 필수 아미노산으로, 트레오닌, 트립토판, 메싸이오닌, 라이신, 페닐알라닌, 아이소류신, 발린, 히스티딘, 류신 등이다. 인체는 이들 필수 아미노산을 이용하여 건강에 필요한 단백질을 합성한다. 예를 들어, 황을 함유하는 아미노산인 메싸이오닌은 셀레늄과 칼륨의 흡수와 전달에 필수적이다. 또한 간에 지방이 과도하게 축적되는 것을 방지하며, 납이나 카드뮴, 수은 등의 중금속과 결합하여 인체로부터 배출시킬 수 있도록 한다. 대부분의 식품 단백질에서는 쉽게 얻을 수 없으며, 육류, 어류 및 유제품에서 얻을 수 있다. 그 밖의 필수 아미노산이 아닌 것들도 또한 인체 대사에서 흥미로운 역할을 한다.

- * **트립토판** 유제품이나 달걀, 어류 및 견과류에 들어 있으며, 우울증, 불면증, 편두통 및 면역 기능 장애를 조절하는 데 필요하다.
- * **아스파라진** 아스파라거스에 많이 들어 있다. 아미노산 용액에 닐하이드린 시약을 넣고 끓인 다음 식히면 푸른 보라색을 나타낸다. 이것을 닐하이드린 반응이라고 하며, 아미노산 검출에 이용한다.



▲ 아스파라거스(좌)와 아스파라진의 분자 구조(우)

생명체는 수많은 세포로 이루어져 있다. 예를 들어 사람은 약 60조 개의 세포로 이루어져 있으며, 세포핵 안에는 생명체의 유전 정보를 담고 있는 긴 사슬 모양의 분자인 핵산으로 가득 차 있다.

핵산은 세포핵 안에 많이 들어 있는 산성을 나타내는 물질이라는 점에서 핵산이라고 부른다.

핵산은 다음과 같은 두 종류, 주로 세포의 핵에 존재하는 디옥시리보핵산(deoxyribo-nucleic acid, DNA)과 세포의 내부 전체에 존재하는 리보핵산(ribo-nucleic acid, RNA)으로 나눌 수 있다. 이 중에서 유전 정보를 기록하는 핵심 물질은 DNA이다.

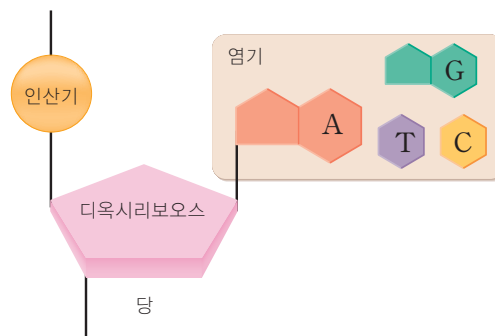


그림 IV-23 뉴클레오타이드의 분자 구조

| DNA의 경우 A-T, C-G 결합 |

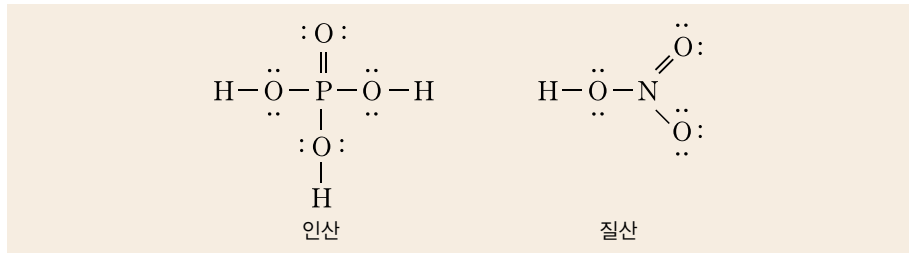
- 당: DNA를 구성하는 5탄당(탄소 원자 5개가 결합한 당) 디옥시리보오스
- 인산: 산성을 띠는 부분으로, 이 부분이 있기 때문에 DNA를 핵산이라고 부른다.

핵산을 이루고 있는 기본 단위는 뉴클레오타이드로서, 인산과 당, 염기로 이루어져 있다.

DNA의 염기는 탄소, 수소, 질소로 이루어진 고리 모양의 화합물로서, 고리가 하나인 티민(T)과 사이토신(C), 고리가 두 개인 아데닌(A)과 구아닌(G)의 4종류로 이루어져 있다. 반면 RNA는 염기로 티민 대신 유라실(U)을 가지며, 인산은 공통적으로 무기 인산으로 이루어져 있다.

DNA에서 질소는 염기로서 중요한 역할을 담당하고, 인은 산으로서의 중요한 역할을 담당하고 있다. DNA에서 구슬에 해당하는 염기에는 질소가 들어 있고, 구슬을 꿰는 데 필요한 산에는 인이 들어 있는 것이다. 인의 산화물인 인산은 그림 IV-23에 나타낸 것과 같이 DNA에서 '당-인산' 골격을 만들어 긴 끈과 같은 고분자를 만드는 데 뼈대를 제공한다.

뉴클레오타이드는 인산 결합으로 핵산을 형성한다. 이 결합을 이해하기 위하여 인산과 질산의 구조를 루이스 전자점식으로 표현하여 보면 다음과 같다.

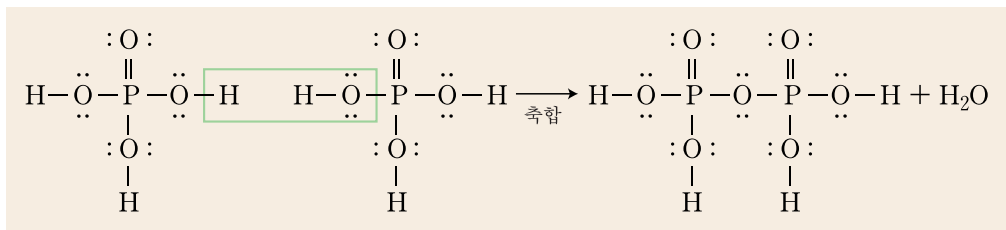


| 에스터 결합 |

분자 사이에 $\begin{matrix} -C-O- \\ || \\ O \end{matrix}$ 로 연결된 결합

질산(HNO₃)의 경우는 중심 원자인 질소 원자 주변의 전자가 8개로 옥텟을 형성하였으나, 인산(H₃PO₄)의 경우는 중심 원자인 인 원자 주변의 전자가 10개로 옥텟 규칙을 만족시키지 못하며, 이 구조는 확장된 옥텟 규칙이 적용됨을 알 수 있다.

인산은 확장된 옥텟 규칙의 여유로운 전자로 인하여 세 개의 산으로 이온화할 수 있는 -OH를 가지게 된다. 반면 질산은 확장된 옥텟 규칙이 적용되지 않으므로 산으로 이온화할 수 있는 -OH기가 하나밖에 없다. 따라서 인산은 쉽게 두 분자의 산에서 물 한 분자가 빠져나오면서 '인산 에스터 결합'을 형성한다.



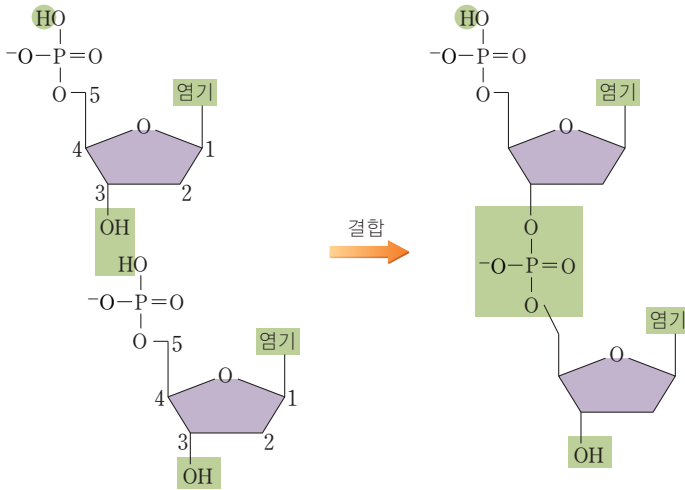


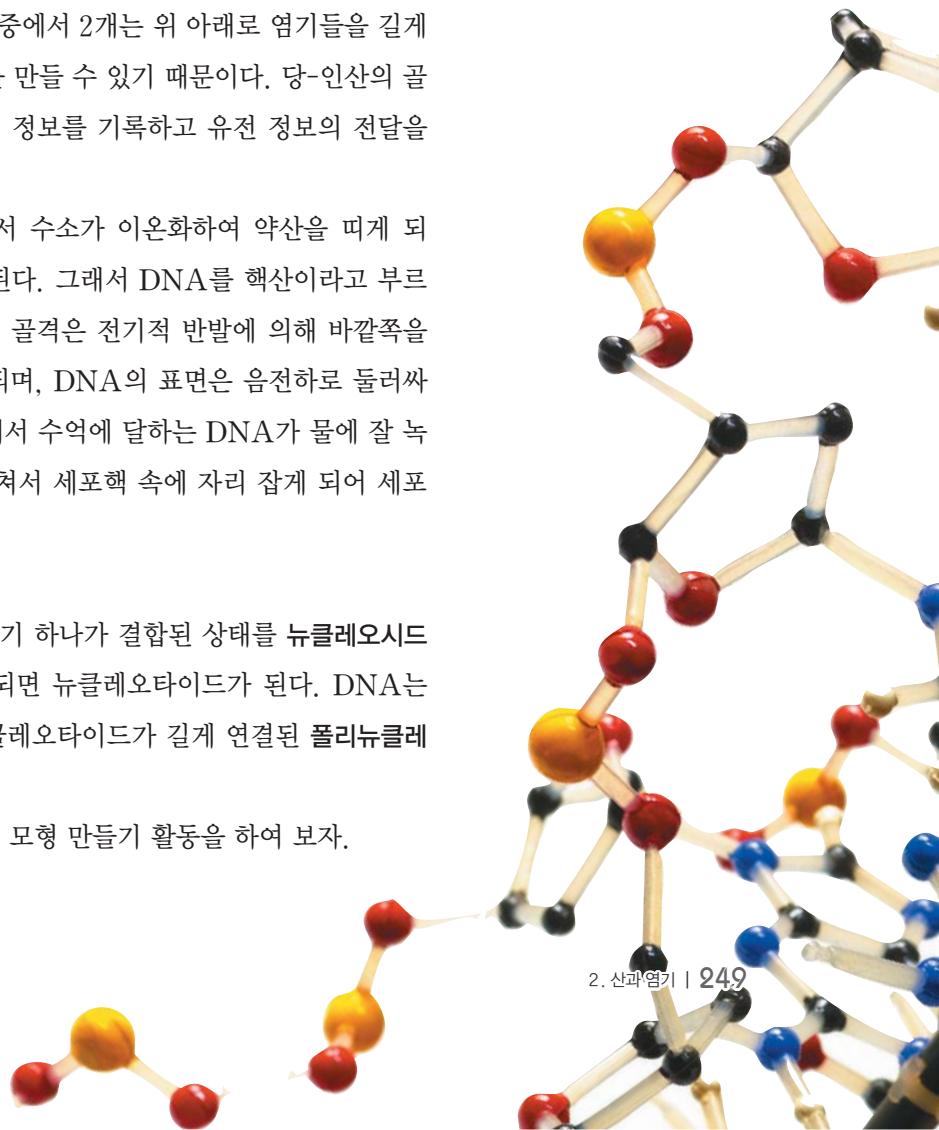
그림 IV-24 뉴클레오타이드 사이의 인산 에스터 결합 방법

DNA는 각 뉴클레오타이드들의 인산 에스터 결합에 의해 형성되는데, 인산이 확장된 옥텟 규칙에 의해 생성된 3가 산이라는 것이 생명 현상을 설명하는 데 매우 중요하다. 인산에 포함된 3개의 $-OH$ 중에서 2개는 위 아래로 염기들을 길게 연결해 주는 역할을 하여 당-인산의 골격을 만들 수 있기 때문이다. 당-인산의 골격은 염기를 특정한 서열로 배열하여 유전 정보를 기록하고 유전 정보의 전달을 돕는 역할을 한다.

인산에 포함된 나머지 하나의 $-OH$ 에서 수소가 이온화하여 약산을 띠게 되며, 이러한 이유로 DNA는 산성을 띠게 된다. 그래서 DNA를 핵산이라고 부르며, 음전하를 띤다. 또 DNA 이중 나선의 골격은 전기적 반발에 의해 바깥쪽을 향하고 극성을 띤 나선형 구조를 가지게 되며, DNA의 표면은 음전하로 둘러싸인 상황이 된다. 따라서 분자량이 수백만에서 수억에 달하는 DNA가 물에 잘 녹게 되며, 또한 양전하를 가진 단백질과 뭉쳐서 세포핵 속에 자리 잡게 되어 세포 내에서 세포 활동에 참여하게 되는 것이다.

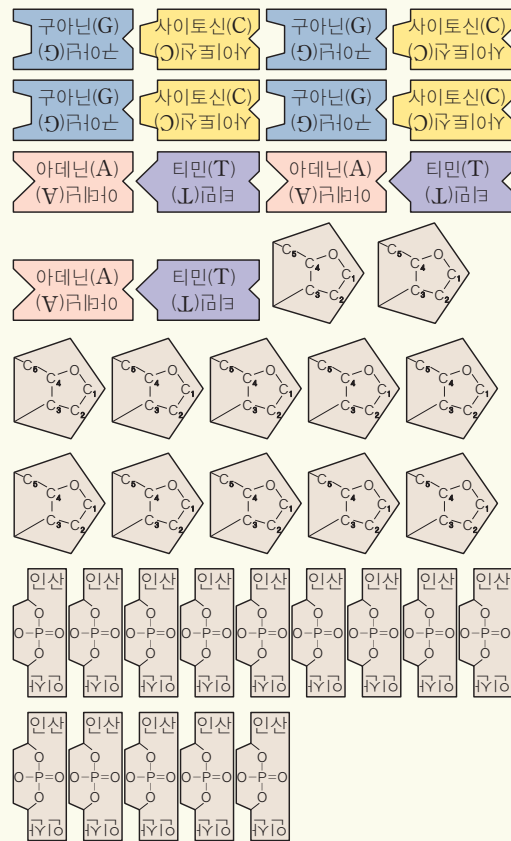
그림 IV-24에 나타난 것과 같이 당에 염기 하나가 결합된 상태를 뉴클레오시드라고 하며, 당에 염기와 인산기까지 결합되면 뉴클레오타이드가 된다. DNA는 네 종류의 염기로 만들어진 네 종류의 뉴클레오타이드가 길게 연결된 폴리뉴클레오타이드 중합체이다.

DNA의 구조를 이해하기 위해 스티커로 모형 만들기 활동을 하여 보자.



| 활동 36 | DNA의 구조 모형

- 목적 DNA의 구조를 이해하기
- 준비물 당, 인산, 염기가 인쇄된 스티커 용지 (권말 부록 'DNA 분자 구조 이해하기' 이용)
- 과정
 - ① 인쇄된 5탄당의 스티커를 오려 낸다.
 - ② 인쇄된 염기의 스티커를 오려 낸다.
 - ③ 인쇄된 인산의 스티커를 오려 낸다.
 - ④ 인산-당 골격을 만든다.
 - ⑤ 인산-당 골격 내의 상보적 염기쌍을 만든다.
 - ⑥ 뉴클레오타이드 구조를 완성한다.
- 유의점 당, 인산, 염기 스티커를 오려서 두꺼운 종이에 붙여 DNA 이중 사슬을 완성하도록 한다.
- 정리
 1. 인산과 당이 붙는 위치는 어떠한가?
 2. 상보적 결합은 어느 염기에서 이루어지는가?



| 사가프의 법칙 |

모든 DNA 중에 아데닌(A)의 양은 티민(T)의 양과 같고, 구아닌(G)의 양은 사이토신(C)과 같다.
 $A=T, C=G, A+G=T+C$

DNA는 폭에 비하여 길이가 매우 긴 분자로서, 두 개의 폴리뉴클레오타이드 사슬이 서로 마주 보면서 나선형으로 꼬여 있는 형태이다. 사슬을 이루고 있는 '당-인산-당'의 골격은 나선 구조의 바깥쪽에 위치하고, 두 사슬의 염기(A, G, T, C)들은 안쪽에 놓여 있다. 특히, 두 사슬의 염기들은 서로 마주 보며 수소 결합에 의해 쌍을 이루고 있다. 수소 결합에 의한 두 가닥 뉴클레오타이드의 결합이 DNA의 구조를 나선형으로 만들어 준다.

그림 IV-25에서와 같이 아데닌은 티민과 수소 결합을 하고, 사이토신은 구아닌과 수소 결합을 한다. A, T, G, C는 모두 질소 화합물이므로 A-T, G-C 사이에서 수소 결합의 구조적 안정성을 드러낸다.

질소와 결합하고 있는 수소는 전기 음성도가 질소보다 작아 부분적으로 양전하를 띠기 때문에, 상대 염기에 부분적으로 음전하를 띤 질소나 산소가 위치하고 있으면 전기적으로 끌려서 N-H...O 또는 N-H...N과 같은 형태의 수소 결합을 이루게 된다. 수소 결합에 의한 염기쌍의 형성은 지구 상의 모든 생명 현상을 이루고 유지하는 기본 체계이다.

A는 항상 T와 쌍을 이루고 있으며, G는 항상 C와 쌍을 이루고 있다. 이와 같이 A와 T, G와 C 사이의 결합은 항상 상대 염기의 종류를 서로 정해 주기 때문에 상보적 염기쌍이라고 한다.

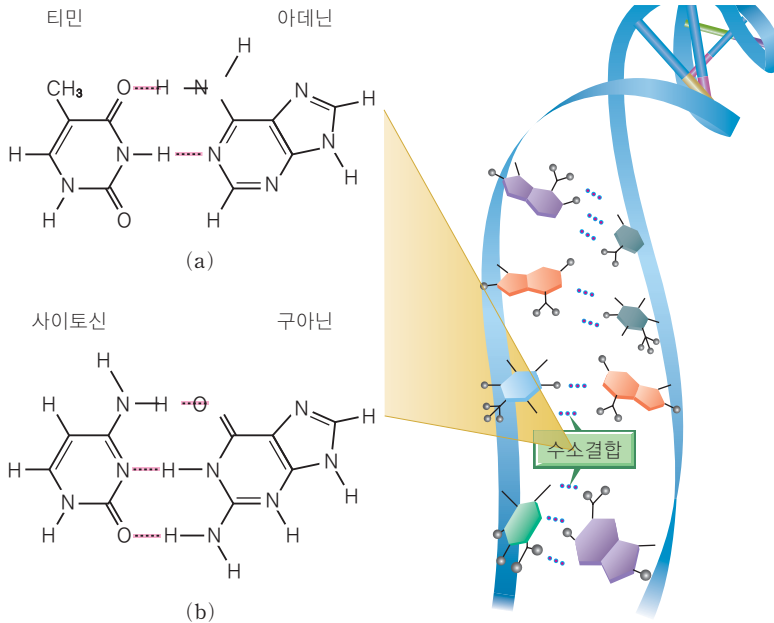


그림 IV-25 염기쌍 간의 수소 결합

생명 현상에 관여하는 아미노산, 핵산 등은 그 작용기의 특성으로 산의 성질도 가지고 있으며, 또한 비공유 전자쌍이 수소 이온과 결합함으로써 염기로서의 특징도 나타낸다. 아미노산 및 핵산이 나타내는 이러한 성질로 인해 체액의 70%를 차지하는 물에 대한 용해성이 커져서 세포 내 활동에 참여하여 생명 현상을 유지하는 데 중요한 물질이 되고 있다.



그림 IV-26 DNA의 이중 나선 구조



샤가프(Chargaff, E.: 1905~2002) 미국의 컬럼비아 대학교 생화학자 교수인 샤가프는 1950년에 다양한 생물의 조직이나 세포에서 DNA를 추출하여 분석한 결과, 항상 염기 A와 T의 양이 같고, G와 C의 양도 같다는 사실을 발견하였다.

02 중단원 마무리

산과 염기

되짚어 보기

산과 염기 정의

아레니우스 • 수용액에서 이온화하여 H^+ 를 내는 물질 산, OH^- 를 내는 물질이 염기이다.

브뢴스테드-로우리 • H^+ 를 내놓는 물질이 산, H^+ 를 받아들이는 물질이 염기이다.

루이스 • 전자쌍을 받아들이는 물질이 산, 전자쌍을 내놓는 물질이 염기이다.

pH • 수소 이온 농도 $[H^+]$ 의 역수의 상용로그값
 $pH = -\log[H^+]$

중화 반응 • 산과 염기가 반응하여 염과 물이 생성되는 반응이다.

염 • 산의 수소 이온 대신 금속 이온이나 NH_4^+ 이 치환된 화합물, 염기의 OH^- 이 다른 음이온으로 치환된 화합물이다.

아미노산 • 분자 내에 아미노기($-NH_2$)와 카복시기($-COOH$)를 가지는 물질이다.

핵산 • 기본 단위가 뉴클레오타이드이고, 염기, 당, 인산의 3부분으로 구성된다.



창의성 기르기

우리가 먹는 음식이나 가정에서 사용하는 일용품에는 산성과 염기성을 나타내는 것이 많이 있다. 다음은 여러 가지 물질의 pH를 나타낸 것이다.



물질	염산	위산	레몬주스	식초	맥주	우유
pH	2.0	1.0~3.0	2.2~2.4	2.4~3.4	4.0~4.5	6.4
물질	피	해수	제빵 가루	제산제	유리 세척제	표백제
pH	7.4	7.0~8.3	8.4	10.5	11.9	14.0



토의·조사

1. 우리 주변에서 염기성을 나타내는 식품을 조사하여 보자.
2. 과다한 위산을 중화하기 위해서 제산제로 어떤 물질을 사용하면 좋을지 토의하여 보자.
3. 우리 몸속의 피의 pH가 변하면 어떤 일이 발생할 것인지 토의하여 보자.

도전문제

- 1 (어휘) 다음 용어를 설명하여라.

(1) 산	(2) 염기	(3) 중화 반응
(4) 지시약	(5) 아미노산	(6) 핵산

- 2 (비판적 사고) 아레니우스의 산-염기 이론은 수용액에서만 적용되므로 물이 아닌 다른 용매에서는 산과 염기를 설명할 수 없었다. 아레니우스의 정의보다 넓은 의미의 정의에는 어떤 것이 있는가?

- 3 (모둠 활동) 핵산의 구조를 스티커 모형(당-인산-염기)을 이용하여 만들어 보고, DNA의 2중 나선 구조에 대해 토의하여 보자.

- 4 (의사소통) 산과 염기의 세기를 나타내는 방법에 대해 토의하여 보자.

- 5 (적용) 중화 반응에 관련된 다음 물음에 답하여라.
 5% 염산 10 mL와 10% NaOH 수용액 10 mL의 혼합 용액 속에 존재하는 이온은 무엇인가?

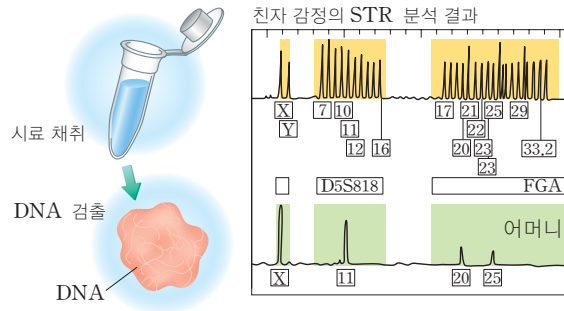


인성 기르기

DNA의 구조와 기능이 발견되면서 유전자 변형 기술이 급속도로 발전하고 있다. 이런 기술은 식량 문제, 의료·환경 문제, 농업 분야, 자원 부족 문제 등을 해결하는 데 초점을 맞추고 있다.

최근 DNA 감정에서 STR 분석이 사용되는데, 이 분석은 사람에 따라 DNA의 배열이 다른 것을 이용하고 있다.

유전자 검사 센터에 DNA 검사를 의뢰하려고 철수 아버지의 칫솔과 철수의 타액을 준비하여 친자 확인을 의뢰하였다.



▲ STR 분석

토의·조사

1. DNA 감정에서 STR 분석법을 조사하여 보자.
2. 친자 확인을 의뢰한 사실에 대해 어떻게 생각하는지 친구들과 의견을 나누어 보자.
3. DNA 검사로 어떤 범죄를 예방할 수 있는지 토의하여 보자.



만화로 보는 정리





다음 제시문은 화학이 인류에게 미친 긍정적인 영향과 부정적인 영향에 대한 것이다.

[제시 I] 생명 연장의 꿈은 고대를 이어 현대 사회에까지 모든 이들의 꿈이었다. 그렇게 불로초를 향한 연금술사들의 도전의 역사를 통해 지구 상에 존재하는 각종 물질의 근본인 ‘원자와 분자’의 비밀이 밝혀질 수 있었다. 1928년 영국의 세균학자 플레밍(Fleming, A.: 1881~1955)이 곰팡이로부터 최초의 항생제인 페니실린을 발견하고부터 인류를 질병의 위협으로부터 구한 수많은 화학 물질들이 개발될 수 있었다. 항생제인 팩티브, 항암제인 글리벡, AIDS 치료제 등의 신약이 화학을 통해 개발되어 인류의 생명 연장에 크게 기여하였다.

[제시 II] 화학자들이 발견한 인공 화합물 없이는 현대 문명사회는 가능할 수 없었다. 합성염료, 섬유 등의 개발로 신분 차별을 없애 사회 민주화에 기여하고, 화학 비료를 통해서는 굶주림을 해결하였으며, 플라스틱 개발로는 생물 자원의 고갈을 막았다.

[제시 III] 기름 값보다 식수 값이 더 비싸진 것이 이미 오래다. 모두들 환경 오염을 우려하는 목소리를 높이고 있으며, 심지어는 원시적인 옛날로 돌아가자는 극단적인 주장을 하는 사람도 있다. 이미 환경 오염은 전 세계적인 문제가 되어 개별 국가의 생산 활동에 제약을 가하는 단계에까지 이르렀으며, 우리의 기본적인 생활마저도 위협할 정도가 되었다. 이러한 현상에는 화학의 영향이 크다. 화학은 우리에게 이익을 가져다 준 만큼 엄청난 피해 또한 안겨 주었다. 나날이 발전하는 전쟁 무기는 인간의 대량 학살에까지 이르게 되었고, 끊임없이 뿜어져 나오는 매연은 기본적인 생활 환경까지 빼앗아 버렸고, 심지어는 인간의 생존마저 위협하는 단계에 이르게 되었다.



▲ 항생제로 쓰이는 페니실린

1 위에 제시한 내용에 나오는 다음 용어를 찾아 설명하여라.

- (1) 페니실린 (2) 항암제 (3) 항생제 (4) 플라스틱

2 위의 제시를 근거로 하여 화학이 인류에게 미친 긍정적인 영향 세 가지와 부정적인 영향 세 가지를 써라.

3 제시한 글을 읽고, 화학 연구를 앞으로 어떻게 해야 하는지 자신의 의견을 써라.



개념정리

짧은골 화학 반응

산화와 환원

산소와 산화-환원 반응	산화 반응 - 산소를 얻는 반응 환원 반응 - 산소를 잃는 반응
광합성 반응 호흡 반응	포도당 생성 반응 - 환원 포도당이 이산화탄소로 산화된다.
전자 이동과 산화 - 환원	산화 반응 - 물질이 전자를 잃는 반응 환원 반응 - 물질이 전자를 얻는 반응
산화수 규칙	<ul style="list-style-type: none"> • 홑원소 물질의 산화수는 0이다. • 산소의 산화수는 -2, 수소의 산화수는 +1이다 • 플루오르의 산화수는 -1이다. • 일원자 이온의 산화수는 이온의 전하와 같다.

산과 염기

산과 염기 정의	아레니우스-산 : 수용액에서 H ⁺ 을 내는 물질 염기 : 수용액에서 OH ⁻ 내는 물질 (브뢴스테드) -산 : H ⁺ 을 내는 물질 -로우리) 염기 : H ⁺ 을 받는 물질
산과 염기 공통성	산 - H ⁺ 에 의해 공통성을 나타낸다. 염기 - OH ⁻ 에 의해 공통성을 나타낸다.
수소 이온 농도 지수 지시약	pH = -log[H ⁺] pH에 따라 눈에 띄는 색을 나타내는 물질
중화 반응	중화열 - 산과 염기가 반응할 때 발생하는 열 H ⁺ + OH ⁻ → H ₂ O + 열
생명 현상과 산과 염기	아미노산 - 글라이신, 알라닌
DNA 구조	세포의 핵 속에 이중 나선 구조로 존재 DNA가 이중 나선 구조를 이루고 있을 때, 아데닌(A), 타민(T), 구아닌(G), 사이토신(C)이 이루는 수소 결합은 이중 나선 구조를 유지해 준다.



정리문제

♣ <보기>의 개념을 () 안에 넣어 문장을 완성하여라.

— < 보기 > —				
• 산화수	• 산화	• 환원	• 아레니우스	• 브뢴스테드-로우리
• 루이스	• pH	• 아미노산	• 핵산	• 수소 결합

- 1 ()는 수용액에서 H⁺를 내놓는 물질을 산이라고 하고, ()는 양성자를 받는 물질을 염기라고 하였다. ()는 전자쌍을 제공하는 물질을 염기라고 정의하였다.
- 2 물질이 산소를 얻는 반응이 (), 산소를 잃는 반응이 ()이다. 또한 ()가 증가하는 반응이 산화 반응이다.
- 3 글라이신과 알라닌은 ()의 종류이며, ()은 염기, 당, 인산으로 이루어져 있다. DNA를 구성하는 염기 A와 T, C와 G는 ()으로 이중 나선 구조를 형성한다.
- 4 산과 염기의 세기를 () 수치로 비교할 수 있다.

다음 문장의 진술이 옳은 것은 ○, 틀린 것은 ×를 () 안에 하여라.

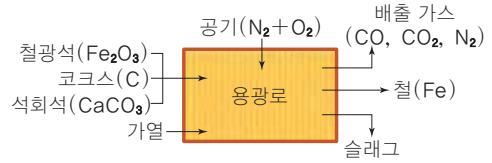
- 5 붉은색 양배추와 포도즙은 지시약으로 사용할 수 있다. ()
- 6 다원자 이온을 구성하는 원자들의 산화수의 합은 0이다. ()
- 7 뉴클레오타이드는 염기, 당, 인산으로 이루어져 있다. ()
- 8 아연이 전자를 내놓고 아연 이온이 되는 반응은 산화이다. ()
- 9 아미노산에 관한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

— < 보기 > —		
ㄱ. 글라이신은 아미노기와 카복시기를 갖는다.		
ㄴ. 아미노산이 결합하여 단백질을 구성한다.		
ㄷ. 수용액에서 산성과 염기성을 나타낸다.		

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

대단원의 종합문제

1 — 다음 그림은 주요 성분이 Fe_2O_3 인 철광석으로부터 철을 얻는 과정을 개략적으로 나타낸 것이다.



철의 제련에 대한 다음 설명 중 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 코크스는 CO나 CO_2 로 변한다.
- ㄴ. 석회석은 슬래그를 만들어 불순물을 제거한다.
- ㄷ. Fe_2O_3 가 산화되어 철이 얻어진다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 — 다음은 세 가지 산화-환원 반응식을 나타낸 것이다.

- (가) $2\text{NO}(g) + \text{F}_2(g) \rightarrow 2\text{NOF}(g)$
- (나) $2\text{NO}(g) + 2\text{H}_2(g) \rightarrow \text{N}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$
- (다) $2\text{Na}(s) + \text{H}_2(g) \rightarrow 2\text{NaH}(s)$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. (가)의 NOF(g)에서 N의 산화수는 +3이다.
- ㄴ. NO(g)는 (가)에서 산화되고, (나)에서 환원된다.
- ㄷ. (다)에서 $\text{H}_2(g)$ 는 산화제이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3 — 승은이는 다음과 같은 실험을 하였다.

- (가) $\text{Sn}(\text{OH})_2(s)$ 을 HCl 수용액에 용해시켰다.
 $\text{Sn}(\text{OH})_2(s) + 2\text{HCl}(aq) \rightarrow \text{SnCl}_2(aq) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$
- (나) 이 SnCl_2 수용액에 HCl(aq)과 $\text{HNO}_2(aq)$ 을 가하고 가열하였더니 기체가 발생하였다.
 $\text{SnCl}_2(aq) + 2\text{HCl}(aq) + 2\text{HNO}_2(aq) \rightarrow \text{SnCl}_4(aq) + 2\text{NO}(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$

이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. (가)의 반응은 산과 염기의 중화 반응이다.
- ㄴ. (나)의 반응에서 N의 산화수는 증가한다.
- ㄷ. (나)의 반응에서 SnCl_2 은 산화제이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4 — 다음 <보기>는 과학 원리가 실생활에 이용되는 예이다.

< 보기 >

가. 신 김치에 소다를 조금 넣어 주면 신맛을 줄일 수 있다.
 나. 위장이 쓰릴 때는 제산제를 복용한다.

주어진 자료에 적용된 원리와 가장 관련이 적은 것은?

- ① 산성화된 호수에 석회를 뿌린다.
- ② 생선에 레몬즙을 뿌려서 비린내를 없앤다.
- ③ 개미나 벌에 물린 곳에 암모니아수를 바른다.
- ④ 벧짚을 태운 재로 산성화된 토양을 중화시킨다.
- ⑤ 수돗물의 잔류 염소는 질산염으로 검출할 수 있다.

5 — 다음 표는 염산과 수산화나트륨 수용액의 양을 변화시키면서 용액의 온도를 측정한 결과이다. (단, 혼합 전 용액의 온도는 모두 같았다.)

실험	I	II	III	IV	V
묾은 염산의 부피(mL)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
수산화나트륨 수용액의 부피(mL)	50.0	40.0	30.0	20.0	10.0
혼합 후의 최고 온도(°C)	25.5	26.5	27.5	28.5	26.5

위의 자료에 대한 설명 중 옳은 것을 다음 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

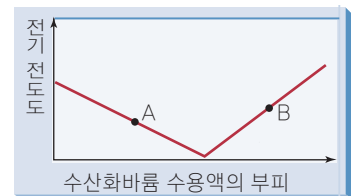
ㄱ. 실험 I 보다 실험V에서 생성된 물 분자의 수가 더 많다.
 ㄴ. 실험 IV의 용액의 전기 전도도가 가장 크다.
 ㄷ. 실험 III의 혼합 용액의 액성은 염기성이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

6 — 그림은 묾은 황산에 수산화바륨(Ba(OH)₂) 수용액을 조금씩 가하면서 전기 전도도를 측정한 결과를 그래프로 나타낸 것이다.



A점의 혼합 용액과 B점의 혼합 용액에 가장 많이 존재하는 이온을 바르게 짝지은 것은?



- | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|----------------|---|-----|-----|---------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|
| <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">A 점</td> <td style="width: 50%;">B 점</td> </tr> <tr> <td>① H⁺</td> <td>OH⁻</td> </tr> <tr> <td>③ H⁺</td> <td>Ba²⁺</td> </tr> <tr> <td>⑤ OH⁻</td> <td>H⁺</td> </tr> </table> | A 점 | B 점 | ① H ⁺ | OH ⁻ | ③ H ⁺ | Ba ²⁺ | ⑤ OH ⁻ | H ⁺ | <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">A 점</td> <td style="width: 50%;">B 점</td> </tr> <tr> <td>② SO₄²⁻</td> <td>Ba²⁺</td> </tr> <tr> <td>④ SO₄²⁻</td> <td>OH⁻</td> </tr> </table> | A 점 | B 점 | ② SO ₄ ²⁻ | Ba ²⁺ | ④ SO ₄ ²⁻ | OH ⁻ |
| A 점 | B 점 | | | | | | | | | | | | | | |
| ① H ⁺ | OH ⁻ | | | | | | | | | | | | | | |
| ③ H ⁺ | Ba ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | |
| ⑤ OH ⁻ | H ⁺ | | | | | | | | | | | | | | |
| A 점 | B 점 | | | | | | | | | | | | | | |
| ② SO ₄ ²⁻ | Ba ²⁺ | | | | | | | | | | | | | | |
| ④ SO ₄ ²⁻ | OH ⁻ | | | | | | | | | | | | | | |

전지의 발달 과정

다음은 전지의 발달 과정에 대한 글이다.

휴대폰으로 못 하는 게 없는 시대다. 하지만 이런 만능 기기도 배터리가 없으면 순식간에 무용지물이 되고 만다. 휴대폰뿐만이 아니다. 디지털카메라, MP3 플레이어, 리모컨, 노트북 컴퓨터 등 요즘의 생활필수품들은 모두 전지로 작동한다. 영국의 일간지 “인디펜던트”는 최근 ‘세상을 바꾼 101가지 발명품’ 가운데 하나로 전지를 선정했다. 이 신문은 “101가지 발명품의 3분의 1 이상이 전지로 움직인다.”고 덧붙이기도 하였다.

전지의 기원은 1700년대로 거슬러 올라간다. 1780년 이탈리아의 과학자 갈바니(Galvani, L.)는 금속 접시 위에 개구리를 올려놓고 해부 실험을 하다가 칼을 개구리 다리에 잠시 걸쳐



갈바니



▲ 나폴레옹 앞에서 실험하는 볼타



2차 전지

놓았다. 그러자 개구리 다리가 움찔거리며 경련을 일으켰다. 갈바니는 이 현상에 주목하고 여러 차례 실험을 거듭하였다. 그리고 마침내 전선으로 연결된 철과 구리 조각을 개구리 다리의 근육 신경 조직에 닿을 때 전기가 흐른다는 사실을 알아내었다. 그는 이 현상을 동물에서

발생하는 전기라고 해서 ‘동물 전기’라고 불렀다. 볼타(Volta, A.)도 갈바니의 실험에 큰 관심을 보였다. 그는 수차례의 실험 결과 같은 종류의 금속을 가져다 대었을 때는 개구리 다리가 움직이지 않는다는 사실을 발견하였다. 따라서 그는 두 가지 금속에 있는 정전기의 양이 서로 달라 전기가 흐르며, 개구리 다리는 전선 구실을 하는 데 지나지 않는다고 생각하였다. 이러한 생각을 바탕으로 볼타는 구리판과 아연판을 번갈아 쌓고 그 사이사이에 소금물에 적신 종이를 끼웠다. 그리고 거기에 전선을 연결하였다. 볼타 전지가 탄생하는 순간이었다.

볼타는 1800년 이 전지를 대중 앞에 공개하였다. 이로써 마침내 동물에서 전기가 발생한다는 ‘동물 전기’ 이론에 종지부를 찍었다. 이 소식은 당시 유럽을 지배하고 있던 나폴레옹의 귀에도 들어갔다. 이듬해 볼타는 나폴레옹 앞에서 전지로 전기를 생산해 낼 수 있다는 사실을 증명하여 보임으로써 학문적 명성과 아울러 정치적 힘도 얻었다. 전압을 나타내는 단위인 ‘볼트(V)’에 자신의 이름을 남기는 영광까지 누렸다.

전지는 1차 전지와 2차 전지로 나뉜다. 1차 전지는 한번 쓰고 버리는 전지를 말하며, 2차 전지는 다 쓴 뒤 다시 충전해서 쓸 수 있는 전지를 말한다. 리모컨, 디지털카메라, 시계, MP3 플레이어, 장난감 등에 들어가는 망가니즈 전지, 알칼라인 전지, 수은 전지 등이 1차 전지이며, 휴대폰, 노트북, 면도기, 캠코더 등에 들어가는 리튬 이온 전지, 리튬-폴리머 전지, 니켈-카드뮴 전지, 니켈-수소 전지 등이 2차 전지이다.

휴대폰 배터리의 뒷면을 보면 Li-ion이라는 글씨를 발견할 수 있다. 리튬 이온 전지를 전원으로 쓰고 있다는 뜻이다. 리튬은 금속 물질 가운데 가장 가벼운 물질로서, 에너지 효율이 90% 이상으로 매우 높다. 같은 2차 전지인 니켈-카드뮴 전지의 에너지 효율이 70% 정도인 점을 감안할 때 리튬 전지의 에너지 효율이 높은 것을 알 수 있다. 또 니켈-카드뮴 전지의 경우 에너지가 남아 있는 상태에서 충전을 하면 전지 용량이 점점 줄어드는 데 반해 리튬을 사용한 전지는 그런 염려 없이 언제나 충전하여 사용할 수 있다.

전원을 필요로 하는 휴대용 정보 통신 기기의 급속한 보급 확산으로 전지, 특히 2차 전지에 대한 관심이 폭발적으로 증가하고 있다. 선진국에서는 이미 ‘반도체는 인간의 두뇌, 디스플레이는 인간의 눈, 2차 전지는 인간의 심장’으로 규정하고 전지 산업 육성에 국가적 역량을 집중하고 있다. 우리가 전지에 눈을 돌려야 하는 이유이다.



▲ 2차 전지를 이용하는 휴대폰

STS 활동

1. 리튬 이온 전지의 재료는 무엇인가?
2. 전지의 발달이 우리 생활에 미치는 영향에 대해 토의하여 보자.



부록

1. 학습 참고 자료

1. 모듈별로 필요한 기구와 시약 / 264
2. 개념도 작성하기 / 265
3. 여러 가지 원소의 성질 / 266
4. 화합물의 쓰임 / 267
5. 가스 종류별 용기의 색깔 / 267
6. 시약 만드는 법 / 268
7. 사고 시의 구급 처치 / 268
8. 원자의 전자 배치 / 269
9. 탄소 화합물의 명명법 / 270
10. 시약 취급 시 유의해야 할 사항 / 271
11. 학교 실험실 폐수의 처리 / 271
12. 폐기물 처리 / 272
13. 국제단위계(SI) / 274

2. 학생 활동 자료

1. pH 시험지 만들기 / 276
2. 화학 반응 모형 만들기 / 277
3. 표준 상태의 기체 자료 / 277
4. 원소를 정의한 라부아지에 / 278
5. 새로운 원소를 발견한 데이비 / 278
6. 컴퓨터를 이용한 연구 발표 / 279
7. 연금술사의 실험실과 사용한 기호 / 280
8. 방사성 동위 원소를 이용한 양전자 단층 촬영 / 280
9. 분자의 구조를 밝히는 X선 회절 장치 / 281
10. 질소 성분 확인 / 281
11. 에텐 만들기 / 282
12. 금속의 산화 시간 비교 / 283
13. DNA의 분자 구조 이해하기 / 284
14. 동굴의 종유석 만들기 / 286
15. 실험 시에 필요한 안전 기호 / 286

- 정답 및 해설 / 289
- 찾아보기 / 296
- 참고 문헌 및 사진 출처 / 299

권말 특별 부록 - 만들기

- 플러렌 모형 만들기
- DNA 분자 구조 이해

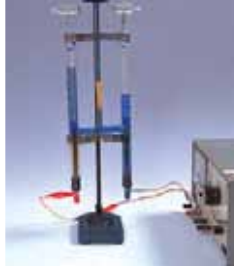
1 학습 참고 자료

1 모둠별로 필요한 기구와 시약

- (1) 장치 전기 전도도 실험 장치, 전자저울, 디지털 온도계, 버너, pH 미터, 전류계, 전압계, 직류 전원 장치. 물의 전기 분해 장치, 기압계, 탄소 막대 전극 2개, 스테인리스 전극 2개, 분자 모형, 집게 도선 4개, 초시계, 꼬마전구, 다이오드, 스탠드, 클램프, 만능 pH 시험지, 리트머스 종이, 간이 분광기, 보안경, 수소 방전관



▲ 간이 분광기



▲ 물의 전기 분해 장치



▲ 전기 전도도 장치

(2) 기구

- [유리] 비커 3개, 시험관 6개, 유리관, 집기병 2개, 유리 막대, 눈금 실린더, Y자 시험관, 주사기 2개, 수조, 점적병 4개, 온도계 2개, 돋보기, 스포이트, 삼각 플라스크 2개
- [금속] 구리 망, 구리줄, 구리 막대, 쇠구슬, 긴 못, 쇠그물, 연소 숟가락, 약숟가락, 알루미늄 캔, 알루미늄 조각, 핀셋, 가위, 병뚜껑, 칼, 가위
- [플라스틱] 빈 필름 통, 스포이트, 스타이로폼 공, 빨대, 페트병, 투명한 플라스틱 컵 2개, 플라스틱 자, 비닐 장갑, 플라스틱 그릇
- [목재, 종이] 시험관대, 나무젓가락, 이쑤시개, 거름종이, 종이, 타월, 시약포지, 황산지, 종이 상자, 실
- [고무] 고무관, 고무 밴드, 고무마개, 고무풍선 5개, 고무찰흙
- [문구류] 연필 5자루, 자, 사인펜, 모눈종이, 색연필, 테이프
- [기타] 면장갑, 달걀 껍데기, 건포도, 체, 선풍, 가스라이터, 양배추, 양초

(3) 시약

- [액체 시약] 염산, 식초, 암모니아수, 과산화수소, pH 지시약, pH 완충액, BTB 용액, 리트머스 용액, 페놀프탈레인 용액, 질산은 용액
- [고체 시약] 리튬, 나트륨, 칼륨, 염화코발트, 염화칼슘, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 알긴산나트륨, 아연, 과망가니즈산칼륨, 질산칼륨, 플루오린화나트륨, 브로민화나트륨, 염화나트륨, 양초, 드라이아이스, 마그네슘, 설탕, 강철 슝, 이산화망가니즈, 티몰프탈레인



▲ 시약장



2 개념도 작성하기

화학 학습의 효과를 높이고 학습 내용을 더 잘 이해하기 위하여 개념도를 작성하여 보는 것은 중요한 학습 방법이다.

화학에 관련되는 개념도는 다음과 같은 순서로 작성하면 편리하다.

(1) 학습 내용에서 다룬 사실, 용어, 개념 등을 적는다.

순물질 원소, 상태의 변화, 물리 변화, 화학 변화, 물리적 성질, 화학적 성질, 균일 혼합물, 불균일 혼합물, 운동 에너지, 위치 에너지, 세기 성질, 크기 성질, 질량, 무게, 기체 상태, 액체 상태, 고체 상태, 반응 물질, 생성 물질, 화학 반응

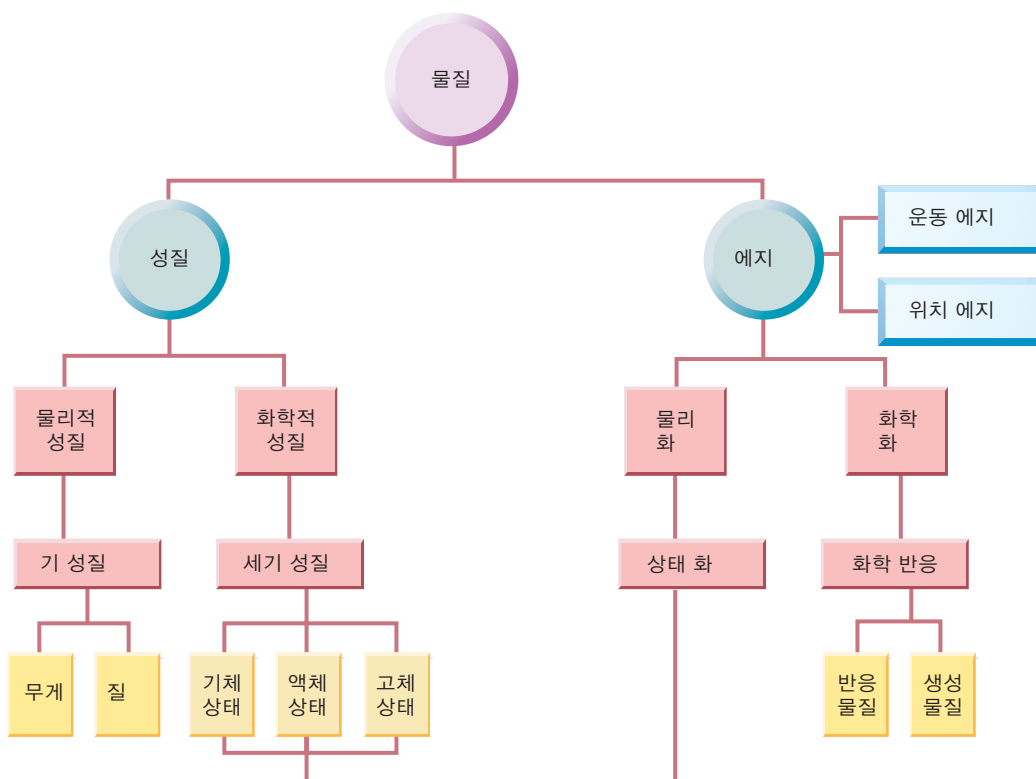
(2) 사실, 용어, 개념 등을 관련 있는 2~3개의 모둠으로 정리한다.

- * 물리적 성질, 화학적 성질, 크기 성질, 세기 성질, 질량, 무게
- * 상태 변화, 기체 상태, 액체 상태, 고체 상태, 물리 변화
- * 운동 에너지, 위치 에너지, 화학 변화, 화학 반응, 반응 물질, 생성 물질

(3) 개념 간의 관계를 나타내는 핵심 개념을 선택한다.

물질, 성질, 에너지

(4) 용어와 개념을 배치하고 선으로 잇는다.



3 여러 가지 원소의 성질

이름	원소 기호	색 / 형태	밀도(g/cm ³)	녹는점(°C)	끓는점(°C)	산화수
알루미늄	Al	은색 금속	2.70	660.3	2519	+3
안티모니	Sb	은색 금속	6.69	630.7	1750	-3, +3, +5
아르곤	Ar	무색 기체	1.7834	-189.2	-185.7	0
비소	As	회색 금속	5.73	817	613	-3, +3, +5
바륨	Ba	은색 금속	3.51	725	1640	+2
베릴륨	Be	은색 금속	1.85	1280	2970	+2
비스무트	Bi	은색 금속	9.75	271.3	1560	+3
붕소	B	검은 고체	2.34	2079	2550	+3
브로민	Br	적갈색 액체	3.12	-7.2	58.8	-1,+1,+3,+5,+7
칼슘	Ca	회색 금속	1.55	839	1484	+2
탄소	C	검은색 고체	-2.25	3825	4492	-4, +2, +4
염소	Cl	황록색 기체	3.214	-101.0	-34.6	-1,+1,+3,+5, +7
크로뮴	Cr	은색 금속	7.19	1860	2672	+2, +3, +6
코발트	Co	은색 금속	8.9	1495	2870	+2, +3
구리	Cu	붉은색 금속	8.94	1084.6	2562	+1, +2
플루오린	F	노란 기체	1.696	-219.6	-188.1	-1
저마늄	Ge	회색 준금속	5.32	937.4	2830	+4
금	Au	노란 금속	19.3	1064.2	2856	+1, +3
헬륨	He	무색 기체	0.1785	-272.2	-268.9	0
수소	H	무색 기체	0.08988	-259.1	-252.9	-1, +1
아이오딘	I	흑자색 고체	4.93	113.7	184.4	-1,+1,+3,+5,+7
철	Fe	은색 금속	7.86	1538	2861	+2, +3
납	Pb	은색 금속	11.34	327.5	1749	+2, +4
리튬	Li	은색 금속	0.534	180.5	1342	+1
마그네슘	Mg	은색 금속	1.74	650	1090	+2
망가니즈	Mn	은색 금속	7.3	1244	1962	+2,+3,+4,+6,+7
수은	Hg	은색 액체	13.6	-38.8	356.7	+1, +2
네온	Ne	무색 기체	0.8999	+248.7	+246.0	0
니켈	Ni	은색 금속	8.90	1453	2732	+2, +3
산소	O	무색 기체	1.251	-209.9	-183	0,-1,-2,+2
질소	N	무색 기체	1.2506	-209.86	-196	-3, +2, +3, +4, +5
인	P	노란 고체	1.82	1772	3800	-3, +3, +5
백금	Pt	은색 금속	21.4	1772	3800	+2, +4
라듐	Ra	백색 금속	5	700	1140	+2
라돈	Rn	무색 기체	9.73	-71	-61.8	0
규소	Si	회색 고체	2.33	1414	3265	+2, +4
은	Ag	은색 금속	10.5	961.8	2162	+1
나트륨	Na	은색 금속	0.971	97.8	882.9	+1
황	S	노란 고체	2.07	115.2	444.6	-2, +2, +4, +6
주석	Sn	은색 금속	7.31	232.0	2270	+2, +4
타이타늄	Ti	은색 금속	4.54	1660	3287	+2, +3, +4
텅스텐	W	회색 금속	19.3	3410	5660	+6
우라늄	U	은색 금속	19.0	1132	3818	+3, +4, +6
제논	Xe	무색 기체	5.89	-111.9	-107	0
아연	Zn	은색 금속	7.14	419.5	907	+2

※ 기체의 밀도는 표준 상태에서 g/L이다.



4 화합물의 쓰임

화합물	화학식	쓰임
백반	$Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$	물감, 가죽 제조, 종이 제조, 지혈제
질산	HNO_3	금속 세척, 비료 폭약 제조
양수	$HCl + HNO_3$	백금, 금 녹임
제빵가루	$NaHCO_3$	제산제, 요리, 소화기, 종이, 가죽 제조
황산칼슘	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	페인트, 분필, 세라믹, 황산 제조
흑연	C	연필, 금속 광택, 전극, 윤활제
황산구리	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	살충제, 목재 보존제, 물감, 전기 도금
붕산	$H_3BO_3 \cdot 10H_2O$	개미 살충제, 방부제, 유리 제조
염화아연	$ZnCl_2$	건전지, 촉매, 탈수제, 용제
탄산아연	$ZnCO_3$	자외선 차단 화장품
염화수은(I)	$HgCl_2$	살충제, 곰팡이 제거제, 건전지, 설사제
수산화칼륨	KOH	비누 제조, 건전지, 산성 기체 흡수제
수산화나트륨	NaOH	세척제, 비누, 종이, 알루미늄 제조
질산나트륨	$NaNO_3$	비료, 질산 제조
염화나트륨	NaCl	조미료, 식품 보존제, NaOH 제조
황산마그네슘	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	방화복 제조, 설사 완화제
황산철(II)	$FeSO_4$	잉크 제조, 빈혈 치료제
활성탄	C	색소, 타이어 충전제
산화칼슘	CaO	정원 비료, 유리 제조, 종이 제조
산화납(II)	PbO	물감, 세라믹 제조, 자동차 배터리
수산화마그네슘	$Mg(OH)_2$	제산제, 단열재, 내화 벽돌 제조
탄산칼슘	$CaCO_3$	석회 비료 제조, 탄산나트륨 제조
사산화삼납	Pb_3O_4	부식 방지 페인트, 유리 제조
염화암모늄	NH_4Cl	건전지, 섬유 처리제
질산칼륨	KNO_3	화약, 식품 보존제, 비료
수산화칼슘	$Ca(OH)_2$	물 정화, 시멘트 모르타르, 표백제
탄산나트륨	Na_2CO_3	유리 제조, 식품 첨가제, 사진, 섬유 처리
탄산	H_2CO_3	탄산 음료
아세트산	CH_3COOH	식품 보존제, 조미료
사이안화수소	HCN	전기 도금, 합성 섬유 제조
염산	HCl	금속 세척제, PVC 제조

5 가스 종류별 용기의 색깔

가스의 종류	용기 색깔	가스의 종류	용기 색깔
LPG	회색	액화 염소	갈색
수소	주황색	산소	녹색(의료용은 백색)
아세틸렌	황색	질소	회색(의료용은 흑색)
액화 암모니아	백색	액화 탄산가스	청색(의료용은 회색)

* 특히 의료용은 '의료용' 이란 용도 표시가 백색(산소는 녹색)으로 되어 있다. <출처 : 한국 가스 안전 공사>

6 시약 만드는 법

(1) 산과 염기 수용액

진한 염산	12 M HCl	보통 판매되고 있는 순수한 진한 염산(비중 1.18, 약 35%)을 그대로 사용한다.
묾은 염산	6 M HCl	진한 HCl에 같은 부피의 물을 가한다.
	2 M HCl	진한 HCl 1부피에 5부피의 물을 가한다.
진한 황산	18 M H ₂ SO ₄	보통 판매되고 있는 순수한 진한 황산(비중 1.83, 약 97%)을 그대로 사용한다.
묾은 황산	3 M H ₂ SO ₄	진한 H ₂ SO ₄ 1부피에 5부피의 물을 가한다.
	1 M H ₂ SO ₄	진한 H ₂ SO ₄ 1부피에 17부피의 물을 가한다.
진한 질산	13 M HNO ₃	보통 판매되고 있는 순수한 진한 질산(비중 1.38, 약 60%)을 그대로 사용한다.
묾은 질산	6 M HNO ₃	진한 HNO ₃ 1부피에 1.2부피의 물을 가한다.
	2 M HNO ₃	진한 HNO ₃ 1부피에 5.5부피의 물을 가한다.
묾은 아세트산	6 M CH ₃ COOH	빙초산 350 mL에 물을 가하여 1 L로 한다.
수산화나트륨 수용액	6 M NaOH	240 g의 NaOH에 물을 가하여 1 L로 한다.
	2 M NaOH	80 g의 NaOH에 물을 가하여 1 L로 한다.
석회수 (수산화칼슘 수용액)	0.02 M Ca(OH) ₂ (0.15%)	수산화칼슘에 물을 가하고 잘 흔들어서 방치한 다음 위의 포화 용액을 사용한다.
진한 암모니아	15 M NH ₄ OH	보통 판매되고 있는 암모니아수(비중 0.90, 약 28%)를 그대로 사용한다.
묾은 암모니아수	6 M NH ₄ OH	진한 암모니아수 1부피에 1.5부피의 물을 가한다.
	2 M NH ₄ OH	진한 암모니아수 1부피에 6.5부피의 물을 가한다.
염의 수용액	5% 염 수용액	염 5 g에 95 mL의 물을 가한다.
	1 M 염 수용액	1몰의 염을 물에 녹여 1 L로 한다.

(2) 특수 시약 및 지시약

아이오딘 용액	KI 2.5 g을 물 20 mL에 녹이고 여기에 I ₂ 1.3 g을 가해서 물로 묽게 하여 100 mL로 한다.
펠링 용액	A액 : CuSO ₄ · 5H ₂ O 69.3 g을 물에 녹여서 1 L로 한다.
	B액 : 타르타르산칼륨나트륨(로셀염) 346 g과 NaOH 100 g을 물에 녹여서 1 L로 한다. ※사용할 때 A, B 두 액을 같은 부피씩 섞는다.
페놀프탈레인	1 g을 60% 알코올 100 mL에 녹인다.
메틸 오렌지	0.1 g을 뜨거운 물 100 mL에 녹여서 식힌 다음 여과액을 사용한다.
리트머스	1 g을 물 100 mL에 녹여서 여과하여 사용한다.

7 사고 시의 구급 처치

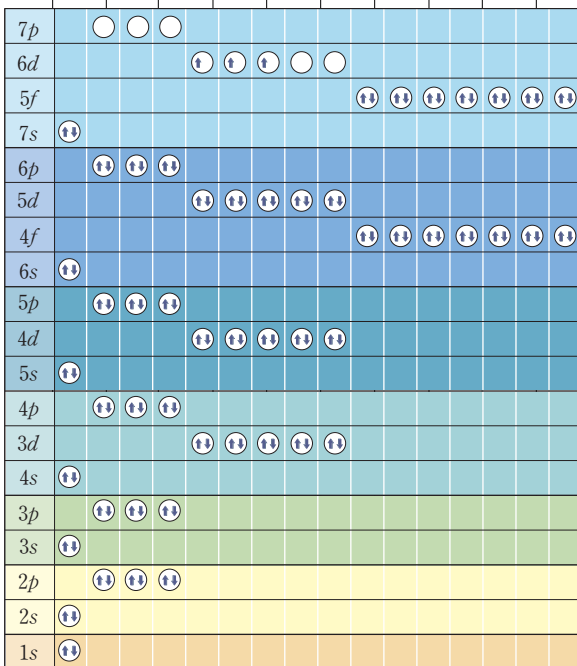
		강한 산인 경우	강한 염기인 경우
응급 처치		많은 물로 충분히 씻고, 산이 묻은 부분에 따라 다음과 같이 처리하고 다시 물로 씻는다.	많은 물로 충분히 씻은 다음, 묻은 부위에 따라 다음과 같이 처리하고 물로 다시 충분히 씻는다.
묾은 부위	피부	0.1 M 암모니아수 또는 1% 탄산수소나트륨 수용액으로 중화한다.	1% 아세트산 수용액으로 중화한다.
	눈이나 입	0.1% 탄산수소나트륨 수용액으로 씻어 낸다.	2% 붕산수로 씻어 낸다.
	의복	0.1 M 암모니아수로 중화한다.	0.1% 아세트산 수용액으로 중화한다.



8 원자의 전자 배치

Sublevels	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
1 수소	1																		
2 헬륨	2																		
3 리튬	2	1																	
4 베릴륨	2	2																	
5 붕소	2	2	1																
6 탄소	2	2	2																
7 질소	2	2	3																
8 산소	2	2	4																
9 플루오린	2	2	5																
10 네온	2	2	6																
11 나트륨	2	2	6	1															
12 마그네슘	2	2	6	2															
13 알루미늄	2	2	6	2	1														
14 규소	2	2	6	2	2														
15 인	2	2	6	2	3														
16 황	2	2	6	2	4														
17 염소	2	2	6	2	5														
18 아르곤	2	2	6	2	6														
19 칼륨	2	2	6	2	6	1													
20 칼슘	2	2	6	2	6	2													
21 스칸듐	2	2	6	2	6	1	2												
22 타이타늄	2	2	6	2	6	2	2												
23 바나듐	2	2	6	2	6	3	2												
24 크로뮴	2	2	6	2	6	5	1												
25 망가니즈	2	2	6	2	6	5	2												
26 철	2	2	6	2	6	6	2												
27 코발트	2	2	6	2	6	7	2												
28 니켈	2	2	6	2	6	8	2												
29 구리	2	2	6	2	6	10	1												
30 아연	2	2	6	2	6	10	2												
31 갈륨	2	2	6	2	6	10	2	1											
32 저마늄	2	2	6	2	6	10	2	2											
33 비소	2	2	6	2	6	10	2	3											
34 셀레늄	2	2	6	2	6	10	2	4											
35 브로민	2	2	6	2	6	10	2	5											
36 크립톤	2	2	6	2	6	10	2	6											
37 루비듐	2	2	6	2	6	10	2	6			1								
38 스트론튬	2	2	6	2	6	10	2	6			2								
39 이트륨	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2								
40 지르코늄	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2								
41 나이오븀	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1								
42 몰리브데넘	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1								
43 테크네튬	2	2	6	2	6	10	2	6	6		1								
44 루테튬	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1								
45 로듐	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1								
46 팔라듐	2	2	6	2	6	10	2	6	10										
47 은	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1								
48 카드뮴	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2								
49 인듐	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1							
50 주석	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2							
51 안티모니	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3							
52 텔루륨	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4							
53 아이오딘	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5							
54 제논	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6							

오비탈



9 탄소 화합물의 명명법

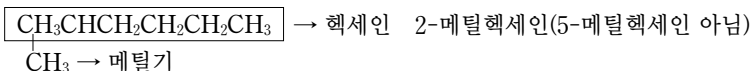
(1) 사슬형 탄화수소

탄소 수	접두어	알케인(alkane)		알켄(alkene)		알카인(alkyne)		알킬(alkyl)	
		C_nH_{2n+2}	~케인	C_nH_{2n}	~켄	C_nH_{2n-2}	~타인	C_nH_{2n+1}	~킬
1	meth-	CH ₄	메테인	-	-	-	-	CH ₃ -	메틸
2	eth-	C ₂ H ₆	에테인	C ₂ H ₄	에텐	C ₂ H ₂	에타인	C ₂ H ₅ -	에틸
3	prop-	C ₃ H ₈	프로페인	C ₃ H ₆	프로펜	C ₃ H ₄	프로파인	C ₃ H ₇ -	프로필
4	but-	C ₄ H ₁₀	뷰테인	C ₄ H ₈	뷰텐	C ₄ H ₆	뷰타인	C ₄ H ₉ -	뷰틸

(2) 가지가 달린 탄화수소

분자 내의 가장 긴 사슬을 모체로 하고, 곁사슬을 치환기로 명명한다. 곁사슬인 알킬기의 위치는 모체의 한쪽 끝으로부터 번호로 붙여 나타낸다. 단, 번호는 작은 수가 되도록 한다.

① ② ③ ④ ⑤ ⑥



(3) 알코올

탄화수소 이름의 어미 e를 -올(-ol)로 바꾸어 부른다. 2가, 3가 알코올의 경우에는 다이올(diol), 트라이올(triol)로 바꾸어 부른다.



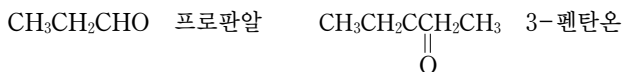
(4) 에테르

두 개의 탄화수소기의 어미에 에테르(ether)를 붙여서 부른다.



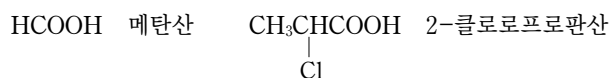
(5) 알데하이드와 케톤

알데하이드는 탄화수소 이름의 어미 e를 -알(-al)로, 케톤은 -온(-one)으로 바꾸어 부른다.



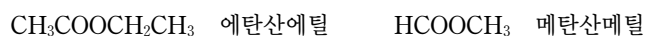
(6) 카복실산

탄화수소의 이름 끝에 산을 붙여 부른다.



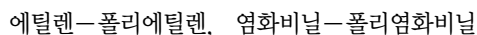
(7) 에스터

카복실산의 이름 다음에 알코올의 탄화수소기의 이름을 붙여 부른다.



(8) 첨가 반응에 의해 합성한 플라스틱

불포화 화합물인 단위체의 이름 앞에 폴리-(poly-)를 붙인다.





10 시약 취급 시 유의해야 할 사항

(1) 위험한 약품의 취급

분류	종류	취급 방법
인화성 물질	수소, 메테인, 프로페인, 에탄올, 아세톤, 메탄올, 에테르, 이황화탄소	화기에서 멀리하여 밀폐시켜 보관한다.
발화성 물질	리튬, 나트륨, 칼륨, 산화칼슘, 탄화칼슘, 흰인	밀폐하여 습기가 없는 곳에 보관한다.(흰인은 찬물 속에 보관)
폭발성 물질	수소, 아세틸렌, 피크르산, 염소산칼륨	충격을 가하거나 화기를 가까이 하지 않는다.
산화성 물질	염소산칼륨, 과망가니즈칼륨, 중크로뮴산칼륨	강한 환원성 물질, 강산 또는 강염기와 혼합하지 않는다.
유독성 물질	수은염, 황화수소, 플루오린화수소	기체를 흡입하거나 삼키지 않는다.
부식성 물질	진한 황산, 진한 질산, 진한 염산, 빙초산, 페놀, 아닐린, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 과산화수소, 할로젠화수소, 포르말린, 질산은	피부나 눈에 닿지 않도록 하며, 접촉 시 다량의 물로 씻어 낸다.

(2) 유독 기체 및 하수구에 버려서는 안 되는 물질

유독 기체 H_2S , NH_3 , Cl_2 , SO_2 , CO , NO , NO_2 등의 기체를 다량으로 발생시키는 경우에는 후드 안에서 취급하거나 환기가 잘 되는 곳에서 실험하여야 한다.

하수구에 버려서는 안 되는 물질 Cd^{2+} , CN^- , Pb^{2+} , $Cr_2O_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{6+} , F^- , $[Fe(CN)_6]^{3-}$, $[Fe(CN)_6]^{4-}$, 지방족 탄화수소, 방향족 탄화수소, 벤젠, 페놀류, 사염화탄소

11 학교 실험실 폐수의 처리

(1) 발생 단계

소량 사용하여 유해 물질 발생량을 가능한 한 줄인다.

(2) 분별 수집

실험 실습 시간에 발생한 폐수는 분별 수집하여야 하며, 이때 안전을 고려하여 다음의 물질이 주성분인 폐액은 서로 섞이지 않도록 해야 한다.

- ① 과산화수소는 금속, 금속 산화물, 탄소 가루와 함께 두지 않도록 한다.
- ② 시안화물, 황화물, 차아염소산염과 산
- ③ 염산, 플루오린화수소산 등의 휘발성 산과 비휘발성 산
- ④ 진한 황산, 설펡산, 옥살산, 폴리인산 등의 산과 기타의 산
- ⑤ 암모늄염, 휘발성 아민과 알칼리

12 폐기물 처리

(1) 실험실에서 나오는 폐기물 처리의 몇 가지 구분

- ① **분별 수집** 처리 단위 작업의 가장 기본이 되는 작업, 개별 처리로 처리하더라도 이 작업을 생략할 수는 없다.
- ② **저장 보관** 적당량이 모이기까지 새거나 휘발하지 않게 잘 보관하여야 한다. 특히 소방법에 정하여진 위험물은 위험물 취급 관계 법령에 따라 보관한다.
- ③ **회수, 운반** 일괄 처리를 할 때와 같이 발생원에서 처리장까지 안전하게 운반하는 일이 필요하게 된다. 운반 경로로서 일반 도로를 사용하는 경우 폐기물의 처리 및 청소에 관한 규제에 따라 작업한다.
- ④ **처리** 폐기물의 유해성이나 발생량에 따라, 또 지역성을 고려하여 보다 안전한 처리법이 채택되어야 하는데, 처리 작업이 보다 쉽게 이루어질 수 있도록 배려하는 일이 더 중요하다.
- ⑤ **처분** 처리한 것이 사람의 손을 떠나 자연계에 환원될 때, 실험실마다의 배출 폐기물의 특이성을 고려하여 충분한 안전 대책을 강구한다.



▲ 폐기물은 분류 처리해야 한다.

(2) 실험실에서 나오는 폐기물의 분별 수집 구분

〈서울 대학교에서의 실천 예〉

종 류	대 상	처 리 방 법	분 류 기 호	용 기 의 색
사이안계 폐액	유리 사이안 폐액, 염기성 보관	K 분류, 별도 회수	A	청색
무기 수은계	무기계 수은, 침전물은 거름	별도 처리업자에 넘김	B	적색
유기 수은계	알킬수은 등, 침전물은 거름	유해 고형물로 L 분류	B	적색
플루오린계	HF, F 화합물, 인산계도 포함	Ca염으로 거름, F 분류	C	황색
산, 크로뮴산	HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , 크로뮴산	HF와 인산계 C 분류, 유기산 A 분류, 중화 희석	D	녹색
알칼리계	NaOH, KOH, Na ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃	C, F 분류, 중화 희석 방류	E	녹색
중금속계	Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Cr	안전 처리 관리소에 넘김	F	녹색
탄화수소계	지방족, 방향족 탄화수소	종류별로 다양하게 처리	H	백색
폐유 할로젠계	등유, 경유, 중유 등 지방족, 방향족, 할로젠계 화합물 PCB 제외	별도 회수, 폭발성 제외 배출자 책임 처리	I	백색
난연 유기액	용제, 유기산, 기타 화합물	수은계 B 분류, 별도 회수	J	백색
			K	흑색



(3) 보관 · 처리

간단하고 자연계에 미치는 영향이 적은 것은 자체 처리하고, 중금속 함유 물질 등 자연계에 미치는 영향이 큰 것은 전문 업체에 위탁 처리한다.

중화법	산 · 알칼리성 폐액 중화시킨 후 충분히 희석시켜 방류한다.
환원 중화법	Cr ⁶⁺ 을 포함한 폐액 또는 K ₂ Cr ₂ O ₇ , H ₂ SO ₄ 혼합 용액을 Cr ³⁺ 으로 만든 다음 중화하여 난 용성의 수산화크로뮴으로 만든다.
CN계 폐액	차아염소산나트륨으로 산화 분해시켜 CN의 농도 1 ppm 이하이면 방류한다.
소각, 응매 추출, 가수 분해	수중 함량이 적은 유기물에 적용한다.
흡착, 여과법	연탄재, 톱밥 등을 이용하는 방법으로 유기 · 무기 오염 물질에 모두 적용 가능하다.

(4) 실험실에서 주로 나오는 물질의 처리법

종 류	실험실에서 나올 만한 물질	처리 방법
산 (주로 무기산)	염산, 황산, 질산, 아세트산	수산화나트륨으로 중화한 다음 배출한다.
염기 또는 염기성 산화물	수산화나트륨, 수산화칼륨, 암모니아수, 수산화칼슘, 산화칼슘	묽은 염산으로 중화한 다음 배출한다.
무기염	황산구리, 염화칼슘, 탄산수소나트륨, 황산나트륨, 탄산나트륨, 질산칼륨, 염화바륨, 질산스트론튬, 황산마그네슘, 질산구리, 황산철, 질산은, 질산납	물에 녹여 탄산수소나트륨을 가한 후 염산으로 중 화시켜 배출한다. 침전물은 걸러 내서 땅에 묻는다.
유기 용매	에탄올, 메탄올, 에테르, 클로로포름, 헥세인	안전한 실외에서 태운다. 또는 종이에 흡수시킨다.
벤젠 계통	벤젠, 파라디클로로포름, 톨루엔, 나프탈렌	수집통에 모아서 업자에게 처리하게 한다.
알칼리- 알칼리 토금속	칼륨, 나트륨	석유 속에 보관 후 처리한다.
산화제	과산화수소, 과망가니즈산칼륨, 중크로뮴산칼륨, 염소산칼륨	싸이오황산나트륨 수용액을 가한 다음 중화시켜 배출한다.
붉은인	붉은인	옥외에서 태운다.
금속	철, 구리, 수은, 납, 아연	수은은 별도로 모아서 처리한다.

(5) 실험실에서 나오는 폐기물의 분별 수집

종 류	대 상	처리 방법	용기의 색
산 계통	HCl, H ₂ SO ₄ , HNO ₃ 폐액	종류별로 분별, 중화 희석 방류	녹색
염기 계통	NaOH, KOH, NH ₄ OH 폐액	종류별로 분별, 중화 희석 방류	녹색
할로젠 계통	지방족, 방향족 할로젠계 화합물	PCB 제외 별도 회수, 폭발성 물질은 별도 처리	백색
중금속 계통	Fe, Ni, Co, Pb, Cu, Cd 등	안전 처리 관리소에 넘김	녹색
수은계 폐액	무기, 유기 수은 화합물	수은 별도 처리 업체에 넘김	적색
사이안계 폐액	HCN, 기타	별도 회수, 종류별 분해 처리	청색
탄화수소계	각종 탄화수소와 화합물	종류별로 다양하게 처리	백색
폐유	등유, 경유, 중유 등	별도 회수, 법령에 의해 처리	백색

13 국제단위계(SI)

(1) SI 기본 단위

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

(2) 접두어

접두어	기호	기본 단위와의 관계
기가	G	1,000,000,000
메가	M	1,000,000
킬로	k	1,000
헥토	h	100
데카	da	10
데시	d	0.1
센티	c	0.01
밀리	m	0.001
마이크로	μ	0.000001
나노	n	0.000000001
피코	p	0.000000000001

(3) 기본 단위의 정의

길이의 단위 미터(m)는 진공에서 빛이 $\frac{1}{299,792,458}$ 초 동안 진행한 경로의 길이이다 (1983년 제17차 국제 도량형 총회 CGPM).

질량의 단위 킬로그램(kg)은 국제 킬로그램 원기의 질량과 같다(1901년 제3차 CGPM).

시간의 단위 초(s)는 세슘 원자(Cs)의 바닥상태 두 개의 초미세 준위 사이에서 전이가 일어날 때 방출되는 복사선의 9,192,631,770주기에 해당하는 시간이다(1967년 제13차 CGPM).

온도의 단위 켈빈(K)은 절대 영도와 물의 삼중점 사이에 있는 온도 간격의 $\frac{1}{273.16}$ 과 같다(1967년 제13차 CGPM). 이에 부가하여 다음과 같은 식으로 정의된 섭씨온도(t , °C)도 사용된다.

$$t = T - T_0 (T_0 = 273.16)$$

물질의 양 몰(mol)은 0.012 kg의 탄소(^{12}C)에 존재하는 탄소 원자의 개수와 같은 수의 구성 요소를 포함하는 물질의 양이다.

전류의 단위 암페어(A)는 무한히 길고 무시할 수 있을 만큼 작은 원형 단면적을 가진 두 개의 평행한 직선 도체가 진공 속에서 1미터 떨어져 있을 때, 두 도체 사이에 미터당 2×10^{-7} 뉴턴(N)의 힘이 생기게 하는 일정한 전류이다(1948년 제9차 CGPM).



광도의 단위 칸델라(cd)는 주파수 540×10^{12} 헤르츠인 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 어떤 주어진 방향으로 스테라디안당 $\frac{1}{683}$ 와트일 때 이 방향에 대한 광도이다(1979년 제16차 CGPM).

(4) 기본 단위와 길이, 넓이, 부피, 질량, 시간 관계

▶ 길이	▶ 넓이	▶ 부피
1 km = 1000 m	1 km ² = 100 ha	1 kL = 1000 L
1 m 길이의 기본 단위	1 ha = 10000 m ²	1 m ³ = 1000 L
1 cm = 0.01 m	1 m ² = 10000 cm ²	1 mL = 0.001 L
1 mm = 0.001 m	1 cm ² = 100 mm ²	1 mL = 1 cm ³
1 nm = 0.000000001 m		
1 pm = 0.000000000001 m		
▶ 질량	▶ 시간	
1 g = 0.001 kg	1 min = 60 s	
1 mg = 0.000001 kg	1 h = 3600 s	
1 μg = 0.000000001 kg		

(5) 유도 단위의 예

물리량	명 칭	기 호	정 의
힘	뉴턴	N	kg · m · s ⁻²
압력	파스칼	Pa	kg · m ⁻¹ · s ⁻²
에너지	줄	J	kg · m ² · s ⁻²
일률	와트	W	kg · m ² · s ⁻³
전하	쿨롱	C	A · s
전위차	볼트	V	kg · m ² · s ⁻³ · A ⁻¹
전기 저항	옴	Ω	kg · m ² · s ⁻³ · A ⁻²

(6) 비SI 단위와 SI 단위와의 관계

물리량	관 계
길이	1 Å = 10 ⁻¹⁰ m, 1 _m m = 10 ⁻⁶ m
넓이	1 a = 10 ² m ² , 1 ha = 10 ⁴ m ²
부피	1 L = 1 dm = 10 ⁻³ m ³
질량	1 t = 10 kg
시간	1 min(분) = 60 s, 1 h(시간) = 3600 s
온도	t (°C) = T (K) - 273.15
힘	1 kgf(킬로그램힘) = 9.8 N
압력	1 atm = 1.01 × 10 ⁵ Pa, 1 bar = 10 ⁵ Pa, 1 mmHg = 133 Pa
에너지	1 cal = 4.184 J, 1 L · atm = 1.01 × 10 ² J, 1 kWh = 3.6 × 10 ⁶ J

2 학생 활동 자료

1 pH 시험지 만들기

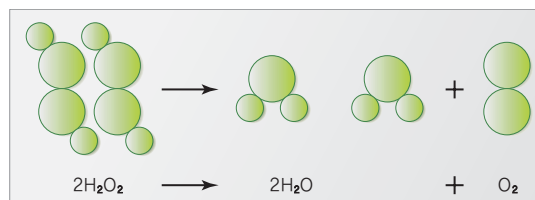
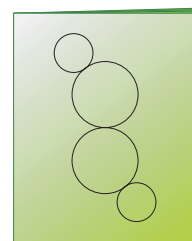
- 목적** 실험용 pH 시험지를 만드는 가장 좋은 방법 배우기
- 원리** 화학 물질의 특징 중 하나는 그들이 포함하고 있는 산과 염기의 양이다. 약한 산을 포함하고 있는 음식물로는 오렌지주스, 레몬, 오이피클, 식초가 있으며 맛이 시다. pH 척도에서 산의 반대되는 것은 염기로, 비누, 암모니아, 세척제, 제빵가루, 제산제 등이 있으며, 미끄러운 촉감이 있다. 강한 산과 염기는 매우 위험할 수도 있다. 피부에 손상을 입히고 특히 막힌 하수구를 뚫기 위해 사용하는 하수구 세척제는 강한 염기로 피부에 닿으면 상처를 입을 수도 있으며 흡입하면 해롭다. 우리는 길이를 썰 때 자를 사용하며 물의 뜨거운 정도를 썰 때 온도계를 사용한다. 화학자들은 한 물질이 포함하고 있는 산과 염기의 양을 측정하는 데 pH 척도를 사용한다. pH란 용어는 potential of power + Hydrogen에서 따온 것이다. 화학자들은 pH를 전기적으로 측정하지만 우리는 더 쉬운 방법으로 할 수 있다. pH 척도는 0에서 14까지 있으며, pH 0은 가장 강한 산을 의미한다. pH 7은 중성이고 pH 14는 가장 강한 염기이다. 순수한 물은 pH 7이며, 수영장에서는 특별한 물질을 첨가할 때 pH를 측정한다. 그리고 표준 pH 표와 대조해서 정확한 pH를 알아낸다.
- 준비물** 붉은색 양배추, 기름종이, 양배추를 끓일 수 있는 큰 그릇, 물, 가열 장치, 휴지, 레몬, 토마토, 제빵가루, 비누
- 과정** ① 양배추를 잘게 잘라 그릇에 넣고 양배추 조각들이 잠길 정도로 물을 부어 15분 정도 끓인다.
② 기름종이 또는 흰색 한지를 폭 8 mm, 길이 10 cm 되게 10장을 자른다.
③ 과정 ①의 내용물이 식으면 2일 정도 물을 증발시킨다.
④ 유리컵에 양배추 즙을 넣고 과정 ②에서 만든 종이를 즙에 담근다.
⑤ 과정 ④의 종이를 꺼내서 기름종이 위에서 말린다.
- 결과** 1. 아래 표의 물질에 pH 종이를 대어 보고 pH 값과 색을 정리해 본다.
2. 더 좋은 pH 종이를 만드는 방법을 고안해 본다.

• 레몬 2.2~2.4	• 바나나 4.5~5.7	• 침 6.5~7.5	• 제산제 10.5
• 식초 2.4~3.4	• 커피 5.0	• 피 7.3~7.5	• 암모니아수 12.0
• 사이다 2.0~4.0	• 빵 5.0~6.0	• 달걀 7.6~8.0	• 염기성
• 사과 2.9~3.3	• 감자 5.6~6.0	• 바닷물 8.0~8.5	• 표백제 12.0
• 포도 3.0~3.3	• 오줌 6.0	• 제빵가루 9.0	• 하수구
• 토마토 4.0	• 우유 6.3~6.6	• 세탁비누 10	• 세척제 14



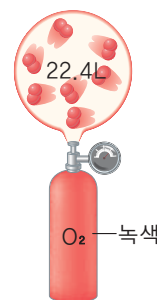
2 화학 반응 모형 만들기

- 목적** 분해되는 화학 반응을 모형으로 나타내기
- 준비물** 색종이, 풀, 가위, 컴퍼스, A4 용지 1장
- 과정**
- ① 한 장의 종이를 4등분 되게 두 번 접는다.
 - ② 오른쪽 그림과 같이 과산화수소 분자(H_2O_2)를 나타내는 원을 컴퍼스로 그린다.
 - ③ 가위로 분자 모형을 오려 낸다.
 - ④ A4 용지 위에 아래 그림과 같이 붙인 다음 그 아래에 해당되는 분자의 화학식을 쓴다.



- 결과**
1. 이 반응에서 반응 물질은 과산화수소이고, 생성 물질은 물과 산소이다.
 2. 반응 물질을 구성하고 있는 원소는 수소와 산소이다.
 3. 반응 물질의 원자의 총 수는 8개이고, 생성 물질의 원자의 총 수도 8개로 반응 전과 반응 후의 원자 수는 변하지 않는다.
 4. 위 모형에서 산소 원자가 수소 원자보다 더 크다. 수소 원자는 K 전자껍질에 전자 하나가 존재하고, 산소는 K 전자껍질에 전자 2개, L 전자껍질에 전자 6개가 존재하므로 원자 반지름이 더 크다.
 5. 과산화수소는 분해하여 산소를 내므로 살균, 표백제로 사용한다.

3 표준 상태의 기체 자료



몰수 = 1몰	몰수 = 1몰	몰수 = 1몰
$p = 1$ 기압	$p = 1$ 기압	$p = 1$ 기압
$T = 0^\circ\text{C}(273\text{ K})$	$T = 0^\circ\text{C}(273\text{ K})$	$T = 0^\circ\text{C}(273\text{ K})$
$V = 22.4\text{ L}$	$V = 22.4\text{ L}$	$V = 22.4\text{ L}$
기체 입자 수 = 6.022×10^{23}	기체 입자 수 = 6.022×10^{23}	기체 입자 수 = 6.022×10^{23}
질량 = 4.003 g	질량 = 28.02 g	질량 = 32.00 g
밀도 = 0.179 g/L	밀도 = 1.25 g/L	밀도 = 1.43 g/L

4 원소를 정의한 라부아지에

라부아지에는 1743년 파리에서 태어났다. 그는 처음에 아버지의 권유로 법학을 공부하여 변호사가 되었다.

그런데 라부아지에는 자연 과학에 더 흥미를 가지고 수학, 천문학, 식물학, 지질학, 화학 등을 연구하게 되었으며, 당시의 화학 교사 르웰르의 영향을 받아 화학에 취미를 가지게 되었다.

23세 때 '파리의 조명의 가장 우수한 조직에 관하여'라는 논문으로 내무부 장관으로부터 2,000 루블의 상금을 받았다. 28세 때 14세인 마리와 결혼하였는데 부인은 외국어에 능통하여 외국 서적을 번역하여 라부아지에는의 연구를 도왔다.

32세 때 재무장관으로부터 화약 관리관으로 임명되어 흑색 화약에 사용하는 질산 칼륨의 품질을 연구 개량하였다. 46세 때 발행한 저서 '화학 요강'에서 질량 보존의 법칙을 처음으로 제안하였다.

그는 포도주 발효에 대한 정량적 실험에서 반응물질과 생성물질의 질량은 변함이 없다는 것을 증명하였다.



▲ 라부아지에 부부

반응물질	상대적 질량	생성물질	상대적 질량
물	400	이산화탄소	35
설탕	100	알코올	58
누룩	10	아세트산	3
		물	409
		반응하지 않은 설탕	4
		반응하지 않은 누룩	1

* 반응물질 = 500 생성물질 = 500

46세 때 프랑스에 혁명이 일어나자 오랫동안 라부아지에는의 애호를 받았던 푸르크루아가 혁명 단원이 되어 '공화국은 학자를 필요로 하지 않는다'라는 냉담한 구절과 함께 과학 아카데미를 폐쇄하고 28명의 세금 징수 조합원과 함께 투옥된 후 사형당했다. 라부아지에는의 죄목은 군인에게 배급하는 담배에 물을 부었다는 것이었다.

5 새로운 원소를 발견한 데이비

영국의 데이비는 어릴 때 낚시를 좋아하고 불꽃놀이를 즐기는 개구쟁이로 성장하였다. 16세 때 아버지가 돌아가시자 어머니가 잡화 장사로 생계를 이어 갔다. 데이비는 휴양차 내려온 대학 생에게 과학에 대한 영향을 받아 과학에 흥미를 가지게 되었다. 중학교 졸업 후 약방에 고용되어 약품의 취급 방법을 배우게 되었으며, 독학으로 독서와 실험을 통해 화학의 지식을 다졌다.

20세 때 옥스퍼드 대학 화학 교수에게 소개되어 의학 기체 회관의 지배인이 되었다. 22세 때 '산



화이질소(N_2O)에 관한 화학적, 철학적 연구'라는 논문을 발표하고, 이 기체가 이상한 마취 작용을 하는 것을 발견하였다.

그는 자기 생명의 위험도 돌보지 않고 산화이질소를 호흡하여 다음 날 마취가 되기도 하였다.

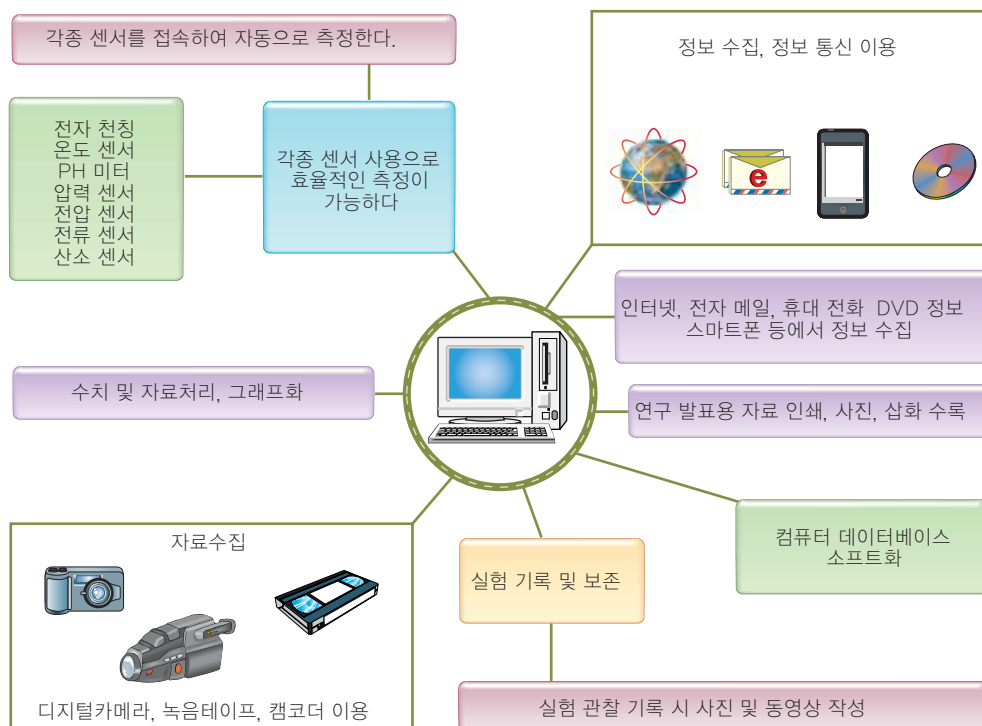
라부아지에가 산화물이라고 생각했던 KOH, NaOH의 전기 분해로 그때까지 알려지지 않았던 원소인 나트륨과 칼륨을 얻는 데 성공하였다. 데이비는 100쌍의 금속판으로 만든 전지의 음극에 백금 판을 연결하고 그 백금 판 위에 수산화칼륨 한쪽을 놓고, 백금 선으로 양극과 수산화칼륨을 연결하였을 때 금속 칼륨의 작은 입자를 얻게 되었다. 이 물질은 금속 광택을 가졌으며 생기자마자 폭발하면서 밝은 빛을 내었다. 데이비는 그 후 칼슘과 다른 금속도 발견하여 화학 발전에 크게 기여하였다.



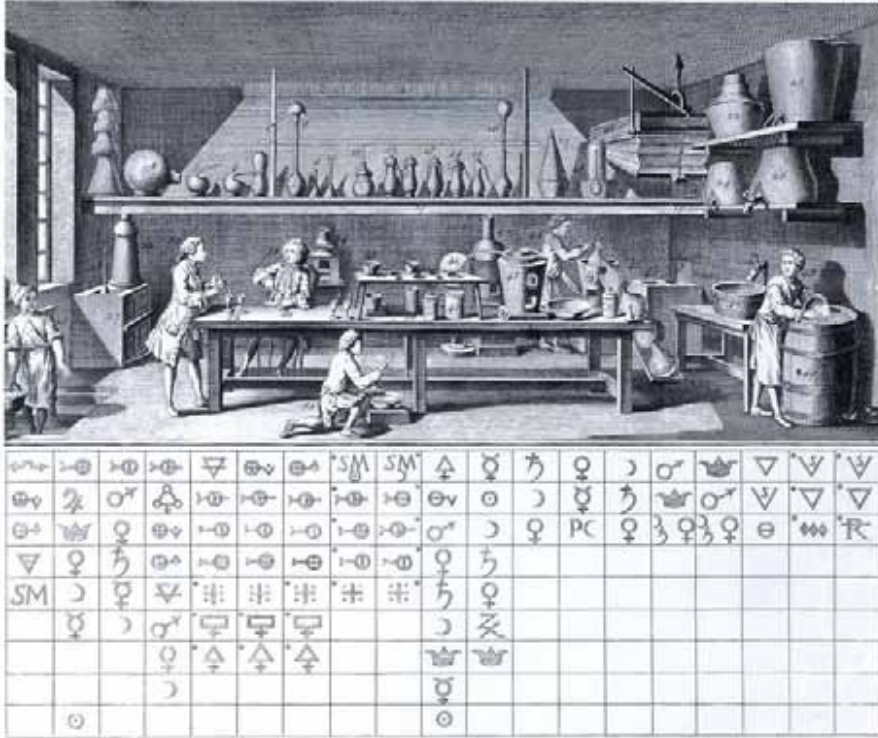
▲ 원소 칼륨을 발견한 데이비의 강연 장면

6 컴퓨터를 이용한 연구 발표

주제를 설정하고 연구한 결과를 발표하는데 컴퓨터를 이용하고 있다. 컴퓨터는 대용량의 자료를 축적할 수 있으며 각종 센서와 실험 기구를 연결하여 필요한 자료를 자동으로 얻으며 보관할 수 있어서 시간과 노력을 절약할 수 있다.



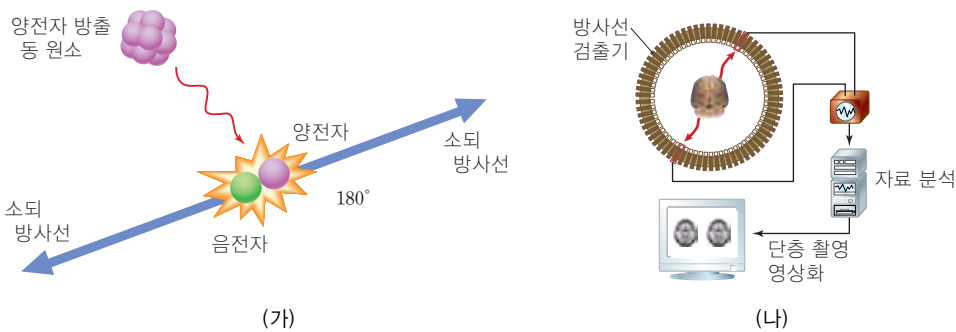
7 연금술사의 실험실과 사용한 기호



8 방사성 동위 원소를 이용한 양전자 단층 촬영

방사성 동위 원소를 이용하는 양전자 단층 촬영(Positron Emission Tomography, PET)은 생명체의 생화학적 현상을 간단하고 정확하게 영상화하는 기술인 분자 영상을 얻는 방법으로, 세포 또는 유전자 수준의 영상화를 할 수 있어서 암을 진단하는 데 쓰인다.

양전자 단층 촬영은 양전자 방출 핵종에서 방출된 양전자가 주변의 음전자와 충돌할 때 소멸되면서 정반대 방향으로 2개의 511 KeV의 방사선을 방출하는 것을 이용하여 영상으로 전환한다. (그림 가))



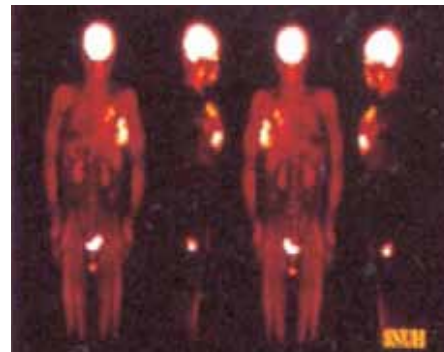
▲ 양전자 방출 방사성 동위 원소의 붕괴(가)와 단층 촬영의 원리(나)



이 장치에 사용하는 방사성 동위 원소로는 ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O 등이 사용되는데, 이들 중 반감기가 110분으로 가장 긴 ^{18}F 이 가장 널리 이용되고 있다.

방사성 동위 원소 ^{18}F 은 가속기 사이클로트론을 사용하여 생성한다. 생성된 양전자 방출 동위 원소가 포함된 의약품을 환자에게 주입하고, 그림 (나)에 나타난 것과 같이 원형 형태의 스캐너에 위치시키고 양전자가 소멸될 때 방출되는 감마(γ)선이 검출기로 검출되고 자료를 영상으로 볼 수 있게 한다.

이 장치는 인체의 생화학적 분자 생물학적 현상을 영상화하는 데 가장 우수한 장치이다. 사용되는 방사선은 조직 투과도가 높아서 인체 깊숙한 곳의 생물학적 현상을 그대로 영상화할 수 있으며 아주 적은 양으로 인체에 투여해도 컴퓨터에 고해상도의 영상화가 가능하여 어떤 영상법보다 빠르고 정확하게 암을 진단할 수 있다.

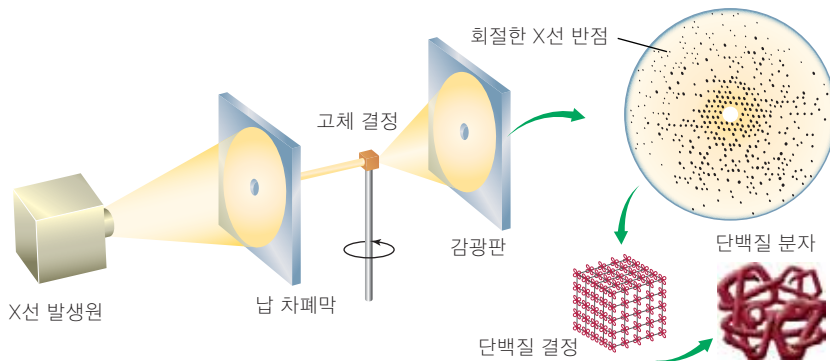


▲ 단층 촬영된 유방암 부위가 밝게 빛나 보인다.



1. 고대 유물의 연대 측정에 사용되는 방사성 동위 원소는 어느 것인가?
2. 방사성 동위 원소 $^{60}_{27}\text{Co}$ 이 이용되는 분야는 무엇인가?

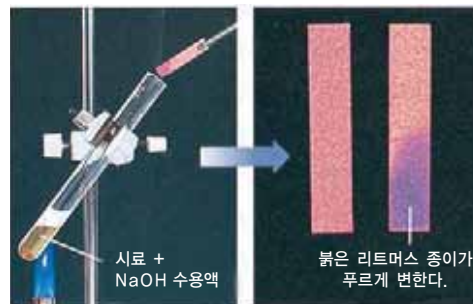
9 분자의 구조를 밝히는 X선 회절 장치



◀ X선 회절 장치

10 질소 성분 확인

- 목적** 화합물에 포함되어 있는 질소를 확인한다.
- 준비물** 스탠드, 클램프, 시험관, 버너, 핀셋, 요소 비료, 리트머스 종이, 수산화나트륨, 염산
- 과정**
- ① 시험관에 요소와 수산화나트륨을 넣는다.
 - ② 버너의 불꽃으로 시험관을 가열한다.
 - ③ 자극성 냄새가 나면 시험관 주둥이에 물에 적신 붉은색 리트머스 종이를 대어 본다.
 - ④ 염산의 증기를 시험관 입구에 대어 본다.



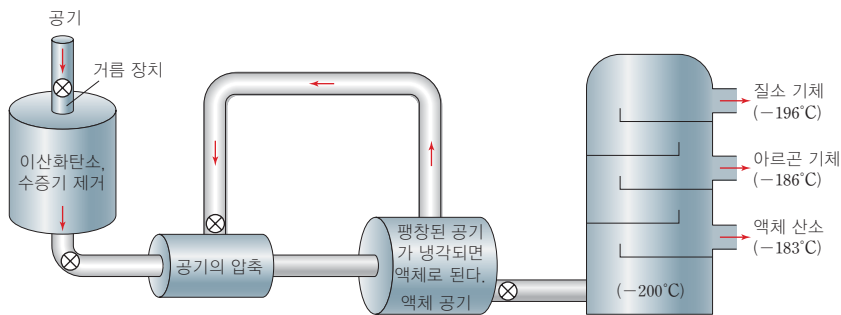
▲ 질소 성분 검출

결과 붉은색 리트머스 종이가 푸른색으로 변한다. 요소에는 질소 성분이 포함되어 있는데, 수산화나트륨과 함께 가열하면 염기성인 암모니아 NH_3 가 생성되므로 질소를 확인할 수 있다.

공기 중에 많은 질소는 공기를 압축 냉각시킨 후 성분 물질의 끓는점 차이를 이용하여 질소, 산소, 아르곤을 얻는다.



▲ 액체 질소 저장통

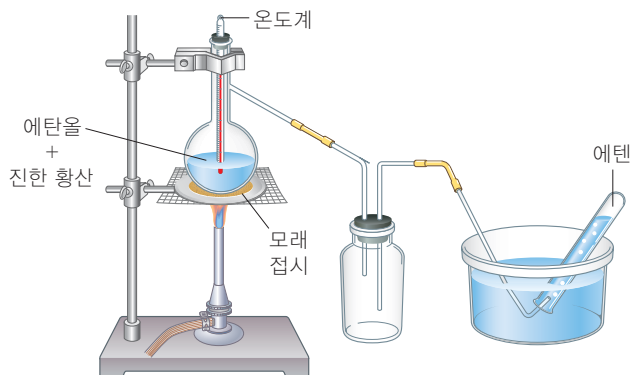


▲ 공기로부터 질소를 얻는 과정

11 에텐 만들기

목적 불포화 탄화수소인 에텐을 에탄올로부터 만든다.

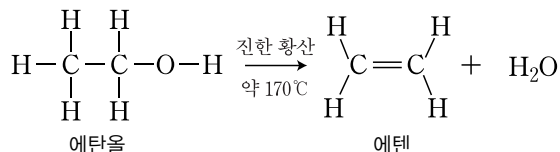
준비물 가지 달린 둥근 바닥 플라스크, 끓임쪽 2~3개, 에탄올, 황산



- 과정**
- ① 가지 달린 둥근 바닥 플라스크에 끓임쪽 2~3개와 에탄올 20 mL를 넣는다.
 - ② ①의 플라스크에 진한 황산 5 방울을 가하고 그림과 같이 온도계를 설치한다.
 - ③ 버너의 불꽃으로 170°C까지 가열한다.
 - ④ 발생하는 기체를 수상 치환으로 모은다.
 - ⑤ 에텐을 수상 치환으로 집기병에 모은 다음 털 익은 토마토를 넣고 봉한 후 하루 지난 뒤에 관찰하여 본다.



결과 에탄올에 진한 황산을 넣고 170℃로 가열하면 진한 황산의 탈수 작용에 의해 에텐이 생성된다.



에텐은 덜 익은 과일을 익히는 성질이 있다. 덜 익은 바나나, 설익은 감을 익히는 데 사용한다. 에텐은 첨가 중합 반응을 하므로 폴리에틸렌을 만드는 단위체로 사용한다.

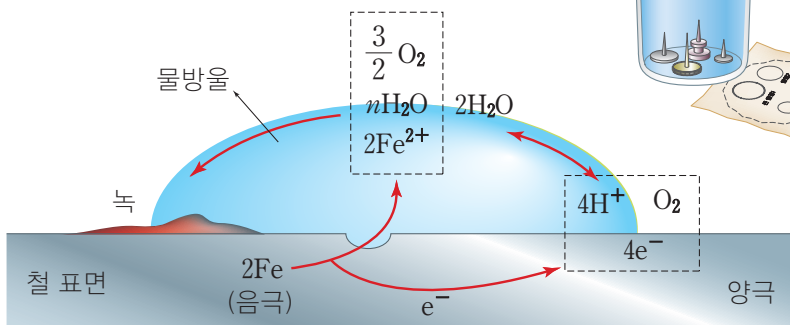
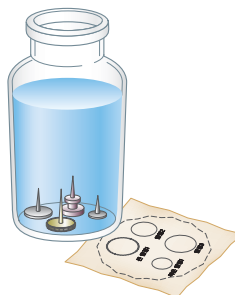
12 금속의 산화 시간 비교

목적 어떤 물질이 산화를 방지하는가를 실험하여 본다.

준비물 여러 종류의 압정, 투명한 병, 물

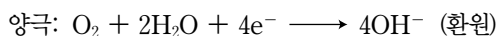
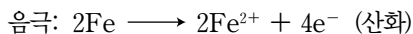
- 과정**
- ① 여러 종류의 압정을 병에 넣고 물을 채운다.
 - ② 압정의 위치를 종이에 적어 둔다.
 - ③ 병을 실외 한 장소에 놓아 둔다.
 - ④ 1주일 후에 어느 것이 가장 먼저 녹이 슬었는지 관찰한다.
 - ⑤ 녹이 슬지 않은 것은 어느 것인지 관찰한다.

결과 철의 가장 큰 결점은 녹이 스는 것이다. 철이 녹스는 것은 공기 중의 산소와 수분 때문이다.



▲ 철의 표면에서 녹이 스는 과정

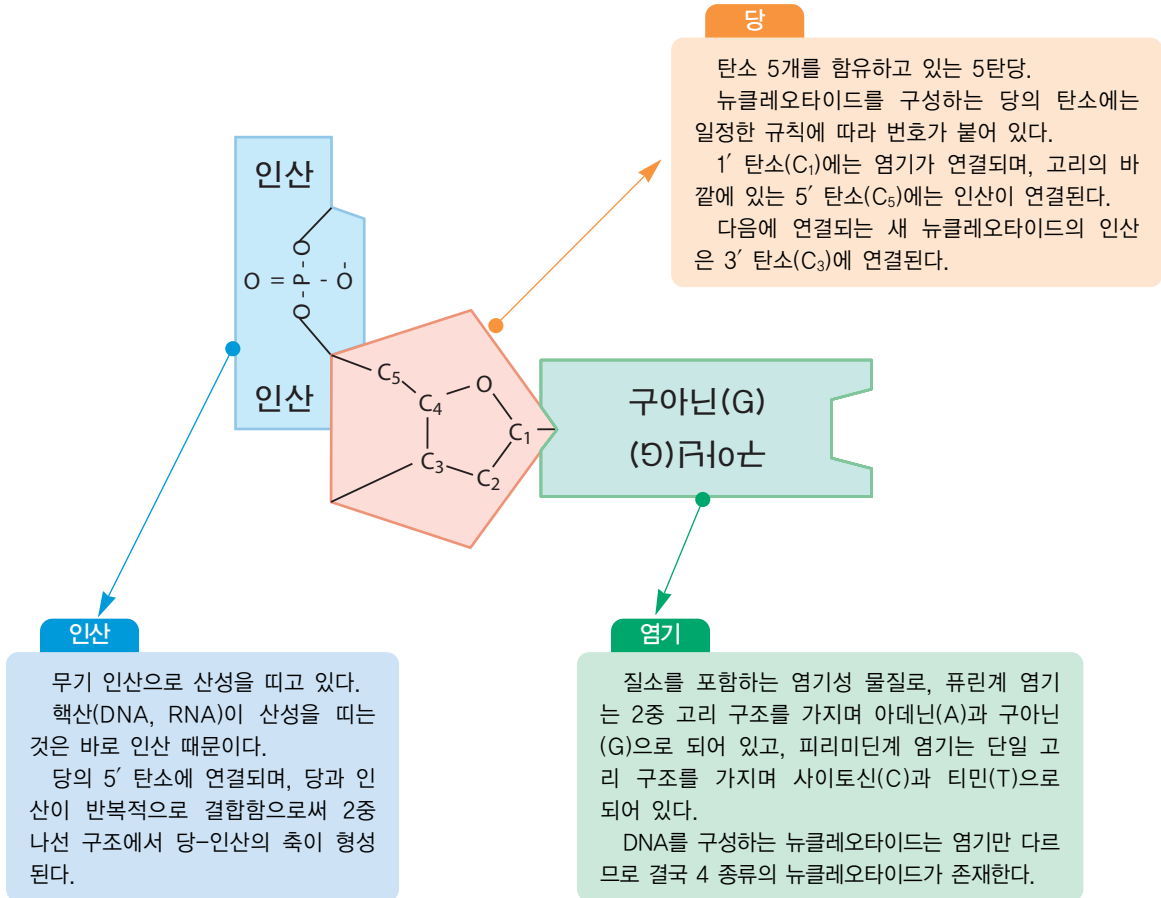
철의 표면에 물이 닿으면 다음과 같이 산화·환원 반응이 일어난다.



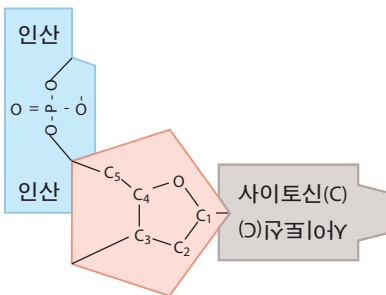
양극에서 생성되는 OH^- 는 Fe^{2+} 와 결합하여 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 가 되고, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 가 물에 있으면 철의 녹 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 이 된다.

13 DNA의 분자 구조 이해하기

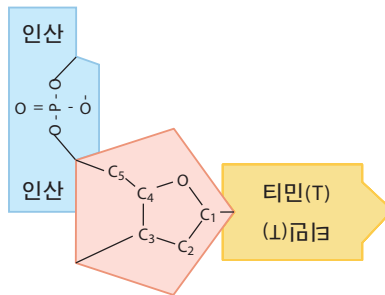
뉴클레오타이드



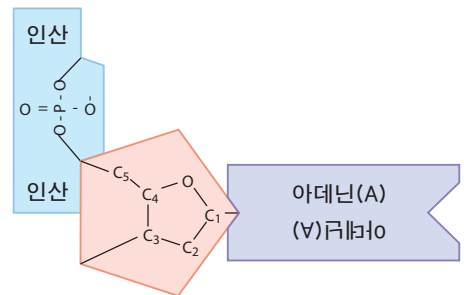
사이토신 뉴클레오타이드



티민 뉴클레오타이드

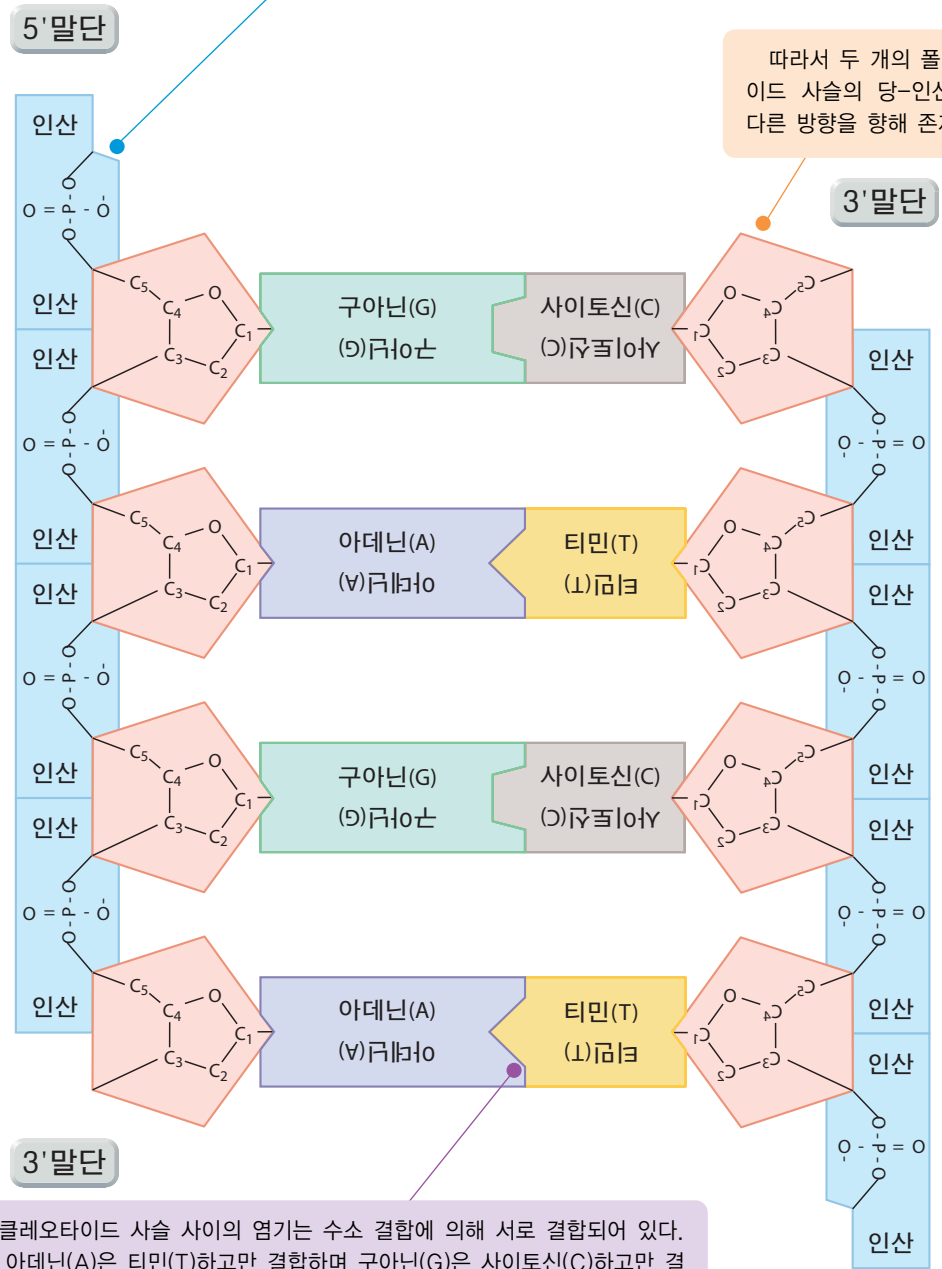


아데닌 뉴클레오타이드





뉴클레오타이드가 중합하여 폴리뉴클레오타이드를 형성할 때, 한 뉴클레오타이드의 인산이 다른 뉴클레오타이드의 당의 3' 탄소에 연결됨으로써 당-인산의 축으로 이루어진 사다리의 긴 줄을 형성하게 된다.
 결국 각각의 폴리뉴클레오타이드 사슬은 3'와 5' 말단을 가지게 되며, 3' 탄소에는 -OH가 붙어 있고 다른 쪽 끝의 5' 탄소에는 인산기가 붙어 있다.



따라서 두 개의 폴리뉴클레오타이드 사슬의 당-인산 축은 서로 다른 방향을 향해 존재한다.

두 폴리뉴클레오타이드 사슬 사이의 염기는 수소 결합에 의해 서로 결합되어 있다. 분자 구조상 아데닌(A)은 티민(T)하고만 결합하며 구아닌(G)은 사이토신(C)하고만 결합하는데, 이와 같이 각 염기가 항상 정해진 염기하고만 짝을 이루는 것을 상보적 결합이라고 한다.
 이때 A와 T는 2중 수소 결합을, G와 C는 3중 수소 결합을 하며, 각 염기 사이에서 형성되는 수소 결합의 각도 차이에 의해서 DNA 사슬은 나선형을 이루게 된다.

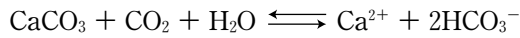
14 동굴의 종유석 만들기

목적 석회동굴의 종유석과 석순의 생성 과정을 알아본다.

준비물 병 2개, 접시, 털실, 제빵가루

- 과정**
- ① 두 병에 따뜻한 물을 넣고 제빵가루를 5숟가락씩 넣어 젓는다.
 - ② 두 병 사이에 접시를 놓는다.
 - ③ 여러 겹으로 끈 털실을 두 병에 연결하여 놓는다.
 - ④ 1주일 동안 놓아둔 다음 털실의 중앙에 형성되는 기둥을 관찰한다.

결과 종유동은 석회암 지대에서 이산화탄소가 물에 녹아 생성된 탄산(H_2CO_3)이 석회암(CaCO_3)과 반응하여 생성된 것이다. 다음 반응이 오른쪽으로 진행될 때 종유석이 생기고, 왼쪽으로 진행될 때 석순이 생성된다.



▲ 종유동

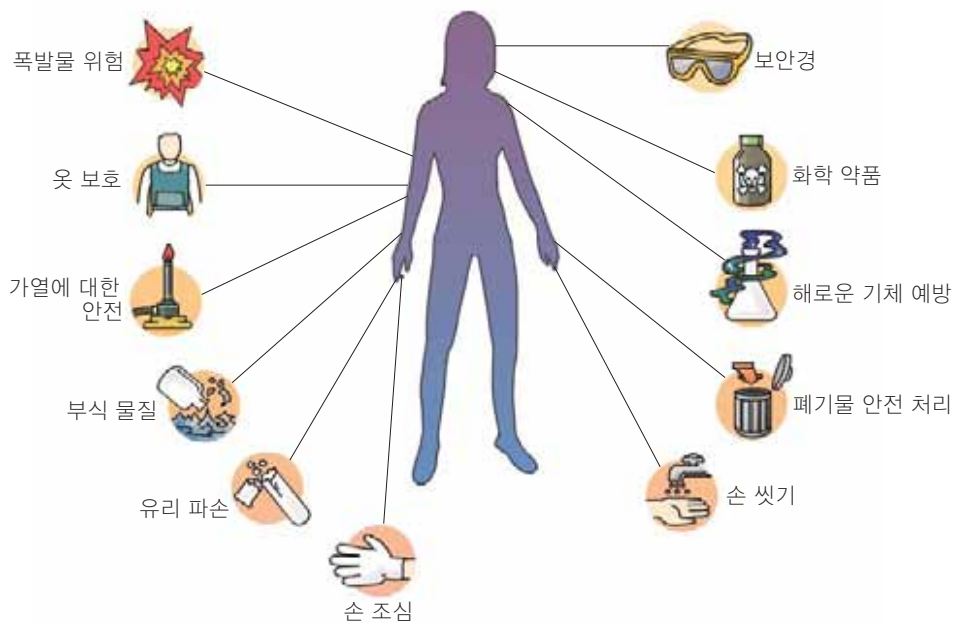


▲ 생성되는 종유석



▲ 석화

15 실험 시에 필요한 안전 기호





(1) 부식 물질

- 산과 염기가 피부나 옷에 닿지 않도록 한다. 피부에 묻으면 곧 찬물로 씻고 선생님께 알린다.
- 옷을 보호하기 위하여 실험복을 입는다.
- 화학 물질이 담긴 그릇을 흔들거나 가열할 때 자신이나 다른 사람의 안전을 유지한다.

(2) 화학 물질 안전

- 실험실에서 어떤 물질도 맛을 보아서는 안 된다. 실험실의 용기로 음식물을 먹지 말자.
- 화학 물질을 포함한 용기에 이름을 붙여야 한다.
- 사용한 화학 물질은 처음의 용기에 넣지 말자.

(3) 해로운 기체 예방

- 폭발의 우려가 되는 경우 예방책을 마련하자.
- 인화성 물질은 소량을 사용하고 환기를 잘 해야 한다.
- 독성이나 인화성 물질은 후드에서 다룬다.
- 수소, 아르곤, 헬륨, 질소, 농도가 짙은 이산화탄소는 흡입해서는 안 된다.

(4) 폭발 위험 방지

- 폭발의 원인이 있는 물질을 다루기 전에 보호막을 준비하자.
- 에탄올, 에테르 등을 다룰 때에는 주위에 불씨가 없도록 하자.
- 폭발성 고체를 가열할 때는 물중탕을 사용하자. 폭발성 고체를 직접 가열해서는 안 된다.

(5) 눈의 안전

- 실험실에서는 보안경을 쓰자. 눈 예방을 위한 세척 시설이 있는지 확인하자.
- 태양을 짧은 시간이라도 똑바로 보아서는 안 된다. 보안경은 태양 빛을 차단하지 못한다.
- 실험실에서는 콘택트렌즈를 착용하지 말자.

(6) 가열에 대한 안전

- 소화기, 소화용 담요가 있는지 확인하자.
- 긴 머리는 묶고 느슨한 옷은 단정하게 하자.
- 불꽃을 다룰 때는 보안경을 쓰자.
- 타고 있는 불을 가로질러 다니지 말자.
- 버너에 불을 붙이기 전에 안전에 유의하자.
- 버너를 사용하지 않을 때는 뜨거운 판과 버너를 치워야 한다.
- 유리 용기와 불꽃 사이에는 링과 철망을 사용하도록 하자.

(7) 폐기물 처리

- 실험이 끝난 후에는 주변의 청소를 하자.
- 선생님의 지시에 따라 처리하자.
- 깨어진 유리는 따로 마련한 용기에 넣자.
- 위험한 폐기물은 지정된 용기에 모으자.



(8) 유리 다루기 안전

- 유리 기구는 사용하기 전에 상태를 점검하자.
- 깨어진 것, 금이 간 것, 조각 난 유리 기구는 선생님에게 알리자.
- 유리 기구는 마른 것을 사용하자.
- 맨손으로 깨어진 유리 기구를 만지지 말자.
- 유리를 고무마개 속으로 강제로 밀어 넣지 말자.
- 작업장 끝에 유리 기구를 놓지 말자.

(9) 손의 안전

- 가열된 기구는 집게를 사용하여 옮기자.
- 가열되는 동안 손으로 그릇을 잡거나 만지지 말자.
- 가열된 기구는 식은 다음에 다루도록 하자.

(10) 위생

- 실험 후에는 항상 손을 씻자.
- 시약을 다룰 때 손을 입과 얼굴에 가까이 하지 말자.

(11) 옷 보호

- 실험실에서는 실험복을 착용하자.
- 옷은 느슨하게 입지 않도록 하고, 흔들리는 장신구는 착용하지 말자.



I 화학의 언어

1. 인류 문명의 발전과 화학

[확인] p.18

- 강철로 자동차, 대형 선박 등을 제조하였고, 특히 철로 된 자석을 이용하여 전기를 생산할 수 있어 인류 문명 발전에 크게 이바지하였다.
- 질소와 수소

[확인] p.22

- 원자는 물질을 이루는 기본 입자이며, 분자는 원자가 결합하여 이루어진 물질의 기본 입자이다.
- 이산화탄소, 물

[확인] p.25

0.1몰

[확인] p.25

- 3.01×10^{23} 개
- 22 g
- 11.2 L

중단원 마무리

[도전문제] p.27

- (1) 한 종류의 원자만으로 이루어진 물질
(2) 물질을 구성하고 있는 기본 입자
(3) 원자가 결합하여 이루어진 물질의 성질을 지닌 최소 입자
(4) 두 가지 이상의 원소가 결합하여 이루어진 순수한 물질
(5) 질량수가 12인 탄소 원자 ^{12}C 를 12로 정하고 이것을 기준으로 한 상대적 질량

[해설] 원자량: 수소 = 1, 산소 = 16, 질소 = 14

(6) 구성 원자의 원자량의 합

[해설] $\text{H}_2=2$ $\text{O}_2=32$ $\text{CO}=28$ $\text{CO}_2=44$ $\text{CH}_4=16$

- ④ **[해설]** 물질 1몰의 원자 수, 분자 수는 아보가드로수만큼 있으며, 차지하는 부피는 종류에 관계없이 22.4 L이다. 수소 분자의 질량은 2 g, 산소 분자는 32 g이다.
- 산소: 환자의 호흡, 로켓의 산화제, 신생아의 호흡 장치, 어항의 물고기 호흡 등에 이용한다.
수소: 연료 전지, 로켓의 연료, 수소 자동차, 금속 산화물에서 산소 제거
- 곡물: 되나 말 또는 질량으로 판다.
쌀 한 가마 : 80 kg
달걀 : 판, 30개가 한 판이다.
연필 : 타 또는 다스, 한 타는 12자루

가솔린 : 1리터 (L), 1갤런 (3.7853 L)

이유 : 날개로 파는 것보다 모뎀으로 파는 것이 훨씬 편리하기 때문이다.

- (1) 18 **[해설]** 분자량은 1몰의 질량이다.
(2) 44 **[해설]** 아보가드로수만큼의 질량이 분자량이다.

2. 물질의 조성과 화학 반응식

[확인] p.36

1. CuO

[해설] 검은색의 산화구리는 구리와 산소가 1:1로 결합한다.

2. 실험식 CH_2O

[해설] 실험식은 결합하는 원자 수의 비가 가장 간단한 것이다.

[다지기] p.41

(1) $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

(2) 3×10^{-23} g

[해설] $18 \text{ g} \div (6.02 \times 10^{23}) \approx 3.01 \times 10^{-23}$ g

(3) 5몰

[해설] 물 1몰은 18 g이므로 $90 \div 18 = 5$ (몰)

(4) 3.01×10^{24}

[해설] 물 1몰에는 6.02×10^{23} 개의 분자가 있으므로,
 $5 \times 6.02 \times 10^{23}$ 개 = 3.01×10^{24} 개

(5) 80 g

[해설] $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

$$16 \times 2 : 2 \times 18 = x : 90$$

$$x = 80$$

[확인] p.41

1. $\text{Fe} + \text{S} \longrightarrow \text{FeS}$

2. 4 g

[해설] $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

$$4 : 36 = x : 36$$

$$x = 4$$

중단원 마무리

[도전문제] p.43

- (1) 라틴 어 이름의 알파벳 대문자와 또는 다음에 오는 적당한 소문자로 조합하여 나타낸 기호
(2) 물질을 구성하는 원소의 종류와 그 수로 나타낸 식
(3) 물질을 구성하는 원자의 종류를 조사하는 방법
(4) 한 분자를 구성하는 성분 원소와 그 비로 나타낸 식
(5) 무색 불꽃을 사용하여 물질을 태울 때 나타나는 특유의 색으로 성분 원소를 확인하는 반응

2. 메테인이 완전 연소로 생성된 CO₂는 인체에 해롭지 않으나 불완전 연소하면 인체에 해로운 일산화탄소가 발생한다.
3. 중세의 연금술사들이 사용한 기호에 이어 돌턴이 표현한 원소의 기호가 있으며, 현재의 원소 기호를 제안한 사람은 스웨덴의 베르셀리우스이다. 원소 기호는 라틴어 첫 글자를 대문자로 표현하였으며, 첫 글자가 같을 때에는 두 번째 또는 적당한 글자를 소문자로 붙여 썼다.
4. $2\text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
탄산수소나트륨 탄산나트륨 물 이산화탄소
탄산수소나트륨이 가열되면 분해되어 이산화탄소 기체가 생성된다. 이 기체가 가열될 때 부피가 팽창하여 빵이 부풀어 오르게 된다.
5. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, 몰수 비 2 : 1 : 2



대단원 정리 문제

47쪽

1. 화합물, 실험식, 분자식
2. 원자량, 분자량
3. 화학 반응식
4. 원소 분석
5. × [해설] 플루오린의 원소 기호는 F이다.
6. × [해설] $\text{H}_2\text{O} = 1 \times 2 + 16 = 18$
7. ○ [해설] $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3$
8. ② [해설] LiCl은 화합물이다.
9. 6.02×10^{23} 개
[해설] 수소 한 분자는 2개의 수소 원자로 이루어져 있으므로, $0.5\text{몰} \times 6.02 \times 10^{23} \times 2 = 6.02 \times 10^{23}$ 개이다.



대단원 종합 문제

48-49쪽

1. ③
2. ⑤ [해설] 반응물질의 총 몰수는 4몰, 생성물질의 총 몰수는 5몰이다.
3. ② [해설] 주어진 문제가 요구하는 입자 수는 1/2몰, 즉, 3×10^{23} 개를 말한다.
4. ④ [해설] 주어진 자료에서 60 kg인 사람이 차지하는 원소의 질량과 원자량을 이용하여 A~D를 몰수를 구한다.
 $A = 36/16, B = 11.7/12, C = 5.3/1, D = 2.9/14$
몰수가 가장 큰 것은 C이다.
5. ⑤ [해설] 0°C, 1기압에서 기체 1몰의 질량이 분자량이다.

6. ④ [해설] 브로민 원자에는 원자량이 79와 81인 두 가지 동위 원소가 존재한다. HBr은 분자량이 다른 5가지 종류가 가능하다.

II 개성 있는 원소

1. 원자의 구조

[확인] p.58

1. 음전하
2. 진공에 가까운 극히 낮은 압력으로 만든 유리관

[확인] p.61

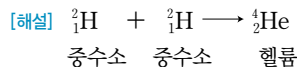
1. 원자의 중심에 양으로 하전된 입자가 있기 때문이다.
2. 원자의 중심에 양으로 하전된 무거운 입자가 있다는 것을 입증하였다.

[확인] p.63

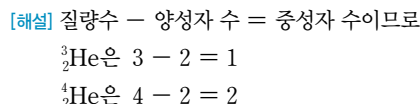
1. 양성자 수 15, 전자 수 15, 중성자 수 16
2. $^{14}_7\text{N}$

[확인] p.66

1. 중수소 원자의 핵융합에 의해서 헬륨이 형성되었다.



2. ^3_2He : 중성자 수 1개, ^4_2He : 중성자 수 2개



[확인] p.72

1. 3
2. -145.78 kJ/mol [해설] $E = -\frac{1312}{3^2} = -145.78$
3. 공통점 • 수소와 네온의 에너지 준위는 불연속적이다.
• 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 이동할 때 두 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 방출한다.
차이점 • 선 스펙트럼이 나타나는 위치가 다르다.
• 선 스펙트럼의 색깔과 선의 수가 다르다.

[확인] p.76

1. 4개
[해설] 원자 번호가 6이고 전자 수는 6개이므로 $K=2, L=4$
2. $K=2, L=8, M=5$



[확인] p.78




4개 존재한다. [해설] $n^2 = 2^2 = 4$
($2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z$)

[확인] p.81

- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
- $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$

중단원 마무리

[도전문제] p.83

- (1) 전자의 원형 궤도
(2) 하나 또는 몇 개의 특정한 파장만 포함한 빛의 스펙트럼
(3) 오비탈 모형에서 전자의 에너지 준위를 나타내는 수
(4) 원자의 전자껍질에 배치되는 전자 중 맨 바깥 껍질에 배치되는 전자
(5) 한 전자가 가지는 고정된 에너지
- 비단상태에서의 탄소 원자의 오비탈
- 
- 보이는 수소 이외의 다전자원자에 대해 설명하지 못하였다. 그 후 과학자들의 연구로 원자핵 주위에서 전자를 발견할 확률로 모형을 나타내게 되었다.
 - 풍선이나 종이로 모형을 만들어 표현한다.
 - $1s^2$ $2s^2$ $2p^2$

 $1s^2$ $2s^1$ $2p^3$

 - 한 생명체가 죽게 되면 방사성 동위원소 ^{14}C 의 출입이 정되어 그 시간 이후 남아 있는 ^{14}C 의 양은 붕괴되어 감소하여간다. 그 반감기를 역산하여 연대를 측정한다.

2. 주기적 성질

[확인] p.88

받아들일 수 있는 점: 황, 인, 탄소, 구리, 금, 납 등이 원소인 점
받아들일 수 없는 점: 빛, 생석회 CaO , 알루미나 Al_2O_3 를 원소라고 한 점

[확인] p.93

- 금속 3, 비금속 5 [해설] Na, Mg, Al이 금속이다.
- 염소 3. 비금속

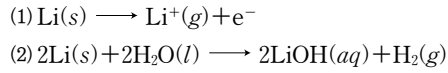
[확인] p.100

원자핵과 전자 사이의 인력이 증가하기 때문이다.

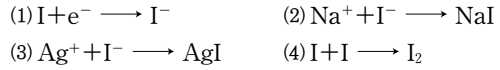
[확인] p.104

- 플루오린 F 2. 작아진다.

[확인] p.106



[확인] p.107



[확인] p.119

전자 빔

중단원 마무리

[도전문제] p.111

- (1) 가장 바깥 껍질에 있는 전자가 실제로 느끼는 핵의 전하이다.
(2) 주기율표에서 가로줄
(3) 기체 상태의 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어 내는 데 필요한 에너지
(4) 원자가 공유 결합 화합물을 이룰 때 한 원자가 전자쌍을 잡아당기는 능력
- 전자껍질 K L M N
 칼륨 이온 K^+ 2 8 8
 칼륨 ^{19}K 2 8 8 1
 칼륨이 칼륨 이온보다 K, L, M 전자껍질의 가려막기 효과가 크기 때문에 유효 핵전하가 칼륨 이온보다 작다.
- 플루오린 F: NaF 형태로 수돗물에 첨가하여 충치를 예방한다. 플루오린 이온이 너무 많은 양이 포함된 물을 계속 마시면 치아에 백색 반점이 생기는 결과를 얻게 된다.
 • 염소 Cl: 수돗물 소독, 다른 원소와 화합물을 형성하므로 표백제로 사용한다. 염소 기체는 인체에 대단히 해롭다.
- 원자 내의 양성자 수가 많을수록 전자를 잡아당기는 인력이 커진다. 따라서 전자를 떼어 내기가 어렵다
- 이온 음료는 나트륨 이온이나 칼륨 이온이 들어 있기 때문



대단원 정리 문제

115쪽

- 원자핵, 전자, 쿼크
- 에너지 준위, 오비탈
- 이온화 에너지
- 족, 주기
-
-

7. ○

8. ①, ③ [해설] 전기 음성도 값은 족에서 아래로 갈수록 감소한다. 리튬 1.0, 칼륨 0.8

9. (1) Ca < O (2) N < F (3) H < C (4) H < Cl

[해설] 각 원소의 전기 음성도를 비교한다. Ca(1.0) O(3.5) N(3.0) F(4.0) H(2.1) Cl(3.0)



대단원 종합 문제

116~117쪽

- ④ [해설] 양전하를 띤 α입자가 산란하므로 원자핵은 양전하를 띤다.
 - ② [해설] A와 B는 1주기 원소이고, C~J는 2주기 원소이다. G와 H가 이온이 되면 전자껍질 수와 전자 수는 같고 양성자 수만 다르다. 양성자 수가 적은 G가 핵과의 인력이 약하므로 이온 반지름은 H보다 커진다.
 - ③ [해설] 전자껍질 수가 많고 원자가 전자 수가 작을수록 제일 이온화 에너지는 작아지므로 D의 제일 이온화 에너지가 가장 작다.
 - ③ [해설] 이온화 에너지는 원소에서 전자를 떼어 낼 때 필요한 에너지이다. 수소 원자의 경우 전자를 $n=1$ 에서 $n=\infty$ 로 전이할 때 필요한 에너지를 말한다.
5. 2, 3주기 모두 일반적으로 같은 주기에서 원자 번호가 증가할수록 전기 음성도와 제일 이온화 에너지가 증가하는 경향성을 가진다. 이와 같은 경향성이 나타나는 것은 주기에서 원자 번호가 증가할수록 유효 핵전하가 증가하기 때문이다.

[확인] p.136

수소 결합 때문에

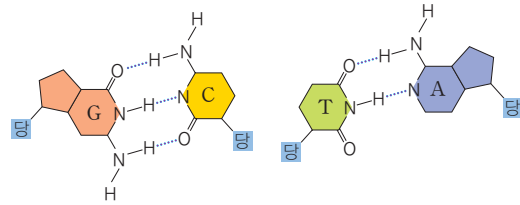
[확인] p.137

DNA 복제 단계에서는 먼저 이중 나선의 꼬여 있던 사슬이 풀어져 수소 결합이 끊어지며, 각각 하나의 가닥으로 분자가 풀린다. 풀림이 일어나면서 새로운 뉴클레오타이드들이 두 가닥의 노출된 염기 부분에 상보적으로 부착하게 되고, 각각은 하나의 오래된 가닥과 하나의 새로운 가닥으로 구성된 새로운 DNA 이중 나선으로 전환된다.

중단원 마무리

[도전문제] p.141

- (1) 동소체: 같은 원소로 되어 있으나 원자의 배열 구조가 달라 서로 다른 성질을 나타내는 물질
(2) 풀러렌: 축구공 모양의 분자 구조를 가지며, C₆₀은 12개의 정오각형과 20개의 정육각형으로 되어 있다.
(3) 수소 결합: 전기 음성도가 큰 원자(F, O, N)와 수소 원자가 결합한 화합물 사이에 작용하는 인력
(4) DNA 복제: DNA의 이중 나선의 꼬여 있던 사슬이 풀여 291쪽 각각 하나의 가닥으로 분자가 풀리면, 새로운 뉴클레오타이드들이 두 가닥의 노출된 염기 부분에 상보적으로 부착한다. 따라서 오래된 가닥과 새로운 가닥으로 구성된 새로운 DNA 이중 나선이 생기며, 이런 과정을 통해 유전 정보의 전달을 가능하게 한다. 이것을 DNA 복제라고 한다.
- 구아닌과 사이토신 염기쌍은 3개의 수소 결합을 가지며, 티민과 아데닌 염기쌍은 2개의 수소 결합을 가진다.



- (1) 탄소 나노 튜브 모형



- (2) 특징: 가. 하나의 탄소 C 원자는 3개의 다른 탄소 원자와 결합되어 있다.
나. 육각형 벌집무늬를 이루고 있다.
다. 속이 빈 튜브와 같은 모양이다.

III 아름다운 분자 세계

1. 분자 세계의 건축 예술

[확인] p.132

다이아몬드는 한 개의 탄소 원자가 다른 네 개의 탄소 원자들과 결합하여 만들어진 3차원 그물 구조의 물질로서, 전자들이 쉽게 이동할 수 없어 전기가 통하지 않는다. 그러나 흑연은 3개의 탄소 원자들이 120°의 각도로 육각형 모양의 평평한 판을 구성하며, 각 탄소 판들 사이에는 약한 인력이 작용하여 전자들은 평면을 따라 쉽게 움직일 수 있다. 따라서 흑연은 전기를 잘 통하는 물질이다.

ㄱ

가려막기 효과 95
 갈바니 260
 강산 234
 결합 길이 154
 결합의 극성 166
 고리형 탄화수소 188
 공간 모형 125
 공·막대기 모형 125
 공명 구조 163
 공유 결합 152
 공유 결합 반지름 154
 공유 전자쌍 159
 광합성 22, 207
 구경꾼 이온 243
 구대칭 138
 그래핀 134
 극성 공유 결합 167
 극성 분자 167
 금속 결합 165
 기체 연료 45

ㄴ

나일론 18, 191
 노벨 221
 뉴클레오사이드 249
 뉴클레오타이드 135, 249

ㄷ

다이아마이트 221
 다이아몬드 126
 단일 결합 160
 데모크리토스 56
 데이비 110
 돌턴 32, 56

동소체 129
 동위 원소 65
 되베라이너 88
 들뜬상태 72
 DNA 135
 DNA의 기능 137
 DNA의 복제 137
 디옥시리보핵산 247

ㄹ

라부아지에 38, 88
 라이먼(Lyman) 계열 73
 러더퍼드 59
 로우리 225
 루이스 164
 루이스의 정의 226
 루이스 전자점식 159, 162
 리보핵산 247
 리비히 35
 리튬 전지 108
 리트머스 232

ㄴ

만능 PH 시험지 236
 메테인 39, 179, 184
 메탈기 185
 메틸 오렌지 232
 멘델레예프 89
 모즐리 63, 92, 113
 몰(mole) 24
 무극성 공유 결합 167
 무극성 분자 167
 물 180
 물 분자 33, 125
 물의 전기 분해 39, 156
 윌러의 실험 장치 245

ㄷ

바닥상태 72
 반감기 67
 발머 71
 발머(Balmer) 계열 73
 방사능 67
 방사선 67
 방사성 동위 원소 67
 방사성 탄소 68
 방향족 탄화수소 188
 배위 공유 결합 162
 벡터량 168
 벤젠 189
 벨크로 136
 변색 범위 232
 보슈 17, 239
 보어 71, 83
 보어의 원자 모형 70
 불타 261
 불타 전지 217
 부식 209
 부양자수 77
 분광기 71
 분자 21
 분자 구조 178
 분자량 23
 분자 모형 33
 분자식 37
 불꽃 반응 33
 불의 발견 14
 불포화 탄화수소 186
 브린스테드 225
 브린스테드·로우리의 정의 225
 비공유 전자쌍 159
 비금속 원소 93
 BTB 232
 비파괴 검사 210





人

비활성 기체 94, 159
 빅뱅 64
 뿌리혹박테리아 16

사슬형 탄화수소 184
 사이클로헥세인 188
 산의 성질 227
 산의 세기 233
 산화 206
 산화수 213
 산화제 216
 산화·환원 반응 206
 삼중 결합 161
 삼중수소 65
 상보적 137
 상보적 염기쌍 251
 샤가프 251
 석탄의 가스화 51
 선 스펙트럼 71, 82
 세쌍 원소설 88
 소금 용액의 전기 분해 151
 수산화 이온 224
 수소 결합 136
 수소 분자 모형 33
 수소 연료 전지 자동차 43
 수소의 스펙트럼 70
 수소 이온 224
 수소 이온 농도 지수 236
 순차적 이온화 에너지 99
 슈뢰딩거 77
 스펙트럼 71
 CNG 45
 실험식 35
 쌍극자 168
 쌍극자 모멘트 168
 쌀을 원리 79

○

아래 쿼크 61
 아레니우스 224
 아레니우스의 정의 224
 아리스토텔레스 20
 아미노기 245
 아미노산 245
 아보가드로 24
 아보가드로 법칙 25
 아보가드로수 24
 아세틸렌 187
 아스파라진 247
 알짜 이온 242
 알짜 이온 반응식 242
 알카인 186
 알칼리 금속 94, 106, 109
 알케인 185
 알켄 186
 알파 입자 59
 암모니아 180, 211, 238
 암모니아의 합성 16, 239
 압축 천연 가스 45
 앙금 생성 반응 33, 107
 액화 석유 가스 45
 약산 234
 양배추 지시약 231
 양성자 59
 양성자 받개 225
 양성자 주개 225
 양자 71
 양쪽성 물질 226
 에너지 준위 72, 75
 에스터 결합 248
 STR 분석 253
 에테인 185
 에텐 186
 LP 가스 45



LPG 45
 연금술 14, 19
 연금술사 14, 27
 연대 측정 68
 연속 스펙트럼 82
 연필심 133
 염 240
 염기의 성질 229
 염기의 세기 235
 오비탈 77
 5탄당 135
 옥타브설 88
 옥텟 규칙 158
 왓슨 136
 원소 20
 원소 기호 32
 원소 분석 33
 원소의 기원 64
 원소의 주기율 90
 원유의 분별 증류 190
 원자 21
 원자가 전자 76, 93
 원자량 23
 원자 모형의 변천 과정 74
 원자 반지름 96
 원자 번호 63
 원자의 구성 입자 62
 원자의 크기 62
 원자핵 59
 위산 244
 위 쿼크 61
 유효 핵전하 95
 음극선 57
 이성질체 188
 이온 결합 146
 이온화 에너지 99
 이중 결합 161
 이중 나선 구조 136





2차 전지 261
 인산 결합 248
 인산 에스터 결합 248
 1차 전지 261

ㄷ

자유 전자 165
 재충전 리튬 전지 108
 전기 음성도 102
 전자 57
 전자구름 모형 77
 전자껍질 71
 전자 배치 79
 전자 스핀 79
 전자쌍 80
 전자쌍 반발 이론 177
 전자 친화도 104
 전지 260
 정전기적 인력 149
 정전기 퍼텐셜 지도 169
 제산제 244
 조성비 35
 족 92
 주기 92
 주기율 88
 주기율표 90
 주사 터널 현미경 119
 주양자수 72
 준금속 93
 중성자 60
 중수소 65
 중화 반응 240
 중화열 242
 쥐불놀이 243
 지시약 231
 질량 분석기 69
 질량수 63



질산은 212
 질소의 고정 239

ㄸ

채드윅 60
 철 15
 철광석 15, 208
 철의 부식 209
 철의 제련 208
 첨가 반응 186
 추적자 67

ㅋ

카멜레온 볼 231
 카복시기 245
 캐러더스 191
 케쿨레 189
 콩테 133
 쿼크 61
 퀴리 부인 85
 크릭 136

ㅌ

탄소 나노 튜브 129
 탄소 화합물 183
 탄화수소 184
 테플론 191
 톰슨 57
 투과 전자 현미경 119

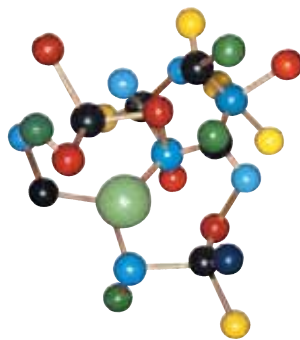
ㅍ

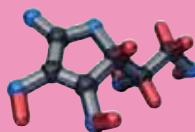
파셴(Paschen) 계열 73
 파울리의 배타 원리 79
 페놀프탈레인 232

페로몬 193
 포도당 22, 36
 포화 탄화수소 185
 폴리뉴클레오타이드 135
 폴리뉴클레오타이드 중합체 249
 플링 102
 플러렌 129
 PH 232, 236
 필수 아미노산 247

ㅎ

하버 16, 239
 하버-보슈법 17
 하이드로늄 이온 224
 할로젠 94, 109
 핵산 246
 핵융합 67
 헬륨 65
 헬륨의 동위 원소 66
 헬리코박터 균 244
 현미경 118
 흡원자 80, 160
 흡원소 물질 20
 화석 연료 17
 화학 결합 146
 화학 반응식 38
 화학식 32
 화학식량 23
 화합물 20
 확장된 옥텟 규칙 248
 환원 207
 환원제 216
 효소 137
 훈트 규칙 80
 흑연 128, 133





참고 문헌

- Nicola Baxer, Question & Answer, 2008, Bookmart Ltd.
- Special Problem, 1981, Time life books
- Fran Baines, Science Encyclopedia, 2006, Dorling Kindersley
- Otto Kratz, 7000 Jahre Chemie, 1999, GGmbH & Co
- Raymond Chang, Chemistry, 2001, McGraw Hill
- Robert Bud Inventing the modern world, Dorling Kindersley
- Barbara Berger, Inventing the modern world, 1999, Dorling Kindersley
- Dna Ferando, Alchemy, 1999, Ann arbor library
- Raymond Chang, Chemistry, 2001, McGraw Hill
- Hill, Chemistry, 2005, Prentice Hall
- Peter Atkins, Chemistry, 1997, P. W. Atkins
- 竹内敬人, 化學 I, 2009, 東京書籍
- Zumdahl, Chemistry, 2010, Brooks/Cole
- Blackman, Chemistry, 2008, John Wiley & Australia Ltd.
- Denise Kiernan, Chemistry, 2007, Collins
- Discovery Channel Magazing, 2010 Feb.
- Denise Kiernan, Chemistry, 2007, Collins, Collins
- 뉴튼, 2009 12월호
- William, Masterton, Chemistry, 2009, Brooks/Cole
- Blackman, Chemistry, 2008, John Wiley & Australia Ltd.
- R. Thomas, Mayers, Chemistry, 2007, Holt, Rinehart & Winston
- Chris Woodford, Cool Stuff, 2009, Dorling Kindersley
- 나노포커스 자료
- <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/stamps.htm>
- General Chemistry: Principles and Modern Applications(9th Edition), Petrucci, Harwood, Herring, 498쪽
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>
- 일반화학(제7판), Steven S. Zumdahl, Susan A. Zumdahl, 일반화학교재연구회 옮김, 자유아카데미, 346쪽
- <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7827148.stm>
- 과학동아, 2009년 5월호 88쪽
- POPULAR SCIENCE, 2007년 12월호 110쪽
- http://pdbeta.rcsb.org/pdb/static.do?p=education_discussion/molecule_of_the_month/pdb30_1.html
- 일반화학(제8판), Raymond Chang, 일반화학교재연구회 옮김, 자유아카데미



어린이 과학동아, 2010년 7월호, 24쪽
 THE SCIENCE(<http://news.dongascience.com/>) 기사(2010년 5월 3일)
 무기화학(제4판), James E. Huheey, Ellen A. Keiter, Richard L. Keiter, 이광외 옮김, 자유아카데미, Newton, 2009년 8월호, 104쪽
 유기화학(제6판), L. G. Wade, Jr, 김경태 옮김, 청문각, 11쪽, 70쪽
 Zumdahl, Chemistry, 2010, Brooks/Cole
 化學 II, 實教出版
 Raymond Chang, Chemistry, 2001, McGraw Hill
 J.P. Pickett, Student science, 2005, Houghton Mifflin
 Peter Atkins, Chemistry, 1997, P.W. Atkins
 MBL
 Otto Kratz, 7000 Jahre Chemie, 1999, GGmbH & Co
 화학 세계, 2009년 1호
 김희준 외, 생명의 화학, 삶의 화학, 2009, 자유 아카데미
 Raymond. E. Davis, 1999, Chemistry, Holt, Rinehart and Winston
 정완호 외, 고등학교 생물2, 2002, (주)교학사
 David P. Clark, 분자생물학, 2006, 월드사이언스
 Atkins-Jones, 화학의 원리(Chemical Principles), 2008, 자유아카데미

사진 출처

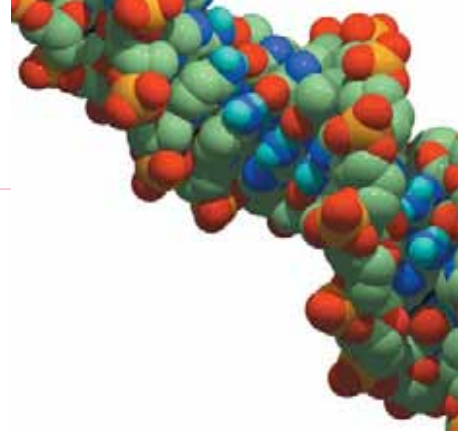
- 4쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 6쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 10쪽 하좌 구글(www.google.com)
- 10-11쪽 barunpatro.com
- 14쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 15쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 16쪽 좌상 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 16쪽 하 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 17쪽 우중 Robert Bud, *Inventing the Modern World*, Dorling Kindersley, 2000
- 17쪽 하 Barbara Berger, *Inventing the Modern World*, Dorling Kindersley, 1999
- 18쪽 하 Science 101, Chem. Smithsonian, 2006



- 19쪽 상 Diana Fernando, Alchemy An Illustrated A to Z, Sterling Pub Co. Inc., 1998
- 21쪽 하좌 <http://farm1.static.flickr.com>
- 22쪽 상 고은호, 구글(www.google.com)
- 27쪽 Otto Kratz 7000 Jahre Chemie, GGmbH & Co. 1999
- 29쪽 Sdtevens, Zumdahl, Chemistry. Brooks/cole, 2010
- 30쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 34쪽 상 竹内敬人, 化學I, 東京書籍, 2008
- 43쪽 구글(www.google.com)
- 45쪽 Allan Blackman, Chemistry, John Wiley & Australia Ltd., 2008
- 51쪽 상 국립과천과학관
- 51쪽 우하 wikimediafoundation.org
- 54쪽 미국 IBM社(www.ibm.com)
- 55쪽 Discovery Channel Magazine, 2010 Feb.
- 56쪽 하좌 미국 IBM社(www.ibm.com)
- 56쪽 하우 <http://www.wired.com/science/discoveries>
- 58쪽 하좌 Peter Atkins, Chemistry, W. H. Freeman, 2000
- 58쪽 하우 Peter Jallack, Sciencebook, Weidenfeld & Nicolson, 2001
- 61쪽 상좌 <http://commons.wikimedia.org>
- 61쪽 상우 <http://www.smartplanet.com>
- 68쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 69쪽 상좌 R. Terrace Egolf, Space & Earth Science, 2005
- 69쪽 상우 William L. Masterton, Chemistry, Brooks Cole, 2009
- 73쪽 M. S. Silberberg, Chemistry, Mcgraw Hill, 2009
- 75쪽 상좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 85쪽 R. Thomas Myers, Chemistry, Holt Rinehart & Winston, 2000
- 89쪽 구글(www.google.com)
- 90쪽 R. Thomas Myers, Chemistry, Holt Rinehart & Winston, 2000
- 94쪽 하 <http://en.academic.ru>
- 98쪽 하 M. S. Silberberg, Chemistry, Mcgraw Hill, 2009
- 111쪽 Julian, Holland, Science, Kingfisher, 2006
- 113쪽 구글(www.google.com)
- 119쪽 상 한국기초과학지원연구원
- 119쪽 하 M. S. Silberberg, Chemistry, Mcgraw Hill, 2009
- 122쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 123쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 124쪽 상좌 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 124쪽 상우 유로크레온(www.eurocreon.com)

- 124쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 124쪽 하중우 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 124쪽 하우 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 125쪽 하우 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 126쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 128쪽 상중 EnCyber 두산백과사전(www.encyber.com)
- 128쪽 상우 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 128쪽 하중 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 129쪽 상중좌 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 129쪽 상중우 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 129쪽 상우 Ralph H. Petrucci, General Chemistry: Principles and Modern Applications, Pearson Prentice Hall, 2006
- 129쪽 하좌 위키백과(<http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>)
- 130쪽 하중 gigaom.com
- 133쪽 좌상 <http://www.psdgraphics.com>
- 133쪽 우하 위키백과(http://en.wikipedia.org/wiki/Nicolas-Jacques_Cont%C3%A9)
- 134쪽 상 BBC(<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7827148.stm>)
- 134쪽 하 과학동아 2009년 5월호
- 134쪽 하우 Popular Science 2007년 12월호
- 136쪽 좌상 <http://www.mustknowhow.com/>
- 136쪽 좌하 ask.nate.com
- 137쪽 하 http://pdbeta.rcsb.org/pdb/static.do?p=education_discussion/molecule_of_the_month/pdb30_1.html
- 138쪽 상 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 138쪽 중좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 138쪽 중중좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 138쪽 중우 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 138쪽 하중좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 138쪽 하중우 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 138쪽 하우 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 139쪽 상 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 139쪽 중 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 139쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 140쪽 하중좌 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 140쪽 하우 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 140쪽 하좌 유로크레온(www.eurocreon.com)
- 143쪽 THE SCIENCE (<http://news.dongascience.com>) 기사(2010년 5월 3일)
- 144쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 145쪽 biodesign.asu.edu

- 146쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 151쪽 Steven S. Zumdahl, Chemistry, Brooks Cole, 2010
- 157쪽 상 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 157쪽 하 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 159쪽 상 <http://commons.wikimedia.org>
- 171쪽 하 files.oakland.edu
- 173쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 174쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 183쪽 상우 Denise Kiernan, Science 101: Chemistry, Smithsonian, 2007
- 184쪽 상좌 구글(www.google.com)
- 192쪽 하 wps.prenhall.com
- 193쪽 <http://www.animalpicturesarchive.com>
- 201쪽 구글(www.google.com)
- 207쪽 상 竹内敬人, 化學I, 東京書籍, 2008
- 209쪽 상좌 NASA
- 212쪽 Jean B., General Chemistry, Brooks Cole, 2005
- 218쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 218쪽 하우 www.ohmynews.com
- 219쪽 하좌 susieofarabia.wordpress.com
- 219쪽 하우 picasaweb.google.com
- 221쪽 구글(www.google.com)
- 222쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 223쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 234쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 238쪽 하좌 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 243쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 244쪽 하 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 249쪽 하 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 251쪽 하 neuroprotectivelifestyle.com
- 260쪽 상 구글(www.google.com)
- 260쪽 중 구글(www.google.com)
- 262쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 297쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 298쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 299쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)
- 303쪽 타임스페이스(www.timespace.co.kr)
- 303쪽 게티이미지(www.gettyimageskorea.com)



지은이

박종석

서울대학교 사범대학 화학교육과, 동 대학원 졸업(교육학 박사)
(현) 경북대학교 사범대학 교수

조은미

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
(현) 둔촌고등학교 교사

윤 용

서울대학교 사범대학 화학교육과, 연세대 대학원 졸업
(전) 배재고등학교 교사
(전) EBS 과학 특집 방송 및 고교 화학 출연 교사
(현) Gemological Institute of America(GIA) 보석 전문 감정사

류시경

한국교원대학교 화학교육과,
경북대학교 대학원 졸업(교육학 박사)
(전) 경산과학고등학교 교사
(현) 경북과학교육원 연구사

정지오

서울대학교 사범대학 화학교육과, 단국대 대학원 졸업
(전) 보성고등학교 교사

편 집

편 집 김영철, 박성기, 김진암

디 자 인 사람과 디자인 / 아트디렉터 국성근

삽화/컷 (주)하이테크컴, 김석재, 황승호, 나무

사 진 김병주, 배소영

본 도서는 교육부가 인정도서 감수기관으로 지정한 한국과학창의재단에 서울특별시교육청이 의뢰하여 감수를 받았음.

고등학교 화학 I

2011. 3. 1. 초판 발행 / 2015. 3. 1. 5판 발행

정가 12,000원

지 은 이 : 박종석 외 4인

발 행 인 : (주)교학사 서울특별시 금천구 가산디지털1로 42(가산동)
서울사무소: 서울특별시 마포구 마포대로 14길 4(공덕동)

인 쇄 인 : (주)교학사 서울특별시 금천구 가산디지털1로 42(가산동)

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있는 분은 교육부와 한국교과서연구재단이 운영하는 '교과서민원바로처리센터'
(전화: 1566-8572, 웹사이트: <http://www.textbook114.com> 또는 <http://www.교과서114.com>)에
문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상은 문화체육관광부장관이 정하는 기준에 따라
사단법인 한국복제전송저작권협회(전화 02-2608-2800, www.korra.kr)에서 저작권자에게 지급합니다.

내용관련문의: (주)교학사 편집1부 과학과 전화: (02)362-3607 전송: (02)362-3602

공급업무대행: (사)한국검인정교과서

경기도 파주시 조리읍 당재봉로 29-28

개별구입안내: 홈페이지 주소 www.kitbook.com (02) 3663-5409~12 (사)한국검인정교과서
www.kyohak.co.kr (02) 707-5155 (주)교학사

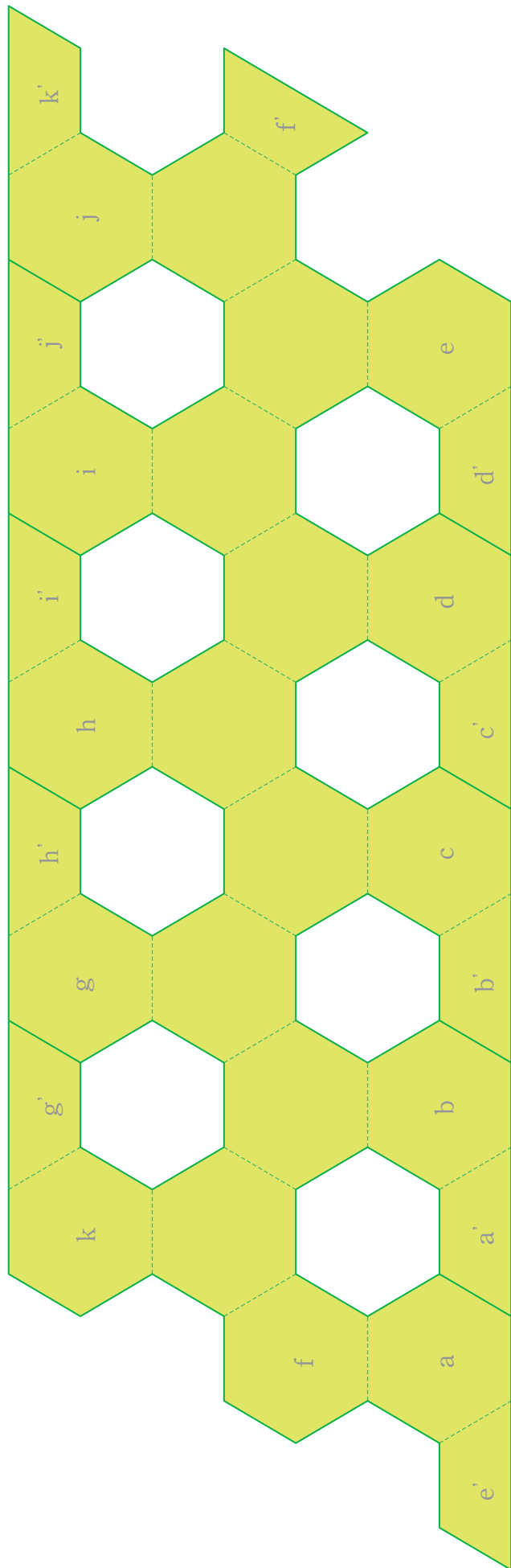
ISBN 978-89-09-18458-8

풀러렌 모형 만들기

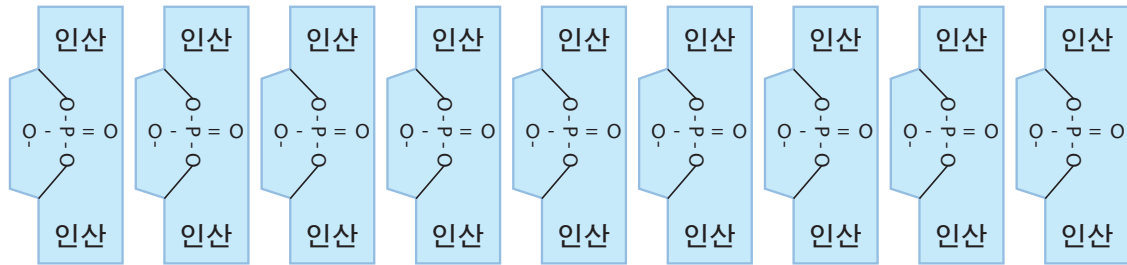
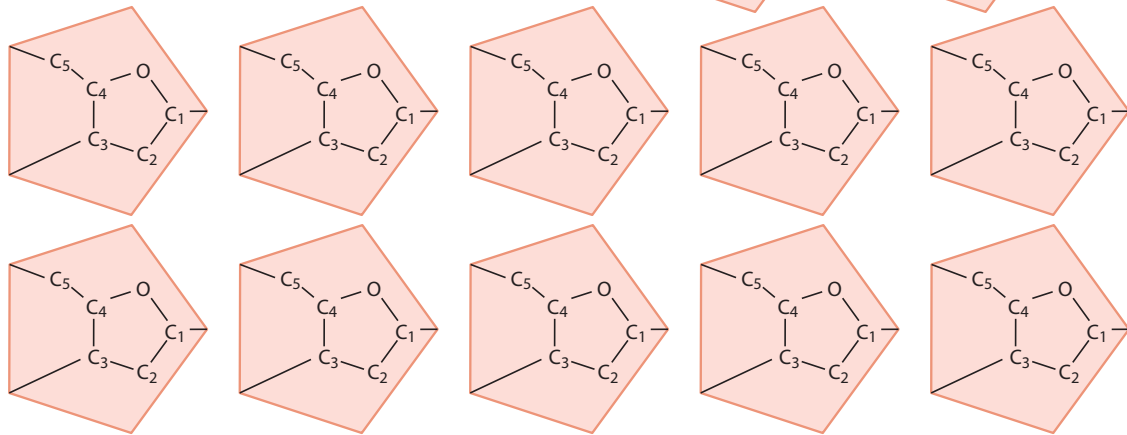
(본문 131쪽 참조)

만드는 방법

- ① 청색 실선을 따라 가위로 종이를 오린다. 점선은 접는 부분이다.
- ② a' 뒷면에 풀을 칠한 다음 a 아랫면에 붙인다. 또, b' 뒷면에 풀을 칠하고 b 아랫면에 붙인다. 같은 방법으로 c, d도 붙인다.
- ③ e' 뒷면에 풀을 칠한 다음 e 아랫면에 붙인다.
- ④ f' 뒷면에 풀을 칠한 다음 f 아랫면에 붙인다.
- ⑤ 과정 ②~④와 같은 방법으로 g'~k'에 풀을 칠하고, g~k에 각각 붙이면 완성된다.



DNA 분자 구조 이해하기



만드는 방법

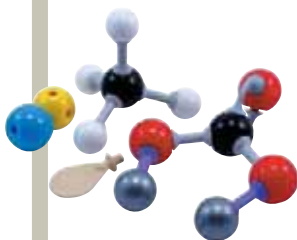
(본문 250쪽, 부록 284쪽 참조)

당, 인산, 염기 스티커를 오려 A4 용지에 붙여서 DNA 2중 사슬을 완성하자.

이때 인산과 당이 붙는 위치, 상보적 결합, 각 사슬의 말단의 모습이 원리에 맞도록 주의하자.



단원별 집필진



I. 화학의 언어

- | | |
|-------------------|------------------------|
| 1. 인류 문명의 발전과 화학 | 박종석 parkbell@knu.ac.kr |
| 2. 물질의 구성과 화학 반응식 | 박종석 parkbell@knu.ac.kr |

II. 개성 있는 원소

- | | |
|-----------|------------------------|
| 1. 원자의 구조 | 윤용 yyoon0317@naver.com |
| 2. 주기적 성질 | 윤용 yyoon0317@naver.com |

III. 아름다운 분자 세계

- | | |
|-----------------|---------------------------|
| 1. 분자 세계의 건축 예술 | 류시경 chemsci@hanmail.net |
| 2. 화학 결합 | 류시경 chemsci@hanmail.net |
| 3. 분자의 구조 | 정지오 geojjung@chollian.net |

IV. 닦은꼴 화학 반응

- | | |
|-----------|------------------------|
| 1. 산화와 환원 | 박종석 parkbell@knu.ac.kr |
| 2. 산과 염기 | 조은미 ymjo99@hanmail.net |
-

원소의 주기율표

족 → 주기 ↓	1																
1	H 1 수소 hydrogen 1.00794																
2	Li 3 리튬 Lithium 6.941	Be 4 베릴륨 Beryllium 9.01218															
3	Na 11 나트륨 Sodium 22.989768	Mg 12 마그네슘 Magnesium 24.3050															
4	K 19 칼륨 Potassium 39.0983	Ca 20 칼슘 Calcium 40.078	Sc 21 스칸듐 Scandium 44.9559	Ti 22 타이타늄 Titanium 47.88	V 23 바나듐 Vanadium 50.9415	Cr 24 크로뮴 Chromium 51.9961	Mn 25 망가니즈 Manganese 54.9381	Fe 26 철 Iron 55.847	Co 27 코발트 Cobalt 58.9332								
5	Rb 37 루비듐 Rubidium 85.4678	Sr 38 스트론튬 Strontium 87.62	Y 39 이트륨 Yttrium 88.9059	Zr 40 지르코늄 Zirconium 91.224	Nb 41 나이오븀 Niobium 92.9064	Mo 42 몰리브데넘 Molybdenum 95.94	Tc 43 테크네튬 Technetium (98)	Ru 44 루테튬 Ruthenium 101.07	Rh 45 로듐 Rhodium 102.906								
6	Cs 55 세슘 Cesium 132.905	Ba 56 바륨 Barium 137.327	La 57 란타넘 Lanthanum 138.906	Hf 72 하프늄 Hafnium 178.49	Ta 73 탄탈럼 Tantalum 180.948	W 74 텅스텐 Tungsten 183.84	Re 75 레늄 Rhenium 186.207	Os 76 오스뮴 Osmium 190.23	Ir 77 이리듐 Iridium 192.22								
7	Fr 87 프랑슘 Francium (223)	Ra 88 라듐 Radium (226)	Ac 89 악티늄 Actinium (227)	Rf 104 러더퍼듐 Rutherfordium (261)	Db 105 더브늄 Dubnium (262)	Sg 106 시보그뮴 Seaborgium (263)	Bh 107 보륨 Bohrium (262)	Hs 108 하슘 Hassium (265)	Mt 109 마이트너뮴 Meitnerium (266)								

원소 기호 — **H** — 원자 번호
 수소 — 원소 이름
 hydrogen — 영어명
 1.00794 — 원자량

6	57~71 란타넘 계열 Lanthanoids	Ce 58 세륨 Cerium 140.115	Pr 59 프라세오디뮴 Praseodymium 140.908	Nd 60 네오디뮴 Neodymium 144.24	Pm 61 프로메튬 Promethium (145)	Sm 62 사마륨 Samarium 156.36
7	89~103 악티늄 계열 Actinoids	Th 90 토륨 Thorium 232.038	Pa 91 프로악티늄 Protactinium (231)	U 92 우라늄 Uranium 238.029	Np 93 넵투늄 Neptunium (237)	Pu 94 플루토늄 Plutonium (244)

- 알칼리 금속
- 알칼리 토금속
- 기타 금속
- 준금속
- 비금속
- 비활성기체

- 전이 원소
- 내부 전이 원소

- C 고체
- Br 액체
- He 기체

18 ← 족
주기 ↓

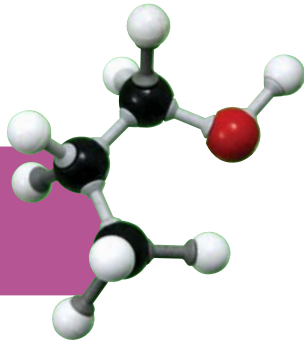
			13	14	15	16	17	18		
			B 5 붕소 Boron 10.811	C 6 탄소 Carbon 12.011	N 7 질소 Nitrogen 14.0067	O 8 산소 Oxygen 15.9994	F 9 플루오린 Fluorine 18.9984	He 2 헬륨 Helium 4.00260		
			Al 13 알루미늄 Aluminum 26.9815	Si 14 규소 Silicon 28.0855	P 15 인 Phosphorus 30.9738	S 16 황 Sulfur 32.066	Cl 17 염소 Chlorine 35.4527	Ne 10 네온 Neon 20.1797		
10	11	12								3
Ni 28 니켈 Nickel 58.6934	Cu 29 구리 Copper 63.546	Zn 30 아연 Zinc 65.39	Ga 31 갈륨 Gallium 69.723	Ge 32 저마늄 Germanium 72.61	As 33 비소 Arsenic 74.9216	Se 34 셀레늄 Selenium 78.96	Br 35 브로민 Bromine 79.904	Kr 36 크립톤 Krypton 83.80		
4										
Pd 46 팔라듐 Palladium 106.42	Ag 47 은 Silver 107.868	Cd 48 카드뮴 Cadmium 112.411	In 49 인듐 Indium 114.88	Sn 50 주석 Tin 118.710	Sb 51 안티모니 Antimony 121.757	Te 52 텔루륨 Tellurium 127.60	I 53 아이오딘 Iodine 126.904	Xe 54 제논 Xenon 131.29		
5										
Pt 78 백금 Platinum 195.08	Au 79 금 Gold 196.967	Hg 80 수은 Mercury 200.59	Tl 81 탈륨 Thallium 204.383	Pb 82 납 Lead 207.2	Bi 83 비스무트 Bismuth 208.980	Po 84 폴로늄 Polonium (209)	At 85 아스타틴 Astatine (210)	Rn 86 라돈 Radon (222)		
6										
Ds 110 다름슈타튬 Darmstadtium (271)	Rg 111 뢴트겐늄 Roentgenium (272)	Cn 112 코페르니슘 Copernicium (277)								

									6
Eu 63 유로퓸 Europium 151.965	Gd 64 가돌리늄 Gadolinium 157.25	Tb 65 터븀 Terbium 158.925	Dy 66 디스프로슘 Dysprosium 162.50	Ho 67 홀뮴 Holmium 164.930	Er 68 어븀 Erbium 167.26	Tm 69 툴륨 Thulium 168.934	Yb 70 이터븀 Ytterbium 173.04	Lu 71 루테튬 Lutetium 174.967	
7									
Am 95 아메리슘 Americium (243)	Cm 96 퀴륨 Curium (247)	Bk 97 버클륨 Berkelium (247)	Cf 98 칼리포늄 Californium (251)	Es 99 아인슈타이늄 Einsteinium (252)	Fm 100 페르뮴 Fermium (257)	Md 101 멘델레븀 Mendelevium (258)	No 102 노벨륨 Nobelium (259)	Lr 103 로렌슘 Lawrencium (260)	



고등학교

화학 I



9 788909 184588
ISBN 978-89-09-18458-8