

## บทที่ 5

### หน่วย และ ความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณ (Units, Concentration of Solution and Calculation)

#### 5. หน่วย และ ความเข้มข้นของสารละลายและการคำนวณ

##### 5.1. ระบบของการวัด (System of Measurement)

ในการวัดและการคำนวณทางเคมีและฟิสิกส์ส่วนใหญ่มักจะเกี่ยวข้องกับปริมาณชนิดต่าง ๆ เช่น ความยาว ความเร็ว ปริมาตร มวล พลังงาน ทุกครั้งของการวัดจะประกอบด้วย ตัวเลข และหน่วย หน่วยจะเป็นส่วนบอกชนิดของมิติและขนาดของปริมาณอ้างอิงในเวลาเดียวกัน ซึ่งใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ

##### 5.2. หน่วยของระบบสากล (International System of units)

เพื่อให้มีความเข้าใจและมีการยอมรับโดยทั่วไปของระบบสากลของหน่วยอ้างอิงในโลกทางวิทยาศาสตร์ ได้มีการประชุมและกำหนดและยอมรับนำไปใช้โดยทั่วไป รวมทั้ง International Union of Pure and Applied Chemistry ของการใช้หน่วยสากล ซึ่งระบบนี้ รู้จักกันว่า ระบบ SI มาจากชื่อภาษาฝรั่งเศส คือ Systeme International d'Unite's ในระบบ SI หน่วยอ้างอิงของความยาว มวล และเวลา คือ เมตร กิโลกรัม และวินาที โดยมีรูปย่อ คือ m, kg และ s ตามลำดับ ในอเมริกา ปริมาณทางสิ่งแวดล้อมจะถูกวัดและรายงานทั้งในหน่วย U.S. Customary System (USCS) และ ในหน่วย หน่วย International System of Units (SI) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน่วยทั้งสองนี้ ในตารางที่ 5.1 จะแสดงบางปริมาณในหน่วยทั้งสอง พร้อมกับปัจจัยการเปลี่ยนระหว่างระบบทั้งสอง

ตารางที่ 5.1 หน่วยพื้นฐานในระบบ SI บางหน่วยและปัจจัยการเปลี่ยน

ปริมาณกายภาพ	หน่วย SI	ปัจจัยการเปลี่ยน	สัญลักษณ์ของหน่วย	หน่วย USCS
ความยาว	เมตร	3.2808	m	ft
มวล	กิโลกรัม	2.2046	kg	lb
พื้นที่	ตารางเมตร	10.7639	m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	35.3 147	m <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>
ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (SI)	0.06243	kg m <sup>-3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>
ความดัน	ปาสคาล (SI)		Pa	N m <sup>-2</sup>
ความเร็ว	เมตร/วินาที	2.2369	m/s	mi/hr
อัตราการไหล	ลูกบาศก์เมตร/วินาที	35.3147	m <sup>3</sup> /s	ft <sup>3</sup> /s

นอกจากหน่วยดังกล่าว หน่วยดั้งเดิมบางอย่างก็ยังคงถูกใช้อยู่ เช่น ในหน่วยปริมาตรยังคงมีการใช้หน่วยลิตร หรือเล็กกว่า

โดยทั่วไป เรามักจะเกี่ยวข้องกับการวัดที่มีปริมาณมากหรือน้อยมากๆ เพื่อแสดงปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่าหน่วยมาตรฐาน ทำได้โดยการ จะใช้ตัวนำหน้า (prefix) มาใช้ร่วมกับหน่วย ใช้ส่วนคูณของหน่วยเหล่านี้ดังแสดงในตารางที่ 5.2 กำหนดโดยการคูณหน่วยเหล่านี้ด้วยตัวคูณในรูปของสิบยกกำลังที่ต้องการ ตัวย่อของตัวคูณต้องเขียนก่อนสัญลักษณ์ของหน่วยหลัก โดยไม่ต้องมีที่ว่างหรือเว้นวรรค ดังนั้น millimeter ( $10^{-3}$  m) คือ mm. และ kilometer ( $10^3$  m) คือ km เพราะว่า หน่วยของมวลในระบบ SI คือ kg ซึ่งมีคำนำหน้าอยู่แล้ว พหุคูณสำหรับมวลควรจะได้มาจากการนำเอาตัวคูณไปคูณ gram มากกว่า kilogram ดังนั้น microgram ( $10^{-9}$  g) รุบย่อ  $\mu$ g คือ  $10^{-9}$  kg

ตารางที่ 5.2 ส่วนคูณ ตัวนำหน้า และสัญลักษณ์ ที่สำคัญ

ส่วนคูณ	ตัวนำหน้า	สัญลักษณ์	ส่วนคูณ	ตัวนำหน้า	สัญลักษณ์
10	deka	da	$10^{-2}$	centi	c
$10^2$	hecto	h	$10^{-3}$	milli	m
$10^3$	kilo	k	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^6$	mega	M	$10^{-9}$	nano	n
$10^9$	giga	G	$10^{-12}$	pico	p
$10^{12}$	tera	T	$10^{-15}$	femto	f
$10^{-1}$	deci	d	$10^{-18}$	atto	a

ในแง่ปริมาณวิเคราะห์ ในการบอกให้ทราบถึงปริมาณสารว่า แต่ละองค์ประกอบในสารประกอบหรือของผสมมีอยู่ในปริมาณเท่าใด สิ่งสำคัญในการบอกปริมาณสารที่จะขาดไม่ได้คือ หน่วยบอกปริมาณ เราไม่สามารถที่จะบอกปริมาณสารเป็นตัวเลขลอย ๆ โดยไม่มีการกำหนดตัวเลขที่แน่นอนลงไป เพราะไม่สามารถจะสื่อความหมายให้เป็นที่เข้าใจตรงกันได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดหน่วย ในการกำหนดหน่วยจะขึ้นกับลักษณะของสาร สารเคมีโดยทั่วไปจะมีสถานะต่าง ๆ คือ

1. ของแข็ง (solid)
2. ของเหลว (liquid) แบ่งออกเป็น ของเหลวบริสุทธิ์ และสารละลาย
3. แก๊ส

ในแง่หน่วยของปริมาณสารที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์ สามารถแบ่งออกได้เป็นหัวข้อใหญ่ ๆ คือ

### 5.3 . หน่วยน้ำหนัก

#### 5.3.1. น้ำหนักอะตอม (atomic weight, aw) น้ำหนักกรัมอะตอม (gram atom weight, gaw)

- น้ำหนักอะตอม (atomic weight, aw) เป็นน้ำหนักเปรียบเทียบน้ำหนักสาร 1 อะตอม กับน้ำหนักของไฮโดรเจน 1 อะตอม หรือ  $\frac{1}{12}$  ของ  $C^{12}$  1 อะตอม (น้ำหนักของไฮโดรเจน 1 อะตอม =  $1 \times 1.66 \times 10^{-24}$  กรัม และ น้ำหนักของ  $C^{12}$  1 อะตอม =  $12 \times 1.66 \times 10^{-24}$  กรัม) คือน้ำหนักของธาตุต่างๆที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม เช่น Na จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอมหนัก 23 กรัม ดังนั้นน้ำหนักอะตอมของ Na = 23

- น้ำหนักกรัมอะตอม (gram atom weight, gaw) คือน้ำหนักอะตอมที่มีหน่วยเป็น กรัม เช่น

$$1 \text{ กรัมอะตอม ( 1 gaw) ของ } O = 16 \text{ กรัม}$$

$$2 \text{ กรัมอะตอม ( 1 gaw) ของ } O = 2 \times 16 \text{ กรัม}$$

$$\text{จำนวนกรัมอะตอม} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนักอะตอม}}$$

#### 5.3.2. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight, mw) น้ำหนักกรัมโมเลกุล (gram molecular weight, gmw)

- น้ำหนักโมเลกุล เป็นน้ำหนักเปรียบเทียบน้ำหนักสาร 1 โมเลกุล กับน้ำหนักของไฮโดรเจน 1 อะตอม หรือ  $\frac{1}{12}$  ของ  $C^{12}$  1 อะตอม คือน้ำหนักของสารต่างๆที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล เช่น  $N_2$  จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุลหนัก 28 กรัม ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของ  $N_2$  = 28

- น้ำหนักกรัมโมเลกุล คือน้ำหนักโมเลกุลที่มีหน่วยเป็น กรัม ได้จากผลบวกของน้ำหนักอะตอมของแต่ละองค์ประกอบที่ปรากฏในสูตรโมเลกุล เช่น

$$1 \text{ กรัมโมเลกุล (1 gmw) ของ } H_2S = (1 \times 2 + 32 \times 1) = 34 \text{ กรัม}$$

$$\text{จำนวนกรัมโมเลกุล} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนัก 1 กรัมโมเลกุล}}$$

### 5.3.3. น้ำหนักสูตร (formular weight, fw) น้ำหนักกรัมสูตร (gram formular weight, gfw)

- น้ำหนักสูตร เป็นน้ำหนักของสารประกอบที่คิดจากสูตรที่มีจำนวนอนุภาค เท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  ได้จากผลบวกของน้ำหนักอะตอมของแต่ละองค์ประกอบที่ปรากฏในสูตร เช่น

$$NaCl \text{ จำนวน } 6.02 \times 10^{23} \text{ อนุภาค มีน้ำหนักสูตร} = (23 + 35.5) = 58.5$$

- น้ำหนักกรัมสูตร คือน้ำหนักสูตรที่มีหน่วยเป็น กรัม

$$\text{จำนวนกรัมสูตร} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนัก 1 กรัมสูตร}}$$

### 5.3.4. น้ำหนักสมมูล (equivalent weight, eqw) น้ำหนักกรัมสมมูล (gram equivalent weight, geqw)

- น้ำหนักสมมูล คือตัวเลขที่แสดงว่าสารนั้นหนักกี่หน่วยน้ำหนักจะรวมตัวพอดีโดยตรง หรือโดยอ้อมกับ H 1 หน่วยน้ำหนัก หรือ O 8 หน่วยน้ำหนัก หรือ Cl 35.5 หน่วยน้ำหนัก เช่น ในสารประกอบ NaCl Na 23 กรัมรวมตัวพอดีกับ Cl 35.5 กรัม ดังนั้น น้ำหนักสมมูลของ Na เท่ากับ 23
- น้ำหนักกรัมสมมูล คือน้ำหนักสมมูลที่มีหน่วยเป็น กรัม

$$\text{จำนวนกรัมสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{น้ำหนัก 1 กรัมสมมูล}}$$

## การหาน้ำหนักสมมูล (eqw)

น้ำหนักสมมูลของธาตุ	= <u>น้ำหนักอะตอม</u> เลขออกซิเดชันของธาตุนั้น เช่น น้ำหนักสมมูลของธาตุ Ca = $40/2 = 20$
น้ำหนักสมมูลของอนุมูล	= <u>น้ำหนักสูตรของอนุมูล</u> เลขออกซิเดชันของอนุมูลนั้น เช่น น้ำหนักสมมูลของอนุมูล $\text{SO}_4^{-2} = \frac{32 + (16 \times 4)}{2} = \frac{96}{2} = 48$
น้ำหนักสมมูลของสารประกอบ น้ำหนักสมมูลของ กรด	น้ำหนักสมมูลของ $\text{H}^+$ + น้ำหนักสมมูลของอนุมูลกรด เช่น น้ำหนักสมมูลของ $\text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{1}{1} + \frac{32 + (16 \times 4)}{2} = \frac{98}{2} = 49$
น้ำหนักสมมูลของ เบส	น้ำหนักสมมูลของโลหะ + น้ำหนักสมมูลของ $\text{OH}^-$ เช่น น้ำหนักสมมูลของ NaOH = $\frac{23}{1} + \frac{16 + 1}{1} = \frac{40}{1} = 40$
น้ำหนักสมมูลของเกลือ	= <u>น้ำหนักสูตรของเกลือ</u> ค.ร.น ของเลขออกซิเดชันของอนุมูลที่เป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำหนักสมมูลของ $\text{Na}_2\text{SO}_4 = \frac{(23 \times 2) + (32 + 64)}{2} = \frac{142}{2} = 71$
น้ำหนักสมมูลของเกลือที่มีน้ำผลึก	= <u>น้ำหนักสูตรของผลึก</u> ค.ร.น ของเลขออกซิเดชันของอนุมูลที่เป็นองค์ประกอบของเกลือ เช่น น้ำหนักสมมูลของ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} = \frac{(23 \times 2) + 12 + (16 \times 3) + (18 \times 10)}{2} = \frac{286}{2} = 143$

## การหาน้ำหนักสมมูล (eqw)(ต่อ)

สำหรับในปฏิกิริยารีดอกซ์ น้ำหนักสมมูลของตัวออกซิไดซ์	= $\frac{\text{น้ำหนักสูตร}}{\text{จำนวนเลขออกซิเดชันที่ลดลงใน 1 สูตร}}$
น้ำหนักสมมูลของตัวรีดิวซ์	= $\frac{\text{น้ำหนักสูตร}}{\text{จำนวนเลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นใน 1 สูตร}}$  เช่น ในปฏิกิริยา $6\text{FeSO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3 \rightleftharpoons 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$ น้ำหนักสมมูลของ $\text{FeSO}_4$ = $\frac{\text{น้ำหนักสูตร}\text{FeSO}_4}{1} = 152$ น้ำหนักสมมูลของ $\text{HNO}_3$ = $\frac{\text{น้ำหนักสูตร}\text{HNO}_3}{3} = 63/3$

## 5.3.5. จำนวนโมล (mole)

สารใดๆ 1 โมล จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ เลขอาโวกาโดร ( Avogadro number =  $6.02 \times 10^{23}$  )  
และมีน้ำหนักเท่ากับ น้ำหนักอะตอม หรือโมเลกุลของสารที่เป็นกรัม ขึ้นกับว่าเป็น 1 โมลของสารที่เป็น  
อะตอม หรือโมเลกุล และถ้าเป็นแก๊สจะมีปริมาตร เท่ากับ 22.4 ลิตร หรือ 22400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่  
สภาวะมาตรฐาน (STP = standard temperature and pressure) เช่น

1 โมลอะตอมของ H มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม ซึ่งหนัก 1 กรัม

1 โมลโมเลกุลของ  $\text{H}_2$  มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล ซึ่งหนัก 2 กรัม

<p>จำนวนโมล (moles)</p> <p>= น้ำหนักของสารเป็นกรัม (grams)</p> <p>น้ำหนักโมเลกุล หรือ น้ำหนักสูตร</p> $= \frac{\text{moles}}{L} \times L = M \times L$	<p>จำนวนมิลลิโมล (millimoles)</p> <p>= น้ำหนักของสารเป็นมิลลิกรัม (milligrams)</p> <p>น้ำหนักโมเลกุล หรือ น้ำหนักสูตร</p> $= \frac{\text{mmoles}}{\text{mL}} \times \text{mL} = M \times \text{mL}$
--	---

#### 5.4. หน่วยปริมาตร

โดยทั่วไปจะใช้หน่วยลิตร (litre, L) และหน่วยมิลลิลิตร (millilitre, ml) เป็นหน่วยที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 3.98°C และความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งหน่วยนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิและความดัน ในปัจจุบันจะใช้ลูกบาศก์เดซิเมตร (ลบ.ตม., dm<sup>3</sup>) แทนลิตร และจะใช้ลูกบาศก์เซนติเมตร (ลบ.ซม., cm<sup>3</sup>) แทนมิลลิลิตร ซึ่งเป็นหน่วย SI (International System of Units) เป็นหน่วยสากลที่ใช้กันทั่วไป แต่อย่างไรก็ตาม หน่วยเดิมก็ยังคงใช้อยู่

- ลูกบาศก์เซนติเมตร (ลบ.ซม., cm<sup>3</sup>) = มิลลิลิตร (mL)
- ลูกบาศก์เดซิเมตร (ลบ.ตม., dm<sup>3</sup>) = ลิตร (L)
- ลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม., m<sup>3</sup>) = 10<sup>3</sup> ลิตร

#### 5.5. หน่วยความเข้มข้น

ความเข้มข้นของสารละลายที่เป็นของเหลวจะกล่าวใน 2 ลักษณะคือ

(1) **Analytical Concentration** เป็นค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้จากน้ำหนัก หรือปริมาตรของตัวถูกละลายในสารละลาย

(2) **Equilibrium Concentration** เป็นค่าความเข้มข้นของแต่ละสปีชีร์ของตัวถูกละลายในสารละลายภายใต้เงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยานั้น



ในการแสดงความเข้มข้นของสารละลาย ก็คือการแสดงปริมาณของตัวถูกละลาย (solute) ต่อ ปริมาตร หรือปริมาณหนึ่งหน่วย ของสารละลาย (solution) หรือตัวทำละลาย (solvent) ความเข้มข้นปกติ สามารถแสดงได้ในหน่วยทางกายภาพ (physical unit) เช่น หน่วยน้ำหนัก หรือ หน่วยปริมาตร หรือหน่วย ทางเคมี (chemical unit) เช่น ในหน่วยน้ำหนักกรัมสูตร น้ำหนักกรัมโมเลกุล และน้ำหนักกรัมสมมูล จำนวน โมล

### 5.5.1. การแสดงความเข้มข้นในหน่วยทางกายภาพ

(1) สารละลายเข้มข้น มักจะใช้ตัวย่อว่า conc. มาจากคำว่า concentrated เช่น  $\text{H}_2\text{SO}_4$  conc.

คือกรดซัลฟูริกเข้มข้น

(2) สารละลายเจือจาง มักจะใช้ตัวย่อว่า dil. มาจากคำว่า dilute เช่น  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dil.

คือกรดซัลฟูริกเจือจาง

(3) บอกความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ของตัวถูกละลายในสารละลาย

(3.1) เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก (% w/w)

คือจำนวนกรัมของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 กรัม น้ำหนักของตัวถูกละลาย (w) ในหน่วยกรัม (g) ปริมาตรของสารละลาย (v) ในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร( $\text{cm}^3$ ) ดังนั้นปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักจะคำนวณ ได้โดย

$$w = v \times d \times \% / 100$$

เช่น  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  12.5% (w/w) หมายความว่าในสารละลาย 100 กรัมจะมี  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ละลายอยู่ 12.5 g

(3.2) เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร(% v/v)

คือจำนวนลูกบาศก์เซนติเมตรของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร วิธีนี้จะใช้ในการผสม ของเหลวเข้าด้วยกัน เช่น

เมทิลแอลกอฮอล์ 20.0% (v/v) หมายความว่า ในสารละลาย 100 ลบ.ซม. จะมีเมทิลแอลกอฮอล์ละลายอยู่ 20.0 ลบ.ซม.

(3.3) เปอร์เซนต์ปริมาตรต่อปริมาตร(% v/v)

คือจำนวนกรัมของตัวถูกละลายในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เช่น กลูโคส 5.0% (w/v) หมายความว่า ในสารละลาย 100 กรัมจะมี กลูโคส ละลายอยู่ 5.0 กรัม

(4) อัตราส่วนเจือจาง คืออัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายเข้มข้นต่อน้ำ

เช่น HCl (1:4) หมายความว่า ในสารละลายจะมีปริมาตรของกรด HCl เข้มข้น 1 ส่วนต่อปริมาตรของน้ำ 4 ส่วน

(5) หน่วยความเข้มข้นของสารที่มีปริมาณน้อย ๆ

(5.1) ส่วนในล้านส่วน (parts per million, ppm)

คือจำนวนส่วนโดยน้ำหนักของตัวถูกละลายในจำนวนล้านส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลาย (หรือ จำนวนล้านส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย [ ถ้าความหนาแน่น (d) เท่ากับ 1] เช่น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg), ไมโครกรัมต่อกรัม ( $\mu\text{g/g}$ ), หรือมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l), หรือไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ( $\mu\text{g/ml}$ ) ( $\mu$  แทนไมโคร =  $10^{-6}$ )

(5.2) ส่วนในพันล้านส่วน (parts per billion, ppb)

คือจำนวนส่วนโดยน้ำหนักของตัวถูกละลายในจำนวนพันล้านส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลาย (หรือ จำนวนพันล้านส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย [ ถ้าความหนาแน่น (d) เท่ากับ 1] เช่น ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ( $\mu\text{g/kg}$ ), นาโนกรัมต่อกรัม (ng/g), หรือ ไมโครกรัมต่อลิตร ( $\mu\text{g/l}$ ), หรือนาโนกรัมต่อมิลลิลิตร(ng/ml) (n แทน นาโน =  $10^{-9}$ )

## (5.3) ส่วนในล้านล้านส่วน (parts per trillion, ppt)

คือจำนวนส่วนโดยน้ำหนักของตัวถูกละลายใน จำนวนล้านล้านส่วนโดยน้ำหนักของตัวทำละลาย (หรือ จำนวนล้านล้านส่วนโดยปริมาตรของตัวทำละลาย [ถ้าความหนาแน่น (d) เท่ากับ 1]) เช่น นาโนกรัมต่อกิโลกรัม (ng/kg), พิโคกรัมต่อกรัม (pg/g), หรือนาโนกรัมต่อลิตร (ng/l), หรือ พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ( p แทน พิโค =  $10^{-12}$ )

$$1 \text{ ppm} = \text{mg/kg} = \mu\text{g/g} = \text{mg/L} = \mu\text{g/ml}$$

$$1 \text{ ppb} = \mu\text{g/kg} = \text{ng/g} = \mu\text{g/L} = \text{ng/ml}$$

$$1 \text{ ppt} = \text{ng/kg} = \text{pg/g} = \text{ng/L} = \text{pg/ml}$$

สำหรับในงานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษในอากาศ จะนิยมแสดงความเข้มข้นของมลพิษในเทอมของปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นของแก๊สพิษเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) หมายถึง หนึ่งหน่วยปริมาตรของมลพิษในล้านหน่วยปริมาตรของอากาศผสม

$$\text{หนึ่งหน่วยปริมาตรของมลพิษ} = 1 \text{ ppm (โดยปริมาตร)}$$

$$10^6 \text{ ปริมาตรของอากาศผสม}$$

นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายในสภาวะเป็นแก๊สอาจจะแสดงในหน่วยผสมของมวลต่อหน่วยปริมาตร เช่น  $\mu\text{g/m}^3$  หรือ  $\text{mg/m}^3$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ppm (โดยปริมาตร) และ  $\text{mg/m}^3$  จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของมลพิษ ซึ่งก็คือขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความดัน และน้ำหนักโมเลกุล ที่ อุณหภูมิ  $0^\circ \text{C}$  และ ความดัน (P) 1 บรรยากาศ 1 โมลของแก๊สในอุดมคติ (คือมีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักโมเลกุล) (MW) จะครอบครองปริมาตร (V) 22.4 L (หรือ  $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ) ดังนั้นจะแสดงได้ว่า

$$\text{mg/m}^3 = \text{ppm} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ pollutant} / 10^6 \text{ m}^3 \text{ air}}{\text{ppm}} \times \frac{\text{MW(g / mol)}}{22.4 \times 10^3 \text{ m}^3 / \text{mol}} \times 10^3 \text{ (mg / g)}$$

หรือสามารถแสดงได้

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{MW}}{22.4} \text{ (ที่ } 0^\circ \text{ C และ ความดัน 1 atm)}$$

สำหรับที่สภาวะอื่นๆจะใช้สมการ

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{MW}}{22.4} \times \frac{273}{T(K)} \times \frac{P(\text{atm})}{1\text{atm}}$$

เมื่อ T = อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (  $K = 273 + ^\circ \text{C}$  ) และความดันในหน่วยบรรยากาศ (atm)

### ตัวอย่างที่ 5.1

ค่ามาตรฐานของคุณภาพของอากาศสำหรับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (ใช้การวัดใน 8 ชั่วโมง)คือ 9.0 ppm  
จงแสดงค่ามาตรฐานนี้ในหน่วยอัตราร้อยละของปริมาตร ในหน่วย  $\text{mg/m}^3$  ที่  $0^\circ \text{C}$  และ ความดัน 1 atm)

วิธีทำ

ในล้านส่วนของปริมาตรอากาศนี้มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 9.0 ปริมาตรไม่ว่าอุณหภูมิและความดันจะเป็น  
อย่างไร(นี่คือข้อได้เปรียบของหน่วย ppm) ดังนั้น อัตราร้อยละของปริมาตร คือ

$$\% \text{ CO} = \frac{9.0}{1 \times 10^6} \times 100 = \mathbf{0.0009}$$

ในการหาความเข้มข้นในหน่วย  $\text{mg/m}^3$  ต้องการทราบน้ำหนักโมเลกุลของ CO คือ 28 ไม่มีความจำเป็นต้อง  
ทำการแก้ไขค่าความดัน แก้ไขเฉพาะอุณหภูมิเป็น  $25^\circ \text{C}$  เป็น 298K

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad \text{mg/m}^3 &= \frac{\text{ppm} \times \text{MW}}{22.4} \times \frac{273}{T(K)} \times \frac{P(\text{atm})}{1\text{atm}} \\ \text{CO} &= \frac{9 \times 28}{22.4} \times \frac{273}{298} = 10.3 \text{mg} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

เมื่อค่ามาตรฐานของคุณภาพของอากาศกำหนดในหน่วย  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  หรือ  $\text{mg}/\text{m}^3$  จะอยู่บนสมมุติฐานคือ  $\text{m}^3$  ที่  $25^\circ\text{C}$  และ ความดัน 1 atm การเปลี่ยนหน่วยในเงื่อนไขนี้คือ

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{MW}}{24.45} \quad (\text{ที่ } 25^\circ\text{C} \text{ และ ความดัน } 1 \text{ atm})$$

### 5.5.2. การแสดงความเข้มข้นในหน่วยทางเคมี

(1) หน่วยโมลาร์ หรือ โมลาริตี (molarity, M) และ ฟอर्मลิตี (formality, F)

หมายถึง จำนวนโมล (mol) หรือจำนวนกรัมโมเลกุล (หรือมิลลิโมล (mmol)) ของตัวถูกละลายในสาร

ละลาย 1 ลิตร (หรือมิลลิลิตร) มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตร ( $\text{mol}/\text{l}$ ) =  $\frac{\text{g}}{\text{gmw}}$

ในกรณีสารประกอบไอออนิก หรือสารละลายไอออนิก เราจะนิยมใช้น้ำหนักกรัมสูตร และจำนวนกรัมสูตร (fw) หรือ ฟอर्मลิตี (formality, F) จะมีความหมายคล้ายคลึงกับ โมลาริตี น้ำหนักกรัมสูตรของสารใดๆ คือปริมาณเป็นกรัมของสารนั้นใน 1 สูตรของสารประกอบนั้น ฟอर्मลิตี (formality, F) คือจำนวนกรัมสูตรของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร ( $\text{gfw} / \text{L}$ ,  $\text{fw} / \text{L}$  หรือ  $\text{mfw} / \text{L}$ )

ความสัมพันธ์ต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับ โมลาริตี (M) และ ฟอर्मลิตี (F)

$$\begin{array}{l} \text{M} \\ \text{F} \end{array} \begin{array}{l} \text{mol} \\ \text{mol} \\ \text{L} \\ \text{L} \end{array} \begin{array}{l} \text{g} \\ \text{g} \\ \text{gmw} \times \text{L} \\ \text{gfw} \times \text{L} \end{array} \begin{array}{l} ; \\ ; \\ \text{mmol} \\ \text{ml} \end{array} \begin{array}{l} \frac{\text{mg}}{\text{gmw}} \\ \frac{\text{mg}}{\text{gmw} \times \text{mL}} \\ \frac{\text{mg}}{\text{gfw}} \\ \frac{\text{mg}}{\text{gfw} \times \text{mL}} \end{array}$$

เมื่อ

L , ml คือ ปริมาตรของสารละลายในหน่วยลิตร และมิลลิลิตรตามลำดับ

g , mg คือ น้ำหนักของตัวถูกละลายในหน่วยกรัม และมิลลิกรัมตามลำดับ

gmw คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายในหนึ่งโมล หรือจำนวนมิลลิกรัมในหนึ่งมิลลิโมล

gfw คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายในหนึ่งกรัมสูตร

mfw คือ จำนวนมิลลิกรัมของตัวถูกละลายในน้ำหนักมิลลิกรัมสูตร

(2) หน่วยนอร์แมล หรือ นอร์แมลิตี (normality, N)

จำนวนกรัมสมมูล (eq) (หรือมิลลิกรัมสมมูล, meq) ของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร (หรือมิลลิลิตร)

มีหน่วยเป็น eq/L หรือ meq / ml

ความสัมพันธ์ต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับ นอร์แมลิตี (N)

$$\begin{aligned} \text{eq} &= \frac{g}{\text{eqw}(g / \text{eq})} & , & \quad \text{meq} &= \frac{\text{mg}}{\text{eqw}(\text{mg} / \text{eq})} \\ N &= \frac{\text{eq}}{L} & = & \frac{\text{meq}}{\text{ml}} &= \frac{g}{\text{eqw} \times L} & = & \frac{\text{mg}}{\text{eqw} \times \text{mL}} \\ \text{eqw} &= \frac{\text{gmw}}{n} & = & \frac{\text{gfw}}{n} \end{aligned}$$

เมื่อ

L , ml คือ ปริมาตรของสารละลายในหน่วยลิตร และมิลลิลิตรตามลำดับ

g , mg คือ น้ำหนักของตัวถูกละลายในหน่วยกรัม และมิลลิกรัมตามลำดับ

gmw คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายในหนึ่งโมล หรือจำนวนมิลลิกรัมในหนึ่งมิลลิโมล

gfw คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายในหนึ่งกรัมสูตร

mfw คือ จำนวนมิลลิกรัมของตัวถูกละลายในน้ำหนักมิลลิกรัมสูตร

eqw คือ จำนวนกรัมของตัวถูกละลายในหนึ่งกรัมสมมูล หรือจำนวนมิลลิกรัมในหนึ่งมิลลิกรัมสมมูล

n คือ จำนวนสมมูลต่อหนึ่งโมล หรือ ต่อหนึ่งกรัมสูตร

ดังนั้น สำหรับ  $H_2SO_4$  และ  $Ba(OH)_2$

$$N = nM ; M = \frac{N}{n} \quad (\text{ตัวอย่าง เช่น } 1 M H_2SO_4 \equiv 2NH_2SO_4)$$

$$N = nF ; F = \frac{N}{n} \quad (\text{ตัวอย่าง เช่น } 1FBa(OH)_2 \equiv 2NBa(OH)_2)$$

### ข้อสังเกต

สำหรับปฏิกิริยาในสารละลายของสารประกอบ A และ B จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{จำนวนสมมูลของสารประกอบ A} = \text{จำนวนสมมูลของสารประกอบ B}$$

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของสารประกอบ A} = \text{จำนวนกรัมสมมูลของสารประกอบ B}$$

$$\text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของสารประกอบ A} = \text{จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของสารประกอบ B}$$

$$V_A \times N_A = V_B \times N_B$$

$V_A, V_B$  คือ ปริมาตรของสารละลายของสารประกอบ A และ B ในหน่วยเดียวกัน (ml)

$N_A, N_B$  คือ สมมูลของสารประกอบ A และ B (meq/ml)

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่า} \quad (ml_A) (meq_A / ml_A) = (ml_B) (meq_B / ml_B)$$

นัก

ชนิดของปฏิกิริยา	สารที่เข้าปฏิกิริยา	น้ำหนักกรัมสมมูล	
		วิธีการคำนวณ	ตัวอย่าง
1. ปฏิกิริยาการแทนที่	กรด	น้ำหนักกรัมสูตร จำนวน H <sup>+</sup> ถูกแทนที่	$\frac{\text{HCl}}{1} = 36.46 \text{ กรัม}$ $\frac{\text{H}_2\text{SO}_4}{2} = 49.04 \text{ กรัม}$
	เบส	น้ำหนักกรัมสูตร จำนวน H <sup>+</sup> ที่รับมา	$\frac{\text{NH}_3}{1} = 17.03 \text{ กรัม}$ $\frac{\text{Ba(OH)}_2}{2} = 85.68 \text{ กรัม}$
	เกลือ	น้ำหนักกรัมสูตร จำนวนเลขออกซิเดชันของไอออนที่เป็นบวกหรือลบทั้งหมด	$\frac{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{6} = 57.02 \text{ กรัม}$ สำหรับ 2Al <sup>+3</sup> หรือ 3SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> $\frac{\text{Na}_2\text{HPO}_4}{2} = 70.98 \text{ กรัม}$ สำหรับ Na <sup>+</sup> $\frac{\text{Na}_2\text{HPO}_4}{3} = 47.32 \text{ กรัม}$ สำหรับ PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> $\frac{\text{Fe}_2\text{SO}_4}{2} = 75.95 \text{ กรัม}$ สำหรับ Fe <sup>+2</sup> หรือ SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>



น้ำหนักกรัมสมมูลของ.....ไอโอดีนไดรไลต์ (ต่อ)

น้ำหนักกรัมสมมูลของ.....ไอโอดีนไดรไลต์ (ต่อ)		น้ำหนักกรัมสมมูล	
ชนิดของปฏิกิริยา	ส <sup>-</sup> ข้ำทำปฏิกิริยา	วิธีการคำนวณ	ตัวอย่าง
2. ปฏิกิริยารีดอกซ์	ตัวออกซิไดซ์	น้ำหนักกรัมสูตร จำนวน e <sup>-</sup> ที่ได้รับ	$\frac{Fe_2O_4}{1} = 151.91 \text{ กรัม}$ สำหรับ $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ $\frac{KMnO_4}{5} = 31.61 \text{ กรัม}$ สำหรับ $MnO_4^- \rightarrow Mn^{+2}$ $\frac{KMnO_4}{3} = 52.68 \text{ กรัม}$ สำหรับ $MnO_4^- \rightarrow MnO_2$
	ตัวรีดิวซ์	น้ำหนักกรัมสูตร จำนวน e <sup>-</sup> ที่เสียไป	$\frac{H_2S}{2} = 17.04 \text{ กรัม}$ สำหรับ $S^{-2} \rightarrow S$

## (3) หน่วยโมแลลิตี (molality, m)

จำนวนโมลของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม หน่วยโมแลลิตี ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และใช้มากในทางเคมีฟิสิกัล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) ของสารละลาย สมบัติที่ขึ้นกับจำนวนของอนุภาคมากกว่าชนิด ปกติจะใช้เมื่อสมบัติทางกายภาพของสารละลาย เช่น ความดันไอ จุดเยือกแข็ง และจุดเดือดเข้ามาเกี่ยวข้อง

## (4) ความเข้มข้นในหน่วยเศษส่วนโมล (concentration in mole fractions)

เศษส่วนโมล ( $x_A$ ) ของสารประกอบ A คืออัตราส่วนของจำนวนโมลของสาร A ต่อจำนวนโมลทั้งหมดของทุกองค์ประกอบในสารละลาย

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots + n_x}$$

(5) หน่วยไตเตอร์ (T) หน่วยนี้โดยปกติใช้ในงานประจำ เช่น การไทเทรตที่ต้องทำเป็นประจำทุกวัน เพื่อให้การคำนวณสั้นขึ้น

T = ปริมาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับหนึ่งหน่วยปริมาตร (1 ml) ของตัวไทเทรนต์ ปกติแสดงในหน่วย mg/ml

ความสัมพันธ์หน่วยไตเตอร์ กับหน่วยอื่น ๆ มีดังนี้

$$T \text{ (mg/ml)} = N \text{ (meq/ml)} \times \text{eqw (mg/meq)}$$

$$T \text{ (mg/ml)} = M \text{ (mmol/ml)} \times \text{gfw (mg/mmol)}$$

เมื่อ M และ N คือความเข้มข้นเป็น โมลาร์ลิตีและนอร์มัลลิตี ของสารละลายมาตรฐาน

gfw และ eqw คือน้ำหนักกรัมสูตร และน้ำหนักสมมูลของสารที่ต้องการวิเคราะห์

## ตัวอย่างที่ 5.2

น้ำส้มสายชูจำนวน 5.00 mL มีความหนาแน่น 1.008 กรัมต่อมิลลิลิตร ต้องใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1002 N จำนวน 43.03 mL ในการไทเทรต จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกรดอะซิติก (Acetic Acid) ในตัวอย่างน้ำส้มสายชู

## วิธีทำ

จำนวนกรัมสมมูลของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ที่ใช้ = จำนวนกรัมสมมูลของ NaOH ที่ใช้

$$= 43.03 \text{ mL} \times 0.1002 \text{ meq/mL}$$

จำนวนกรัมของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ที่ใช้ =  $43.03 \text{ mL} \times 0.1002 \text{ meq/mL} \times 0.06005 \text{ g/meq}$

$$= 0.2589 \text{ g}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกรดอะซิติกในตัวอย่างน้ำส้มสายชู มีค่าเท่ากับ

$$\% \text{ CH}_3\text{COOH (w/w)} = \frac{0.2589 \text{ g}}{5.00 \text{ ml} \times 1.008 \text{ g/ml}} \times 100 = 5.14\%$$

ปัญหาในทางสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสารที่ละลายในน้ำ หน่วยแสดงความเข้มข้นต่างๆได้ถูกนำมาใช้ เพื่อความสะดวกจะแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนหน่วยระหว่าง molarity กับ mg/L ดังนี้

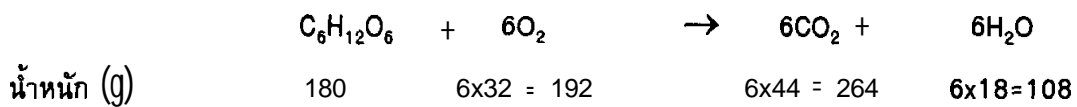
$$\text{mg/L} = \text{Molarity (mol/L)} \times \text{MW (g/mol)} \times 10^3 \text{ (mg/g)}$$

## ตัวอย่างที่ 5.3

ในการศึกษากระบวนการในการบำบัดน้ำเสียทางทฤษฎีโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำตาลกลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) ตามความต้องการออกซิไดซ์น้ำตาลกลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) เข้มข้น  $1.67 \times 10^{-3}$  M เป็นน้ำและ  $CO_2$  อย่างสมบูรณ์จะต้องใช้ออกซิเจนที่มีผลลิกรัมต่อลิตร

## วิธีทำ

เพื่อคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ต้องพิจารณาจากสมการที่ดุลแล้ว เพื่อหาปริมาณมวลสารสัมพันธ์



จากสมการ พบว่า จะต้องใช้ออกซิเจน 192 g ในการออกซิไดซ์น้ำตาล 180 g

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร mg/L} &= \text{Molarity (mol/L)} \times \text{MW (g/mol)} \times 10^3 \text{ (mg/g)} \\
 &= 1.67 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \times 180 \text{ g/mol} \times 10^3 \text{ (mg/g)} \\
 &= 300 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ} = 300 \text{ mg/L}_{\text{glucose}} \times \frac{192 \text{ g}_{O_2}}{180 \text{ g}_{\text{glucose}}} = 320 \text{ mg/L}_{O_2}$$

## ตัวอย่างที่ 5.4

จงแสดงความเข้มข้น ppm ในหน่วย w/w, w/v และ v/v

## วิธีทำ

$$\begin{array}{llll}
 \text{ppm} & = \mu\text{g/g} & = 10^{-6} \text{ g/g} & \text{หรือ } \text{mg/kg} = 10^{-3} \text{ g}/10^3 \text{ g (w/w)} \\
 \text{ppm} & = \text{nl/ml} & = 10^{-9} \text{ L}/10^{-3} \text{ L} & \text{หรือ } \mu\text{l/L} = 10^{-6} \text{ L/L (v/v)} \\
 \text{ppm} & = \mu\text{g/ml} & = 10^{-6} \text{ g/ml} & \text{หรือ } \text{mg/L} = 10^{-3} \text{ g}/10^{-3} \text{ ml (w/v)}
 \end{array}$$

(โปรดสังเกตว่า  $1 \text{ ml} \approx 1 \text{ g}$ )



(c) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมแลล (m)

(d) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยเศษส่วนโมล

(a) จำนวนมิลลิลิตรของน้ำที่ต้องเติมลงในกรด 100.0 ลบ. au. เพื่อให้มีความเข้มข้นของ  $H_2SO_4$  เท่ากับ 1.00 N

(f) จงคำนวณหาจำนวนมิลลิกรัมของ  $H_2SO_4$  ในสารละลาย 15.0 ลบ. ซม. ของ 1.00 N  $H_2SO_4$

### วิธีทำ

(a) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยฟอร์แมล (F)

$$\text{น้ำหนักของสารละลาย 1 L} = \frac{1280\text{g}}{\text{ml}} \times \frac{1000\text{ml}}{\text{L}} = 1280 \text{ g / L}$$

$$37.0\% \text{ ของน้ำหนักนี้คือ } H_2SO_4 = \frac{1280\text{g}}{\text{L}} \times \frac{37.0\text{g}}{100\text{g}} = 473.6 \text{ g / L}$$

น้ำหนักกรัมสูตรของกรด  $H_2SO_4 = 98.08$  ดังนั้น

$$F = \frac{473.6 \text{ g / L}}{98.08 \text{ g / gfw}} = 4.83 \text{ gfw / L}$$

(b) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยนอร์แมล (N)

น้ำหนักกรัมสมมูลของกรด  $H_2SO_4 = 98.08/2 = 49.04$  ดังนั้น

$$N = \frac{473.6 \text{ g / L}}{49.04 \text{ g / geq}} = 9.66 \text{ eq / L}$$

## (c) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมลล (m)

ในสารละลาย 1 ลิตรหนัก 1280 กรัม จะประกอบด้วยเนื้อกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4 = 473.6 \text{ g}$

$$\text{ดังนั้นจะมีน้ำอยู่ } 1280 - 473.6 = 806.4 \text{ g}$$

$$\text{ในสารละลายจะประกอบด้วย } \frac{473.6 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{806.4 \text{ g H}_2\text{O}} = \frac{587.3 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$\text{ดังนั้น } m = \frac{587.3 \text{ g H}_2\text{SO}_4 / 1000 \text{ g H}_2\text{O}}{98.08 \text{ g H}_2\text{SO}_4 / \text{mol H}_2\text{SO}_4} = 5.99$$

## (d) ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยเศษส่วนโมล

ให้  $x_2$  เป็น mole fraction ของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$X_2 = \frac{\text{mol H}_2\text{SO}_4}{\text{mol H}_2\text{SO}_4 + \text{mol H}_2\text{O}} = \frac{4.83 \text{ mol}}{4.83 \text{ mol} + \frac{806.4 \text{ g H}_2\text{O}}{18.02 \text{ g H}_2\text{O} / \text{mol}}} = 0.097$$

(e) จำนวนมิลลิลิตรของน้ำที่ต้องเติมลงในกรด 100.0 ลบ. ซม. เพื่อให้มีความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$

1.00N

ให้ V เป็นปริมาตรของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1.00N หลังจากการเจือจางแล้ว

จำนวนกรัมสมมูลของกรดก่อน และหลังการเจือจางมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะได้ว่า

$$100.0 \text{ ml} \times 9.66 \text{ meq} / \text{ml} = V \text{ ml} \times 1.00 \text{ meq} / \text{ml}$$

$$V = 966 \text{ ml}$$

$$\text{ดังนั้น จะต้องเติมน้ำ } 966 - 100 = 866 \text{ ml}$$

(f) จงคำนวณหาจำนวนมิลลิกรัมของ  $H_2SO_4$  ในสารละลาย 15.0 ลบ. ซม. ของ 1.00 N  $H_2SO_4$

$$\text{จำนวนมิลลิกรัมของ } H_2SO_4 = 15.0 \text{ ml} \times 1.00 \text{ meq/ml} \times 49.04 \text{ mg /meq} = 736 \text{ mg}$$

### ตัวอย่างที่ 5.7

กรดไนตริกเข้มข้น ( $HNO_3$ , MW = 63.01) to 15.9 M มีความหนาแน่น 1.429 /ml จงคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight percent) ของ  $HNO_3$  ในกรดเข้มข้น และ โมลลิตีของสารละลาย

1 ลิตรของกรดเข้มข้นจะมี  $HNO_3$  15.9 mol ( $15.9 \times 63.01$  g)

ในสารละลาย 100 g ของกรดเข้มข้นจะมี  $\frac{15.9 \times 63.01 \times 100}{1000 \times 1.429}$

1 ลิตรของกรด  $HNO_3$  เข้มข้นหรือ  $1000 \times 1.429 = 1429$  g จะมีเนื้อกรด

$15.9 \times 63.01$  g และมีน้ำ  $1429 - (15.9 \times 63.01)$  g

น้ำ  $1429 - (15.9 \times 63.01)$  g จะมีเนื้อกรด 1.59 mol

น้ำ	1000	g	จะมีเนื้อกรด	$1.591000$	=	38.0 m
				$1429 - (15.9 \times 63.01)$		

-----



### คำถามเพิ่มเติมท้ายบท

5.1. จงคำนวณหาจำนวนมิลลิโมลของรีเอเจนต์ที่มีอยู่ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ก)  $\text{AgNO}_3$  จำนวน 1.76 g

ข)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  จำนวน 800 g

ค)  $\text{HCl}$  เข้มข้น  $5.00 \times 10^{-2} \text{ M}$  จำนวน 1.00 mL

ง)  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  เข้มข้น  $4.50 \times 10^{-3} \text{ M}$  จำนวน 12.00 mL

จ)  $\text{Cr}^{3+}$  เข้มข้น 3.14 ppm จำนวน 5.00 mL

า)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  เข้มข้น 6.97% (w/w) จำนวน 2500 mg

ตอบ ก) 10.4 mmol, ข) 4.88 mmol, ค)  $5.00 \times 10^{-2}$  mmol,

ง) 9.00 mmol จ)  $3.02 \times 10^{-3}$  mmol ข) 1.38 mmol

5.2. จงคำนวณหาน้ำหนักเป็นมิลลิกรัมของรีเอเจนต์ที่มีอยู่ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ก)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  จำนวน 3.94 mmol

ข)  $\text{NH}_3$  จำนวน 3.00 mol

ค)  $\text{KOH}$  เข้มข้น 6.00 M จำนวน 2.50 mL

ง)  $\text{KMnO}_4$  เข้มข้น 0.114 M จำนวน 0.350 L

จ)  $\text{Pb}$  เข้มข้น 91.4 ppb จำนวน 500 mL

ช)  $\text{NH}_3$  เข้มข้น 34.1 % (w/w) จำนวน 1100 mg

ตอบ ก) 182 mg, ข) 51.0 mg, ค) 842 mg

ง)  $6.30 \times 10^3$  mg, จ) 0.0457 mg, ช) 34.1 mg

5.3. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของตัวถูกละลายต่อไปนี้ที่ละลายอยู่ในสารละลายจำนวน 250 mL

ก)  $\text{KI}$  จำนวน 9.00 g

ข)  $\text{BaCl}_2$  จำนวน 750 mg

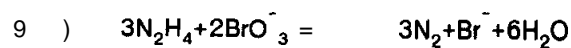
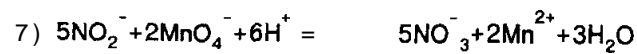
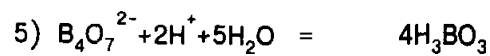
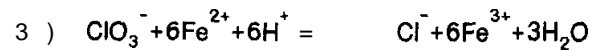
ค)  $Zn(NO_3)_2$  จำนวน 0.0168 mol      ง) NH<sub>3</sub> เข้มข้น 15.0 M จำนวน 25.0 mL

จ)  $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$  จำนวน 844 mg      ช) Hg เข้มข้น 9.88 ppm จำนวน 50.0 mL

ตอบ ก) 0.217 M, ข) 0.0144 M, ค) 0.0672 M

จ) 1.50 M,      จ)  $8.86 \times 10^{-3}$  M,      ช)  $9.83 \times 10^{-4}$  M

5.4. ในแต่ละปฏิกิริยาต่อไปนี้ จงหาว่าน้ำหนักสมมูลของสารที่ถูกไทเทรตในรูปฟังก์ชันของน้ำหนักโมเลกุล



ตอบ 1) MW/3, 2) 2MW, 3) MW/6, 4) MW/2, 5) MW/2,

6) MW/2, 7) MW/2, 8) MW, 9) MW/4, 10) 2MW

5.5. ค่าการละลายของ  $Ca_2C_2O_4$  ในสารละลายอิ่มตัวคือ  $5.24 \times 10^{-5}$  M จงคำนวณหาน้ำหนักเป็น มิลลิกรัม ของ  $Ca_2C_2O_4$  ที่ละลายในสารละลายนี้ 1L

ตอบ 6.71 mg

5.6. ค่าสารละลายคิดเป็นโมลาร์ของ  $PbSO_4$  มีค่าเท่ากับ  $1.14 \times 10^{-4}$  mol/L จงคำนวณหา ไมโครกรัมของ  $Pb^{2+}$  ในสารละลายอิ่มตัวของ  $PbSO_4$  1 mL

ตอบ 23.6  $\mu$ g

5.7. จงคำนวณหาน้ำหนักของเกลือต่อไปนี้ที่ต้องการใช้สำหรับการเตรียมสารละลายจำนวน 500 mL ที่มี

ก) แคลท์ไอออนอยู่ **10.0 mg /mL** ( ข้อ A)

ข) แอนไอออนอยู่ 10.0 mg /mL ( ข้อ B )

A ) ( 1 )  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ( 2 )  $\text{SbCl}_3$ , (3)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , (4)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$

B) ( 1 )  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , (2)  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , (3)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , ( 4 )  $\text{K}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)$

ตอบ ข้อ A ( 1 ) 6.99g (2) 9.37g (3) 31.3g (4) 22.2g

ข้อ B ( 1 ) 7.61g (2) 9.53g (3) 7.39g (4) 7.77g

5.8. จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารละลายต่อไปนี้

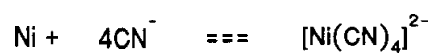
n)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  เข้มข้น 2.50 %w/w จำนวน 5.00 g เจือจางจนมีปริมาตรเป็น 100 mL

ข) ไอโอดีน จำนวน 12.4 g ในเอทานอล 1 ลิตร

n) ยูเรีย ,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  จำนวน 4.06 mg ในสารละลาย 1 ลิตร

ตอบ n)  $7.62 \times 10^{-3} \text{ M}$       ข)  $4.88 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$       ค)  $0.117 \text{ mol/L}$

5.9. เมื่อนำสารละลาย  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  จำนวน 100.0 mL ซึ่งมี Ni อยู่ 2.00 g /L มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย KCN 30.0 mL โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้



จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์และนอร์แมลของสารละลาย KCN

ตอบ 0.454 M, 0.227 N

5.10. ถามว่าจะต้องเติมน้ำกี่มิลลิลิตรลงในสารละลายแต่ละชนิดต่อไปนี้ เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นดังตัวเลขที่แสดงไว้ในวงเล็บ

n) 25.5 mL ของ 4.0 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.500 N)

ข) 120.0 mL ของ 0.120 N  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  (0.0500 M )

ค) 50.0 mL ของ HCl ที่มีความหนาแน่น 1.095 g/mL มี HCl 20.0 % โดยน้ำหนัก  
(10.0 M)

ตอบ n) 368 mL ข) 24.0 mL ค) 250 mL

5.11. จะต้องเติม NaF ลงไปในน้ำ 1 ลิตรเท่าใดเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของไอออน  $F^-$  มีค่าเท่ากับ 1.00 ppm

ตอบ 2.21 g

5.12. จงคำนวณความเข้มข้นเป็นฟอร์มีล, นอร์แมล, และโมลลของสารละลายต่อไปนี้

n) กรดอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) ความหนาแน่น 1.05 g / mL และความเข้มข้น 99.5%  
โดยน้ำหนัก

ข) แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ความหนาแน่น 0.898 g / mL และความเข้มข้น 28.0%  
โดยน้ำหนัก

ค) กรดเกลือ (HCl) ความหนาแน่น 1.18 g / mL และความเข้มข้น 35.6 %  
โดยน้ำหนัก

ง) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) ความหนาแน่น 1.41 g / mL และความเข้มข้น 67.5 %  
โดยน้ำหนัก

ตอบ n) 17.4 M, 17.4 N, 3314 m ข) 14.8 m, 14.8 N, 22.8 m

ค) 11.5 M, 11.5 N, 15.2 m ง) 15.1 M, 15.1 N, 33.0 m

5.13. สารละลายกรดซัลฟูริกมีความหนาแน่น 1.28 g/mL และมีเนื้อกรด  $H_2SO_4$  37.0 % โดยน้ำหนัก  
จะต้องใช้สารละลายกรดที่ในสัดส่วนที่เท่าไร เพื่อผสมกันกับสารละลาย 0.500 N  $H_2SO_4$  เพื่อให้  
ได้สารละลายสุดท้ายที่มีความเข้มข้น 1.00 M จำนวน 10.0 L

ตอบ 0.500 N  $H_2SO_4$  : สารละลายกรดซัลฟูริกมีความหนาแน่น 1.28 g/mL , 37.0 % โดยน้ำหนัก  
= 8.36 L : 1.64 L

5.14. คำนวณหาปริมาตรเป็นมิลลิลิตรของสารละลายกรดซัลฟูริก ซึ่งมีความหนาแน่น 1.85 g/mL และมีเนื้อกรด 98.0 % โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาเจือจางด้วยน้ำ เพื่อให้ได้สารละลาย 1 ลิตร ที่มีความเข้มข้น  $\text{H}_2\text{SO}_4$  66.0 % โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายเริ่มต้น ( ถ้าโปรตอนทั้งสองในกรดเกิดปฏิกิริยา )

ตอบ 527 mL, 37.0 N

5.15. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้นซึ่งมีความหนาแน่น 1.42 g/mL และมีเนื้อกรด 70.0 % โดยน้ำหนัก

- ก) จงหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารละลาย
- ข) ปริมาตรของกรดนี้มีเนื้อกรดอยู่ 9.94 g
- ค) ต้องการเตรียมสารละลาย 0.1580 M  $\text{HNO}_3$  จำนวน 500 mL จากสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นจะทำได้อย่างไร

ตอบ ก) 15.8 M      ข) 10.0 mL      ค) ใช้สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5.00 mL

5.16. สารละลายกรดซัลฟูริกมีความหนาแน่น 1.28 g/mL และมีเนื้อกรด 37.0 % โดยน้ำหนัก สารละลายแอมโมเนียมีความหนาแน่น 0.898 g/mL และมีเนื้อกรด  $\text{NH}_3$  28.0 % โดยน้ำหนัก ในสารละลายทั้ง 2 ชนิดสารใดมีความเศษส่วนโมลมากกว่า

ตอบ สารละลายกรดซัลฟูริกมีความเศษส่วนโมลมากกว่า

5.17. จงคำนวณจำนวนกรัมของ  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ที่จะต้องนำมาผสมกับ  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  1.000 กรัม เมื่อนำมาละลายด้วยน้ำ ความเป็นเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายที่ได้ในรูปของตัวรีดิวซ์ (ผลิตภัณฑ์ คือ  $\text{CO}_2$ ) มีค่าเป็น 3.10 เท่า ของความเข้มข้นเป็นนอร์มัลในรูปของกรด ( มีโปรตอนที่เกิดปฏิกิริยาได้ 3 ตัว )

ตอบ 0.614 g

5.18. ต้องการเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.000 N จำนวน 1 ลิตร จะต้องนำสารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความหนาแน่นเป็น 1.835 g/mL และมีความเข้มข้นทางเนื้อกรด 93.1 % โดยน้ำหนักมากี่มิลลิลิตร

ตอบ 28.7 mL

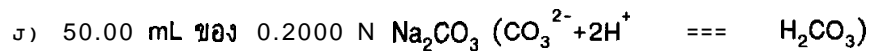
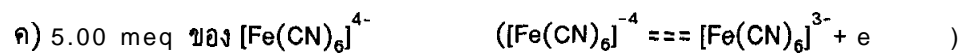
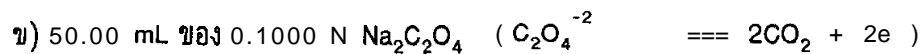
5.19. จะต้องเติมน้ำจำนวนกี่มิลลิลิตรเติมลงไปนสารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.1038 N จำนวน 990 mL เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 1.000 N พอดี

ตอบ 37.62 mL

5.20. เมื่อผสมสารละลาย HCl เข้มข้น 0.0980 M จำนวน 32.40 mL กับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.1080 N จำนวน 34.40 mL จงคำนวณความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายผสมที่ได้ และเมื่อทำการเจือจางสารละลายผสมด้วยน้ำ 100.0 mL

ตอบ 0.1031 N, 0.0689 N

5.21. จงคำนวณหาปริมาณเป็นกรัมของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลายแต่ละชนิดต่อไปนี้



ตอบ ก) 1.960 g ข) 0.3350 ค) 1.060g ง) 0.5300 g

5.22. จงคำนวณความเข้มข้นเป็น โมแลล, โมลาร์ของเมทานอลในสารละลายซึ่งมีความหนาแน่น 1.4633 g/mL และของสารละลายที่ได้จากการละลายเมทานอล 50.00 mL ( ความหนาแน่น = 0.761 g/mL ) ในคลอฟอร์มจำนวน 950.0 mL

ตอบ 0.8727 m, 1.242 M

5.23. สารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.1000 M ซึ่งแตกตัวได้ 100% แต่สารละลายกรด  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ซึ่งแตกตัวได้เพียง 1.34 % จงคำนวณหาปริมาตรของสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.2500 N ที่จำเป็นต้องใช้ในการสะเทินกับสารละลายกรดแต่ละชนิดดังกล่าวจำนวน 100 mL

ตอบ 40.0 mL

5.24. จงเติมคำตอบลงในช่องว่างที่เว้นไว้ให้ ซึ่งจะทำให้ปริมาณของสารสมมูลกันพอดี

ก) 0.654 g  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \equiv^{\text{H}^+}$  .....mL 0.2500 N  $\text{KMnO}_4$

ข) 32.7 mg  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \equiv$  mL 0.1 000 N NaOH

ค) 5.8 % g  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \equiv$  mL 0.5000 M KI

ตอบ ก) 48.0 mL ข) 4.50 mL ค) 239.8 mL

5.25. จงคำนวณความเข้มข้นเป็นฟอร์แมลและนอร์แมลของสารละลายชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วย

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 0.604 g ใน 20.0 mL ถ้าหากว่าทองแดงตกตะกอนอย่างสมบูรณ์เป็น CuS จงคำนวณหาปริมาณของตะกอนที่ได้มาจากสารละลายจำนวน 20.0 mL นี้

ตอบ 0.125 F, 0.250 N, 24 mg

5.26. (ก) จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารละลายกรดซัลฟูริก จำนวน 50.00mL ซึ่งสามารถให้ตะกอน  $\text{BaSO}_4$  จำนวน 2.1015 g

(ข) จงคำนวณหาปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่มีความหนาแน่น 1.84 g/mL และมีเนื้อกรด 95.9 % โดยน้ำหนัก ที่ต้องการใช้สำหรับเตรียมสารละลายจำนวน 1 ลิตรที่ต้องใช้ในข้อ ก)

ตอบ ก) 0.1801 M ข) 10.0 mL

5.27. ปริมาตรของน้ำที่ต้องเติมลงไปในการละลายเกลือเข้มข้นที่มีความหนาแน่น 1.10 mg/mL และมีเนื้อกรด 20 % โดยน้ำหนัก จำนวน 50.0 mL เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความหนาแน่น 1.04 g/mL และมีเนื้อกรด 8.16 % โดยน้ำหนัก

ตอบ 79.6 mL

5.28. จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลายแต่ละชนิดต่อไปนี้

n) การเตรียมสารละลาย  $\text{BaCl}_2$  เข้มข้น 0.193 M จำนวน 1.00 L จากของแข็ง

$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ข) การเตรียมสารละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  เข้มข้น 750 ppm จำนวน 2.00 L จากของแข็ง

$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$

ค) การเตรียมสารละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  เข้มข้น 0.0247 M จำนวน 300 mL จากสารละลาย

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  เข้มข้น 1.31 M

ตอบ n) ละลาย  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  47.1 g ในน้ำและเจือจางจนมีปริมาตร 1.00 ลิตร

ข) ละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  1.50 g ในน้ำและเจือจางจนมีปริมาตร 2.00 ลิตร

ค) นำสารละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  เข้มข้น 1.31 M มา 5.66 mL และเจือจางจนมีปริมาตร 300 mL