บทที่ 2
ปริมาณสารสัมพันธ์

http://www.science.mju.ac.th/chemistry/staffs/p_kunthadee.htm

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กันทาดี

ปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometry)

มาจากการผสมภาษากรีก 2 คำ = stoicheion (ธาตุ) + metron (การวัด)

ปริมาณสัมพันธ์ เป็นเคมีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณปริมาณและความสัมพันธ์ของสารในปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ สารตั้งต้น ผลิตภัณฑ์ และพลังงานของสารที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา

2.1 อะตอม โมเลกุล และไอออน

- **อะตอม** (atom) หมายถึง อนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่แสดงสมบัติเฉพาะและสามารถเกิดพันธะหรือปฏิกิริยาทางเคมีได้
- อะตอม ประกอบด้วย
  - **นิวเคลียส** (nucleus) → โปรตอน (proton) + นิวตรอน (neutron) อยู่บริเวณกลางอะตอม
  - **อิเล็กตรอน** (electron) → อยู่รอบนิวเคลียส

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กันทาดี
2

อะตอม โมเลกุล และไอออน

ตาราง 2.1 สมบัติบางประการของโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ		น้ำหนัก	
		หน่วย	คูลอมบ์ (c)	(กรัม)	(amu)
อิเล็กตรอน	e^-	−1	1.6×10^{-19}	9.1096×10^{-28}	0.000549
โปรตอน	p^+	1	1.6×10^{-19}	1.6726×10^{-24}	1.007277
นิวตรอน	n^0	0	0	1.6749×10^{-24}	1.008665

เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กันทาดี
3

อะตอม โมเลกุล และไอออน

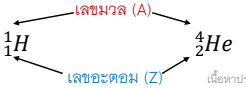
– ผลบวกของจำนวนโปรตอนและนิวตรอน เรียกว่า **เลขมวล** (mass number) ใช้สัญลักษณ์ A

นั่นคือ $A = Z + N$ (เมื่อ N = จำนวนนิวตรอน)

- อะตอมของธาตุอิสระใด ๆ จะมี**จำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนเสมอ** (รู้เลขอะตอม → รู้จำนวนอิเล็กตรอนของธาตุนั้นด้วย)

เลขอะตอมเป็นค่าเฉพาะของธาตุแต่ละชนิด → ธาตุชนิดเดียวกันมี**จำนวนโปรตอนเท่ากันเสมอ**

- การเขียนสัญลักษณ์ของธาตุ จะกำหนดสัญลักษณ์ของธาตุโดยทั่วไปเป็น X และแสดงตำแหน่งเลขมวล (A) และเลขอะตอมของธาตุ (Z) เป็น ${}^{A}_{Z}X$ เช่น



เนื้อหาประกอบการสอน รายวิชา คม 100 เคมีทั่วไป
อ.ดร.เพชรลดา กันทาดี
4

อะตอม โมเลกุล และไอออน

– เช่น $^{27}_{13}Al$ แสดงถึง ธาตุอะลูมิเนียม (Al) ที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากับ 13, จำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับ 13 และจำนวนนิวตรอนเท่ากับ 27 – 13 = 14

- ไอโซโทป (isotope) = ธาตุชนิดเดียวกัน และมี**จำนวนโปรตอนเท่ากัน** (เลขอะตอม, Z เท่ากัน)

เช่น $^{15}_{8}O$ $^{16}_{8}O$ $^{17}_{8}O$ $^{18}_{8}O$ isotope ของออกซิเจน

$^{1}_{1}H$ $^{2}_{1}H$ $^{3}_{1}H$ $^{4}_{1}H$ isotope ของไฮโดรเจน

$^{12}_{6}C$ $^{13}_{6}C$ $^{14}_{6}C$ $^{15}_{6}C$ isotope ของคาร์บอน

อะตอม โมเลกุล และไอออน

- ไอโซบาร์ (isobar) = ธาตุต่างชนิดกัน มี**เลขมวลเท่ากัน** (A เท่ากัน)

เช่น $^{27}_{13}Al$ (**A = 27**, Z = 13, N = 14)
$^{27}_{14}Si$ (**A = 27**, Z = 14, N = 13) } เป็น isobar กัน
$^{27}_{13}Mg$ (**A = 27**, Z = 12, N = 15)

- ไอโซโทน (isotone) = ธาตุต่างชนิดกัน มี**จำนวนนิวตรอนเท่ากัน** (N เท่ากัน)

$^{14}_{6}C$ (A = 14, Z = 6, **N = 8**)
$^{15}_{7}N$ (A = 15, Z = 7, **N = 8**) } เป็น isotone กัน
$^{16}_{8}O$ (A = 16, Z = 8, **N = 8**)

อะตอม โมเลกุล และไอออน

- **โมเลกุล (molecule)** หมายถึง หน่วยโครงสร้างที่เล็กที่สุดของธาตุหรือสารประกอบที่สามารถอยู่ได้โดยอิสระ และยังคงมีสมบัติโดยสมบูรณ์
  - ***โมเลกุลอะตอมเดี่ยว*** *(monoatomic molecule)* → 1 โมเลกุลมี 1 อะตอม ได้แก่ He, Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn
  - ***โมเลกุลอะตอมคู่*** *(diatomic molecule)* → 1 โมเลกุลมี 2 อะตอม แบ่งเป็น
    - *homonuclear molecule* เช่น H_2, O_2, N_2
    - *heteronuclear molecule* เช่น HCl, CO, NO
  - ***โมเลกุลหลายอะตอม*** *(polyatomic molecule)* → 1 โมเลกุลมี > 2 อะตอม แบ่งเป็น
    - *homonuclear molecule* เช่น P_4, S_8
    - *heteronuclear molecule* เช่น H_2O, CH_4, $C_6H_{12}O_6$

อะตอม โมเลกุล และไอออน

- **ไอออน (Ion)** หมายถึง อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีประจุ

ไอออนบวก ← เสีย e^- — อะตอมที่เป็นกลาง — รับ e^- → ไอออนลบ

(cation) เช่น Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} (จำนวนประจุ + เท่ากับ –) (anion) เช่น O^{2-}, F^-, Cl^-

– ไอออนที่เป็น**กลุ่มของอะตอมที่มีประจุ** ได้แก่ SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, NH_4^+ เป็นต้น

ปฏิกิริยาเคมีทั่ว ๆ ไป → จำนวนโปรตอนไม่เกี่ยวข้อง → ธาตุจะไม่เปลี่ยนเป็นธาตุอื่นเมื่อเกิดปฏิกิริยา

ยกเว้น **"ปฏิกิริยานิวเคลียร์"** (Nuclear reaction) → เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับนิวเคลียส → ได้ธาตุใหม่เกิดขึ้นหรือมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสี

มวลอะตอม มวลโมเลกุล

2.2 มวลอะตอม และมวลโมเลกุล

- **มวลอะตอม**

– เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมาก → มวลหรือน้ำหนักน้อยมาก (อะตอมที่หนักที่สุดมีมวลประมาณ 10^{-22} กรัม) จึงไม่นิยมใช้การบอกมวลโดยตรง แต่ใช้วิธีบอกเป็น **มวลหรือน้ำหนักเปรียบเทียบ** (relative mass หรือ relative weight) เรียกว่า **มวลอะตอม** (Atomic mass) หรือ **น้ำหนักอะตอม** (Atomic weight) โดยเปรียบเทียบกับมวลของอะตอมมาตรฐาน คือ $^{12}_{6}C$

– หน่วยของมวลเปรียบเทียบ คือ **หน่วยมวลอะตอม** (atomic mass unit, amu) หรือ **ดาลตัน** (Dalton, D)

โดยที่ **1 amu (1 D) = 1.66×10^{-24} กรัม**

มวลอะตอม มวลโมเลกุล

เช่น ธาตุ H มีมวลอะตอม 1.0079 amu

หมายความว่า ธาตุ H 1 อะตอม หนักเท่ากับ $1.0079 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

– มวลอะตอมของธาตุที่ปรากฏในตารางธาตุ มักเป็นเลขทศนิยมเพราะคิดจากน้ำหนักเฉลี่ยของไอโซโทปของธาตุ

ตัวอย่างเช่น ธาตุ H ในธรรมชาติมี 2 isotopes คือ $^{1}_{1}H$ มีมวล = 1.0078 amu (มี 99.985% ในธรรมชาติ) และ $^{2}_{1}H$ มีมวล = 2.0140 amu (มี 0.015% ในธรรมชาติ)

ดังนั้น มวลอะตอมเฉลี่ยของ H = $\dfrac{[(99.985) \times 1.0078] + [(0.015) \times 2.0140]}{100}$ amu

= 1.0079 amu

กรณีธาตุอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน เช่น He (4.0026), Li (6.941) เป็นต้น

มวลอะตอม มวลโมเลกุล

- **มวลโมเลกุล** (Molecular weight) หรือ มวลสูตร (Formula weight)

ได้จากผลบวกของมวลอะตอมทุกอะตอมในหนึ่งโมเลกุลของสารหรือหน่วยสูตรนั้น

เช่น น้ำหนักโมเลกุลของ H_2SO_4 = (2 x 1.01) + (1 x 32.06) + (4 x 16.00)

= 98.08 amu

= $98.08 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

โมล (mole)

"โมล (mole)" *เป็นหน่วยที่ใช้บอกปริมาณสาร*

โดยที่ **1 โมล = 6.02×10^{23} หน่วย** เรียกว่า **เลขอโวกาโดร** (Avogadro's number)

เช่น อะตอม Be 1 โมล หมายถึง อะตอม Be จำนวน 6.02×10^{23} อะตอม

ถ้า มวลอะตอม Be เท่ากับ 9.01 amu → Be 1 อะตอม หนัก 9.01 amu

ดังนั้น Be 1 โมล (6.02×10^{23} อะตอม) จะหนัก = $6.02 \times 10^{23} \times 9.01 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

= 9.01 กรัม

โมเลกุล N_2 1 โมล หมายถึง โมเลกุล N_2 จำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล (เท่ากับ $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม)

โมล (mole)

ถ้า มวลโมเลกุลของ N_2 เท่ากับ 28.01 amu → N_2 1 โมเลกุล หนัก 28.01 amu

ดังนั้น N_2 1 โมล (6.02×10^{23} โมเลกุล) จะหนัก = $6.02 \times 10^{23} \times 28.01 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม

= 28.01 กรัม

จะเห็นว่า

"ธาตุใด ๆ จำนวนหนึ่งโมลอะตอม จะมีมวลในหน่วยกรัม เท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น" (เช่น Be 1 อะตอม หนัก 9.01 amu → Be 1 โมล หนัก 9.01 กรัม)

"โมเลกุลหรือสารประกอบใด ๆ หนึ่งโมล จะมีมวลในหน่วยกรัม เท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น" (เช่น N_2 1 โมเลกุล หนัก 28.01 amu → N_2 1 โมล หนัก 28.01 กรัม)

"โมเลกุลของก๊าซใด ๆ จำนวนหนึ่งโมล จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่สภาวะ STP (0 °C, 1 atm)"

โมล (mole)

จำนวนโมลของสาร (n) ยังสามารถหาได้จากสูตร

$$n = \frac{m}{M} \quad (\text{หรือ } mole = \frac{g}{MW})$$

เมื่อ n = จำนวนโมล, m = น้ำหนัก (กรัม), M = มวลอะตอมหรือมวลโมเลกุล

2.4 สูตรเคมี

• **สูตรเคมี (Chemical formula)** คือ กลุ่มสัญลักษณ์ของธาตุหรือสารประกอบที่แสดงองค์ประกอบและจำนวนอะตอมของธาตุต่าง ๆ ใน 1 โมเลกุล เช่น CO_2 แสดงว่า 1 โมเลกุล ประกอบด้วย ธาตุ C 1 อะตอม และ O 2 อะตอม

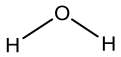
สูตรเคมี (Chemical Formula)

สูตรเคมี อาจแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

– **สูตรเอมพิริกัล** (Empirical formula) → แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้น

– **สูตรโมเลกุล** (Molecular formula) → แสดงชนิดและจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่จริง ใน 1 โมเลกุลของสาร

– **สูตรโครงสร้าง** (Structural formula) → แสดงการยึดเหนี่ยวของอะตอมภายในโมเลกุล ตัวอย่างเช่น



สูตรเคมี (Chemical Formula)

• **การหาสูตรเอมพิริกัล (สูตรอย่างง่าย) และสูตรโมเลกุล**

– ทราบชนิดของธาตุใน 1 โมเลกุลของสาร

– หาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุต่างๆ

– หาอัตราส่วนโดยโมลของธาตุต่างๆ

– เปรียบเทียบอัตราส่วนเป็นเลขลงตัวอย่างต่ำ

– จะได้ **"สูตรอย่างง่าย"**

เมื่อทราบมวลโมเลกุล จะคำนวณหา **"สูตรโมเลกุล"** ได้โดย

(มวลของสูตรอย่างง่าย)n = มวลโมเลกุล (เมื่อ n = 1, 2, 3,....)

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

สูตรเคมี (Chemical Formula)

ตัวอย่าง 1 สารประกอบชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยกำมะถันและออกซิเจนในปริมาณร้อยละ 50.05 และ 49.95 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ถ้าทราบว่าสารชนิดนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 64 จงคำนวณหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล (กำหนดมวลอะตอม S = 32, O = 16)

วิธีทำ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ S : O = 50.05 : 49.95

อัตราส่วนโดยโมลของ S : O = $\frac{50.05}{32} : \frac{49.95}{16}$ = 1.56 : 3.12

อัตราส่วนอย่างต่ำ = $\frac{1.56}{1.56} : \frac{3.12}{1.56}$ = 1 : 2

ดังนั้น **สูตรอย่างง่าย คือ** SO_2

และสูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น $(SO_2)_n$

สูตรเคมี (Chemical Formula)

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

$(32 + (16 \times 2))\, n = 64$

$n = \frac{64}{64} = 1$

ดังนั้น **สูตรโมเลกุล คือ** SO_2 และจะเห็นว่าเป็นสูตรเดียวกับสูตรอย่างง่าย

สูตรเคมี (Chemical Formula)

ตัวอย่าง 2 สารประกอบชนิดหนึ่งมีธาตุ C, H และ O เป็นองค์ประกอบ นำสารนี้ 0.375 กรัม มาเผาจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ CO_2 0.516 กรัม และ น้ำ 0.421 กรัม จงคำนวณหา

ก) สูตรเอมพิริกัลของสารประกอบชนิดนี้

ข) สูตรโมเลกุล เมื่อสารประกอบนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 64.028

วิธีทำ

ก) CO_2 หนัก 44.099 กรัม ประกอบด้วย C หนัก 12.011 กรัม

ดังนั้น CO_2 หนัก 0.516 กรัม จะประกอบด้วย C หนัก $\left(\frac{12.011}{44.009}\right) \times 0.516$ กรัม

= 0.141 กรัม

สูตรเคมี (Chemical Formula)

H_2O หนัก 18.001 กรัม ประกอบด้วย H หนัก 2.002 กรัม

ดังนั้น H_2O หนัก 0.421 กรัม จะประกอบด้วย H หนัก $\left(\frac{2.002}{18.001}\right)$ x 0.421 กรัม

= 0.0468 กรัม

น้ำหนักของออกซิเจนในสารประกอบนี้ = น้ำหนักสารประกอบ – น้ำหนัก C – น้ำหนัก H

= 0.375 – 0.141 – 0.0468 กรัม = 0.187 กรัม

อัตราส่วนโดยโมลของอะตอม C : H : O = $\frac{0.141}{12.001} : \frac{0.0468}{1.001} : \frac{0.187}{15.999}$

= 0.0117 : 0.0468 : 0.0117 = 1 : 4 : 1

ดังนั้น สูตรเอมพิริกัลของสารประกอบนี้ คือ CH_4O

สูตรเคมี (Chemical Formula)

ข) $(CH_4O)_n = 64.028$

$(12.011 + 4.004 + 15.999)\, n = 64.028$

$$n = \frac{64.028}{32.014} = 2$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้ คือ $C_2H_8O_2$

สูตรเคมี (Chemical Formula)

ตัวอย่าง 3 ถ้ามีแก๊ส NO_2 หนัก 7.48 กรัม และกำหนดมวลอะตอมของ N = 14.0, O = 16.0 จงคำนวณหา

ก) จำนวนโมลของ NO_2 ข) จำนวนโมเลกุลของ NO_2

ค) จำนวนโมลของแต่ละธาตุในแก๊ส NO_2 ปริมาณดังกล่าว ง) จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุ

วิธีทำ ก) มวลโมเลกุลของ $NO_2 = 14.0 + (2 \times 16.0) = 46.0$

$$\text{จำนวนโมลของ } NO_2 = \frac{7.48}{46.0} = 0.1626 \text{ โมล}$$

ข) แก๊ส NO_2 1 โมล มีจำนวน $= 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล

ดังนั้น แก๊ส NO_2 0.1626 โมล จะมีจำนวน $= 0.1626 \times 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล

สูตรเคมี (Chemical Formula)

ค) แก๊ส NO_2 1 โมเลกุล ประกอบด้วย N 1 อะตอม และ O 2 อะตอม

ถ้า แก๊ส NO_2 1 โมลโมเลกุล จะประกอบด้วย N 1 โมลอะตอม และ O 2 โมลอะตอม

ดังนั้น แก๊ส NO_2 0.1626 โมล จะประกอบด้วย N 0.1626 โมล

และ O $0.1626 \times 2 = 0.3252$ โมล

ง) จากข้อ ค N 0.1626 โมล จะมีจำนวน $= 0.1626 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

$= 9.7885 \times 10^{22}$ อะตอม

O 0.3252 โมล จะมีจำนวน $= 0.3252 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

$= 1.9577 \times 10^{23}$ อะตอม

สมการเคมี (Chemical Equation)

ปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) = การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือองค์ประกอบของสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง

สารที่เข้าทำปฏิกิริยา → **ตัวทำปฏิกิริยา** (reactant)

สารที่เกิดขึ้นใหม่ → **สารผลิตภัณฑ์** (product)

ปฏิกิริยาเขียนแทนด้วย **สมการเคมี (Chemical equation)** ;

$reactant_1 + reactant_2 + \ldots\ldots \longrightarrow product_1 + product_2 + \ldots\ldots$

สมการเคมีที่สมบูรณ์ – ระบุสถานะของสาร (s, l, g หรือ aq)

สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย = aqueous)

– ดุลจำนวนอะตอมและประจุตามกฎทรงมวล

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

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

สมการเคมี (Chemical Equation)

สมการเคมี แบ่งการเขียนได้เป็น 2 ชนิด คือ **สมการแบบโมเลกุล** และ **สมการไอออนิก**

*1) **สมการแบบโมเลกุล*** จะแสดงสูตรโมเลกุลของสารในปฏิกิริยา

มีหลักในการดุลสมการโดยทั่วไป ดังนี้

- เริ่มจากโมเลกุลใหญ่สุดหรือมีจำนวนธาตุมากที่สุดก่อน
- ดุลธาตุที่เป็นโลหะแล้วตามด้วยอโลหะ (ยกเว้น H และ O)
- ดุล H และดุล O ตามลำดับ
- ตรวจดูว่าทุกธาตุในสมการดุลครบแล้ว (บางครั้งอาจต้องดุลซ้ำ)

ตัวอย่าง เช่น $KCl\ (s) + O_2(g) \longrightarrow KClO_3\ (s)$ ..... (2.1)

- เริ่มจากโมเลกุลใหญ่สุด คือ $KClO_3$ โดยดุลธาตุที่เป็นโลหะใน $KClO_3$ คือ K → **ดุลอยู่แล้ว**

สมการเคมี (Chemical Equation)

$KCl\ (s) + O_2(g) \longrightarrow KClO_3\ (s)$ ..... (2.1)

- ดุลธาตุที่เป็นอโลหะใน $KClO_3$ คือ Cl → **ดุลอยู่แล้ว**
- ดุลธาตุ O โดย เติม 3 หน้า O_2, เติม 2 หน้า $KClO_3$
- ตรวจดูธาตุทุกธาตุในสมการให้ดุล ซึ่ง K และ Cl ยังไม่ดุล → ต้องเติม 2 หน้า KCl

จะได้สมการที่ดุลแล้ว ดังนี้, $2\ KCl\ (s) + 3\ O_2(g) \longrightarrow 2\ KClO_3\ (s)$

ตัวอย่างอีก 1 ปฏิกิริยา คือ

$Ba(NO_3)_2\ (aq) + K_2SO_4\ (aq) \longrightarrow BaSO_4\ (s) + KNO_3\ (aq)$ ..... (2.2)

เมื่อดุลสมการแล้ว จะได้ $Ba(NO_3)_2\ (aq) + K_2SO_4\ (aq) \longrightarrow BaSO_4\ (s) + 2\ KNO_3\ (aq)$

สมการเคมี (Chemical Equation)

2) สมการไอออนิก

นิยมเขียนแสดงปฏิกิริยาที่มีสารประกอบไอออนิกซึ่งแตกตัวเป็นไอออนในสารละลายได้ โดยในบางครั้งอาจเขียนเฉพาะส่วนของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา สำหรับสารที่ไม่ละลาย สารที่ตกตะกอน หรือแก๊ส ให้เขียนเป็นสูตรโมเลกุล

เช่น จากสมการ (2.2) ข้างต้น ;

$Ba(NO_3)_2\ (aq) + K_2SO_4\ (aq) \longrightarrow BaSO_4\ (s) + KNO_3\ (aq)$

อาจเขียนเป็นสมการไอออนิกที่ดุลแล้วได้ดังนี้ ;

$Ba^{2+}\ (aq) + 2\ NO_3^-\ (aq) + 2\ K^+\ (aq) + SO_4^{2-}\ (aq) \longrightarrow BaSO_4\ (s) + 2\ KNO_3\ (aq)$

$2\ K^+\ (aq) + 2\ NO_3^-\ (aq)$

สมการเคมี (Chemical Equation)

- สมการแสดงปฏิกิริยาเคมี อาจแบ่งตามชนิดของปฏิกิริยาอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ชนิด คือ

(1) ปฏิกิริยาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุหรืออะตอม เช่น ปฏิกิริยาสะเทินกรด-เบส ปฏิกิริยาการตกตะกอน เป็นต้น ---> มักเขียนเป็นสมการแบบโมเลกุล เช่น

$H_2SO_4\ (aq) + 2\ NaOH\ (aq) \longrightarrow Na_2SO_4\ (aq) + 2\ H_2O\ (l)$

$AgNO_3\ (aq) + NaCl\ (aq) \longrightarrow AgCl\ (s) + NaNO_3\ (aq)$

(2) ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุหรืออะตอม หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน) ---> ปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนระหว่างสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

มักเขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นแบบสมการไอออนิก เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน เช่น

สมการเคมี (Chemical Equation)

$Zn\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + Cu\ (s)$ **ประกอบด้วย**

1) $Zn\ (s) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2\ e^-$ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ให้ e^-)

2) $Cu^{2+}\ (aq) + 2\ e^- \longrightarrow Cu\ (s)$ ปฏิกิริยารีดักชัน (รับ e^-)

– *ตัวอย่างการกำหนดเลขออกซิเดชัน มีดังนี้*

ชนิดของธาตุ	เลขออกซิเดชัน	ตัวอย่าง
1) ธาตุอิสระ (ไม่ได้รวมกับธาตุอื่นเกิดเป็นสารประกอบ)	0	O_2, Na, Cl_2, He, P_4, S_8
2) F ในสารประกอบฟลูออไรด์	–1	HF, KF, OF_2, SiF_4
3) O ในสารประกอบทั่วไป	–2	H_2O, Li_2O, H_2SO_4, $KMnO_4$
ยกเว้น O ในสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (peroxide)	–1	Na_2O_2, H_2O_2, K_2O_2
O ในสารประกอบซูเปอร์ออกไซด์	–1/2	KO_2, NaO_2, LiO_2
	+2	OF_2

สมการเคมี (Chemical Equation)

ชนิดของธาตุ	เลขออกซิเดชัน	ตัวอย่าง
4) H ในสารประกอบทั่วไป	+1	H_2O, NH_3, HCl, H_2S, PH_4
ยกเว้น H ในสารประกอบไฮไดรด์ (hydride)	–1	CaH_2, NaH, LiH

5) ธาตุทั่วไปในสารประกอบมีเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุในรูปของไอออนของธาตุ เช่น

Cl^- มีเลขออกซิเดชัน –1 O^{2-} มีเลขออกซิเดชัน –2

Na^+ มีเลขออกซิเดชัน +1 Mg^{2+} มีเลขออกซิเดชัน +2

Al^{3+} มีเลขออกซิเดชัน +3

6) ผลบวกของเลขออกซิเดชันในสารประกอบ = 0

สมการเคมี (Chemical Equation)

– *ตัวอย่างการหาค่าเลขออกซิเดชันของธาตุบางตัวในสารประกอบ เช่น*

$KClO_3$ เลขออกซิเดชันของ Cl = ?

เลขออกซิเดชันของ K = +1, O = –2

K + Cl + 3O = 0

(+1) + Cl + 3 (–2) = 0

Cl = +5

$Ba(NO_3)_2$ เลขออกซิเดชันของ N = ?

เลขออกซิเดชันของ Ba = +2, O = –2

Ba + 2N + 6O = 0

(+2) + 2N + 6 (–2) = 0

N = +5

2.6 การคำนวณจากสมการเคมี

สมการเคมีที่ดุลแล้ว → ตัวเลขที่อยู่หน้าสารแสดงถึง จำนวนโมลของสารที่ทำปฏิกิริยากันพอดี และ จำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปริมาณสัมพันธ์ต่าง ๆ

การคำนวณจากสมการเคมี

– *ตัวอย่างเช่น*

ปฏิกิริยา $2\ KCl + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ KClO_3$

อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 2 โมล : 3 โมล : 2 โมล

อัตราส่วนโดยมวลเท่ากับ 2 x 74.6 กรัม : 3 x 32.0 กรัม : 2 x 122.6 กรัม

อัตราส่วนจำนวนโมเลกุลเท่ากับ

$2 \times 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล : $3 \times 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล : $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล

อัตราส่วนโดยปริมาตร เมื่อสถานะเป็นแก๊สที่ STP เท่ากับ

2 x 22.4 ลิตร : 3 x 22.4 ลิตร : 2 x 22.4 ลิตร

– จากความสัมพันธ์ ทำให้สามารถคำนวณปริมาณสารที่ไม่ทราบค่า และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่พึงได้จากปฏิกิริยา

การคำนวณจากสมการเคมี

- **สารกำหนดปริมาณ**

สารกำหนดปริมาณ *(Limiting agent) = สารที่ถูกใช้หมดไปในการทำปฏิกิริยาและเป็นตัวกำหนดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น*

– สารจะเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกันในอัตราส่วนโดยโมลที่แน่นอน (ตามสมการเคมีที่ดุลแล้ว)

– ถ้าใช้ปริมาณสารตั้งต้นมากเกินพอ → จะมีสารหนึ่งที่เข้าทำปฏิกิริยาจนหมด และอีกสารหนึ่งเหลือหลังจากเกิดปฏิกิริยา

เช่น ถ้าให้ H_2 3 โมล ทำปฏิกิริยากับ O_2 1 โมล ได้ผลิตภัณฑ์คือ H_2O จงหาว่าสารใดเป็นสารกำหนดปริมาณและจะได้ H_2O เกิดขึ้นกี่โมล

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ $2\,H_2\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$

การคำนวณจากสมการเคมี

$2\,H_2\,(g) + O_2\,(g) \longrightarrow 2\,H_2O\,(l)$

จากโจทย์ ใช้จำนวนโมลของสารเท่ากับ	3 โมล	1 โมล	
แต่จากสมการ จำนวนโมลในปฏิกิริยาเป็น	2 โมล	1 โมล	2 โมล
ดังนั้น หลังการเกิดปฏิกิริยา	**เหลือ**	**หมด**	

จะได้ว่า สารกำหนดปริมาณ คือ ก๊าซ O_2 และได้ H_2O เกิดขึ้น 2 โมล

**** การคำนวณทางปริมาณสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ จำเป็นต้องดุลสมการก่อนเสมอ ****

โจทย์ทางปริมาณสัมพันธ์ มักถามความสัมพันธ์ในหน่วยต่าง ๆ ด้วย เช่น จำนวนโมล, จำนวนโมเลกุล, น้ำหนัก, ปริมาตรของก๊าซ เป็นต้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การคำนวณจากสมการเคมี

ตัวอย่าง 4 กระบวนการหมักน้ำตาลโดยใช้ยีสต์จะได้แอลกอฮอล์เกิดขึ้น ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ยีสต์}} C_2H_5OH + CO_2$$

ถ้าใช้น้ำตาล 500 กรัม จะได้แอลกอฮอล์เกิดขึ้นกี่กรัม และได้ก๊าซ CO_2 กี่ลิตรที่ STP

วิธีทำ จากโจทย์ ต้องดุลสมการเคมีก่อน และจะได้ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ยีสต์}} 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$$

แสดงว่า ในกระบวนการหมัก ถ้าใช้ $C_6H_{12}O_6$ 1 โมล จะได้ C_2H_5OH 2 โมล และ CO_2 2 โมล เป็นผลิตภัณฑ์

น้ำตาล 500 กรัม คิดเป็นจำนวนโมล $= \dfrac{500 \text{ กรัม}}{\text{มวลโมเลกุลของ } C_6H_{12}O_6} = \dfrac{500 \text{ กรัม}}{180 \text{ กรัม / โมล}}$

$= 2.78$ โมล

การคำนวณจากสมการเคมี

จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว ใช้น้ำตาล 1 โมล จะได้แอลกอฮอล์เกิดขึ้น 2 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้น้ำตาล 2.78 โมล จะได้แอลกอฮอล์ เท่ากับ

$2 \times 2.78 = 5.56$ โมล x มวลโมเลกุล $C_2H_5OH = 5.56$ โมล x 46 กรัม / โมล

$= 255.78$ กรัม

และได้ปริมาตรก๊าซ $CO_2 = 5.56$ โมล x ปริมาตรก๊าซ 1 โมลที่สภาวะ STP

$= 5.56$ โมล x 22.4 ลิตร ที่สภาวะ STP

$= 124.54$ ลิตร ที่สภาวะ STP

ปริมาณสัมพันธ์

การคำนวณจากสมการเคมี

ตัวอย่าง 5

จากสมการ $2\ Ca_3(PO_4)_2 + 6\ SiO_2 + 10\ C \longrightarrow 6\ CaSiO_3 + 10\ CO + P_4$

จงหา ก) จำนวนโมเลกุลของ SiO_2 จากสมการแสดงปฏิกิริยา

ข) ถ้าได้ $CaSiO_3$ 1 โมล จะได้ P_4 เกิดขึ้นกี่โมล

ค) ถ้าใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ 1 โมล จะได้ P_4 เกิดขึ้นกี่กรัม

ง) ถ้าใช้ SiO_2 100 กรัม จะได้ CO เกิดขึ้นกี่กรัม

จ) จงหามวลของ O ใน $CaSiO_3$ 100 กรัม

วิธีทำ **ก) จำนวนโมเลกุลของ SiO_2**

SiO_2 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล

จากสมการ SiO_2 6 โมล จะมีจำนวน $= 6 \times 6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล $= 36.12 \times 10^{23}$ โมเลกุล

ปริมาณสัมพันธ์

การคำนวณจากสมการเคมี

ข) ถ้าได้ $CaSiO_3$ 1 โมล จะได้ P_4 เกิดขึ้นกี่โมล

จากสมการ ได้ $CaSiO_3$ 6 โมล และได้ P_4 1 โมล

ถ้าได้ $CaSiO_3$ 1 โมล จะได้ $P_4 = \frac{1}{6}$ โมล $= 0.167$ โมล

ค) ถ้าใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ 1 โมล จะได้ P_4 เกิดขึ้นกี่กรัม (มวลอะตอม P = 30.97)

จากสมการ ใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ 2 โมล จะเกิด P_4 1 โมล $= 30.97 \times 4 = 123.88$ กรัม

ถ้าใช้ $Ca_3(PO_4)_2$ 1 โมล จะเกิด $P_4 = \frac{123.88}{2}$ กรัม $= 61.94$ กรัม

ปริมาณสัมพันธ์

การคำนวณจากสมการเคมี

ง) ถ้าใช้ SiO_2 100 กรัม จะได้ CO เกิดขึ้นกี่กรัม

(มวลโมเลกุล SiO_2 = 60.09, CO = 28.01)

จากสมการ ใช้ SiO_2 360.54 กรัม (6 โมล) เกิด CO 280.10 กรัม (10 โมล)

ถ้าใช้ SiO_2 100 กรัม เกิด $CO = \frac{280.10}{360.54} \times 100$ กรัม $= 77.69$ กรัม

จ) จงหามวลของ O ใน $CaSiO_3$ 100 กรัม (มวลโมเลกุล $CaSiO_3$ = 116.17)

ใน $CaSiO_3$ จำนวน 116.17 กรัม มี O 48.00 กรัม

ถ้าใน $CaSiO_3$ จำนวน 100 กรัม มี $O = \frac{48.00}{116.17} \times 100$ กรัม $= 41.32$ กรัม

ปริมาณสัมพันธ์

การคำนวณจากสมการเคมี

- **ผลผลิตร้อยละ หรือ เปอร์เซ็นต์ผลผลิต**

ผลผลิตร้อยละ หรือ เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield)

$$= \frac{\text{ปริมาณผลผลิตจริง } (actual\ yield)}{\text{ปริมาณผลผลิตตามทฤษฎี } (theoretical\ yield)} \times 100\ \%$$

ผลผลิตจริง (actual yield) → ผลผลิตที่ได้จากการทดลอง

ผลผลิตตามทฤษฎี (theoretical yield) → ผลผลิตที่มากที่สุดที่ได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสมบูรณ์

**** ปริมาณผลผลิตต่าง ๆ อาจเป็นจำนวนโมล หน่วยน้ำหนัก หรือหน่วยปริมาตรก็ได้ แต่ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน ****

การคำนวณจากสมการเคมี

ตัวอย่าง 6 จากสมการต่อไปนี้ $C_2H_5OH + PBr_3 \longrightarrow C_2H_5Br + H_3PO_3$

ก) จงทำสมการให้ดุล

ข) ถ้าใช้ PBr_3 5.42 กรัม จะได้ C_2H_5Br อย่างมากที่สุดกี่กรัม

ค) เมื่อทำการทดลองพบว่าได้ C_2H_5Br 4.30 กรัม จงหาผลผลิตร้อยละของสารนี้

(กำหนด มวลโมเลกุล PBr_3 = 270.67, C_2H_5Br = 108.9)

วิธีทำ

ก) ดุลสมการเคมีได้ดังนี้

$$3\ C_2H_5OH + PBr_3 \longrightarrow 3\ C_2H_5Br + H_3PO_3$$

การคำนวณจากสมการเคมี

ข) ใช้ PBr_3 5.42 กรัม คิดเป็นจำนวนโมล $= \frac{5.42}{270.67} = 0.02$ โมล

จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว ใช้ PBr_3 1 โมล จะได้ C_2H_5Br เกิดขึ้น 3 โมล

ดังนั้น ถ้าใช้ PBr_3 0.02 โมล จะได้ C_2H_5Br เท่ากับ $3 \times 0.02 = 0.06$ โมล $\times$ 108.9

$= 6.534$ กรัม

ค) จากการทดลองได้ C_2H_5Br 4.30 กรัม

ดังนั้น ผลผลิตร้อยละของ $C_2H_5Br = \frac{\text{น้ำหนัก } \boldsymbol{C_2H_5Br} \text{ จากการทดลอง}}{\text{น้ำหนัก } \boldsymbol{C_2H_5Br} \text{ ตามทฤษฎี}} \times 100\ \%$

$= \frac{4.30}{6.534} \times 100 = 65.81\ \%$

การคำนวณจากสมการเคมี

- *กฎเกี่ยวกับน้ำหนัก*

1.1) **กฎทรงมวล** (law of conservation of mass)

– อองตวน โลรอง ลาวัวซิเยร์ (AntoinLaurent Lavoisier, ค.ศ.1774) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ทดลองเผาสารเมอร์คิวรี(II)ออกไซด์ (HgO) ในหลอดปิดพบว่าได้ปรอทและออกซิเจน ดังสมการ

$$2\ HgO\ (s) \longrightarrow Hg\ (l) + O_2(g)$$

– ผลการทดลองพบว่า มวลของสารทั้งหมดก่อนเกิดปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังเกิดปฏิกิริยา

– ทดลองทำหลายๆ ครั้งก็ได้ผลเช่นเดิม

การคำนวณจากสมการเคมี

– สรุปเป็นกฎเรียกว่า **กฎทรงมวล**

"ในปฏิกิริยาเคมีใดๆ มวลของสารทั้งหมดก่อนเกิดปฏิกิริยาเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังเกิดปฏิกิริยา"

– ตัวอย่างเช่น เมื่อให้แก๊สไฮโดรเจน (H_2) 4 กรัมทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) 32 กรัม จะเกิดน้ำ 36 กรัม

– นำโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) 142 กรัม มาทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 208 กรัม เกิดโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 117 กรัม ถ้าการทดลองนี้เป็นไปตามกฎทรงมวลปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) กี่กรัม

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 \longrightarrow BaSO_4 + NaCl$$

การคำนวณจากสมการเคมี

<u>วิธีทำ</u>

1) มวลของสารทั้งหมดก่อนเกิดปฏิกิริยาคือ

มวลของโซเดียมซัลเฟต + มวลของแบเรียมคลอไรด์ = 142 + 208 = 350 กรัม

2) มวลของสารทั้งหมดหลังเกิดปฏิกิริยาคือ

มวลของโซเดียมคลอไรด์ + มวลของแบเรียมซัลเฟต = 117 + x กรัม

มวลของสารทั้งหมดก่อนเกิดปฏิกิริยา = มวลของสารทั้งหมดหลังเกิดปฏิกิริยา

350 = 117 + x

เกิด $BaSO_4$ = x = 350 – 117 = 233 กรัม

การคำนวณจากสมการเคมี

1.2) กฎสัดส่วนคงที่ (law of constant proportions)

– ปี ค.ศ. 1802 โจเซฟ เพราสต์ (Joseph Prouste) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ทำการทดลองและศึกษาปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวกับการรวมตัวของธาตุเป็นสารประกอบ

– พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่รวมกันเป็นสารประกอบหนึ่งๆ จะมีค่าคงที่

– ต่อมาได้ตั้งเป็นกฎเรียกว่า **<u>กฎสัดส่วนคงที่</u>**

"เมื่อธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบ อัตราส่วนโดยมวลธาตุที่เป็นองค์ประกอบนั้นย่อมมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าสารประกอบนั้นจะเตรียมขึ้นโดยวิธีใดหรือจะเตรียมกี่ครั้งก็ตาม"

การคำนวณจากสมการเคมี

– ตัวอย่างเช่น เมื่อธาตุไฮโดรเจนรวมตัวกับธาตุออกซิเจนเป็นน้ำ อัตราส่วนโดยมวลของไฮโดรเจนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:8 เสมอ ไม่ว่าจะเตรียมน้ำโดยวิธีใดๆ หรือกี่ครั้งก็ตาม

ตารางที่ 1 *แสดงการรวมตัวระหว่าง H กับ O เป็น H_2O เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่*

การทดลอง	มวลของธาตุที่ใช้ (กรัม)		มวลของธาตุที่เหลือ (กรัม)		มวลของ H_2O	อัตราส่วนโดยมวลของ H : O
	H	O	H	O		
1	2	16	-	-	18	1 : 8
2	3	16	1	-	18	1 : 8
3	4	16	2	-	18	1 : 8
4	4	32	-	-	36	1 : 8
5	4	40	-	8	36	1 : 8
6	4	50	-	18	36	1 : 8

- ***ตัวอย่างโจทย์การคำนวณ***

1) CH_3OH 1 โมล มี H กี่โมลอะตอม กี่โมเลกุล

2) CH_3OH 64 กรัม มีกี่โมล และมีกี่โมเลกุล

3) CH_3OH 64 กรัม มี O หนักกี่กรัม

4) CH_3OH มี H เป็นองค์ประกอบคิดเป็นร้อยละเท่าใด

5) $Zn + HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2$

5.1) อัตราส่วนโดยโมลของ Zn : HCl : $ZnCl_2$: H_2 ในสมการเคมีที่ดุลแล้วคือ

5.2) จะต้องใช้ Zn กี่กรัมจึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl 36.5 กรัม (มวลอะตอม Zn = 65 กรัมต่อโมล)

5.3) จากข้อ 5.2 จะเกิด H_2 กี่ลิตรที่ STP