

# บทที่ 1

## ปริมาณสัมพันธ์

ปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometry) มาจากคำภาษากรีก 2 คำคือ stoicheion แปลว่า ธาตุ กับ metron แปลว่า การวัด ปริมาณสัมพันธ์ หมายถึง การศึกษาความสัมพันธ์ทางด้านปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี ปริมาณสัมพันธ์ที่จะกล่าวถึงได้แก่ มวลอะตอม โมล วิธีการหาสูตร ปริมาณสัมพันธ์ของแก๊ส การคำนวณโดยใช้สมการทางเคมี ดังนี้

### 1.1 มวลอะตอม

มวลอะตอมหมายถึง ตัวเลขที่แสดงว่า ธาตุหนึ่ง 1 อะตอมหนักเป็นกี่เท่าของสารมาตรฐาน 1 อะตอม

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของธาตุมาตรฐาน 1 อะตอม}} \dots\dots\dots(1.1)$$

จอห์น ดาลตัน (John Dalton) พบว่า ไฮโดรเจนเบาที่สุด จึงเสนอให้ใช้ไฮโดรเจนเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ เพื่อหามวลอะตอมของธาตุ จากสมการ (1.1) จะได้ว่า

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{มวลของธาตุไฮโดรเจน 1 อะตอม}}$$

ต่อมานักเคมีได้เสนอให้ใช้ออกซิเจนเป็นมาตรฐานแทนไฮโดรเจน ด้วยเหตุผลว่า ธาตุออกซิเจนมีอยู่มาก และมีอยู่เป็นอิสระในบรรยากาศ ทั้งสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ๆ ได้มาก ดังนั้นมวลอะตอมของธาตุคือ ตัวเลขที่แสดงว่า ธาตุหนึ่ง 1 อะตอมหนักเป็นกี่เท่าของ  $\frac{1}{16}$  มวลของออกซิเจน 1 อะตอม

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\frac{1}{16} \text{ มวลของธาตุออกซิเจน 1 อะตอม}}$$

ต่อมาเกิดปัญหาระหว่างนักเคมีและนักฟิสิกส์ เนื่องจากพบว่า ออกซิเจนที่มีในธรรมชาติ นั้นไม่ใช่มี  $^{16}_8\text{O}$  อย่างเดียว แต่ออกซิเจนมี 3 ไอโซโทปมี  $^{16}_8\text{O}$   $^{17}_8\text{O}$   $^{18}_8\text{O}$  โดยนักเคมีคิดมวลเฉลี่ยของออกซิเจนในธรรมชาติทั้งสามตัว ส่วนนักฟิสิกส์ใช้มวลของ  $^{16}_8\text{O}$  เพียงอย่างเดียว เมื่อเกิดปัญหาอย่างนี้ในปี ค.ศ. 1961 นักวิทยาศาสตร์ได้ตกลงใช้คาร์บอน -12 เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ฉะนั้นมวลอะตอมของธาตุคือ ตัวเลขที่แสดงให้ทราบว่า ธาตุนั้น 1 อะตอมหนักเป็นกี่เท่า

ของ  $\frac{1}{12}$  มวลของ C - 12 1 อะตอม

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{\frac{1}{12} \text{ มวล C-12 1 อะตอม}}$$

จากการทดลองพบว่า  $\frac{1}{12}$  มวล C - 12 1 อะตอม มีมวลเท่ากับ  $1.66 \times 10^{-24}$  กรัม หรือเรียกว่า 1 amu (atomic mass unit) เพื่อเป็นเกียรติแก่ดالتันผู้พบทฤษฎีอะตอม จึงเปลี่ยนหน่วย amu เป็นดالتัน โดยใช้อักษรย่อว่า D

$$1 \text{ D (1 amu)} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

$$\text{มวลอะตอมของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}$$

$$\text{มวลของธาตุ 1 อะตอม} = \text{มวลอะตอมของธาตุ} \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$

**ตัวอย่างที่ 1.1** โพแทสเซียม 1 อะตอมมีมวล  $39 \times 1.66 \times 10^{-24}$  กรัม จะมีมวลอะตอมเท่าไร

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ มวลอะตอมของ K} &= \frac{\text{มวลของ K 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= \frac{39 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= 39 \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 1.2** ถ้าฮีเลียม 1 อะตอมหนักเป็น  $\frac{1}{3}$  เท่าของ C-12 1 อะตอม จงหามวลอะตอมของฮีเลียม

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ มวลอะตอมของ He} &= \frac{\text{มวลของ He 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ \text{He 1 อะตอม หนัก} &= \frac{1}{3} \times 12 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ &= 4 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{มวลอะตอมของ He} &= \frac{4 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= 4 \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 1.3** ธาตุ A 1 อะตอมมีมวลเป็น 4 เท่า ของมวลของธาตุ B 2 อะตอม ถ้าธาตุ B มีมวลอะตอมเท่ากับ 16 มวลอะตอมของธาตุ A มีค่าเท่าไร

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ มวลอะตอมของธาตุ A} &= \frac{\text{มวลของ A 1 อะตอม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ \text{ธาตุ B 1 อะตอมมีมวล} &= 16 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{ธาตุ B 2 อะตอมมีมวล} &= 2 \times 16 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{ธาตุ A 1 อะตอมมีมวล} &= 4 \times 2 \times 16 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม} \\ \text{มวลอะตอมของธาตุ A} &= \frac{4 \times 2 \times 16 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ กรัม}} \\ &= 128 \end{aligned}$$

### 1.1.1 การหามวลอะตอมของธาตุ

โดยทั่ว ๆ ไป ธาตุต่าง ๆ มักจะมีหลายไอโซโทปในธรรมชาติ แต่ละไอโซโทปของธาตุจะมีมวลอะตอมไม่เท่ากัน และมีปริมาณในธรรมชาติไม่เท่ากัน ดังนั้นการพิจารณามวลอะตอมที่แท้จริง ต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ยของทุกไอโซโทปที่มีในธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า มวลอะตอมเฉลี่ย

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย} = \frac{\sum (\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ในธรรมชาติ})}{100} \dots\dots\dots (1.2)$$

เราสามารถหามวลอะตอมเฉลี่ย หรือหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละไอโซโทปได้โดยใช้สมการ (1.2) ดังนี้

**ตัวอย่างที่ 1.4** ถ้าไอโซโทปในธรรมชาติของคาร์บอน 2 ชนิดคือ  $^{12}_6\text{C}$  และ  $^{13}_6\text{C}$  โดย  $^{12}_6\text{C}$  มีในธรรมชาติ 98.89% มวลอะตอม 12.000  $^{13}_6\text{C}$  มีในธรรมชาติ 1.11% มวลอะตอม 13.003 จงหามวลอะตอมเฉลี่ย

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมเฉลี่ยของ C} &= \frac{\sum(\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ในธรรมชาติ})}{100} \\ &= \frac{(12.000 \times 98.89) + (13.003 \times 1.11)}{100} \\ &= \frac{1186.6800 + 14.4333}{100} \\ &= 12.011 \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 1.5** ถ้าไอโซโทปในธรรมชาติของทองแดง 2 ชนิดคือ  $^{63}_{29}\text{Cu}$  และ  $^{65}_{29}\text{Cu}$  ซึ่งมีมวลอะตอม 62.9296 และ 64.9278 ตามลำดับ ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยของ Cu เป็น 63.546 จงหาปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ของแต่ละไอโซโทป

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ มวลอะตอมเฉลี่ย} &= \frac{\sum(\text{มวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป} \times \% \text{ในธรรมชาติ})}{100} \\ \text{ให้ } ^{63}_{29}\text{Cu} \text{ มีปริมาณในธรรมชาติ} & \quad x\% \\ \therefore ^{65}_{29}\text{Cu} \text{ มีปริมาณในธรรมชาติ} & \quad 100 - x\% \\ \text{ดังนั้น} \quad 63.546 &= \frac{(62.9296 \times x) + \{64.9278(100 - x)\}}{100} \\ 63.546 &= 62.9296x + 6492.78 - 64.9278x \\ 1.9982x &= 138.18 \\ x &= \frac{138.18}{1.9982} \\ &= 69.15 \\ \text{ดังนั้น } ^{63}_{29}\text{Cu} \text{ มีในธรรมชาติ} &= 69.15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^{65}_{29}\text{Cu} \text{ มีในธรรมชาติ} &= 100 - 69.15 \\ &= 30.85\% \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.6 ธาตุ X มีไอโซโทปที่เสถียรในธรรมชาติ 2 ชนิด ชนิดแรกมีเปอร์เซ็นต์ในธรรมชาติ 75.0 มีมวลอะตอม 32.1 ถ้า X มีมวลอะตอมเฉลี่ย 32.5 มวลอะตอมของไอโซโทปชนิดที่ 2 เป็นเท่าไร

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ให้มวลอะตอมของไอโซโทปชนิดที่ 2} &= x \\ \text{ดังนั้น} \quad 32.5 &= \frac{(32.1 \times 75) + 25x}{100} \\ 2407.5 + 25x &= 3250 \\ x &= \frac{(3250 - 2407.5)}{25} \\ &= 33.7 \end{aligned}$$

∴ ไอโซโทปชนิดที่ 2 มีมวลอะตอม 33.7

### 1.1.2 การหามวลอะตอมของธาตุจากปฏิกิริยาเคมี

ถ้าให้ x y คือธาตุ และ a b คือจำนวนอะตอมของธาตุ x และธาตุ y ตามลำดับ อาจคำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\frac{\text{มวลของ } x}{\text{มวลของ } y} = \frac{\text{มวลอะตอมของ } x}{\text{มวลอะตอมของ } y} \cdot \frac{a}{b} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

ในการคำนวณหามวลอะตอมของธาตุจากปฏิกิริยาเคมีโดยใช้สมการ (1.3) นั้น ต้องมีข้อมูลดังนี้

- (1) มีธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ทำปฏิกิริยากันแล้วได้สารประกอบออกมาเพียงชนิดเดียว
- (2) ต้องทราบมวลของธาตุที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน
- (3) ทราบมวลอะตอมของธาตุหนึ่ง
- (4) ให้คำนวณหามวลอะตอมของธาตุอื่น ๆ ในสารประกอบนั้น



$$\begin{aligned} 0.709x + 50.27 &= 91.89 \\ x &= \frac{91.89 - 50.27}{0.709} \\ &= 58.70 \end{aligned}$$

อาจหามวลอะตอมของ Ni โดยใช้สูตร

$$\begin{aligned} \frac{\text{มวลของ Ni}}{\text{มวลของ Cl}} &= \frac{\text{มวลอะตอมของ Ni} \cdot \frac{1}{2}}{\text{มวลอะตอมของ Cl} \cdot \frac{1}{2}} \\ \frac{0.587}{0.709} &= \frac{\text{มวลอะตอมของ Ni} \cdot \frac{1}{2}}{35.453 \cdot \frac{1}{2}} \\ \text{มวลอะตอมของ Ni} &= \frac{0.587 \times 35.453 \times 2}{0.709} \\ &= 58.70 \end{aligned}$$

## 1.2 โมล

อนุภาคของสารมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการกำหนดหน่วยเพื่อแสดงจำนวนอนุภาคของสาร จึงต้องเป็นหน่วยใหญ่ที่ใช้แทนอนุภาคที่มีเป็นจำนวนมาก นักเคมีได้กำหนดหน่วยที่ใช้บอกจำนวนอนุภาคของสารนั้น และใช้หน่วยนั้นว่า โมล (mole)

1 โมลของสารใด ๆ หมายถึง ปริมาณสารที่มีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลหรือมวลอะตอมของสารนั้นหรือมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อนุภาค หรือในกรณีที่เป็นแก๊สจะมีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP (อินทิตรา หาญพงษ์พันธ์ 2534 : 5)

STP (Standard Temperature and Pressure) เป็นภาวะที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานคือที่  $0^{\circ}\text{C}$  และความดัน 1 บรรยากาศ

**ตัวอย่างที่ 1.9** แก๊ส A เป็นสารประกอบชนิดหนึ่งมีมวล 2.8 กรัม ถ้ามวลโมเลกุลของ A เท่ากับ 28 จงหาจำนวนโมล จำนวนโมเลกุลและปริมาตรที่ STP ของแก๊ส A

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{แก๊ส A 2.8 กรัม} &= 1 \quad \text{โมล} \\ \text{แก๊ส A 2.8 กรัม} &= \frac{1 \times 2.8}{28} \\ &= 0.1 \quad \text{โมล} \\ \text{แก๊ส A 1 โมล มีจำนวนโมเลกุล} &= 6.02 \times 10^{23} \quad \text{โมเลกุล} \\ \text{แก๊ส A 0.1 โมลมีจำนวนโมเลกุล} &= 6.02 \times 10^{23} \times 0.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 6.02 \times 10^{22} \text{ โมเลกุล} \\ \text{ที่ STP แก๊ส A 1 โมล มีปริมาตร} &= 22.4 \text{ dm}^3 \\ \text{แก๊ส A 0.1 โมล มีปริมาตร} &= 22.4 \times 0.1 \\ &= 2.24 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 1.10** แก๊ส A 22 กรัม มีปริมาตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานเป็น 2 เท่าของ  $\text{CH}_4$  4 กรัม จงหามวลโมเลกุลของแก๊ส A

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ ที่ STP } \text{CH}_4 \text{ 16 กรัม มีปริมาตร} &= 22.4 \text{ dm}^3 \\ \text{CH}_4 \text{ 4 กรัม มีปริมาตร} &= \frac{22.4 \times 4}{16} \\ &= 5.6 \text{ dm}^3 \\ \therefore \text{แก๊ส A 22 กรัม มีปริมาตร} &= 2 \times 5.6 \\ &= 11.2 \text{ dm}^3 \\ \text{ดังนั้นที่ STP แก๊ส A 11.2 dm}^3 \text{ มีมวล} &= 22 \text{ กรัม} \\ \text{แก๊ส A 22.4 dm}^3 \text{ มีมวล} &= \frac{22 \times 22.4}{11.2} \\ &= 44 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

มวลโมเลกุลของแก๊ส A คือ 44

**ตัวอย่างที่ 1.11** บรรจุแก๊สชนิดหนึ่งในกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ซึ่งมีความยาวด้านละ 10 เซนติเมตร นำไปชั่งได้ 62.19 กรัม เมื่อสูบแก๊สออกหมด นำกล่องไปชั่งได้ 50.19 กรัม จงหามวลโมเลกุลของแก๊สนี้ (การทดลองนี้ทำที่อุณหภูมิ  $0^\circ\text{C}$  ความดัน 1 บรรยากาศ)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ ปริมาตรของกล่องสี่เหลี่ยมลูกบาศก์} &= 10 \times 10 \times 10 \\ &= 1,000 \text{ cm}^3 \\ \text{มวลของแก๊สที่อยู่ในกล่อง} &= 62.19 - 50.19 \\ &= 12 \text{ กรัม} \\ \text{ดังนั้น ที่ STP แก๊ส 1 dm}^3 \text{ มีมวล} &= 12 \text{ กรัม} \\ \text{แก๊ส 22.4 dm}^3 \text{ มีมวล} &= 12 \times 22.4 \\ &= 268.8 \text{ กรัม} \\ \text{มวลโมเลกุลของแก๊สนี้คือ} &= 268.8 \end{aligned}$$



### 1.3 การหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล

หลักการคำนวณหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลมีขั้นตอนดังนี้

(1) จะต้องทราบว่สารประกอบนั้น ๆ ประกอบด้วยธาตุใดบ้าง และมีมวลอย่างละเท่าไร การบอกมวลอาจบอกมวลโดยตรงเป็นกรัมหรือเป็นร้อยละ หรืออาจบอกมวลโดยทางอ้อมจากสูตรเคมี

(2) หาอัตราส่วนโดยจำนวนโมลอะตอม (mole ratio) ของธาตุองค์ประกอบ โดยนำมวลอะตอมของธาตุไปหารปริมาณของธาตุนั้น

(3) นำผลหารที่ได้จากข้อ 2. มาเทียบให้เป็นอัตราส่วนอย่างต่ำและเป็นเลขจำนวนเต็มลงตัวน้อย ๆ

(4) ผลที่ได้จากข้อ 3. จะเป็นสูตรอย่างง่ายของสารประกอบ

ถ้าจะหาสูตรโมเลกุลจะได้จากความสัมพันธ์

$$(\text{มวลสูตร})_n = \text{มวลโมเลกุล}$$

**ตัวอย่างที่ 1.12** สารประกอบชนิดหนึ่งมีองค์ประกอบเป็นน้ำหนักร้อยละดังนี้ Na = 12.04% B = 11.52% O = 29.32% และ H<sub>2</sub>O = 47.12% จงคำนวณหาสูตรอย่างง่ายของสารประกอบนี้ (Na = 23 B = 11 H = 1 O = 16)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{อัตราส่วนจำนวนโมล Na : B : O : H}_2\text{O} &= \frac{12.04}{23} : \frac{11.52}{11} : \frac{29.32}{16} : \frac{47.12}{18} \\ &= 0.52 : 1.05 : 1.83 : 2.62 \\ &= 1.00 : 2.04 : 3.50 : 5.03 \\ &= 2 : 4 : 7 : 10 \end{aligned}$$

สูตรอย่างง่ายคือ Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O

**ตัวอย่างที่ 1.13** เมื่อนำสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง 1.08 กรัม มาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ CO<sub>2</sub> 3.08 กรัม และ H<sub>2</sub>O 0.72 กรัม จงหาสูตรอย่างง่ายของสารอินทรีย์นี้

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{CO}_2 \quad 44 \text{ กรัม มี C} & \quad 12 \quad \text{กรัม} \\ \text{CO}_2 \quad 3.08 \text{ กรัม มี C} & \quad \frac{12 \times 3.08}{44} \\ & = 0.84 \quad \text{กรัม} \\ \text{H}_2\text{O} \quad 18 \text{ กรัม มี H} & \quad 2 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O } 0.72 \text{ กรัมมี H} &= \frac{2 \times 0.72}{18} \\ &= 0.08 \text{ กรัม} \\ \therefore \text{ประกอบด้วย O} &= 1.08 - 0.84 - 0.08 \\ &= 0.16 \text{ กรัม} \\ \text{C : H : O} &= \frac{0.84}{12} : \frac{0.08}{1} : \frac{0.16}{16} \\ &= 0.07 : 0.08 : 0.01 \\ &= 7 : 8 : 1 \end{aligned}$$

สารประกอบอินทรีย์มีสูตรอย่างง่าย  $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$

ตัวอย่างที่ 1.14 ก๊าซ X ประกอบด้วย C H และ O เท่านั้น เมื่อนำแก๊ส X มา 2.04 กรัม พบว่ามี O 1.28 กรัม H 0.04 กรัม ถ้ามีความหนาแน่นของ X ที่ STP = 4.55 กรัม/ลูกบาศก์ เดซิเมตร จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊ส X

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{มวลของ C ในแก๊ส X} &= 2.04 - 1.28 - 0.04 \\ &= 0.72 \text{ กรัม} \\ \text{C : H : O} &= \frac{0.72}{12} : \frac{0.04}{1} : \frac{1.28}{16} \\ &= 0.06 : 0.04 : 0.08 \\ &= 1.5 : 1 : 2 \\ &= 3 : 2 : 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สูตรอย่างง่ายของแก๊ส X} \quad \text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4 \\ \text{ที่ STP แก๊ส X } 1 \text{ dm}^3 \text{ มีมวล} &= 4.55 \text{ กรัม} \\ \text{แก๊ส X } 22.4 \text{ dm}^3 \text{ มีมวล} &= 4.55 \times 22.4 \\ &= 102 \text{ กรัม} \\ (\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4)_n &= 102 \\ 102 n &= 102 \\ n &= \frac{102}{102} \\ &= 1 \end{aligned}$$

□ สูตรโมเลกุลของแก๊ส X คือ  $\text{C}_3\text{H}_2\text{O}_4$

### 1.4 การหามวลเป็นร้อยละจากสูตร

การคำนวณหามวลเป็นร้อยละจากสูตรมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ต้องทราบมวลอะตอมของธาตุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในสารนั้น
- (2) ต้องทราบสูตรแล้วหามวลโมเลกุล
- (3) เทียบมวลกับธาตุต่าง ๆ 100 หน่วยน้ำหนัก ว่ามีอยู่เท่าใดก็จะออกมาเป็นร้อยละของแต่ละธาตุ

ตัวอย่างที่ 1.15 กรดแอซติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ร้อยละเท่าไร (C = 12 O = 16 H = 1)

วิธีทำ	มวลโมเลกุล $\text{CH}_3\text{COOH}$	=	60
	$\text{CH}_3\text{COOH}$ 60 กรัม มี C	=	24 กรัม
	$\text{CH}_3\text{COOH}$ 100 กรัม มี C	=	$\frac{24 \times 100}{60}$
		=	40.00 กรัม
	∴ เปอร์เซ็นต์ของ C	=	40.00%
	เปอร์เซ็นต์ของ O	=	$\frac{32 \times 100}{60}$
		=	53.33%
	เปอร์เซ็นต์ของ H	=	$\frac{4 \times 100}{60}$
		=	6.67%

$\text{CH}_3\text{COOH}$  ประกอบด้วย C = 40.00% O = 53.33% H = 6.67%

ตัวอย่างที่ 1.16 จงหาสูตรโมเลกุลของน้ำผลึกในเกลือ  $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  ที่มีมวลร้อยละของน้ำผลึก 20.93

วิธีทำ	$\text{CaSO}_4$ มีมวลโมเลกุล	136
	$\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 136 + 18x กรัม มี $\text{H}_2\text{O}$	18x กรัม
	$\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 100 กรัม มี $\text{H}_2\text{O}$	$\frac{18x \times 100}{136 + 18x}$
	มวลของน้ำผลึกในสารประกอบ 20.93%	

$$\therefore \frac{18x \times 100}{136 + 18x} = 20.93$$

$$x = 2$$

ดังนั้นสูตรโมเลกุลคือ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

### 1.5 ปริมาณสัมพันธ์ของแก๊ส

ในปี ค.ศ. 1808 โจเซฟ เกย์ – ลูสแซก (Joseph Gay – Lussac) นักเคมีชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองวัดปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน และปริมาตรของแก๊สที่ได้จากปฏิกิริยาโดยวัดที่อุณหภูมิ และความดันเดียวกัน แล้วสรุปเป็นกฎขึ้นซึ่งเรียกว่า กฎของเกย์ลูสแซก มีใจความว่า “อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน และปริมาตรของแก๊สที่ได้จากปฏิกิริยาซึ่งวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มลงตัวน้อย ๆ”

ต่อมาอาโวกาโดร (Amadeo Avogadro) ได้ตั้งกฎขึ้นซึ่งเรียกว่า กฎของอาโวกาโดร มีใจความว่า “แก๊สที่มีปริมาตรเท่ากัน เมื่อวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน”

จากกฎของเกย์ลูสแซกและกฎของอาโวกาโดร ทำให้เราสามารถหาสูตรโมเลกุลของแก๊สได้

ตัวอย่างที่ 1.17 แก๊สไนโตรเจน  $30 \text{ cm}^3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สไฮโดรเจน  $90 \text{ cm}^3$  ได้แก๊สชนิดหนึ่งที่มีปริมาตร  $60 \text{ cm}^3$  โดยวัดที่ภาวะ STP จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สนี้

วิธีทำ	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$\text{H}_2(\text{g})$	$\longrightarrow$	$\text{N}_x\text{H}_y(\text{g})$
จากโจทย์	$30 \text{ cm}^3$		$90 \text{ cm}^3$		$60 \text{ cm}^3$
จากกฎของเกย์ลูสแซก	$1 \text{ cm}^3$		$3 \text{ cm}^3$		$2 \text{ cm}^3$
จากกฎของอาโวกาโดร	1 โมเลกุล		3 โมเลกุล		2 โมเลกุล
	$\frac{1}{2}$ โมเลกุล		$\frac{3}{2}$ โมเลกุล		1 โมเลกุล
	1 อะตอม		3 อะตอม		1 โมเลกุล

∴ สูตรโมเลกุลของแก๊สนี้คือ  $\text{NH}_3$

ตัวอย่างที่ 1.18 X และ Y เป็นแก๊สที่มีจำนวนอะตอม 2 และ 3 อะตอมใน 1 โมเลกุล ตามลำดับ ถ้าแก๊ส X 30 cm<sup>3</sup> ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊ส Y 10 cm<sup>3</sup> ได้แก๊ส Z เพียงอย่างเดียว 30 cm<sup>3</sup> สูตรโมเลกุลของ Z เป็นอย่างไร

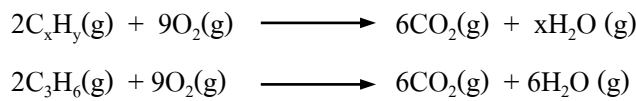
วิธีทำ	$X(g) + Y(g) \longrightarrow Z(g)$
	$30 \text{ cm}^3 \quad 10 \text{ cm}^3 \quad 30 \text{ cm}^3$
จากกฎของเกย์ลุสแซก	$3 \text{ cm}^3 \quad 1 \text{ cm}^3 \quad 3 \text{ cm}^3$
จากกฎของอาโวกาโดร	3 โมเลกุล    1 โมเลกุล    3 โมเลกุล
	$1 \text{ โมเลกุล} \quad \frac{1}{3} \text{ โมเลกุล} \quad 1 \text{ โมเลกุล}$
	2 อะตอม    1 อะตอม    1 โมเลกุล

∴ สูตรของแก๊ส Z คือ X<sub>2</sub>Y

ตัวอย่างที่ 1.19 แก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมีปริมาตร 10 cm<sup>3</sup> นำไปทำการสันดาปจนสมบูรณ์ได้ CO<sub>2</sub> และ H<sub>2</sub>O ถ้าใช้ O<sub>2</sub> ไปจำนวน 45 cm<sup>3</sup> และเกิด CO<sub>2</sub> 30 cm<sup>3</sup> จงหาสูตรโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนนี้

วิธีทำ	$C_xH_y(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g) \dots\dots(1.4)$
	$10 \text{ cm}^3 \quad 45 \text{ cm}^3 \quad 30 \text{ cm}^3$
จากกฎของเกย์ลุสแซก	$2 \text{ cm}^3 \quad 9 \text{ cm}^3 \quad 6 \text{ cm}^3$
จากกฎของอาโวกาโดร	2 โมเลกุล    9 โมเลกุล    6 โมเลกุล

ใช้หลักการดุลสมการหาสูตรไฮโดรคาร์บอน จากสมการ (1.4) จะได้ว่า



∴ สูตรโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนคือ C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>

### 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารในสมการเคมี

สมการเคมี เป็นสิ่งที่เขียนแทนปฏิกิริยาเคมี ซึ่งบอกให้ทราบชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (reactant) และชนิดของผลิตภัณฑ์ (product) ที่เกิดขึ้น จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว สามารถแสดงให้เห็นทราบถึงสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

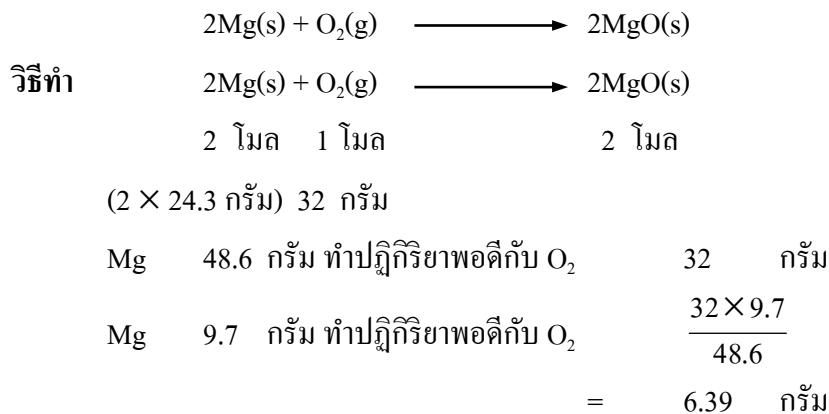
- (1) จำนวนโมล
- (2) มวล
- (3) ปริมาตรที่ STP ในกรณีที่เป็นแก๊ส

### 1.6.1 การคำนวณหาปริมาณสารเมื่อมี 1 สมการ

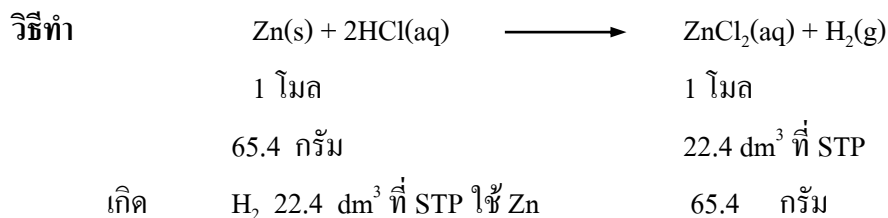
ในการคำนวณปริมาณของสารในสมการเคมี มีหลักดังนี้

- (1) เขียนสมการให้ถูกต้องและทำสมการให้ดุล
- (2) แสดงความหมายปริมาณสารจากสมการตามโจทย์บอกและ โจทย์ถาม สิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องไม่ต้องนำมาพิจารณา
- (3) คำนวณตามที่โจทย์ต้องการ

**ตัวอย่างที่ 1.20** จงคำนวณหามวลของออกซิเจน ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Mg 9.7 กรัม เพื่อให้ เกิดเป็น MgO ดังสมการ (Mg = 24.3 O = 16)



**ตัวอย่างที่ 1.21** จากสมการเคมี  $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \longrightarrow \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$  ถ้าต้องการ ให้เกิด H<sub>2</sub> จำนวน 11.2 dm<sup>3</sup> ที่ STP จะต้องใช้ Zn กี่กรัม (Zn = 65.4)



$$\begin{array}{l} \text{เกิด } \text{H}_2 \text{ 11.2 dm}^3 \text{ ที่ STP ใช้ Zn} \\ = \frac{65.4 \times 11.2}{22.4} \\ = 32.7 \text{ กรัม} \end{array}$$

**1.6.2 การคำนวณหาปริมาณสารเมื่อมีมากกว่า 1 สมการ มีหลักในการคำนวณดังนี้**

- (1) ต้องทำสมการให้ตัวเชื่อมมีจำนวนโมลเท่ากัน
- (2) เทียบหาปริมาณสารตามที่โจทย์บอกและโจทย์ถาม

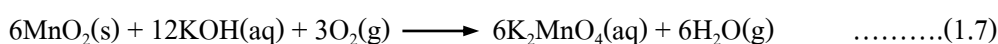
**ตัวอย่างที่ 1.22** ในการเตรียม  $\text{KMnO}_4$  จาก  $\text{MnO}_2$  ดังสมการ



ถ้าต้องการ  $\text{KMnO}_4$  100 กรัม จะต้องใช้  $\text{O}_2$  กี่กรัม (K = 39 Mn = 55 O = 16)

**วิธีทำ** ทำตัวเชื่อมทั้ง 2 สมการคือ  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  ให้มีจำนวนโมลเท่ากัน

สมการ (1.5)  $\times 3$  จะได้



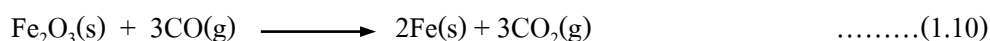
สมการ (1.6)  $\times 2$  จะได้



จากสมการ (1.7) และ (1.8)

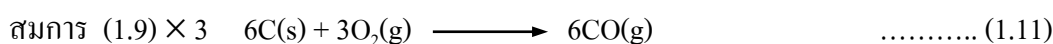
$$\begin{array}{l} \text{ต้องการ } \text{KMnO}_4 \text{ 158} \times 4 \text{ กรัม ใช้ } \text{O}_2 \quad 3 \times 32 \quad \text{กรัม} \\ \text{ต้องการ } \text{KMnO}_4 \text{ 100 กรัม ใช้ } \text{O}_2 \quad \frac{3 \times 32 \times 100}{158 \times 4} \\ = 15.2 \quad \text{กรัม} \end{array}$$

**ตัวอย่างที่ 1.23** จากสมการ



ถ้าต้องการ Fe 50 kg จะต้องใช้ C กี่กรัม (Fe = 55.8 C = 12)

**วิธีทำ** ทำตัวเชื่อมทั้ง 2 สมการคือ CO ให้มีจำนวนโมลเท่ากัน





จากสมการ (1.11) และ (1.12)

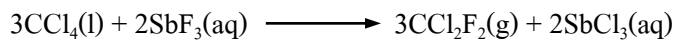
$$\begin{array}{l} \text{ต้องการ Fe} \quad 4 \times 55.8 \text{ กรัม ใช้ C} \quad \quad \quad 6 \times 12 \quad \quad \text{กรัม} \\ \text{ต้องการ Fe} \quad 50 \times 10^3 \text{ กรัม ใช้ C} \quad \quad \quad \frac{6 \times 12 \times 50 \times 10^3}{4 \times 55.8} \\ = \quad \quad \quad 1.61 \times 10^4 \quad \quad \text{กรัม} \end{array}$$

### 1.7 สารกำหนดปริมาณ

สารที่เข้าทำปฏิกิริยามีปริมาณไม่พอดีกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดเมื่อสารใดสารหนึ่งหมด สารที่หมดก่อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า เป็นสารกำหนดปริมาณ (limiting reagent) (ทบทวนมหาวิทยาลัย 2538 : 37)

วิธีหาสารกำหนดปริมาณจากสารที่กำหนดให้ โดยเปลี่ยนสารที่กำหนดให้ ให้เป็นโมล นำตัวเลขที่ใช้คูณสมการของแต่ละตัวมาหารจำนวนโมล ผลหารที่ได้ค่าน้อยที่สุดจะเป็นสารกำหนดปริมาณ

**ตัวอย่างที่ 1.24** ในการผลิตฟรีออน ซึ่งใช้เป็นน้ำยาในตู้เย็น ดังสมการ



เมื่อใช้  $\text{CCl}_4$  ปริมาณ 30.8 กรัม ผสมกับ  $\text{SbF}_3$  17.9 กรัม จะได้ฟรีออนกี่กรัม กำหนดมวล

โมเลกุลของ  $\text{CCl}_4 = 154$   $\text{SbF}_3 = 179$   $\text{CCl}_2\text{F}_2 = 121$

**วิธีทำ** หาสารกำหนดปริมาณ

$$\text{CCl}_4 = \frac{30.8}{154 \times 3} = 0.06$$

$$\text{SbF}_3 = \frac{17.9}{179 \times 2} = 0.05$$

$\therefore$   $\text{SbF}_3$  เป็นสารกำหนดปริมาณ

$$\text{SbF}_3 \quad 2 \times 179 \text{ กรัม เกิด } \text{CCl}_2\text{F}_2 \quad \quad \quad 3 \times 121 \quad \quad \text{กรัม}$$

$$\begin{array}{l} \text{SbF}_3 \quad 17.9 \text{ กรัมเกิด } \text{CCl}_2\text{F}_2 \quad \quad \quad \frac{3 \times 121 \times 17.9}{2 \times 179} \\ = \quad \quad \quad 18.15 \quad \quad \text{กรัม} \end{array}$$



ตัวอย่างที่ 1.25 ถ้าต้องการเตรียม Zn(FeS<sub>2</sub>)<sub>2</sub> จาก 2 กรัมของ Zn 3 กรัมของ Fe และ 4 กรัมของ S จะสามารถเตรียมได้มากที่สุดกี่กรัม (Zn = 65.4 Fe = 55.8 S = 32)



หาสารกำหนดปริมาณ

$$Zn = \frac{2}{65.4} = 0.03$$

$$Fe = \frac{3}{55.8 \times 2} = 0.02$$

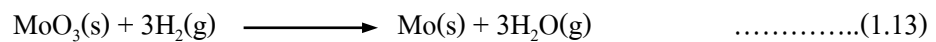
$$S = \frac{4}{32 \times 4} = 0.03$$

∴ Fe เป็นสารกำหนดปริมาณ

$$Fe \quad 2 \times 55.8 \text{ กรัม เตรียม } Zn(FeS_2)_2 \text{ ได้ } 305 \text{ กรัม}$$

$$Fe \quad 3 \text{ กรัม เตรียม } Zn(FeS_2)_2 \text{ ได้ } \frac{305 \times 3}{2 \times 55.8} = 8.2 \text{ กรัม}$$

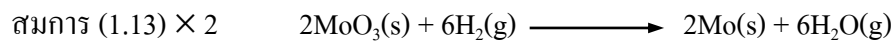
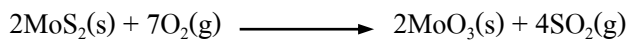
ตัวอย่างที่ 1.26 ธาตุโมลิบดีนัม (Mo) เตรียมได้จากแร่โมลิบไนต์ (MoS<sub>2</sub>) โดยการเผาเพื่อให้เกิดออกไซด์ แล้วรีดิวซ์ออกไซด์ที่ได้ด้วยไฮโดรเจนดังสมการ



ถ้ามี O<sub>2</sub> 560 กรัม H<sub>2</sub> 120 กรัม และ MoS<sub>2</sub> 1600 กรัม จงหามวลของ Mo ที่จะเตรียมได้

(Mo = 96 S = 32 O = 16 H = 1)

วิธีทำ ทำสมการให้มีความสัมพันธ์ต่อกัน



หาสารกำหนดปริมาณ

$$MoS_2 = \frac{1600}{160 \times 2}$$

$$= 5$$

$$O_2 = \frac{560}{32 \times 7}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.5 \\
 \text{H}_2 &= \frac{120}{2 \times 6} \\
 &= 10
 \end{aligned}$$

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณคือ O<sub>2</sub>

$$\text{O}_2 \text{ 7 โมลเตรียม Mo ได้ } \quad 2 \times 96 \quad \text{กรัม}$$

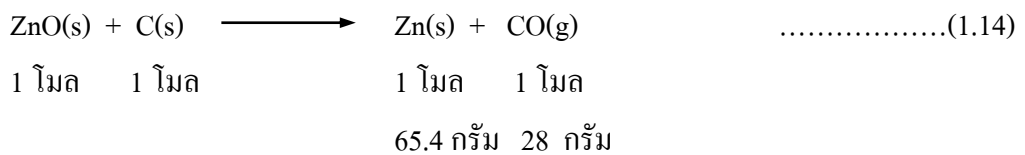
$$\text{O}_2 \text{ 17.5 โมลเตรียม Mo ได้ } \quad \frac{2 \times 96 \times 17.5}{7}$$

$$= 480 \quad \text{กรัม}$$

### 1.8 ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริงและผลผลิตร้อยละ

การคำนวณหาผลผลิตตามทฤษฎี จำเป็นต้องใช้สมการเคมี เพราะสมการเคมีที่ดุลแล้ว ผลผลิตตามทฤษฎี เป็นผลผลิตที่มากที่สุดที่เกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ แต่โดยทั่วไปผลผลิตที่ได้จริงจะน้อยกว่าผลผลิตที่ได้ตามทฤษฎี

พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้

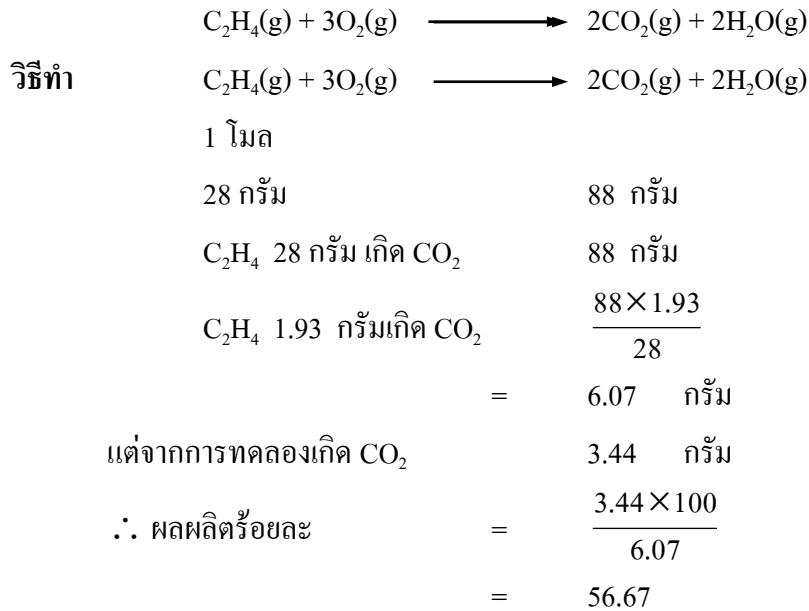


จากสมการ ZnO 1 โมล ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์กับ C 1 โมล เกิด Zn และ CO อย่างละ 1 โมล ดังนั้นผลผลิตตามทฤษฎีของ Zn และ CO จึงเป็น 65.4 กรัม และ 28 กรัม ตามลำดับ

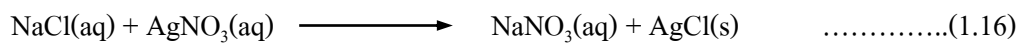
ผลผลิตที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตามปกติจะน้อยกว่าทฤษฎีเช่น ผลผลิตจริงของ Zn และ CO จากสมการ (1.14) อาจไม่ถึง 1 โมลก็ได้ เนื่องจากว่าอาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตจริง และผลผลิตตามทฤษฎีและผลผลิตร้อยละอาจแสดงดังสมการ (1.15)

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1.15)$$

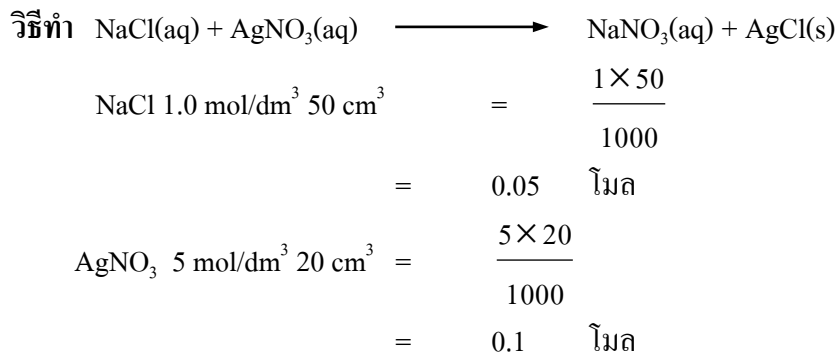
ตัวอย่างที่ 1.27 เมื่อเผา  $C_2H_4$  1.93 กรัม กับออกซิเจนที่มากเกินไปเกิด  $CO_2$  3.44 กรัม  
จงหาผลผลิตร้อยละของ  $CO_2$



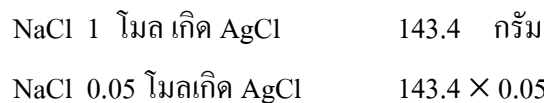
ตัวอย่างที่ 1.28 เมื่อใช้  $NaCl$  เข้มข้น  $1.0 \text{ mol/dm}^3$  จำนวน  $50 \text{ cm}^3$  ผสมกับสารละลาย  
 $AgNO_3$  เข้มข้น  $5.0 \text{ mol/dm}^3$  จำนวน  $20 \text{ cm}^3$  ปรากฏว่าได้ตะกอนของ  $AgCl$ หนัก 5.38 กรัม จง  
คำนวณหาผลผลิตร้อยละ



( $Ag = 107.9$   $Cl = 35.5$   $Na = 23$ )



∴ จากสมการ (1.16)  $NaCl$  เป็นสารกำหนดปริมาณ



$$\begin{aligned} &= 7.17 \text{ กรัม} \\ \text{แต่จากการทดลองเกิด AgCl} & 5.38 \text{ กรัม} \\ \text{ผลผลิตร้อยละ} &= \frac{5.38}{7.17} \times 100 \\ &= 75.03 \end{aligned}$$

### สรุปท้ายบท

ปริมาณสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ด้านปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี มวลอะตอมถือว่าเป็นพื้นฐานในการหาปริมาณสารต่าง ๆ ในการหามวลอะตอมหาได้จากการเปรียบเทียบกับมวลของสารมาตรฐาน มวลอะตอมที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการใช้มวลอะตอมเฉลี่ยของทุกไอโซโทปที่มีในธรรมชาติ นอกจากนี้มวลอะตอมอาจหาได้จากปฏิกิริยาเคมี ในการหาปริมาณสารจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องโมล โดยโมลจะมีความสัมพันธ์กับมวล จำนวนอนุภาคและปริมาตรของแก๊สที่ STP

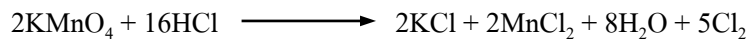
ในการหาปริมาณสัมพันธ์ จำเป็นต้องคำนวณจากสูตรโมเลกุลของสาร ดังนั้นในการคำนวณหาสูตรโมเลกุล สูตรอย่างง่ายจึงมีความสำคัญต่อการหาปริมาณสาร นอกจากนี้การหาสูตรโมเลกุลของแก๊สอาจหาได้จากความสัมพันธ์โดยอาศัยกฎอาโวกาโดรและกฎของเกย์ลูสแซค เมื่อทราบมวลอะตอม มวลโมเลกุล สูตรโมเลกุลสามารถนำความรู้เหล่านี้มาคำนวณปริมาณสารจากสมการเคมี ในการคำนวณปริมาณสารจากสมการเคมี จำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับจำนวน โมลที่เกี่ยวข้องในสมการเคมี สารกำหนดปริมาณ ปริมาณสารที่คำนวณได้ ถือเป็นผลผลิตตามทฤษฎี ดังนั้นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เราจึงสามารถคำนวณผลผลิตร้อยละที่ได้ และโดยทั่วไปแล้วผลผลิตจริงย่อมมีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎีเสมอ

## แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. ถ้าแคลเซียมมวลอะตอม = 40 แคลเซียม 1 อะตอมจะมีมวลกี่กรัม (ตอบ  $40 \times 1.66 \times 10^{-24}$  กรัม)
2. ธาตุ P 1 อะตอม มีมวลเป็น 2 เท่าของธาตุ Q 1 อะตอม ถ้ามวลอะตอมของ Q = 14 จงหามวลอะตอมของ P (ตอบ 28)
3. ธาตุ y มี 3 ไอโซโทป พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ในธรรมชาติเป็นอัตราส่วน 0.50 : 0.75 : 3.75 และมีมวลอะตอมเป็น 6.1 , 7.5 และ 8.2 ตามลำดับ จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ y (ตอบ 7.89)
4. ไอโซโทปของแกเลียมที่มีในธรรมชาติ คือ  $^{69}_{31}\text{Ga}$  และ  $^{71}_{31}\text{Ga}$  ซึ่งมีมวลอะตอม 68.9256 และ 70.9247 ตามลำดับ ถ้าแกเลียมมีมวลอะตอมเฉลี่ย 69.72 จงหาเปอร์เซ็นต์ของแต่ละไอโซโทปที่มีในธรรมชาติ (ตอบ 60 , 40)
5. โลหะเงินบริสุทธิ์ 1.280 กรัมทำปฏิกิริยาพอดีกับโบรมีน 0.948 กรัม ได้สารประกอบ AgBr จงหามวลอะตอมของโบรมีน (Ag = 108) (ตอบ 79.98)
6. ธาตุ A มีมวลอะตอมเท่ากับ 60.0 ทำปฏิกิริยากับธาตุ B ทำให้เกิดสารประกอบ  $\text{AB}_2$  ถ้า 2 กรัมของ A ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 8 กรัมของ B จงหามวลอะตอมของ B (ตอบ 120)
7. จงหาจำนวนโมลของปริมาณที่กำหนดต่อไปนี้
  - ก. C 60 กรัม
  - ข.  $\text{SO}_2$  192 กรัม
  - ค.  $\text{N}_2$  112  $\text{dm}^3$  ที่ STP
  - ง. Na จำนวน  $1.204 \times 10^{24}$  อะตอม(ตอบ ก. 5 โมล , ข. 3 โมล , ค. 5 โมล , ง. 2 โมล)
8. แก๊ส A มีปริมาตร 5.6  $\text{dm}^3$  ที่ STP มีมวล 7.5 กรัม แก๊ส A มีมวลโมเลกุลเท่าไร (ตอบ 30)
9. แก๊ส X มีปริมาตร 11.2  $\text{dm}^3$  ที่ STP มีมวลเท่ากับก๊าซ  $\text{H}_2$  ที่มีปริมาตร 22.4  $\text{dm}^3$  ที่ STP แก๊ส X มีมวลโมเลกุลเท่าไร (H = 1) (ตอบ 4)
10. จงหาสูตรอย่างง่ายของเหล็กออกไซด์ซึ่งประกอบด้วยเหล็ก 69.94% (Fe = 55.8 , O = 16) (ตอบ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
11. ในการศึกษาองค์ประกอบของสารชนิดหนึ่ง เมื่อนำสารหนัก 1.05 กรัมมาเผาไหม้จนสมบูรณ์ พบว่าเกิด  $\text{CO}_2$  1.32 กรัม และ  $\text{H}_2\text{O}$  0.63 กรัม และพบว่าสารนี้หนัก 0.90 กรัมมีไนโตรเจน 0.12 กรัม จงหาสูตรอย่างง่ายของสารประกอบชนิดนี้ (ตอบ  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3\text{N}$ )

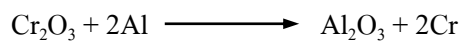
12. แก๊ส  $X_2$   $50 \text{ cm}^3$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ แก๊ส  $O_2$   $125 \text{ cm}^3$  ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊ส A เพียงอย่างเดียว  $50 \text{ cm}^3$  ถ้าการทดลองนี้ทำที่อุณหภูมิห้องและความดันคงที่ จงหาสูตรของแก๊ส A (ตอบ  $X_2O_5$ )

13. เมื่อนำโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกดังสมการ



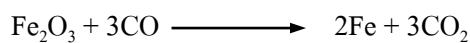
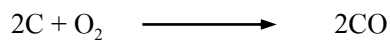
ถ้าใช้  $\text{HCl}$   $8 \text{ mol/dm}^3$  จำนวน  $10 \text{ cm}^3$  จะต้องใช้  $\text{KMnO}_4$  กี่กรัม จึงจะทำปฏิกิริยากับกรดดังกล่าวได้พอดี (ตอบ 1.58)

14. โลหะ Cr เตรียมได้จากการรีดิวซ์  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ด้วย Al ที่อุณหภูมิสูงดังสมการ



ถ้าใช้ Al 2.7 กรัม ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  10.0 กรัม จะได้ Cr กี่กรัม (ตอบ 5.2 กรัม)

15. จากสมการเคมี



จะต้องใช้คาร์บอนกี่กิโลกรัมไปรีดิวซ์  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  100 กิโลกรัม (ตอบ 22.5 กิโลกรัม)

### บรรณานุกรม

- กฤษณา ชูติมา. **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 12 (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.
- \_\_\_\_\_ . **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 11 (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2538.
- ทพวงมหาวิทยาลัย. **เคมี เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 8. นนทบุรี : บริษัทไทยร่วมเกล้า จำกัด, 2538.
- \_\_\_\_\_ . **เคมี เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 6 นนทบุรี : บริษัทไทยร่วมเกล้า จำกัด, 2538.
- เทพจันทร์ แสงสุนทร. **คู่มือเตรียมสอบเคมี ว 032**. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ภูมิบัณฑิต. ม.ป.ป.
- นิตยา แซ่ซิ้ม. **เคมีอนินทรีย์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์การศาสนา, 2538.
- นภดล ไชยคำและคณะ. **เคมี เล่ม 1**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แมคกรอ – ฮิล, 2544.
- ประภาณี เกษมศรี ณ อรุรยาและคณะ. **เคมีทั่วไป เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2535.
- \_\_\_\_\_ . **เคมีทั่วไป เล่ม 2**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2536.
- ระมัด โชชัย. **เคมีอนินทรีย์ควอนตัม 1**. กำแพงเพชร : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร, 2541.
- \_\_\_\_\_ . **เอกสารประกอบการสอนเคมี**. กำแพงเพชร : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร, ม.ป.ป.
- ศศิเกษม ทองรงค์ และพรรณี เดชกำแพง. **เคมีทั่วไป**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2524.