

제2장 화학식과 화학 양론

2-1 원자와 분자

❖ 돌턴의 원자론 (Dalton's Atomic Theory)

1. 원소는 원자라고 하는 아주 작은 입자로 구성되어 있다.
2. 어떤 특정 원소를 이루는 모든 원자들은 다른 원소들과 구별되는 같은 성질을 갖는다.
3. 원자는 생성되거나 소멸되지 않는다.
4. 다른 원소의 원자들이 결합하여 화합물을 만들 때는 항상 일정한 원자 수의 비로 결합한다.
5. 화합물은 같은 종류의 원자로 구성되어 있고 이들 원소 사이의 질량 비는 항상 일정하다.

❖ 원자(atom)는 모든 화학적, 물리적 변화에서 항상 같은 성질을 가지고 있는 가장 작은 원소의 입자이다.

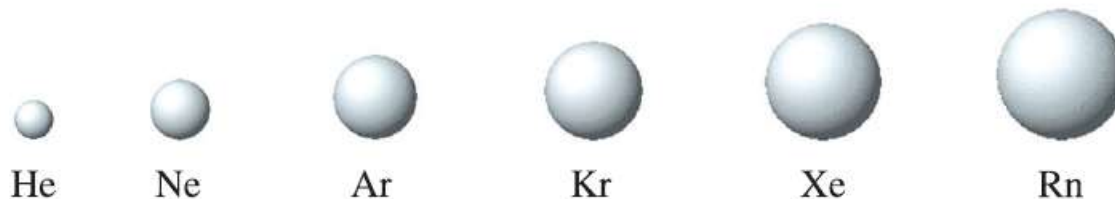


그림 2-1 단원자 분자인 불활성 기체의 상대적 크기 비교.

❖ 원자

: 전자(electron), 양성자(proton), 중성자(neutron)의 세가지 기본입자(fundamental particles)로 이루어져 있다.

: 한 원자를 구성하는 전자와 양성자의 전하 수는 같다.

: 원자번호(atomic number, Z)는 원자핵에 있는 양성자의 개수.

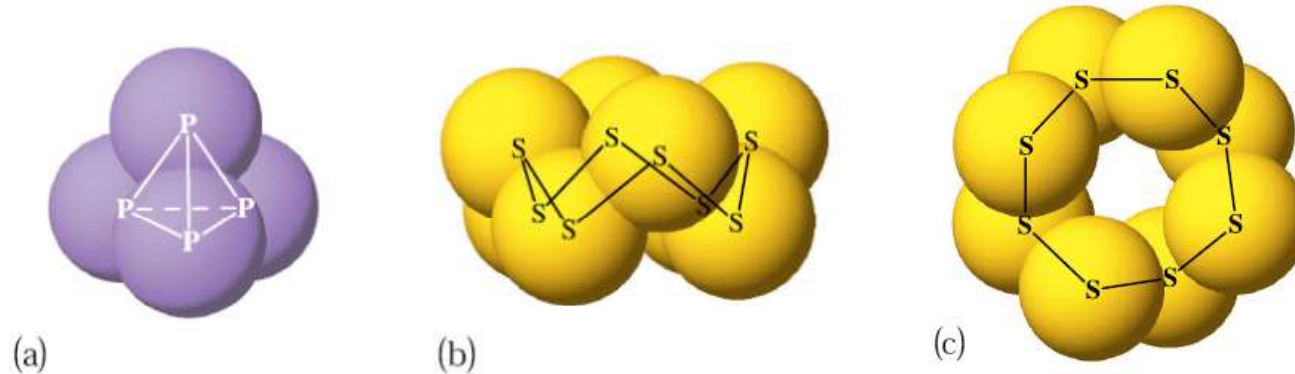
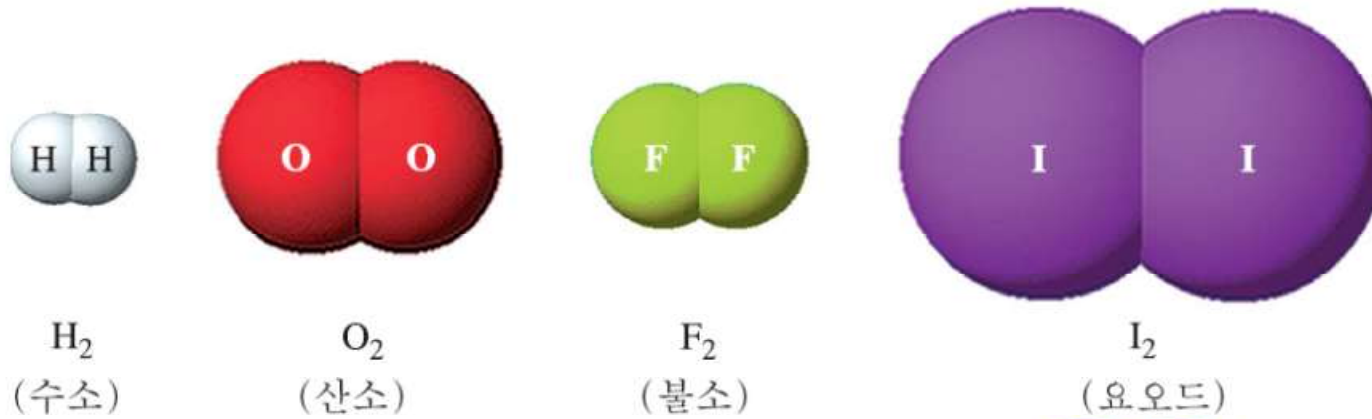
표 2-1 물질의 기본 입자

입자(기호)	질량(amu)*	전하(상대적 척도)
전자(e^-)	0.0	1-
양성자(p 또는 p^+)	1.0	1+
중성자(n 또는 n^0)	1.0	없다

* $1 \text{ amu} = 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g}$

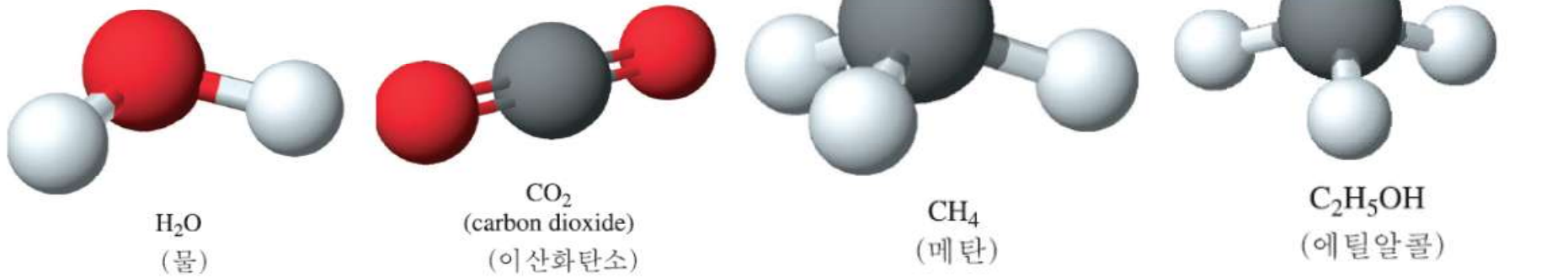
❖ 분자 (molecule)

: 독립적으로 안정하게 존재할 수 있는 원소나 화합물의 가장 작은 입자로 화학결합에 의해 두 개 혹은 그 이상의 원자의 결합으로 구성된 물질.



화합물 중 분자는 한 개 또는 여러 개의 원자들이 화학적으로 결합되어 이루어진다.

그림 2-4 몇 가지 화합물의 분자식과 구조 모형.



전자주사현미경 (Scanning Tunneling Microscope, STM)을 이용하여 원자를 관찰

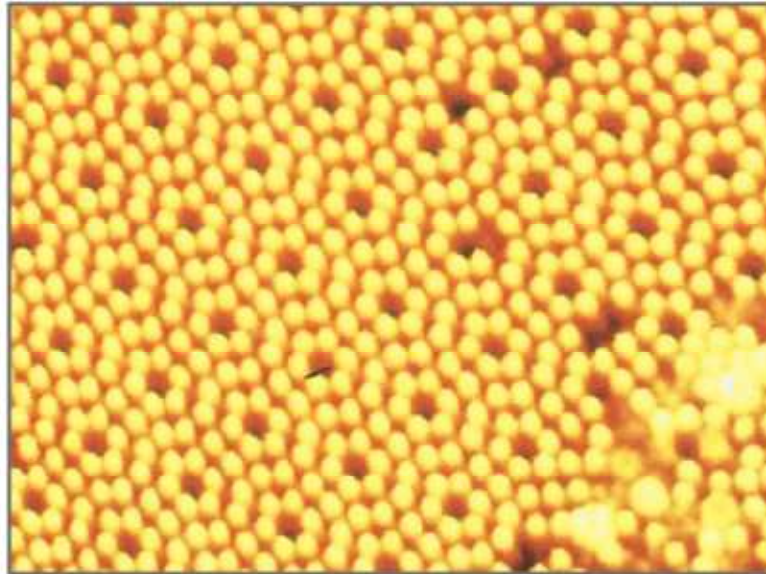


그림 2-5 전자 주사 현미경을 이용하여 관찰한 실리콘의 표면도. 각각의 실리콘 원자들이 규칙적으로 배열되어 있다. 중요한 여러 반응들이 이 고체의 표면에서 일어난다. 고체 표면의 원자 배열을 분석하면 표면에서 일어나는 많은 반응들을 이해할 수 있다.

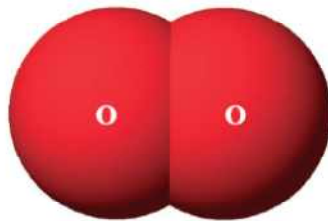
2-2 화학식(chemical formula)

: 물질의 화학적 조성을 말한다 (화합물에 어떤 원소들이 존재하며, 비율이 어떻게 되는지 말해준다.)

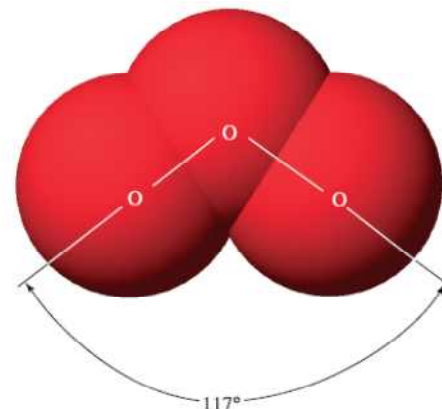
: 단원자 화합물 → 원소 기호를 그대로 쓴다. (Na)

: 화학식에서 원자 기호 옆에 아래첨자로 있는 숫자는 그 원자의 개수를 의미. (P_4)

: 동일한 원소가 여러 형태로 존재 하기도 한다. (O_2 , O_3)



O_2 분자



O_3 분자

: 동일한 원자들이 다른 구조를 이룰 때 동소체라고 한다. (흑연과 다이아몬드)

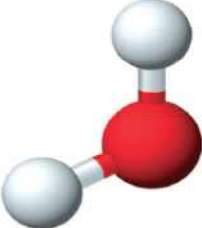
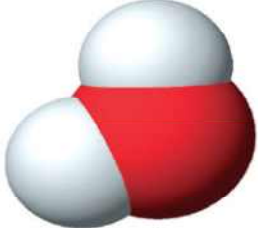
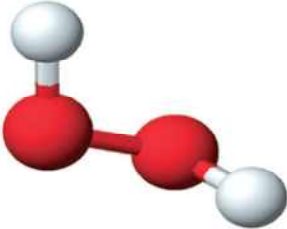
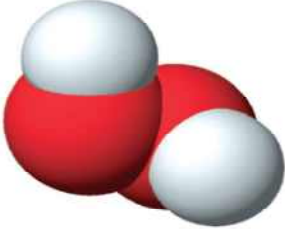

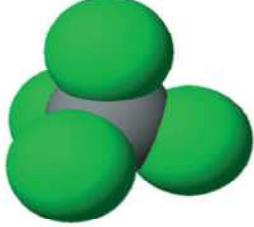
유기화합물 : 탄소와 수소로 이루어진 화합물

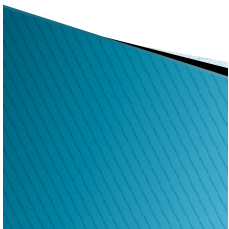
무기화합물 : 유기화합물을 제외한 화합물

표 2-2 몇 가지 분자 화합물의 명칭과 화학식

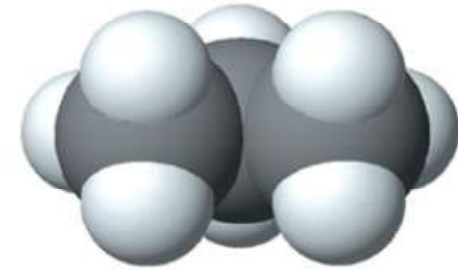
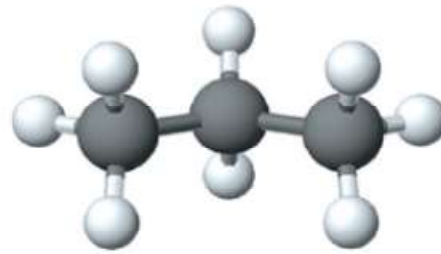
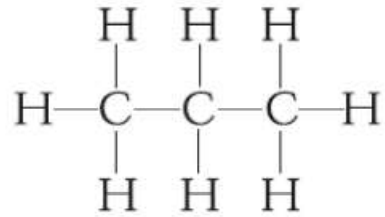
명칭	화학식	명칭	화학식	명칭	화학식
water	H ₂ O	sulfur dioxide	SO ₂	butane	C ₄ H ₁₀
hydrogen peroxide	H ₂ O ₂	sulfur trioxide	SO ₃	pentane	C ₅ H ₁₂
hydrogen chloride	HCl	carbon monoxide	CO	benzene	C ₆ H ₆
sulfuric acid	H ₂ SO ₄	carbon dioxide	CO ₂	methanol (methyl alcohol)	CH ₃ OH
nitric acid	HNO ₃	methane	CH ₄	ethanol (ethyl alcohol)	CH ₃ CH ₂ OH
acetic acid	CH ₃ COOH	ethane	C ₂ H ₆	acetone	CH ₃ COCH ₃
ammonia	NH ₃	propane	C ₃ H ₈	diethyl ether (ether)	CH ₃ CH ₂ -O-CH ₂ CH ₃

- 화학식(chemical formula): 분자에 있는 원자의 개수를 보여준다.
- 구조식(structure formula): 분자 내에서 원자들이 결합된 연결 순서를 보여준다.
직선을 그어서 화학 결합을 표시한다.
- 공-막대(ball-and-stick)와 공간 채움(space-filling): 분자들의 상대적 크기와 배열 형태를 볼 수 있게 한다.

화학식	구조식	공-막대 모형	공간 채움 모형
H ₂ O, water	H—O—H		
H ₂ O ₂ , hydrogen peroxide	H—O—O—H		
CCl ₄ , carbon tetrachloride	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{Cl} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$		



C_3H_8 , propane



C_2H_5OH ,
ethanol

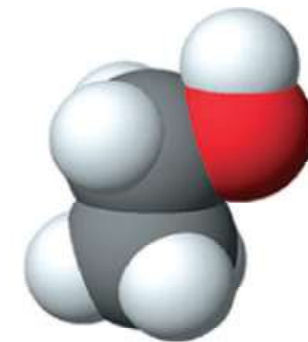
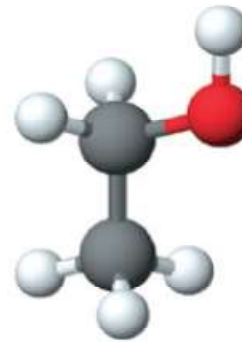
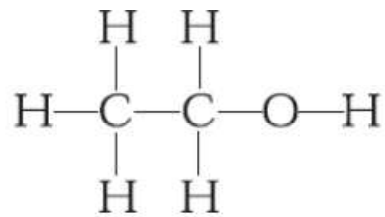


그림 2-6 몇 가지 분자의 구조와 모형. 구조식은 분자 내에서 결합된 원자의 순서를 보여주지만 구체적인 분자 모형은 알 수 없다. 공-막대 모형은 원자는 여러 색의 구로 나타내고 결합은 막대로 나타낸다. 이 모형은 분자를 3차원 모형으로 보여준다. 공간 채움 모형은 분자의 모형과 상대적 크기를 보여준다.

2-3 이온과 이온성 화합물

- 이온(ion) : 전하를 띠는 한 원자나 원자들의 집단을 의미.
 - 양이온 (cation) : 양전하(positive charge)를 띠는 이온 (Na^+), 한 개의 전자 잃음
 - 음이온(anion) : 음전하(negative charge)를 가진 이온(Cl^-), 한 개의 전자 얻음
- 이온성 화합물 (ionic compound) : 전체 전하가 중성. 양이온과 음이온 = 1:1. (NaCl)
화학식 단위를 그대로 부른다(염화나트륨)
- 다원자 이온(polyatomic ion) : 전하를 가지는 원자들의 그룹 (암모늄이온(NH_4^+))

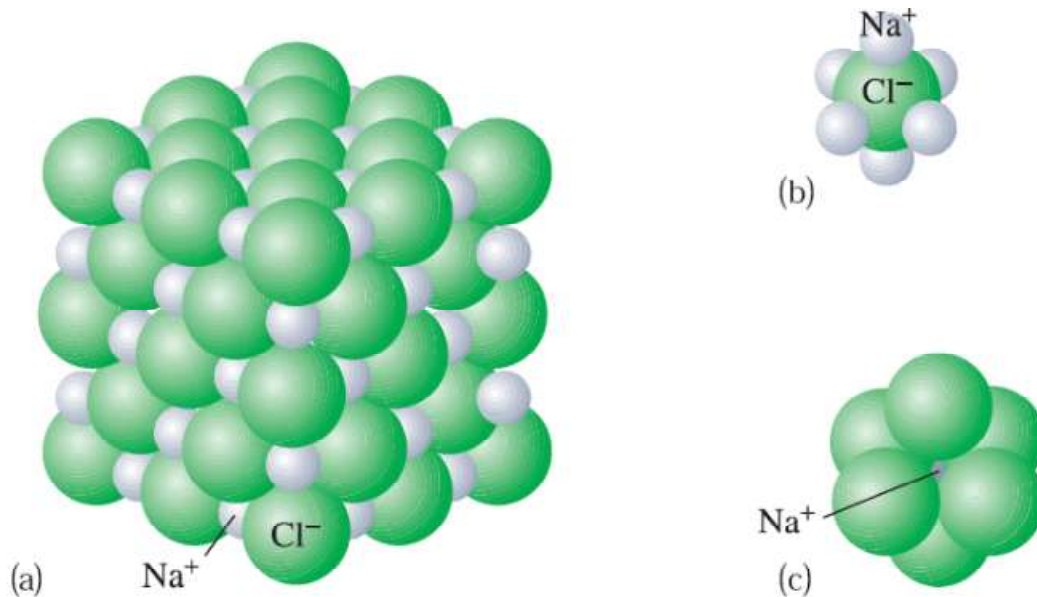


그림 2-7 (a) 같은 수의 나트륨 이온(작은 구)과 염소 이온(큰 구)이 정렬되어 만들어진 염화나트륨 결정.
(b) 각 염소 이온은 6개의 나트륨 이온에 의해 둘러싸여 있다.
(c) 각 나트륨 이온은 6개의 염소 이온에 의해 둘러싸여 있다.

표 2-3 몇 가지 이온들의 화학식, 이온 전하 그리고 명칭

화학식	전하	명칭	화학식	전하	명칭
Na^+	1+	나트륨 이온(sodium)	F^-	1-	플루오르 이온(fluride)
K^+	1+	칼륨 이온(potassium)	Cl^-	1-	염소(화) 이온(chloride)
NH_4^+	1+	암모늄 이온(ammonium)	Br^-	1-	브롬 이온(bromide)
Ag^+	1+	은 이온(silver)	OH^-	1-	수산화 이온(hydroxide)
Mg^{2+}	2+	마그네슘 이온(magnesium)	CH_3COO^-	1-	아세트산 이온(acetate)
Ca^{2+}	2+	칼슘 이온(calcium)	NO_3^-	1-	질산 이온(nitrate)
Zn^{2+}	2+	아연 이온(zinc)	O^{2-}	2-	산소(화) 이온(oxide)
Cu^+	1+	구리(Ⅰ) 이온(copper(I))	S^{2-}	2-	황화 이온(sulfide)
Cu^{2+}	2+	구리(Ⅱ) 이온(copper(II))	SO_4^{2-}	2-	황산 이온(sulfate)
Fe^{2+}	2+	철(Ⅱ) 이온(iron(II))	SO_3^{2-}	2-	아황산 이온(sulfite)
Fe^{3+}	3+	철(Ⅲ) 이온(iron(III))	CO_3^{2-}	2-	탄산 이온(carbonate)
Al^{3+}	3+	알루미늄 이온(aluminum)	PO_4^{3-}	3-	인산 이온(phosphate)

2-4 원자량

표준 : 여섯 개의 양성자와 여섯 개의 중성자를 핵에 가진 탄소 원자 질량.

원자량(atomic weight, AW) : 탄소의 원자 질량 (12 amu)의 상대적 계산 값.

원자량의 단위

금 원자는 탄소 원자보다 평균 16.4배 정도 무겁다

→ 금 원자 하나의 질량 = $16.4 \times 12 \text{ amu} = 197 \text{ amu}$

표 2-4 몇 가지 원소의 원자 1몰의 질량

원소	시료의 질량	몰
탄소	12.0 g C	6.02×10^{23} 개의 C 원자 또는 1몰의 C 원자
티타늄	47.9 g Ti	6.02×10^{23} 개의 Ti 원자 또는 1몰의 Ti 원자
금	197.0 g Au	6.02×10^{23} 개의 Au 원자 또는 1몰의 Au 원자
수소	1.0 g H ₂	6.02×10^{23} 개의 H 원자 또는 1몰의 H 원자 (3.01×10^{23} 개의 H ₂ 분자 또는 1/2몰의 H ₂ 분자)
황	32.1 g S ₈	6.02×10^{23} 개의 S 원자 또는 1몰의 S 원자 (0.753×10^{23} 개의 S ₈ 분자 또는 1/8몰의 S ₈ 분자)

2-5 몰(mole)

: 물질의 양에 대한 SI 단위

: 1몰은 항상 같은 수의 입자를 포함하여 물질의 종류에 무관

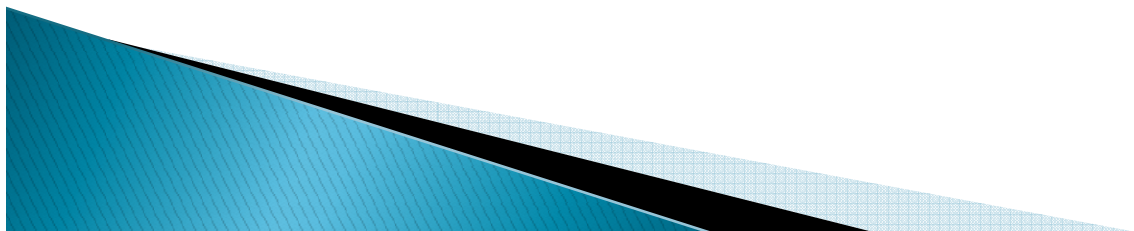
1 mole = 6.0221367×10^{23} 개 입자 : 아보가드로 수(Avogadro's number)

1몰에는 아보가드로 개수만큼의 원자, 분자, 전자 또는 입자가 있다.

표 2-4 몇 가지 원소의 원자 1몰의 질량

원소	시료의 질량	몰
탄소	12.0 g C	6.02×10^{23} 개의 C 원자 또는 1몰의 C 원자
티타늄	47.9 g Ti	6.02×10^{23} 개의 Ti 원자 또는 1몰의 Ti 원자
금	197.0 g Au	6.02×10^{23} 개의 Au 원자 또는 1몰의 Au 원자
수소	1.0 g H ₂	6.02×10^{23} 개의 H 원자 또는 1몰의 H 원자 (3.01×10^{23} 개의 H ₂ 분자 또는 1/2몰의 H ₂ 분자)
황	32.1 g S ₈	6.02×10^{23} 개의 S 원자 또는 1몰의 S 원자 (0.753×10^{23} 개의 S ₈ 분자 또는 1/8몰의 S ₈ 분자)

순수한 원소 1몰에 있는 원소의 질량을 **몰 질량**(molar mass)이라고 하고 단위는 grams/mol, 또는 g/mol로 쓴다.

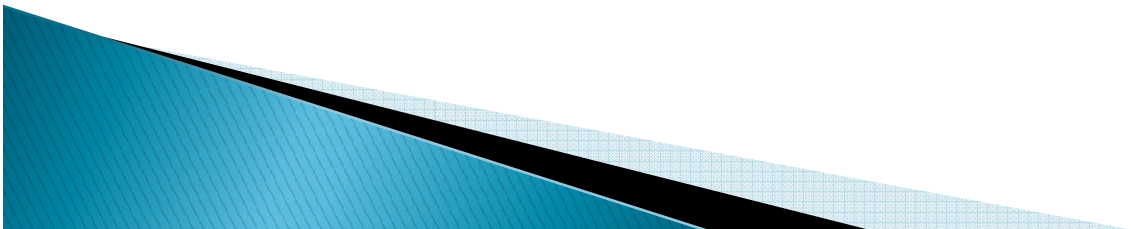


예제 2-1 원자의 몰

금속 철 136.9 g은 원자 몇 몰인가?

계획

철의 원자량은 55.85 amu이다. 이는 철 1몰의 질량은 55.85 g/mol임을 의미한다.



예제 2-1 원자의 몰

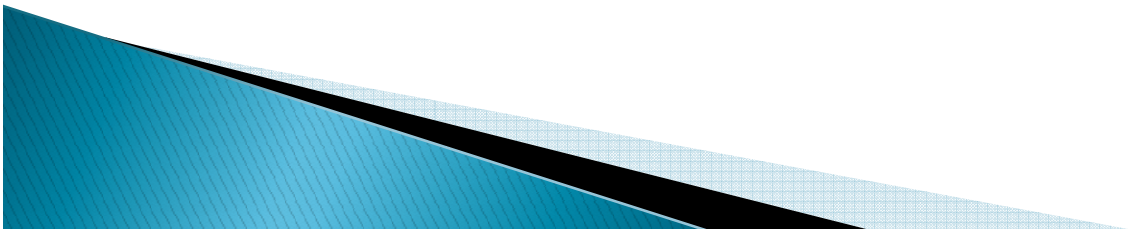
금속 철 136.9 g은 원자 몇 몰인가?

계획

철의 원자량은 55.85 amu이다. 이는 철 1몰의 질량은 55.85 g/mol임을 의미한다.

풀이

$$? \text{ mol Fe 원자} = 136.9 \text{ g Fe} \times \frac{1 \text{ mol Fe 원자}}{55.85 \text{ g Fe}} = 2.451 \text{ mol Fe 원자}$$

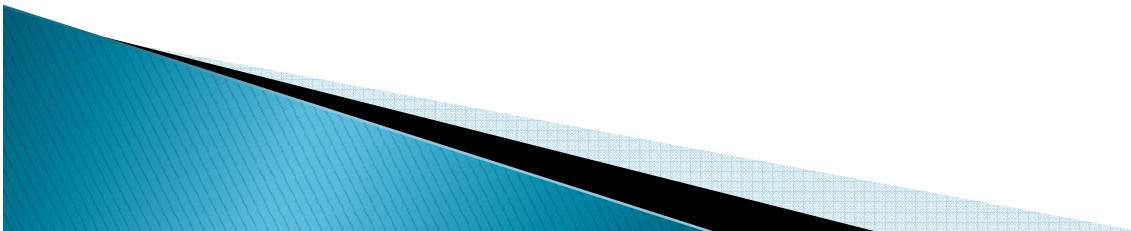


예제 2-2 원자 수

철 2.451 mole에는 몇 개의 철 원자가 있는가?

계획

철 원자 1 mole의 개수는 6.022×10^{23} 개이다.



예제 2-2 원자 수

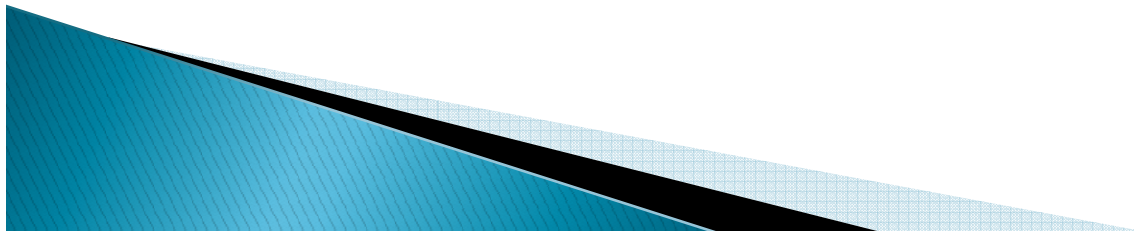
철 2.451 mole에는 몇 개의 철 원자가 있는가?

계획

철 원자 1 mole의 개수는 6.022×10^{23} 개이다.

풀이

$$? \text{ 철 원자의 수} = 2.451 \text{ mol Fe 원자} \times \frac{6.022 \times 10^{23} \text{ 개 Fe 원자}}{1 \text{ mol Fe 원자}} = 1.476 \times 10^{24} \text{ 개 Fe 원자}$$

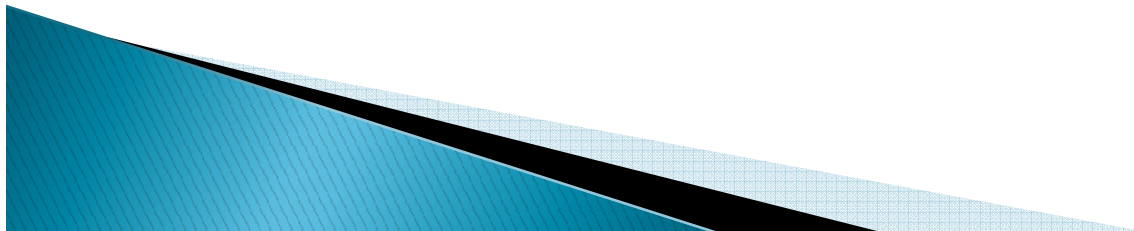


예제 2-3 원자량

철 원자 1개의 평균 질량을 g 단위로 계산하여라.

계획

g 단위로 계산된 원자 1개의 질량은 매우 작을 것으로 생각한다. Fe 원자 1몰의 질량은 55.85 g이고, 1몰에는 6.022×10^{23} 개의 철 원자가 있으므로 원자 1개의 질량을 구하려면 1몰의 질량을 원자 개수로 나누면 된다.



예제 2-3 원자량

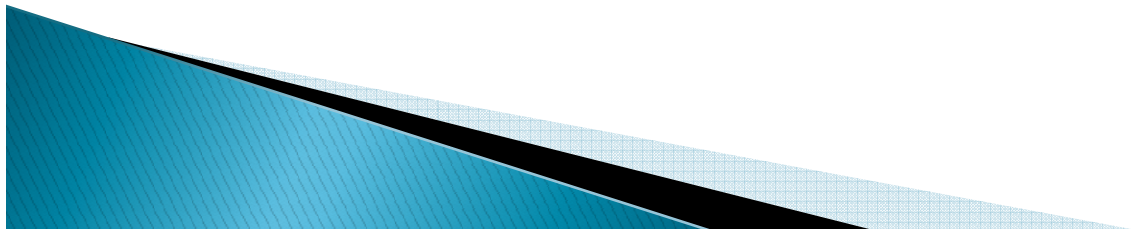
철 원자 1개의 평균 질량을 g 단위로 계산하여라.

계획

g 단위로 계산된 원자 1개의 질량은 매우 작을 것으로 생각한다. Fe 원자 1몰의 질량은 55.85 g이고, 1몰에는 6.022×10^{23} 개의 철 원자가 있으므로 원자 1개의 질량을 구하려면 1몰의 질량을 원자 개수로 나누면 된다.

풀이

$$55.85 \text{g Fe} / (6.022 \times 10^{23} \text{개 Fe}) = 9.274 \times \frac{10^{-23} \text{ g Fe}}{\text{Fe 원자}}$$



2-6 화학식량, 분자량과 몰

화학식량 (formula weight, FW)은 화학식에 있는 원소들의 원자량(AW)의 총 합이다. 원소를 이루고 있는 원자의 숫자를 각 원자의 질량에 곱한 총 합이다. 이온성 화합물에 사용.

분자량 (molecular weight) : 분자화합물 (비이온성 화합물)에 사용.

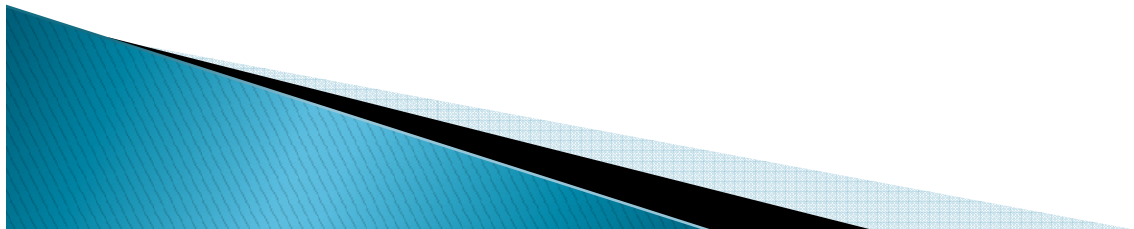
원자의 수		× 원자 1개의 질량	= 원소의 질량
1 × Na =	1	× 23.0 amu	= 23.0 amu의 Na
1 × H =	1	× 1.0 amu	= 1.0 amu의 H
1 × O =	1	× 16.0 amu	= 16.0 amu의 O
			NaOH의 화학식량 = 40.0 amu

예제 2-5 화학식량

아세트산(CH_3COOH)의 화학식량을 이 책의 표지 뒷면에 있는 International of Atomic Weight를 참고로 계산하여라.

계획

화학식에 있는 각 원소의 원자량을 모두 더하면 된다. 만일 원자의 개수가 여러 개면 그 수를 곱해서 더한다.



예제 2-5 화학식량

아세트산(CH_3COOH)의 화학식량을 이 책의 표지 뒷면에 있는 International of Atomic Weight를 참고로 계산하여라.

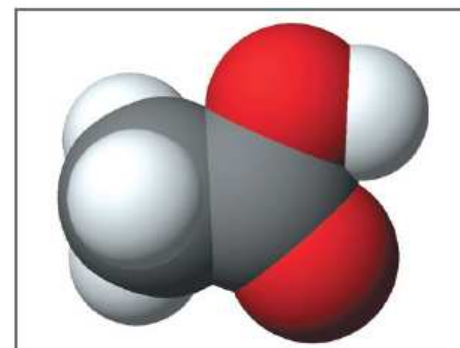
계획

화학식에 있는 각 원소의 원자량을 모두 더하면 된다. 만일 원자의 개수가 여러 개면 그 수를 곱해서 더한다.

풀이

원자의 수	× 원자 1개의 질량	= 원소의 질량
$2 \times \text{C} = 2$	$\times 12.0 \text{ amu}$	$= 24.0 \text{ amu}$ 의 C
$4 \times \text{H} = 4$	$\times 1.0 \text{ amu}$	$= 4.0 \text{ amu}$ 의 H
$2 \times \text{O} = 2$	$\times 16.0 \text{ amu}$	$= 32.0 \text{ amu}$ 의 O

아세트산의 화학식량 = 60.0 amu



▲ 아세트산(식초), CH_3COOH 의 공간 채움 모형.

몰 (mole)

어떤 물질 1몰(mole)은 그 물질의 화학식량과 같은 g 수의 질량을 가지며, 6.022×10^{23} 개의 구조 단위를 갖는다. 때때로 이 질량을 **몰 질량**(molar mass)이라고 한다. 몰 질량과 화학식 단위는 같은 숫자의 무게와 단위를 갖는다.

표 2-5 몇 가지 분자 물질의 1몰

물질	분자량	시료의 질량	내용
수소	2.0	2.0 g H ₂	6.02×10^{23} H ₂ 분자 또는 1몰의 H ₂ 분자 $(2 \times 6.02 \times 10^{23}$ H 원자 또는 2몰의 H 원자)
산소	32.0	32.0 g O ₂	6.02×10^{23} O ₂ 분자 또는 1몰의 O ₂ 분자 $(2 \times 6.02 \times 10^{23}$ O 원자 또는 2몰의 O 원자)
메탄	16.0	16.0 g CH ₄	6.02×10^{23} CH ₄ 분자 또는 1몰의 CH ₄ 분자 $(6.02 \times 10^{23}$ C 원자와 $4 \times 6.02 \times 10^{23}$ H 원자)
아세트산	60.0	60.0 g CH ₃ COOH	6.02×10^{23} CH ₃ COOH 분자 또는 1몰의 CH ₃ COOH 분자

이온성 화합물

표 2-6 이온성 화합물 1몰

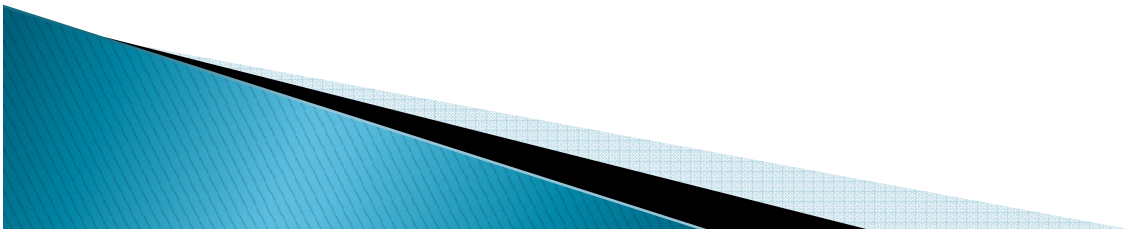
화합물	화학식량	1몰의 질량	내용
염화나트륨	58.4	58.4 g NaCl	6.02×10^{23} 개 Na^+ 이온 또는 <u>1몰의 Na^+ 이온</u> 6.02×10^{23} 개 Cl^- 이온 또는 1몰의 Cl^- 이온
염화칼슘	111.0	111.0 g CaCl_2	6.02×10^{23} 개 Ca^{2+} 이온 또는 1몰의 Ca^{2+} 이온 $2(6.02 \times 10^{23})$ 개 Cl^- 이온 또는 2몰의 Cl^- 이온
황산알루미늄	342.1	342.1 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$2(6.02 \times 10^{23})$ 개 Al^{3+} 이온 또는 2몰의 Al^{3+} 이온 $3(6.02 \times 10^{23})$ 개 SO_4^{2-} 이온 또는 3몰의 SO_4^{2-} 이온

예제 2-6 몰

25 °C에서 산소 기체 40 g에 있는 (a) O₂의 질량, (b) O₂의 분자 수, (c) O의 원자 수는 얼마인가?

계획

- (a) O₂ 1몰은 32.0 g이다(O₂의 몰 질량은 32.0 g/mol이다.).
- (b) O₂ 1몰에는 6.02×10^{23} 개의 O₂ 분자가 있다.
- (c) O₂의 1분자는 2개의 산소 원자를 갖는다.



예제 2-6 몰

25 °C에서 산소 기체 40 g에 있는 (a) O₂의 질량, (b) O₂의 분자 수, (c) O의 원자 수는 얼마인가?

계획

- (a) O₂ 1몰은 32.0 g이다(O₂의 몰 질량은 32.0 g/mol이다.).
- (b) O₂ 1몰에는 6.02×10^{23} 개의 O₂ 분자가 있다.
- (c) O₂의 1분자는 2개의 산소 원자를 갖는다.

풀이

1몰의 O₂에는 6.02×10^{23} 개의 O₂ 분자가 포함되어 있으며, O₂ 1몰의 질량은 32.0 g이다.

$$(a) \quad ? \text{ mol O}_2 = 40.0 \text{ g O}_2 \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{32.0 \text{ g O}_2} = 1.25 \text{ mol O}_2$$

$$(b) \quad ? \text{ O}_2 \text{ molecules} = 40.0 \text{ g O}_2 \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ O}_2 \text{ molecules}}{32.0 \text{ g O}_2} = 7.52 \times 10^{23} \text{ molecules}$$

또는, (a)에서 구한 O₂의 몰 수를 바로 사용하여 O₂ 분자의 개수를 구할 수도 있다.

$$? \text{ O}_2 \text{ molecules} = 1.25 \text{ mol O}_2 \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ O}_2 \text{ molecules}}{1 \text{ mol O}_2} = 7.52 \times 10^{23} \text{ O}_2 \text{ molecules}$$

$$(c) \quad ? \text{ O atoms} = 40.0 \text{ g O}_2 \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ O}_2 \text{ molecules}}{32.0 \text{ g O}_2} \times \frac{2 \text{ O atoms}}{1 \text{ O}_2 \text{ molecules}} = 1.50 \times 10^{24} \text{ O atoms}$$

예제 2-7 원자 수

황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) 39.6 g에 있는 수소(H) 원자의 수는 얼마인가?

계획

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1몰은 6.02×10^{23} 개의 화학식 단위를 갖고, 총 질량은 132.1 g이다.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 g → $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 몰 → $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 화학식 단위 → H 원자



예제 2-7 원자 수

황산암모늄($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) 39.6 g에 있는 수소(H) 원자의 수는 얼마인가?

계획

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1몰은 6.02×10^{23} 개의 화학식 단위를 갖고, 총 질량은 132.1 g이다.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 g \rightarrow $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 몰 \rightarrow $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 화학식 단위 \rightarrow H 원자

풀이

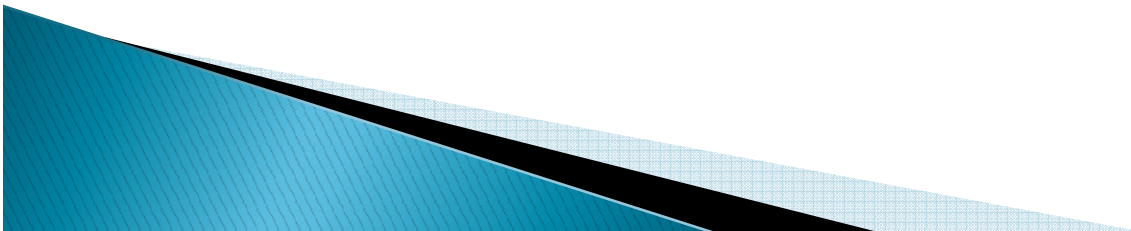
$$\begin{aligned} \text{? H atoms} &= 39.6 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \times \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{132.1 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ formula units } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} \times \\ &\quad \frac{8 \text{ H atoms}}{1 \text{ formula units } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 1.44 \times 10^{24} \text{ H atoms} \end{aligned}$$

2-7 화합물의 퍼센트 조성과 구조

화합물의 구조를 알면 그 화학적 조성은 화합물에 있는 각 원소를 질량 퍼센트로 나타낼 수 있다.



$$\% \text{ C} = \frac{\text{mass of C}}{\text{mass of CO}_2} \times 100\% = \frac{\text{AW of C}}{\text{MW of CO}_2} \times 100\% = \frac{12.0 \text{ amu}}{44.0 \text{ amu}} \times 100\% = 27.3\% \text{ C}$$
$$\% \text{ O} = \frac{\text{mass of O}}{\text{mass of CO}_2} \times 100\% = \frac{2 \times \text{AW of O}}{\text{MW of CO}_2} \times 100\% = \frac{2(16.0 \text{ amu})}{44.0 \text{ amu}} \times 100\% = 72.7\% \text{ O}$$

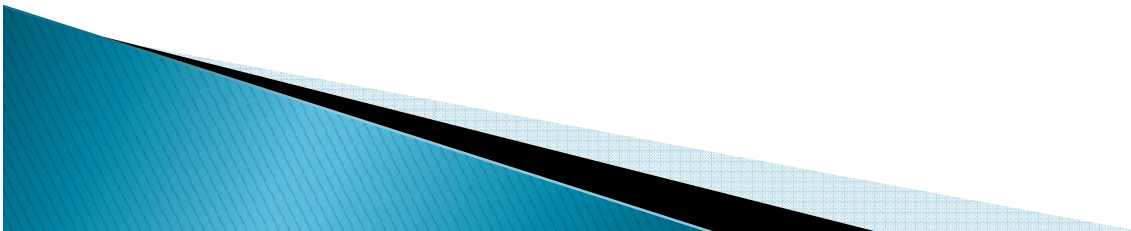


예제 2-8 퍼센트 조성

HNO_3 의 무게 퍼센트 조성을 구하여라.

계획

먼저 HNO_3 의 몰 질량을 구한다.



예제 2-8 퍼센트 조성

HNO₃의 무게 퍼센트 조성을 구하여라.

계획

먼저 HNO₃의 몰 질량을 구한다.

풀이

원자의 수	× 원자 1개의 질량	= 원소의 질량
1 × H = 1	× 1.0 g	= 1.0 g의 H
1 × N = 1	× 14.0 g	= 14.0 g의 N
3 × O = 3	× 16.0 g	= 48.0 g의 O

$$\text{HNO}_3\text{의 몰 질량} = 63.0\text{g}$$

이제 그들의 퍼센트 조성을 구한다.

$$\% \text{ H} = \frac{\text{mass of H}}{\text{mass of HNO}_3} \times 100\% = \frac{1.0 \text{ g}}{63.0 \text{ g}} \times 100\% = 1.6\% \text{ H}$$

$$\% \text{ N} = \frac{\text{mass of N}}{\text{mass of HNO}_3} \times 100\% = \frac{14.0 \text{ g}}{63.0 \text{ g}} \times 100\% = 22.2\% \text{ N}$$

$$\% \text{ O} = \frac{\text{mass of O}}{\text{mass of HNO}_3} \times 100\% = \frac{48 \text{ g}}{63.0 \text{ g}} \times 100\% = 76.2\% \text{ O}$$

$$\text{Total} = 100.0\%$$

2-8 원소 조성으로부터 화학식 유도

2-9 분자식의 결정

실험식 : 가장 간단한 화학식. 화합물을 이루는 각 원자들의 가장 간단한 정수비.

과산화 수소 실험식 HO

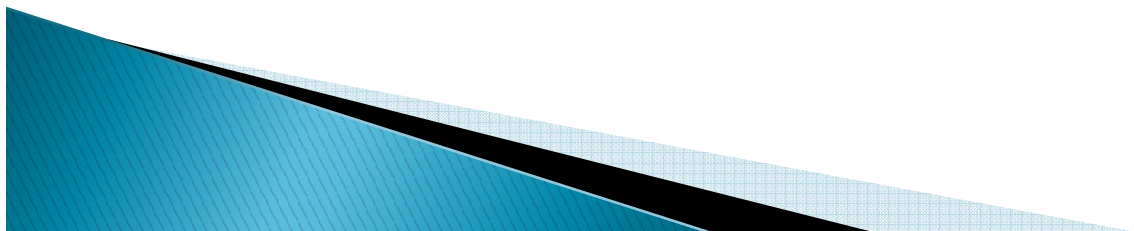
부탄의 실험식 C₂H₅

분자식 : 화합물에 있는 원자의 총 수를 그대로 표기. 실험식에 일정한 정수를 곱해서 얻는다.

분자식 = n x 실험식 (n은 정수)

과산화 수소 분자식 2 x HO = H₂O₂

부탄의 분자식 2 x C₂H₅ = C₄H₁₀



예제 2-9 가장 간단한 화학식

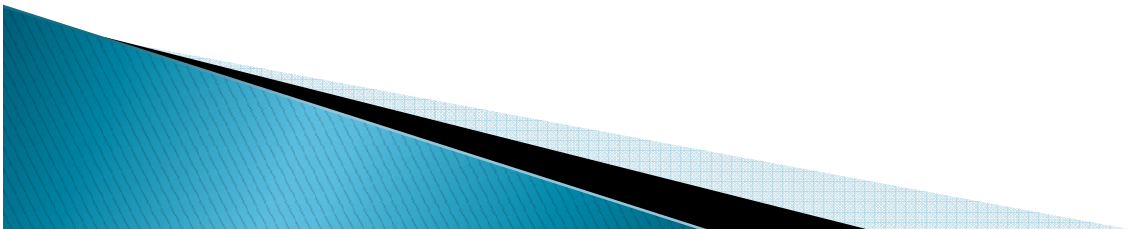
S O

황과 산소가 포함된 화합물은 산성비의 원인으로 공기 오염을 일으키는 물질이다. 순수한 어떤 시료 물질을 분석한 결과 황과 산소가 각각 50.1%와 49.9%의 질량 비로 포함되어 있다. 이 화합물의 가장 간단한 화학식은 무엇인가?

계획

1단계: 전체 시료가 100.0 g이라고 두면 S는 50.1 g 그리고 O는 49.9 g이 존재한다고 할 수 있다. 이를 이용하여 각각의 원자량으로 나누면 황과 산소의 몰 수를 구할 수 있다.

2단계: 이 값으로부터 화학식을 결정하기 위해 각 원소의 서로에 대한 상대적인 몰 수를 찾아야 한다. 그리고 그 값을 가장 간단한 정수로 표현한다.



풀이

$$1\text{단계: } 2 \text{ mol S 원자} = 50.1 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S 원자}}{32.1 \text{ g S}} = 1.56 \text{ mol S 원자}$$

$$2 \text{ mol O 원자} = 49.9 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O 원자}}{16.0 \text{ g O}} = 3.12 \text{ mol O 원자}$$

이 화합물 100 g은 1.56몰의 S 원자와 3.12몰의 O 원자가 함유되어 있음을 알 수 있다. 가장 간단한 화학식을 결정하기 위해 이들 몰 수 사이의 상대적인 몰 수를 계산한다.

$$2\text{단계: } \frac{1.56}{1.56} = 1.00 \text{ S}$$

$$\frac{3.12}{1.56} = 2.00 \text{ O}$$

원소	원소의 상대 질량	각 원자의 상대 몰 수	가장 작은 수로 나눈다	가장 간단한 정수 비로 표현한다
S	50.1	$\frac{50.1}{32.1} = 1.56$	$\frac{1.56}{1.56} = 1.00 \text{ S}$	
O	49.9	$\frac{49.9}{16.0} = 3.12$	$\frac{3.12}{1.56} = 2.00 \text{ O}$	

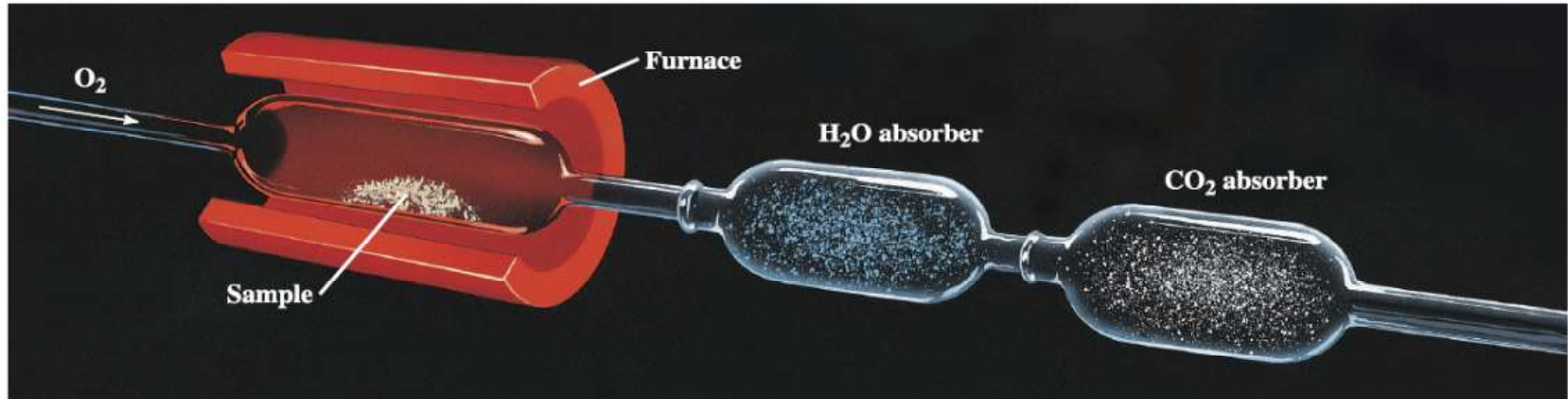


그림 2-8 탄소-수소의 원소 분석을 위한 연소 장치.

C-H를 연소시켜 C와 H를 분석하는 장치

: 질량을 정확하게 알고 있는 화합물을 산소 기류 하에 연소시키면

탄소는 이산화탄소 (CO₂)로 수소는 물(H₂O)로 전환된다.

예제 2-10 퍼센트 조성

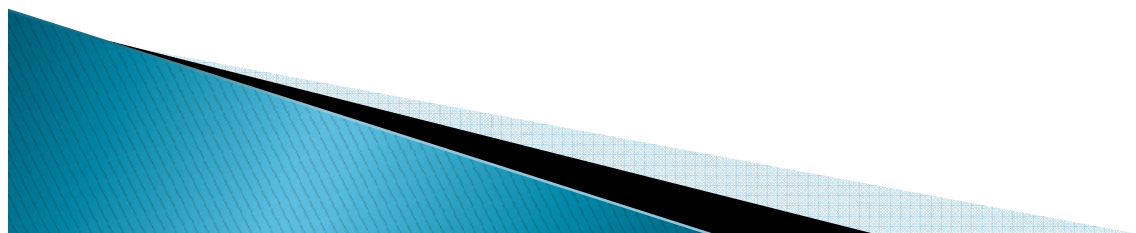
탄화수소는 화합물 전체가 탄소와 수소로만 이루어진 유기 화합물을 말한다. 0.1647 g 순수한 탄화수소 화합물을 C-H 연소기에서 연소시켜서 CO_2 0.4931 g과 H_2O 0.2691 g을 얻었다. 시료에 있는 C와 H의 질량을 결정하고 각 원소를 탄화수소에 대한 백분율로 계산하여라.

계획

CO_2 중에 있는 C의 양 = $12.01 \text{ g C} / 44.01 \text{ g CO}_2$

H_2O 중에 있는 H의 양 = $2.016 \text{ g H} / 18.02 \text{ g H}_2\text{O}$ 이다. 그 다음 각 원자의 무게 퍼센트를 구한다.

각 원자의 % = (원소의 g/시료의 g) \times 100



풀이

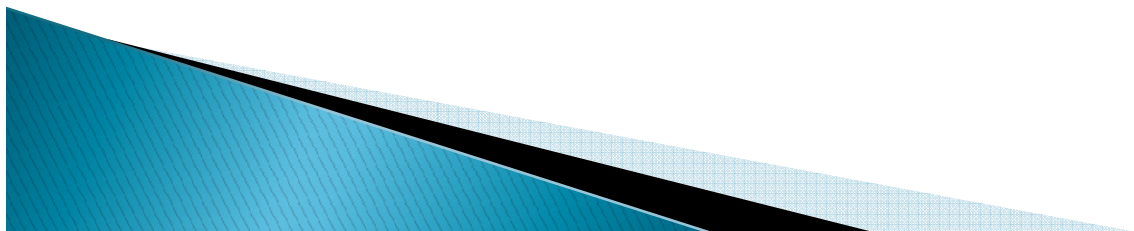
$$\text{1단계: } \underline{\quad} \text{ g C} = 0.4931 \text{ g CO}_2 \times \frac{12.01 \text{ g C}}{44.01 \text{ g CO}_2} = 0.1346 \text{ g C}$$

$$\text{2단계: } \underline{\quad} \text{ g H} = 0.2691 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{2.016 \text{ g H}}{18.02 \text{ g H}_2\text{O}} = 0.03010 \text{ g H}$$

$$\text{3단계: } \% \text{ C} = \frac{0.1346 \text{ g C}}{0.1647 \text{ g sample}} \times 100\% = 81.72\% \text{ C}$$

$$\% \text{ H} = \frac{0.03010 \text{ g H}}{0.1647 \text{ g sample}} \times 100\% = 18.28\% \text{ H}$$

Total = 100.00%

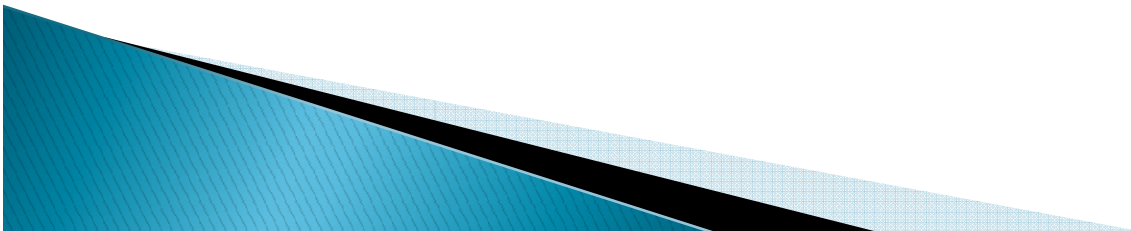


예제 2-11 배수 비례의 법칙

N_2O_3 와 NO 에 있어서 질소 1 g에 결합하는 O의 질량 비는 어떻게 되는가?

계획

먼저 각 화합물에서 N 1 g에 결합하는 O의 질량을 구한다. 그런 다음 두 화합물에서 O의 g /N의 g 을 계산한다.



예제 2-11 배수 비례의 법칙

N_2O_3 와 NO 에 있어서 질소 1 g에 결합하는 O의 질량 비는 어떻게 되는가?

계획

먼저 각 화합물에서 N 1 g에 결합하는 O의 질량을 구한다. 그런 다음 두 화합물에서 O의 g /N의 g 을 계산한다.

풀이

$$N_2O_3: \frac{? \text{ g O}}{\text{g N}} = \frac{48.0 \text{ g O}}{28.0 \text{ g N}} = 1.71 \text{ g O/g N}$$

$$NO: \frac{? \text{ g O}}{\text{g N}} = \frac{16.0 \text{ g O}}{14.0 \text{ g N}} = 1.14 \text{ g O/g N}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{g O}}{\text{g N}} \text{ (} N_2O_3 \text{에서)} \\ \frac{\text{g O}}{\text{g N}} \text{ (} NO \text{에서)} \end{array} \right\} \text{ 질량 비는 } \frac{1.71 \text{ g O/g N}}{1.14 \text{ g O/g N}} = \frac{1.5}{1.0} = \frac{3}{2}$$

풀이로부터 N_2O_3 와 NO 에서 질소에 대한 산소의 질량 비는 3:2임을 알 수 있다.

2-10 화학식의 이해

예제 2-12 화합물의 조성

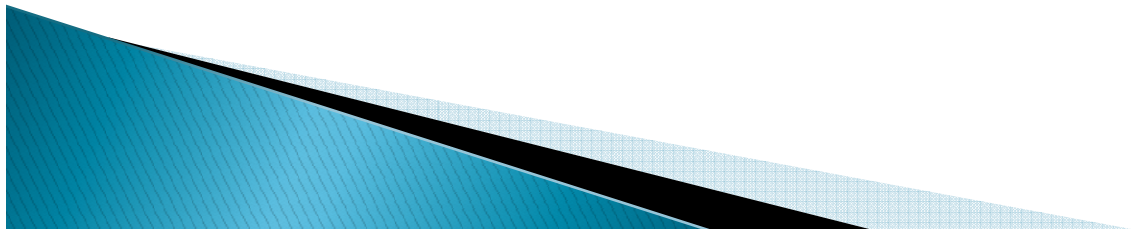
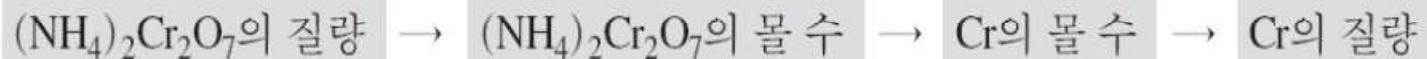
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 35.8 g에 있는 크롬의 질량은 얼마인가?

계획

1단계: 화합물의 식으로부터 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 에는 2 mole의 Cr 원자가 포함되어 있음을 알 수 있다. 35.8 g을 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 의 분자량으로 나누어 몰 수를 구한다.

2단계: 1몰의 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 에는 2몰의 Cr 원자가 포함되어 있으므로 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 의 몰 수에 2를 곱한다.

3단계: Cr의 몰 수에 Cr의 원자량을 곱하면 Cr의 질량이 된다.

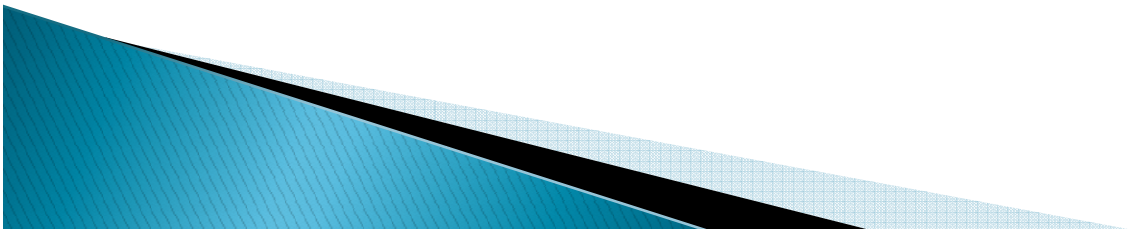


풀이

$$\text{1단계 : } \underline{?} \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 35.8 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times \frac{1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{252.0 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 0.142 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$$

$$\text{2단계 : } \underline{?} \text{ mol Cr atoms} = 0.142 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \times \frac{2 \text{ mol Cr atoms}}{1 \text{ mol } (\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 0.284 \text{ mol Cr atoms}$$

$$\text{3단계 : } \underline{?} \text{ g Cr} = 0.284 \text{ mol Cr atoms} \times \frac{52.0 \text{ g Cr}}{1 \text{ mol Cr atoms}} = 14.8 \text{ g Cr}$$



예제 2-13 화합물의 조성

(a) 오산화비소 As_2O_5 33.7 g 중에 포함된 산소의 질량과 같은 양의 산소가 이산화황 SO_2 에 포함되어 있다면, 이 SO_2 의 질량은 얼마인가?

(b) 48.6 g의 NaCl 에 포함되어 있는 염소 이온과 같은 수의 염소 이온이 CaCl_2 에 포함되려면 이 CaCl_2 는 몇 g이어야 하는가?

계획

(a) As_2O_5 33.7 g 중에 포함된 산소 원소의 질량을 알 수 있고, 그런 다음 같은 양의 산소가 포함될 수 있는 SO_2 의 질량을 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 몇 가지 불필요한 계산을 하게 한다. 그러므로 산소의 몰 수를 구한 후, SO_2 의 몰 수를 구하고, 그런 다음 SO_2 의 질량을 구하면 된다.

As_2O_5 의 질량 → As_2O_5 의 몰 수 → O 원자의 몰 수 → SO_2 의 몰 수 → SO_2 의 질량

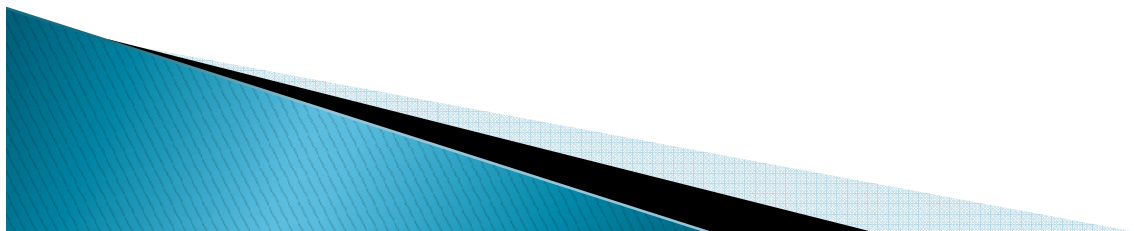
(b) 1몰은 항상 같은 수(아보가드로 수) 만큼의 원자, 분자, 입자, 이온 수를 갖는다. Cl^- 이온의 수를 구하고 (a)와 같이 푼다.

NaCl 의 질량 → NaCl 의 몰 수 → Cl^- 이온의 몰 수 → CaCl_2 의 몰 수 → CaCl_2 의 질량

풀이

$$(a) \quad ? \text{ g SO}_2 = 33.7 \text{ g As}_2\text{O}_5 \times \frac{1 \text{ mol As}_2\text{O}_5}{229.8 \text{ g As}_2\text{O}_5} \times \frac{5 \text{ mol O atoms}}{1 \text{ mol As}_2\text{O}_5} \times \frac{1 \text{ mol SO}_2}{2 \text{ mol O atoms}} \\ \times \frac{64.1 \text{ g SO}_2}{1 \text{ mol SO}_2} = 23.5 \text{ SO}_2$$

$$(b) \quad ? \text{ g CaCl}_2 = 48.6 \text{ g NaCl} \times \frac{1 \text{ mol NaCl}}{58.4 \text{ g NaCl}} \times \frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol NaCl}} \times \frac{1 \text{ mol CaCl}_2}{2 \text{ mol Cl}^-} \\ \times \frac{111.0 \text{ g CaCl}_2}{1 \text{ mol CaCl}_2} = 46.2 \text{ g CaCl}_2$$



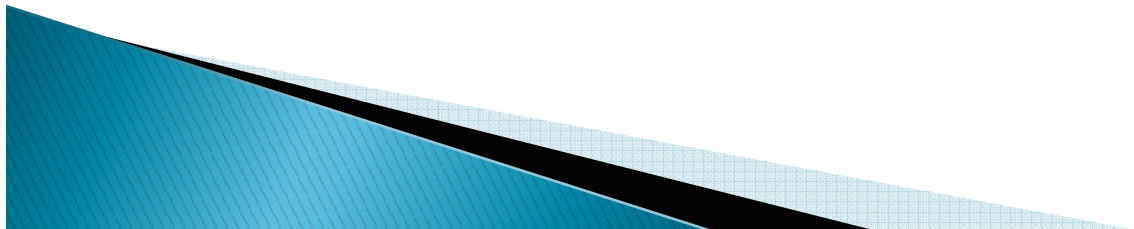
2-11 시료의 순도

예제 2-14 순도 퍼센트

98.2% 순도의 NaOH 45.2 g에 포함되어 있는 순수한 NaOH의 질량과 불순물의 양을 구하여라.

계획

순수한 NaOH는 98.2%이고, 불순물은 1.8%이다.



예제 2-14 순도 퍼센트

98.2% 순도의 NaOH 45.2 g에 포함되어 있는 순수한 NaOH의 질량과 불순물의 양을 구하여라.

계획

순수한 NaOH는 98.2%이고, 불순물은 1.8%이다.

풀이

$$? \text{ g NaOH} = 45.2 \text{ g sample} \times \frac{98.2 \text{ g NaOH}}{100 \text{ g sample}} = 44.4 \text{ g NaOH}$$

$$? \text{ g impurities} = 45.2 \text{ g sample} \times \frac{1.8 \text{ g impurities}}{100 \text{ g sample}} = 0.81 \text{ g impurities}$$
