บทที่ 2 ปริมาณสารสัมพันธ์

อุษารัตน์ รัตนคำนวณ

สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry)

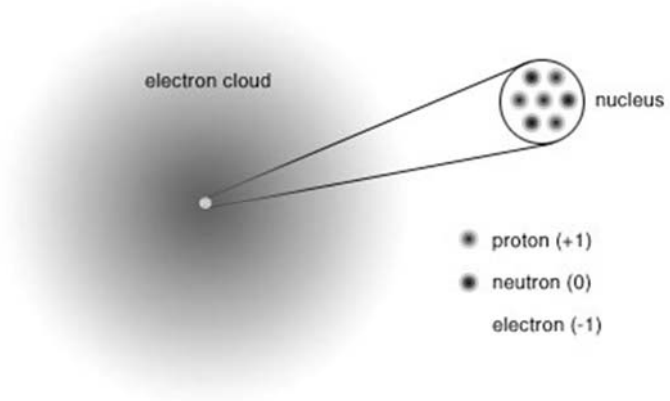
- วิชาเคมีที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารตั้งต้น ผลิตผล ตลอดจนปริมาณของพลังงานของสารที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยาเคมี
- สามารถใช้คาดคะเนปริมาณของสารที่จะต้องใช้เป็นสารตั้งต้น เพื่อจะได้ผลผลิตที่มีปริมาณตามต้องการ
- สามารถนำไปตีความหรืออธิบายผลจากเคมีวิเคราะห์
- นำไปใช้ประกอบการเลือกปฏิกิริยาที่ประหยัดที่สุดในทางอุตสาหกรรมและการค้า
- สามารถบอกได้ว่า ตัวทำปฏิกิริยาใดหมด ตัวทำปฏิกิริยาใดเหลือ

อะตอม (Atom)

- **อะตอม (atom)** คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้
- อะตอมแต่ละอะตอมประกอบด้วยส่วนที่เป็นแกนกลาง เรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) ซึ่งประกอบด้วย โปรตอน (proton) และนิวตรอน (neutron) ส่วนบริเวณรอบนอกเป็นที่อยู่ของ อิเล็กตรอน (electron)

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ		มวล	
		หน่วย	คูลอมบ์	กรัม	amu
อิเล็กตรอน	e^{-1}	-1	1.60×10^{-19}	9.1096×10^{-28}	0.000549
โปรตอน	P^{+1}	1	1.60×10^{-19}	1.6726×10^{-24}	1.007277
นิวตรอน	n^{0}	0	0	1.6749×10^{-24}	1.008665

โครงสร้างของอะตอม (The Structure of the Atom)



โครงสร้างของอะตอม (The Structure of the Atom)

โมเลกุล (Molecule)

- **โมเลกุล (molecule)** คือ หน่วยโครงสร้างที่เล็กที่สุดของธาตุหรือสารประกอบที่สามารถอยู่ได้โดยอิสระ และยังคงมีสมบัติของธาตุหรือสารประกอบนั้นๆโดยสมบูรณ์
- โมเลกุลเป็นการรวมตัวกันของอะตอมอย่างน้อย 2 อะตอม โดยยึดกันด้วยแรงทางเคมี
- โมเลกุลหนึ่งๆอาจมีอะตอมของธาตุชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกัน มารวมกันด้วยสัดส่วนคงที่
- ธาตุบางชนิด เช่น แก๊สมีตระกูลหรือแก๊สเฉื่อย ได้แก่ He, Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn แต่ละธาตุเหล่านี้ 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอม 1 อะตอม แต่อยู่ได้อย่างอิสระและมีสมบัติของสารนั้นๆครบถ้วน

โมเลกุล (Molecule)

- โมเลกุลที่มีเพียงหนึ่งอะตอมเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ จัดเป็นโมเลกุลอะตอมเดี่ยว (monoatomic molecule)
- โมเลกุลที่ประกอบด้วยสองอะตอมซึ่งอยู่ด้วยกันโดยแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีที่เรียกว่าพันธะเคมี เรียกว่า โมเลกุลอะตอมคู่ (diatomic molecule)
- โมเลกุลที่มีอะตอมมากกว่าสองอะตอมขึ้นไปเรียกว่า โมเลกุลหลายอะตอม (polyatomic molecule)

โมเลกุล (Molecule)

- โมเลกุลหลายอะตอมที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุเดียวกัน เรียกว่า โฮโมนิวเคลียร์โมเลกุล (homonuclear molecule) เช่น H_2 , O_2 , P_4 , S_8
- โมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่างชนิดกัน เรียกว่า เฮทเทอโรนิวเคลียร์โมเลกุล (heteronuclear molecule) เช่น HCl, CO, H_2O, CH_4, $C_6H_{12}O_6$

ไอออน (Ion)

- **ไอออน (ion)** คืออะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีประจุ (มีการให้หรือรับ e^-)
- โดยปกติอะตอมที่เป็นกลางจะมีจำนวนโปรตอน (ประจุบวก) เท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน (ประจุลบ)
- ถ้าอะตอมที่เป็นกลางนั้นเสียอิเล็กตรอนไปจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนโปรตอน เกิดเป็น ไอออนบวก (cation) เช่น Na^+ Ca^{2+}
- ถ้าอะตอมที่เป็นกลางรับอิเล็กตรอนเพิ่มมาอีกจะทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน เกิดเป็น ไอออนลบ (anion) เช่น F^-, Cl^-, O^{2-}

ไอออน (Ion)

- ไอออนที่เป็นกลุ่มของอะตอมที่มีประจุ เรียกว่า Polyatomic ion เช่น SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, NH_4^+
- จำนวนประจุของแต่ละไอออนขึ้นอยู่กับการสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนว่าเป็นจำนวนเท่าใด อะตอมสามารถรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอนได้มากว่า 1 อิเล็กตรอน เช่น Mg^{2+}, Fe^{3+}, S^{2-}, N^{3-}

เลขอะตอม (Atomic number)

- **เลขอะตอม (Z)** คือ <u>จำนวนโปรตอนทั้งหมดภายในนิวเคลียส</u>ของอะตอมของธาตุหนึ่งๆ ซึ่งธาตุแต่ละชนิดมีเลขอะตอมเป็นค่าเฉพาะ
- เลขเชิงอะตอมของธาตุมีความสำคัญทางเคมี เพราะแสดงถึงจำนวนอิเล็กตรอนของธาตุด้วย จำนวนอิเล็กตรอนนี้เองที่เป็นส่วนสำคัญที่จะบอกว่าอะตอมนั้นๆเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเพราะปฏิกิริยาเคมีเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนในอะตอม อาจเป็นการให้ การรับ หรือการใช้ร่วมกัน

เลขอะตอม (Z) = จ.น.โปรตอน = จ.น.อิเล็กตรอน

เลขมวล (Mass Number)

- **เลขมวล (A)** คือ จำนวนโปรตอนรวมกับจำนวนนิวตรอนของธาตุนั้นๆ

เลขมวล = จำนวนโปรตอน + จำนวนนิวตรอน

เลขมวล = เลขอะตอม + จำนวนนิวตรอน

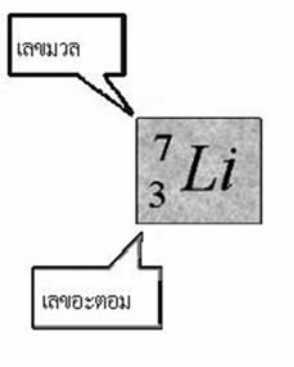
$$A = Z + N$$

จำนวนนิวตรอน = เลขมวล - เลขอะตอม

- **การเขียนสัญลักษณ์ของธาตุ** นิยมเขียนเลขอะตอมไว้ที่มุมล่างซ้าย และเลขมวลที่มุมบนซ้าย ในลักษณะ

เลขมวล (Mass Number)

ตัวอย่างเช่น



ดังนั้น อะตอมของธาตุลิเทียม (Li)
มีจำนวนโปรตอน = 3 ตัว
อิเล็กตรอน = 3 ตัว
และนิวตรอน = 4 ตัว

ไอโซโทป (Isotope)

- **ไอโซโทป** ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากันแต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน นั่นคือมีเลขอะตอม (Z) เท่ากัน แต่มีเลขมวล (A) ต่างกัน เช่น

ไอโซโทปของไฮโดรเจน $^{1}_{1}H$ $^{2}_{1}H$ $^{3}_{1}H$

ไอโซโทปของคาร์บอน $^{12}_{6}C$ $^{13}_{6}C$ $^{14}_{6}C$

- ไอโซโทปของธาตุชนิดเดียวกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของธาตุสามารถวัดเบื้องต้นได้ด้วยจำนวนโปรตอนและอิเล็กตรอน นิวตรอนไม่ได้มีส่วนในการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ไอโซบาร์ (Isobar) และไอโซโทน (Isotone)

- **ไอโซบาร์** ธาตุที่มีเลขมวล (A) เท่ากัน แต่มีเลขอะตอม (Z) และจำนวนนิวตรอน (N) ต่างกัน ดังนั้นธาตุที่เป็นไอโซบาร์กันต้องเป็นธาตุคนละชนิดกัน เช่น

$^{27}_{12}Mg$	Z = 12 N = 15 A = 27	$^{27}_{13}Al$	Z = 13 N = 14 A = 27	$^{27}_{14}Si$	Z = 14 N = 13 A = 27

- **ไอโซโทน** ธาตุที่มีจำนวนนิวตรอน (N) เท่ากัน แต่มีเลขอะตอม (Z) และค่าเลขมวล (A) ต่างกัน จึงเป็นธาตุต่างชนิดกัน เช่น

$^{14}_{6}C$	Z = 6 N = 8 A = 14	$^{15}_{7}N$	Z = 7 N = 8 A = 15	$^{16}_{8}O$	Z = 8 N = 8 A = 16

มวลอะตอม (Atomic Mass)

- อะตอมมีขนาดเล็กและเบามาก ไม่สามารถชั่งมวลของอะตอมโดยตรงได้ จึงไม่นิยมใช้ค่าที่แท้จริงแต่จะใช้มวลหรือน้ำหนักเปรียบเทียบ (relative atomic mass หรือ relative atomic weight) โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบว่า อะตอมของธาตุชนิดหนึ่งมีมวลเป็นกี่เท่าของอะตอมของอีกธาตุหนึ่งที่กำหนดให้เป็นมาตรฐาน
- นักวิทยาศาสตร์จึงได้ตกลงใช้มวลของคาร์บอน-12 $^{12}_{6}C$ ซึ่งเป็นไอโซโทปหนึ่งของคาร์บอนเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวล เนื่องจากธาตุคาร์บอนสามารถทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบได้เป็นจำนวนมาก และคาร์บอน-12 เป็นไอโซโทปที่มีปริมาณสูงกว่าไอโซโทปอื่นๆ ของคาร์บอนอีกด้วย

มวลอะตอม (Atomic Mass)

- หน่วยของมวลอะตอมคือ atomic mass unit, amu หรือ Dalton, D **(1 amu = 1 D)**
- 1 amu = 1.66×10^{-24} กรัม
- 1 หน่วยมวลอะตอม มีค่าเท่ากับ 1/12 ของมวลของคาร์บอน-12 (C-12) จำนวน 1 อะตอม
- 1 amu = 1/12 ของมวลของ C-12 จำนวน 1 อะตอม

มวลอะตอม (Atomic Mass)

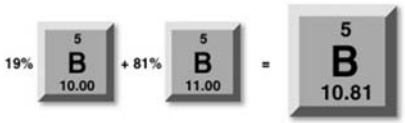
- กำหนดให้มวลอะตอมของ C-12 มีค่า = 12.00 amu เป็นค่ามาตรฐานสำหรับการวัดค่าของมวลอะตอมของธาตุอื่นๆ เช่น ค่ามวลอะตอมของไฮโดรเจน 1 อะตอมเป็น 8.400% ของมวล C-12 อะตอม ดังนั้น มวลอะตอมของไฮโดรเจน 1 อะตอมมีค่าเป็น 0.084×12.00 amu = 1.008 amu

มวลอะตอมเฉลี่ย

- มวลอะตอมของธาตุที่ปรากฏในตารางธาตุ ส่วนใหญ่ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มเพราะเป็นค่าที่ได้จากมวลอะตอมเฉลี่ยของไอโซโทปของธาตุแต่ละชนิด เช่น ธาตุไฮโดรเจนในธรรมชาติมีสองไอโซโทป คือ ${}^{1}_{1}H$ ซึ่งมีมวล 1.0078 amu และมีอยู่ 99.985% กับ ${}^{2}_{1}H$ ซึ่งมีมวล 2.014 amu และมีอยู่ 0.015% ดังนั้นมวลอะตอมของไฮโดรเจนจะเท่ากับมวลอะตอมเฉลี่ยของทั้งสองไอโซโทป ดังนี้

$$\frac{(99.985 \times 1.0078 \text{ amu})}{100} + \frac{(0.015 \times 2.0140 \text{ amu})}{100} = 1.0079 \text{ amu}$$

- มวลอะตอมของธาตุอื่นๆ ก็ได้จากมวลอะตอมเฉลี่ยของไอโซโทปต่างๆ



Example 2.1

- จงคำนวณหามวลอะตอมเฉลี่ยของทองแดง โดยในธรรมชาติมีไอโซโทปของทองแดง ${}^{63}_{29}Cu$ ซึ่งมีมวลอะตอม 62.93 amu อยู่ 69.09% และไอโซโทป ${}^{65}_{29}Cu$ ซึ่งมีมวลอะตอม 64.93 amu อยู่ 30.91%

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ย} = \frac{(69.09 \times 62.93 \text{ amu})}{100} + \frac{(30.91 \times 64.93)}{100}$$

$$= 63.55 \text{ amu}$$

มวลโมเลกุล (Molecular mass)

- บางครั้งใช้คำว่า น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) หรือ น้ำหนักสูตร (formula weight)
- หาค่าได้จากผลบวกของมวลอะตอมทุกอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุลหรือในสูตรของสารนั้นๆ เช่น มวลโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส $C_6H_{12}O_6$

$6 \times$ มวลอะตอมของ C = 6×12.01 amu = 72.06 amu

$12 \times$ มวลอะตอมของ H = 12×1.0080 amu = 12.00 amu

$6 \times$ มวลอะตอมของ O = 6×16.00 amu = 96.00 amu

รวม = 180.16 amu

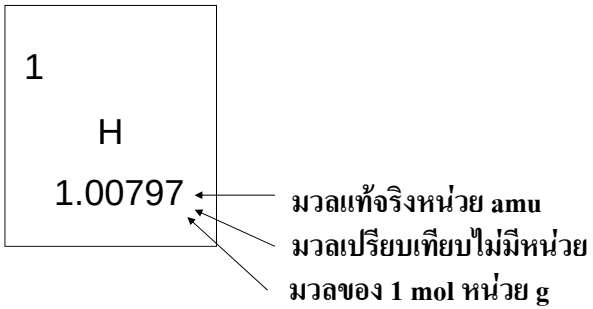
ดังนั้นมวลโมเลกุลของกลูโคส คือ 180.16 amu

โมล (mol)

- นิยมใช้หน่วย *"โมล"* เพื่อบอกปริมาณของสาร
- 1 โมล เท่ากับ 6.022×10^{23} หน่วยอนุภาค (อะตอม โมเลกุล ไอออน) (Avogadro's number, N_A) ซึ่งเท่ากับจำนวนอะตอมของ C-12 หนัก 12 กรัม
- คำว่า "โมล" อาจใช้ได้หลายลักษณะ (อะตอม โมเลกุล หรือไอออน) เช่น
  - ออกซิเจน 1 โมลอะตอมจะมี 6.02×10^{23} อะตอม และมีน้ำหนัก 16.0 กรัม
  - ออกซิเจน 1 โมลโมเลกุลจะมี 6.02×10^{23} โมเลกุล และมีน้ำหนัก 32.0 กรัม

โมล (mol)

- มวลแท้จริงของอะตอมมีค่าน้อยมาก นำไปใช้ไม่สะดวก
- Amedeo Avogadro จึงได้ลองคิดให้ตัวเลขคงเดิมในหน่วย amu แต่หน่วยใหญ่ขึ้นคือ หน่วย g



โมล (mol)

- 1 โมลอะตอมของธาตุใดๆ ประกอบด้วยจำนวนอะตอมเท่ากับเลขอโวกาโด และมีน้ำหนักเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้นๆในหน่วยเป็นกรัม เช่น N 1 โมลอะตอม มีจำนวนอะตอม 6.02×10^{23} อะตอม และหนัก 14.01 กรัม

- 1 โมลโมเลกุล ประกอบด้วยจำนวนโมเลกุลเท่ากับเลขอโวกาโด และมีน้ำหนักเท่ากับมวลโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ เช่น H_2O 1 โมล มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล และหนัก 18 กรัม

Example 2.2

- ถ้ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (C = 12.0 O = 16.0) หนัก 9.24 กรัม จงคำนวณหา
  - (ก) จำนวนโมลของ CO_2
  - (ข) จำนวนโมเลกุลของ CO_2
  - (ค) จำนวนโมลของแต่ละธาตุในคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนนี้
  - (ง) จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุ

- (ก) จำนวนโมลของ CO_2

มวลโมเลกุลของ $CO_2 = 12.01 + (2\times16.00) = 44.01$ กรัม

CO_2 หนัก 44.01 กรัม คิดเป็น CO_2 1 โมล

ดังนั้นถ้า CO_2 หนัก 9.24 กรัม คิดเป็น $CO_2 = \frac{9.24 \text{ กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{44.01 \text{ กรัม}} = 0.21$ โมล

- (ข) จำนวนโมเลกุลของ CO_2

CO_2 1 โมล มีจำนวนโมเลกุล $= 6.02\times10^{23}$ โมเลกุล

ดังนั้นถ้า CO_2 0.21 โมล จึงมีจำนวนโมเลกุล $= \frac{0.21 \text{ โมล} \times 6.02\times10^{23} \text{ โมเลกุล}}{1 \text{ โมล}}$

$= 1.26\times10^{23}$ โมเลกุล

- (ค) จำนวนโมลของแต่ละธาตุใน CO_2

ใน 1 โมเลกุลของ CO_2 มี C 1 อะตอม และ O 2 อะตอม

ดังนั้น CO_2 1 โมล จึงประกอบด้วย C 1 โมล และ O 2 โมล

ถ้า CO_2 0.21 โมล จึงประกอบด้วย C 0.210 โมล และ O $0.210\times2 = 0.420$ โมล

- (ง) จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุใน CO_2

CO_2 1 โมเลกุล มี C 1 อะตอม และ O 2 อะตอม

ดังนั้นถ้า CO_2 จำนวน 1.26×10^{23} โมเลกุล จะมี C $= 1.26\times10^{23}$ อะตอม

และ O $= 2\times1.26\times10^{23}$

$= 2.52\times10^{23}$ อะตอม

Example 2.3

- จะต้องใช้ Ca กี่โมลและกี่กรัม จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ Cl 41.5 กรัม เพื่อเกิด $CaCl_2$ เป็นผลผลิต (Ca = 40.1 Cl = 35.5)

Cl 2 โมล หรือ 2×35.5 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Ca 1 โมล หรือ 40.1 กรัม

ดังนั้นถ้า Cl 41.5 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Ca $= \frac{41.5 \text{ กรัม} \times 40.1 \text{ กรัม}}{2\times35.5 \text{ กรัม}}$

$= 23.5$ กรัม

จากน้ำมวลอะตอมของ Ca เราทราบว่า

Ca 40.1 กรัม คิดเป็น 1 โมล

Ca 23.5 กรัม คิดเป็น $\frac{23.5 \text{ กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{40.1 \text{ กรัม}} = 0.584$ โมล

อาจทำได้อีกวิธีหนึ่ง คือ แปลงน้ำหนักของ Cl ที่กำหนดให้เป็น โมล เสียก่อน

จากมวลอะตอม Cl 35.5 กรัม คิดเป็น 1 โมล

ถ้า Cl 41.5 กรัม คิดเป็น $\frac{41.5 \text{ กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{35.5 \text{ กรัม}}$

$= 1.17$ โมล

จากสูตร $CaCl_2$ เราทราบว่า Cl 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Ca 1 โมล

ดังนั้น Cl 1.17 โมล จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ Ca $= \frac{1.17 \text{ โมล} \times 1 \text{ โมล}}{2 \text{ โมล}}$

$= 0.585$ โมล

Ca 1 โมล มีน้ำหนัก 40.1 กรัม

Ca 0.585 โมล มีน้ำหนัก $= \frac{0.585 \text{ โมล} \times 40.1 \text{ กรัม}}{1 \text{ โมล}} = 23.5$ กรัม

กฎต่างๆที่เกี่ยวกับมวล

- กฎทรงมวล (Law of Conservation of Mass) "มวลของสารทั้งหมดก่อนทำปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยา"
- สาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B ได้ผลผลิตสาร C และ D เขียนสมการได้ดังนี้

$$A + B \longrightarrow C + D$$

(มวล) น้ำหนัก A + (มวล) น้ำหนัก B = (มวล) น้ำหนัก C + (มวล) น้ำหนัก D

- กฎสัดส่วนคงที่ (Law of Definite Proportion) "สัดส่วนโดยมวลของธาตุต่างๆในสารประกอบหนึ่งๆจะมีค่าคงที่แน่นอนเสมอ"

Example 2.4

- ไฮโดรเจนหนัก 4.04 กรัม ทำปฏิกิริยากับกำมะถันได้ไฮโดรเจนซัลไฟต์หนัก 68.16 กรัม ต้องใช้กำมะถันหนักกี่กรัม

$$H_2 + S \longrightarrow H_2S$$

4.04 กรัม x กรัม 68.16 กรัม

จากกฎทรงมวล จะได้

มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยา = มวลของสารหลังทำปฏิกิริยา

4.04 กรัม + x กรัม = 68.16 กรัม

x กรัม = 68.16-4.04 = 64.12 กรัม

ดังนั้น ต้องใช้กำมะถันหนัก 64.12 กรัม

Example 2.5

- โลหะแคลเซียมหนัก 80.16 กรัม เมื่อนำมาเผาไฟในภาชนะเปิดได้ผงแคลเซียมออกไซด์หนัก 112.16 กรัม ถ้านำโลหะแคลเซียมมาใหม่ หนัก 160.32 กรัม เผาจนกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์หมดต้องใช้ออกซิเจนหนัก 64.00 กรัม จึงจะทำปฏิกิริยาหมดพอดี จงแสดงให้เห็นว่าผลที่ได้นี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงตัว

การทดลองครั้งแรกใช้ Ca หนัก = 80.16 กรัม ได้ CaO = 112.16 กรัม

แสดงว่ามีออกซิเจน(ในภาชนะเปิด)เข้าไปทำปฏิกิริยา = 112.16 – 80.16 = 32.00 กรัม

อัตราส่วนโดยมวล Cao Ca : O = 80.16 : 32.00 กรัม

= 5 : 2 กรัม

การทดลองครั้งหลังใช้ Ca หนัก = 160.32 กรัม ทำปฏิกิริยากับ O หนัก 64.00 กรัม

อัตราส่วนโดยมวล Cao Ca : O = 160.32 : 64.00 กรัม

= 5 : 2 กรัม

อัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบมีค่าคงที่ แสดงว่า เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงตัว

ทฤษฎีอะตอมของดาลตัน

1. ธาตุประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก เรียกว่าอะตอม
2. อะตอมของธาตุหนึ่งๆจะมีลักษณะเฉพาะตัว ธาตุชนิดเดียวกันจะมีขนาด มวล และคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกัน และจะแตกต่างกันไปจากอะตอมของธาตุชนิดอื่น
3. สารประกอบเกิดจากอะตอมของธาตุมากกว่าหนึ่งอะตอมรวมกัน ด้วยสัดส่วนที่แน่นอน เป็นเลขจำนวนเต็มหรือสัดส่วนอย่างต่ำ
4. อะตอมจะทำให้เกิดใหม่หรือสูญหายไปไม่ได้ ปฏิกิริยาเคมีจะเกี่ยวข้องกับการแยก การรวม หรือการจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอม ไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างหรือทำลายอะตอม

สูตรเคมี

- สูตรเคมี (Chemical formula) หมายถึงกลุ่มของสัญลักษณ์ของธาตุที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงองค์ประกอบของสารว่าประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง แบ่งออกเป็นสามชนิดคือ
  - สูตรอย่างง่าย (empirical formula) เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารนั้น
  - สูตรโมเลกุล (molecular formula) เป็นสูตรที่แสดงจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่จริงในหนึ่งโมเลกุลของสาร
  - สูตรโครงสร้าง (structural formula) เป็นสูตรที่แสดงการยึดเหนี่ยวของอะตอมภายในโมเลกุล

ไฮโดรเจน H_2 H-H น้ำ H_2O H-O-H แอมโมเนีย NH_3

การหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล

- ต้องทราบชนิดและจำนวนของธาตุใน 1 โมเลกุลของสาร
- หาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุ
- หาอัตราส่วนโดยโมลของธาตุ (จากมวลอะตอมที่ทราบ)
- หาสูตรอย่างง่ายโดยทำให้เป็นอัตราส่วนโดยโมลอย่างต่ำ
- เมื่อทราบมวลโมเลกุล สามารถหาสูตรโมเลกุลได้ดังนี้

สูตรโมเลกุล = $(\text{มวลในสูตรอย่างง่าย})_n$ = มวลโมเลกุล

n = 1,2,3,……

Example 2.6

- สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยกำมะถันและออกซิเจน มีร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันเป็น 50.05 และออกซิเจน 49.95 ถ้าน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 64 จงคำนวณหาสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุล (S=32, O=16)

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ S : O = 50.05 : 49.95

อัตราส่วนโดยโมลของ $S : O = \frac{50.05}{32} : \frac{49.95}{16}$

$= 1.56 : 3.12$

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขน้อยๆ โดยการหารตลอดด้วยจำนวนเลขที่น้อยที่สุด คือ 1.56

$= \frac{1.56}{1.56} : \frac{3.12}{1.56}$

$= 1 : 2$

สูตรเอมพิริกัล คือ SO_2

หาสูตรโมเลกุลจาก

สูตรโมเลกุล = (สูตรอย่างง่าย) n = มวลโมเลกุล

โดยที่ n = 1,2,3,……

สูตรอย่างง่าย คือ SO_2

สูตรโมเลกุลเป็น $(SO_2)\,n$ = มวลโมเลกุล

$$(SO_2)\,n = 64$$

$$(32 + 16\times2)\,n = 64$$

$$n = 1$$

ดังนั้นสูตรโมเลกุล คือ SO_2

Example 2.7

- สารประกอบชนิดหนึ่งมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ นำสารนี้ 0.375 กรัม มาเผาได้สารผลิตภัณฑ์เพียงสองชนิดเท่านั้นคือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.516 กรัม และน้ำ 0.421 กรัม จงคำนวณหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้ เมื่อสารประกอบนี้มีน้ำหนักเชิงโมเลกุล 32.014 กรัม

ใน CO_2 หนัก 44.009 กรัม ประกอบด้วย C หนัก 12.011 กรัม

ถ้าใน CO_2 หนัก 0.516 กรัม ประกอบด้วย C หนัก $\dfrac{0.516 \times 12.011}{44.009}$ = 0.141 กรัม

ใน H_2O หนัก 18.001 กรัม ประกอบด้วย H หนัก 2.002 กรัม

ถ้าใน H_2O หนัก 0.421 กรัม ประกอบด้วย H หนัก $\dfrac{0.421 \times 2.002}{18.001}$ = 0.0468 กรัม

มวลของ O ในสารประกอบนี้ = 0.375 – 0.141 – 0.0468 = 0.187 กรัม

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ C : H : O = 0.141 : 0.0468 : 0.187

อัตราส่วนโดยโมลของ C : H : O = $\dfrac{0.141}{12.011} : \dfrac{0.0468}{1.007} : \dfrac{0.187}{15.999}$

= 0.0117 : 0.0468 : 0.0117

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขน้อยๆ โดยการหารตลอดด้วยจำนวนเลขที่น้อยที่สุด คือ 0.0117

$$= \frac{0.0117}{0.0117} : \frac{0.0468}{0.0117} : \frac{0.0117}{0.0117}$$

= 1 : 4 : 1

สูตรอย่างง่าย คือ CH_4O

หาสูตรโมเลกุลจาก

สูตรโมเลกุล = (สูตรอย่างง่าย) n = มวลโมเลกุล

โดยที่ n = 1,2,3,……

สูตรอย่างง่าย คือ CH_4O

สูตรโมเลกุลเป็น $(CH_4O)\,n$ = มวลโมเลกุล

$$(CH_4O)\,n = 32.014$$

$$(12.011 + 4.028 + 15.999)_n = 32.014$$

$$32.038_n = 32.014$$

$$n = 1$$

ดังนั้นสูตรโมเลกุล คือ CH_4O (สูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลเป็นสูตรเดียวกัน)

ปฏิกิริยาเคมี

- เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือองค์ประกอบของสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง
- สารที่เข้าทำปฏิกิริยา เรียกว่า ตัวทำปฏิกิริยา หรือสารตั้งต้น (reactant)
- สารที่เกิดขึ้นใหม่ เรียกว่า ผลิตภัณฑ์ (product)
- ปฏิกิริยาเขียนแทนด้วย สมการเคมี (chemical equation) โดยให้ตัวทำปฏิกิริยาอยู่ซ้ายมือและสารผลิตภัณฑ์อยู่ขวามือของลูกศรที่ชี้ไปทางสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

สารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์

สมการแบบโมเลกุล

- แสดงปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสาร อาจแสดงสถานะทางกายภาพของสารด้วยตัวอักษรย่อในวงเล็บ เช่น แก๊ส (g) ของเหลว (l) และ ของแข็ง (s) และสารที่อยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (aq) เช่น

$$2CO_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2CO_{2(g)}$$

$$NaCl_{(s)} \xrightarrow{H_2O} NaCl_{(aq)}$$

$$KBr_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \longrightarrow KNO_{3(aq)} + AgBr_{(s)}$$

- สมการโมเลกุลที่ดุลแล้วจะต้องมีจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุทั้งสองข้างลูกศรเท่ากัน โดยใช้ตัวเลขที่เป็นจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด

การดุลสมการเคมี

1. บอกสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์ทุกตัว และเขียนสูตรให้ถูกต้องโดยเขียนสารตั้งต้นอยู่ซ้ายมือ และสารผลิตภัณฑ์อยู่ขวามือของลูกศรตามลำดับ
2. พิจารณาธาตุที่ปรากฏเพียงครั้งเดียวในแต่ละด้านของสมการที่มีจำนวนอะตอมเท่ากันทั้งสองด้าน ไม่ต้องปรับค่าตัวเลขสัมประสิทธิ์
3. พิจารณาธาตุที่ปรากฏเพียงครั้งเดียวในแต่ละด้านของสมการแต่มีจำนวนอะตอมที่แตกต่างกัน ทำการดุลธาตุเหล่านี้ทั้งสองด้านให้เท่ากัน โดยการเติมตัวเลขสัมประสิทธิ์
4. ดุลธาตุที่มีสองสูตรหรือมากกว่าของด้านเดียวกันในสมการ
5. ตรวจสอบว่าดุลสมการได้ถูก โดยที่ต้องแน่ใจว่าจำนวนอะตอมในแต่ละด้านเท่ากัน

ตัวอย่างการดุลสมการเคมี

$KClO_3 \longrightarrow KCl + O_2$

$2KClO_3 \longrightarrow KCl + 3O_2$

$2KClO_3 \longrightarrow 2KCl + 3O_2$

สารตั้งต้น	สารผลิตภัณฑ์
K (2)	K (2)
Cl (2)	Cl (2)
O (6)	O (6)

$C_2H_6 + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$

$C_2H_6 + O_2 \longrightarrow 2CO_2 + H_2O$

$C_2H_6 + O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

$C_2H_6 + 7/2O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

$2C_2H_6 + 7O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 6H_2O$

สารตั้งต้น	สารผลิตภัณฑ์
C (4)	C (4)
H (12)	H (12)
O (14)	O (14)

สมการแบบไอออน

- เป็นสมการสำหรับปฏิกิริยาที่มีสารประกอบไอออนิกเข้ามาเกี่ยวข้อง
- เขียนสมการเฉพาะไอออนและโมเลกุลที่จำเป็นและเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น
- สารที่เป็นอิเล็กโตรไลต์อ่อน สารที่ไม่ละลาย สารที่ตกตะกอน หรือสารที่เป็นแก๊ส ให้เขียนเป็นสูตรโมเลกุล

สมการแบบโมเลกุล

$$NaCrO_2 + NaClO + NaOH \longrightarrow Na_2CrO_4 + NaCl + H_2O$$

สมการแบบไอออนิก

$$Na^+ + CrO_2^- + Na^+ + ClO^- + Na^+ + OH^- \longrightarrow 2Na^+ + CrO_4^{2-} + Na^+ + Cl^- + H_2O$$

$$CrO_2^- + ClO^- + OH^- \longrightarrow CrO_4^{2-} + Cl^- + H_2O$$

$$2CrO_2^- + 3ClO^- + 2OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{2-} + 3Cl^- + H_2O$$

เราอาจแบ่งสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีตามชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างกว้างๆ ได้ 2 ประเภทคือ

(ก) ปฏิกิริยาเคมีซึ่งธาตุหรืออะตอมไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเลขออกซิเดชั่น หรือไม่มีการรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอน เช่น

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

$$AgNO_3 + NaCl \longrightarrow AgCl + NaNO_3$$

$$2NaNO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2HNO_3$$

$$NaC_2H_3O_2 + H_2O \longrightarrow HC_2H_3O_2 + NaOH$$

(ข) ปฏิกิริยาเคมีซึ่งธาตุหรืออะตอมเกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชั่น หรือมีการรับหรือสูญเสียอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชัน (oxidation-reduction reaction) หรือ เรียกสั้นๆว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction)

$$Zn_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \longrightarrow Cu_{(s)} + ZnSO_{4(aq)}$$

เขียนเป็นสมการไอออนิกดังนี้

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$$

เราสามารถแยกสมการออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนเรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา (half reaction) ดังนี้

$$Zn_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad \text{oxidation}$$

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(s)} \qquad \text{reduction}$$

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

- ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation Reaction) : ครึ่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียอิเล็กตรอน

$$Zn_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad \text{oxidation}$$

- ปฏิกิริยารีดักชั่น (Reduction Reaction) : ครึ่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการรับอิเล็กตรอน

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(s)} \qquad \text{reduction}$$

ปฏิกิริยารีดอกซ์ : ธาตุ หรือ อะตอม มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชั่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนอิเล็กตรอน

เลขออกซิเดชั่น (Oxidation Number)

- คือ ตัวเลขประจุของอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุลหรือในสารประกอบไอออนิก เมื่อมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนอย่างสมบูรณ์

$$\overset{0}{H_{2(s)}} + \overset{0}{Cl_{2(g)}} \longrightarrow \overset{+1\ -1}{2\,HCl_{(g)}}$$

$$\overset{0}{S_{(s)}} + \overset{0}{O_{2(g)}} \longrightarrow \overset{+4\ -2}{2\,SO_{2(g)}}$$

- ธาตุมีเลขออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น

  ธาตุถูกออกซิไดส์ (เป็น Reducing agent ให้อิเล็กตรอน)

- ธาตุมีเลขออกซิเดชั่นลดลง

  ธาตุถูกรีดิวซ์ (เป็น Oxidizing agent รับอิเล็กตรอน)

การกำหนดเลขออกซิเดชั่น

- ธาตุอิสระแต่ละอะตอม จะมีเลขออกซิเดชั่นเป็น 0 เช่น H_2, Br_2, Na, Be, K, O_2, P_4
- ไอออนที่ประกอบขึ้นด้วยหนึ่งธาตุ (ไอออนอะตอมเดี่ยว) มีเลขออกซิเดชั่นเท่ากับจำนวนประจุของไอออน เช่น $Li^+ = +1$, $Ba^{2+} = +2$, $Fe^{3+} = +3$, $I^- = -1$, $O^{2-} = -2$
- ออกซิเจนในทุกสารประกอบ มีเลขออกซิเดชั่นเป็น -2 เช่น H_2O, Li_2O, $KMnO_4$ ยกเว้นสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีเลขออกซิเดชั่นเป็น -1 เช่น H_2O_2
- ไฮโดรเจนในทุกสารประกอบ มีเลขออกซิเดชั่นเป็น +1 เช่น NH_3, HCl, H_2S ยกเว้นเมื่อเกิดพันธะกับโลหะในสารประกอบเชิงคู่จะมีเลขออกซิเดชั่นเป็น -1 เช่น LiH, NaH, CaH_2
- ฟลูออรีนในทุกสารประกอบ มีเลขออกซิเดชั่นเป็น -1 เช่น HF, KF, OF_2, SiF_4

การกำหนดเลขออกซิเดชั่น (ต่อ)

- เลขออกซิเดชั่นอาจไม่ใช่เลขจำนวนเต็มก็ได้ เช่น เลขออกซิเดชั่นของออกซิเจนในสารประกอบซุปเปอร์ออกไซด์ (superoxide) จะมีเลขออกซิเดชั่นเท่ากับ $-1/2$ เช่น KO_2, NaO_2, LiO_2
- โมเลกุลที่เป็นกลาง ผลรวมเลขออกซิเดชั่นของทุกๆอะตอมมีค่าเท่ากับ 0
- ในสารประกอบไอออนิกหลายอะตอม ผลรวมเลขออกซิเดชั่นของทุกธาตุในไอออนจะมีค่าเท่ากับประจุสุทธิของไอออนนั้น เช่น NH_4^+ เลขออกซิเดชั่นของ N คือ -3 และของ H คือ +1 ดังนั้นผลรวมของเลขออกซิเดชั่นคือ $(-3)+4(+1) = +1$ ซึ่งมีค่าเท่ากับประจุของไอออนนั่นเอง

Example 2.8

- จงบอกค่าเลขออกซิเดชั่นของธาตุในสารประกอบและไอออนต่อไปนี้

  (ก) LiO_2 (ข) HNO_3 และ (ค) $Cr_2O_7^{2-}$

(ก) LiO_2 : Li มีเลขออกซิเดชั่นเป็น +1 (Li^{+1}) และ O มีเลขออกซิเดชั่นเป็น -1/2 (O^{2-})

(ข) HNO_3 : H มีเลขออกซิเดชั่นเป็น +1 และ O มีเลขออกซิเดชั่นเป็น -2 และจากผลรวมเลขออกซิเดชั่นของทุกอะตอมในสารประกอบเท่ากับศูนย์ ดังนั้น N จึงมีเลขออกซิเดชั่นเป็น $(+1) + (N) + (3(-2)) = 0$

$$N = +5$$

(ค) $Cr_2O_7^{2-}$: ผลรวมเลขออกซิเดชั่นของไอออนนี้มีค่าเป็น -2 เลขออกซิเดชั่นของ O เป็น -2 ดังนั้น เลขออกซิเดชั่นของส่วนที่เหลือคือ Cr มีค่าเป็น

$$2(Cr) + (7(-2)) = -2 \qquad Cr = +6$$

การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี

- สมการเคมี บอกให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณของสารต่างๆที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และสามารถคำนวณถึงผลผลิตที่พึงได้จากปฏิกิริยาเคมี เช่น

$$CaC_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow Ca(OH)_{2(aq)} + C_2H_{2(g)}$$

อัตราส่วนโดยโมล	1	2	1	1	โมล
อัตราส่วนโดยโมเลกุล	6.02×10^{23}	$2(6.02\times10^{23})$	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}	โมเลกุล
อัตราส่วนโดยมวล	64.1	2(18)	74.1	26.0	กรัม
อัตราส่วนโดยปริมาตร	-	-	-	22.4 ลิตร (dm^3)	

* แก๊สใด 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน STP

Example 2.10

- จากสมการ $CaC_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow Ca(OH)_{2(aq)} + C_2H_{2(g)}$

ถ้าใช้ CaC_2 2.5 โมล ทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีปริมาณมากเกินพอ

- (ก) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่โมล
- (ข) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่กรัม
- (ค) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่ลิตร ที่ STP
- (ง) น้ำทำปฏิกิริยาไปกี่โมลและกี่กรัม

(Ca = 40.1, C = 12.0, H = 1.0)

- (ก) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่โมล

จากสมการ จะเห็นว่า CaC_2 1 โมล ให้ C_2H_2 1 โมล

$\therefore$ CaC_2 2.5 โมล จะให้ C_2H_2 = 2.5 โมล

- (ข) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่กรัม

น้ำหนักโมเลกุลของ C_2H_2 = 26.0 กรัม หมายความว่า

C_2H_2 1 โมล หนัก 26.0 กรัม

$$C_2H_2 \text{ 2.5 โมล หนัก} = \frac{2.5 \text{ โมล} \times 26.0 \text{ กรัม}}{1 \text{ โมล}}$$

= 65.0 กรัม

- (ค) ได้ $C_2H_{2(g)}$ เกิดขึ้นกี่ลิตรที่ STP

$C_2H_{2(g)}$ 1 โมล มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP

$$\therefore C_2H_2 \text{ 2.5 โมล มีปริมาตร} = \frac{2.5 \text{ โมล} \times 22.4 \text{ ลิตร ที่ STP}}{1 \text{ โมล}}$$

= 56.0 ลิตร ที่ STP

- (ง) น้ำทำปฏิกิริยาไปกี่โมลกี่กรัม

จากปฏิกิริยาจะเห็นว่า CaC_2 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H_2O 2 โมล

$$\therefore CaC_2 \text{ 2.5 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ } H_2O = \frac{2.5 \text{ โมล} \times 2 \text{ โมล}}{1 \text{ โมล}} = 5 \text{ โมล}$$

H_2O 1 โมล มีมวล = 18.0 กรัม

$$\therefore H_2O \text{ 1 โมล มีมวล} = \frac{18.0 \text{ กรัม} \times 5.0 \text{ กรัม}}{1 \text{ โมล}} = 90 \text{ กรัม}$$

Example 2.11

- ของผสมชนิดหนึ่งประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และทราย ถ้านำของผสมนี้หนัก 40 กรัม มาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือมากเกินพอ พบว่าได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น หนัก 0.88 กรัม จงคำนวณหาร้อยละของแคลเซียมคาร์บอเนตในของผสมนี้ โดยถือว่าทรายไม่เข้าเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาด้วย

(C = 12, Ca = 40, O = 16)

$$CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

น้ำหนักโมเลกุล $CaCO_3 = 100$ น้ำหนักโมเลกุล $CO_2 = 44$

จากสมการ CO_2 44 กรัม เกิดจาก $CaCO_3$ 100 กรัม

$\therefore$ CO_2 0.88 กรัม เกิดจาก $CaCO_3 = \frac{0.88 \times 100 \text{ กรัม}}{44} = 2.0$ กรัม

- หาร้อยละของ $CaCO_3$ ในของผสม

ของผสมหนัก 40 กรัม มี $CaCO_3$ อยู่ 2 กรัม

ถ้าของผสมหนัก 100 กรัม จะมี $CaCO_3 = \frac{100 \times 2}{40} = 5.0$ กรัม

ร้อยละของแคลเซียมคาร์บอเนตในของผสมนี้ เท่ากับร้อยละ 5

Example 2.12

- จงคำนวณว่าจะต้องใช้สังกะสีกี่กรัมและกี่โมลทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ จึงจะให้แก๊สไฮโดรเจน 0.224 ลิตร ที่ STP (Zn = 65.4 H = 1.0) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

$$Zn + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$$

อัตราส่วนโดยโมล	1		2	1	1 โมล
อัตราส่วนโดยมวล	65.4				กรัม
อัตราส่วนโดยปริมาตร					22.4 ลิตร ที่ STP

ที่ STP ไฮโดรเจน 22.4 ลิตร เตรียมได้จากสังกะสี 65.4 กรัม

ถ้าไฮโดรเจน 0.224 ลิตร เตรียมได้จากสังกะสี $\frac{0.224 \text{ ลิตร} \times 65.4 \text{ กรัม}}{22.4 \text{ ลิตร}}$

$= 0.654$ กรัม

- หาจำนวนโมลของสังกะสี

สังกะสี 65.4 กรัม = 1 โมล

ถ้าสังกะสี 0.654 กรัม $= \frac{0.654 \text{ กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{65.4 \text{ กรัม}} = 0.01$ โมล

Example 2.13

- จงคำนวณว่าจะต้องใช้แก๊สออกซิเจนกี่ลิตร จึงจะทำให้ปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สอีเทน 25.0 ลิตร

$$2C_2H_{6(g)} + 7O_{2(g)} \longrightarrow 4CO_{2(g)} + 6H_2O_{(g)}$$

อัตราส่วนโดยโมล	2	7	4	6	โมล
อัตราส่วนโดยปริมาตร	2(22.4)	7(22.4)	4(22.4)	6(22.4)	ลิตรที่ STP

แก๊สอีเทน 2(22.4) ลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับออกซิเจน = 7(22.4) ลิตร

ถ้าแก๊สอีเทน 25.0 ลิตร ต้องทำปฏิกิริยากับออกซิเจน $= \frac{25.0 \times 7(22.4)}{2(22.4)}$ ลิตร

∴ จะต้องใช้แก๊สออกซิเจน = 87.5 ลิตร ที่ STP

Example 2.14

- สมมุติว่าแก๊สธรรมชาติชนิดหนึ่งมี มีเทน (CH_4) และเอทิลีน (C_2H_4) เป็นองค์ประกอบ ถ้านำแก๊สธรรมชาตินี้ปริมาณ 5.00 กรัม มาเผาไหม้กับออกซิเจนที่มากเกินพอ ได้ CO_2 14.5 กรัม และ H_2O จงหาร้อยละของ C_2H_4 ในแก๊สธรรมชาตินี้ (C=12.0, H=1.00, O=16.0)

สมการแสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้คือ

$$C_2H_4 + 3O_2 \xrightarrow{\triangle} 2CO_2 + 2H_2O \quad \ldots\ldots(1)$$

$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\triangle} CO_2 + 2H_2O \quad \ldots\ldots(2)$$

เปลี่ยนน้ำหนักของ CO_2 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด 14.5 กรัม เป็นโมล

CO_2 44.0 กรัม = 1 โมล

CO_2 14.5 กรัม $= \frac{14.5 \text{ กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{44.0 \text{ กรัม}} = 0.330$ โมล

แก๊สธรรมชาติ ($C_2H_4 + CH_4$) ทั้งหมด = 5.00 กรัม

ให้น้ำหนักของ C_2H_4 ในแก๊สธรรมชาติ = X กรัม

∴ น้ำหนักของ CH_4 ในแก๊สธรรมชาติ = 5.00– X กรัม

C_2H_4 ที่ทำปฏิกิริยา = X กรัม $= \frac{\text{X กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{28.0 \text{ กรัม}} =$ X/28.0 โมล

CH_4 ที่ทำปฏิกิริยา = 5.00-X กรัม $= \frac{\text{(5.00-X) กรัม} \times 1 \text{ โมล}}{16.0 \text{ กรัม}} = \frac{5.00\text{-X โมล}}{16.0}$

จากสมการ (1) C_2H_4 1 โมล ให้ CO_2 2 โมล

ถ้า C_2H_4 X/28.0 โมล ให้ CO_2 = 2X/28.0 โมล .....(3)

จากสมการ (2) CH_4 1 โมล ให้ CO_2 1 โมล

ถ้า CH_4 $\frac{5\text{-X}}{16.0}$ โมล ให้ CO_2 = $\frac{5\text{-X}}{16.0}$ โมล .....(4)

ผลบวกของ (3) และ (4) ต้องเท่ากับน้ำหนักของ CO_2 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด = 0.330 โมล

นั่นคือ $\frac{2X}{28.0}$ โมล + $\frac{5.00\text{-X}}{16.0}$ โมล = 0.330 โมล

$$(0.0741\ X) + (0.312 - 0.0625\ X) = 0.330$$

$$X = 2.02 \text{ กรัม}$$

∴ น้ำหนักของ C_2H_4 = 2.02 กรัม

หาร้อยละของ C_2H_4 จาก

แก๊สธรรมชาติทั้งหมด 5.00 กรัม มีปริมาณ C_2H_4 2.02 กรัม

แก๊สธรรมชาติทั้งหมด 100 กรัม มีปริมาณ $C_2H_4 = \frac{100 \times 2.02}{5.00} = 40.4$ กรัม

ร้อยละของ C_2H_4 ในแก๊สธรรมชาตินี้ คือ ร้อยละ 40.4