เอกสารประกอบการบรรยาย
วิชา คม105 เคมีพื้นฐาน

สสาร และปริมาณสารสัมพันธ์

- สถานะของสสาร
- สมบัติของสสาร
- การจำแนกสสาร
- การวัด และเลขนัยสำคัญ
- อะตอม โมเลกุล ไอออน และสูตรเคมี
- น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล
- การคำนวณสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุลโมล
- โมล
- สมการเคมี
- การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี
- สารกำหนดปริมาณ
- ผลผลิตตามทฤษฎี ผลผลิตจริง และผลผลิตร้อยละ

อาจารย์ ดร. วีรินท์รดา ทะปะละ

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

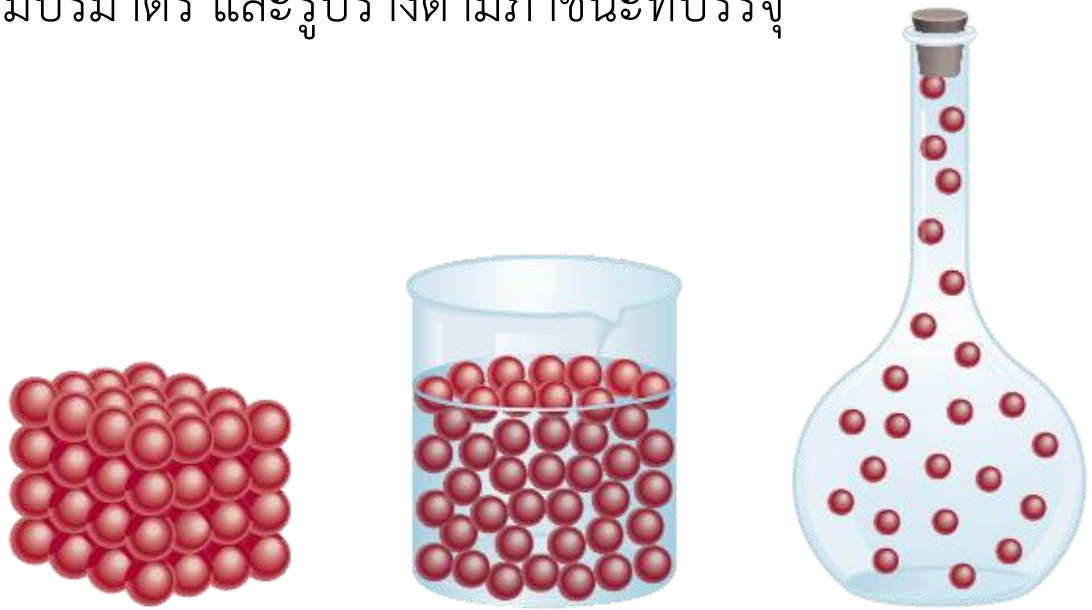
ปีการศึกษา 1/2564

1.1 สถานะของสสาร

“สสาร (matter) คือ สิ่งที่ต้องการที่อยู่ และ มีมวล”

<u>สสารมี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว แก๊ส</u>

- **ของแข็ง (solid, s)** มีปริมาตร และรูปร่างที่แน่นอน
- **ของเหลว (liquid, l)** มีปริมาตรแน่นอน แต่มีรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ
- **แก๊ส (gas, g)** มีปริมาตร และรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ



❑ สสารสามารถเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ของแข็ง (น้ำแข็ง) $\underset{\text{ลด T}}{\overset{\text{เพิ่ม T}}{\rightleftharpoons}}$ **ของเหลว** (น้ำ) $\underset{\text{ลด T}}{\overset{\text{เพิ่ม T}}{\rightleftharpoons}}$ **แก๊ส** (ไอน้ำ)

- อุณหภูมิ ณ จุดที่ทำให้น้ำแข็ง (s) เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำ (l) เรียกว่า จุดหลอมเหลว (melting point)
- อุณหภูมิ ณ จุดที่ทำให้น้ำ (l) เปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ (g) เรียกว่า จุดเดือด (boiling point)
- อุณหภูมิ ณ จุดที่ทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง เรียกว่า จุดเยือกแข็ง (freezing point)
- การเปลี่ยนสถานะจากแก๊สเป็นของเหลว (เรียกว่า การควบแน่น (condensation)

❑ การเปลี่ยนสถานะโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็น การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (physical change) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีสารใหม่เกิดขึ้น

❑ การเปลี่ยนแปลงที่ให้สารใหม่เกิดขึ้น และมีสมบัติแตกต่างไปจากเดิม มีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (ดูดหรือคายพลังงาน) เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical change)

$$H_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow H_2O\,(l)$$

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

1.2 สมบัติของสสาร

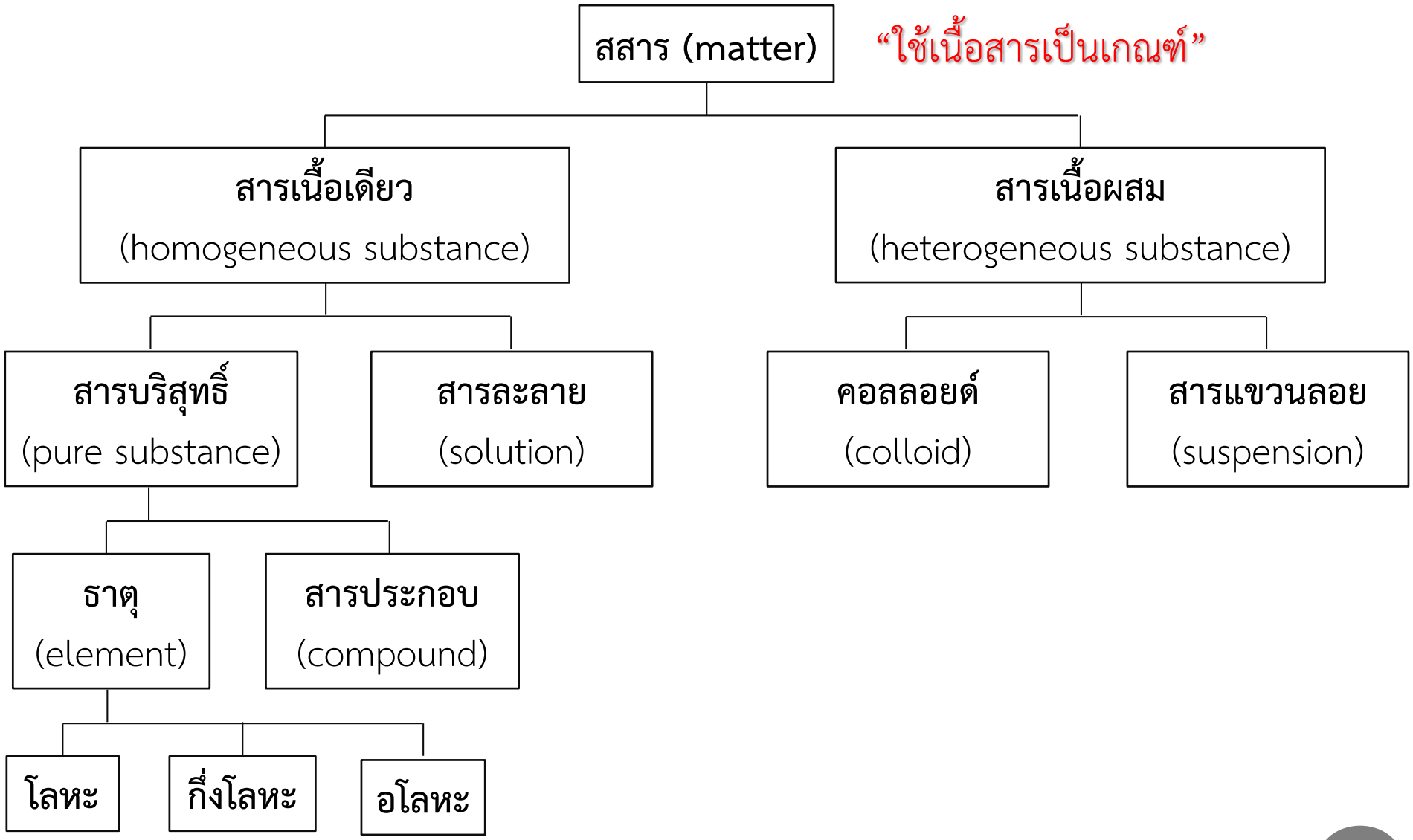
“ลักษณะเฉพาะตัว หรือ ลักษณะประจำตัวของสาร”

<u>สมบัติต่างๆ ของสาร แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ</u>

- สมบัติทางกายภาพ (physical properties) หมายถึง สมบัติของสารที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายจากรูปร่างลักษณะภายนอก เช่น สถานะ สี กลิ่น รส การนำไฟฟ้า การนำความร้อน ความหนาแน่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว เป็นต้น

- สมบัติทางเคมี (chemical properties) สมบัติที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของสารและการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การเผาไหม้ การเกิดสนิม การระเบิด การติดไฟ เป็นต้น

1.3 การจำแนกสสาร



❑ สารเนื้อเดียว (Homogeneous substance)

สารที่มองเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน มีองค์ประกอบภายในเหมือนกันตลอดทั้งมวลของสาร เช่น น้ำดื่ม น้ำอัดลม น้ำเกลือ น้ำตาลทราย ทองคำ เป็นต้น

❑ สารเนื้อผสม (Heterogeneous substance)

สารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยมีลักษณะเนื้อสารและสมบัติไม่เหมือนกันตลอดทั้งมวลของสาร เช่น พริกเกลือ คอนกรีต น้ำคลอง เป็นต้น

❑ ของผสม (Mixture)

สารที่ประกอบด้วยสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกันโดยไม่จำกัดส่วนผสม ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน หรือเนื้อผสมก็ได้

สารเนื้อเดียว (Homogeneous substance)

- **สารบริสุทธิ์ (pure substance)**

สารที่ประกอบด้วยสารเพียงชนิดเดียว มีคุณสมบัติและส่วนประกอบเหมือนกันทุกประการ เช่น น้ำ ทองแดง น้ำตาล เป็นต้น

- **สารละลาย (solution)**

สารเนื้อเดียวที่เกิดจากสารบริสุทธิ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันและมีสัดส่วนขององค์ประกอบเหมือนกัน เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อม น้ำโซดา เป็นต้น

สารบริสุทธิ์ (Pure substance)

- **ธาตุ (element)**

สารที่ประกอบด้วยอะตอมเพียง 1 ชนิด ไม่สามารถแยกออกเป็นสารอื่นๆ ได้อีกด้วยวิธีทางเคมี เช่น เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นต้น

- **สารประกอบ (compound)**

สารที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน ในอัตราส่วนคงที่ เช่น

น้ำ (H_2O) $\Longrightarrow$ H 2 อะตอม + O 1 อะตอม $\Longrightarrow$ H : O = 2 : 1

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) $\Longrightarrow$ C 1 อะตอม + O 1 อะตอม $\Longrightarrow$ C : O = 1 : 1

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) $\Longrightarrow$ C 1 อะตอม + O 2 อะตอม $\Longrightarrow$ C : O = 1 : 2

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) $\Longrightarrow$ H 2 อะตอม + S 1 อะตอม + O 4 อะตอม

$\Longrightarrow$ H : S : O = 2 : 1 : 4

สารละลาย (Solution)

“สารละลาย = ตัวทำละลาย (solvent) + ตัวถูกละลาย (solute)”

<u>เกณฑ์ในการกำหนดตัวทำละลายและตัวถูกละลาย</u>

- ถ้าสารที่มารวมกันมีสถานะต่างกันดังนั้นสารที่มีสถานะเดียวกับสารละลายจะเป็นตัวทำละลาย

  เช่น น้ำเชื่อม อยู่ในสถานะของเหลว

  ดังนั้น น้ำ = ตัวทำละลาย และ น้ำตาลทราย = ตัวถูกละลาย

- ถ้าสารที่มารวมกันมีสถานะเดียวกันสารที่มีปริมาณมากกว่าจะเป็นตัวทำละลาย

  เช่น แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อ มีเอทานอล 70% และ น้ำ 30%

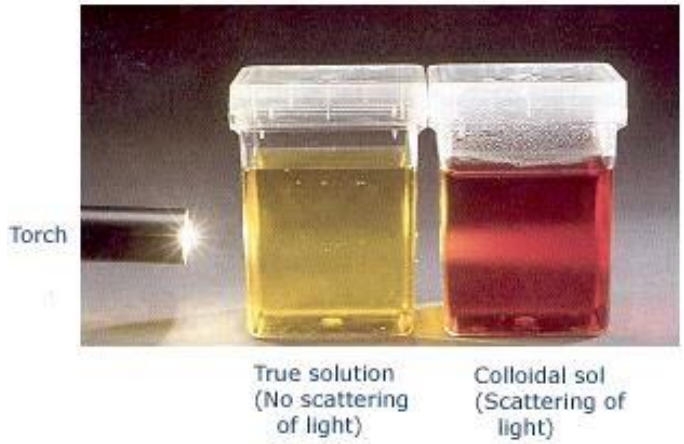
  ดังนั้น เอทานอล = ตัวทำละลาย และ น้ำ = ตัวถูกละลาย

ตัวอย่างสารละลาย

สถานะของสารละลาย	ตัวอย่างสารละลาย	ตัวทำละลาย	ตัวถูกละลาย
ของแข็ง	ทองเหลือง	ทองแดง (s)	สังกะสี (s)
	นาก	ทองคำ (s)	ทองแดง (s)
	เงินอะมัลกัม	เงิน (s)	ปรอท (l)
ของเหลว	น้ำเกลือ	น้ำ (l)	เกลือ (s)
	โซดา	น้ำ (l)	CO_2 (g)
แก๊ส	แก๊สหุงต้ม	โพรเพน+บิวเทน	
	ไอน้ำในอากาศ	น้ำ + อากาศ	
	อากาศ	แก๊สผสมต่างๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน 78% ก๊าซออกซิเจน 21% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% ก๊าซเฉื่อย รวมทั้งสารพิษในอากาศ	

คอลลอยด์ (Colloid)

- มีขนาดอนุภาค 10^{-7} – 10^{-4} เซนติเมตร ซึ่งจะไม่มีการตกตะกอน
- สามารถผ่านกระดาษกรอง แต่ผ่านกระดาษเซลโลเฟนไม่ได้
- สามารถกระเจิงแสงได้ เรียกว่า "ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect)"



- องคประกอบของคอลลอยด จะเมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะแยกชั้นออกจากกัน ดังนั้นจึงต้องมี ตัวประสาน (Emulsifier) เช่น

  น้ำสลัด = น้ำมันพืช + น้ำส้มสายชู $\Longrightarrow$ ไข่แดง เป็นอีมัลซิฟายเออร์

  น้ำนม = ไขมันสัตว์ + น้ำ $\Longrightarrow$ เคซีน เป็นอีมัลซิฟายเออร์

  น้ำ + น้ำมัน $\Longrightarrow$ สบู่ เป็นอีมัลซิฟายเออร์

ชนิดของคอลลอยด์ “แบ่งตามสถานะของอนุภาคที่กระจายอยู่ในตัวกลาง และ สถานะของตัวกลาง”

ชนิดของคอลลอยด์	สถานะของอนุภาค	สถานะของตัวกลาง	ตัวอย่าง
ซอล (Sol)	ของแข็ง	ของเหลว	เลือด (เซลล์ในพลาสมา)
แอโรซอล (Aerosol)	ของเหลว	ก๊าซ	หมอก (น้ำในอากาศ) เมฆ สเปรย์
	ของแข็ง	ก๊าซ	ควัน (ฝุ่นละอองในอากาศ)
อิมัลชัน (Emulsion)	ของเหลว	ของเหลว	น้ำสลัด (น้ำมันพืชใน น้ำส้มสายชู) นม น้ำกะทิ
เจล (Gel)	ของแข็ง	ของเหลว	เยลลี่ (น้ำในเจลาติน) วุ้น ยาสีฟัน
โฟม (Foam)	แก๊ส	ของเหลว	วิปครีม (อากาศในครีม) ฟองสบู่ ครีมโกนหนวด
	แก๊ส	ของแข็ง	เม็ดโฟม

สารแขวนลอย (Suspension)

- เป็นสารเนื้อผสมที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 10^{-4} เซนติเมตร
- เมื่อตั้งทิ้งไว้อนุภาคจะตกตะกอน
- ไม่สามารถผ่านกระดาษกรอง และกระดาษเซลโลเฟนได้

<u>ตัวอย่าง</u> น้ำโคลน น้ำแป้ง เป็นต้น

การเปรียบเทียบ: สารละลาย คอลลอยด์ สารแขวนลอย

การเปรียบเทียบ	สารละลาย	คอลลอยด์	สารแขวนลอย
ลักษณะเนื้อสาร	เนื้อเดียว	เนื้อเดียว	เนื้อผสม
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค	$< 10^{-7}$ cm	$10^{-7} - 10^{-4}$ cm	$> 10^{-4}$ cm
การตกตะกอน	ไม่ตกตะกอน	ไม่ตกตะกอน	ตกตะกอน
การลอดผ่านกระดาษกรอง	ได้	ได้	ไม่ได้
การลอดผ่านถุงเซลโลเฟน	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
ปรากฏการณ์ทินดอลล์	ไม่เกิด	เกิด	ไม่เกิด

การทดสอบความบริสุทธิ์ของสาร

- **ระเหยแห้งในถ้วยกระเบื้อง**

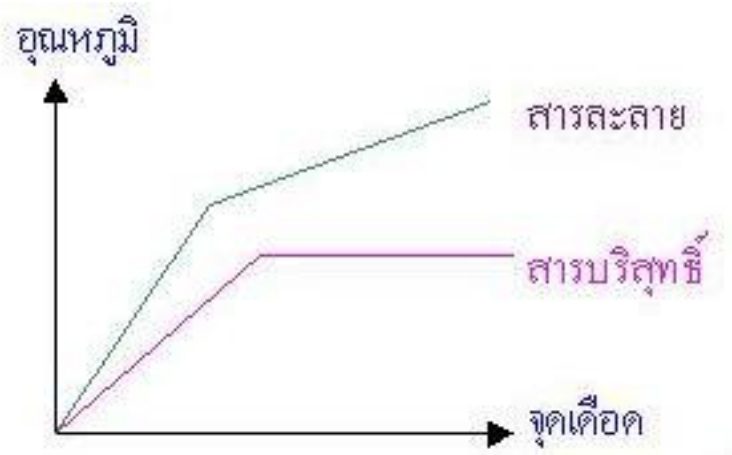
  ระเหยแล้วเหลือของแข็งอยู่ ⇒ สารละลาย

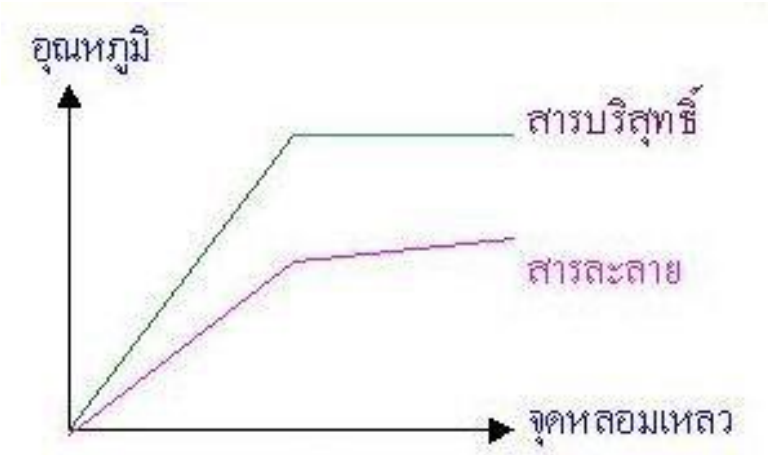
  ระเหยแล้วไม่เหลือของอะไร ⇒ สรุปไม่ได้

- **การหาจุดเดือด (Boiling point) / จุดหลอมเหลว (Melting point)**

  สารบริสุทธิ์ ⇒ จุดเดือด จุดหลอมเหลว คงที่ (มีช่วงการหลอมเหลวแคบ)

  สารละลาย ⇒ จุดเดือด จุดหลอมเหลว ไม่คงที่ (มีช่วงการหลอมเหลวกว้าง)





* สารละลายจะมีจุดเดือดสูงกว่าสารบริสุทธิ์ แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารบริสุทธิ์

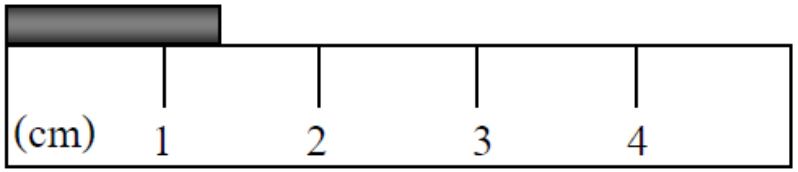
1.4 การวัด และเลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญ (Significant Figure)

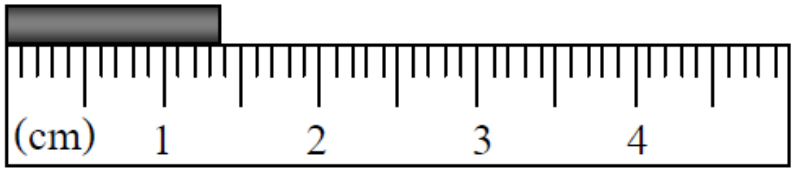
"จำนวนหลักของตัวเลขที่แสดงความเที่ยงตรงของปริมาณที่วัดหรือคำนวณได้"

การอ่านขีดสเกล

"อ่านค่าละเอียดที่สุดที่เครื่องวัดสามารถอ่านค่าได้ แล้วประมาณค่าอีก 1 ตำแหน่งถัดไป"

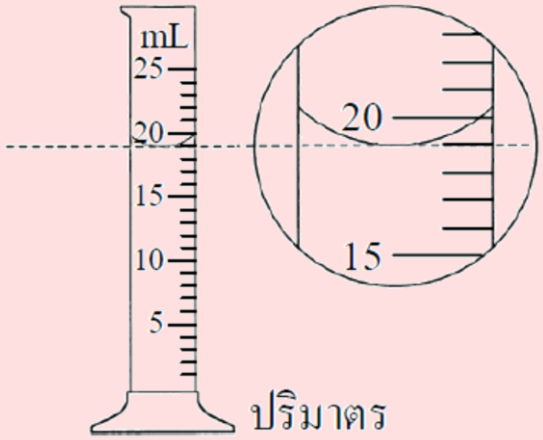


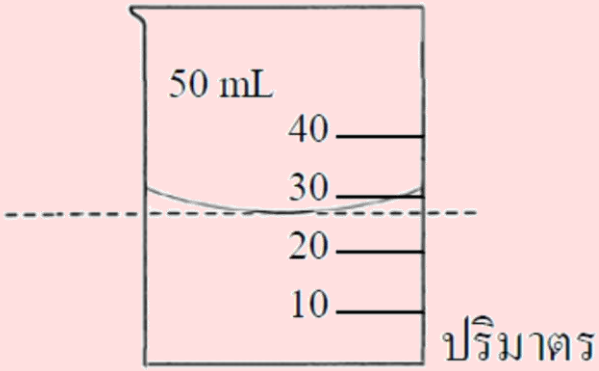
1.X ⇒ 1.2 หรือ 1.3



1.3X ⇒ 1.35 หรือ 1.36 หรือ 1.37

???





การนับเลขนัยสำคัญ

- **ตัวเลขที่ไม่ใช่เลขศูนย์ เป็นเลขนัยสำคัญ**

  845 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

  1.2345 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

- **เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขถือเป็นเลขนัยสำคัญ**

  409 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

  50,802 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

- **เลขศูนย์ที่อยู่ทางซ้ายของตัวเลขที่ไม่ใช่ศูนย์ ไม่ถือเป็นเลขนัยสำคัญ**

  จุดมุ่งหมายก็เพื่อแสดงตำแหน่งของจุดทศนิยมเท่านั้น

  0.08 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

  0.003049 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

- **เมื่อตัวเลขมีค่ามากกว่า 1 เลขศูนย์ที่เขียนทางขวามือถือเป็นเลขนัยสำคัญ**

  2.0 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

  57.074 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

  6.080 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

  แต่ถ้าตัวเลขมีค่าน้อยกว่า 1 เลขศูนย์ที่อยู่ท้ายตัวเลข และอยู่ระหว่างตัวเลขถือเป็นเลขนัยสำคัญ

  0.090 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

  0.3005 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

  0.0040206 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

- **ตัวเลขที่ไม่มีจุดทศนิยม เลขศูนย์สุดท้ายอาจจะเป็นหรือไม่เป็นเลขนัยสำคัญก็ได้**

  400 อาจจะมีเลขนัยสำคัญ 1 2 หรือ 3 ตัว

  อาจหลีกเลี่ยงความสับสนโดยการใช้สัญกรณ์เชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Notation)

  4×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว

  4.0×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว

  4.00×10^2 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว

* นับเฉพาะส่วนที่เป็นตัวเลข ไม่นับเลขยกกำลังฐาน 10

การคำนวณเกี่ยวกับเลขนัยสำคัญ

- **การปัดเลข**
  - ตัวเลขถัดไปถ้ามากกว่า 5 ให้ปัดขึ้น
  - ตัวเลขถัดไปถ้าน้อยกว่า 5 ให้ปัดทิ้ง
  - ตัวเลขถัดไปถ้าเท่ากับ 5 ให้ดูตัวเลขที่อยู่ก่อนหน้าเลข 5
    - หากเป็นเลขคี่ ให้ปัดขึ้น
    - หากเป็นเลขคู่ รวมทั้งเลขศูนย์ ให้ปัดทิ้ง

54.67487	ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง	$\Rightarrow$	54.674	$\Rightarrow$	54.67
0.8765	ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง	$\Rightarrow$	0.876	$\Rightarrow$	0.88
5.875	ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง	$\Rightarrow$	5.875	$\Rightarrow$	5.88
3.825	ทำให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง	$\Rightarrow$	3.825	$\Rightarrow$	3.82

❑ การบวกและการลบ

ผลลัพธ์ต้องมีจำนวนเลขทศนิยม เท่ากับข้อมูลที่มีเลข**ทศนิยมน้อยที่สุด**

$53.27\ cm^3 + 16.8\ cm^3 = 70.07\ cm^3 \Rightarrow \mathbf{70.1}\ cm^3$

$26.5862\ L + 10.00\ L + 11\ L = 47.5862 \Rightarrow \mathbf{48}\ L$

❑ การคูณและการหาร

ผลลัพธ์ต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับข้อมูลที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด

$0.9387\ cm \times 1.542\ cm \times 1.32\ cm = 2.7656\ cm^3 \Rightarrow \mathbf{2.76}\ cm^3$

$4.65\ g / (24.5\ cm^3 - 19.93\ cm^3) = 4.65\ g / 4.57\ cm^3$

$= 4.65\ g / 4.6\ cm^3$

$= 1.01\ g/cm^3 \Rightarrow \mathbf{1.0}\ g/cm^3$

- **จำนวนที่แน่นอนที่ได้มาจากนิยาม ไม่ต้องนำมาพิจารณาเลขนัยสำคัญ**

  เช่น $T\,(K) = T\,(^{\circ}C) + 273.15$

  ดังนั้น $25.0\ ^{\circ}C = 25.0 + 273.15\ K = 298.15\ K \Rightarrow 298.2\ K$

- **การคำนวณเกี่ยวกับสัญกรณ์วิทยาศาสตร์**

  ไฮโดรเจน 1 กรัม ประกอบด้วย H = 602,200,000,000,000,000,000,000 อะตอม

  แต่ละอะตอมของ H มีมวล = 0.000000000000000000000166 g

สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (Scientific Notation) $\Rightarrow$ $N \times 10^{n}$;

โดย N มีค่าตั้งแต่ 1 - 10 และ n เป็นจำนวนเต็ม (บวกหรือลบก็ได้)

ไฮโดรเจน 1 กรัม ประกอบด้วย H = 6.022×10^{23} อะตอม

แต่ละอะตอมของ H มีมวล = 1.66×10^{-24} g

ตัวอย่าง

- $(7.4 \times 10^{3}) + (2.1 \times 10^{3}) = 9.5 \times 10^{3}$

- $(2.22 \times 10^{-2}) - (4.10 \times 10^{-3}) = (2.22 \times 10^{-2}) - (0.41 \times 10^{-2})$

  $= 1.81 \times 10^{-2}$

- $(8.0 \times 10^{4}) - (5.0 \times 10^{2}) = (8.0 \times 5.0)(10^{4+2})$

  $= 40 \times 10^{6}$

  $= 4.0 \times 10^{7}$

- $(6.9 \times 10^{7}) / (3.0 \times 10^{-5}) = (6.9 / 3.0)(10^{7-(-5)})$

  $= 2.3 \times 10^{12}$

- $(8.5 \times 10^{4}) / (5.0 \times 10^{9}) = (8.5 / 5.0)(10^{4-9})$

  $= 1.7 \times 10^{-5}$

2.1 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 $^{A}_{Z}X$

$^{27}_{13}Al \Rightarrow$

โปรตอน = 13

นิวตรอน = 27-13 = 14

อิเล็กตรอน = 13

<u>โมเลกุล</u> (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

- **สูตรอย่างง่าย หรือ สูตรเอมพิริคัล (Empirical formula):** กลุ่มสัญลักษณ์ที่เขียนแทนอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมที่ประกอบขึ้นเป็นสารประกอบนั้น 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

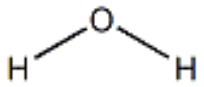
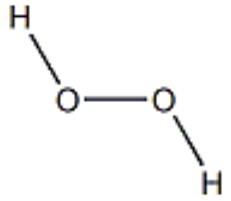
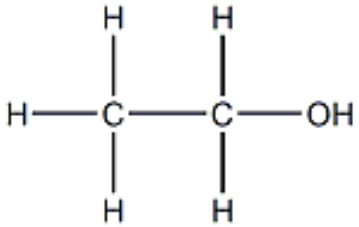
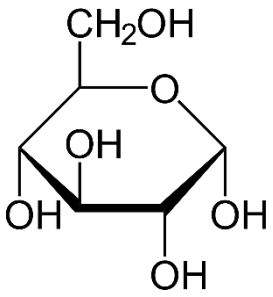
- **สูตรโมเลกุล (Molecular formula):** กลุ่มสัญลักษณ์ที่เขียนแทนธาตุหรือสารประกอบเพื่อแสดงว่าธาตุหรือสารประกอบนั้น 1 โมเลกุล ประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง อย่างละกี่อะตอม เช่น

  H_2O ประกอบด้วย H 2 อะตอม และ O 1 อะตอม

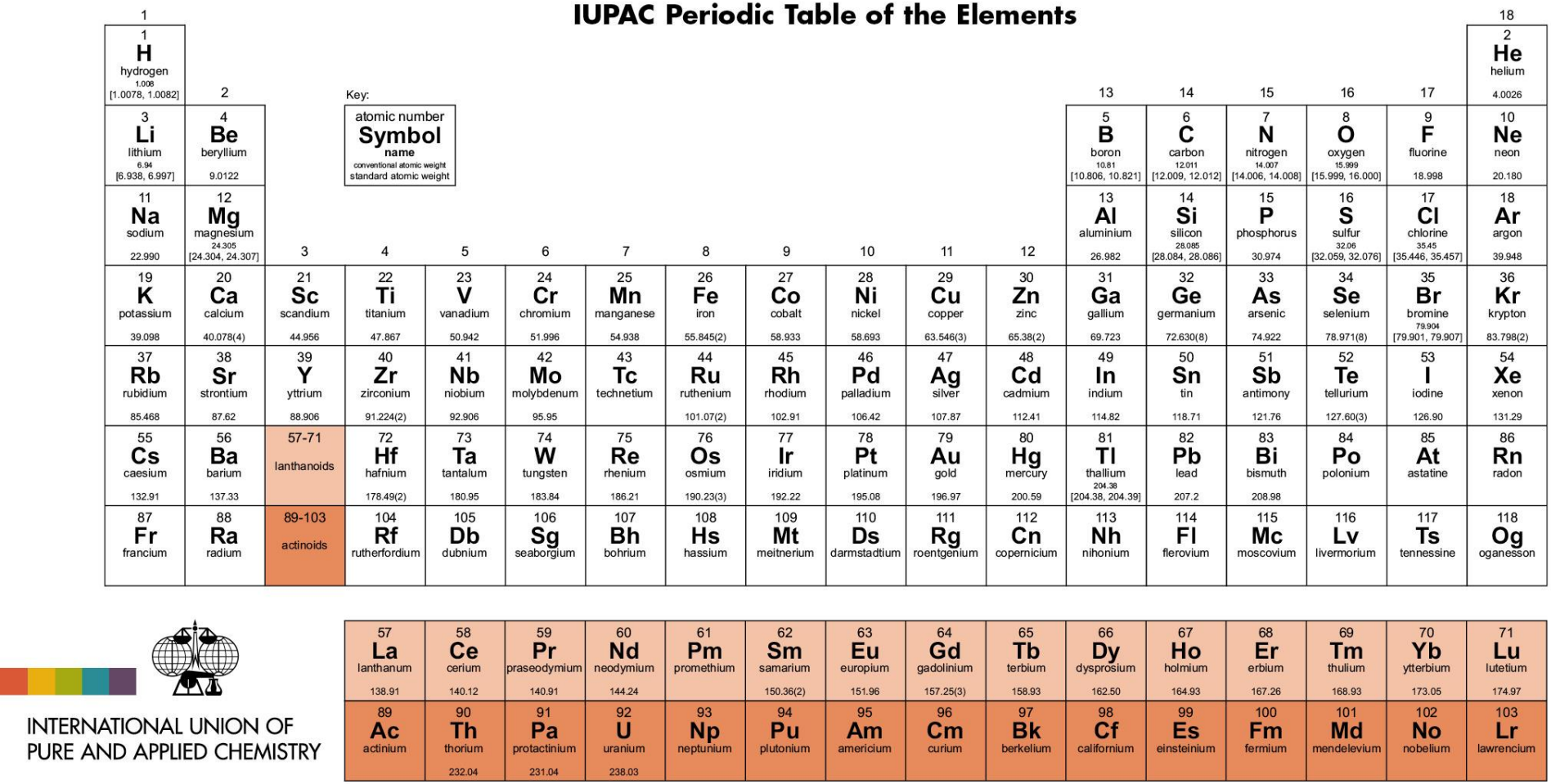
  $C_6H_{12}O_6$ ประกอบด้วย C 6 อะตอม, H 12 อะตอม และ O 6 อะตอม

  สูตรโมเลกุล = (สูตรเอมพิริคัล)$_n$ เมื่อ n = 1,2,3,...

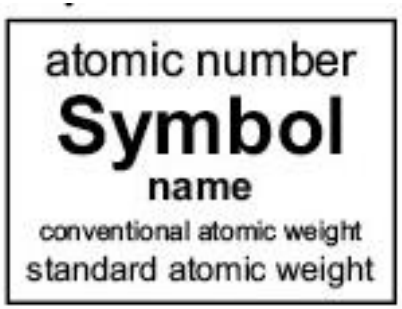
- **สูตรโครงสร้าง (Structural formula):** สูตรโมเลกุลที่เขียนแสดงการเชื่อมต่อ (การเกิดพันธะ) ของอะตอมในโมเลกุลนั้น

สารประกอบ	สูตรเอมพิริคัล	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง
น้ำ	H_2O	H_2O	
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	HO	H_2O_2	
เอทานอล	C_2H_6O	C_2H_6O	
กลูโคส	CH_2O	$C_6H_{12}O_6$	

2.2 น้ำหนักอะตอม น้ำหนักโมเลกุล



น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)



เลขอะตอม

มวลอะตอม (amu)

1 **H** hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]			
11 **Na** sodium 22.990	6 **C** carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 **N** nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 **O** oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 **F** fluorine 18.998
	14 **Si** silicon 28.085 [28.084, 28.086]	15 **P** phosphorus 30.974	16 **S** sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	17 **Cl** chlorine 35.45 [35.446, 35.457]

น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลโมเลกุล (Molecular mass/Molecular weight: MW)

"ผลบวกของน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุที่อยู่ในโมเลกุล"

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

2.3 การคำนวณสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุล

- ต้องทราบว่าสารประกอบนั้นประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ร้อยละโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุว่ามีอยู่เท่าใด และน้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุด้วย

- เมื่อได้สูตรเอมพิริกัลแล้ว จะสามารถคำนวณหาสูตรโมเลกุลได้เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนั้นๆ

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

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 (หารด้วยน้ำหนักอะตอม)

$$= \frac{50.05}{32} : \frac{49.95}{16}$$

$$= 1.56 : 3.12$$

ทำให้เป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขน้อยๆ โดยการหารตลอดด้วยเลขที่น้อยที่สุด คือ 1.56

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

$$S : O = 1 : 2$$

$\therefore$ สูตรอย่างง่าย คือ SO_2

<u>วิธีทำ</u> (ต่อ) จากสูตรเอมพิริกัล คือ SO_2

สูตรโมเลกุล เป็น $(SO_2)_n$

จะได้ว่า $(SO_2)_n = 64$

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

$(64)_n = 64$

$n = 1$

$\therefore$ 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)

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

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

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

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

2.5 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"

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

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

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

$AgNO_{3\ (aq)} + NaCl_{(aq)} \rightarrow AgCl_{(s)} + NaNO_{3\ (aq)}$

$2\ NaNO_{3\ (aq)} + H_2SO_{4\ (aq)} \rightarrow Na_2SO_{4\ (aq)} + 2\ HNO_{3\ (aq)}$

2.6 การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมการเคมี

"สมการเคมีที่จะใช้สำหรับการคำนวณต้องเป็น**สมการที่ดุลแล้ว**"

วิธีการดุลสมการเคมีทั่วไป

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

"สมการเคมีที่ดุลแล้ว จะบอกให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงปริมาณ (โมล) ของสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา และสามารถคำนวณปริมาณของผลิตผลที่พึงได้จากปฏิกิริยานั้น"

ตัวอย่างการดุลสมการ

- จงดุลสมการ $KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$

$KClO_3 \rightarrow KCl + 3/2\ O_2$

คูณ 2 ตลอดทั้งสมการเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเลขจำนวนเต็ม

$2\ KClO_3 \rightarrow 2\ KCl + 3\ O_2$

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

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

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

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

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

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)

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

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 ที่ STP

(กำหนดมวลอะตอม: 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

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

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

2.5 2(2.5) = 5 2.5 2.5 โมล

$\therefore$ จะได้ C_2H_2 = 2.5 โมล

= $2.5 \times 26 = 65$ 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

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

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

วิธีทำ

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

? 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

$\therefore$ H_2 0.0100 mol ผลิตจาก Zn 0.0100 mol

เปลี่ยนเป็นกรัม Zn 1 mol หนักเท่ากับ 65.4 g

$\therefore$ 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 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

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

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

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

$\therefore$ 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

$\therefore$ 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

ตัวอย่าง จงคำนวณว่าจะต้องใช้ลิเทียมกี่กรัม เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจน 9.89 กรัม

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ $Li_{(s)} + H_2O_{(l)} \rightarrow LiOH_{(aq)} + H_{2\,(g)}$

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

ตัวอย่าง จากปฏิกิริยา $ClO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow HClO_{3\,(aq)} + HCl_{(aq)}$

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)

2.7 สารกำหนดปริมาณ (Limiting agent)

"เนื่องจากสารเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกันในอัตราส่วนโมลต่อโมลที่แน่นอน สารที่มีปริมาณน้อยกว่าจึงเป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาสามารถเกิดผลผลิตได้อย่างมากที่สุดเท่าใด เรียกสารที่มีปริมาณน้อยนี้ว่าสารกำหนดปริมาณ (Limiting reactant)"

พิจารณาปฏิกิริยา $2\,NO_{(g)} + O_{2\,(g)} \rightarrow 2\,NO_{2\,(g)}$

หากมี NO 8 โมล และ O_2 7 โมล สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

จากสมการ NO 2 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 1 mol

$\therefore$ NO 8 mol ต้องทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 4 mol

NO ถูกใช้หมด O_2 เหลือ

หรือ

จากสมการ O_2 1 mol จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ NO 2 mol

$\therefore$ 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 $4\ Li + O_2 \rightarrow 2\ Li_2O$ (กำหนดมวลอะตอม: 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 $0.047 - 0.035 = 0.012\ mol = 0.012\ mol \times 32.0\ g/mol$

$= 0.38\ g$

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

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

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

$= 0.500 \text{ mol} \times 18.0 \text{ g/mol}$

$= \underline{9.00 \text{ g}}$

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

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)

2.8 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)

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

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

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

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

$$= 56.7\ \%$$

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

$$Cu_2S + O_2 \rightarrow 2\,Cu + SO_2$$ (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 (H_3PO_4) 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
   - $ZnS + HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2S$
   - $Na_2S_2O_3 + I_2 \rightarrow NaI + Na_2S_4O_6$
   - $C_4H_{10} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
   - $ZnS + O_2 \rightarrow ZnO + SO_2$

5. การใช้ยีสต์ผลิตเอทานอล (C_2H_5OH) จากน้ำตาล เป็นไปตามสมการ

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

ถ้าใช้น้ำตาล 500 g จะได้เอทานอลกี่กรัม 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)