เอกสารประกอบการบรรยาย
วิชา คม 100 เคมีทั่วไป

ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry)

- ❑ อะตอม โมเลกุล และไอออน
- ❑ น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล
- ❑ สูตรเคมี การคำนวณสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุล
- ❑ โมล
- ❑ สมการเคมี
- ❑ การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี
- ❑ สารกำหนดปริมาณ
- ❑ ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

อาจารย์ ดร. วีรินท์รดา ทะปะละ
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
(http://www.science.mju.ac.th/chemistry/)

1. อะตอม โมเลกุล และไอออน

อะตอม (Atom) : อนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้

- อะตอม ประกอบด้วย โปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) และ อิเล็กตรอน (electron)
  (โปรตอน + นิวตรอน = นิวเคลียส (nucleus))
- จำนวนโปรตอนภายในนิวเคลียส เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number) : Z
- ผลบวกของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอน เรียกว่า เลขมวล (mass number): A = Z + N
- อะตอมที่เป็นกลาง จำนวนโปรตอนจะเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

สัญลักษณ์ของอะตอม $^{A}_{Z}X$

$^{27}_{13}Al \Rightarrow$ โปรตอน = 13, นิวตรอน = 27-13 = 14, อิเล็กตรอน = 13

- อะตอมของธาตุที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทป (isotope) เช่น ไฮโดรเจน มี 3 ไอโซโทป คือ $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$

โมเลกุล (Molecule) : หน่วยโครงสร้างที่เล็กที่สุดของธาตุหรือสารประกอบที่สามารถอยู่ได้โดยอิสระ และยังคงมีสมบัติของธาตุหรือสารประกอบนั้นๆ โดยสมบูรณ์

- ❑ โมเลกุลอะตอมเดี่ยว (Monoatomic molecule): 1 โมเลกุล ประกอบด้วย 1 อะตอม
  เช่น แก๊สมีตระกูลหรือแก๊สเฉื่อย (noble or inert gas) ได้แก่ He, Ne, Kr, Xe และ Rn

- ❑ โมเลกุลอะตอมคู่ (Diatomic molecule): 1 โมเลกุล ประกอบด้วย 2 อะตอม
  - Homonuclear molecule เช่น H_2, N_2, O_2, F_2
  - Heteronuclear molecule เช่น HCl, CO, HF

- ❑ โมเลกุลหลายอะตอม (Polyatomic molecule): โมเลกุลที่มีมากกว่า 2 อะตอม ขึ้นไป
  - Homonuclear molecule เช่น S_8, P_4
  - Heteronuclear molecule เช่น H_2O, CH_4, $C_6H_{12}O_6$

ไอออน (Ion) : อะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่มีประจุบวกหรือประจุลบ

- ❑ ไอออนลบ (negative ion หรือ anion): อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่เป็นกลางรับอิเล็กตรอนมาเพิ่ม ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอน (ประจุลบ) มากกว่าจำนวนโปรตอน (ประจุบวก)
  เช่น F^- Cl^- O^{2-} SO_4^{2-} PO_4^{3-}

$_{17}Cl$

อะตอม Cl	ไอออน Cl^-
17 โปรตอน	17 โปรตอน
17 อิเล็กตรอน	18 อิเล็กตรอน

- ❑ ไอออนบวก (positive ion หรือ cation): อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่เป็นกลางเสียอิเล็กตรอนไป ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอน (ประจุลบ) น้อยกว่าจำนวนโปรตอน (ประจุบวก)
  เช่น Na^+ Ca^{2+} NH_4^+

$_{11}Na$

อะตอม Na	ไอออน Na^+
11 โปรตอน	11 โปรตอน
11 อิเล็กตรอน	10 อิเล็กตรอน

2. น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล

น้ำหนักอะตอมหรือมวลอะตอม (Atomic mass)

- เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กมาก อะตอมเบาที่สุดมีมวลประมาณ 1.6×10^{-24} กรัม และอะตอมที่หนักที่สุดมีมวลประมาณ 250 เท่าของมวลนี้เท่านั้น ทำให้ไม่สามารถชั่งมวลของอะตอมโดยตรงได้ จึงไม่นิยมใช้มวลที่แท้จริง (absolute mass) แต่นิยมใช้มวลเปรียบเทียบ (relative mass) เรียกว่า น้ำหนักอะตอม

- ค.ศ. 1961 ใช้ ^{12}C ซึ่งเป็นไอโซโทปหนึ่งของธาตุคาร์บอนเป็นมาตรฐาน และได้กำหนด atomic mass unit (amu) ขึ้น (ต่อมาได้เรียกหน่วย amu เป็น Dalton, D)
  โดยนิยามว่าเป็น "$\frac{1}{12}$ ของมวลของ ^{12}C" ดังนั้น มวลอะตอมของ ^{12}C = 12.00 D

$$1\ D\ (1\ amu) = 1.66053 \times 10^{-24}\ กรัม$$

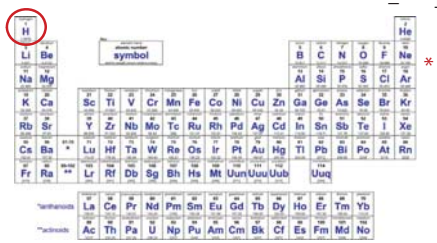
- น้ำหนักอะตอมของธาตุเป็นมวลเฉลี่ยของบรรดาไอโซโทปที่มีปรากฏในธรรมชาติของธาตุนั้นเปรียบเทียบกับมวลของธาตุมาตรฐาน

- ในธรรมชาติธาตุเกือบทั้งหมดมีไอโซโทป เช่น ไฮโดรเจนมี 2 ไอโซโทป คือ ^{1}H และ ^{2}H ดังนั้น น้ำหนักอะตอมของธาตุที่ใช้จึงเป็นน้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของไอโซโทปของธาตุนั้นๆ โดยเฉลี่ยตามอัตราส่วนของปริมาณของไอโซโทปที่มีปรากฏจริงๆ ในธรรมชาติ

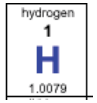
ตัวอย่าง ธาตุไฮโดรเจนในธรรมชาติมี ^{1}H = 99.985% และ ^{2}H = 0.015% โดยมีน้ำหนักอะตอม 1.0078 amu และ 2.0141 amu ตามลำดับ

ดังนั้น น้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของ H $= \left(\frac{99.985 \times 1.0078\ amu}{100}\right) + \left(\frac{0.015 \times 2.0141\ amu}{100}\right)$

$= 1.0079\ amu$



* น้ำหนักอะตอมที่ปรากฏในตารางธาตุ



น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลโมเลกุล (Molecular mass/Molecular weight: MW)

"ผลรวมของมวลอะตอมทุกอะตอมที่มีอยู่ในโมเลกุล"

ตัวอย่าง

- H_2O

มวลโมเลกุลของ H_2O = 2(มวลอะตอม H) + มวลอะตอม O
= 2(1.008 amu) + 16.00 amu
= 18.02 amu

- $C_6H_{12}O_6$

มวลโมเลกุลของ $C_6H_{12}O_6$ = 6(มวลอะตอม C) + 12(มวลอะตอม H) + 6(มวลอะตอม O)
= 6(12.01 amu) + 12(1.008 amu) + 6(16.00 amu)
= 180.16 amu

3. สูตรเคมี (Chemical formula)

"กลุ่มสัญลักษณ์ของธาตุหรือสารประกอบ ซึ่งบอกถึงองค์ประกอบของโมเลกุล รวมถึงสัดส่วนที่อะตอมรวมตัวกัน"

- **สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล** (Empirical formula)

"สูตรที่บอกถึงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้น"

เช่น $H_2O \Rightarrow H : O = 2 : 1$ ∴ สูตรอย่างง่าย คือ H_2O

$C_6H_{12}O_6 \Rightarrow C : H : O = 6 : 12 : 6$ หรือ $1 : 2 : 1$ ∴ สูตรอย่างง่าย คือ CH_2O

- **สูตรโมเลกุล** (Molecular formula)

"สูตรที่บอกถึงจำนวนอะตอมที่แท้จริงในโมเลกุลนั้น"

เช่น H_2O ประกอบด้วย H 2 อะตอม และ O 1 อะตอม
$C_6H_{12}O_6$ ประกอบด้วย C 6 อะตอม, H 12 อะตอม และ O 6 อะตอม

- **สูตรโครงสร้าง** (Structural formula)

"สูตรที่แสดงถึงการเชื่อมต่อ (การเกิดพันธะ) ของอะตอมในสารนั้น" เช่น $H_2O \Rightarrow$

การคำนวณสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุล

- ต้องทราบว่าสารประกอบนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุว่ามีอยู่เท่าใด และน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุด้วย

- เมื่อได้สูตรเอมพิริกัลแล้ว จะสามารถคำนวณหาสูตรโมเลกุลได้เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ

สูตรโมเลกุล = $(\text{สูตรเอมพิริกัล})_n$ โดย n = 1, 2, 3, ...

ตัวอย่าง จากการวิเคราะห์สารประกอบชนิดหนึ่ง พบว่าประกอบด้วยกำมะถันและออกซิเจนมีร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันเป็น 50.05 และออกซิเจน 49.95 ถ้าน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 64 จงคำนวณหาสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้
(น้ำหนักอะตอมของ S = 32 และ O = 16)

วิธีทำ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ S : O = 50.05 : 49.95

อัตราส่วนโดยโมลของอะตอม S : O (หารด้วยน้ำหนักอะตอม) = $\frac{50.05}{32} : \frac{49.95}{16}$

= 1.56 : 3.12

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขน้อยๆ โดยการหารตลอดด้วย 1.56

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

S : O = 1 : 2

∴ สูตรอย่างง่าย คือ SO_2

วิธีทำ (ต่อ) จากสูตรอย่างง่าย คือ SO_2

สูตรโมเลกุล เป็น $(SO_2)_n$

จะได้ว่า $(SO_2)_n = 64$

$[\,32 + 16(2)\,]_n = 64$

$(64)_n = 64$

$n = 1$

∴ สูตรโมเลกุล คือ SO_2

ตัวอย่าง สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วย C 40.1%, H 6.6% และ O 53.3% ถ้าน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนี้มีค่าเท่ากับ 180 จงคำนวณหาสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุล
(น้ำหนักอะตอมของ C = 12.01, H = 1.008 และ O = 16.00)

4. โมล (Mole)

"โมล (mole หรือ mol) เป็นหน่วยที่ใช้ในการบอกปริมาณสาร"

- 1 โมล มีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค (อะตอม/ไอออน/โมเลกุล)
  [6.0221367×10^{23} = เลขอาโวกาโดร (Avogadro's number: N_A)]
- 1 โมลของธาตุ (โมเลกุล) ใดๆ จะมีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักอะตอม (น้ำหนักโมเลกุล) ของธาตุ (โมเลกุล) นั้นๆ ในหน่วยเป็นกรัม

เช่น กำหนดน้ำหนักอะตอมของ H = 1, C = 12, O = 16

C 1 โมล $\Rightarrow$ C 6.02×10^{23} อะตอม $\Rightarrow$ C 12 กรัม

H_2O 1 โมล $\Rightarrow$ H_2O 6.02×10^{23} โมเลกุล $\Rightarrow$ H_2O 18 กรัม

H_2O 1 โมล $\Rightarrow$ H 6.02×10^{23} อะตอม

$\Rightarrow$ O $2(6.02 \times 10^{23})$ อะตอม = 1.20×10^{24} อะตอม

ตัวอย่าง ถ้ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หนัก 9.24 g จงคำนวณหา

ก. จำนวนโมลของ CO_2

ข. จำนวนโมเลกุลของ CO_2

ค. จำนวนโมลของแต่ละธาตุในคาร์บอนไดออกไซด์

ง. จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุ

กำหนดน้ำหนักอะตอมของ C = 12.0 และ O = 16.0

ตัวอย่าง กำหนดน้ำหนักอะตอมของ He = 4, Ca = 40, Cl = 35.5

He 0.5 โมล $\Rightarrow$ He 3.01×10^{23} อะตอม $\Rightarrow$ He 2 กรัม

$CaCl_2$ 2 โมล $\Rightarrow$ $CaCl_2$ $2(6.02) \times 10^{23}$ = 1.20×10^{24} โมเลกุล

$\Rightarrow$ Ca^{2+} 6.02×10^{23} ไอออน

$\Rightarrow$ Cl^- $2(6.02) \times 10^{23}$ = 1.20×10^{24} ไอออน

$\Rightarrow$ $CaCl_2$ 2(111) = 222 กรัม

$$n = \frac{N_A}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{g}{MW}$$

โดย
- n = จำนวนโมล
- N_A = จำนวนอนุภาค (อะตอม/ไอออน/โมเลกุล)
- g = น้ำหนักของสาร หน่วยเป็นกรัม
- MW = น้ำหนักอะตอมหรือน้ำหนักโมเลกุล

5. สมการเคมี

ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) เป็นกระบวนการที่สารหนึ่ง (หรือสารหลายชนิด) มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารชนิดใหม่หรือเป็นสารใหม่ได้มากกว่าหนึ่งชนิด

สมการเคมี (Chemical equation) เป็นสิ่งที่เขียนแทนปฏิกิริยาเคมี ซึ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน และชนิดของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยา

สารที่เข้าทำปฏิกิริยา	$\Rightarrow$	สารตั้งต้น (Reactant)	เขียนไว้ทาง "ซ้าย"
สารที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยา	$\Rightarrow$	สารผลิตภัณฑ์ (Product)	เขียนไว้ทาง "ขวา"
" $\rightarrow$ "	$\Rightarrow$	ทิศทางของปฏิกิริยา	
" + "	$\Rightarrow$	ทำปฏิกิริยากับ	
(s), (l), (g)	$\Rightarrow$	สถานะของสาร	เขียนต่อท้ายสารแต่ละตัว
(aq)	$\Rightarrow$	สารละลายในน้ำ (aqueous)	

สารตั้งต้น $\rightarrow$ สารผลิตภัณฑ์

ชนิดของสมการเคมี

❑ **สมการแบบโมเลกุล**

- แสดงปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของสาร
- สมการที่สมบูรณ์ ต้องมีจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุทั้งสองข้างของลูกศรเท่ากัน "ดุลสมการ"

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

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

❑ **สมการไอออนิก**

- เขียนเฉพาะไอออนและโมเลกุลที่จำเป็นและเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น
- นิยมใช้สำหรับปฏิกิริยาที่มีสารประกอบไอออนิกเข้ามาเกี่ยวข้อง

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

เนื่องจาก $NaCrO_2$ และ NaClO เป็นสารประกอบไอออนิก เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้ไอออน ดังนี้

$Na^+ + CrO^{2-} + Na^+ + ClO^- + Na^+ + OH^- \rightarrow 2Na^+ + CrO_4^{2-} + Na^+ + Cl^- + H_2O$

Na^+ ปรากฏอยู่ทั้งซ้ายมือและขวามือของสมการ แสดงว่าไม่ได้เข้าร่วมในการทำปฏิกิริยา

ดังนั้น สมการไอออนิกที่เขียนจึงไม่จำเป็นต้องเขียน Na^+ ไว้ด้วย ดังนี้

$CrO^{2-} + ClO^- + OH^- \rightarrow CrO_4^{2-} + Cl^- + H_2O$

สมการที่ดุลคือ

$2CrO^{2-} + 3ClO^- + 2OH^- \rightarrow 2CrO_4^{2-} + 3Cl^- + H_2O$

ชนิดของปฏิกิริยาเคมี

❑ **ปฏิกิริยาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน**

$HCl\ (aq) + NaOH\ (aq) \rightarrow NaCl\ (aq) + H_2O\ (l)$ "ปฏิกิริยาการสะเทินของกรดและเบส"

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

$2NaNO_3\ (aq) + H_2SO_4\ (aq) \rightarrow Na_2SO_4\ (aq) + 2HNO_3\ (aq)$

❑ **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์**
(Oxidation-reduction reaction: Redox reaction)

"ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของอะตอม $\Longrightarrow$ มีการให้และรับอิเล็กตรอน"

<u>การกำหนดเลขออกซิเดชัน</u>

- ธาตุอิสระทุกชนิดทั้งที่อยู่ในรูปอะตอมหรือโมเลกุล มีเลขออกซิเดชันเท่ากับศูนย์
  เช่น Fe, Zn, H_2, N_2, O_2, P_4, S_8
- ไอออนของธาตุมีเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของไอออนนั้น
  เช่น H^+ เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1
  Ca^{2+} เลขออกซิเดชันเท่ากับ +2
  Cl^- เลขออกซิเดชันเท่ากับ -1
- ออกซิเจนในสารประกอบทั่วไปมีเลขออกซิเดชัน -2
  เช่น Na_2O_2, H_2O_2, BaO_2

  ยกเว้นในสารประกอบเปอร์ออกไซด์

  สารประกอบซูเปอร์ออกไซด์ เช่น KO_2 ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชัน -1/2

  ประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น K_2O_2, K_2O_2 ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชัน -1

<u>การกำหนดเลขออกซิเดชัน</u> (ต่อ)

- ไฮโดรเจนในสารประกอบทั่วไปมีเลขออกซิเดชัน +1 ยกเว้นในสารประกอบโลหะไฮไดรด์

  เช่น H_2O, NH_3, HCl

  ยกเว้นในสารประกอบโลหะไฮไดรด์

  เช่น NaH, LiH ไฮโดรเจนมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1

- ในสารประกอบใดผลรวมของเลขออกซิเดชันของทุกอะตอมเท่ากับศูนย์

  เช่น CaO เลขออกซิเดชันของแคลเซียมเท่ากับ +2 ของออกซิเจนเท่ากับ -2

  ซึ่งรวมกันจะเท่ากับ 0

- ไอออนที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 1 ชนิด ผลรวมของเลขออกซิเดชันของทุกอะตอมเท่ากับประจุของไอออนนั้น

  เช่น $Cr_2O_7^{2-}$ มีประจุ -2 ผลรวมของเลขออกซิเดชันของ $Cr_2O_7^{2-}$ จึงเท่ากับ -2

  (ออกซิเจนมีประจุ -2 $\Rightarrow$ (-2) × 6 = -12 ดังนั้นเลขออกซิเดชันของโครเมียมจึงเท่ากับ +5)

- ธาตุหมู่ IA และ IIA มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียว คือ +1 และ +2 ตามลำดับ

<u>ตัวอย่างที่</u> จงหาเลขออกซิเดชันของ Mn ในสารประกอบ $KMnO_4$

ผลรวมเลขออกซิเดชันของ KMnO4 = 0

K + Mn + 4(O) = 0

(+1) + Mn + 4(-2) = 0

Mn = (+8) – 1

Mn = +7

<u>ตัวอย่างที่</u> ตัวอย่างที่ 2 จงหาเลขออกซิเดชันของ Cr ในสารประกอบ $K_2Cr_2O_7$

ผลรวมเลขออกซิเดชันของ $K_2Cr_2O_7$ = 0

2K + 2Cr + 7(O) = 0

2(+1) + 2Cr + 7(-2) = 0

Cr = [(14) – 2] / 2

Cr = +6

<u>ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์</u>

(Oxidation-reduction reaction: Redox reaction)

"ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของอะตอม $\Rightarrow$ มีการให้และรับอิเล็กตรอน"

$Zn\ (s) + CuSO_4\ (s) \rightarrow Cu\ (s) + ZnSO_4\ (aq)$

หรือเขียนเป็นสมการไอออนิก ดังนี้

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

0 +2 0 +2

แยกสมการเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา (half reaction)

$Zn\ (s) \rightarrow Zn^{2+}\ (aq)$ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน $\Rightarrow$ ให้อิเล็กตรอน

$Cu^{2+}\ (aq) \rightarrow Cu\ (s)$ ปฏิกิริยารีดักชัน $\Rightarrow$ รับอิเล็กตรอน

<u>ตัวอย่างปฏิกิริยารีดอกซ์</u>

+3 -2 +2 0

$2FeCl_3 + H_2S \rightarrow 2FeCl_2 + 2HCl + S$

+3 +3 +4 +2

$SnCl_2 + 2FeCl_3 \rightarrow SnCl_4 + 2FeCl_2$

+3 +5 +6 -1 0

$2Cr^{3+} + ClO_3^- + 10OH^- \rightarrow 2CrO_4^{2-} + Cl^- + 5H2O$

6. การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี

"สมการเคมีที่จะใช้สำหรับการคำนวณต้องเป็น**สมการที่ดุลแล้ว**"

วิธีการดุลสมการเคมีทั่วไป

- ระบุว่าสารใดเป็นสารตั้งต้น และสารใดเป็นสารผลิตภัณฑ์
- เขียนสูตรเคมีที่ถูกต้องของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งสูตรเคมีนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ดุลสมการโดยหาตัวเลขสัมประสิทธิ์มาเติมข้างหน้าสูตรเคมี เพื่อทำให้อะตอมชนิดเดียวกันทั้งซ้ายและขวาของสมการมีจำนวนเท่ากัน
- ให้คิดไอออนที่เป็นกลุ่มอะตอมเปรียบเสมือนหนึ่งหน่วย ถ้าไอออนนั้นไม่แตกกลุ่มออกมาในปฏิกิริยา
- ตรวจสอบอีกครั้งว่าถูกต้องโดยมีจำนวนอะตอมชนิดเดียวกันเท่ากันทั้งสองข้าง

"สมการเคมีที่ดุลแล้ว จะบอกให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณ **(โมล)** ของสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และสามารถคำนวณปริมาณของผลิตผลที่พึงได้จากปฏิกิริยานั้น"

ตัวอย่างการดุลสมการ

- จงดุลสมการ $KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$

$KClO_3 \rightarrow KCl + 3/2O_2$

คูณ 2 ตลอดทั้งสมการเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเลขจำนวนเต็ม

$2KClO_3 \rightarrow 2KCl + 3O_2$

- จงดุลสมการ $C_2H_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$

(1) $C_2H_6 + O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$

(2) $C_2H_6 + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

(3) $C_2H_6 + 7/2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

คูณ 2 ตลอดทั้งสมการ $\Rightarrow 2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$

การคำนวณปริมาณของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์

$$n = \frac{N_A}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{g}{MW} = \frac{V}{22.4}$$

ปริมาตรแก๊ส (L) ที่ STP (0 °C, 1 atm)

$CaC_{2\,(s)}$	+ $2H_2O_{\,(l)}$	→ $Ca(OH)_{2\,(aq)}$	+ $C_2H_{2\,(g)}$	
1	2	1	1	โมล
6.02×10^{23}	$2(6.02 \times 10^{23})$	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}	โมเลกุล
64.0	2(18) =36.0	74.0	26.0	กรัม
-	-	-	22.4	ลิตร ที่STP

(มวลอะตอม H=1.0, C = 12.0, = 16.0, Ca = 40.0)

ตัวอย่าง จากสมการ $CaC_{2\,(s)} + H_2O_{\,(l)} \rightarrow Ca(OH)_{2\,(aq)} + C_2H_{2\,(g)}$

ถ้าใช้ CaC_2 2.5 mol ทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีปริมาณมากเกินพอ

ก. จะได้ C_2H_2 กี่โมล

ข. จะได้ C_2H_2 กี่กรัม

ค. ได้ C_2H_2 กี่ลิตร ที่ STP

ง. น้ำทำปฏิกิริยาไปกี่โมลและกี่กรัม

(กำหนดมวลอะตอมของ H=1, C = 12 = 16, Ca = 40)

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

2.5 2(2.5) = 5 2.5 2.5 โมล

$\therefore$ จะได้ C_2H_2 = 2.5 โมล

= 2.5 × 26 = 65 กรัม

= 2.5 × 22.4 = 56 ลิตร ที่ STP

น้ำทำปฏิกิริยา = 2 × 2.5 = 5 โมล

= 5 × 18 = 90 กรัม

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้สังกะสีกี่โมลและกี่กรัมทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ จึงจะให้แก๊สไฮโดรเจน 0.224 ลิตร ที่ STP ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

$$Zn + HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$$

(กำหนดมวลอะตอมของ H=1.0, Cl = 35.5, Zn = 65.4)

วิธีทำ

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

? mol 0.224 L ที่ STP

หา mol H_2 จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{0.224}{22.4} = 0.0100$ mol

จากสมการ H_2 1 mol ผลิตจาก Zn 1 mol

∴ H_2 0.0100 mol ผลิตจาก Zn 0.0100 mol

เปลี่ยนเป็นกรัม Zn 1 mol หนักเท่ากับ 65.4 g

∴ Zn 0.0100 mol หนักเท่ากับ $\frac{65.4 \times 0.0100}{1} = 0.654$ g

จาก $n = \frac{g}{MW} \Rightarrow g = n \times MW = 0.0100 \times 65.4 = 0.654$ g

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้ลิเทียมกี่กรัม เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจน 9.89 กรัม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $Li(s) + H_2O(l) \rightarrow LiOH(aq) + H_2(g)$

(กำหนดมวลอะตอมของ Li = 6.94, H=1.0, O = 16.0)

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้แก๊สออกซิเจนกี่ลิตร จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สอีเทน 25.0 ลิตร ที่ STP ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

$$C_2H_6 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

(กำหนดมวลอะตอมของ H=1.0, C = 12.0, O = 16.0)

วิธีทำ

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

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

25.0 L ? L

หา mol C_2H_6 จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{25.0}{22.4} = 1.12$ mol

จากสมการ C_2H_6 2 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 7 mol

∴ C_2H_6 1.12 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 $\frac{7 \times 1.12}{2} = 3.92$ mol

เปลี่ยนเป็นลิตร O_2 1 mol มีปริมาตรเท่ากับ 22.4 L

∴ O_2 3.92 mol มีปริมาตรเท่ากับ $\frac{22.4 \times 3.92}{1} = 87.8$ L

จาก $n = \frac{V}{22.4} \Rightarrow V = n \times 22.4 = 3.92 \times 22.4 = 88.7$ L

7. สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

"เนื่องจากสารเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกันในอัตราส่วนโมลต่อโมลที่แน่นอน สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจึงเป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดผลผลิตได้อย่างมากที่สุดเท่าใด เราเรียกสารที่มีปริมาณน้อยนี้ว่าสารกำหนดปริมาณ (Limiting reactant)"

พิจารณาปฏิกิริยา $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$

หากมี NO 8 โมล และ O_2 7 โมล สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ NO 2 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 1 mol

∴ NO 8 mol ต้องทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 4 mol

NO ถูกใช้หมด O_2 เหลือ

หรือ

จากสมการ O_2 1 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ NO 2 mol

∴ O_2 7 mol ต้องทำปฏิกิริยาพอดีกับ NO 14 mol

ดังนั้น NO จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

นั่นคือ เมื่อ NO ถูกใช้ไปหมด จะไม่มีสารผลิตภัณฑ์ NO_2 เกิดขึ้นอีกเลย

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะเตรียมลิเทียมออกไซด์ได้กี่โมล จากลิเทียม 1.0 g และออกซิเจน 1.5 g สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ สารใดเหลือ และเหลือกี่กรัม

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $4Li + O_2 \rightarrow 2Li_2O$ (กำหนดมวลอะตอมของ Li = 6.9, O = 16.0)

หา mol Li จาก $n = \frac{g}{MW} = \frac{1.0\ g}{6.9\ g/mol} = 0.14$ mol

หา mol O_2 จาก $n = \frac{g}{MW} = \frac{1.5\ g}{32.0\ g/mol} = 0.047$ mol

พิจารณาจากสมการ Li 4 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 1 mol

$\therefore$ Li 0.14 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 $\frac{0.14 \times 1}{4} = 0.035$ mol

ดังนั้น Li จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

O_2 เหลือเท่ากับ 0.047 – 0.035 = 0.012 mol = 0.012 mol × 32.0 g/mol

= 0.38 g

ตัวอย่าง จากปฏิกิริยา $2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$

ในกระบวนการเชื่อมโลหะ หากใช้ Al 124 g ทำปฏิกิริยากับ Fe_2O_3 601 g

จงคำนวณ ก. น้ำหนักของ Al_2O_3 ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

ข. น้ำหนักของสารที่เหลือหลังสิ้นสุดปฏิกิริยา (Al = 27.0, Fe = 55.8, O = 16.0)

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าเกิด H_2O กี่กรัม จากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจน 11.2 L และออกซิเจน 11.2 L ที่ STP (กำหนดมวลอะตอมของ H = 1.0, O = 16.0)

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

หา mol H_2 จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{11.2}{22.4} = 0.500$ mol

หา mol O_2 จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{11.2}{22.4} = 0.500$ mol

พิจารณาจากสมการ H_2 2 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 1 mol

$\therefore$ H_2 0.500 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 $\frac{0.500 \times 1}{2} = 0.250$ mol

ดังนั้น H_2 จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ H_2 2 mol จะทำให้เกิด H_2O เท่ากับ 2 mol

$\therefore$ H_2 0.500 mol จะทำให้เกิด H_2O เท่ากับ 0.500 mol

= 0.500 mol × 18.0 g/mol

= 9.00 g

8. ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

❑ **ผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield)**

ปริมาณของผลผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้มากที่สุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว

❑ **ผลผลิตแท้จริง (Actual yield)**

ปริมาณของผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งวัดหรือชั่งได้จากการทดลอง

$$\text{ผลผลิตร้อยละ (\%yield)} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

ตัวอย่าง เมื่อนำ C_2H_4 1.93 กรัม มาเผาไหม้กับออกซิเจนที่มากเกินพอ พบว่าเกิด CO_2 เกิดขึ้น 3.44 กรัม จงคำนวณผลผลิตร้อยละของ CO_2 นี้ (C = 12.0, H = 1.0, O = 16.0)

$$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

หา mol C_2H_4 จาก $n = \frac{g}{MW} = \frac{1.93}{28.0} = 0.0689$ mol

พิจารณาจากสมการ C_2H_4 1 mol จะทำให้เกิด CO_2 เท่ากับ 2 mol

$\therefore$ C_2H_4 0.0689 mol จะทำให้เกิด CO_2 เท่ากับ $0.0689 \times 2 = 0.138$ mol

คิดเป็นน้ำหนักของ CO_2 เท่ากับ $0.138 \text{ mol} \times 44.0 \text{g/mol} = 6.07$ g

$$\text{ผลผลิตร้อยละ (\%yield)} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

$$= \frac{3.44}{6.07} \times 100$$

$$= 56.7\ \%$$

ตัวอย่าง จงหาปริมาณผลผลิตตามทฤษฎี (กรัม) ของทองแดงที่ได้จากการแยกคอปเปอร์ (I) ซัลไฟด์ (Cu_2S) 1590 กรัม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

$$Cu_2S + O_2 \rightarrow 2Cu + SO_2$$ (Cu = 63.5, S = 32.0, O = 16.0)

ถ้าในการทดลองได้ทองแดง 1200 กรัม จงคำนวณผลผลิตร้อยละของทองแดงนี้ (1270g, 94.5%)

แบบฝึกหัดทบทวนท้ายบท

1. สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนชนิดหนึ่ง มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 30.4% จงหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารนี้ หากมวลโมเลกุลของสารนี้มีค่าเท่ากับ 92.04

2. กรดฟอสฟอริก (H3PO4) 0.05 โมล (H = 1.0, O = 16.0, P = 31.0)
   - ประกอบด้วยกรดฟอสฟอริกกี่โมเลกุล
   - ประกอบด้วย H, P และ O อย่างละกี่อะตอม
   - มีน้ำหนักกี่กรัม

3. ไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (N_2O_5) 25.0 g มีอะตอมไนโตรเจนกี่โมล กี่อะตอม และกี่กรัม

4. จงดุลสมการต่อไปนี้
   - $ZnS + HCl \rightarrow ZnCl2 + H2S$
   - $Na_2S_2O + I_2 \rightarrow NaI + Na_2S_4O_6$
   - $C_4H_{10} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
   - $ZnS + O2 \rightarrow ZnO + SO_2$

5. การใช้ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาล เป็นไปตามสมการ

   $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + CO_2$ (C = 12.0, H = 1.0, O = 16.0)

   ถ้าใช้น้ำตาล 500 g จะได้แอลกอฮอล์กี่กรัม และแก๊สคาบอนไดออกไซด์กี่ลิตร ที่ STP

6. เอทิลีนโบรไมด์ ($C_2H_4Br_2$) ทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับตะกั่ว (Pb) ดังสมการ

   $C_2H_4Br_2 + Pb + O_2 \rightarrow PbBr_4 + CO_2 + H_2O$

   ถ้าใช้ $C_2H_4Br_2$ 0.80 mol ทำปฏิกิริยากับ Pb 145.0 g และมีออกซิเจนมากเกินพอ
   - สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
   - มีสารใดเหลือและเหลือกี่กรัม
   - O_2 ถูกใช้ไปกี่โมล
   - มี CO_2 เกิดขึ้นกี่ลิตร STP
   - ถ้า $PbBr_4$ ที่รวบรวมได้จากการทดลองมีเพียง 190.0 g จงหาผลผลิตร้อยละของสารนี้ (C = 12.0, H = 1.0, O = 16.0, Pb = 207.0, Br = 79.9)