บทที่ 4
ปริมาณสารสัมพันธ์

ปริมาณสารสัมพันธ์ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ทางด้านปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี เมื่อนำสารชนิดใดมาทำปฏิกิริยากันแล้ว จึงมีความจำเป็นต้องระบุปริมาณสาร ซึ่งสารมีสถานะที่แตกต่างกัน เช่น สถานะของแข็งต้องคำนวณมวลของสาร ของเหลวและแก๊สต้องคำนวณปริมาตร โดยหน่วยของสารมีหลายหน่วย ได้แก่ โมล มวล จำนวนอนุภาค (อะตอม โมเลกุล ไอออน) และปริมาตรของแก๊สที่ STP ในแต่ละหน่วยมีความสัมพันธ์กัน และมีความจำเป็นที่ต้องรู้สูตรโมเลกุลของสาร นอกจากนี้สูตรโมเลกุลทำให้สามารถหาร้อยละของธาตุที่เป็นองค์ประกอบได้ ในการนำสารตั้งต้นมาทำปฏิกิริยากันเมื่อคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาย่อมมีประโยชน์ต่อการคาดคะเนปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี หากไม่คำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่แน่นอนอาจทำให้ใช้สารตั้งต้นมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลให้สารบางตัวเหลือหลังจากเกิดปฏิกิริยาได้ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้นได้อีกด้วย ในบทนี้จะอธิบายถึงมวลอะตอม โมล ร้อยละองค์ประกอบของสารประกอบ สูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล และสมการเคมี

มวลอะตอม (Atomic mass)

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดให้ มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ มวลของ 1/12 ของมวล C-12 หนึ่งอะตอม เป็นค่ามาตรฐานในการเทียบ ดังนั้น 1 หน่วยมวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 1/12 มวลของ C-12 จำนวน 1 อะตอม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (ดวงมาลย์ พละไกร, 2558 : 23 และเรวัต ตันตยานนท์ และ อรนุช โชคชัยเจริญพร, 2559 : 21)

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ}}{\frac{1}{12}\ \text{มวลของ}\ {}^{12}\text{C}\ 1\ \text{อะตอม}}$$

ถ้าใช้มวลอะตอมในหน่วยกรัมจะได้ความสัมพันธ์

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ (g)}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{(g)}}$$

ตัวอย่างที่ 4.1 ธาตุลิเทียม (Li) มีมวลอะตอมสัมพัทธ์ 6.94 ธาตุลิเทียมมีมวลอะตอมเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลอะตอม

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ (g)}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{(g)}}$$

$$6.94 = \frac{\text{มวลอะตอมของ Li (g)}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{(g)}}$$

$$\text{มวลอะตอมของ Li} = 1.15 \times 10^{-23}\ \text{กรัม}$$

ดังนั้น ธาตุลิเทียมมีมวลอะตอม 1.15×10^{-23} กรัม

ตัวอย่างที่ 4.2 ธาตุแมกนีเซียม 5 อะตอม มีมวล 2.015×10^{-22} กรัม มวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุแมกนีเซียมมีค่าเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลอะตอมสัมพัทธ์

1. หามวลของแมกนีเซียม 1 อะตอม

$$\text{มวลของแมกนีเซียม 1 อะตอม} = \frac{2.015 \times 10^{-22}\ \text{กรัม}}{5\ \text{อะตอม}}$$

$$= 4.03 \times 10^{-23}\ \text{กรัม/อะตอม}$$

2. หามวลอะตอมสัมพัทธ์

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของ Mg 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{(g)}}$$

$$= \frac{4.03 \times 10^{-23}}{1.66 \times 10^{-24}\ \text{(g)}}$$

$$= 24.30$$

ดังนั้น มวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุแมกนีเซียมมีค่าเท่ากับ 24.30

เมื่อพิจารณามวลอะตอมของธาตุที่พบในตารางธาตุ แท้จริงแล้วเกิดจากมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุที่เป็นไอโซโทปที่แตกต่างกัน เนื่องจากในธรรมชาติมีด้วยกันหลายไอโซโทปขึ้นอยู่กับปริมาณร้อยละที่พบในธรรมชาติ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 74 และพิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 59) โดยมวลอะตอมเฉลี่ยที่คำนวณได้จากมวลอะตอมหรือมวลอะตอมสัมพัทธ์ของไอโซโทป มีค่าเป็นตัวเลขเท่ากัน แต่มวลอะตอมเฉลี่ยที่คำนวณได้จากมวลอะตอมสัมพัทธ์ไม่มีหน่วย จึงได้สัมพันธ์

$$\text{มวลอะตอมฉลี่ยของธาตุ} = \frac{\text{ผลรวมของ [(มวลอะตอมของไอโซโทป) x (\% ในธรรมชาติ)]}}{100}$$

ตัวอย่างที่ 4.3 ธาตุนีออน (Ne) ในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป ได้แก่ ^{20}Ne มีมวลอะตอม 19.9924 ^{21}Ne มีมวลอะตอม 20.9938 และ ^{22}Ne มีมวลอะตอม 21.9914 มีปริมาณร้อยละในธรรมชาติ 90.480 0.270 และ 9.250 ตามลำดับ จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ Ne

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลอะตอมเฉลี่ย

1. นำข้อมูลที่โจทย์ให้มาใส่ในตาราง

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละในธรรมชาติ
^{20}Ne	19.9924	90.480
^{21}Ne	20.9938	0.270
^{22}Ne	21.9914	9.250
มวลอะตอมเฉลี่ย	X	ผลรวมร้อยละ = 100

2. นำข้อมูลที่โจทย์กำหนดมาแทนลงในสูตร

$$\text{มวลอะตอมฉลี่ยของธาตุ} = \frac{\text{ผลรวมของ [(มวลอะตอมของไอโซโทป) x (\% ในธรรมชาติ)]}}{100}$$

$$= \frac{(19.9924 \times 90.480) + (20.9938 \times 0.270) \times (21.9914 \times 9.250)}{100}$$

$$= 20.179$$

ดังนั้น มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ Ne มีค่าเท่ากับ 20.179

ตัวอย่างที่ 4.4 ธาตุคลอรีน (Cl) ในธรรมชาติมี 2 ไอโซโทป ได้แก่ ^{35}Cl มีมวลอะตอม 34.9689 และ ^{37}Cl มีมวลอะตอม 36.9659 ซึ่งพบว่ามีมวลอะตอมเฉลี่ยเท่ากับ 35.452 จงหาปริมาณร้อยละในธรรมชาติของ ^{35}Cl มีค่าเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลอะตอมเฉลี่ย

1. นำข้อมูลที่โจทย์ให้มาใส่ในตาราง

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละในธรรมชาติ
^{35}Cl	34.9689	x
^{37}Cl	36.9659	100-x
มวลอะตอมเฉลี่ย	35.452	ผลรวมร้อยละ = 100

2. นำข้อมูลที่โจทย์กำหนดมาแทนลงในสูตร

$$\text{มวลอะตอมฉลี่ยของธาตุ} = \frac{\text{ผลรวมของ [(มวลอะตอมของไอโซโทป) x (\%.ในธรรมชาติ)]}}{100}$$

$$35.452 = \frac{(34.9689\ x) + 36.9659\ (100-x)}{100}$$

$$3545.2 = 34.9689\ x + 3696.59 - 36.9659x$$

$$36.9659x - 34.9689x = 3696.59 - 3545.2$$

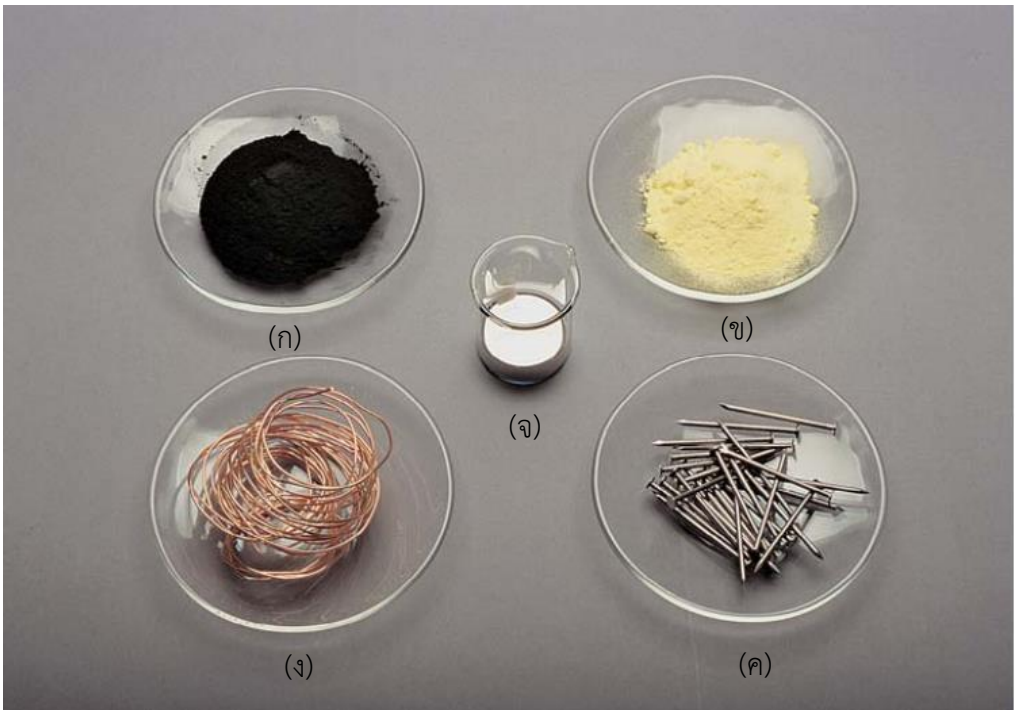
$$x = \frac{151.39}{1.997}$$

$$x = 75.809$$

ดังนั้น ปริมาณร้อยละในธรรมชาติของ ^{35}Cl มีค่าเท่ากับ 75.809

โมล (Mole)

โมล เป็นปริมาณของสารที่ประกอบไปด้วยหลายหน่วย โดยถ้าสารเป็นของแข็ง แสดงดังภาพประกอบที่ 4.1 มีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลของสาร หรือมีจำนวนอนุภาคเท่ากับเลขอาโวกาโดร 6.02×10^{23} โมเลกุล (ในกรณีจำนวนอนุภาคมีหน่วยเป็นอะตอมหรือไอออนต้องนำจำนวนอะตอมหรือจำนวนไอออนมาคูณกับ 6.02×10^{23}) และถ้าเป็นแก๊สจะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 dm^3 ที่ STP (22,400 cm^3 ที่ STP) (ดวงมาลย์ พละไกร, 2558 : 87 และพินิติ รตะนานุกูล และคณะ, 2559 : 28) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาคและปริมาตรของแก๊สที่ STP แสดงดังภาพประกอบที่ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.1 หนึ่งโมลของธาตุที่รู้จักทั่วไป
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 82)

ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ได้จาก

$$n = \frac{g}{Mw} = \frac{V}{22.4} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

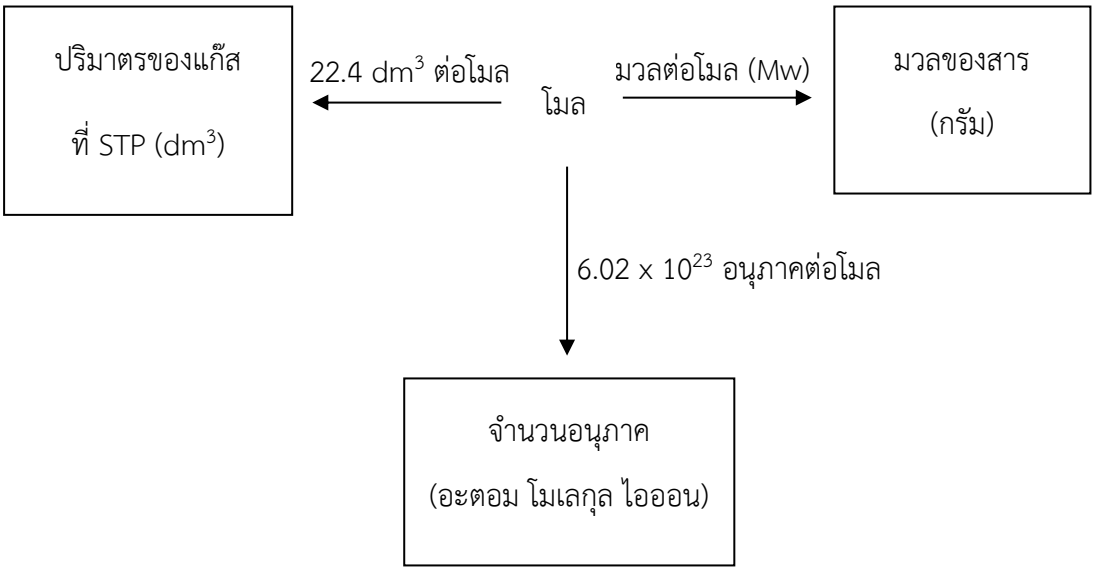
โดย n = โมล

g = มวล (กรัม)

Mw = มวลโมเลกุล

V = ปริมาตรของแก๊ส ที่ STP (dm^3)

N = จำนวนอนุภาค (โมเลกุล อะตอม ไอออน)



ภาพประกอบที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาคและปริมาตรของแก๊สที่ STP

ตัวอย่างที่ 4.5 แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 2 โมล มีมวล ปริมาตรที่ STP จำนวนโมเลกุล และจำนวนอะตอมเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวล ปริมาตร จำนวนอะตอมและจำนวนโมเลกุล

1. โจทย์ให้โมล เพื่อหามวล

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$2\ mol = \frac{\text{มวล } g\ NO_2}{46\ g/mol\ NO_2}$$

มวล NO_2 = 92 g

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีมวลเท่ากับ 92 กรัม

2. โจทย์ให้โมล เพื่อหาปริมาตร

$$n = \frac{V}{22.4}$$

$$2 \text{ mol} = \frac{\text{ปริมาตร } dm^3 \ NO_2}{22.4 \ dm^3/\text{mol } NO_2}$$

ปริมาตร NO_2 = 44.8 dm^3 ที่ STP

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีปริมาตรเท่ากับ 44.8 dm^3 ที่ STP

3. โจทย์ให้โมล เพื่อหาจำนวนโมเลกุล

$$n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$2 \text{ mol} = \frac{\text{จำนวนโมเลกุล } NO_2}{6.02 \times 10^{23} \text{ molecule/mol } NO_2}$$

จำนวนโมเลกุล NO_2 = 1.204×10^{24} molecule

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีจำนวนเท่ากับ 1.204×10^{24} โมเลกุล

4. โจทย์ให้โมล เพื่อหาจำนวนอะตอม

$$n = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$2 \text{ mol} = \frac{\text{จำนวนอะตอม } NO_2}{3 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ atom/mol } NO_2}$$

$$\text{จำนวนอะตอม } NO_2 = 3.612 \times 10^{24} \text{ atom}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีจำนวนอะตอมเท่ากับ 3.612×10^{24} อะตอม

ตัวอย่างที่ 4.6 แก๊สมีเทน (CH_4) 1 กรัม มีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้มวล ถามหาปริมาตร

$$\frac{g}{Mw} = \frac{V}{22.4}$$

$$\frac{1 \text{ g } CH_4}{16 \text{ g/mol } CH_4} = \frac{\text{ปริมาตร } dm^3 \text{ } CH_4}{22.4 \text{ } dm^3\text{/mol } CH_4}$$

$$\text{ปริมาตร } CH_4 = 1.4 \text{ } dm^3 \text{ ที่ STP}$$

ดังนั้น แก๊สมีเทนมีปริมาตรเท่ากับ 1.4 dm^3 ที่ STP

ตัวอย่างที่ 4.7 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 33.6 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP มีจำนวนโมเลกุลเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้ปริมาตร ถามหาจำนวนโมเลกุล

$$\frac{V}{22.4} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\frac{33.6 \text{ } dm^3 \text{ } CO_2}{22.4 \text{ } dm^3\text{/mol } CO_2} = \frac{\text{จำนวนโมเลกุล } CO_2}{6.02 \times 10^{23} \text{ molecule/mol } CO_2}$$

$$\text{จำนวนโมเลกุล } CO_2 = 9.03 \times 10^{23} \text{ molecule}$$

ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 9.03×10^{23} โมเลกุล

ตัวอย่างที่ 4.8 แอมโมเนีย (NH_3) 8.5 กรัม มีจำนวนอะตอมเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้มวล ถามหาจำนวนอะตอม

$$\frac{g}{Mw} = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\frac{8.5 \text{ g } NH_3}{17 \text{ g/mol } NH_3} = \frac{\text{จำนวนอะตอม } NH_3}{4 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ atom/mol } NH_3}$$

$$\text{จำนวนอะตอม } NH_3 = 1.202 \times 10^{24} \text{ atom}$$

ดังนั้น แอมโมเนียมีจำนวนอะตอมเท่ากับ 1.202×10^{24} อะตอม

ร้อยละองค์ประกอบของสารประกอบ (Percent composition of compounds)

โดยทั่วไปสารประกอบแต่ละชนิดจะประกอบด้วยธาตุในอัตราส่วนแตกต่างกันไป เช่น น้ำ (H_2O) มีธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอมเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีธาตุคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอมเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อคิดเป็นร้อยละของออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองจะมีค่าไม่เท่ากัน แม้ว่าในสูตรเคมีของสารทั้งสองจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 1 อะตอมเท่ากันก็ตาม ดังนั้น ร้อยละของธาตุ หรือ ร้อยละองค์ประกอบในสารประกอบสามารถหาความสัมพันธ์ได้เป็น (อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา, 2554 : 12)

$$\text{ร้อยละของธาตุ} = \frac{\text{มวลของธาตุ}}{\text{มวลของสารประกอบ}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 4.9 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_3H_8 จำนวน 22 กรัม ประกอบด้วยไฮโดรเจน 4 กรัม จงคำนวณหาร้อยละของไฮโดรเจน

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาร้อยละ H

$$\text{ร้อยละของ H} = \frac{\text{มวลของธาตุ H}}{\text{มวลของ } C_3H_8} \times 100$$

$$= \frac{4 \text{ g H}}{22 \text{ g } C_3H_8} \times 100$$

$$= 18.18 \text{ \% g H/g } C_3H_8$$

ดังนั้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_3H_8 มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 18.18

หากทราบสูตรเคมี เราสามารถคำนวณหาร้อยละได้จากมวลโมเลกุลของสารประกอบ โดยเราสามารถหาร้อยละได้ทั้งธาตุ เช่น หาร้อยละของ H จากโมเลกุล H_2O เป็นต้น หรือหาร้อยละของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของสารนี้ เช่น หาร้อยละ H_2O จากโมเลกุลของ $CuSO_4.5H_2O$ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 4.10 จงคำนวณร้อยละของธาตุ C H และ O ที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$)

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาร้อยละ C H และ O

1. โจทย์ให้หาร้อยละธาตุ C

$$\text{ร้อยละของ C} = \frac{\text{มวลของธาตุ C}}{\text{มวลของกลูโคส}} \times 100$$

$$= \frac{6 \times 12 \text{ g C}}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6} \times 100$$

$$= 40.00 \text{ \% g C/g } C_6H_{12}O_6$$

ดังนั้น กลูโคสมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 40.00

2. โจทย์ให้หาร้อยละธาตุ H

$$\text{ร้อยละของ H} = \frac{\text{มวลของธาตุ H}}{\text{มวลของกลูโคส}} \times 100$$

$$= \frac{12 \times 1 \text{ g H}}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6} \times 100$$

$$= 6.67 \text{ \% g H/g } C_6H_{12}O_6$$

ดังนั้น กลูโคสมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 6.67

3. โจทย์ให้หาร้อยละธาตุ O

$$\text{ร้อยละของ O} = \frac{\text{มวลของธาตุ O}}{\text{มวลของกลูโคส}} \times 100$$

$$= \frac{6 \times 16 \text{ g O}}{180 \text{ g } C_6H_{12}O_6} \times 100$$

$$= 53.33 \text{ \% g O/g } C_6H_{12}O_6$$

ดังนั้น กลูโคสมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 53.33

ตัวอย่างที่ 4.11 สารประกอบ $MgSO_4.7H_2O$ มีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาร้อยละ H_2O

$$\text{ร้อยละของ } H_2O = \frac{\text{มวลของ } H_2O}{\text{มวลของ } MgSO_4.7H_2O} \times 100$$

$$= \frac{126 \text{ g } H_2O}{246 \text{ g } MgSO_4.7H_2O} \times 100$$

$$= 51.22 \text{ \% g } H_2O \text{ /g } MgSO_4.7H_2O$$

ดังนั้น สารประกอบ $MgSO_4.7H_2O$ มีน้ำเป็นองค์ประกอบร้อยละ 51.22

ตัวอย่างที่ 4.12 สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_y) พบว่ามีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 22.58 จงหามวลโมเลกุลและสูตรเคมีของสารประกอบนี้

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลโมเลกุลและสูตรเคมี

1. โจทย์ให้ร้อยละไนโตรเจน ถามหามวลโมเลกุล

$$\text{ร้อยละของ N} = \frac{\text{มวลของธาตุ N}}{\text{มวลของสารประกอบ}} \times 100$$

$$22.58 = \frac{1 \times 14 \text{ g N}}{\text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ}} \times 100$$

$$\text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ} = 62$$

ดังนั้น สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 62

2. โจทย์ให้หาสูตรเคมีของสารประกอบนี้

$$\text{มวลโมเลกุลของสารประกอบ} = 62$$

$$NO_y = 62$$

$$O_y = 62 - 14$$

$$O_y = 48$$

$$y = \frac{48}{16}$$

$$y = 3$$

ดังนั้น สูตรเคมีของสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนคือ NO_3

สูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล (Empirical formula and molecular formula)

สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล (Empirical formula) เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 362) แสดงดังภาพประกอบที่ 4.3 โดยสูตรเคมีของอะเซทิลีนเป็น C_2H_2 และสูตรเคมีของเบนซีนเป็น C_6H_6 ซึ่งทั้งอะเซทิลีนและเบนซีนแสดงอัตราส่วนอย่างต่ำได้เป็น CH

(ก) C_2H_2 (ข) C_6H_6

ภาพประกอบที่ 4.3 โครงสร้างของอะเซทิลีน (C_2H_2) และเบนซีน (C_6H_6)
ที่มา : ดัดแปลงจาก Bauer, R.C. et al. (2013 : 134)

สูตรโมเลกุล (Molecular formula) เป็นสูตรที่เกิดจากจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด เช่น เบนซีนมีสูตรอย่างง่ายเป็น CH แต่สูตรโมเลกุลเป็น C_6H_6 หรือสารประกอบที่มีสูตรอย่างง่ายเป็น CH_2 แต่มีสูตรโมเลกุลเป็น C_2H_4 C_3H_6 หรือ C_4H_8 ก็ได้ แต่สูตรของสารประกอบบางอย่างมีสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลเหมือนกัน เช่น NH_3 SO_2 เป็นต้น (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 362 และ Davis, R.E., et al., 2009 : 248) ดังตารางที่ 4.1 แสดงสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารบางชนิด

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารบางชนิด

สาร	สูตรอย่างง่าย	สูตรโมเลกุล
มีเทน	CH_4	CH_4
น้ำ	H_2O	H_2O
ไฮโดรเจอเปอร์ออกไซด์	HO	H_2O_2
ไซโคลโพรเพน	CH_2	C_3H_6

ที่มา : ดัดแปลงจาก Davis, R.E., et al. (2009 : 248)

แนวคิดสำหรับการหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล

1. หาจำนวนโมลของธาตุหรือสารประกอบ

2. นำอัตราส่วนโดยโมลที่น้อยที่สุดหารตลอด

3. ทำตัวเลขให้เป็นจำนวนเต็ม โดยถ้าตัวเลขเป็นจุดทศนิยมที่ลงท้ายด้วย 1 ให้ปัดลง แต่ถ้าตัวเลขเป็นจุดทศนิยมลงท้ายด้วย 9 ให้ปัดขึ้น ส่วนจุดทศนิยมที่เหลือ 2-8 ต้องหาตัวเลขมาคูณให้เป็นจำนวนเต็ม เช่น 1.3 ให้คูณด้วยเลข 3 ได้เป็น 3.9 ปัดเป็น 4 เป็นต้น

4. ถ้าหาสูตรโมเลกุลให้ใช้ความสัมพันธ์นี้

$$(\text{สูตรอย่างง่าย})_n = \text{สูตรโมเลกุล}$$

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

ตัวอย่างที่ 4.13 จงหาสูตรอย่างง่ายของสารประกอบด้วยธาตุ H 0.90 กรัม S 28.05 กรัม และ O 21.05 กรัม

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาสูตรอย่างง่าย

1. หาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

$$\begin{array}{ccccc} \text{H} & : & \text{S} & : & \text{O} \\ \dfrac{0.90}{1} & : & \dfrac{28.05}{32} & : & \dfrac{21.05}{16} \end{array}$$

$$0.90 \quad : \quad 0.88 \quad : \quad 1.32$$

2. นำอัตราส่วนโดยโมลที่น้อยที่สุดหารตลอด

$$\begin{array}{ccccc} \text{H} & : & \text{S} & : & \text{O} \\ \dfrac{0.90}{0.88} & : & \dfrac{0.88}{0.88} & : & \dfrac{1.32}{0.88} \end{array}$$

$$1.02 \quad : \quad 1.00 \quad : \quad 1.50$$

3. ทำให้เป็นจำนวนเต็ม โดยนำเลข 2 มาคูณ

H	:	S	:	O		
1.02	:	1.00	:	1.50	x	2
2.04	:	2.00	:	3.00		
2	:	2	:	3		

ดังนั้น สูตรอย่างง่ายของสารประกอบนี้คือ $H_2S_2O_3$

ตัวอย่างที่ 4.14 สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยธาตุ C และ H เมื่อสารประกอบนี้เกิดการเผาไหม้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ 6.16 กรัม และไอน้ำ 1.44 กรัม จงหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล เมื่อสารประกอบนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 78

วิธีทำ 1. แนวคิด โจทย์ให้หาสูตรอย่างง่าย

1) หามวลของ C จาก CO_2 และ H จาก H_2O

มวล C จาก CO_2

$$\frac{g}{Mw} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{\text{มวล g C}}{6.16\ g\ CO_2} = \frac{12\ g\ C}{44\ g\ CO_2}$$

$$\text{มวล C} = 1.68\ g$$

มวล H จาก H_2O

$$\frac{g}{Mw} = \frac{g}{Mw}$$

$$\frac{\text{มวล g H}}{1.44\ g\ H_2O} = \frac{2\ g\ H}{18\ g\ H_2O}$$

มวล H = 0.16 g

2) หาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

C	:	H
$\frac{1.68}{12}$	:	$\frac{0.16}{1}$
0.14	:	0.16

3) นำอัตราส่วนโดยโมลที่น้อยที่สุดหารตลอด

C	:	H
$\frac{0.14}{0.14}$	:	$\frac{0.16}{0.14}$
1.00	:	1.14

4) ทำให้เป็นจำนวนเต็ม

C	:	H
1.00	:	1.14
1	:	1

ดังนั้น สูตรอย่างง่ายของสารประกอบนี้คือ CH

2. แนวคิด โจทย์ให้หาสูตรโมเลกุล

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

$$(CH)_n = 78$$

$$(13)_n = 78$$

$$n = \frac{78}{13}$$

$$n = 6$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้คือ C_6H_6

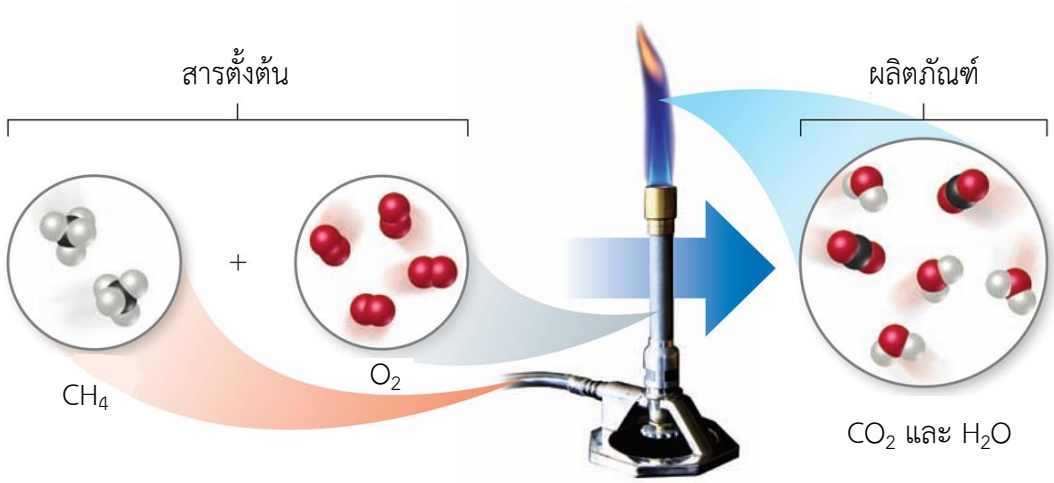
สมการเคมี (Chemical reactions)

ปฏิกิริยาเคมี สามารถเขียนแทนด้วย สมการเคมี (Chemical reactions) เป็นสมการที่แสดงสัญลักษณ์ทางเคมีเพื่อแสดงสารตั้งต้นเขียนไว้ทางด้านซ้ายมือและมีลูกศรชี้ไปยังผลิตภัณฑ์ซึ่งเขียนไว้ทางขวามือ (พิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 124 และรานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 330-331) ตัวอย่างเช่น กรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เกลือโซเดียมคลอไรด์และน้ำ สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้เป็น

$$HCl\ (aq) + NaOH\ (aq) \longrightarrow NaCl\ (aq) + H_2O\ (l)$$

หรือปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนกับแก๊สออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ แสดงดังภาพประกอบที่ 4.4 สามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้เป็น

$$CH_4\ (g) + O_2\ (g) \longrightarrow CO_2\ (g) + H_2O\ (g)$$



ภาพประกอบที่ 4.4 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนกับแก๊สออกซิเจน
ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 84)

โดยตารางที่ 4.2 แสดงสัญลักษณ์และเครื่องหมายที่มีความหมายในการเขียนปฏิกิริยาทางเคมี

ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์และเครื่องหมายที่ใช้ในสมการเคมี

สัญลักษณ์และเครื่องหมาย	ความหมาย
(s)	สารในสถานะของแข็ง
(l)	สารในสถานะของเหลว
(g)	สารในสถานะแก๊ส
(aq)	สารในสถานะของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย
$\longrightarrow$	เกิดปฏิกิริยาไม่ผันกลับ
$\rightleftharpoons$	เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

สัญลักษณ์และเครื่องหมาย	ความหมาย
$\xrightarrow{\Delta}$	มีการให้ความร้อนในปฏิกิริยา
$\xrightarrow{\text{ตัวเร่ง}}$	มีการใช้ตัวเร่งในปฏิกิริยา
$\xrightarrow{h\nu}$	มีการใช้แสงในปฏิกิริยา

ที่มา : ดัดแปลงจาก รานี สุวรรณพฤกษ์ (2559 : 330-331)

ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) เป็นกระบวนการที่สารชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นสารอีกชนิดหนึ่ง โดยมีการใช้สัญลักษณ์ทางเคมี เขียนออกมาในรูปสมการเคมี ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เขียนออกมาในรูปสมการเคมีต้องมีการดุลสมการเคมี โดยการนำตัวเลขมาใส่หน้าสูตรเคมี เรียกว่า เลขสัมประสิทธิ์ (Coefficient) (พิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 124 และพินิติ รตะนานุกูล และคณะ, 2559 : 25)

หลักในการดุลสมการเคมี

1. นับจำนวนอะตอมของธาตุด้านสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

2. ดุลจำนวนอะตอมของธาตุด้านสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ โดยการดุลธาตุที่ปรากฏเพียงครั้งเดียวในแต่ละด้าน โดยใส่ตัวเลขหน้าสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ เรียกว่า เลขสัมประสิทธิ์ โดยไม่มีการเปลี่ยนสูตรเคมีของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

3. ดุลจำนวนอะตอมที่เหลือของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ให้เท่ากัน โดยพยายามไม่เปลี่ยนแปลงเลขสัมประสิทธิ์ที่ดุลไปแล้ว

ตัวอย่างที่ 4.15 จงเขียนและดุลสมการเคมีระหว่างโซเดียมทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้เขียนและดุลสมการ

1. เขียนสมการเคมี

$$Na\ (s) + H_2O\ (l) \longrightarrow NaOH\ (aq) + H_2\ (g)$$

2. นับจำนวนอะตอมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

$$Na\ (s) + H_2O\ (l) \longrightarrow NaOH\ (aq) + H_2\ (g)$$

Na 1 อะตอม — Na 1 อะตอม

H 2 อะตอม — H 1 อะตอม — H 2 อะตอม

O 1 อะตอม — O 1 อะตอม

3. ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เท่ากัน

ดุล H โดยการเติม $\frac{1}{2}$ หน้า H_2

$$Na\ (s) + H_2O\ (l) \longrightarrow NaOH\ (aq) + \frac{1}{2}H_2\ (g)$$

Na 1 อะตอม — Na 1 อะตอม

H 2 อะตอม — H 1 อะตอม — H 1 อะตอม

O 1 อะตอม — O 1 อะตอม

4. ทำตัวเลขสัมประสิทธิ์ให้เป็นจำนวนเต็ม

โดยการคูณ 2 ทั้งสมการ

$$2Na\ (s) + 2H_2O\ (l) \longrightarrow 2NaOH\ (aq) + H_2\ (g)$$

Na 2 อะตอม — Na 2 อะตอม

H 4 อะตอม — H 2 อะตอม — H 2 อะตอม

O 2 อะตอม — O 2 อะตอม

ดังนั้น สมการเคมีนี้คือ $2Na\ (s) + 2H_2O\ (l) \longrightarrow 2NaOH\ (aq) + H_2\ (g)$

ตัวอย่างที่ 4.16 จงเขียนและดุลสมการเคมีปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนกับแก๊สออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้เขียนและดุลสมการ

1. เขียนสมการเคมี

$CH_4\ (g) \quad + \quad O_2\ (g) \quad \longrightarrow \quad CO_2\ (g) \quad + \quad H_2O\ (g)$

2. นับจำนวนอะตอมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

$CH_4\ (g) \quad + \quad O_2\ (g) \quad \longrightarrow \quad CO_2\ (g) \quad + \quad H_2O\ (g)$

C 1 อะตอม C 1 อะตอม

O 2 อะตอม O 2 อะตอม O 1 อะตอม

H 4 อะตอม H 2 อะตอม

3. ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ไม่เท่ากัน

ดุล H โดยการเติม 2 หน้า H_2

$CH_4\ (g) \quad + \quad O_2\ (g) \quad \longrightarrow \quad CO_2\ (g) \quad + \quad 2H_2O\ (g)$

C 1 อะตอม C 1 อะตอม

O 2 อะตอม O 2 อะตอม O 2 อะตอม

H 4 อะตอม H 4 อะตอม

ดุล O โดยการเติม 2 หน้า O_2

$CH_4\ (g) \quad + \quad 2O_2\ (g) \quad \longrightarrow \quad CO_2\ (g) \quad + \quad 2H_2O\ (g)$

C 1 อะตอม C 1 อะตอม

O 4 อะตอม O 2 อะตอม O 2 อะตอม

H 4 อะตอม H 4 อะตอม

ดังนั้น สมการเคมี คือ $CH_4\ (g) \quad + \quad 2O_2\ (g) \quad \longrightarrow \quad CO_2\ (g) \quad + \quad 2H_2O\ (g)$

1. ปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ (Amounts of reactants and products)

ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้น สารตั้งต้นจะมีปริมาณลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น เมื่อต้องการทราบปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น จึงต้องใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณตัวทำปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) (สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี, 2557 : 564)

ตัวอย่างที่ 4.17 จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$N_2\,(g) \quad + \quad H_2\,(g) \quad \longrightarrow \quad NH_3\,(g)$$

ถ้าต้องใช้แก๊สไฮโดรเจน 0.15 โมล จะเกิดแอมโมเนียกี่โมล

วิธีทำ แนวคิด โจทย์หาจำนวนโมลของแอมโมเนีย

1. เขียนและดุลสมการเคมี

$$N_2\,(g) \quad + \quad 3H_2\,(g) \quad \longrightarrow \quad 2NH_3\,(g)$$

2. เทียบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารที่โจทย์กำหนดและสารที่โจทย์ถาม

$$3H_2 \quad = \quad 2NH_3$$

$$\frac{\text{mol } H_2}{3} \quad = \quad \frac{\text{mol } NH_3}{2}$$

$$\frac{0.15 \text{ mol } H_2}{3} \quad = \quad \frac{\text{mol } NH_3}{2}$$

$$\text{mol } NH_3 \quad = \quad 0.1 \text{ โมล}$$

ดังนั้น จะเกิดแอมโมเนีย 0.1 โมล

ตัวอย่างที่ 4.18 จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$Na_2CO_3\,(aq) + HCl\,(aq) \longrightarrow NaCl\,(g) + H_2O\,(l) + CO_2\,(g)$$

ถ้าสารละลาย HCl เข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กี่ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

วิธีทำ แนวคิด โจทย์หาปริมาตรของ CO_2

1. เขียนและดุลสมการเคมี

$$Na_2CO_3\,(aq) + 2HCl\,(aq) \longrightarrow 2NaCl\,(g) + H_2O\,(l) + CO_2\,(g)$$

2. เทียบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารที่โจทย์กำหนดและสารที่โจทย์ถาม

$$2HCl = CO_2$$

$$\frac{\text{mol HCl}}{2} = \frac{\text{mol } CO_2}{1}$$

$$\frac{CV}{2 \times 1{,}000} = \frac{V}{22.4}$$

$$\frac{0.1\ \text{mol/dm}^3 \times 25\ \text{cm}^3\ \text{HCl}}{2 \times 1{,}000\ \text{cm}^3/\text{dm}^3} = \frac{\text{ปริมาตร dm}^3\ CO_2}{22.4\ \text{dm}^3/\text{mol } CO_2}$$

ปริมาตร CO_2 = 0.056 dm^3 ที่ STP

ดังนั้น จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.056 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ STP

ตัวอย่างที่ 4.19 จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$AgNO_3\ (aq) + CaCl_2\ (aq) \longrightarrow AgCl\ (s) + Ca(NO_3)_2\ (aq)$$

ถ้าสารละลาย $AgNO_3$ เข้มข้น 0.2 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะเกิด AgCl หนักกี่กรัม

วิธีทำ แนวคิด โจทย์หามวลของ AgCl

1. เขียนและดุลสมการเคมี

$$2AgNO_3\ (aq) + CaCl_2\ (aq) \longrightarrow 2AgCl\ (s) + Ca(NO_3)_2\ (aq)$$

2. เทียบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารที่โจทย์กำหนดและสารที่โจทย์ถาม

$$2AgNO_3 = 2AgCl$$

$$\frac{\text{mol } AgNO_3}{2} = \frac{\text{mol AgCl}}{2}$$

$$\frac{CV}{2 \times 1{,}000} = \frac{g}{2 \times Mw}$$

$$\frac{0.2\ \text{mol/dm}^3 \times 100\ \text{cm}^3\ AgNO_3}{2 \times 1{,}000\ \text{cm}^3/\text{dm}^3} = \frac{\text{มวล g AgCl}}{2 \times 143.5\ \text{g/mol AgCl}}$$

$$\text{มวล AgCl} = 2.87\ \text{g}$$

ดังนั้น จะเกิด AgCl หนัก 2.87 กรัม

ตัวอย่างที่ 4.20 จงหาปริมาณสังกะสีที่เติมลงไปในกรดไฮโดรคลอริกแล้วเกิดแก๊สไฮโดรเจน 0.448 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

วิธีทำ แนวคิด โจทย์หามวลของ Zn

1. เขียนและดุลสมการเคมี

$$Zn\,(s) + 2HCl\,(aq) \longrightarrow ZnCl_2\,(aq) + H_2\,(g)$$

2. เทียบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารที่โจทย์กำหนดและสารที่โจทย์ถาม

$$Zn = H_2$$

$$\frac{\text{mol Zn}}{1} = \frac{\text{mol } H_2}{1}$$

$$\frac{g}{1 \times Mw} = \frac{V}{1 \times 22.4}$$

$$\frac{\text{มวล g Zn}}{1 \times 56\ g/\text{mol Zn}} = \frac{0.448\ dm^3\ H_2}{1 \times 22.4\ dm^3/\text{mol } H_2}$$

$$\text{มวล Zn} = 1.12\ g$$

ดังนั้น ปริมาณสังกะสีที่เติมลงไปในกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1.12 กรัม

ตัวอย่างที่ 4.21 จากปฏิกิริยาเคมี

$$N_2\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow 2NO\,(g) \qquad \text{สมการ (1)}$$

$$2NO\,(g) + Cl_2\,(g) \longrightarrow 2NOCl\,(g) \qquad \text{สมการ (2)}$$

ถ้าใช้ N_2 จำนวน 10 กรัม จะเกิด NOCl กี่ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

วิธีทำ แนวคิด โจทย์หาปริมาตรของ NOCl

1. เขียนและดุลสมการเคมี

N_2 (g) + O_2 (g) ⟶ 2NO (g) สมการ (1)

2NO (g) + Cl_2 (g) ⟶ 2NOCl (g) สมการ (2)

รวมทั้งสองสมการเข้าด้วยกัน โดยการทำเลขสัมประสิทธิ์ของตัวร่วม NO ให้เท่ากัน ซึ่งจากสมการ (1) และ (2) สัมประสิทธิ์ NO เท่ากันแล้ว จึงรวมสมการ (1) และ (2)

N_2 (g) + O_2 (g) + Cl_2 (g) ⟶ 2NOCl (g)

2. เทียบอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารที่โจทย์กำหนดและสารที่โจทย์ถาม

$$N_2 = 2NOCl$$

$$\frac{\text{mol } N_2}{1} = \frac{\text{mol NOCl}}{2}$$

$$\frac{g}{1 \times Mw} = \frac{V}{2 \times 22.4}$$

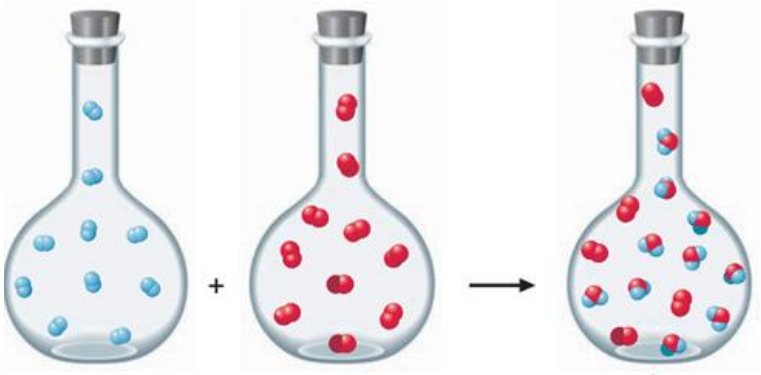
$$\frac{10 \text{ g } N_2}{1 \times 28 \text{ g/mol } N_2} = \frac{\text{ปริมาตร } dm^3 \text{ NOCl}}{2 \times 22.4 \text{ } dm^3\text{/mol NOCl}}$$

ปริมาตร NOCl = 16 dm^3 ที่ STP

ดังนั้น จะเกิด NOCl 16 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

2. สารกำหนดปริมาณ (Limiting reagent)

ในการทำปฏิกิริยากันของสารตั้งต้น หากมีสารใดมากเกินพอจะทำให้สารนั้นเหลือ แต่อย่างไรก็ตามต้องมีหนึ่งในสารตั้งต้นหมดก่อนสารอื่น ซึ่งเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (Limiting reagent) (อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา, 2554 : 27) ส่วนสารตั้งต้นที่มากเกินพอจะเหลืออยู่ในปฏิกิริยา ซึ่งหากเราใช้ความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมีจะสามารถคำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังภาพประกอบที่ 4.5 แสดงปฏิกิริยาของสารตั้งต้น H_2 ทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ H_2O ซึ่งหลังเกิดผลิตภัณฑ์แล้ว H_2 เป็นสารกำหนดปริมาณ และ O_2 เป็นสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Ebbing, D.D. and Gammon, S.D., 2007 : 109)



(ก) H_2 (ข) O_2 (ค) H_2O และ O_2

ภาพประกอบที่ 4.5 ปฏิกิริยาของ $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 109)

ตัวอย่างที่ 4.22 ถ้าแก๊สมีเทน (CH_4) จำนวน 16 กรัม เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้กับแก๊สออกซิเจน (O_2) จำนวน 48 กรัม ดังสมการ

$$CH_4\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow CO_2\,(g) + H_2O\,(g)$$

จงคำนวณ

1. สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
2. สารใดเหลือ และเหลือกี่กรัม
3. ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นกี่ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

4. มวลของน้ำที่เกิดขึ้นกี่กรัม

วิธีทำ 1. แนวคิด โจทย์หาสารกำหนดปริมาณ

1.1) เขียนและดุลสมการเคมี

$$CH_4\,(g) + 2O_2\,(g) \longrightarrow CO_2\,(g) + 2H_2O\,(g)$$

1.2) หาปริมาณสารตั้งต้นในหน่วย mol

$$\text{mol } CH_4 = \frac{\text{g } CH_4}{\text{Mw } CH_4}$$

$$= \frac{16 \text{ g } CH_4}{16 \text{ g/mol } CH_4}$$

$$= 1 \text{ mol } CH_4$$

$$\text{mol } O_2 = \frac{\text{g } O_2}{\text{Mw } O_2}$$

$$= \frac{48 \text{ g } O_2}{32 \text{ g/mol } O_2}$$

$$= 1.5 \text{ mol } O_2$$

1.3) หาสารกำหนดปริมาณ

$$CH_4 : 2O_2$$

$$\frac{\text{mol } CH_4}{1} : \frac{\text{mol } O_2}{2}$$

$$\frac{1 \text{ mol } CH_4}{1} : \frac{1.5 \text{ mol } O_2}{2}$$

1 : 0.75

สารกำหนดปริมาณ คือ O_2 เนื่องจากมีปริมาณน้อยสุด
จากนั้นนำค่าในหน่วย mol มาแทนค่าในสมการเคมี

	CH_4 (g) +	$2O_2$ (g) ⟶	CO_2 (g) +	$2H_2O$ (g)
มี	1.00	1.50	0	0
ใช้	0.75	1.50	0.75	1.50
เหลือ	0.25	0	0.75	1.50

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณคือ O_2

2. แนวคิด โจทย์หาสารเหลือ และมวลของสารเหลือ
จากข้อ 1.3) CH_4 เหลือ 0.25 โมล

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$0.25 \text{ mol} = \frac{\text{มวล g } CH_4}{16 \text{ g/mol } CH_4}$$

$$\text{มวล } CH_4 = 4 \text{ g}$$

ดังนั้น สารที่เหลือคือ CH_4 และเหลือ 4 กรัม

3. แนวคิด โจทย์หาปริมาตร CO_2

จากข้อ 1.3) CO_2 เกิดขึ้น 0.75 โมล

$$n = \frac{V}{22.4}$$

$$0.75 \text{ mol} = \frac{\text{ปริมาตร } dm^3 \ CO_2}{22.4 \ dm^3/\text{mol} \ CO_2}$$

$$\text{ปริมาตร } CO_2 = 16.8 \ dm^3 \text{ ที่ STP}$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น 16.8 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

4. แนวคิด โจทย์หามวล H_2O

จากข้อ 1.3) H_2O เกิดขึ้น 1.50 โมล

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$1.50 \text{ mol} = \frac{\text{มวล g } H_2O}{18 \text{ g/mol } H_2O}$$

$$\text{มวล } H_2O = 27 \text{ g}$$

ดังนั้น มวลของน้ำที่เกิดขึ้น 27 กรัม

3. ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และร้อยละของผลผลิต (Theoretical yield, actual yield and percentage yields)

ในการทดลองเพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์ โดยเราเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองว่าผลผลิตจริง (Actual yield) ซึ่งโดยปกติแล้วผลได้จริงจะมีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield) ได้จากการคำนวณหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่กำหนดตามความสัมพันธ์ของสมการเคมี ซึ่งการที่ผลผลิตจริงมีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎีอาจเกิดการผิดพลาดจากการทดลอง ซึ่งในการหาประสิทธิภาพจากการทำปฏิกิริยาเคมีเทียบได้จากผลผลิตจริงกับผลผลิตตามทฤษฎี จึงได้ความสัมพันธ์ (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 379)

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 4.23 ถ้านำ FeS จำนวน 22 กรัม ทำปฏิกิริยากับ HCl เข้มข้น 1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังสมการ

$$FeS\ (s) + HCl\ (g) \longrightarrow FeCl_2\ (aq) + H_2S\ (g)$$

จงคำนวณ

1. สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
2. สารใดเหลือ และเหลือกี่กรัม
3. ปริมาตรของ H_2S เกิดขึ้นกี่ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP
4. ทดลองได้ $FeCl_2$ 10 กรัม จงหาร้อยละของผลผลิต

วิธีทำ 1. แนวคิด โจทย์หาสารกำหนดปริมาณ

1.1) เขียนและดุลสมการเคมี

$$FeS\ (s) + 2HCl\ (g) \longrightarrow FeCl_2\ (aq) + H_2S\ (g)$$

1.2) หาปริมาณสารตั้งต้นในหน่วย mol

$$\text{mol FeS} = \frac{\text{g FeS}}{\text{Mw FeS}}$$

$$= \frac{22 \text{ g FeS}}{88 \text{ g/mol FeS}}$$

$$= 0.25 \text{ mol FeS}$$

$$\text{mol HCl} = \frac{CV}{1{,}000}$$

$$= \frac{1 \text{ mol/dm}^3 \times 200 \text{ cm}^3 \text{ HCl}}{1{,}000 \text{ cm}^3/\text{dm}^3}$$

$$= 0.20 \text{ mol HCl}$$

1.3) หาสารกำหนดปริมาณ

$$\text{FeS} : 2\text{HCl}$$

$$\frac{\text{mol FeS}}{1} : \frac{\text{mol HCl}}{2}$$

$$\frac{0.25 \text{ mol FeS}}{1} : \frac{0.20 \text{ mol HCl}}{2}$$

$$0.25 : 0.10$$

สารกำหนดปริมาณ คือ HCl

$$\text{FeS (s)} + 2\text{HCl (g)} \longrightarrow \text{FeCl}_2\text{ (aq)} + \text{H}_2\text{S (g)}$$

มี	0.25	0.20	0	0
ใช้	0.10	0.20	0.10	0.10
เหลือ	0.15	0	0.10	0.10

ดังนั้น สารกำหนดปริมาณคือ HCl

2. แนวคิด โจทย์หาสารเหลือ และมวลของสารเหลือ

จากข้อ 1.3) FeS เหลือ 0.15 โมล

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$0.15 \text{ mol} = \frac{\text{มวล g FeS}}{88 \text{ g/mol FeS}}$$

$$\text{มวล FeS} = 13.20 \text{ g}$$

ดังนั้น สารที่เหลือคือ FeS และเหลือ 13.20 กรัม

3. แนวคิด โจทย์หาปริมาตร H_2S

จากข้อ 1.3) H_2S เกิดขึ้น 0.10 โมล

$$n = \frac{V}{22.4}$$

$$0.10 \text{ mol} = \frac{\text{ปริมาตร } dm^3 \ H_2S}{22.4 \ dm^3/\text{mol } H_2S}$$

$$\text{ปริมาตร } CO_2 = 2.24 \ dm^3 \text{ ที่ STP}$$

ดังนั้น ปริมาตรของ H_2S เกิดขึ้น 2.24 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP

4. แนวคิด โจทย์หาร้อยละผลผลิตของ $FeCl_2$

4.1) หามวลของ $FeCl_2$

จากข้อ 1.3) $FeCl_2$ เกิดขึ้น 0.10 โมล

$$n = \frac{g}{Mw}$$

$$0.10 \text{ mol} = \frac{\text{มวล g } FeCl_2}{127 \text{ g/mol } FeCl_2}$$

$$\text{มวล } FeCl_2 = 12.70 \text{ g}$$

4.2) หาร้อยละของผลผลิตของ $FeCl_2$

$$\text{ร้อยละของผลผลิต} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

$$= \frac{10.00 \text{ g}}{12.70 \text{ g}} \times 100$$

$$= 78.74 \%$$

ดังนั้น ร้อยละของผลผลิต $FeCl_2$ เท่ากับ 78.74

สรุปท้ายบท

นักวิทยาศาสตร์กำหนดให้ 1 หน่วยมวลอะตอม มีค่าเท่ากับ 1/12 มวลของ C-12 จำนวน 1 อะตอม หรือมีค่าเท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม เมื่อพิจารณามวลอะตอมของธาตุที่พบในตารางธาตุแล้วพบว่า เกิดจากมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุที่เป็นไอโซโทปที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณร้อยละของธาตุที่พบในธรรมชาติ หน่วยโมลเป็นปริมาณของสารที่ประกอบไปด้วยหลายหน่วย มีมวลเท่ากับมวลโมเลกุลของสาร หรือมีจำนวนอนุภาคเท่ากับเลขอาโวกาโดร และมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ STP

โดยทั่วไปแล้วสารประกอบแต่ละชนิดจะประกอบด้วยธาตุในอัตราส่วนแตกต่างกัน ดังนั้น ร้อยละขององค์ประกอบในสารประกอบจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกสัดส่วนในองค์ประกอบนั้นได้ สูตรโมเลกุลของสารเป็นสูตรที่เกิดจากจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัลเป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ การรู้สูตรโมเลกุลของสารตั้งต้นสามารถนำมาเขียนปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณสารสัมพันธ์ในหน่วยของโมลได้ การทำปฏิกิริยากันของสารตั้งต้น หากมี

สารใดมากเกินพอจะทำให้สารนั้นเหลือ อย่างไรก็ตามต้องมีหนึ่งในสารตั้งต้นหมดก่อนสารอื่นหรือสารตั้งต้นอาจหมดพร้อมกัน สำหรับสารตั้งต้นที่หมดก่อนสารอื่นจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ในการทดลองเพื่อหาปริมาณของผลิตภัณฑ์นั้น โดยปกติแล้วผลผลิตจริงจะมีค่าน้อยกว่าผลผลิตตามทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่กำหนดตามความสัมพันธ์ของสมการเคมี

คำถามท้ายบทที่ 4

1. จงหามวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุโพแทสเซียม (K) ที่มีมวลอะตอม 6.49×10^{-23} กรัม

2. จงหาร้อยละในธรรมชาติของธาตุ X เมื่อธาตุนี้มี 2 ไอโซโทป โดยไอโซโทปแรกมีมวลอะตอม 54 และไอโซโทปหลังมีมวลอะตอม 56

3. จงคำนวณโมล มวล จำนวนโมเลกุลและปริมาตรของแก๊สที่ STP ในตารางให้สมบูรณ์

สาร	โมล	มวล	โมเลกุล	ปริมาตรแก๊ส (dm^3)
He	0.5			
Cl_2				44.8

4. จงหาจำนวนอะตอมไฮโดรเจน (H) จากเอทานอล (C_2H_5OH) หนัก 92 กรัม

5. จงคำนวณหามวลโมเลกุลเมื่อแก๊สชนิดหนึ่งมีมวล 14 กรัม และมีปริมาตร 5.6 dm^3 ที่ STP

6. จงหาร้อยละที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของ $CuSO_4.5H_2O$

    1) ร้อยละของ O

    2) ร้อยละของ H

    3) ร้อยละของ H_2O

7. จงหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุ C 7.2 กรัม H 1.2 กรัม และ O 9.6 กรัม เมื่อสารประกอบนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 180

8. จงคำนวณหามวลของอากาศที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 โดยมวล เพื่อใช้ในการเผาไหม้แก๊สมีเทน 3.5 กรัม จนเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

9. เมื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 4.0 กรัม มาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) 11.1 กรัม หลังเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จงหาค่าต่อไปนี้

    1) สารใดหมด

    2) สารใดเหลือ และเหลือเท่าใด

    3) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นรวมกันแล้วมีจำนวนกี่กรัม

10. เมื่อนำโลหะแมกนีเซียม (Mg) 1.2 กรัม มาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) พบว่าเกิดแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 8.4 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP จงหาร้อยละผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจน

เอกสารอ้างอิง

ดวงมาลย์ พละไกร. (2558). **เคมีเล่มเดียวจบ**. นนทบุรี : ธิงค์ บียอนด์ บุ๊คส์.

ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ. (2560). **เคมี 1 12/e.** กรุงเทพมหานคร : แมคกรอ-ฮิล.

พิทยา สีสด และคณะ. (2555). **เคมีเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

พินิติ รตะนานุกูล และคณะ. (2559). **เคมี**. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพมหานคร : มูลนิธิ สอวน.

รานี สุวรรณพฤกษ์. (2559). **เคมีทั่วไป เล่ม 1**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร : วิทยพัฒน์.

เรวัต ตันตยานนท์ และอรนุช โชคชัยเจริญพร. (2559). **เคมีขั้นสูง**. กรุงเทพมหานคร : นานมีบุ๊คส์.

สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี. (2557). **พจนานุกรมเคมี.** กรุงเทพมหานคร : วิทยพัฒน์.

อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา. (2554). **เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Bauer, R.C., et al. (2013). **Introduction to Chemistry: A Conceptual approach.** (3th Edition). United State of America : McGraw-Hill Higher Education.

Brown, T.L., et al. (2015). **Chemistry The Central Science**. (13th Edition). United State of America : Pearson Education.

Chang, R. (2010)**. Chemistry**. (10th Edition). United State of America : McGraw-Hill Higher Education.

Davis, R.E., et al. (2009). **Modern Chemistry**. United State of America : A Harcourt Education Company.

Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007). **General Chemistry**. (9th Edition). United State of America : Houghton Mifflin Company.