

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิชา คม 101 หลักเคมี 1

ปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry)

- อะตอม โมเลกุล ไอออน และสูตรเคมี
- น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล
- การคำนวณสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุลโมล
- โมล
- สมการเคมี
- การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี
- สารกำหนดปริมาณ
- ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

อาจารย์ ดร. วีรินทร์ดา ทะปะละ


สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

(<http://www.science.mju.ac.th/chemistry/>)

(<http://www.appliedchem.mju.ac.th/>)

1. อะตอม โมเลกุล ไอออน และสูตรเคมี

อะตอม (Atom) : อนุภาคที่เล็กที่สุดของธาตุที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีได้

- อะตอม ประกอบด้วย โปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) และ อิเล็กตรอน (electron)


นิวเคลียส (nucleus)
- จำนวนโปรตอนภายในนิวเคลียส เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number) : Z
- ผลบวกของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอน เรียกว่า เลขมวล (mass number): $A = Z + N$
- อะตอมที่เป็นกลาง จำนวนโปรตอนจะเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

สัญลักษณ์ของอะตอม



โปรตอน = 13

นิวตรอน = $27 - 13 = 14$

อิเล็กตรอน = 13

- อะตอมของธาตุที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทป (isotope) เช่น ไฮโดรเจน มี 3 ไอโซโทป คือ ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$

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) : อะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่มีประจุ

- 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 ทำให้มีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าจำนวนโปรตอน

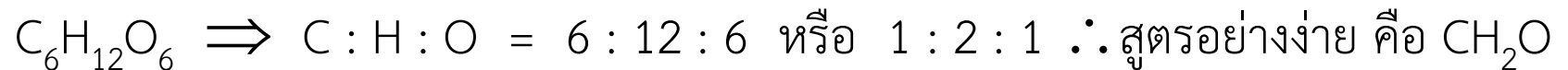
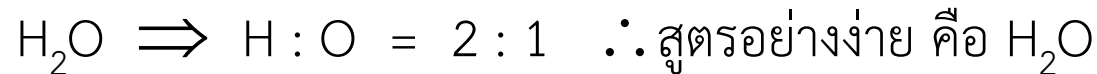
เช่น Na^+ Ca^{2+} NH_4^+

$_{11}Na$

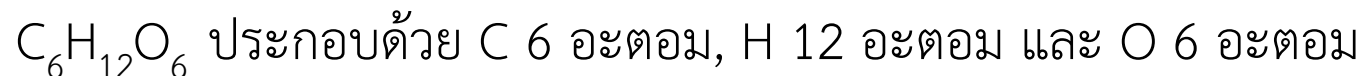
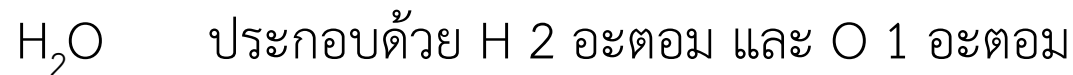
อะตอม Na	ไอออน Na^+
11 โปรตอน	11 โปรตอน
11 อิเล็กตรอน	10 อิเล็กตรอน

สูตรเคมี (Chemical formular) : กลุ่มสัญลักษณ์ของธาตุหรือสารประกอบ

- สูตรเอมพิริคัล (Empirical formula): กลุ่มสัญลักษณ์ที่เขียนแทนอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมที่ประกอบขึ้นเป็นสารประกอบนั้น เช่น

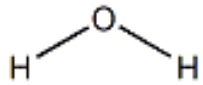
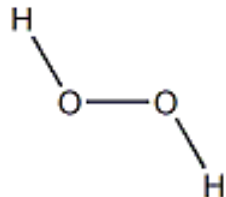
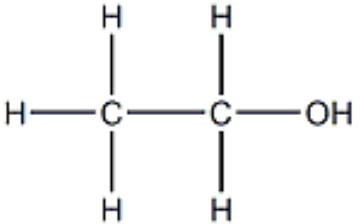
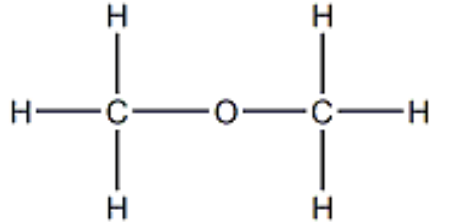


- สูตรโมเลกุล (Molecular formula): กลุ่มสัญลักษณ์ที่เขียนแทนธาตุหรือสารประกอบเพื่อแสดงว่าธาตุหรือสารประกอบนั้น 1 โมเลกุล ประกอบด้วยธาตุอะไบบ้าง อย่างละกี่อะตอม เช่น



$$\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n \text{ เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots$$

- สูตรโครงสร้าง (Structural formula): สูตรโมเลกุลที่เขียนแสดงการเชื่อมต่อ (การเกิดพันธะ) ของอะตอมในโมเลกุลนั้น

สารประกอบ	สูตรเอมพิริคัล	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง
น้ำ	H_2O	H_2O	
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	HO	H_2O_2	
เอทานอล	C_2H_6O	C_2H_6O	
ไดเมทิลอีเทอร์	C_2H_6O	C_2H_6O	

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 $^{12}\text{C} = 12.00 \text{ D}$
$$1 \text{ D (1 amu)} = 1.66053 \times 10^{-24} \text{ กรัม}$$
- น้ำหนักอะตอมของธาตุเป็นมวลเฉลี่ยของบรรดาไอโซโทปที่มีปรากฏในธรรมชาติของธาตุนั้นเปรียบเทียบกับมวลของธาตุมาตรฐาน

□ ในธรรมชาติธาตุเกือบทั้งหมดมีไอโซโทป เช่น ไฮโดรเจนมี 2 ไอโซโทป คือ ^1H และ ^2H ดังนั้น น้ำหนักอะตอมของธาตุที่ใช้จึงเป็นน้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของไอโซโทปของธาตุนั้นๆ โดยเฉลี่ยตามอัตราส่วนของปริมาณของไอโซโทปที่มีปรากฏจริงๆ ในธรรมชาติ

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

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

= 1.0079 amu

Key: element name, atomic number, symbol

hydrogen 1 1.0079	helium 2 4.0026
lithium 3 6.941	beryllium 4 9.0122
boron 5 10.811	carbon 6 12.011
nitrogen 7 14.007	oxygen 8 15.999
fluorine 9 18.998	neon 10 20.180
sodium 11 22.990	magnesium 12 24.305
aluminum 13 26.982	silicon 14 28.086
phosphorus 15 30.974	sulfur 16 32.065
chlorine 17 35.453	argon 18 39.948
potassium 19 39.098	calcium 20 40.078
scandium 21 44.956	titanium 22 47.887
vanadium 23 50.942	chromium 24 51.996
manganese 25 54.938	iron 26 55.845
cobalt 27 58.933	nickel 28 58.693
copper 29 63.546	zinc 30 65.38
gallium 31 69.723	germanium 32 72.61
arsenic 33 74.922	selenium 34 78.96
bromine 35 79.904	krypton 36 83.80
rubidium 37 85.468	strontium 38 87.62
yttrium 39 88.906	zirconium 40 91.224
niobium 41 92.906	molybdenum 42 95.94
technetium 43 [98]	ruthenium 44 101.07
rhodium 45 102.91	silver 46 107.87
cadmium 47 112.41	indium 48 114.82
tin 49 118.71	antimony 50 121.76
tellurium 51 127.60	iodine 52 126.90
xenon 54 131.29	barium 56 137.33
caesium 55 132.91	lanthanum 57 138.91
cesium 55 132.91	cerium 58 140.12
barium 56 137.33	praseodymium 59 140.91
potassium 39 39.098	neodymium 60 144.24
calcium 20 40.078	europium 61 151.96
scandium 21 44.956	gadolinium 62 157.25
titanium 22 47.887	terbium 63 158.93
vanadium 23 50.942	dysprosium 64 162.50
chromium 24 51.996	holmium 65 164.93
manganese 25 54.938	erbium 66 167.26
iron 26 55.845	thulium 67 168.93
cobalt 27 58.933	ytterbium 68 173.04
nickel 28 58.693	lutetium 69 174.97
copper 29 63.546	berkelium 97 [247]
zinc 30 65.38	californium 98 [251]
gallium 31 69.723	einsteinium 99 [252]
germanium 32 72.61	fermium 100 [257]
arsenic 33 74.922	mendelevium 101 [258]
selenium 34 78.96	nobelium 102 [259]
bromine 35 79.904	lawrencium 103 [260]
krypton 36 83.80	actinoids
rubidium 37 85.468	actinoids
strontium 38 87.62	actinoids
yttrium 39 88.906	actinoids
zirconium 40 91.224	actinoids
niobium 41 92.906	actinoids
molybdenum 42 95.94	actinoids
ruthenium 44 101.07	actinoids
rhodium 45 102.91	actinoids
silver 46 107.87	actinoids
cadmium 47 112.41	actinoids
indium 48 114.82	actinoids
tin 49 118.71	actinoids
antimony 50 121.76	actinoids
tellurium 51 127.60	actinoids
iodine 52 126.90	actinoids
xenon 54 131.29	actinoids
barium 56 137.33	actinoids
lanthanum 57 138.91	actinoids
cerium 58 140.12	actinoids
praseodymium 59 140.91	actinoids
neodymium 60 144.24	actinoids
europium 61 151.96	actinoids
gadolinium 62 157.25	actinoids
terbium 63 158.93	actinoids
dysprosium 64 162.50	actinoids
holmium 65 164.93	actinoids
erbium 66 167.26	actinoids
thulium 67 168.93	actinoids
ytterbium 68 173.04	actinoids
lutetium 69 174.97	actinoids
berkelium 97 [247]	actinoids
californium 98 [251]	actinoids
einsteinium 99 [252]	actinoids
fermium 100 [257]	actinoids
mendelevium 101 [258]	actinoids
nobelium 102 [259]	actinoids
lawrencium 103 [260]	actinoids

* น้ำหนักอะตอมที่ปรากฏในตารางธาตุ

hydrogen 1 H 1.0079

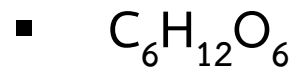
น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลโมเลกุล (Molecular mass/Molecular weight: MW)

“ผลบวกของน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุที่อยู่ในโมเลกุล”

ตัวอย่าง



$$\begin{aligned}\text{มวลโมเลกุลของ } \text{H}_2\text{O} &= 2(\text{มวลอะตอม H}) + \text{มวลอะตอม O} \\ &= 2(1.008 \text{ amu}) + 16.00 \text{ amu} \\ &= 18.02 \text{ amu}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{มวลโมเลกุลของ } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= 6(\text{มวลอะตอม C}) + 12(\text{มวลอะตอม H}) + 6(\text{มวลอะตอม O}) \\ &= 6(12.01 \text{ amu}) + 12(1.008 \text{ amu}) + 6(16.00 \text{ amu}) \\ &= 180.16 \text{ amu}\end{aligned}$$

3. การคำนวณสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุล

- ต้องทราบว่าสารประกอบนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุว่ามีอยู่เท่าใด และน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุด้วย
- เมื่อได้สูตรเอมพิริคัลแล้ว จะสามารถคำนวณหาสูตรโมเลกุลได้เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ

$$\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n ; n = 1, 2, 3, \dots$$

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

วิธีทำ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ S : O = 50.05 : 49.95

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

= 1.56 : 3.12

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขน้อยๆ โดยการหารตลอดด้วยเลขที่น้อยที่สุด คือ 1.56

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

S : O = 1 : 2

∴ สูตรอย่างง่าย คือ SO₂

วิธีทำ (ต่อ)

จากสูตรเอมพิริกัล คือ SO_2

สูตรโมเลกุล เป็น $(\text{SO}_2)_n$

$$\text{จะได้ว่า} \quad (\text{SO}_2)_n = 64$$

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

$$(64)_n = 64$$

$$n = 1$$

\therefore 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)
[$6.0221367 \times 10^{23} =$ 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

H₂O 1 โมล \Rightarrow H₂O 6.02×10^{23} โมเลกุล \Rightarrow H₂O 18 กรัม

H₂O 1 โมล \Rightarrow H 6.02×10^{23} อะตอม

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

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

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

CaCl₂ 2 โมล \Rightarrow CaCl₂ $2(6.02) \times 10^{23} = 1.20 \times 10^{24}$ โมเลกุล

\Rightarrow Ca²⁺ 6.02×10^{23} ไอออน

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

\Rightarrow CaCl₂ $2(111) = 222$ 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

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

5. สมการเคมี

ปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) เป็นกระบวนการที่สารหนึ่ง (หรือสารหลายชนิด) มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสารชนิดใหม่หรือเป็นสารใหม่ได้มากกว่าหนึ่งชนิด

สมการเคมี (Chemical equation) เป็นสิ่งที่เขียนแทนปฏิกิริยาเคมี ซึ่งบอกให้ทราบถึงชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน และชนิดของสารที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยา

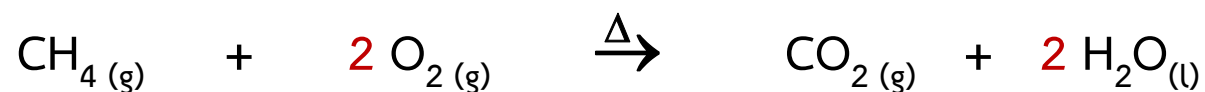
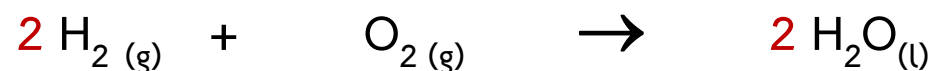
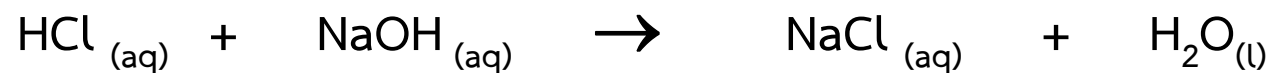
สารที่เข้าทำปฏิกิริยา	⇒	สารตั้งต้น (Reactant)	เขียนไว้ทาง “ซ้าย”
สารที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยา	⇒	สารผลิตภัณฑ์ (Product)	เขียนไว้ทาง “ขวา”
“ → ”	⇒	ทิศทางของปฏิกิริยา	
“ + ”	⇒	ทำปฏิกิริยากับ	
(s), (l), (g)	⇒	สถานะของสาร	เขียนต่อท้ายสารแต่ละตัว
(aq)	⇒	สารละลายในน้ำ (aqueous)	

สารตั้งต้น → สารผลิตภัณฑ์

สมการเคมี

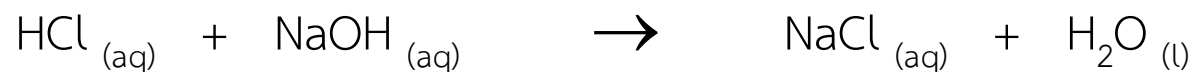
สมการที่สมบูรณ์ ต้องมีจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุทั้งสองข้างของลูกศรเท่ากัน

“ดุลสมการ”

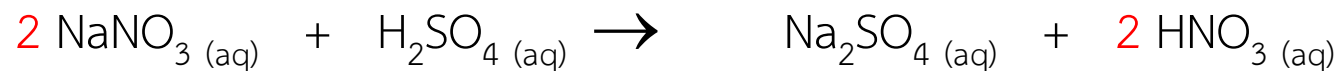
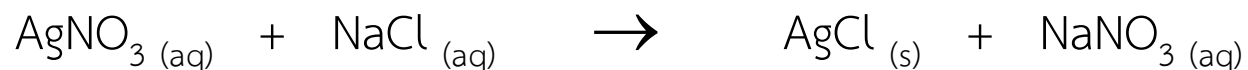


ปฏิกิริยาเคมี

□ ปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุหรืออะตอม



“ปฏิกิริยาการสะเทิน
ของกรดและเบส”



□ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์

(Oxidation-reduction reaction: Redox reaction)

“ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุหรืออะตอม \Rightarrow มีการให้และรับอิเล็กตรอน”

การกำหนดเลขออกซิเดชัน

- ธาตุอิสระทุกชนิดทั้งที่อยู่ในรูปอะตอมหรือโมเลกุล มีเลขออกซิเดชันเท่ากับศูนย์

เช่น Fe, Zn, H₂, N₂, O₂, P₄, S₈

- ไอออนของธาตุมีเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของไอออนนั้น

เช่น H⁺ เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1

Ca²⁺ เลขออกซิเดชันเท่ากับ +2

Cl⁻ เลขออกซิเดชันเท่ากับ -1

- ออกซิเจนในสารประกอบทั่วไปมีเลขออกซิเดชัน -2

เช่น Na₂O₂, H₂O₂, BaO₂

ยกเว้น สารประกอบซูเปอร์ออกไซด์ เช่น KO₂ ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชัน -1/2

สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น K₂O₂, Na₂O₂ ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชัน -1

การกำหนดเลขออกซิเดชัน (ต่อ)

- ไฮโดรเจนในสารประกอบทั่วไปมีเลขออกซิเดชัน +1
เช่น H_2O , NH_3 , HCl
ยกเว้น สารประกอบโลหะไฮไดรด์ ไฮโดรเจนมีเลขออกซิเดชัน -1 เช่น NaH , LiH
- ในสารประกอบใดผลรวมของเลขออกซิเดชันของทุกอะตอมเท่ากับศูนย์
เช่น CaO เลขออกซิเดชันของแคลเซียมเท่ากับ +2 และของออกซิเจนเท่ากับ -2
ซึ่งรวมกันจะเท่ากับ 0
- ไอออนที่ประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 1 ชนิด ผลรวมของเลขออกซิเดชันของทุกอะตอมเท่ากับประจุของไอออนนั้น
เช่น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ มีประจุ -2 ผลรวมของเลขออกซิเดชันของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ จึงเท่ากับ -2
เลขออกซิเดชันของออกซิเจน เท่ากับ -2 $\Rightarrow (-2) \times 7 = -14$
ดังนั้น เลขออกซิเดชันของโครเมียมจึงเท่ากับ +6
- ธาตุหมู่ IA และ IIA มีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียว คือ +1 และ +2 ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 1 จงหาเลขออกซิเดชันของ Mn ในสารประกอบ KMnO_4

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมเลขออกซิเดชันของ KMnO}_4 &= 0 \\ \text{K} + \text{Mn} + 4(\text{O}) &= 0 \\ (+1) + \text{Mn} + 4(-2) &= 0 \\ \text{Mn} &= (+8) - 1 \\ \text{Mn} &= +7 \end{aligned}$$

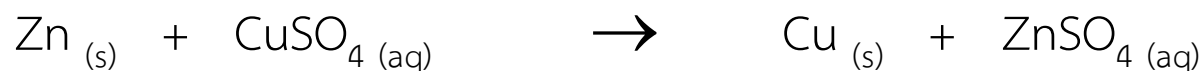
ตัวอย่างที่ 2 จงหาเลขออกซิเดชันของ Cr ในสารประกอบ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$$\begin{aligned} \text{ผลรวมเลขออกซิเดชันของ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &= 0 \\ 2\text{K} + 2\text{Cr} + 7(\text{O}) &= 0 \\ 2(+1) + 2\text{Cr} + 7(-2) &= 0 \\ \text{Cr} &= [(14) - 2] / 2 \\ \text{Cr} &= +6 \end{aligned}$$

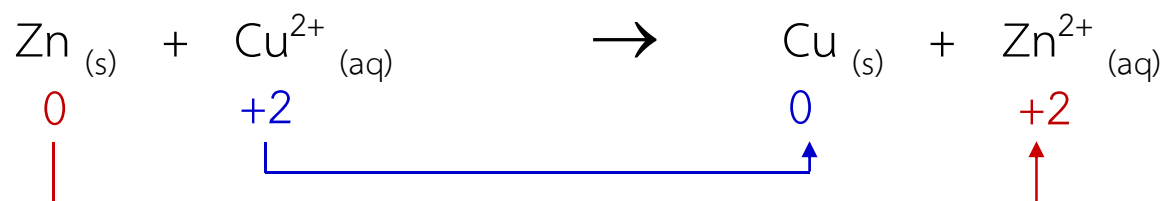
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์

(Oxidation-reduction reaction: Redox reaction)

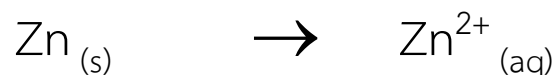
“ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของอะตอม \Rightarrow มีการให้และรับอิเล็กตรอน”



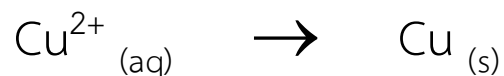
หรือเขียนเป็นสมการไอออนิก ดังนี้



แยกสมการเป็น 2 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา (half reaction)

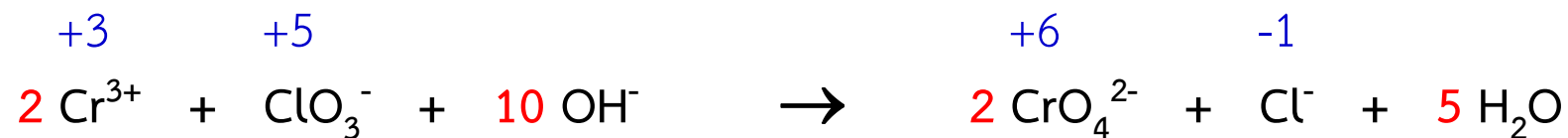
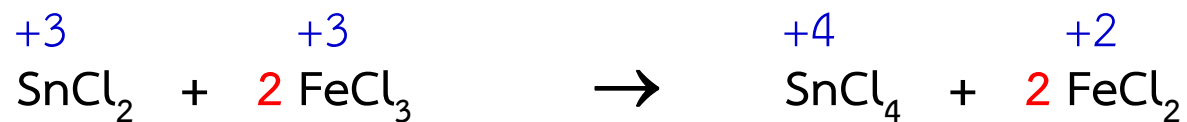
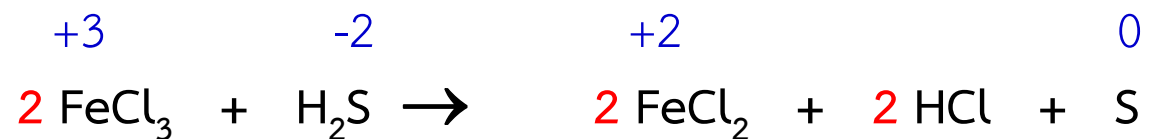


ปฏิกิริยาออกซิเดชัน \Rightarrow ให้อิเล็กตรอน



ปฏิกิริยารีดักชัน \Rightarrow รับอิเล็กตรอน

ตัวอย่างปฏิกิริยารีดอกซ์



6. การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี

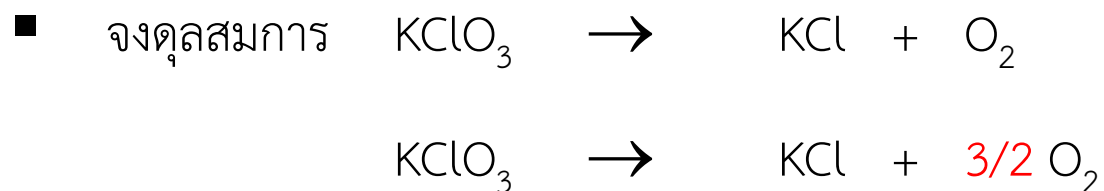
“สมการเคมีที่จะใช้สำหรับการคำนวณต้องเป็นสมการที่ดุลแล้ว”

วิธีการดุลสมการเคมีทั่วไป

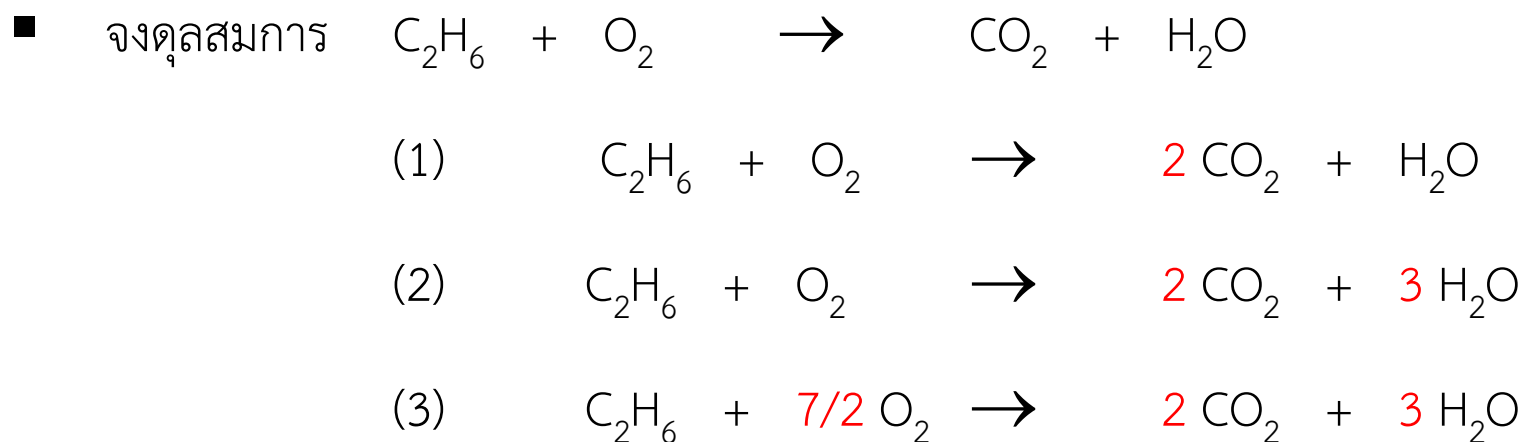
- ระบุว่าสารใดเป็นสารตั้งต้น และสารใดเป็นสารผลิตภัณฑ์
- เขียนสูตรเคมีที่ถูกต้องของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งสูตรเคมีนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ดุลสมการโดยหาตัวเลขสัมประสิทธิ์มาเติมข้างหน้าสูตรเคมี เพื่อให้อะตอมชนิดเดียวกัน ทั้งซ้ายและขวาของสมการมีจำนวนเท่ากัน
- ให้คิดไอออนที่เป็นกลุ่มอะตอมเปรียบเสมือนหนึ่งหน่วย ถ้าไอออนนั้นไม่แตกกลุ่มออกมาในปฏิกิริยา
- ตรวจสอบอีกครั้งว่าถูกต้องโดยมีจำนวนอะตอมชนิดเดียวกันเท่ากันทั้งสองข้าง

“สมการเคมีที่ดุลแล้ว จะบอกให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณ (โมล) ของสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และสามารถคำนวณปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานั้น”

ตัวอย่างการดุลสมการ



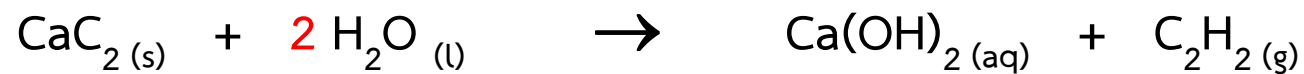
คูณ 2 ตลอดทั้งสมการเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเลขจำนวนเต็ม



การคำนวณปริมาณของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์

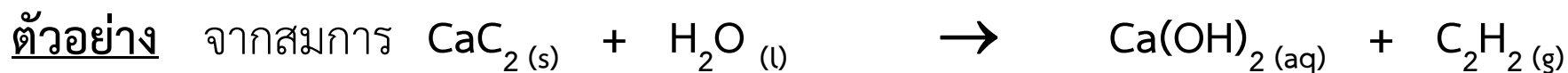
$$n = \frac{N_A}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{g}{MW} = \frac{V}{22.4}$$

ปริมาตรแก๊ส (L) ที่ STP (0 °C, 1 atm)



1	2	1	1	โมล
6.02×10^{23}	$2(6.02 \times 10^{23})$	6.02×10^{23}	6.02×10^{23}	โมลเอกุล
64.0	$2(18) = 36.0$	74.0	26.0	กรัม
-	-	-	22.4	ลิตร ที่ STP

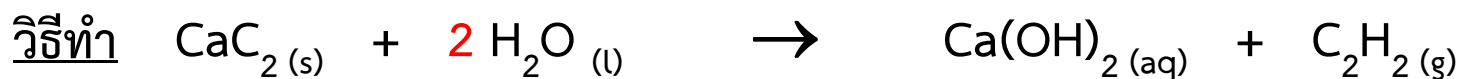
(กำหนดมวลอะตอม: H=1.0, C = 12.0, O = 16.0, Ca = 40.0)



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

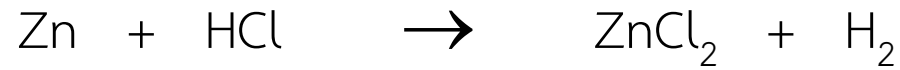
(กำหนดมวลอะตอม: H=1.0, C = 12.0, O = 16.0, Ca = 40.0)



2.5 2(2.5) = 5 2.5 2.5 โมล

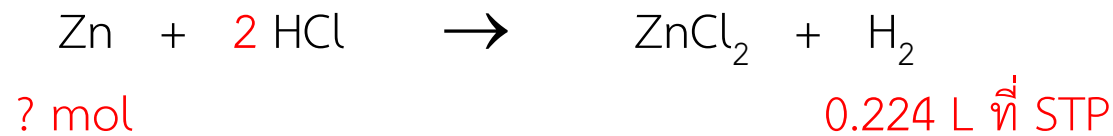
∴ จะได้ C_2H_2 = 2.5 โมล
 = $2.5 \times 26 = 65$ กรัม
 = $2.5 \times 22.4 = 56$ ลิตร ที่ STP
 น้ำทำปฏิกิริยา = $2 \times 2.5 = 5$ โมล
 = $5 \times 18 = 90$ กรัม

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้สังกะสีกี่โมลและกี่กรัมทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ จึงจะให้แก๊สไฮโดรเจน 0.224 ลิตร ที่ STP ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



(กำหนดมวลอะตอม: H=1.0, Cl = 35.5, Zn = 65.4)

วิธีทำ



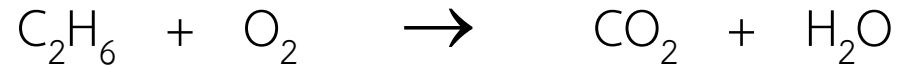
หา mol H₂ จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{0.224}{22.4} = 0.0100 \text{ mol}$

จากสมการ H₂ 1 mol ผลิตจาก Zn 1 mol
 ∴ H₂ 0.0100 mol ผลิตจาก Zn 0.0100 mol

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

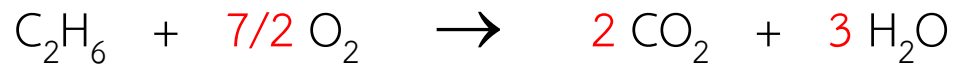
จาก $n = \frac{g}{\text{MW}} \Rightarrow g = n \times \text{MW} = 0.0100 \times 65.4 = 0.654 \text{ g}$

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้แก๊สออกซิเจนกี่ลิตร จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สอีเทน 25.0 ลิตร ที่ STP ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



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

วิธีทำ



หา mol C₂H₆

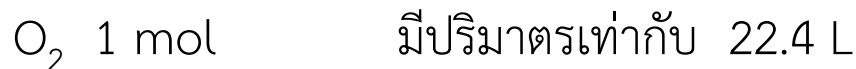
$$\text{จาก } n = \frac{V}{22.4} = \frac{25.0}{22.4} = 1.12 \text{ mol}$$

จากสมการ



$$\therefore \text{C}_2\text{H}_6 \ 1.12 \text{ mol} \quad \text{จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ } \text{O}_2 \ \frac{7 \times 1.12}{2} = 3.92 \text{ mol}$$

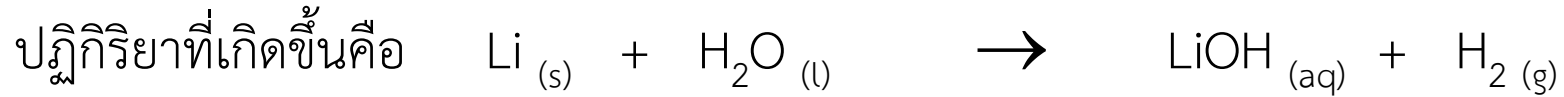
เปลี่ยนเป็นลิตร



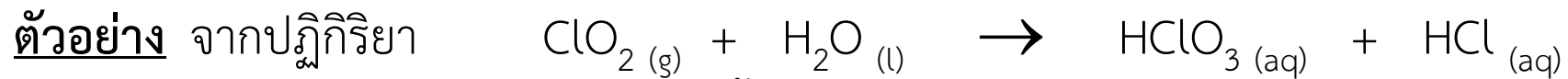
$$\therefore \text{O}_2 \ 3.92 \text{ mol} \quad \text{มีปริมาตรเท่ากับ } \frac{22.4 \times 3.92}{1} = 87.8 \text{ L}$$

$$\text{จาก } n = \frac{V}{22.4} \Rightarrow V = n \times 22.4 = 3.92 \times 22.4 = 87.8 \text{ L}$$

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้ลิเทียมกี่กรัม เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจน 9.89 กรัม



(กำหนดมวลอะตอม: Li = 6.94, H=1.0, O = 16.0)



ก. ถ้าใช้ ClO_2 14.3 g จะได้ HClO_3 เกิดขึ้นกี่โมล

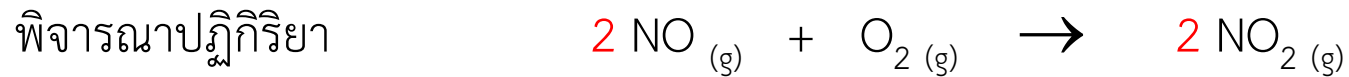
ข. ถ้าต้องการ HClO_3 5.74 g จะต้องใช้ H_2O กี่กรัม

ค. ถ้าผสม ClO_2 4.25 g กับ H_2O 0.85 g เข้าด้วยกัน จะได้ HClO_3 กี่กรัม

(กำหนดมวลอะตอม: Cl = 35.45, H=1.0, O = 16.0)

7. สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

“เนื่องจากสารเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกันในอัตราส่วนโมลต่อโมลที่แน่นอน สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจึงเป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดผลผลิตได้อย่างมากที่สุดเท่าใด เรียกว่าสารที่มีปริมาณน้อยนี้ว่าสารกำหนดปริมาณ (Limiting reactant)”



หากมี NO 8 โมล และ O₂ 7 โมล สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ NO 2 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ 1 mol
∴ NO 8 mol ต้องทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ 4 mol

หรือ

จากสมการ O₂ 1 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ NO 2 mol
∴ O₂ 7 mol ต้องทำปฏิกิริยาพอดีกับ NO 14 mol

NO ถูกใช้หมด

O₂ เหลือ

ดังนั้น NO จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

นั่นคือ เมื่อ NO ถูกใช้ไปหมด จะไม่มีสารผลิตภัณฑ์ NO₂ เกิดขึ้นอีกเลย

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะเตรียมลิเทียมออกไซด์ได้กี่โมล จากลิเทียม 1.0 g และออกซิเจน 1.5 g สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ สารใดเหลือ และเหลือกี่กรัม

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $4 \text{Li} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Li}_2\text{O}$ (กำหนดมวลอะตอม: Li = 6.9, O = 16.0)

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

หา mol O₂ จาก $n = \frac{g}{\text{MW}} = \frac{1.5 \text{ g}}{32.0 \text{ g/mol}} = 0.047 \text{ mol}$

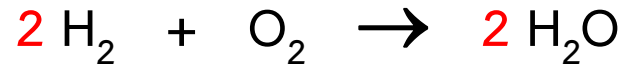
พิจารณาจากสมการ Li 4 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ 1 mol

\therefore Li 0.14 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ $\frac{0.14 \times 1}{4} = 0.035 \text{ mol}$

ดังนั้น Li จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

O₂ เหลือเท่ากับ $0.047 - 0.035 = 0.012 \text{ mol} = 0.012 \text{ mol} \times 32.0 \text{ g/mol} = 0.38 \text{ g}$

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าเกิด H₂O กี่กรัม จากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจน 11.2 L และออกซิเจน 11.2 L ที่ STP (กำหนดมวลอะตอมของ H = 1.0, O = 16.0)



หา mol H₂ จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{11.2}{22.4} = 0.500 \text{ mol}$

หา mol O₂ จาก $n = \frac{V}{22.4} = \frac{11.2}{22.4} = 0.500 \text{ mol}$

พิจารณาจากสมการ H₂ 2 mol

จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ 1 mol

\therefore H₂ 0.500 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O₂ $\frac{0.500 \times 1}{2} = 0.250 \text{ mol}$

ดังนั้น H₂ จึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ H₂ 2 mol

จะทำให้เกิด H₂O เท่ากับ 2 mol

\therefore H₂ 0.500 mol

จะทำให้เกิด H₂O เท่ากับ 0.500 mol

= 0.500 mol \times 18.0 g/mol

= 9.00 g

ตัวอย่าง จากปฏิกิริยา $2 \text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{Fe}$

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)

8. ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

□ ผลผลิตตามทฤษฎี (Theoretical yield)

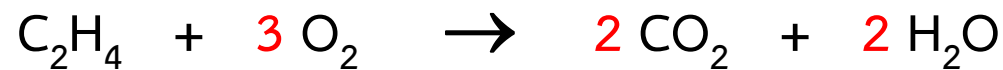
ปริมาณของผลผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้มากที่สุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว

□ ผลผลิตแท้จริง (Actual yield)

ปริมาณของผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งวัดหรือชั่งได้จากการทดลอง

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

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



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

พิจารณาจากสมการ C_2H_4 1 mol จะทำให้เกิด CO_2 เท่ากับ 2 mol

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

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

$$\begin{aligned} \text{ผลผลิตร้อยละ (\% yield)} &= \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100 \\ &= \frac{3.44}{6.07} \times 100 \\ &= \underline{56.7 \%} \end{aligned}$$

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



ถ้าในการทดลองได้ทองแดง 1200 กรัม จงคำนวณผลผลิตร้อยละของทองแดงนี้ (1270g, 94.5%)

แบบฝึกหัดทบทวนท้ายบท

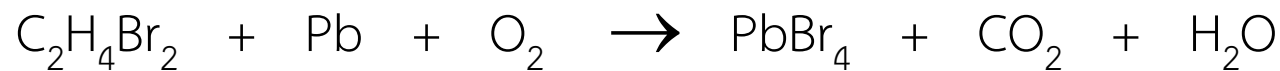
1. สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนชนิดหนึ่ง มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ 30.4% จงหาสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสารนี้ หากมวลโมเลกุลของสารนี้มีค่าเท่ากับ 92.04
2. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 0.05 โมล ($\text{H} = 1.0, \text{O} = 16.0, \text{P} = 31.0$)
 - ประกอบด้วยกรดฟอสฟอริกกี่โมเลกุล
 - ประกอบด้วย H, P และ O อย่างละกี่อะตอม
 - มีน้ำหนักกี่กรัม
3. ไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (N_2O_5) 25.0 g มีอะตอมไนโตรเจนกี่โมล กี่อะตอม และกี่กรัม
4. จงดุลสมการต่อไปนี้
 - $\text{ZnS} + \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$
 - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$
 - $\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{ZnS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnO} + \text{SO}_2$

5. การใช้ยีสต์ผลิตเอทานอล (C₂H₅OH) จากน้ำตาล เป็นไปตามสมการ



ถ้าใช้น้ำตาล 500 g จะได้เอทานอลกี่กรัม และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กี่ลิตร ที่ STP

6. เอทิลีนโบรไมด์ (C₂H₄Br₂) ทำปฏิกิริยาเผาไหม้กับตะกั่ว (Pb) ดังสมการ



ถ้าใช้ C₂H₄Br₂ 0.80 mol ทำปฏิกิริยากับ Pb 145.0 g และมีออกซิเจนมากเกินพอ

- สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
- มีสารใดเหลือและเหลือกี่กรัม
- O₂ ถูกใช้ไปกี่โมล
- มี CO₂ เกิดขึ้นกี่ลิตร STP
- ถ้า PbBr₄ ที่รวบรวมได้จากการทดลองมีเพียง 190.0 g จงหาผลผลิตร้อยละของสารนี้
(C = 12.0, H = 1.0, O = 16.0, Pb = 207.0, Br = 79.9)