

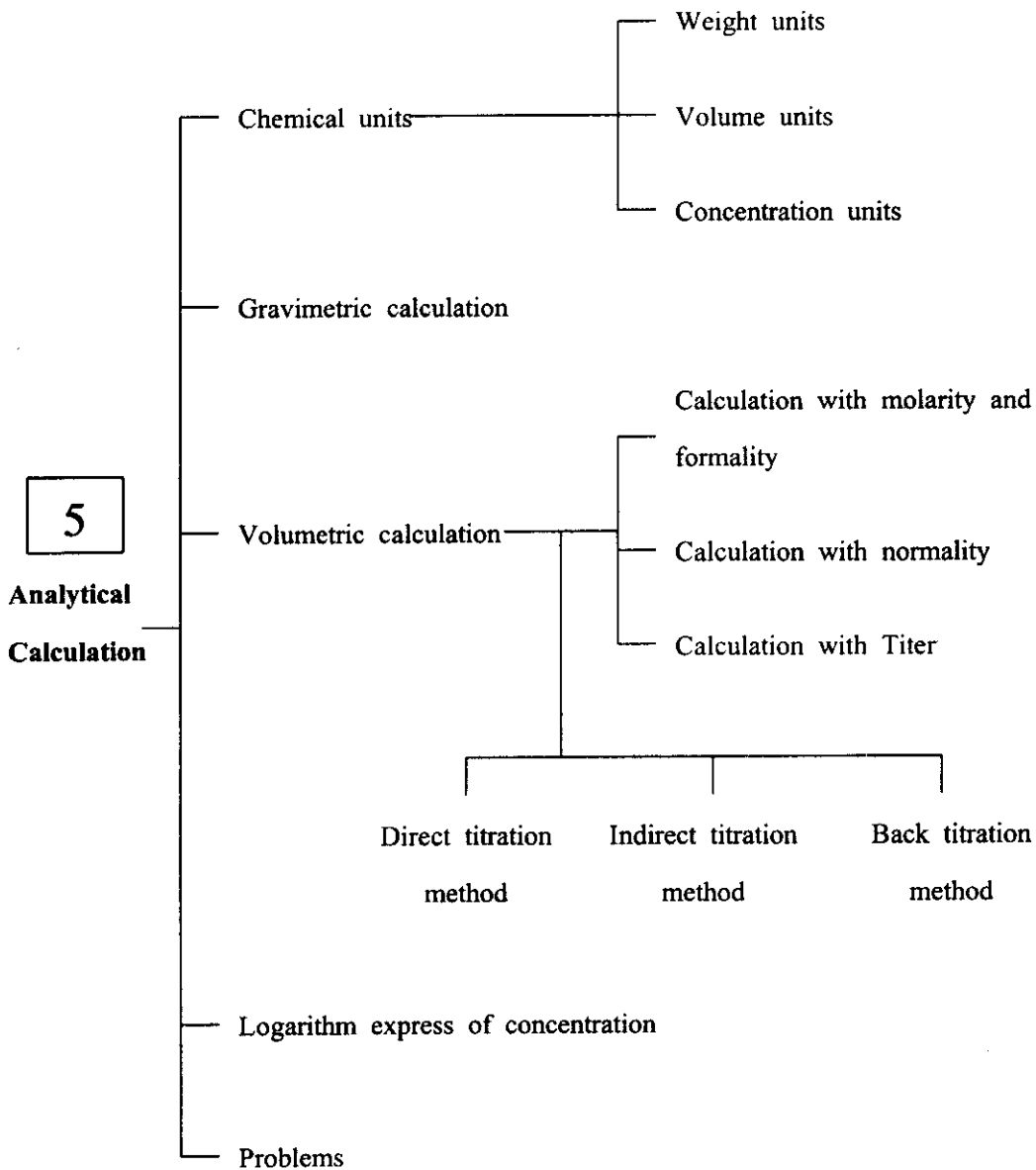
# บทที่ 5

การคำนวณทางเคมีวิเคราะห์

**Analytical Calculation**



# เค้าโครงเรื่อง





## สาระสำคัญ

ในกระบวนการทางเคมีวิเคราะห์ จะมีการคำนวณเข้ามาเกี่ยวข้องในขั้นตอนของการวิเคราะห์ด้วย ได้แก่ การคำนวณเพื่อเตรียมสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์และการคำนวณเพื่อให้ได้คำตอบตามที่ต้องการหลังจากได้ผลการวิเคราะห์แล้ว ซึ่งวิธีการคำนวณจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นบทนี้จะกล่าวถึงหลักและวิธีการคำนวณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเคมีวิเคราะห์ คือการคำนวณเพื่อเตรียมสารละลาย ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อหน่วยความเข้มข้น การคำนวณทางการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetric calculation) และการคำนวณทางปริมาตรวิเคราะห์ (volumetric calculation) เมื่อเข้าใจการคำนวณทางการวิเคราะห์เบื้องต้นนี้แล้วจะสามารถนำไปใช้คิดคำนวณการวิเคราะห์โดยเครื่องมือในขั้นสูงต่อไปได้

## วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาบทเรียนนี้จบแล้ว ควรทราบ

1. หน่วยที่ใช้ทางเคมีวิเคราะห์มีอะไรบ้าง แต่ละหน่วยมีความหมายอย่างไร
2. การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ ทำได้อย่างไร
3. วิธีการคำนวณทางการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก
4. กราวิเมตริกแฟกเตอร์ (gravimetric factor) คืออะไร
5. วิธีการคำนวณทางปริมาตรวิเคราะห์
6. วิธีการคำนวณโดยใช้หน่วยความเข้มข้นต่าง ๆ
7. การหาน้ำหนักสมมูล
8. วิธีการไทเทรตเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารที่สนใจมีกี่วิธี และแต่ละวิธีมีการคำนวณแตกต่างกันอย่างไร
9. การใช้ลอการิทึม (logarithm) แสดงความเข้มข้น



## แบบทดสอบก่อนเรียน บทที่ 5

1. โมล (mole) คืออะไร

.....  
.....

2.  $\text{cm}^3$  คือหน่วยอะไร

.....  
.....

3. Molarity มีความหมายอย่างไร

.....  
.....

4. น้ำหนักสมมูล (equivalence weight) คืออะไร

.....  
.....

5. จำนวนกรัมสมมูล (no.gmE) หาได้อย่างไร

.....  
.....

6. สารสองตัวที่ทำปฏิกิริยากันพอดีจะมีจำนวนกรัมสมมูล หรือจำนวนโมลเท่ากัน

.....  
.....

7. สารละลาย NaCl เข้มข้น 5% (w/v) หมายความว่าอย่างไร

.....  
.....

8. ppm คืออะไร

.....  
.....

9.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  หนัก 0.1597 กรัม จะมี Fe อยู่ที่กรัม

.....  
.....

10. สารละลายตัวอย่างกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จำนวน 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน 0.1050 F NaOH จำนวน 31.20 ลบ.ซม. จงคำนวณหาฟอร์แมลิตีของสารละลายตัวอย่าง  $\text{H}_2\text{SO}_4$

.....  
.....

11. เกลือแกลงหนัก 2.1500 กรัม ถูกเตรียมเป็นสารละลาย 250 ลบ.ซม. นำ 25.0 ลบ.ซม. ของสารละลายที่เตรียมได้ไปไทเทรตกับ 0.100 N  $\text{AgNO}_3$  พบว่าต้องใช้  $\text{AgNO}_3$  เท่ากับ 18.40 ลบ.ซม. จงคำนวณหา %Cl ในสารตัวอย่างเกลือแกลง

.....  
.....

12. สารละลายไอโอดีน จำนวน 25.0 ลบ.ซม. ถูกไทเทรตพอดีด้วย 0.050 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จำนวน 22.20 ลบ.ซม. โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จงคำนวณหาฟอร์แมลิตีของสารละลายไอโอดีน

.....  
.....

13. สารละลายที่มีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  = 0.001 M จะมีค่า pH เท่ากับเท่าไร

.....  
.....

14.  $\text{pM} = 2.5$  จะมีค่า [M] เท่ากับเท่าไร

.....  
.....



# การคำนวณทางเคมีวิเคราะห์

## Analytical Calculation

### 1. หน่วยทางเคมี (Chemical units)

ก่อนที่จะเรียนรู้วิธีการคำนวณแบบต่าง ๆ นักศึกษาต้องมีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับหน่วยที่ใช้ทางเคมีวิเคราะห์ก่อนจึงจะทำให้เข้าใจวิธีการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์ได้ หน่วยที่ใช้ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก หน่วยปริมาตร และหน่วยความเข้มข้น เมื่อกล่าวถึงรายละเอียดของหน่วยต่าง ๆ ก็ จะกล่าวถึงการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับหน่วยต่าง ๆ ในหัวข้อนั้น ๆ ด้วย

#### 1.1 หน่วยน้ำหนัก (Weight units)

โดยทั่วไปหน่วยน้ำหนักที่ใช้วัดมวลของสารในห้องปฏิบัติการ คือ หน่วยเมตริกซึ่งสามารถวัดน้ำหนักของสารเป็น กิโลกรัม (kg), กรัม (g), มิลลิกรัม (mg), ไมโครกรัม ( $\mu\text{g}$ ), นาโนกรัม (ng) หรือพิโคกรัม (pg) ในการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์สามารถทำให้การคำนวณง่ายขึ้นและสะดวกขึ้นถ้าใช้หน่วยน้ำหนักที่ได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักของสารต่อน้ำหนักอะตอม หรือน้ำหนักโมเลกุลซึ่งเป็นหน่วยที่เรียกว่า กรัมอะตอม (a gram atomic weight, gaw), กรัมโมเลกุล (a gram molecular weight, gmw หรือ mole), กรัมน้ำหนักสูตร (a gram formula weight, gfw) หรือ กรัมสมมูล (a gram equivalent weight, gmE) ต้องมีความเข้าใจในความหมายของคำเหล่านี้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถทำการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์ได้

##### 1.1.1 น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)

หมายถึงน้ำหนักของธาตุต่าง ๆ ที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม คือ ถ้าเราสามารถนับอะตอมได้จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม แล้วนำมาชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักที่เรียกว่า น้ำหนักอะตอม เช่น

Na จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม มีน้ำหนัก = 23 กรัม (23 คือน้ำหนักอะตอม)

O จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม มีน้ำหนัก = 16 กรัม (16 คือน้ำหนักอะตอม)

Cl จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  อะตอม มีน้ำหนัก = 35.5 กรัม (35.5 คือน้ำหนัก

อะตอม)

ตัวเลข  $6.02 \times 10^{23}$  คือ เลขอโวกราโด (Avogadro's Number)

### 1.1.2 กรัมอะตอม (A gram atomic weight, gaw)

หมายถึง หน่วยน้ำหนักของธาตุ ที่ 1 กรัมอะตอมของธาตุ จะมีค่าเท่ากับ น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น เช่น 1 กรัมอะตอม (gaw) ของธาตุ O มีค่าเท่ากับ 16 กรัม ถ้า O หนัก 32 กรัม จะมีน้ำหนักเท่ากับ  $\frac{32}{16} = 2$  กรัมอะตอม (gaw)

$$\text{แสดงว่า } \text{no. gaw} = \frac{\text{น.น.สาร (g)}}{\text{น้ำหนักอะตอม}} \dots\dots\dots(5.1)$$

### 1.1.3 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ของโมเลกุลอะตอมคู่ (diatomic molecular)

หมายถึง น้ำหนักของสารต่าง ๆ ที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล คือถ้าเราสามารถนับโมเลกุลของสารได้จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจะได้ น้ำหนักที่เรียกว่า น้ำหนักโมเลกุล เช่น

H<sub>2</sub> จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 2 กรัม มาจาก  $1 \times 2$  (2 คือน้ำหนักโมเลกุล)

O<sub>2</sub> จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 32 กรัม มาจาก  $16 \times 2$  (32 คือน้ำหนักโมเลกุล)

Cl<sub>2</sub> จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 71 กรัม มาจาก  $35.5 \times 2$  (71 คือน้ำหนักโมเลกุล)

น้ำหนักโมเลกุลของสารสามารถคิดได้จากการนำน้ำหนักอะตอมของธาตุคูณด้วยจำนวนอะตอมของธาตุในโมเลกุล

### 1.1.4 กรัมโมเลกุล (A gram molecular weight, gmw or mole)

หมายถึงหน่วยน้ำหนักของสาร ที่ 1 โมล (mole) ของสารมีค่าเท่ากับ น้ำหนักโมเลกุลของสารนั้น เช่น ออกซิเจน ( $O_2$ ) 1 โมล (mole) จะมีค่า = 32 กรัม หรือ คลอรีน ( $Cl_2$ ) หนัก 71 กรัม จะมีค่าเท่ากับ  $\frac{71}{71} = 1$  โมล

$$\begin{array}{l} \text{no. moles} \\ \text{(no. gmw)} \end{array} = \frac{\text{น.น. สาร (g)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \dots\dots\dots(5.2)$$

$$\begin{array}{l} \text{no. millimoles} \\ \text{(no. mgmw)} \end{array} = \frac{\text{น.น. สาร (mg)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \dots\dots\dots(5.3)$$

### 1.1.5 น้ำหนักสูตร (Formular weight)

คือน้ำหนักโมเลกุลของโมเลกุลหลายอะตอม (polyatomic molecule) หมายถึง น้ำหนักของสารประกอบต่าง ๆ ที่มีจำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล คือถ้าเราสามารถนับโมเลกุลของ สารประกอบได้จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักที่เรียกว่า น้ำหนักสูตร ซึ่งสามารถคิดได้จากน้ำหนักอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในสูตรเคมีของสารประกอบนั้นมารวมกัน เช่น

$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$  จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 562.0 กรัม  
(562.0 คือ น้ำหนักสูตร)

$BaCl_2 \cdot 2H_2O$  จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 244.3 กรัม  
(244.3 คือ น้ำหนักสูตร)

$NaCl$  จำนวน  $6.02 \times 10^{23}$  โมเลกุล มีน้ำหนัก = 58.5 กรัม  
(58.5 คือ น้ำหนักสูตร)

### 1.1.6 กรัมน้ำหนักสูตร (A gram formula weight, gfw)

หมายถึง หน่วยน้ำหนักของสารประกอบที่ 1 กรัม น้ำหนักสูตรจะมีค่าเท่ากับ น้ำหนักสูตรของสารประกอบนั้น เช่น  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$  มีน้ำหนักสูตรเท่ากับ 562.0 กรัม แสดงว่า 1 กรัม น้ำหนักสูตร (a gram formula weight, gfw) ของ  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O = 562.0$  กรัม นั่นคือ

$$\text{no. gfw} = \frac{\text{น.น.สาร (g)}}{\text{น้ำหนักสูตร}} \dots\dots\dots(5.4)$$

$$\text{no. mgfw} = \frac{\text{น.น.สาร (mg)}}{\text{น้ำหนักสูตร}} \dots\dots\dots(5.5)$$

**1.1.7 น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight, eq. wt)**

หมายถึง น้ำหนักของสารใด ๆ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไฮโดรเจน 1 กรัม อะตอม หรือน้ำหนักของสารใด ๆ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับแคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยา (reacting cation) ชนิด ยูนิวาเลนต์ (univalent) 1 กรัมอะตอมหรือน้ำหนักสูตรหารด้วยออกซิเดชันสเตต (oxidation state) ที่เปลี่ยนไปในปฏิกิริยารีดอกซ์ น้ำหนักสมมูลจะมีค่าเท่ากับเท่าไรขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยา นั่นคือ

$$\text{eq wt} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}{a}$$

a คือตัวเลขลงตัวน้อย ๆ จะมีค่าเท่ากับเท่าไรขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1 – 3.2.3

**1.1.8 กรัมสมมูล (A gram equivalent weight, gmE)**

หมายถึงหน่วยน้ำหนักของสารที่ 1 กรัมสมมูล มีค่าเท่ากับน้ำหนักสมมูลของสารนั้น เช่น ออกซิเจน 1 กรัมสมมูลหนักเท่ากับ 8 กรัม, NaCl 1 กรัมสมมูลหนัก 58.5 กรัม หรือออกซิเจนหนัก 16 กรัม มีค่าเท่ากับ 2 กรัมสมมูล นั่นคือ

$$\text{no. gmE} = \frac{\text{น.น.สาร (g)}}{\text{น้ำหนักสมมูล (eq wt)}} \dots\dots\dots(5.6)$$

$$\text{no. mgmE} = \frac{\text{น.น.สาร (mg)}}{\text{น้ำหนักสมมูล (eq wt)}} \dots\dots\dots(5.7)$$

ตัวอย่างที่ 5.1 ไฮโดรเจนหนัก 25.0 กรัม มีจำนวนกี่โมเลกุล

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \text{H}_2 \text{ 25.0 กรัม} &= \frac{25.0}{2.016} = 12.4 \text{ โมล} \quad (\text{MW H}_2 = 2.016) \\ \text{H}_2 \text{ 25.0 กรัม} &= 12.4 \times 6.02 \times 10^{23} \\ &= 7.47 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล}\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.2 สารตัวอย่าง NaCl หนัก 25.0 กรัมมีค่ากี่กรัมน้ำหนักสูตร

$$\text{วิธีทำ} \quad \text{NaCl 25.0 กรัม} = \frac{25.0}{58.88} = 0.428 \text{ gfw}$$

#### กิจกรรมที่ 5.1

จงบอกความแตกต่างของหน่วยน้ำหนักต่อไปนี้ gaw, gmw (mole), gfw และ gmE

### 1.2 หน่วยปริมาตร (Volume units)

หน่วยวัดปริมาตรที่ใช้ในการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์คือ

#### 1.2.1 ลิตร (Liter)

หมายถึงปริมาตรที่มีขนาดเท่ากับน้ำบริสุทธิ์หนัก 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิที่น้ำมีความหนาแน่นมากที่สุดคือ  $3.98^\circ\text{C}$  และมีความดัน 1 บรรยากาศ

#### 1.2.2 มิลลิลิตร (Milliliter)

มีค่าเป็นหนึ่งส่วนพัน ( $\frac{1}{1000}$ ) เท่าของปริมาตร 1 ลิตร ใช้กันมากในการคำนวณทางเคมีในกรณีที่หน่วยลิตรมีขนาดใหญ่เกินไป

เนื่องจากหน่วยลิตรหรือมิลลิลิตร จะมีขนาดของปริมาตรแตกต่างกัน ถ้าวัดจากน้ำหนักที่วัดได้ที่อุณหภูมิและความดันที่ต่างกัน จึงมีหน่วยวัดปริมาตรอีกชนิดหนึ่งที่สามารถวัดปริมาตรได้

เท่ากันตลอดไม่ว่าอุณหภูมิหรือความดันจะเปลี่ยนไปคือ หน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร (cubic centimeter,  $\text{cm}^3$ ) หน่วย  $\text{cm}^3$  มีค่าใกล้เคียงกับหน่วย มิลลิลิตร (1 มล. = 1.00028  $\text{cm}^3$ ) ดังนั้นในการคำนวณทางเคมีสามารถใช้ทั้งสองหน่วยแทนกันได้ โดยไม่ทำให้ผลการคำนวณผิดพลาดมากนัก ในปัจจุบันได้ตกลงกันในกลุ่มนักเคมีให้ใช้หน่วยปริมาตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$ ) ทั้งหมดซึ่งเป็นหน่วยที่เรียกว่า SI unit (International System of Units) สำหรับปริมาตรเป็นลิตร ให้ใช้หน่วยเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร ( $\text{dm}^3$ )

### 1.3 หน่วยความเข้มข้น (Concentration units)

ความเข้มข้นของสารละลายสามารถรายงานได้หลายแบบ แล้วแต่ความต้องการของผู้ทดลอง หรือประเภทของงานวิเคราะห์ โดยปกติงานทางด้านการวิเคราะห์โดยน้ำหนักจะรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารที่สนใจในสารตัวอย่าง ถ้าเป็นการวิเคราะห์แบบปริมาตรวิเคราะห์จะรายงานผลในหน่วยความเข้มข้น โมลาริตี, ฟอร์มัลลิตี หรือ นอร์แมลลิตี ถ้าเป็นงานวิเคราะห์โดยเครื่องมือส่วนใหญ่จะรายงานผลเป็น ppm ถ้าเป็นงานวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการตามโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะรายงานในรูปของไคเตอร์ของสารละลาย ดังจะได้กล่าวรายละเอียดของหน่วยความเข้มข้นชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

#### 1.3.1 โมลาริตี (Molarity, M)

คือหน่วยความเข้มข้นของสารที่หมายถึงจำนวน โมลของสารประกอบที่มีอยู่ในสารละลาย ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือจำนวนมิลลิโมลของสารประกอบที่มีอยู่ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายที่มีหน่วยความเข้มข้นเป็นโมลาริตี จะเรียกว่าสารละลายโมลาร์ (molar solution)

$$M = \frac{\text{no. moles}}{\text{dm}^3} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\text{no. gmw}}{\text{dm}^3} \quad \dots\dots\dots(5.8)$$

หรือ

$$M = \frac{\text{no. mil lim oles}}{\text{cm}^3} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\text{no. mgmw}}{\text{cm}^3} \quad \dots\dots\dots(5.9)$$

### 1.3.2 ฟอर्मลิตี (Formality, F)

คือหน่วยความเข้มข้นของสารที่หมายถึงจำนวนกรัมน้ำหนักสูตร (gfw) ของสารประกอบที่มีอยู่ในสารละลายปริมาตร 1 ลบ.ซม. หรือจำนวน mgfw ของสารประกอบในสารละลาย 1 ลบ.ซม. สารละลายที่มีหน่วยความเข้มข้นเป็นฟอर्मลิตีจะเรียกว่าสารละลายฟอर्मลิตี (formal solution)

$$F = \frac{\text{no. gfw}}{\text{dm}^3} \quad \text{หรือ} \quad F = \frac{\text{no. mgfw}}{\text{cm}^3} \dots\dots\dots(5.10)$$

จากความหมายของคำว่า โมล (mole) และกรัมน้ำหนักสูตร (gfw) ที่นิยามไว้ นั้นหมายถึง หน่วยน้ำหนักที่ 1 mole หรือ 1 gfw มีค่าเท่ากับน้ำหนักโมเลกุล โดยที่ mole คือหน่วยน้ำหนักของโมเลกุลที่เป็น diatomic molecule ส่วน gfw คือหน่วยน้ำหนักของโมเลกุลที่เป็น polyatomic molecule ดังนั้นการแสดงค่าจำนวนกรัมน้ำหนักสูตรเป็นจำนวนโมล สามารถทำได้โดยไม่ทำให้ความเข้าใจคลาดเคลื่อน ซึ่งโดยทั่วไปก็มักเคยชินกับการใช้หน่วยโมลแทน gfw แต่ถ้าพิจารณาสารประกอบในรูปของความเข้มข้น โมลาริตี (M) และฟอर्मลิตี (F) หน่วยความเข้มข้นทั้งสองจะมีความหมายเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักของสารประกอบที่นำมาละลายน้ำ แต่ถ้าหากว่าสารประกอบที่นำมาละลายน้ำแล้วเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบางส่วน และบางส่วนยังอยู่ในรูปของโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ กรณีเช่นนี้ความเข้มข้นที่เป็นโมลาริตี และฟอर्मลิตี จะมีความหมายแตกต่างกัน เช่น

1) NaCl หนัก 5.844 กรัม มีค่าเท่ากับ  $\frac{5.844}{58.44} = 0.1$  gfw ในกรณีที่เราพิจารณาถึงว่า NaCl อยู่ในรูปที่เป็นสารประกอบของแข็ง NaCl จำนวน 5.844 กรัม จะมีค่าเท่ากับ 0.1 โมล หรือ 0.1 gfw แต่ถ้านำ NaCl นี้มาละลายเป็นสารละลาย จะพบว่า NaCl สามารถแตกตัวได้  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ทั้งหมด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในสารละลายมีจำนวน NaCl เท่ากับ 0.1 gfw แต่จะกล่าวว่ามี NaCl เท่ากับ 0.1 โมลไม่ได้ ถ้าจะกล่าวให้ถูกต้อง ควรกล่าวว่าในสารละลายมี  $\text{Na}^+ = 0.1$  โมล,  $\text{Cl}^- = 0.1$  โมล และ NaCl = 0 โมล กล่าวคือ ในสารละลาย NaCl ไม่มีโมเลกุลของ NaCl อยู่เลย

2) สารละลายที่ประกอบด้วย 1 กรัมน้ำหนักสูตร (gfw) ของกรดออกซาลิก ( $90.04 \text{ g H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) เมื่อละลายน้ำแล้วทำเป็นสารละลายที่มีปริมาตร 1,000 ลบ.ซม. สารละลาย

นี้ จะมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.00 F ของ  $H_2C_2O_4$  แต่เนื่องจาก กรดออกซาลิกสามารถแตกตัวได้ 22% ดังนั้นสปีชีส์ของ  $H_2C_2O_4$  จะมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.78 M เท่านั้น

ถ้าสารเคมีที่ใช้ในการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้หมด 100% จะทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงการแตกตัว ดังนั้นการใช้หน่วยของความเข้มข้น โมลาริตี และฟอร์แมลิตี สับสนกันบ้างก็ไม่เกิดปัญหาในการคำนวณ

จากความหมาย หรือนิยามที่กล่าวข้างต้นทำให้สรุปสูตรเพื่อสะดวกในการคำนวณได้ดังนี้

$$(dm^3) (M) = \text{no. moles}$$

หรือ  $(dm^3) (F) = \text{no. gfw}$

$$(cm^3) (M) = \text{no. mmoles}$$

หรือ  $(cm^3) (F) = \text{no. mgfw}$

$$(\text{no. moles}) (M) (MW) = g$$

$$(\text{no. m moles}) (MW) = mg$$

$$(\text{no. gfw}) (fw) = g$$

$$(\text{no. mgfw}) (fw) = g$$

นั่นคือ  $(dm^3) (M) (MW) = g$

$$(cm^3) (M) (MW) = mg$$

$$(dm^3) (F) (fw) = g$$

$$(cm^3) (F) (fw) = mg$$

**ตัวอย่างที่ 5.3** จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์และฟอร์แมลของสารละลาย

ก) สารละลายที่มี 2.30 กรัมของ เอทานอล (ethanol, gfw 46.1) ใน 3.50 ลบ.ดม. โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ข) สารละลายที่ประกอบด้วย 285 มิลลิกรัมของกรดไทรคลอโรแอสिटิก,  $Cl_3CCOOH$  (gfw = 163) ในสารละลายของน้ำ 10.0 ลบ.ซม. (สมมติว่ากรดนี้สามารถแตกตัวได้ 73% ในสารละลายของน้ำ)



วิธีทำ ก)  $F = \frac{2.30}{46.1} \times \frac{1}{3.50} = 0.0143 \text{ gfw / dm}^3$

สารละลายของเอธานอลในน้ำไม่แตกตัวเมื่อละลายแล้วยังคงอยู่ในรูปของ  $C_2H_5OH$

นั่นคือ  $M = \frac{2.30}{46.1} \times \frac{1}{3.50} = 0.0143 \text{ mole / dm}^3$

ข) เนื่องจากกรด  $Cl_3CCOOH$  แตกตัวได้ 73% แสดงว่าในสารละลายจะมีปริมาณของ  $Cl_3CCOOH$  ลดลงเหลือเท่ากับ  $285 \times 0.27$  มิลลิกรัม

$$M_{Cl_3CCOOH} = \frac{(285 \times 0.27)}{163} \times \frac{1}{10.0}$$

$$= 0.0472 \text{ mmole / cm}^3 \text{ หรือ mole}$$

$$F = \frac{285}{163} \times \frac{1}{10}$$

$$= 0.175 \text{ mgfw / cm}^3 \text{ หรือ gfw / dm}^3$$

สำหรับความเข้มข้นโมลาร์ของ  $[H_3O^+]$  และ  $[Cl_3CCOO^-]$  ที่ได้จากการแตกตัว จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเท่ากับ  $0.175 - 0.0472 = 0.128$  มิลลิโมลต่อ ลบ.ซม.

ตัวอย่างที่ 5.4 จงอธิบายการเตรียม 0.100 F  $Na_2CO_3$  จำนวน 2 ลูกบาศก์เดซิเมตรจากของแข็ง  $Na_2CO_3$  ที่บริสุทธิ์

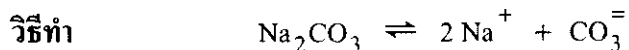
วิธีทำ no. gfw  $Na_2CO_3$  ที่ต้องใช้ =  $0.100 \times 2$

$$= 0.200$$

$\therefore$  น้ำหนักของ  $Na_2CO_3 = 0.200 \times 106 = 21.2$  กรัม

วิธีการเตรียมให้นำของแข็ง  $Na_2CO_3$ หนัก 21.2 กรัม ละลายด้วยน้ำจนได้ปริมาตรเป็น 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ตัวอย่างที่ 5.5 จงอธิบายการเตรียม 2.00 ลบ.คม. ของ 0.100 M  $\text{Na}^+$  จาก  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่บริสุทธิ์



แสดงว่า  $\text{Na}^+$  จำนวน 2 โมลแตกตัวมาจาก  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  จำนวน 1 โมล

$\therefore$  ถ้าต้องการ  $\text{Na}^+$  จำนวน  $2.00 \times 0.100$  โมล ต้องใช้  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  จำนวน

$$\frac{2.00 \times 0.100}{2} \text{ โมล}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนกรัม } \text{Na}_2\text{CO}_3 &= \frac{2.00 \times 0.100 \times 106}{2} \\ &= 10.6 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

วิธีการเตรียมทำได้โดยละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  จำนวน 10.6 กรัม ในน้ำให้มีปริมาตร 2.00 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ตัวอย่าง 5.6  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  หนัก 4.57 กรัม (gfw = 244) ละลายในน้ำแล้วเจือจางให้เป็น 250 ลบ.ซม. โดยใช้ขวดเตรียมสารละลายมาตรฐาน (volumetric flask) จงหาความเข้มข้นเป็นฟอร์แมลของ  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Cl}^-$

วิธีทำ 
$$\text{no. mgfw } \text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{4.57}{244} \times 10^3 = 18.73$$

$$F \text{ BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{18.73}{250} = 0.0749 \text{ mgfw / cm}^3$$

จากสูตร  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  แสดงว่า  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  1 gfw ให้  $\text{Cl}^-$  จำนวน 2 gfw

$$\text{no. gfw } \text{Cl}^- = 2 \text{ no. gfw } \text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

หรือ 
$$F \text{ Cl}^- = 2 F \text{ BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

$$= 2 \times 0.0749$$

$$= 0.1498 \text{ mgfw / cm}^3$$

## กิจกรรมที่ 5.2

สารละลาย KCl เข้มข้น  $2.00 \times 10^{-6}$  F จำนวน 10 ลบ.ซม. จะมี KCl อยู่ที่มิลลิกรัม

### 1.3.3 โมแลลิตี (Molality, m)

คือหน่วยความเข้มข้นที่แสดงในเทอมของจำนวน โมลของตัวถูกละลายต่อตัวทำละลาย (solvent) หนึ่งกิโลกรัม (ไม่ใช่สารละลาย) สารละลายที่มีหน่วยความเข้มข้นเป็นโมแลลิตี จะเรียกว่าสารละลายโมแลล (Molal solution)

$$m = \frac{n(\text{จำนวน โมลของตัวถูกละลาย})}{K(\text{กิโลกรัมของตัวทำละลาย})} \dots\dots\dots(5.11)$$

ไม่มีสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความเข้มข้นโมแลลิตี ซึ่งต่างจากโมลาริตีที่สามารถใช้  $C_x$  หรือ  $[X]$  แทนได้ ความเข้มข้นโมแลลิตีมีความหมายขึ้นอยู่กับมวลของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องมือในการวัดปริมาตร เช่น บิวเรต ปิเปต และขวดวัดปริมาตร หน่วยโมแลลิตีจะใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง ๆ เพราะการใช้เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิกรัม ซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนขึ้นเพียง 1 ส่วนใน 100,000 ส่วน ต่อการชั่งสารที่มีน้ำหนัก 1 กรัม ในขณะที่การใช้เครื่องแก้วในการวัดปริมาตรจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นไม่น้อยกว่า 1 ส่วน ใน 1,000 ส่วน หรือความถูกต้องน้อยกว่า 99.9% ซึ่งเป็นความถูกต้องที่น้อยกว่าหน่วยโมแลลิตี คุณสมบัติที่ดีของหน่วยโมแลลิตีอีกข้อหนึ่งคือ ปริมาณของสารละลายไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นจะคงที่ตลอดทุก ๆ อุณหภูมิ ในขณะที่ความเข้มข้นโมลาริตีจะลดลง 1 ส่วนใน 1,000 ส่วน สำหรับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ  $4^{\circ}\text{C}$  เพราะปริมาตรของสารละลายขยายมากขึ้นตามอุณหภูมิ แต่สำหรับความสะดวกในการเตรียมสารละลายให้มีหน่วยความเข้มข้นเป็นโมลาริตีจะสะดวกกว่าหน่วยความเข้มข้นโมแลลิตี ดังนั้นงานเคมีวิเคราะห์ทั่วไป จึงเหมาะกับการใช้หน่วยโมลาริตีมากกว่า เราสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโมลาริตีกับโมแลลิตีได้ดังนี้

ถ้ามีสารละลายของตัวถูกละลาย x ถูกเตรียมเป็นความเข้มข้น โมลาริตี จะได้

$$C_x = \frac{n_x \text{ (moles)}}{V_{\text{sol}}^n \text{ (dm}^3\text{)}} \dots\dots\dots(5.12)$$

ความหนาแน่นของสารละลาย คือ d

$$d \text{ (kg / dm}^3\text{)} = \frac{\text{mass of solution}}{V_{\text{sol}}^n} \dots\dots\dots(5.13)$$

$$V_{\text{sol}}^n = \frac{\text{mass of solution}}{d} \dots\dots\dots(5.14)$$

แทนค่าสมการที่ 5.14 ลงใน 5.12 จะได้

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{n_x \cdot d}{\text{mass of solution}} \\ &= \frac{n_x \cdot d}{\text{mass of solvent} + \text{mass of x}} \dots\dots\dots(5.15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{n_x \cdot d}{\text{mass of solvent} + \text{mass of x}} \cdot \frac{\text{mass of solvent}}{\text{mass of solvent}} \\ &= \frac{\frac{n_x \cdot d}{\text{mass of solvent}}}{\frac{\text{mass of solvent}}{\text{mass of solvent}} + \frac{\text{mass of x}}{\text{mass of solvent}}} \end{aligned}$$

นั่นคือ  $C_x = \frac{m_x \cdot d}{1 + \frac{m_x \cdot MW_x}{1000}} \dots\dots\dots(5.16)$

ในเมื่อ mass of x ก็คือ  $\frac{n_x \cdot MW_x}{1000}$  กิโลกรัม และ  $\frac{n_x}{\text{mass of solvent}} = m_x$

นั่นคือถ้ากำหนดค่าความหนาแน่นของสารละลายมาให้ เราสามารถคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลลิตีจากความเข้มข้นโมลาริตีได้ จากสมการที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์อย่างเห็นได้ชัดว่า ถ้าสารละลายเจือจางเข้าใกล้ศูนย์ (infinite dilution) เราจะได้  $C_x \rightarrow m_x \cdot d$  ในสารละลายที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.997 กรัม/ลบ.ซม. ที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นในสารละลายของน้ำที่เจือจางมาก ๆ ค่าความเข้มข้น โมลาริตีจะมีค่าเท่ากับ โมลลิตี

ตัวอย่างที่ 5.7 ความหนาแน่นของสารละลายแอมโมเนีย 28% มีค่าเท่ากับ 0.900 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมลลิตีและโมลาริตี

วิธีทำ

$$m_x = \frac{n_x \text{ (moles of NH}_3\text{)}}{K \text{ (kilograms of H}_2\text{O)}}$$

$$= \frac{28}{\frac{100 - 28}{1000}} = 22.9$$

ความเข้มข้นโมลลิตีของสารละลายแอมโมเนีย 28% = 22.9 mole / kg

จากสมการที่ 5.16

$$C_x = \frac{m_x \cdot d}{1 + \frac{m_x \cdot MW_x}{1000}}$$

$$= \frac{22.9 \times 0.900}{1 + \frac{22.9 \times 17}{1000}}$$

$$= \frac{20.61}{1.16}$$

$$= 17.8 \text{ mole / dm}^3$$

### 1.3.4 นอร์แมลิตี (Normality, N)

คือหน่วยความเข้มข้นของสารที่หมายถึงจำนวนกรัมสมมูล (no. gmE) ของสารที่มีอยู่ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร หรือจำนวนมิลลิกรัมสมมูล (no. mgmE) ของสารในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายที่มีหน่วยความเข้มข้นนอร์แมลิตีจะเรียกว่าสารละลายนอร์แมล (normal solution)

$$N = \frac{\text{no. gmE}}{\text{dm}^3} \text{ หรือ } \frac{\text{no. eq wt}}{\text{dm}^3} \dots\dots\dots(5.17)$$

หรือ

$$N = \frac{\text{no. mgmE}}{\text{cm}^3} \text{ หรือ } \frac{\text{no. meq}}{\text{cm}^3} \dots\dots\dots(5.18)$$

**ตัวอย่างที่ 5.8** จงคำนวณหาจำนวนมิลลิกรัมสมมูล (no. meq) ของคลอไรด์เดน  $C_{10}H_6Cl_8$  (gfw = 410) ในยาฆ่าแมลงที่บริสุทธิ์ 0.500 กรัม โดย  $Cl^-$  ที่มีอยู่ในคลอไรด์เดน 1 gfw นั้นสามารถถูกไทเทรตด้วย  $Ag^+$  1 gfw

**วิธีทำ** การที่คลอไรด์เดน 1 gfw สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 gfw ของแคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยากับ  $Ag^+$  แสดงว่า

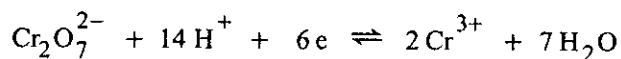
$$\begin{aligned} \text{eq wt } C_{10}H_6Cl_8 &= \text{gfw } C_{10}H_6Cl_8 = 410 \\ \text{no. meq } C_{10}H_6Cl_8 &= \frac{\text{wt } C_{10}H_6Cl_8 \text{ (mg)}}{\text{eq wt}} \\ &= \frac{0.500 \times 10^3}{410} \\ &= 1.22 \text{ มิลลิกรัมสมมูล} \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 5.9** จำนวนมิลลิกรัมสมมูลในการไทเทรตที่ต้องการ 27.3 ลบ.ซม. ของ 0.200 N  $KMnO_4$  มีค่าเท่าไร

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{no. meq } KMnO_4 &= 27.3 \times 0.200 \\ &= 5.46 \text{ มิลลิกรัมสมมูล} \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 5.10** จงหาน้ำหนักของสารปฐมภูมิ  $K_2Cr_2O_7$  (gfw = 294.2) ที่ต้องการใช้ในการเตรียม 0.1200 N จำนวน 2 ลูกบาศก์เดซิเมตร โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการนำไปใช้ในการไทเทรต คือ



**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{no. meq } K_2Cr_2O_7 &= \text{cm}^3 \times N \\ &= 2000 \times 0.1200 \end{aligned}$$

$$= 240$$

$$\therefore \text{น้ำหนักของ } K_2Cr_2O_7 \text{ ที่ต้องใช้} = 240 \times \frac{294.2}{6} \times 10^{-3} = 11.77 \text{ กรัม}$$

ตารางที่แสดงต่อไปนี้เป็น ตารางสรุปหน่วยน้ำหนักและหน่วยความเข้มข้นทางเคมีตามที่ได้อธิบายรายละเอียดมาแล้ว

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงหน่วยน้ำหนักทางเคมี

หน่วยเคมี	หน่วยกรัม น้ำหนักของ	วิธีการหาจำนวน หน่วยกรัมน้ำหนัก
Formula weight (fw)	gfw	no. gfw = $\frac{\text{gram of substance}}{\text{fw}}$
Milliformula weight (mfw)	$\frac{\text{gfw}}{1000}$	no. mgfw = $\frac{\text{gram of substance}}{\text{fw}/1000}$
Mole	gmw	no. mole = $\frac{\text{gram of species}}{\text{MW}}$
Millimole	$\frac{\text{gmw}}{1000}$	no. mmole = $\frac{\text{gram of substance}}{\text{MW}/1000}$
Equivalent (eq)	eq wt	no. eq wt = $\frac{\text{gram of substance}}{\text{eq wt}}$ (no. gmE)
Milliequivalent (meq)	$\frac{\text{eq wt}}{1000}$	no. meq = $\frac{\text{gram of substance}}{\text{eq wt}/1000}$

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงหน่วยความเข้มข้นทางเคมี

หน่วยความเข้มข้น	คำนวณความเข้มข้น จากจำนวนหน่วยน้ำหนัก	คำนวณความเข้มข้น จากน้ำหนัก
Formality, $F$	$F = \frac{\text{no. gfw}}{\text{dm}^3}$ $= \frac{\text{no. mgfw}}{\text{cm}^3}$	$F = \frac{\text{gram solute}}{\text{dm}^3 \times \text{fw}}$ $= \frac{\text{gram solute}}{\text{cm}^3 \times \text{fw}/1000}$
Molarity, $M$	$M = \frac{\text{no. mole}}{\text{dm}^3}$ $= \frac{\text{no. mmole}}{\text{cm}^3}$	$M = \frac{\text{gram} \times \text{solute}}{\text{dm}^3 \times \text{MW}}$ $= \frac{\text{gram solute}}{\text{cm}^3 \times \text{MW}/1000}$
Normality, $N$	$N = \frac{\text{no. gmE}}{\text{dm}^3}$ $= \frac{\text{no. meq}}{\text{cm}^3}$	$N = \frac{\text{gram} \times \text{solute}}{\text{dm}^3 \times \text{eq wt}}$ $= \frac{\text{gram solute}}{\text{cm}^3 \times \text{eq wt}/1000}$

### กิจกรรมที่ 5.3

1. สารละลายที่เตรียมจาก  $\text{CaCl}_2$  น้หนัก 4.20 กรัม แล้วเจือจางให้มีปริมาตร 200 ลบ.ซม. จะมีความเข้มข้นกี่โมลาร์ และกีนอร์แมล
2. ถ้าต้องการเตรียมสารละลาย  $\text{KCl}$  เข้มข้น 0.01 M จำนวน 500 ลบ.ซม. จะทำได้  
อย่างไร

### 1.3.5 ไตเตอร์ (Titer, T)

หมายถึงหน่วยความเข้มข้นของสารละลาย โดยที่หน่วยไตเตอร์ของสารละลายคือน้ำหนักของสารใด ๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายนั้น 1 หน่วยปริมาตร



$$\text{Titer} = \frac{\text{grams of substance}}{\text{Volume of sol}^n (\text{dm}^3)} = \frac{\text{milligrams of substance}}{\text{Volume of sol}^n (\text{cm}^3)}$$

$$T = \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} = \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3} \dots\dots\dots(5.19)$$

g หรือ mg ในที่นี้คือน้ำหนักของสารใด ๆ ที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ต้องการหาความเข้มข้น

dm<sup>3</sup> หรือ cm<sup>3</sup> ในที่นี้คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการทราบความเข้มข้น

หน่วยไตเตอร์เป็นหน่วยความเข้มข้นที่ไม่ต้องพิจารณาถึงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เพียงแต่ทราบน้ำหนักของสารที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่างที่ต้องการทราบความเข้มข้นเท่านั้น ซึ่งการใช้หน่วยความเข้มข้นชนิดนี้จะสะดวกและดูง่ายขึ้นสำหรับงานที่ใช้ทำเป็นประจำ (routine)

**ตัวอย่างที่ 5.11** สารละลาย ZnSO<sub>4</sub> จำนวน 250 ลบ.ซม. มี ZnSO<sub>4</sub> หนัก 0.60 กรัม ปรากฏว่าสารละลายนี้ 25.0 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลาย EDTA จำนวน 20.0 ลบ.ซม. จงคำนวณหา ZnSO<sub>4</sub> ไตเตอร์ของสารละลาย EDTA

**วิธีทำ** จากคำถามนี้ให้หาว่าสารละลาย EDTA 1 หน่วยปริมาตรหรือ 1 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ ZnSO<sub>4</sub> กี่มิลลิกรัม

$$\text{ZnSO}_4 \text{ จำนวน 25 ลบ.ซม. มีเนื้อสาร} = \frac{0.60 \times 25}{250} = 0.060 \text{ กรัม}$$

$$\text{แสดงว่า EDTA 20.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ZnSO}_4 = 0.060 \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{EDTA 1 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ ZnSO}_4 = \frac{0.060}{20} \text{ กรัม}$$

$$= 0.003 \text{ กรัม}$$

$$\text{ZnSO}_4 \text{ ไตเตอร์ของสารละลาย EDTA} = 3 \text{ มิลลิกรัมต่อ ลบ.ซม.}$$

**ตัวอย่างที่ 5.12** สารปฐมภูมิ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> จำนวน 0.1234 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 27.92 ลบ.ซม. ของ HCl(2H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>=</sup> ⇌ CO<sub>2</sub><sup>↑</sup> + H<sub>2</sub>O) หลังจากนั้น HCl นี้ถูกนำมาไทเทรตกับสาร

ตัวอย่างที่เป็นสารผสมระหว่าง  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$  ปรากฏว่าใช้  $\text{HCl}$  ไปจำนวน 48.76 ลบ. ชม. จงคำนวณหาน้ำหนักของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ในสารตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ ไตเตอร์ของสารละลาย HCl} &= \frac{0.1234 \times 1000}{27.92} \\ &= 4.420 \text{ มิลลิกรัมต่อ ลบ.ชม.} \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อนำมาปฏิกิริยากับสารตัวอย่างใช้ HCl} = 48.76 \text{ ลบ.ชม.}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง} &= 4.420 \times 48.76 \\ &= 215.5 \text{ มิลลิกรัม} \end{aligned}$$

#### กิจกรรมที่ 5.4

สารละลาย  $\text{HCl}$  มีค่า  $\text{NH}_3$  Titer เท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อ ลบ.ชม. จะมีความเข้มข้นกี่ โมลาร์

#### 1.3.6 ความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ (Percentage concentration)

ความเข้มข้นของสารละลายสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ และมีบ่อยครั้งเช่นกันที่มีการใช้หน่วยของความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคิดได้ 3 แบบ ดังนี้คือ

- 1) weight percent (w/w) =  $\frac{\text{wt of solute} \times 100}{\text{wt of solution}}$
- 2) volume percent (v/v) =  $\frac{\text{volume of solute} \times 100}{\text{volume of solution}}$
- 3) weight - volume percent (w/v) =  $\frac{\text{wt of solute (g)} \times 100}{\text{volume of solution (cm}^3\text{)}}$

จะเห็นได้ว่าการคิดเปอร์เซ็นต์ทั้ง 3 แบบ คิดจากตัวถูกละลาย (solute) ต่อสารละลายทั้งหมด (solution) โดยจะไม่กล่าวถึงตัวทำละลาย (solvent) เลย การคิดเปอร์เซ็นต์ตามแบบที่ 1 และ 2 ไม่เฉพาะเจาะจงเรื่องหน่วย จะใช้หน่วยใดก็ได้ แต่หน่วยของตัวถูกละลายและหน่วยของสารละลายต้องเป็นหน่วยเดียวกัน สำหรับแบบที่ 3 จะต้องคิดหน่วยเป็นกรัมต่อ ลบ.ชม. หรือ

กิโลกรัมต่อ ลบ.คม. โดยปกติแล้วนิยมใช้หน่วยของ weight percent ทั้งนี้เพราะปริมาตรของสารละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงด้วย

Weight percent โดยปกตินิยมใช้บอกความเข้มข้นของรีเอเจนต์ต่าง ๆ ที่เป็นของเหลว เช่น กรดไนตริก (nitric acid) ที่มีจำหน่ายทั่วไป เป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 70% แสดงว่าสารละลายกรดไนตริกนั้นมีเนื้อกรดไนตริก = 70 กรัม ต่อสารละลาย 100 กรัม เปอร์เซ็นต์ของรีเอเจนต์บางตัวแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 3

Weight - Volume percent โดยปกติใช้บอกความเข้มข้นของสารละลายที่เกิดจากการนำรีเอเจนต์ที่เป็นของแข็งมาเตรียมเป็นสารละลาย เช่น 5% ของสารละลายเงินไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) หมายถึงสารละลายที่เตรียมจากการนำของแข็งเงินไนเตรตมา 5 กรัม ละลายให้ได้สารละลายที่มีปริมาตร 100 ลบ.ซม.

ตัวอย่างที่ 5.13 จงอธิบายการเตรียม 250 ลบ.ซม. ของ 6.0 F  $\text{NH}_3$  จากแอมโมเนียเข้มข้นที่มีความถ่วงจำเพาะ (sp. gr.) = 0.90 และประกอบด้วย  $\text{NH}_3$  27%

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad 250 \text{ ลบ.ซม. ของ } 6.0 \text{ F } \text{NH}_3 \text{ จะมีเนื้อสาร } \text{NH}_3 &= 250 \times 6.0 \times \frac{17}{10^3} \\ &= 25.5 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

จาก  $\text{NH}_3$  เข้มข้น 27%

$$\text{แสดงว่า } \text{NH}_3 \text{ 27 กรัม จะมีอยู่ในสารละลาย} = 100 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้า } \text{NH}_3 \text{ 25.5 กรัม จะมีอยู่ในสารละลาย} = \frac{100 \times 25.5}{27} \text{ กรัม}$$

$$\text{จากความถ่วงจำเพาะของ } \text{NH}_3 = 0.90 \text{ กรัม}$$

$$\text{NH}_3 \frac{100 \times 25.5}{27} \text{ กรัม จะมีปริมาตร} = \frac{100 \times 25.5}{27 \times 0.90}$$

$$= 105 \text{ ลบ.ซม.}$$

นั่นคือต้องนำ  $\text{NH}_3$  เข้มข้นมา 105 ลบ.ซม. แล้วทำให้เป็นสารละลายที่มีปริมาตรเท่ากับ 250 ลบ.ซม.

เราสามารถแปลงหน่วยเปอร์เซ็นต์ชนิด w/v เป็นความเข้มข้นโมลาริตีได้ โดยนำน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายไปหาร แล้วเทียบปริมาตรกลับมาเป็น 1,000 ลบ.ซม. ก็คูณด้วย  $\frac{1,000}{100} = 10$  นั่นเอง

นั่นคือ 
$$M = \frac{10 P_{w/v}}{MW} \dots\dots\dots(5.20)$$

ถ้าความเข้มข้นแสดงในหน่วยเปอร์เซ็นต์ชนิด w/w สามารถแปลงเป็นหน่วยความเข้มข้นโมลาริตีได้ถ้าทราบความหนาแน่นของสารละลายนั้น

$$M = \frac{10 P_{w/w} \cdot d}{MW} \dots\dots\dots(5.21)$$

d คือความหนาแน่นของสารละลาย

ถ้าความเข้มข้นแสดงในหน่วยเปอร์เซ็นต์ชนิด v/v สามารถแปลงเป็นหน่วยโมลาริตีได้เมื่อทราบความหนาแน่นของของเหลวที่เป็นตัวถูกละลาย

$$M = \frac{10 P_{v/v} \cdot D}{MW} \dots\dots\dots(5.22)$$

D คือความหนาแน่นของตัวถูกละลาย

**ตัวอย่างที่ 5.14** สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20% (w/v) จงเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมลาริตี

**วิธีทำ**

$$M_{\text{NaOH}} = \frac{10 P_{w/v}}{MW}$$

$$= \frac{10 \times 20}{40} = 5 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

**ตัวอย่างที่ 5.15** สารละลายแอมโมเนีย 28% (w/w) มีความเข้มข้นโมลาริตีเท่าไร ความหนาแน่นของสารละลายนี้มีค่าเท่ากับ 0.90 กรัมต่อ ลบ.ซม.

**วิธีทำ**

$$M_{\text{NH}_3} = \frac{10 P_{w/w} \cdot d}{MW}$$

$$= \frac{10 \times 28 \times 0.900}{17}$$

$$= 14.8 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

เปรียบเทียบคำตอบที่ได้นี้กับตัวอย่างที่ 5.7 ผลที่ได้มีค่าเท่ากัน

**ตัวอย่างที่ 5.16** เอทานอลเข้มข้น 10% (v/v) มีความเข้มข้นโมลาริตีเท่าไร (ความหนาแน่นของเอทานอล = 0.79 กรัมต่อ ลบ.ซ.ม.)

วิธีทำ

$$M = \frac{10 P_{v/v} \cdot D}{MW}$$

$$= \frac{10 \times 10 \times 0.79}{46}$$

$$= 1.72 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

ให้นักศึกษาทำการคำนวณตัวอย่างที่ 5.14 – 5.16 โดยไม่ใช้สูตร

#### กิจกรรมที่ 5.5

- จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลาย  $\text{NH}_3$  ให้มีความเข้มข้น 10% (w/w) จำนวน 500 ลบ.ซม. จากสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่มีความหนาแน่น 0.90 กรัมต่อ ลบ.ซม. และเปอร์เซ็นต์ (w/w) = 28%
- สารละลาย KCl 14% (w/v) มีความเข้มข้นกี่โมลาร์

#### 1.3.7 จำนวนส่วนในล้าน (Parts per million, ppm)

สำหรับสารละลายที่เจือจางมาก ๆ เพื่อสะดวกในการบอกความเข้มข้น จะใช้หน่วยของความเข้มข้นเป็น จำนวนส่วนในล้าน (ppm)

$$\text{ppm} = \frac{\text{Weight of solute}}{\text{Weight of solution}} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots(5.23)$$

เมื่อสารละลายเจือจางมาก ๆ แสดงว่าน้ำหนักของตัวถูกละลายมีค่าน้อยและน้ำหนักของสารละลายจะมีค่ามาก ซึ่งน้ำหนักของสารละลายจะมาจากน้ำหนักของตัวถูกละลายรวมกับน้ำหนักของตัวทำละลาย เมื่อตัวถูกละลายมีค่าน้อยแสดงว่าน้ำหนักของสารละลายจะใกล้เคียงกับน้ำหนักของตัวทำละลาย ดังนั้นจึงสามารถแสดงหน่วยของ ppm เป็น

$$\text{ppm} = \frac{\text{Weight of solute}}{\text{Weight of solvent}} \times 10^6 \quad \dots\dots\dots(5.24)$$

เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้คือน้ำบริสุทธิ์ ดังนั้น น้ำหนักน้ำ 1 กรัม จะมีค่าเท่ากับ 1 ลบ.ซม.

นั่นคือ 
$$\text{ppm} = \frac{\text{Weight of solute (g)}}{\text{Weight of solvent (cm}^3)} \times 10^6 \dots\dots\dots(5.25)$$

$$= \frac{\mu\text{g}/10^6}{\text{cm}^3} \times 10^6 \dots\dots\dots(5.26)$$

$$= \mu\text{g}/\text{cm}^3 \dots\dots\dots(5.27)$$

$$= \text{mg}/\text{dm}^3 \dots\dots\dots(5.28)$$

เราสามารถเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้น ppm เป็นโมลาริตีได้ดังนี้

$$M = \frac{\text{ppm}}{10^3 \times \text{MW}} \dots\dots\dots(5.29)$$

ตัวอย่างที่ 5.17 สารละลาย  $\text{CdCl}_2$  เข้มข้น 100 ppm จะมีความเข้มข้นกี่โมลต่อ ลบ.ซม.

วิธีทำ 
$$M = \frac{\text{ppm}}{10^3 \times \text{MW}}$$

$$= \frac{100}{10^3 \times 183.3}$$

$$= 5.46 \times 10^{-4} \text{ โมลต่อ ลบ.ซม.}$$

ถ้าสารละลายเจือจางมากกว่านี้หน่วยของความเข้มข้นสามารถใช้เป็น ppb (parts per billion)

$$\text{ppb} = \frac{\text{Weight of solute}}{\text{Weight of solution}} \times 10^9$$

หรือ 
$$= \mu\text{g}/\text{dm}^3 \dots\dots\dots(5.30)$$

ตัวอย่างที่ 5.18 จงหาความเข้มข้นของ  $\text{K}^+$  เป็นโมลาริตีในสารละลายที่มี 63.3 ppm ของ  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  โดยสมมติว่าความหนาแน่นของสารละลายมีค่า = 1.00 กรัมต่อ ลบ.ซม.

วิธีทำ 
$$63.3 \text{ ppm } \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 = 63.3 \text{ mg } \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6/\text{dm}^3$$

$$\text{MW } \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 = 368$$

$$63.3 \text{ mg/dm}^3 = \frac{63.3 \times 10^{-3}}{368} \text{ mole K}_4\text{Fe(CN)}_6/\text{dm}^3$$

เนื่องจาก  $\text{K}_4\text{Fe(CN)}_6$  1 โมล ให้  $\text{K}^+ = 4$  โมล

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความเข้มข้นของ } \text{K}^+ &= \frac{4 \times 63.3 \times 10^{-3}}{368} \\ &= 6.88 \times 10^{-4} \text{ M} \end{aligned}$$

**ตัวอย่างที่ 5.19** จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 ppm จำนวน 1 ลบ.คม. และจงคำนวณว่า มี  $\text{Na}^+$  เข้มข้นกี่ ppm

**วิธีทำ** ความเข้มข้น 1 ppm หมายถึงมีเนื้อสาร  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  เท่ากับ 1 มิลลิกรัม ในสารละลาย 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ถ้าต้องการเตรียม 50 ppm ก็ต้องใช้  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ หนักเท่ากับ 50 มิลลิกรัม

$\therefore$  ในการเตรียมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 50 ppm จำนวน 1 ลบ.คม. เตรียมได้โดยชั่ง  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  มา 50 มิลลิกรัม แล้วละลายเป็นสารละลาย 1 ลบ.คม.

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ 142.04 กรัม มี } \text{Na}^+ = 2 \times 23 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ } 50 \times 10^{-3} \text{ กรัม มี } \text{Na}^+ &= \frac{2 \times 23 \times 50 \times 10^{-3}}{142.04} \\ &= 16.19 \times 10^{-3} \text{ กรัม} \\ &= 16.19 \text{ มิลลิกรัม} \end{aligned}$$

ในสารละลายที่เตรียมนี้มีความเข้มข้นของ  $\text{Na}^+ = 16.19 \text{ ppm}$ .

#### กิจกรรมที่ 5.6

1. จงเตรียมสารละลาย  $\text{Pb(NO}_3)_2$  ให้มีความเข้มข้นของ  $\text{Pb}^{2+} = 100 \text{ ppm}$  จำนวน 1 ลบ.คม.

2. สารละลาย 0.01 M  $\text{CdCl}_2$  มีความเข้มข้นของ  $\text{Cd}^{2+}$  กี่ ppm

สำหรับหน่วยความเข้มข้น ppm หรือ ppb ไม่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธี Classical method เพราะเป็นหน่วยสำหรับสารละลายที่เจือจางมาก ๆ การวิเคราะห์โดยวิธี Classical method ไม่สามารถทำได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ จะใช้ในการวิเคราะห์ขั้นสูงขึ้นไป

### 1.3.8 อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution Ratio)

ความเข้มข้นของสารละลายกรดและเบสในน้ำพบอยู่เสมอ ๆ ที่รายงานเป็นอัตราส่วนการเจือจาง ซึ่งแสดงเป็นตัวเลข 2 ตัว และขึ้นกลางด้วยเครื่องหมายโคลอน (A : B) ตัวเลขตัวแรก (A) แทนปริมาตรของกรดหรือเบสเข้มข้น ตัวเลขตัวหลัง (B) แทนปริมาตรของน้ำที่เติมลงในกรดหรือเบสนั้น การเขียนอัตราส่วนนี้ปกติแสดงในวงเล็บก่อนหรือหลังชื่อกรดหรือเบส เช่น HCl (1 : 1), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1 : 4) และ (2 : 3) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ในการเตรียมสารละลาย ถ้าต้องการเตรียมกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 1 : 4 เตรียมได้โดยนำ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้นมา 1 หน่วยปริมาตร เทลงในน้ำที่มีปริมาตรเป็น 4 เท่าของกรดเข้มข้น ความเข้มข้นแบบนี้ง่ายต่อการเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นชนิดเปอร์เซ็นต์ ในกรณีของกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> นี้จะมีความเข้มข้นเท่ากับ

$$\frac{1}{1 + 4} \times 100 = 20\% \text{ (v/v)}$$

ตัวอย่างที่ 5.20 ต้องใช้ปริมาตรของกรดน้ำส้มเข้มข้น และน้ำจำนวนเท่าไร เพื่อเตรียมเป็นสารละลายที่เข้มข้น 1 : 5 จำนวน 300 ลบ.ซม.

วิธีทำ  $1 + 5 = 6$  ส่วน (ปริมาตรรวมทั้งหมด)

แสดงว่าปริมาตรรวม 6 ส่วนมีค่าเท่ากับ 300 ลบ.ซม.

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาตร 1 ส่วน} &= 300 \times \frac{1}{6} \\ &= 50 \text{ ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

นั่นคือต้องใช้กรดน้ำส้มเข้มข้นจำนวน 50 ลบ.ซม.

$$\text{น้ำที่ต้องใช้} = 300 - 50 = 250 \text{ ลบ.ซม.}$$



## 2. การคำนวณทางการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric Calculation)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์โดยน้ำหนักเริ่มต้นด้วยการชั่งสารตัวอย่าง และเมื่อดำเนินการทดลองเสร็จชั่งน้ำหนักของตะกอนที่ได้ (ดูรายละเอียดในบทที่ 4) โดยวิธีการทดลองนี้สามารถคำนวณหาปริมาณของธาตุหรือสารประกอบที่สนใจได้ในรูปของเปอร์เซ็นต์สารที่สนใจในตัวอย่าง มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\% A = \frac{\text{weight of A}}{\text{weight of sample}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(5.31)$$

A หมายถึงสารที่สนใจ

โดยปกติแล้วธาตุหรือสารประกอบ A จะไม่ถูกวัดโดยตรงคือ A ไม่ใช่ตะกอน แต่มีความสัมพันธ์โดยเป็นองค์ประกอบของตะกอน ซึ่งสามารถคำนวณหาน้ำหนักของ A จากน้ำหนักของตะกอนได้โดยใช้กราวิเมตริกแฟกเตอร์ (gravimetric factor) ซึ่งมีความหมายถึงจำนวนกรัมของสาร A ที่สามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับหรือสมมูลกับ 1 กรัมของตะกอนที่สามารถนำไปชั่งหาน้ำหนักได้ ดังนั้นเมื่อนำน้ำหนักของตะกอนที่ชั่งได้มาคูณกับค่ากราวิเมตริกแฟกเตอร์ ค่าที่ได้ก็คือน้ำหนักของสาร A ที่สนใจนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 5.21 จงคำนวณหากราวิเมตริกแฟกเตอร์ในการเปลี่ยนน้ำหนักของสาร MA ไปเป็นน้ำหนักของ A ต่อไปนี้

	A	MA
a)	Cl <sup>-</sup>	AgCl
b)	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
c)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	BaSO <sub>4</sub>

วิธีทำ a) 1 โมล AgCl ประกอบด้วย Cl<sup>-</sup> 1 โมล  
 นั่นคือ AgCl 143.32 กรัม จะมี Cl<sup>-</sup> = 35.45 กรัม  
 ถ้า AgCl 1 กรัม จะมี Cl<sup>-</sup> =  $\frac{35.45}{143.32}$  กรัม

$$\therefore \text{gravimetric factor} \text{ คือ } \frac{\text{gfw Cl}}{\text{gfw AgCl}} = \frac{35.45}{143.32} = 0.2474$$

b) 1 โมล  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  สมมูลกับ 2 โมล ของ  $\text{FeO}$

$$\text{นั่นคือ } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ 159.69 กรัม จะมี } \text{FeO} = 2 \times 71.85 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้า } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ 1 กรัม จะมี } \text{FeO} = \frac{2 \times 71.85}{159.69} \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{gravimetric factor} \text{ คือ } \frac{2 \text{ gfw FeO}}{\text{gfw Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2 \times 71.85}{159.69} = 0.8998$$

c) 1 โมล ของ  $\text{BaSO}_4$  ประกอบด้วย  $\text{SO}_4^{=}$  1 โมล

$$\text{นั่นคือ } \text{BaSO}_4 \text{ 233.40 กรัม จะมี } \text{SO}_4^{=} = 96.06 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้า } \text{BaSO}_4 \text{ 1 กรัม จะมี } \text{SO}_4^{=} = \frac{96.06}{233.40} \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{gravimetric factor} \text{ คือ } \frac{\text{gfw SO}_4^{=}}{\text{gfw BaSO}_4} = \frac{96.06}{233.40} = 0.412$$

ตัวอย่างที่ 5.22 จะมีคลอไรด์อยู่ในตะกอน  $\text{AgCl}$  กี่กรัม ถ้าตะกอน  $\text{AgCl}$  หนัก 0.204 กรัม

วิธีทำ

$$\text{no. gfw Cl} = \text{no. gfw AgCl}$$

$$\frac{\text{wt Cl}}{\text{gfw Cl}} = \frac{\text{wt AgCl}}{\text{gfw AgCl}}$$

$$\text{wt Cl} = \text{wt AgCl} \times \frac{\text{gfw Cl}}{\text{gfw AgCl}}$$

gravimetric factor

$$= 0.204 \times \frac{35.5}{143.3} = 0.0505 \text{ กรัม}$$

นั่นคือ จะมี  $\text{Cl}^- = 0.0505$  กรัมในตะกอน  $\text{AgCl}$  หนัก 0.204 กรัม

ตัวอย่างที่ 5.23 น้ำหนักของ  $\text{AlCl}_3$  จะมีค่าเท่าไรเมื่อให้  $\text{AgCl}$  หนัก 0.204 กรัม

วิธีทำ จาก  $\text{AlCl}_3 + 3\text{AgNO}_3 \rightleftharpoons 3\text{AgCl} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3$

$\text{AlCl}_3$  1 โมล จะให้  $\text{AgCl}$  3 โมล

$$\text{no. gfw AlCl}_3 = \frac{1}{3} \text{ no. gfw AgCl}$$

$$\frac{\text{wt AlCl}_3}{\text{gfw AlCl}_3} = \frac{1}{3} \frac{\text{wt AgCl}}{\text{gfw AgCl}}$$

$$\text{wt AlCl}_3 = \text{wt AgCl} \times \boxed{\frac{1}{3} \frac{\text{gfw AlCl}_3}{\text{gfw AgCl}}}$$

gravimetric factor

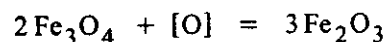
$$= 0.204 \times \frac{133.3}{3 \times 143.3}$$

$$= 0.204 \times 0.310$$

$$= 0.0633 \text{ กรัม}$$

ตัวอย่างที่ 5.24 จงคำนวณหาน้ำหนักของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ที่ได้จาก  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  หนัก 1 กรัม และ  
กราวิเมตริกแฟกเตอร์มีค่าเท่ากับเท่าไร

วิธีทำ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  จะกลายเป็น  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ได้โดยการสันดาปกับออกซิเจน



จากสมการจะเห็นว่า  $3/2$  gfw  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  มาจาก 1 gfw  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

แสดงว่า no. gfw ของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  จะมากกว่า  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  อยู่  $3/2$  เท่า

$$\text{no. gfw Fe}_2\text{O}_3 = \frac{3}{2} \text{ no. gfw Fe}_3\text{O}_4$$

$$\text{wt Fe}_2\text{O}_3 = \text{wt Fe}_3\text{O}_4 \times \boxed{\frac{3}{2} \frac{\text{gfw Fe}_2\text{O}_3}{\text{gfw Fe}_3\text{O}_4}}$$

gravimetric factor

$$\begin{aligned} \text{wt Fe}_2\text{O}_3 &= 1 \times \frac{3}{2} \times \frac{159.7}{231.5} \\ &= 1.035 \text{ กรัม} \\ \text{gravimetric factor} &= \frac{3}{2} \times \frac{159.7}{231.5} \\ &= 1.035 \end{aligned}$$

จากตัวอย่าง 5.21, 5.22, 5.23 และ 5.24 สรุปได้ว่า

$$\text{gravimetric factor} = \frac{\text{gfw of the substance sought}}{\text{gfw of the substance weight}} \cdot \frac{a}{b} \dots\dots\dots(5.32)$$

เมื่อ a และ b คือตัวเลขลงตัวน้อย ๆ ที่ทำให้จำนวนโมลของสปีชีส์ที่ทำการคำนวณเท่ากันทั้งเศษและส่วน

เมื่อต้องการคำนวณหาน้ำหนักของสาร A ที่มีอยู่ในตะกอนที่ซึ่งได้สามารถคำนวณได้โดยการใช้กราวิเมตริกแฟกเตอร์ คือ

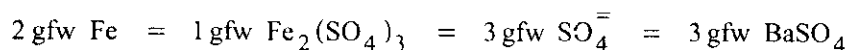
$$\begin{aligned} \text{wt A} &= \text{wt ppt} \times (\text{gravimetric factor}) \\ &= \text{wt ppt} \times \left[ \frac{\text{gfw A}}{\text{gfw ppt}} \cdot \frac{a}{b} \right] \dots\dots\dots(5.33) \end{aligned}$$

แทนค่า (5.33) ลงใน (5.31)

$$\% \text{ A} = \frac{\text{wt ppt} \times \left[ \frac{\text{gfw A}}{\text{gfw ppt}} \cdot \frac{a}{b} \right]}{\text{wt sample}} \times 100 \dots\dots\dots(5.34)$$

หรือ 
$$\% \text{ A} = \frac{\text{wt ppt} \times \text{gravimetric factor} \times 100}{\text{wt sample}} \dots\dots\dots(5.35)$$

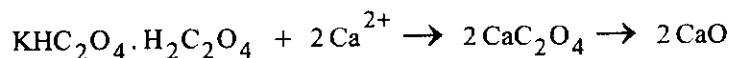
ในการคำนวณไม่จำเป็นเสมอไปว่าสปีชีส์ A ที่ต้องการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์จะต้องเป็นสปีชีส์หนึ่งในตะกอน ในกระบวนการทดลองอาจจะมีขั้นตอนหลายขั้นตอน ทำให้สปีชีส์ที่สนใจไม่อยู่ในตะกอนด้วย แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถคำนวณหากราวิเมตริกแฟกเตอร์ได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น



$$\text{จะได้กราวิเมตริกแฟกเตอร์ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเหล็ก คือ} = \frac{2 \text{ gfw Fe}}{3 \text{ gfw BaSO}_4}$$

ตัวอย่างที่ 5.25 จงคำนวณหา กราวิเมตริกแฟกเตอร์ของ  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  จาก CaO

วิธีทำ เกลือของ  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยการตกตะกอนกับแคลเซียมได้แคลเซียมออกซาเลต หลังจากนั้นนำไปเผาจะได้แคลเซียมออกไซด์



แสดงว่าเกลือโพแทสเซียมไตรไฮโดรเจนออกซาเลต (potassium trihydrogen oxalate)  $\text{KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  จำนวน 1 โมล จะได้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) จำนวน 2 โมล

$$\begin{aligned} \therefore \text{gravimetric factor} &= \frac{\text{gfw KHC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}{2 \text{ gfw CaO}} \\ &= \frac{218.17}{2(56.08)} \\ &= 1.9452 \end{aligned}$$

สิ่งสำคัญในการคำนวณอยู่ที่การหาน้ำหนักของสาร A ที่สนใจ ซึ่งในการคำนวณทำได้โดยใช้น้ำหนักตะกอนคูณกับกราวิเมตริกแฟกเตอร์ จะเห็นได้ว่าการคำนวณไม่จำเป็นต้องเขียนสมการและดุลสมการทางเคมีทุกขั้นตอนก็สามารถคำนวณได้ เพียงแต่ทราบว่าสารเริ่มต้นเป็นอะไรเกิดปฏิกิริยาได้ตะกอนอะไรในขั้นสุดท้ายและสารที่สนใจกับตะกอนมีความสัมพันธ์กันอย่างไร มีตัวอย่างการคำนวณแบบต่าง ๆ เพื่อให้เข้าใจดีขึ้นดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 5.26 สารตัวอย่างแร่เหล็กหนัก 0.5483 กรัม เมื่อนำมาละลายในกรดแล้วออกซิไดส์ให้เป็น  $\text{Fe}^{3+}$  จากนั้นทำการตกตะกอนเป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  โดยใช้แอมโมเนียที่มากเกินไป เมื่อกรองตะกอน และเผาให้แห้งเป็น  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ชั่งได้หนัก 0.2456 กรัม จงคำนวณหา

- เปอร์เซ็นต์ของ Fe ในแร่เหล็ก
- เปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ในแร่เหล็ก

วิธีทำ a) กราวิเมตริกแฟกเตอร์ของ Fe ใน Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> คือ

$$\frac{2 \text{ gfw Fe}}{\text{gfw Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2 \times 55.847}{159.69} = 0.6994$$

$$\% \text{ Fe} = \frac{\text{wt Fe}_2\text{O}_3 \times \text{gravimetric factor} \times 100}{\text{wt sample}}$$

$$= \frac{0.2456 \times 0.6994 \times 100}{0.5483}$$

$$= 31.33$$

b) กราวิเมตริกแฟกเตอร์ ในการเปลี่ยน Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ไปเป็น Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> คือ

$$\frac{2 \text{ gfw Fe}_3\text{O}_4}{3 \text{ gfw Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2}{3} \times \frac{231.54}{159.69} = 0.9666$$

$$\therefore \% \text{ Fe}_3\text{O}_4 = \frac{0.2456 \times 0.9666 \times 100}{0.5483}$$

$$= 43.30$$

ตัวอย่างที่ 5.27 จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ SO<sub>3</sub> ในสารตัวอย่างแรยิปซัม (gypsum) ถ้ำ 0.7560 กรัม ของสารตัวอย่างให้ตะกอน BaSO<sub>4</sub> หนัก 0.9875 กรัม

วิธีทำ

$$\% \text{ SO}_3 = \frac{\text{wt BaSO}_4 \times \text{gravimetric factor} \times 100}{\text{wt sample}}$$

$$\text{gravimetric factor} = \frac{\text{gfw SO}_3}{\text{gfw BaSO}_4} = \frac{80.06}{233.42} = 0.3430$$

$$\% \text{ SO}_3 = \frac{0.9875 \times 0.3430 \times 100}{0.7560}$$

$$= 44.80$$

ตัวอย่างที่ 5.28 สารตัวอย่างที่เป็นสารซักฟอกคอมเมเชียล (commercial detergent) หนัก 0.703 กรัม นำมาเผาด้วยเปลวไฟสีแดงเพื่อทำลายสารประกอบอินทรีย์ แล้วนำเถ้าที่เหลือมาละลายใน HCl เพื่อเปลี่ยน P ให้เป็น H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ตกตะกอนฟอสเฟตเป็น Mg NH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O โดยการเติม Mg<sup>2+</sup> และ NH<sub>3</sub> หลังจากกรองและล้างตะกอนแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เพื่อเปลี่ยน

เพื่อเปลี่ยนเป็น  $Mg_2P_2O_7$  เมื่อนำไปชั่งจะชั่งได้หนัก 0.432 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ P ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ จากสูตรในสมการที่ 5.34

$$\begin{aligned} \% P &= \frac{0.432 \times \frac{2 \text{ gfw P}}{\text{gfw } Mg_2P_2O_7} \times 100}{0.703} \\ &= \frac{0.432 \times 0.2783 \times 100}{0.703} \\ &= 17.1 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.29 ในการเผา  $Na_2C_2O_4$  ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม สามารถเปลี่ยน  $Na_2C_2O_4$  เป็น  $Na_2CO_3$  ได้



ถ้าสารตัวอย่างที่ไม่บริสุทธิ์ของ  $Na_2C_2O_4$  หนัก 1.3906 กรัม เมื่อนำไปเผาจะให้เถ้าที่เหลือหนัก 1.1436 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง

วิธีทำ แสดงว่าน้ำหนักของสารตัวอย่างที่หายไปเมื่อนำไปเผา คือน้ำหนักของ CO จากสมการ แสดงว่า CO ที่ถูกเผาออกไปจะสมมูลกับ  $Na_2C_2O_4$

$$\text{no. gfw CO} = \text{no. gfw } Na_2C_2O_4$$

$$\begin{aligned} \% Na_2C_2O_4 &= \frac{\text{wt CO} \times \frac{\text{gfw } Na_2C_2O_4}{\text{gfw CO}} \times 100}{\text{wt sample}} \\ &= \frac{(1.3906 - 1.1436) \times 4.784 \times 100}{1.3906} \\ &= 84.97 \end{aligned}$$

$$\text{ความบริสุทธิ์ของ } Na_2C_2O_4 = 84.97\%$$

ในการวิเคราะห์สารประกอบในสารตัวอย่างมากกว่า 1 ชนิด สามารถทำได้โดยทำการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอน คือ

- 1) หาน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดที่สนใจรวมกัน
- 2) เปลี่ยนสารประกอบที่สนใจให้อยู่ในรูปตะกอนชนิดเดียวกัน แล้วหาน้ำหนักตะกอน หรือใช้วิธีการที่แตกต่างกันแยกสารประกอบตัวที่สนใจออกมาทีละตัว

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ทำให้สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่สนใจแต่ละตัวได้ โดยใช้หลักการคำนวณทางพีชคณิต

**ตัวอย่างที่ 5.30** สารตัวอย่างประกอบด้วย NaCl และ NaBrหนัก 0.7500 กรัม เมื่อนำมาไทเทรตกับ 0.1043 M AgNO<sub>3</sub> ปรากฏว่าใช้ AgNO<sub>3</sub> ไปเท่ากับ 42.23 ลบ.ซม. นำสารตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งที่หนักเท่าเดิมมาตกตะกอนกับ AgNO<sub>3</sub> ที่มากเกินไปได้ตะกอน AgCl และเมื่อกรองและทำให้แห้งแล้วนำไปชั่งได้หนัก 0.8042 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ NaCl และ NaBr ในสารตัวอย่าง

$$\begin{array}{rcll}
 \text{วิธีทำ} & \text{ให้ NaCl} & = & X \quad \text{มิลลิโมล} \\
 & \text{NaBr} & = & Y \quad \text{มิลลิโมล} \\
 & X + Y & = & 42.23 \times 0.1043 \quad \text{มิลลิโมล} \\
 & & = & 4.405 \quad \dots\dots\dots(1)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcll}
 \text{แสดงว่า AgCl ที่ได้} & = & X & \text{มิลลิโมล ด้วย} \\
 \text{AgBr ที่ได้} & = & Y & \text{มิลลิโมล ด้วย} \\
 (\text{M.W. AgCl}) X + (\text{M.W. AgBr}) Y & = & 0.8042 \times 10^3 & \text{มิลลิกรัม} \\
 143.32 X + 187.78 Y & = & 804.2 & \dots\dots\dots(2)
 \end{array}$$

จาก (1) และ (2) หาค่า X และ Y ได้

$$\begin{array}{rcll}
 X & = & 0.517 & \text{มิลลิโมล} \\
 Y & = & 3.888 & \text{มิลลิโมล} \\
 \% \text{ NaCl} & = & \frac{0.517 \times 58.443 \times 100}{750.0} \\
 & = & 4.03 &
 \end{array}$$



$$\begin{aligned} \% \text{ NaBr} &= \frac{3.888 \times 102.90 \times 100}{750.0} \\ &= 53.34 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.31 สารตัวอย่างยามาแมลงหนัก 0.2795 กรัม ประกอบด้วยลินเดน ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$  : gfw = 290.8) และดี.ดี.ที. ( $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$  : gfw = 354.5) ถูกเผาในบรรยากาศของออกซิเจนในหลอดแก้วควอทซ์ ผลที่ได้ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{HCl}$ ) ถูกนำไปผ่านในสารละลายของ  $\text{NaHCO}_3$  หลังจากทำให้สารละลายเป็นกรดแล้วตกตะกอนคลอไรด์ได้  $\text{AgCl}$  หนัก 0.7161 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ ลินเดน และ ดี.ดี.ที. ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ สามารถสร้างสมการได้ 2 สมการ คือ

$$\text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 + \text{wt } \text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 = 0.2795 \quad \text{.....(1)}$$

$$\text{wt } \text{AgCl} + \text{wt } \text{AgCl} = 0.7161 \quad \text{.....(2)}$$

(จาก  $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ ) (จาก  $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$ )

$$\text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \times \frac{6 \text{ gfw } \text{AgCl}}{\text{gfw } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6} + \text{wt } \text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 \times \frac{5 \text{ gfw } \text{AgCl}}{\text{gfw } \text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5} = 0.7161$$

$$\text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \times 2.957 + \text{wt } \text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 \times 2.021 = 0.7161 \quad \text{.....(3)}$$

จาก (1)

$$\text{wt } \text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 = 0.2795 - \text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \quad \text{.....(4)}$$

แทน (4) ลงใน (3)

$$2.957 \text{ wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 + 2.021(0.2795 - \text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6) = 0.7161$$

$$\text{wt } \text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 = 0.1616$$

$$\% \text{ C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 = \frac{0.1616 \times 100}{0.2795} = 57.82$$

$$\begin{aligned} \% \text{ C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 &= 100 - 57.82 \\ &= 42.18 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.32 สารตัวอย่างประกอบด้วย NaCl และ KCl เท่านั้นหนัก 0.2040 กรัม เมื่อนำสารตัวอย่างมาละลายและตกตะกอนเป็น AgCl ซึ่งได้หนัก 0.4250 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ NaCl ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ สมมติให้ในสารตัวอย่างมี NaCl = X กรัม

KCl = Y กรัม

$$X + Y = 0.2040 \quad \text{.....(1)}$$

$$\text{น้ำหนักของ AgCl ที่มาจาก NaCl} = X \cdot \left[ \frac{\text{gfw AgCl}}{\text{gfw NaCl}} \right]$$

$$= 2.452 X$$

$$\text{น้ำหนักของ AgCl ที่มาจาก KCl} = Y \cdot \left[ \frac{\text{gfw AgCl}}{\text{gfw KCl}} \right]$$

$$= 1.923 Y$$

$$2.452 X + 1.923 Y = 0.4250 \quad \text{.....(2)}$$

แทน (1) ลงใน (2)

$$2.452 X + 1.923 (0.2040 - X) = 0.4250$$

$$0.529 X = 0.0327$$

$$X = \frac{0.0327}{0.529}$$

$$\text{NaCl} = 0.0618 \text{ กรัม}$$

แทนค่า X ลงในสมการที่ (1)

$$Y = 0.2040 - 0.0618$$

$$\text{KCl} = 0.1422 \text{ กรัม}$$

$$\% \text{ NaCl} = \frac{0.0618 \times 100}{0.2040} = 30.29$$

$$\% \text{ KCl} = \frac{0.1422 \times 100}{0.2040} = 69.71$$

ตัวอย่างที่ 5.33 สารตัวอย่างคินเหนียวหนัก 0.7500 กรัม ให้สารผสมของ NaCl และ KCl รวมกันหนัก 0.3025 กรัม KCl ถูกทำให้เป็น  $K_2PtCl_6$  ได้หนัก 0.3874 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $Na_2O$  และ  $K_2O$  ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ  $wt\ KCl = wt\ K_2PtCl_6 \times \frac{2\ gfw\ KCl}{gfw\ K_2PtCl_6} = 0.3874 \times 0.3067$

$$= 0.1188\ \text{กรัม}$$

$$wt\ NaCl = 0.3025 - 0.1188$$

$$= 0.1837\ \text{กรัม}$$

$$\% K_2O = \frac{wt\ KCl \times \frac{gfw\ K_2O}{2\ gfw\ KCl} \times 100}{wt\ sample}$$

$$= \frac{0.1188 \times 0.6317 \times 100}{0.7500}$$

$$= 10.00$$

$$= 10.00$$

$$\% Na_2O = \frac{wt\ NaCl \times \frac{gfw\ Na_2O}{2\ gfw\ NaCl} \times 100}{0.7500}$$

$$= \frac{0.1837 \times 0.5303 \times 100}{0.7500}$$

$$= 13.00$$

$$= 13.00$$

ตัวอย่างที่ 5.34 สารตัวอย่างแร่เหล็กหนัก 1.700 กรัม เมื่อนำมาเผาจะได้สารประกอบออกไซด์ที่เป็นสารผสมหนัก 0.8432 กรัม เมื่อนำสารผสมออกไซด์นี้มาวิเคราะห์ปรากฏว่ามี Al 3.25% และ Ti 1.83% สมมติว่าสารประกอบออกไซด์นี้มีเฉพาะ  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  และ  $Fe_2O_3$  เท่านั้น ให้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Al, Ti และ Fe ในแร่เหล็กนี้

วิธีทำ ตามโจทย์บอกว่ามี Al = 3.25% ในสารผสมออกไซด์หนัก 0.8432 กรัม

แสดงว่า  $\% Al = \frac{wt\ Al_2O_3 \times \frac{gfw\ Al}{gfw\ Al_2O_3} \times \frac{2}{1} \times 100}{n.n.สารผสมออกไซด์}$

$$\begin{aligned} \% 3.25 &= \frac{\text{wt Al}_2\text{O}_3 \times \frac{26.98}{101.96} \times 2 \times 100}{0.8432} \\ &= \text{wt Al}_2\text{O}_3 \times 62.76 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{wt Al}_2\text{O}_3 = 0.0518 \text{ กรัม}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$\% \text{ Ti} = \frac{\text{wt TiO}_2 \times \frac{\text{gfw Ti}}{\text{gfw TiO}_2} \times 100}{\text{น.น.สารผสมออกไซด์}}$$

$$1.83 = \frac{\text{wt TiO}_2 \times \frac{47.9}{79.9} \times 100}{0.8432}$$

$$\text{wt TiO}_2 = 0.0257 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{wt Fe}_2\text{O}_3 &= 0.8432 - 0.0518 - 0.0257 \text{ กรัม} \\ &= 0.7657 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เมื่อต้องการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Al, Ti, Fe ในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรเช่นเดียวกัน

$$\begin{aligned} \% \text{ Al} &= \frac{\text{wt Al}_2\text{O}_3 \times \frac{\text{gfw Al}}{\text{gfw Al}_2\text{O}_3} \times \frac{2}{1} \times 100}{\text{wt sample}} \\ &= \frac{0.0518 \times \frac{26.98}{101.96} \times \frac{2}{1} \times 100}{1.700} \\ &= 1.61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Ti} &= \frac{0.0257 \times \frac{47.9}{79.9} \times 100}{1.700} \\ &= 1.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Fe} &= \frac{0.7657 \times \frac{55.8}{159.6} \times \frac{2}{1} \times 100}{1.700} \\ &= 31.49 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.35 สารตัวอย่างหนัก 1.000 กรัม ซึ่งเป็นสารผสมของ  $K_2CO_3$  และ  $KHCO_3$  เท่านั้น พบว่าเมื่อเผาจะได้  $CO_2$  หนัก 0.400 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบแต่ละตัวในสารตัวอย่าง

วิธีทำ สมมติให้

$$K_2CO_3 = X \text{ กรัม}$$

$$KHCO_3 = 1.000 - X \text{ กรัม}$$

$$K_2CO_3 \text{ X กรัม ให้ } CO_2 = X \times \frac{\text{gfw } CO_2}{\text{gfw } K_2CO_3}$$

$$KHCO_3 (1.000 - X) \text{ กรัม ให้ } CO_2 = (1.000 - X) \times \frac{\text{gfw } CO_2}{\text{gfw } KHCO_3}$$

$$X \frac{44}{138.2} + (1.000 - X) \frac{44}{100.1} = 0.400 \text{ กรัม}$$

$$0.32 + 0.44 - 0.44 X = 0.400 \text{ กรัม}$$

$$X = \frac{4}{12} = 0.333 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \% K_2CO_3 &= \frac{0.333}{1.000} \times 100 \\ &= 33.3 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.36 สารผสมของ  $AgCl$  และ  $AgI$  ถูกเผาในบรรยากาศของ  $Cl_2$  เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบของ  $AgCl$  ทั้งหมด พบว่าสูญเสียน้ำหนักไป 6.00% ให้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์คลอไรด์ในสารเริ่มต้น

วิธีทำ สมมติให้สารตัวอย่างหนัก 100 กรัม

$$AgI = X \text{ กรัม}$$

$$AgCl = 1.000 - X \text{ กรัม}$$

$AgI$  หนัก  $X$  กรัม เมื่อเปลี่ยนเป็น  $AgCl$  จะหนัก

$$= X \cdot \frac{\text{gfw } AgCl}{\text{gfw } AgI}$$

$$= \frac{143.37}{234.87} X \text{ กรัม}$$

น้ำหนักที่หายไปเมื่อเปลี่ยน AgI เป็น AgCl = 6 กรัม

$$X - \frac{143.37}{234.87} X = 6$$
$$= 15.36$$

นั่นคือ AgIหนัก = 15.36 กรัม

$$\text{AgCl หนัก} = 100 - 15.36 \text{ กรัม}$$
$$= 84.64 \text{ กรัม}$$

$$\% \text{ Cl} = \frac{\text{wt AgCl} \times \frac{\text{gfw Cl}}{\text{gfw AgCl}} \times 100}{\text{wt sample}}$$
$$= \frac{84.64 \times \frac{35.5}{143.37} \times 100}{100}$$
$$= 20.96$$

#### กิจกรรมที่ 5.7

1. จงหาค่า Gravimetric factor ของสารที่สนใจ  $\text{MoS}_3$  จากตะกอนที่ซึ่งได้  $\text{BaSO}_4$   
2. สารตัวอย่างที่ประกอบด้วยซัลเฟตหนัก 800.0 มิลลิกรัม นำมาเติมแบเรียมคลอไรด์  
มากเกินไป ได้ตะกอน  $\text{BaSO}_4$  ที่มี  $\text{BaCO}_3$  ปนมา 4.3 มิลลิกรัม หลังจากเผาตะกอนแล้วทำให้  
เย็น ปรากฏว่าได้ตะกอนหนัก 377.0 มิลลิกรัม จงคำนวณ

a)  $\% \text{SO}_4^{=}$  จากน้ำหนักตะกอนที่ซึ่งได้ 377.0 มิลลิกรัม

b)  $\% \text{SO}_4^{=}$  ที่ถูกต้อง (หักน้ำหนัก  $\text{BaCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{BaO}$  ที่ปนมากับตะกอน

ออกไป)

c) หาความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ  $\% \text{SO}_4^{=}$

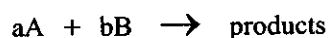
### 3. การคำนวณทางปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric calculation)

ผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีปริมาตรวิเคราะห์ คือความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งอาจมีหน่วยเป็นโมลาริตี (โมลต่อ ลบ.คม.) , ฟอร์แมลิตี, นอร์แมลิตี หรือโคเคอร์ของสารละลาย เป็นต้น การคำนวณโดยวิธีปริมาตรวิเคราะห์นั้นยุ่งยากกว่าวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เพราะการคำนวณโดยวิธีปริมาตรวิเคราะห์ต้องเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น และต้องทำสมการทางเคมีให้สมดุลให้ได้ก่อน จึงจะสามารถคำนวณได้ แต่ในทางการวิเคราะห์โดยน้ำหนักนั้นเพียงทราบมวลสารประกอบเริ่มต้น และตะกอนตัวสุดท้ายมีสูตรทางเคมีอย่างไร ก็สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารตัวที่สนใจได้ โดยปกติแล้วการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในวิธีปริมาตรวิเคราะห์ในปัจจุบัน นิยมใช้หน่วยความเข้มข้น เป็นโมลาริตี หรือโมลต่อ ลบ.คม. อย่างไรก็ตามในบางที่จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณโดยใช้หน่วยความเข้มข้นต่าง ๆ ไว้ทั้งหมด เพื่อความเข้าใจ เพราะยังมีหนังสือเคมีวิเคราะห์อีกหลายเล่มที่ใช้หน่วยความเข้มข้นเป็นนอร์แมลิตี

#### 3.1 การคำนวณโดยใช้หน่วยโมลาริตีและฟอร์แมลิตี (Calculation with molarity and formality)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วถึงความแตกต่างระหว่างโมลาริตีและฟอร์แมลิตี ทำให้เข้าใจได้ว่าการคำนวณทางปริมาตรวิเคราะห์นั้น หน่วยของความเข้มข้นโมลาริตีและฟอร์แมลิตี จะมีความหมายเหมือนกัน สามารถใช้แทนกันได้ เมื่อพิจารณาเพียงปริมาณของสารประกอบที่ใช้เตรียมเป็นสารละลาย มิได้ลึกซึ้งไปถึงการแตกตัวของมัน ดังนั้นการใช้หน่วยทั้งสองสับสนกันบ้างก็ไม่เกิดปัญหาในการคำนวณ

การคำนวณผลของการไทเทรต จำเป็นต้องทราบปริมาณและความเข้มข้นที่แน่นอนของไทเทรนต์ที่ใช้ไปและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องสามารถเขียนสมการทางเคมีได้ และทราบอัตราส่วนที่ทำปฏิกิริยากัน (reacting ratio) ของสารที่ถูกไทเทรตกับไทเทรนต์



โดยที่ A = ไทเทรนต์ (titrant), B = สารที่ถูกไทเทรต หรือไทเทรนต์ (titrand) เมื่อ a โมลของไทเทรนต์ A ทำปฏิกิริยาพอดีกับ b โมลของไทเทรนต์ B ค่าอัตราส่วนที่ทำปฏิกิริยากัน (R) คือจำนวนโมลของ B ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไทเทรนต์ A 1 โมล

$$R = \frac{b}{a}$$

การคำนวณผลที่ได้ทำเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

**ขั้นที่ 1** จำนวนจำนวนมิลลิโมลของไทแทนต์ A

$$\text{no. mmoles}_A = V_A M_A$$

**ขั้นที่ 2** จำนวนมิลลิโมลของสารที่ถูกไทเทรตหรือไทแทนต์, B

$$\text{no. mmoles}_B = \text{no. mmoles}_A R = V_A M_A R = V_A M_A \cdot \frac{b}{a}$$

หรือ

$$\frac{V_B M_B}{b} = \frac{V_A M_A}{a} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\text{no. moles}_B}{b} = \frac{\text{no. moles}_A}{a}$$

**ขั้นที่ 3** จำนวนน้ำหนักของสารที่ถูกไทเทรต, B

$$\text{mg}_B = (\text{no. mmoles}_B) (MW_B) = V_A M_A R (MW_B)$$

**ขั้นที่ 4** จำนวนเปอร์เซ็นต์ของสารที่ถูกไทเทรต, B

$$\% B = \frac{\text{mg}_B}{\text{mg sample}} \times 100$$

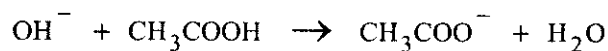
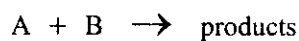
สรุป

$$\text{mg}_B = (V_A) (M_A) (R) (MW_B)$$

$$\% B = \frac{(V_A) (M_A) (R) (MW_B) (100)}{\text{mg sample}}$$

**ตัวอย่างที่ 5.37** จงคำนวณหาน้ำหนักของกรดน้ำส้ม ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ที่มีอยู่ในสารละลายตัวอย่าง 5.00 ลบ.ซม. ของน้ำส้มสายชู ซึ่งผลปรากฏว่าสารละลาย  $\text{NaOH}$  เข้มข้น 0.1000 M ถูกใช้ไปในการไทเทรตจำนวน 35.0 ลบ.ซม.

**วิธีทำ**

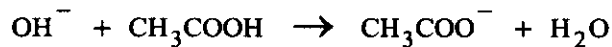


$$R = 1$$

$$(V_{\text{OH}^-}) (M_{\text{OH}^-}) (MW_{\text{CH}_3\text{COOH}}) = \text{mg}_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$



วิธีทำ



$$R = 1$$

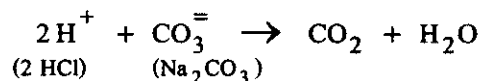
$$(V_{\text{OH}^-}) (M_{\text{OH}^-}) (MW_{\text{CH}_3\text{COOH}}) = \text{mg}_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$

$$(35.00) \times (0.1000) \times (60.03) = 210.1 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\therefore \text{น้ำหนักของกรดน้ำส้ม} = 210.1 \text{ มิลลิกรัม}$$

ตัวอย่างที่ 5.38 จงแสดงสูตรในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมคาร์บอเนตในสารตัวอย่างที่ทราบน้ำหนัก แนนอน ซึ่งถูกไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ โดยใช้เมธิลออเรนจ์ (methyl orange) เป็นอินดิเคเตอร์

วิธีทำ

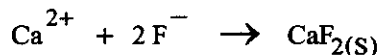


R = 1/2 เพราะใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{(V_{\text{HCl}}) (M_{\text{HCl}}^{1/2}) (MW_{\text{Na}_2\text{CO}_3}) (100)}{\text{mg sample}}$$

ตัวอย่างที่ 5.39 จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของฟลูออไรด์ในสารตัวอย่างหนัก 92.5 มิลลิกรัม ซึ่งเมื่อนำมาไทเทรตกับ 0.0500 M แคลเซียมเปอร์คลอเรต ปริมาตรที่ถูกใช้ไปเท่ากับ 19.80 ลบ.ซม.

วิธีทำ



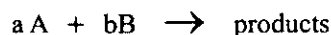
$$R = 2, \quad MW_{\text{F}^-} = 19.00$$

$$\% \text{F}^- = \frac{(V_{\text{Ca}}) (M_{\text{Ca}}) 2 (MW_{\text{F}^-}) (100)}{\text{mg sample}}$$

$$= \frac{(19.80) \times (0.0500) \times (2) \times (19.00) \times (100)}{92.5}$$

### การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายจากการหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization)

ถ้าเป็นการคำนวณเพื่อหาโมลาริตีของสารละลายมาตรฐาน โดยวิธีการชั่งสารปฐุมภูมิ B อย่างละเอียด แล้วนำมาละลายเพื่อไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน A (A = titrant) ความเข้มข้นของ A สามารถคำนวณได้ดังนี้

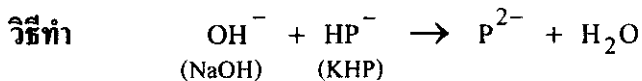


$$R = \frac{b}{a}$$

$$(V_A) (M_A) (R) (MW_B) = \text{mg}_B$$

$$M_A = \frac{\text{mg}_B}{(V_A) (R) (MW_B)}$$

ตัวอย่างที่ 5.40 สารปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต จำนวน 410.4 มิลลิกรัม (MW = 204.2) เมื่อนำมาละลายน้ำแล้วไทเทรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรากฏว่าใช้ NaOH ไปจำนวน 36.70 ลบ.ซม. จงคำนวณหาความเข้มข้นของ NaOH



$$R = 1$$

$$(V_A) (M_A) (MW_B) = \text{mg}_B$$

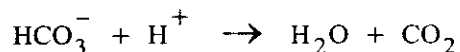
$$(36.70) (M_A) (204.2) = 410.4$$

$$M_A = \frac{410.4}{(36.70) (204.2)}$$

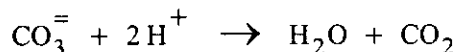
$$= 0.0548$$

$$\text{โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น} = 0.0548 \text{ M}$$

ตัวอย่างที่ 5.41 สารตัวอย่าง  $\text{NaHCO}_3$  หนัก 0.4671 กรัม เมื่อละลายน้ำแล้วมาไทเทรตกับกรดเกลือ ปรากฏว่าใช้กรดเกลือไปเท่ากับ 40.72 ลบ.ซม.



กรดเกลือที่ใช้ถูกนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ 0.1876 กรัม โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) โดยเกิดปฏิกิริยา

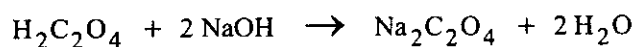


การไทเทรตจะใช้  $\text{HCl}$  เท่ากับ 37.86 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{NaHCO}_3$  ในสารตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{ความเข้มข้นของ HCl} &= \frac{\text{mg Na}_2\text{CO}_3}{(V_{\text{HCl}}) (1/2) (MW_{\text{Na}_2\text{CO}_3})} \\ &= \frac{187.6 \times 2}{37.86 \times 105.99} \\ &= 0.09350 \text{ M} \\ \text{\% NaHCO}_3 &= \frac{M_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} \times R \times MW_{\text{NaHCO}_3} \times 100}{\text{mg sample}} \\ &= \frac{0.09350 \times 40.72 \times 1 \times 84.01}{467.1} \times 100 \\ &= 64.48 \end{aligned}$$

### กิจกรรมที่ 5.9

สารตัวอย่างประกอบด้วยกรดออกซาลิกหนัก 0.5537 กรัม ไทเทรตพอดีกับ 21.60 ลบ.ซม. ของ 0.0938 M  $\text{NaOH}$  ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



จงคำนวณหา %  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ในสารตัวอย่าง

### 3.2 การคำนวณโดยใช้หน่วยนอร์แมลิตี (Calculation with normality)

การคำนวณใช้หลักที่ว่าสารที่ทำปฏิกิริยากันพอดีจะมีจำนวนกรัมสมมูลหรือจำนวนมิลลิกรัมสมมูลเท่ากัน

$$\text{เมื่อ} \quad \begin{array}{l} \text{no. eq wt} \\ \text{(no. gmE)} \end{array} = N \times V \quad (\text{dm}^3)$$

$$\text{หรือ} \quad \text{no. meq} = N \times V \quad (\text{cm}^3)$$

$$\text{แสดงว่า} \quad V_A N_A = V_B N_B$$

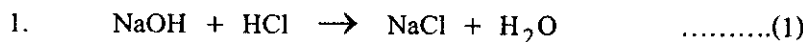
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับเรื่องหน่วยความเข้มข้น เราสามารถหาจำนวนกรัมสมมูลได้จาก น.น.สาร (กรัม) หารด้วยน้ำหนักสมมูลของสารนั้น แสดงว่าการคำนวณหาความเข้มข้นเป็นนอร์แมลของสารละลายจำเป็นต้องทราบน้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของสาร วิธีการคำนวณน้ำหนักสมมูลของสารจำเป็นต้องทราบชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น และต้องสามารถดุลสมการทางเคมีที่เกิดขึ้นได้ ปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีวิธีการคำนวณน้ำหนักสมมูลแตกต่างกันดังนี้

#### 3.2.1 กรณีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยากรด - เบส (Acid - base reaction)

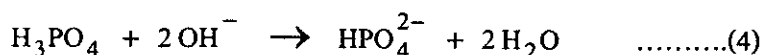
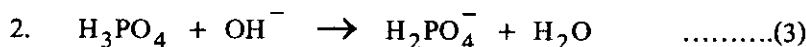
น้ำหนักสมมูลคือน้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 กรัมอะตอมของไฮโดรเจนไอออนทั้งทางตรงและทางอ้อม หรืออาจกล่าวได้ว่าน้ำหนักสมมูล คือน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบหารด้วยจำนวนไฮโดรเจนไอออนที่เกิดปฏิกิริยาในกรด

$$\text{eq wt}_A = \frac{\text{fw}_A}{\text{no. of H}^+} \quad \dots\dots\dots(5.36)$$

#### ตัวอย่างที่ 5.42



$$\text{eq wt NaOH} = \frac{\text{fw NaOH}}{1} \quad \dots\dots\dots(2)$$



$$\text{จากสมการ (3)} \quad \text{eq wt H}_3\text{PO}_4 = \frac{\text{fw H}_3\text{PO}_4}{1}$$

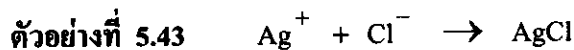
$$\text{จากสมการ (4)} \quad \text{eq wt H}_3\text{PO}_4 = \frac{\text{fw H}_3\text{PO}_4}{2}$$

จะเห็นได้ว่าสารประกอบชนิดเดียวกันสามารถมีค่าน้ำหนักสมมูลได้มากกว่า 1 ค่า ถ้าสารประกอบนั้นมีจำนวนไฮโดรเจนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า 1 ตัว เช่น  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ดังนั้นการจะตอบค่าน้ำหนักสมมูลของ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ว่ามีค่าเท่ากับเท่าไรต้องทราบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

### 3.2.2 กรณีที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาการเกิดตะกอนและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

น้ำหนักสมมูล คือน้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 กรัม น้ำหนักสูตรของแคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยาในกรณีที่แคตไอออนนั้นเป็นยูนิวาเลนต์ (univalent) ถ้าแคตไอออนเป็นไดวาเลนต์ (divalent) น้ำหนักสมมูลจะเท่ากับน้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับครึ่งกรัม น้ำหนักสูตรของสารประกอบที่มีแคตไอออนทำปฏิกิริยานั้น (reacting cation) หรือเท่ากับน้ำหนักสูตรหารด้วย 2

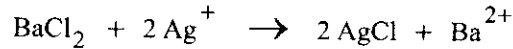
$$\text{eq wt}_A = \frac{\text{fw}_A}{\text{reacting cation charge}} \dots\dots\dots(5.37)$$



ในที่นี้แคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยาคือเงินไอออน ( $\text{Ag}^+$ ) ซึ่งเป็นยูนิวาเลนต์ ดังนั้นจะพิจารณาน้ำหนักสมมูลของสาร (substance) ต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

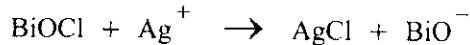
สาร	น้ำหนักสมมูล
1. $\text{Ag}^+$	$\text{fw Ag}^+$
2. $\text{AgNO}_3$	$\text{fw AgNO}_3$
3. $\text{Ag}_2\text{SO}_4$	$\frac{\text{fw Ag}_2\text{SO}_4}{2}$
4. $\text{NaCl}$	$\text{fw NaCl}$
5. $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\frac{\text{fw BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{2}$
6. $\text{BiOCl}$	$\text{fw BiOCl}$

พิจารณาข้อ 5 ในตารางปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



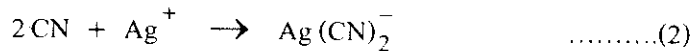
น้ำหนักสมมูลของ  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{\text{fw } \text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{2}$  ทั้งนี้เนื่องจาก  $\text{BaCl}_2$  ต้องทำปฏิกิริยากับ 2 gfw ของ  $\text{Ag}^+$  มิใช่เนื่องจาก  $\text{Ba}^{2+}$  เป็นไอวาเลนซ์ การพิจารณาต้องพิจารณาจากแคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยา ( $\text{Ag}^+$ ) จะเห็นว่า 1 gfw  $\text{Ag}^+$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\frac{1}{2}$  gfw  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ดังนั้น น้ำหนักสมมูลของ  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  จึงมีค่าเท่ากับ  $\frac{\text{fw}}{2}$

สำหรับกรณีของ  $\text{BiOCl}$  มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



จะเห็นได้ว่า 1 gfw ของแคตไอออนที่เกิดปฏิกิริยา ( $\text{Ag}^+$ ) ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{BiOCl}$  1 gfw ดังนั้นน้ำหนักสมมูลของ  $\text{BiOCl}$  จึงมีค่าเท่ากับ fw  $\text{BiOCl}$  ถ้าพิจารณาผิดพลาดโดยเข้าใจว่า  $\text{Bi}^{3+}$  เป็นไตรวาเลนซ์ ดังนั้นน้ำหนักสมมูล ควรมีค่าเท่ากับ  $\frac{\text{fw } \text{BiOCl}}{3}$  ก็จะทำให้การคำนวณได้ผลไม่ถูกต้อง

ตัวอย่างที่ 5.44 แสดงให้เห็นว่าสารประกอบชนิดเดียวกันอาจมีน้ำหนักสมมูลได้หลายค่า



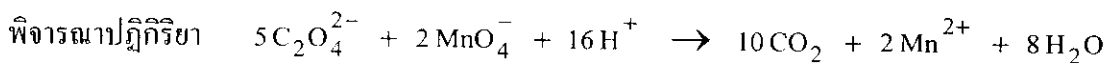
สมการ (1) eq wt KCN = fw KCN

สมการ (2) eq wt KCN = 2 fw KCN

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าการคำนวณหาน้ำหนักสมมูลจำเป็นต้องทราบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและต้องดุลสมการทางเคมีให้ได้ด้วย จึงจะคำนวณหาค่าน้ำหนักสมมูลได้ถูกต้อง

### 3.2.3 กรณีที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน

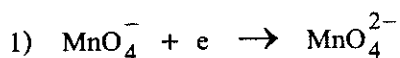
$$\text{eq wt}_A = \frac{\text{fw}_A}{\text{เลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนไป}} \quad \dots\dots\dots(5.38)$$



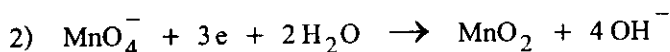
จากปฏิกิริยา Mn มีค่าเลขออกซิเดชันเปลี่ยนจาก +7 → +2 และคาร์บอนด์เปลี่ยนจาก +3 → +4 ดังนั้นจะพิจารณาน้ำหนักสมมูลได้ดังนี้

สาร	น้ำหนักสมมูล
Mn <sup>2+</sup>	$\frac{\text{fw Mn}^{2+}}{5}$
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	$\frac{\text{fw MnO}_4^-}{5}$
KMnO <sub>4</sub>	$\frac{\text{fw KMnO}_4}{5}$
Ca(MnO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	$\frac{\text{fw Ca(MnO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{2 \times 5}$
CO <sub>2</sub>	$\frac{\text{fw CO}_2}{1}$
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	$\frac{\text{fw C}_2\text{O}_4^{2-}}{2}$
Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$\frac{\text{fw Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{2}$

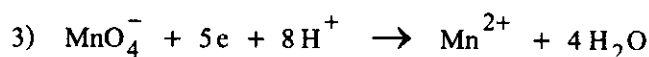
ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชัน สารตัวเดียวกันอาจมีน้ำหนักสมมูลได้หลายค่า ขึ้นอยู่กับว่าสารนั้นเกิดปฏิกิริยาอย่างไร ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นว่า ในการคำนวณหาน้ำหนักสมมูล จำเป็นต้องทราบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและดุลสมการ (balance equation) ทางเคมีให้ได้ จึงจะคำนวณหาน้ำหนักสมมูลได้ถูกต้อง ตัวอย่าง KMnO<sub>4</sub> มีค่าน้ำหนักสมมูลได้ถึง 3 ค่า ตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ซึ่งนำมาเขียนเฉพาะครึ่งปฏิกิริยาได้ดังนี้



$$\text{eq wt MnO}_4^- = \frac{\text{fw MnO}_4^-}{1}$$



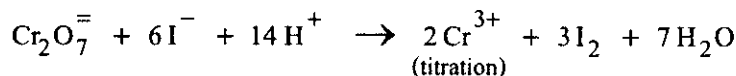
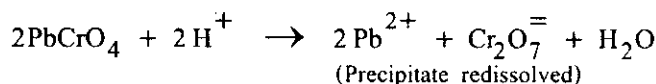
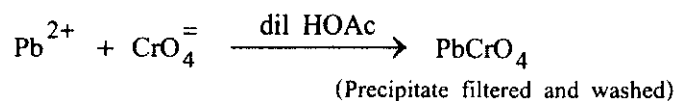
$$\text{eq wt MnO}_4^- = \frac{\text{fw MnO}_4^-}{3}$$



$$\text{eq wt MnO}_4^- = \frac{\text{fw MnO}_4^-}{5}$$

### 3.2.4 กรณีที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่ไม่เกิดโดยตรง

มีบ่อยครั้งที่การวิเคราะห์ทางปริมาตรวิเคราะห์ต้องการหาน้ำหนักสมมูลของสารประกอบหรือธาตุที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับสารตั้งต้น (reactant) เช่น ในกรณีต้องการหาปริมาณของตะกั่ว โดยวิธีการไทเทรตทางอ้อม ขั้นแรกตกตะกอน  $\text{Pb}^{2+}$  ให้เป็น  $\text{PbCrO}_4$  แล้วจึงนำตะกอนนี้มาละลายใหม่ด้วย  $\text{HCl}$  เจือจาง สารละลายที่ได้ก็จะประกอบด้วยไอออนของตะกั่ว และไอออนของไดโครเมต ขั้นสุดท้ายทำการไทเทรตสารละลายนี้ด้วยสารละลาย  $\text{I}^-$  ที่เป็นตัวรีดิวซ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ขั้นตอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีดังนี้



จุดประสงค์ของการคำนวณคือ ต้องการหาน้ำหนักสมมูลของ  $\text{Pb}^{2+}$  แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์นั้นเกิดขึ้นระหว่าง  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{=}$  กับ  $\text{I}^-$  จากปฏิกิริยา สังเกตได้ว่า  $\text{Cr}$  จะเปลี่ยนเลขออกซิเดชันจาก +6 ไปเป็น +3 แต่ในปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของ  $\text{Cr}$  ทั้งหมด 2 ตัว ดังนั้น การถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา = 6 e จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3 ปฏิกิริยานั้น สรุปได้ว่า

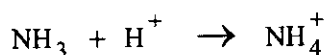
$$2\text{Pb}^{2+} = 2\text{CrO}_4^{=} = \text{Cr}_2\text{O}_7^{=} = 6e$$

$$\frac{2 \text{ gfw Pb}^{2+}}{6} \equiv \frac{2 \text{ gfw CrO}_4^{=}}{6} \equiv \frac{\text{gfw Cr}_2\text{O}_7^{=}}{6} \equiv \frac{6 \text{ moles } e}{6}$$



แสดงว่ากรัมสมมูลของ  $\text{Pb}^{2+}$  จะหาได้จาก  $\frac{fw \text{ Pb}^{2+}}{3}$  ในการไทเทรต ถ้าคำนวณได้ว่า  $\text{I}^-$  ที่ใช้ไปเป็นจำนวนกี่กรัมสมมูล ก็แสดงว่ามี  $\text{Pb}^{2+}$  จำนวนเท่านั้นกรัมสมมูลด้วย เมื่อนำจำนวนกรัม สมมูลของ  $\text{Pb}^{2+}$  ที่หาได้คูณกับน้ำหนักสมมูล ( $\frac{fw \text{ Pb}^{2+}}{3}$ ) ก็จะได้น้ำหนักเป็นกรัมของ  $\text{Pb}^{2+}$  ที่ต้องการ

ถ้าพิจารณาตัวอย่างเพิ่มขึ้น เช่น กรณีที่หาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3$  สามารถหาปริมาณได้ โดยเปลี่ยน N ให้เป็นแอมโมเนีย แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรด



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาของการสะเทิน (neutralization titration) การหาน้ำหนักสมมูลขึ้นอยู่กับจำนวนไฮโดรเจนไอออน สารประกอบอินทรีย์  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3$  จะให้  $3 \text{NH}_3$  ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $3 \text{H}^+$  แสดงว่า  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3$  จะสมมูลกับ  $3 \text{H}^+$  นั่นคือน้ำหนักสมมูลของ

$$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}_3 = \frac{fw \text{ C}_9\text{H}_9\text{N}_3}{3}$$

### 3.2.5 การคำนวณผลของการไทเทรต

เมื่อทราบวิธีการคำนวณหาน้ำหนักสมมูลของสารแล้ว การคำนวณเพื่อหาปริมาณของสารตัวอย่าง หรือหาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง โดยวิธีการใช้หน่วยนอร์แมลิตีจะสะดวกกว่าโมลาริตี โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนที่ทำปฏิกิริยา จะใช้กฎที่ว่าสารสองตัวที่ทำปฏิกิริยากันพอดี จะมีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน หรือ  $V_A N_A = V_B N_B$

ตัวอย่างที่ 5.45 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกถูกนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ้า 25.00 ลบ.ซม. ของ HCl ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 32.20 ลบ.ซม. ของ 0.0950 N NaOH จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นนอร์แมลของ HCl

วิธีทำ

$$V_A N_A = V_B N_B$$

$$(32.20) (0.0950) = (25.00) (N_{\text{HCl}})$$

$$N_{\text{HCl}} = 0.1224$$

ตัวอย่างที่ 5.46 จงคำนวณหาปริมาตรของ 12.1 N HClO<sub>4</sub> ที่ต้องใช้ทำให้เป็นสารละลายเจือจางปริมาตร 1 ลบ.คม. และมีความเข้มข้น 0.1 N

วิธีทำ

$$V_{\text{HClO}_4} (12.1) = (1000) (0.1)$$

$$V_{\text{HClO}_4} = \frac{1000 \times 0.1}{12.1}$$

$$= 8.26 \text{ ลบ.ซม.}$$

ตัวอย่างที่ 5.47 สารตัวอย่าง 0.2000 กรัม ของโลหะผสม เมื่อนำมาละลายและโลหะดีบุกถูกออกซิไดส์เป็นดีบุก (II) ปรากฏว่าเมื่อไทเทรตดีบุก (II) ด้วย 0.1000 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> จะใช้ K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ไปจำนวน 22.20 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของดีบุกในสารตัวอย่าง

วิธีทำ จากตัวอย่าง ต้องทราบว่า Sn (II) จะต้องถูกออกซิไดส์เป็น Sn (IV) แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอน 2 ตัว นั่นคือ น้ำหนักสมมูลของ Sn จะเท่ากับน้ำหนักอะตอมหารด้วย 2

$$\text{eq wt Sn} = \frac{118.70}{2} = 59.35$$

$$V_A N_A = V_B N_B = \text{no. meq}_B \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{no. meq}_B = \frac{\text{mg}_B}{\text{eq wt}_B} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$V_A N_A = \frac{mg_B}{eq\ wt_B} \dots\dots\dots(3)$$

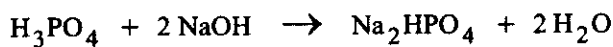
$$mg_B = V_A N_A (eq\ wt_B)$$

$$\begin{aligned} \% B &= \frac{V_A N_A (eq\ wt_B) (100)}{mg\ sample} \\ &= \frac{(22.20) (0.1000) (59.35) (100)}{200.0} \end{aligned}$$

$$Sn = 65.9\%$$

ตัวอย่างที่ 5.48 สารตัวอย่างกรด  $H_3PO_4$  ชนิดหนึ่งหนัก 1.0000 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.1000 N NaOH ในการไทเทรต โดยใช้ฟีนอลฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $H_3PO_4$  ในสารตัวอย่าง ซึ่งปรากฏว่าใช้ NaOH ไปเท่ากับ 28.16 ลบ.ซม.

**วิธีทำ** การใช้ฟีนอลฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



$$eq\ wt\ H_3PO_4 = \frac{fw}{2} = 49.00$$

$$\begin{aligned} \% B &= \frac{(V_A) (N_A) (eq\ wt_B) (100)}{mg\ sample} \\ &= \frac{(28.16) (0.1000) (49.00) (100)}{1,000} \end{aligned}$$

$$\therefore H_3PO_4 = 13.80\%$$

ตัวอย่างที่ 5.49 สารตัวอย่าง 150.0 มิลลิกรัม ของโซเดียมคาร์บอเนตที่บริสุทธิ์ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 30.06 ลบ.ซม. ของสารละลาย HCl สำหรับการไทเทรต



จงคำนวณหาความเข้มข้น (นอร์แมลิตี) ของ HCl

**วิธีทำ**  $eq\ wt\ Na_2CO_3 = \frac{fw}{2} = 52.99$

$$V_A N_A = \frac{mg_B}{eq\ wt_B}$$

$$N_A = \frac{mg_B}{(eq\ wt_B) (V_A)}$$

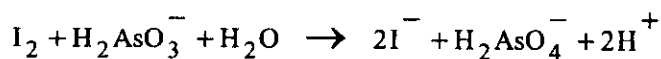
$$= \frac{(150.0)}{(52.9) (30.06)}$$

$$= 0.09433$$

∴ ความเข้มข้นของ HCl = 0.09433 N

ตัวอย่างที่ 5.50 จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่ถูกนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย  $As_2O_3$  ปรากฏว่าสารละลายไอโอดีนจำนวน 37.34 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $As_2O_3$  0.2040 กรัม

วิธีทำ  $As_2O_3$  เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย จะเกิดเป็น  $H_2AsO_3^-$  ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับไอโอดีน ดังนี้



$$eq\ wt\ As_2O_3 = \frac{fw\ As_2O_3}{4} = \frac{197.8}{4} = 49.45$$

$$V_A N_A = V_B N_B = \frac{mg_B}{eq\ wt_B}$$

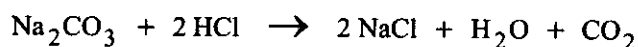
$$(37.34) N_{I_2} = \frac{0.2040}{49.45} \times 1000$$

$$N_{I_2} = \frac{0.2040 \times 1000}{37.34 \times 49.45}$$

∴ ความเข้มข้นของ  $I_2$  = 0.1105 N

#### กิจกรรมที่ 5.10

สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ของ  $Na_2CO_3$  จำนวน 0.3542 กรัม เมื่อนำมาละลายน้ำ และทำการไทเทรตกับสารละลายกรดเกลือ ปรากฏว่าใช้กรดเกลือไปจำนวน 30.23 ลบ.ซม. จะถึงจุดยุติ โดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



จงคำนวณหาความเข้มข้นของกรดเป็น นอร์แมล

### 3.3 การคำนวณโดยใช้หน่วยไตเตอร์ (Calculation with titer, T)

ไตเตอร์ คือหน่วยของความเข้มข้นที่มีความหมายเป็นน้ำหนักของสารใด ๆ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายนั้น 1 หน่วยปริมาตร นั่นคือ

$$T_A = \frac{\text{mg}_B}{\text{cm}_A^3} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\text{g}_B}{\text{dm}_A^3} \quad \dots\dots\dots(5.39)$$

#### 3.3.1 ในกรณีพิจารณาจากหน่วยความเข้มข้นของนอร์แมล

$$N_A \text{ cm}_A^3 = N_B \text{ cm}_B^3 = \frac{\text{mg}_B}{\text{eq wt}_B} \quad \dots\dots\dots(5.40)$$

$$\text{mg}_B = N_A \text{ cm}_A^3 \cdot \text{eq wt}_B \quad \dots\dots\dots(5.41)$$

แทนค่า 5.41 ลงใน 5.39

$$T_A = \frac{N_A \text{ cm}_A^3 \cdot \text{eq wt}_B}{\text{cm}_A^3}$$

$$\therefore T_A = N_A \cdot \text{eq wt}_B \quad \dots\dots\dots(5.42)$$

หรือ

$$N_A = \frac{T_A}{\text{eq wt}_B} \quad \dots\dots\dots(5.43)$$

ค่าน้ำหนักสมมูลที่ใช้ในสมการ 5.42 คือน้ำหนักสมมูลของสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารละลายนั้น ไม่ใช่ น้ำหนักสมมูลของตัวถูกละลายในสารละลายเช่น ไตเตอร์ของกรด HCl มีค่า = 4.00 มิลลิกรัม NaOH ต่อ 1 ลบ.ซม. เราสามารถหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl ได้ โดยนำเอาน้ำหนักสมมูลของ NaOH (40.00) ไปหารค่าไตเตอร์ของสารละลายกรด HCl จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย HCl = 0.100 N

#### 3.3.2 ในกรณีพิจารณาจากหน่วยความเข้มข้นโมลาร์

$$\text{no. mmoles}_B = \text{no. mmoles}_A \cdot R \quad \dots\dots\dots(5.44)$$

$$\frac{\text{mg}_B}{\text{MW}_B} = M_A \text{ cm}_A^3 \cdot R \quad \dots\dots\dots(5.45)$$

$$\text{mg}_B = M_A \text{ cm}_A^3 \cdot R \cdot \text{MW}_B \quad \dots\dots\dots(5.46)$$

$$\frac{\text{mg}_B}{\text{cm}_A^3} = M_A \cdot R \cdot \text{MW}_B \quad \dots\dots\dots(5.47)$$

นั่นคือ  $T_A = M_A \cdot R \cdot \text{MW}_B \quad \dots\dots\dots(5.48)$

(R = reacting ratio b/a ของสมการ  $aA + bB \rightarrow \text{product}$ )

**ตัวอย่างที่ 5.51** จงคำนวณหา

- a)  $\text{NH}_3$  ไตเตอร์ของสารละลาย 0.120 N HCl
- b) BaO ไตเตอร์ของสารละลาย 0.120 N HCl

**วิธีทำ** a)  $T = N \times \text{eq wt}_{\text{NH}_3}$   
 $= 0.120 \times 17.0$

$\therefore$  ไตเตอร์ของ HCl = 2.04 mg.  $\text{NH}_3 / \text{cm}^3$

b)  $T = N \times \text{eq wt}_{\text{BaO}}$   
 $= 0.120 \times \frac{153.4}{2}$

$\therefore$  ไตเตอร์ของ HCl = 9.2 mg BaO/ $\text{cm}^3$

**ตัวอย่างที่ 5.52** สารละลายของ NaOH มีค่ากรดออกซาลิกไตเตอร์เท่ากับ 9.45 mg/ $\text{cm}^3$  จงคำนวณหาอนุโมลลิตีของสารละลาย NaOH (MW  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 = 126.0$ )

**วิธีทำ**  $T = N \times \text{eq wt}_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$   
 $\therefore N = \frac{9.45}{63.0}$   
 $= 0.150$

ตัวอย่างที่ 5.53 สารละลายมาตรฐานของโพแทสเซียมไดโครเมตมีความเข้มข้น 5.422 กรัมต่อ ลบ.ซม. จงคำนวณหา  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ไตเตอร์ของสารละลาย  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ในเทอมของมิลลิกรัมต่อ ลบ.ซม.

วิธีทำ จากปฏิกิริยา  $6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightarrow 6\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$

เมื่อนำ  $\text{Fe}^{2+}$  ทำปฏิกิริยากับ  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ปรากฏว่า  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  1 โมล จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{Fe}^{2+}$  6 โมล หรือ 6 โมลของ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )

ความเข้มข้นเป็นนอร์แมลของสารละลายไดโครเมตคือ

$$N = \frac{\text{g/dm}^3}{\text{eq wt}_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}} = \frac{5.422}{294.19/6} = 0.1106$$

$$T = N_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} \times \text{eq wt}_{\text{Fe}_3\text{O}_4}$$

$$\begin{aligned} \text{eq wt}_{\text{Fe}_3\text{O}_4} &= \text{MW}_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \times \frac{6}{6} \\ &= 231.54 \end{aligned}$$

$$\therefore T = 0.1106 \times 231.54$$

$$= 25.61 \text{ mg Fe}_3\text{O}_4/\text{cm}^3$$

ตัวอย่างที่ 5.54 สารตัวอย่างทองแดงหนัก 0.6000 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์โดยวิธีไซยาไนด์ ปรากฏว่าต้องใช้ KCN = 32.25 ลบ.ซม. ซึ่งสารละลาย KCN มีคอปเปอร์ไตเตอร์เท่ากับ 0.0015000  $\text{mg/cm}^3$  จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของทองแดงในสารตัวอย่าง

วิธีทำ สารละลาย KCN 1 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Cu = 0.001500 มิลลิกรัม

สารละลาย KCN 32.25 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Cu =  $32.25 \times 0.001500$  มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \therefore \% \text{Cu} &= \frac{32.25 \times 0.001500 \times 100}{0.6000} \\ &= 8.062 \end{aligned}$$

### กิจกรรมที่ 5.11

1. สารละลาย 0.0100 M  $\text{KMnO}_4$  มีค่า  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  titer เท่ากับเท่าไร
2. สารตัวอย่างแร่เหล็กหนัก 0.1200 กรัม เมื่อละลายเป็นสารประกอบแล้วรีดิวส์  $\text{Fe}^{3+}$  ให้เป็น  $\text{Fe}^{2+}$  เมื่อนำไปไทเทรตกับสารละลายเปอร์แมงกาเนตในข้อ 1 ปรากฏว่าใช้  $\text{KMnO}_4$  ไปเท่ากับ 7.50 ลบ.ซม. จงคำนวณหา %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ในแร่เหล็กนี้

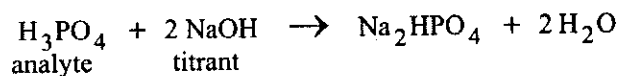
มีวิธีการอยู่ 3 วิธีในการไทเทรตเพื่อหาปริมาณสารที่สนใจ สำหรับการหาปริมาตรวิเคราะห์ คือ วิธีการไทเทรตโดยตรง (Direct titration method) วิธีการไทเทรตโดยอ้อมหรือการแทนที่ (Replacement or Indirect titration method) และวิธีการไทเทรตย้อนกลับ (Back titration method) ซึ่งแต่ละวิธีมีการคำนวณแตกต่างกัน ควรทำความเข้าใจให้ลึกซึ้งของข้อแตกต่างนี้

### 3.4 วิธีการไทเทรตโดยตรง (Direct titration method)

วิธีการไทเทรตโดยตรง คือ การใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ไทเทรตกับสารตัวอย่างโดยตรง วิธีการคำนวณขึ้นอยู่กับหน่วยความเข้มข้นที่ใช้ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3

### กิจกรรมที่ 5.12

สารตัวอย่างกรดฟอสฟอริก 300.0 มิลลิกรัม ถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น แล้วไทเทรตกับ 0.05000 M NaOH โดยเกิดปฏิกิริยา

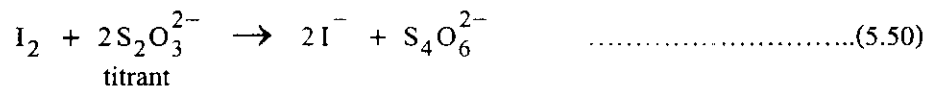
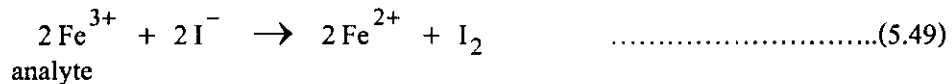


จุดยุติถึงเมื่อใช้ไทเทรนต์ 29.00 ลบ.ซม. จงคำนวณหา %  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ในสารตัวอย่าง



### 3.5 การไทเทรตโดยอ้อมหรือการแทนที่ (Replacement or Indirect titration method)

การไทเทรตวิธีนี้จะมีปฏิกิริยาขั้นแรกเกิดขึ้นก่อนระหว่างสารตัวอย่างตัวที่สนใจกับสารอีกตัวหนึ่งที่สามารถทำปฏิกิริยากันแล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่สมมูลกับตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานได้ เช่น การหาปริมาณเหล็ก เมื่อทำปฏิกิริยากับไอโอดีนจะให้ไอโอดีนที่สมมูลกับปริมาณของเหล็ก จากนั้นไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซซัลเฟต



ตัวอย่างที่ 5.55 สารตัวอย่างเหล็ก 750.0 มิลลิกรัม นำมาละลายด้วยกรดแล้วออกซิไดส์เหล็กให้เป็น  $\text{Fe}^{3+}$  ทั้งหมด แล้วทำละลายตัวอย่างออกซิไดส์ที่เหลืออยู่ให้หมด จากนั้นเติม KI ให้มากเกินไปจะมี  $\text{I}_2$  เกิดขึ้นตามปฏิกิริยาที่ (5.49) ซึ่งถูกไทเทรตพอดีกับ 0.07500 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จำนวน 28.50 ลบ.ซม. จงหา % Fe ในสารตัวอย่างเหล็ก

วิธีทำ จากสมการที่ (5.50)

$$\text{no. moles I}_2 = \frac{\text{no. moles S}_2\text{O}_3^{2-}}{2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

จากสมการที่ (5.49)  $\text{no. moles I}_2 = \frac{\text{no. moles Fe}^{3+}}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$

$$\begin{aligned} (1) = (2) \quad \frac{\text{no. moles Fe}^{3+}}{2} &= \frac{\text{no. moles S}_2\text{O}_3^{2-}}{2} \\ &= \frac{0.07500 \times 18.50}{1000} \\ &= 1.388 \times 10^{-3} \quad \text{โมล} \\ &= 1.388 \quad \text{มิลลิโมล} \\ \text{wt Fe} &= 1.388 \times 55.85 = 77.52 \quad \text{มิลลิกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Fe} &= \frac{\text{wt Fe}}{\text{wt sample}} \times 100 \\ &= \frac{77.52}{750} \times 100 = 10.34 \end{aligned}$$

### กิจกรรมที่ 5.13

สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตถูกนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยการนำโลหะทองแดงที่บริสุทธิ์ 250.0 มิลลิกรัม มาทำเป็นสารละลายแล้วเติม KI ให้มากเกินไป เพื่อทำให้เกิดไอโอดีน แล้วไทเทรตไอโอดีนด้วยสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต ปรากฏว่าใช้สารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตไปเท่ากับ 44.90 ลบ.ซม. จงหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟตเป็น โมลาร์

### 3.6 วิธีการไทเทรตย้อนกลับ (Back titration method)

เป็นวิธีการไทเทรตอีกวิธีหนึ่งที่ใช้หาปริมาณสาร B โดยการเติมสารละลายมาตรฐาน A ลงไปให้มากเกินไป จำนวนแน่นอน (ทราบปริมาตรแน่นอน) แล้วจึงหาปริมาณของสารละลายมาตรฐาน A ที่มากเกินไปด้วยสารละลายมาตรฐาน C อีกตัวหนึ่ง



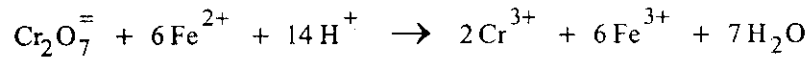
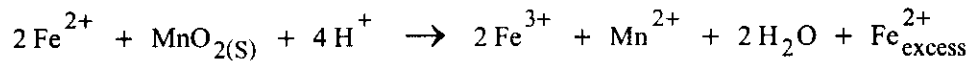
วิธีการไทเทรตย้อนกลับจะมีประโยชน์และนำมาใช้หาปริมาณได้ เมื่อเกิดกรณีที่การไทเทรตโดยตรง (direct titration) เลือקהาอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมไม่ได้หรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง A และ B เกิดขึ้นช้ากว่าปกติ

#### 3.6.1 การคำนวณโดยใช้หน่วยความเข้มข้นนอร์แมล

ผลของการวิเคราะห์แบบการไทเทรตย้อนกลับสามารถคำนวณโดยลบจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของ A ที่มากเกินไปออกจากมิลลิกรัมสมมูลของ A ที่เติมลงไปทั้งหมด ก็จะได้มิลลิกรัมสมมูลของ A ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยาพอดีกับมิลลิกรัมสมมูลของ B

$$[(V_A N_A) - (V_C N_C)] (\text{eq wt}_B) = \text{mg}_B$$

ตัวอย่างที่ 5.56 แมงกานีสไดออกไซด์ถูกนำมาหาปริมาณ โดยทำการรีดิวซ์ด้วยเฟอร์รัสซัลเฟตที่มากเกินไป และ  $\text{Fe}^{2+}$  ที่มากเกินไปถูกไทเทรตย้อนกลับด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

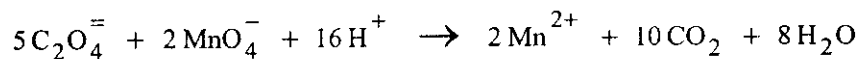


จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{MnO}_2$  ในสารตัวอย่าง 200.0 มิลลิกรัม เมื่อเติม 50.00 ลบ.ซม. ของ 0.1000 N  $\text{Fe}^{2+}$  แล้วต้องการ 16.00 ลบ.ซม. ของ 0.0800 N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ในการไทเทรตย้อนกลับ

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{eq wt}_{\text{MnO}_2} &= \frac{\text{fw}_{\text{MnO}_2}}{2} = 43.37 \\ \text{mg}_{\text{MnO}_2} &= [(V_A N_A) - (V_C N_C)] (\text{eq wt}_{\text{MnO}_2}) \\ &= [(50.00 \times 0.1000) - (16.00) (0.0800)] (43.47) \\ &= (3.720) (43.47) \\ \% \text{ MnO}_2 &= \frac{(3.720) (43.37) (100)}{200.0} \\ &= 80.85 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.57 สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ของ  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  หนัก 0.2856 กรัม เมื่อละลายน้ำและเติมกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  แล้วจึงนำมาไทเทรตด้วย 45.12 ลบ.ซม. ของ  $\text{KMnO}_4$  ที่อุณหภูมิ  $70^\circ\text{C}$  ปรากฏว่าการไทเทรตนี้เกินจุดยุติ จึงนำมาทำการไทเทรตย้อนกลับ (Back titration) กับ 0.1032 N ของกรดออกซาลิก ปรากฏว่าใช้ไปเท่ากับ 1.74 ลบ.ซม. จงคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{KMnO}_4$  เป็นนอร์แมล



$$\text{meq}_{\text{KMnO}_4} = \text{meq}_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} \times \text{meq}_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$$

$$V_{\text{KMnO}_4} \times N_{\text{KMnO}_4} = \left( \frac{\text{mg}_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}}{\text{eq wt}_{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}} \right) + \left( V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \times N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \right)$$

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงว่าออกซาลेटสูญเสียอิเล็กตรอนไป 2 ตัว ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{eq wt Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 &= \frac{134.00}{2} = 67 \\ 45.12 \times N_{\text{KMnO}_4} &= \frac{285.6}{67} + 1.74 \times 0.1032 \\ N_{\text{KMnO}_4} &= 0.0985 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 5.58 สมมติว่าในตัวอย่างที่ 5.57 นั้น ไม่ทราบค่าความเข้มข้นของกรดออกซาลิก แต่ทราบอัตราส่วนของปริมาตรของกรดออกซาลิกที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{KMnO}_4$  ดังนี้

$$1.00 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \equiv 1.048 \text{ cm}^3 \text{ KMnO}_4$$

จงคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{KMnO}_4$  และ  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

วิธีทำ เปลี่ยนปริมาตรของกรด  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ไปเป็นปริมาตรของ  $\text{KMnO}_4$

$$\therefore \text{cm}^3 \text{ KMnO}_4 \text{ ที่เท่ากับ } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \text{ } 1.74 \text{ cm}^3 \text{ คือ } 1.74 \times 1.048 = 1.82 \text{ cm}^3$$

$\therefore$  ปริมาตรของ  $\text{KMnO}_4$  ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  คือ

$$45.12 - 1.82 = 43.30$$

$$\text{นั่นคือ } 43.30 \times N_{\text{KMnO}_4} = \frac{285.6}{67.0}$$

$$N_{\text{KMnO}_4} = 0.0985$$

ความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  หาได้จาก

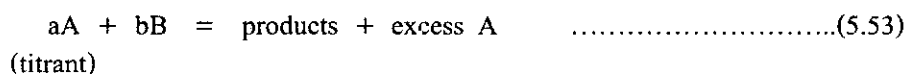
$$V_{\text{KMnO}_4} \times N_{\text{KMnO}_4} = V_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} \times N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$$

$$1.048 \times 0.0985 = 1.00 \times N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$$

$$\therefore N_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = 0.1032$$

### 3.6.2 การคำนวณโดยใช้หน่วยความเข้มข้นเป็นโมลาร์

ในการวิเคราะห์หาปริมาณ โดยวิธีการไทเทรตย้อนกลับ สามารถคำนวณโดยใช้ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ได้เช่นกัน โดยต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของปฏิกิริยาด้วย

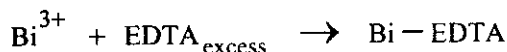
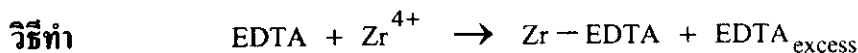




$$R_1 = \frac{b}{a} \quad R_2 = \frac{d}{c}$$

$$[(V_A M_A) - (V_C M_C R_2)] (R_1) (MW_B) = \text{mg}_B \quad \dots\dots\dots(5.55)$$

**ตัวอย่างที่ 5.59** 0.0502 M EDTA จำนวน 10.00 ลบ.ซม. ถูกเติมลงในสารละลายของ Zr (IV) เมื่อทำการไทเทรตย้อนกลับ ปรากฏว่า EDTA ที่มากเกินไปจะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 2.08 ลบ.ซม. ของ 0.0540 M บิสมัทไนเตรด จงคำนวณหาน้ำหนักของเซอร์โคเนียมในสารละลาย



$$R_1 = 1, R_2 = 1$$

น้ำหนักอะตอม  $\text{Zr} = 91.22$

$$[(V_A M_A) - (V_C M_C R_2)] (R_1) (MW_{\text{Zr}}) = \text{mg}_{\text{Zr}}$$

$$[(10 \times 0.0502) - (2.08 \times 0.0540)] (91.22) = 35.55$$

น้ำหนักของ Zr ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง = 35.55 มิลลิกรัม

**กิจกรรมที่ 5.14**

สารตัวอย่างแร่โครเมียมหนัก 800.0 มิลลิกรัม ถูกนำมาละลายแล้วออกซิไดส์ให้เป็นโครเมตไอออน จากนั้นเติม 10.00 ลบ.ซม. ของ 0.2000 M  $\text{AgNO}_3$  เพื่อตกตะกอน  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  เมื่อนำตะกอนนี้ออก แล้วไทเทรต  $\text{AgNO}_3$  ส่วนที่เกินพอ พบว่าใช้ 14.50 ลบ.ซม. ของ 0.1200 M  $\text{KSCN}$  จึงถึงจุดยุติพอดี จงคำนวณหา %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ในแร่ตัวอย่าง

#### 4. การใช้ลอการิทึมแสดงความเข้มข้น (Logarithm express of concentration)

ในการคำนวณจะพบอยู่บ่อย ๆ ครั้งที่ใช้ความเข้มข้นและค่าคงที่ต่าง ๆ แสดงในเทอมของลอการิทึม เพราะให้ความสะดวกมากกว่าและบางครั้งทำให้การคำนวณง่ายขึ้น ในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำมาก ๆ การรายงานค่าความเข้มข้นโดยใส่เป็นตัวเลขทศนิยม จะทำให้ยุ่งยากในการเขียน เช่น ความเข้มข้นที่มีค่าเป็น 0.0000000000380 M การเขียนรายงานในลักษณะนี้ทำให้อ่านได้ยาก เพื่อให้การอ่านง่ายขึ้นและคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย ต้องเขียนรายงานเป็น  $3.80 \times 10^{-11}$  M เพื่อสะดวกในการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ควรใช้เทอมของลอการิทึมในการรายงาน โดยให้สัญลักษณ์ในการเขียนเป็น p function ซึ่งมีความหมายถึง  $-\log [\text{concentration}]$

$$\text{pM} = -\log [\text{M}] \quad \dots\dots\dots(5.56)$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \quad \dots\dots\dots(5.57)$$

ดังนั้น การรายงานความเข้มข้น  $[\text{M}] = 3.80 \times 10^{-11}$  สามารถเขียนในเทอม pM ได้

$$\text{pM} = -\log [3.80 \times 10^{-11}] = 10.42$$

การใช้เทอมลอการิทึมของความเข้มข้นไฮโดรเจนไอออน หรือ pH มีความสำคัญมากในการรายงานความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย ซึ่งทำให้สามารถอธิบายความเป็นกรด - เบส ของสารละลายได้อย่างดีและทำให้เข้าใจง่ายขึ้นด้วย การรายงานความเข้มข้นในเทอมของลอการิทึม หรือ pM ให้รายงานตัวเลขหลังจุดทศนิยมเพียง 2 ตัวก็เพียงพอแล้ว สำหรับความถูกต้องของการวัดค่าที่ได้จากการทดลอง เช่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าเท่ากับ  $2.30 \times 10^{-3}$  M แสดงว่ามี  $\text{pH} = 2.64$

ในการหาค่าลอการิทึมทั่วไป สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 และต้องเสียเวลาในการหาค่าจากตารางลอการิทึม เพื่อความสะดวกและรวดเร็วเมื่อเราต้องการค่าล็อกเพียงค่าหลังจุดทศนิยม 2 ตำแหน่งเท่านั้น ควรใช้วิธีคิดคำนวณโดยไม่ต้องเสียเวลาเปิดตาราง มีวิธีคิดคำนวณโดยจำค่าล็อกไว้เพียง 3 ค่า คือค่าล็อก 2, 3 และ 7

$$\log 2.0 = 0.301$$

$$\log 3.0 = 0.477$$

$$\log 7.0 = 0.845$$

วิธีการหาค่าล็อกอื่น ๆ จากค่าล็อกทั้งสามทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\log 4 &= \log 2 \times 2 = \log 2 + \log 2 \\ &= 0.301 + 0.301 \\ &= 0.602 \qquad \text{ตอบ } 0.60\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log 5.0 &= \log \frac{10}{2} = \log 10 - \log 2 \\ &= 1 - 0.301 \\ &= 0.699 \qquad \text{ตอบ } 0.70\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log 6.0 &= \log 2 \times 3 = \log 2 + \log 3 \\ &= 0.301 + 0.477 \\ &= 0.778 \qquad \text{ตอบ } 0.78\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log 8.0 &= \log 2^3 = 3 \log 2 \\ &= 3 \times 0.301 \\ &= 0.903 \qquad \text{ตอบ } 0.90\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log 9.0 &= \log 3^2 = 2 \times \log 3 \\ &= 2 \times 0.477 \\ &= 0.954 \qquad \text{ตอบ } 0.95\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\log 11 &= \log 1.1 \times 10 = 1 + \log 1.1 \\ &= 1 + \log \frac{9}{8} \\ &= 1 + 2 \log 3 - 3 \log 2 \\ &= 1 + 2 \times 0.477 - 3 \times 0.301 \\ &= 1 + 0.954 - 0.903 \\ &= 1.051 \qquad \text{ตอบ } 1.05\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \log 12 &= \log 4 \times 3 = 2 \log 2 + \log 3 \\
 &= 2 + 0.301 + 0.477 \\
 &= 1.079 \qquad \text{ตอบ 1.08}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \log 13 &= \log 1.3 \times 10 = 1 + \log \frac{9}{7} \\
 &= 1 + 2 \log 3 - \log 7 \\
 &= 1 + 0.975 - 0.845 \\
 &= 1.109 \qquad \text{ตอบ 1.11}
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าเพียงแค่จำค่าล็อกการิทึมไว้ 3 ค่า คือ  $\log 2$ ,  $\log 3$  และ  $\log 7$  ก็ทำให้สามารถหาค่าล็อกการิทึมอื่น ๆ ได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามค่าที่คำนวณได้ก็ยังมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง เพราะเป็นการคำนวณโดยประมาณ แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 5%

#### กิจกรรมที่ 5.15

- 1) [A] เข้มข้น 0.0054 M มีค่า pA เท่ากับเท่าไร
- 2)  $\log 23$ ,  $\log 47$  และ  $\log 198$  มีค่าเท่ากับเท่าไร



## แบบทดสอบหลังเรียน บทที่ 5

ให้นักศึกษาตอบคำถามต่อไปนี้โดยละเอียด

1. โมล (mole) คืออะไร
2.  $\text{cm}^3$  คือหน่วยอะไร แตกต่างจาก milliliter อย่างไร
3. Molarity มีความหมายอย่างไร เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไรกับ Formality
4. น้ำหนักสมมูล (equivalence weight) คืออะไร
5. จำนวนกรัมสมมูล (no.gmE) หาได้อย่างไร
6. สารสองตัวที่ทำปฏิกิริยากันพอดีจะมีจำนวนกรัมสมมูล หรือจำนวนโมลเท่ากัน
7. สารละลาย NaCl เข้มข้น 5% (w/v) หมายความว่าอย่างไร
8. ppm และ ppb คืออะไร
9.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  หนัก 0.1597 กรัม จะมี Fe อยู่กี่กรัม
10. สารละลายตัวอย่างกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จำนวน 25.0 ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐาน 0.1050 F NaOH จำนวน 31.20 ลบ.ซม. จงคำนวณหาฟอร์แมลิตีของสารละลายตัวอย่าง  $\text{H}_2\text{SO}_4$
11. เกลือแกงหนัก 2.1500 กรัม ถูกเตรียมเป็นสารละลาย 250 ลบ.ซม. นำ 25.0 ลบ.ซม. ของสารละลายที่เตรียมได้ไปไทเทรตกับ 0.100 N  $\text{AgNO}_3$  พบว่าต้องใช้  $\text{AgNO}_3$  เท่ากับ 18.40 ลบ.ซม. จงคำนวณหา %Cl ในสารตัวอย่างเกลือแกง
12. สารละลายไอโอดีน จำนวน 25.0 ลบ.ซม. ถูกไทเทรตพอดีด้วย 0.050 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จำนวน 22.20 ลบ.ซม. โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ จงคำนวณหาฟอร์แมลิตีของสารละลายไอโอดีน
13. สารละลายที่มีความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+ = 0.001 \text{ M}$  จะมีค่า pH เท่ากับเท่าไร
14.  $\text{pM} = 2.5$  จะมีค่า [M] เท่ากับเท่าไร

## เฉลยแบบทดสอบ

1. โมล (mole) คือ หน่วยน้ำหนักทางเคมีของสารประกอบ ที่หมายถึงน้ำหนักเป็นกรัมต่อน้ำหนักโมเลกุล เช่น  $O_2$  น้ำหนัก 64 กรัม จะมีค่าเท่ากับ 2 โมล  $\left(\frac{64}{32}\right)$

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{น.น.สาร (g)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}$$

2.  $cm^3$  คือหน่วยวัดปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ปริมาตรที่วัดได้จะมีขนาดคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ มีค่าใกล้เคียงกับมิลลิลิตร ( $1 \text{ ml} = 1.00028 \text{ cm}^3$ )
3. Molarity คือหน่วยความเข้มข้นของสารละลาย ที่หมายถึงจำนวนโมลของสารในสารละลาย 1 ลบ.คม.

$$M = \frac{\text{no. moles}}{\text{dm}^3} \quad \text{ดูความหมายที่แตกต่างจาก Formality ในหน้า 321}$$

4. คำตอบอยู่ในหน้า 327 และ 358
5. จำนวนกรัมสมมูล หาได้จากน้ำหนักสารเป็นกรัมหารด้วยน้ำหนักสมมูล

$$\text{no. gmE} = \frac{\text{น.น.สาร (g)}}{\text{น้ำหนักสมมูล}}$$

6. จำนวนกรัมสมมูล
7. หมายความว่าในสารละลายปริมาตร 100 ลบ.ซม. จะมีเนื้อสาร NaCl เท่ากับ 5 กรัม
8. ppm คือหน่วยความเข้มข้น ที่หมายถึงจำนวนส่วนในล้านส่วน

$$\begin{aligned} \text{ppm} &= \frac{\text{wt of solute}}{\text{wt of solution}} \times 10^6 \\ &= \text{mg/dm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{ppb} = \mu\text{g/dm}^3$$

$$\begin{aligned} 9. \quad \text{Fe} &= 0.1597 \times \frac{55.85}{159.7} \\ &= 0.0559 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$10. \quad \text{F}_{H_2SO_4} = \frac{0.1050 \times 31.20}{2 \times 25}$$

$$= 0.0655$$

$$11. \quad \% \text{ Cl} = \frac{0.100 \times 18.40}{1000} \times \frac{250}{25} \times 35.5 \times \frac{100}{2.1500}$$
$$= 30.38$$

$$12. \quad N_{\text{I}_2} = \frac{22.20 \times 0.050}{25.0}$$
$$= 0.0444$$

$$13. \quad \text{pH} = 3$$

$$14. \quad [\text{M}] = -\log 2.5 = 3.16 \times 10^{-3}$$



## แบบฝึกหัด

1. จงคำนวณหาจำนวนกรัมน้ำหนักสูตร (no. gfw) และจำนวนมิลลิกรัมน้ำหนักสูตร (mgfw) ของสารต่อไปนี้
 

a) 27.3 กรัม ของ $\text{Mn}_3\text{O}_4$	<u>ตอบ</u> 0.119 gfw
b) 163 $\mu\text{g}$ ของ $\text{BF}_3$	<u>ตอบ</u> $2.40 \times 10^{-6}$ gfw
c) 6.92 ลบ.คม. ของ 0.0400 F $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	<u>ตอบ</u> 0.277 gfw
d) 10.0 ลบ.ซม. ของ $2.00 \times 10^{-3}$ F $\text{HgCl}_2$	<u>ตอบ</u> $2.00 \times 10^{-5}$ gfw
e) 10.0 ลบ.ซม. ของสารละลาย $\text{SO}_2$ เข้มข้น 143 ppm	<u>ตอบ</u> $2.23 \times 10^{-5}$ gfw
f) 23.4 มก. ของ $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$	
g) 100 กรัมของน้ำแข็งแห้ง ( $\text{CO}_2$ )	
h) 1.00 ปอนด์ของ $\text{NaCl}$	
i) 7.50 ลบ.คม. ของ 0.0525 F กรดคาร์บอนิก	
j) 0.500 ลบ.ซม. ของ 0.0300 F ของกรดแอสคอบิก (gfw = 176)	
  
2. จงคำนวณหาจำนวนกรัมของสารต่อไปนี้
 

a) 2.00 โมลของ $\text{CO}_2$	<u>ตอบ</u> 88.0 กรัม
b) 1.84 mgfw ของเบนซีน (gfw = 78.1)	<u>ตอบ</u> 0.144 กรัม
c) 40.0 gfw ของ $\text{NaOH}$	<u>ตอบ</u> 1600 กรัม
d) 6.24 ลบ.ซม. ของ 0.121 F ซูโครส (gfw = 342.3)	<u>ตอบ</u> 0.258 กรัม
e) 33.3 ลบ.คม. ของ 12.2 F $\text{HCl}$	<u>ตอบ</u> 1480 กรัม
f) 0.842 โมลของ $\text{Br}^-$	
g) 7.35 mgfw ของ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	
h) 135 ลบ.ซม. ของ 0.200 F $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	
i) 2.50 ลบ.คม. ของ 0.600 F อะซิโตน (gfw = 58.1)	

3. สารละลายที่เตรียมจากการละลาย 2.42 กรัม  $MgCl_2$  ในน้ำแล้วเจือจางเป็น 2.00 ลบ.คม. จงคำนวณ
- ความเข้มข้นของ  $MgCl_2$  เป็นฟอร์แมล ตอบ 0.0127
  - ความเข้มข้นของ  $MgCl_2$  เป็นนอร์แมล ตอบ 0.0254
  - ความเข้มข้นของ  $MgCl_2$  เป็น weight – volume percent ตอบ 0.0121
  - ความเข้มข้นของ  $MgCl_2$  เป็น weight – weight percent ถ้าความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.01 กรัมต่อ ลบ.ซม. ตอบ 0.120
4. ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ในน้ำทะเลเป็นดังนี้

ธาตุ	ppm	ธาตุ	ppm
Cl	$1.90 \times 10^4$	Ca	$4.00 \times 10^2$
Na	$1.06 \times 10^4$	K	$3.80 \times 10^2$
Mg	$1.27 \times 10^3$	Br	$6.51 \times 10^1$
S	$8.84 \times 10^2$	C (inorganic)	$2.80 \times 10^1$
		Sr	$1.30 \times 10^1$

ให้คำนวณหาความเข้มข้นของธาตุแต่ละตัวเป็นฟอร์แมล ถ้าค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 1.024 กรัมต่อ ลบ. ซม.

ตอบ

ธาตุ	F	ธาตุ	F
Cl	$5.49 \times 10^{-1}$	Ca	$1.02 \times 10^{-2}$
Na	$4.72 \times 10^{-1}$	K	$9.95 \times 10^{-3}$
Mg	$5.35 \times 10^{-2}$	Br	$8.34 \times 10^{-4}$
S	$2.82 \times 10^{-2}$	C	$2.39 \times 10^{-3}$
		Sr	$1.52 \times 10^{-4}$

5. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นฟอร์แมลของสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25% (w/w)  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.84 กรัมต่อ ลบ.ซม. ตอบ 4.69 F
6. ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของ  $\text{SiO}_2$  เท่ากับ 15 ppm จงหาความเข้มข้นเป็นฟอร์แมล ถ้าความ  
 หนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.00 กรัมต่อ ลบ.ซม. ตอบ  $2.50 \times 10^{-4}$  F
7. จงอธิบายการเตรียม
- 200 ลบ.ซม. ของ 10% (w/v) ของสารละลายกลูโคส
  - 200 กรัมของ 10% (w/w) ของสารละลายกลูโคส
  - 200 ลบ.ซม. ของ 10% (v/v) ของสารละลายเอทานอล
8. จงอธิบายการเตรียม
- 750 ลบ.ซม. ของ 0.172 F  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  จากของแข็ง  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
  - 50.0 ลบ.ซม. ของสารละลาย 0.100 F  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  จากของแข็ง  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
  - 2.00 ลบ.ซม. ของสารละลาย 0.0150 M  $\text{Na}^+$  จากของแข็ง NaCl
  - 20.0 ลบ.ซม. ของสารละลาย 0.202 M  $\text{Na}^+$  จาก 2.42 F  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
  - 2.00 ลบ.ซม. ของสารละลาย 0.150 M  $\text{Na}^+$  จากของแข็ง  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
9. กรด  $\text{HNO}_3$  ชนิดเข้มข้นมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.42 และมีเนื้อสาร  $\text{HNO}_3$  69% (w/w)
- จะมี  $\text{HNO}_3$  กี่กรัมในสารละลายกรดเข้มข้น 500 ลบ.ซม. ตอบ 490 กรัม
  - อธิบายการเตรียมสารละลาย  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น 0.20 F จำนวน 800 ลบ.ซม. จากกรด  
 เข้มข้นนี้ ตอบ ใช้  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น 10.3 ลบ.ซม.
10. จงอธิบายการเตรียม  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น 6.0 F จำนวน 400 ลบ.ซม. จากกรดเข้มข้นที่มี  
 ความถ่วงจำเพาะ 1.69 และเนื้อสาร 85% (w/w) ตอบ 164 ลบ.ซม.
11. สารละลาย KCN ประกอบด้วย 2.60 กรัมของ KCN ในสารละลาย 1 ลบ.ซม. ให้หาความ  
 เข้มข้นของสารละลายเป็นไคเตอร์ในเทอมของ mg.  $\text{NiO}/\text{cm}^3$  ของปฏิกิริยา
- $$\text{Ni}^{2+} + 4\text{CN}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{CN})_4^{2-} \quad \text{ตอบ } 0.747$$
12. จงคำนวณหา NaBr ไคเตอร์ของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ที่เข้มข้น 0.0856 N  
ตอบ 8.81
13. จงหาไคเตอร์ของสารละลาย EDTA เข้มข้น 0.100 M ในเทอม mg.  $\text{BaO}/\text{cm}^3$   
ตอบ 15.3

14. สารละลายของ  $\text{NaHCO}_3$  5.00 % (w/w) มีความหนาแน่น 1.04 กรัมต่อ ลบ.ซม.  
จงคำนวณหา
- ความเข้มข้นเป็นโมลาร์
  - ความเข้มข้นเป็นนอร์แมล
  - ไตเตอร์ในเทอมของ 1)  $\text{HCl}$ , 2)  $\text{NaOH}$ , 3)  $\text{CO}_2$
15. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์และนอร์แมลของสารละลายต่อไปนี้
- 3.16 % (w/v)  $\text{NaCl}$  ตอบ 0.5419 M. 05419 N
  - 5.326 % (w/v)  $\text{BaCl}_2$
  - 10.0 % (v/v)  $\text{HCl}$
  - 25.0 % (v/v)  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - 25.0 % (w/v)  $\text{H}_2\text{SO}_4$
  - 5.0 % (w/v)  $\text{AgNO}_3$
16. สารละลายประกอบด้วยเมธิลแอลกอฮอล์ 12.50 กรัม เอธิลแอลกอฮอล์ 15.61 กรัม อะซิโตน 15.00 กรัม และน้ำ 125 กรัม จงคำนวณหาเศษส่วนโมล (mole fraction) ของสารแต่ละตัว
17. ในสารละลายของน้ำที่มีตัวถูกละลายเข้มข้น 1.50 โมแลล จงคำนวณหาเศษส่วนโมลของตัวถูกละลายน้ำ
18. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 70.4 % มีความหนาแน่น  $1.42 \text{ g/cm}^3$  จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์และโมแลล
19. จงคำนวณหาโมแลลิตีของสารละลายที่ได้จากการผสมกันระหว่าง 100 กรัมของ 76.5 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  กับ 100 กรัมของ 83.3 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$
20. จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายต่อไปนี้เป็น ppm
- 0.0010 M  $\text{ZnSO}_4$
  - $1.2 \times 10^{-4}$  M  $\text{CaCl}_2$
  - $1.8 \times 10^{-5}$  M  $\text{BaCl}_2$
  - 0.0025 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$



21. จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลายต่อไปนี้ให้มีความเข้มข้น 100 ppm จำนวน 1 ลบ.คม.
- NaCl
  - AgNO<sub>3</sub>
  - FeCl<sub>3</sub>
  - Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
  - KNO<sub>3</sub>
  - CdCl<sub>2</sub>
22. สารละลายกรดแอสติกเข้มข้น 99.5 % มีความหนาแน่น 1.057 g/cm<sup>2</sup> จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์
23. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50.5 % มีความหนาแน่น 1.54 g/cm<sup>2</sup> จงคำนวณหาโมลาริตีและโมแลลิตีของสารละลายนี้
24. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารละลายเมื่อทำการผสมดังต่อไปนี้
- 5.0 กรัม Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O เจือจางให้เป็น 100 ลบ.ซม.
  - 25 ลบ.ซม. ของกรด H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> เข้มข้น เจือจางให้เป็น 1 ลบ.คม.
  - 0.10 โมลของแก๊สแอมโมเนียละลายในน้ำ 350 ลบ.ซม.
25. จะต้องใช้ HCl จำนวนกี่ ลบ.ซม. ในการเตรียมให้มีความเข้มข้น 0.160 M จำนวน 2.0 ลบ.คม. (ความหนาแน่นของสารละลาย HCl = 1.19 g/cm<sup>3</sup> และประกอบด้วย HCl 38.0 %
26. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นของ Na<sup>+</sup> = 1000 ppm จำนวน 1 ลบ.คม. จะต้องใช้สารต่อไปนี้กี่กรัม
- NaCl
  - Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
  - NaNO<sub>3</sub>
  - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
  - NaOH

27. สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.50 โมลต่อ ลบ.คม. จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เป็นไต่เตอร์ของสารต่อไปนี้

- a) HCl
- b) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- c) HNO<sub>3</sub>
- d) HClO<sub>4</sub>
- e) NH<sub>4</sub>Cl

28. CaCO<sub>3</sub> ไต่เตอร์ของสารละลาย EDTA มีค่าเท่ากับ 8 มิลลิกรัมต่อ ลบ.ชม. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นโมลาร์

29. จงคำนวณหา กราวิเมตริกแฟกเตอร์ ของสารต่อไปนี้

sought	weighed	sought	weighed
a) MgO	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	e) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
b) FeS <sub>2</sub>	BaSO <sub>4</sub>	f) KCl	K <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub>
c) K <sub>2</sub> O	KClO <sub>4</sub>	g) Fe (CrO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
d) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	h) Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	BaSO <sub>4</sub>

ตอบ a) 0.3622

b) 0.2570

30. จงคำนวณหากราฟิเมตริกแฟกเตอร์ ของสารต่อไปนี้

Sought	Transformation	weighted
a) SbS <sub>3</sub>	→ H <sub>2</sub> S → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> →	BaSO <sub>4</sub>
b) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	→ H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> → Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> → Ag <sup>+</sup> →	AgBr
c) NaNO <sub>3</sub>	→ NH <sub>3</sub> → (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub> →	Pt
d) H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	→ CaC <sub>3</sub> O <sub>4</sub> → CaCO <sub>3</sub> →	CaF <sub>2</sub>
e) NaN <sub>3</sub>	→ NH <sub>3</sub> → (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> PdCl <sub>4</sub> →	PdO <sub>2</sub>

	Sought	transformation	weighted
f)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{BF}_3$	$\longrightarrow$	$\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$
g)	$(\text{P}_4\text{H}_2)_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4 \rightarrow \text{MoO}_4^{=}$	$\longrightarrow$	$\text{PbMoO}_4$
h)	$\text{Cr}_3\text{Si}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Ag}^+$	$\longrightarrow$	$\text{AgCl}$
i)	$\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_8 \rightarrow \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4$	$\longrightarrow$	$\text{PbF}_2$
j)	$\text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{K}^+ \rightarrow \text{K}_2\text{NaCo}(\text{NO}_2)_6$	$\longrightarrow$	$\text{Co}_3\text{O}_4$
i)	$\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_8 \rightarrow \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4$	$\longrightarrow$	$\text{PbF}_2$
j)	$\text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{K}^+ \rightarrow \text{K}_2\text{NaCo}(\text{NO}_2)_6$	$\longrightarrow$	$\text{CoO}_3$

ตอบ a) 0.4851

b) 0.1259

31. สารตัวอย่าง  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  น้หนัก 0.8046 กรัม เมื่อนำมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิ  $200^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งได้หนัก 0.7082 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำในสารตัวอย่าง

ตอบ 11.98

32. จากตัวอย่างข้างล่างนี้ จะกำหนดน้ำหนักสารตัวอย่าง, ชนิด และน้ำหนักตะกอน และธาตุที่สนใจหาปริมาณไว้ให้ในแต่ละข้อ จงคำนวณหา

- กราวิเมตริกแฟกเตอร์
- เปอร์เซ็นต์ของธาตุที่สนใจ

ข้อ	น้ำหนักสารตัวอย่าง	ธาตุที่สนใจ	ตะกอนที่ตกได้	ตะกอนที่นำไปชั่ง (กรัม)		
				สูตร	น้ำหนักสูตร	น้ำหนักที่ชั่งได้
1	3.6191	Ag	AgCl	AgCl	143.32	1.1492
2	2.1651	Al	$\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	101.96	0.7791
3	1.3214	As	$\text{As}_2\text{S}_3$	$\text{As}_2\text{S}_3$	213.97	0.5236
4	1.3214	Ba	$\text{BaSO}_4$	$\text{BaSO}_4$	233.40	0.2092
5	0.4622	Bi	$\text{Bi}_2(\text{CO}_3)_3$	$\text{Bi}_2\text{O}_3$	495.95	1.2122
6	1.7618	Br	AgBr	AgBr	187.78	0.6619
7	4.3827	Ca	$\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	CaO	56.08	1.3201

ข้อ	น้ำหนักสารตัวอย่าง	ธาตุที่สนใจ	ตะกอนที่ตกได้	ตะกอนที่นำไปชั่ง (กรัม)		
				สูตร	น้ำหนักสูตร	น้ำหนักที่ชั่งได้
8	2.9220	Cl	AgCl	AgCl	143.32	0.9804
9	3.5947	Co	nitrosonaphthol salt	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	240.80	1.1435
10	6.0317	Cr	BaCrO <sub>4</sub>	BaCrO <sub>4</sub>	253.33	1.6517
11	4.4936	F	PbClF	PbClF	261.64	1.3438
12	5.2230	Fe	Fe(OH) <sub>3</sub> · x H <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159.69	1.4946
13	5.5770	Hg	HgS	HgS	232.65	1.5646
14	2.4902	I	AgI	AgI	234.77	0.9468
15	6.7853	K	K <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub>	K <sub>2</sub> PtCl <sub>6</sub>	415.11	1.7902
16	06561	Mg	Mg NH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	222.57	0.2869
17	2.0564	Na	NaZn(UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (OAc) <sub>9</sub> · H <sub>2</sub> O	Same - 9 H <sub>2</sub> O	429.84	0.7483
18	8.5782	Ni	Ni(C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Ni(C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	288.94	2.0949
19	5.8337	P	Mg NH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	222.57	1.6141
20	5.2343	Pb	PbSO <sub>4</sub>	PbSO <sub>4</sub>	303.25	1.4968

33. จงคำนวณหาน้ำหนักของโซเดียมที่มีอยู่ใน 50.0 กรัม ของ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

34. ถ้าเกลือในข้อ 33. ถูกนำมาตกตะกอนเป็น BaSO<sub>4</sub> จงคำนวณหาว่าจะได้ตะกอน BaSO<sub>4</sub>หนักเท่าไร ตอบ 82.2 กรัม

35. จงคำนวณหาน้ำหนักของเงินเฮไลด์ที่ได้จากการตกตะกอนสารผสมหนัก 1.2500 กรัม ซึ่งสารผสมนี้มี 35.50% BaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 48.70% NaBr และ 10.80% KI สารตัวอื่นที่ผสมอยู่จะเป็นพวกเฉื่อย (คือไม่ตกตะกอนกับเงินไอออน)

ตอบ 1.823 กรัม

36. สารตัวอย่าง 0.8000 กรัม ประกอบด้วย  $\text{KClO}_3$  และ inert matter เผาให้ได้ KCl แล้วนำไปชั่งได้น้ำหนัก 0.5655 กรัม
- จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{KClO}_3$  ในสารตัวอย่าง
  - ถ้านำเอา KCl ที่ได้ไปละลายแล้วตกเป็นตะกอน AgCl จะได้ตะกอน AgCl หนักเท่าไร
- ตอบ a) 74.84%  
b) 0.7002 กรัม
37. สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ของ  $\text{KClO}_x$  หนัก 0.2800 กรัม ถูกรีดิวซ์ให้เป็น KCl แล้วนำมาตกตะกอนกับ  $\text{AgNO}_3$  ได้ตะกอน AgCl หนัก 0.2900 กรัม จงหาค่า x ของสารประกอบ  $\text{KClO}_x$
- ตอบ 4
38. สารผสมที่ประกอบด้วย AgCl และ AgBr เท่านั้นหนัก 2.00 กรัม เมื่อนำมารีดิวซ์ให้เป็นโลหะเงิน (Ag) ทั้งหมด แล้วนำไปชั่งได้ 1.500 กรัม จงคำนวณหาน้ำหนักของ AgCl และ AgBr ในสารผสม
- ตอบ 1.97 กรัม AgCl
39. สารตัวอย่างประกอบด้วย  $\text{CaBr}_2$  และ NaBr เท่านั้นหนัก 0.4050 กรัม ให้ตะกอน AgBr หนัก 0.7500 กรัม
- จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ NaBr ในสารตัวอย่าง
  - จงหาปริมาณ Ca ที่มีอยู่ในเทอมเปอร์เซ็นต์ของ CaO
- ตอบ a) 50.20  
b) 13.97
40. สารตัวอย่างดินมีความชื้น 8.80% และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13.46% ให้หาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ในสารตัวอย่างที่แห้งและในสารตัวอย่างที่มีความชื้น 2.10%
- ตอบ 14.45
41. สารตัวอย่าง  $\text{Na}_2\text{S}_x$  หนัก 0.2000 กรัม ถูกออกซิไดส์เป็นซัลเฟตแล้วนำไปตกตะกอนเป็น  $\text{BaSO}_4$  ได้ตะกอนหนัก 1.0482 กรัม จงหาค่า x ในสารประกอบ  $\text{Na}_2\text{S}_x$
- ตอบ x = 4
42. สารผสม  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  และ  $\text{BaCO}_3$  ประกอบด้วย 28.5% Ca และ 32.0%  $\text{CO}_2$  จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  และ  $\text{BaCO}_3$  ในสารผสมนี้
- ตอบ 4.97, 90.29, 4.92

43. สารตัวอย่างหนัก 0.8000 กรัม เมื่อนำไปเผาจะให้เถ้าที่เป็นสารผสมของออกไซด์  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  หนัก 0.0780 กรัม เมื่อนำสารผสมออกไซด์มาวิเคราะห์ พบว่ามี Ti 5.00% และถ้านำสารตัวอย่างเริ่มต้นมาวิเคราะห์จะมี Fe 2.50% จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Al ในสารตัวอย่าง ตอบ 2.84
44. แร่ไพไรต์ (Pyrite  $\text{FeS}_2$ ) ถูกนำมาวิเคราะห์โดยการเปลี่ยนซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟต แล้วตกตะกอนเป็น  $\text{BaSO}_4$  จะต้องนำแร่ไพไรต์มาหนักเท่าไร จึงจะได้น้ำหนักตะกอน  $\text{BaSO}_4$  หนักเป็น 0.100 เท่าของเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{FeS}_2$  ตอบ 2.571
45. สารผสมที่ประกอบด้วย  $\text{BaSO}_4$  และ  $\text{CaSO}_4$  ซึ่งผสมกันโดยมีน้ำหนักของ  $\text{Ba}^{2+}$  ร่วมกับ  $\text{Ca}^{2+}$  หนักเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนักทั้งหมด จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{BaSO}_4$  ในสารตัวอย่าง ตอบ 70.06%
46. สารตัวอย่างโลหะผสมหนัก 0.2000 กรัม ประกอบด้วยเงินและตะกั่วเท่านั้น เมื่อนำมาละลายในกรดไนตริก และเติมกรดเกลือที่เย็นเพื่อตกตะกอนเป็นเกลือคลอไรด์ ( $\text{AgCl}$  และ  $\text{PbCl}_2$ ) ปรากฏว่าได้ตะกอนหนัก 0.2446 กรัม เมื่อละลายตะกอนด้วยน้ำร้อนเพื่อละลาย  $\text{PbCl}_2$  ตะกอน  $\text{AgCl}$  ที่เหลือจะหนัก 0.2067 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Ag และ Pb ในสารตัวอย่าง และคำนวณหาน้ำหนักของ  $\text{PbCl}_2$  ที่ไม่ตกตะกอนเมื่อเติมกรดเกลือที่เย็น ตอบ Ag = 77.8% Pb = 0.197 กรัม
47. สารตัวอย่าง 1.000 กรัม ของสารผสม  $\text{K}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{KHCO}_3$  เมื่อนำไปเผาได้  $\text{CO}_2$  แล้วนำเถ้าที่เหลือมาชั่งได้หนัก 0.6000 กรัม จงคำนวณหาน้ำหนักของสารแต่ละตัวในสารผสม ตอบ  $\text{K}_2\text{CO}_3 = 0.3223$   $\text{KHCO}_3 = 0.6777$
48. สารผสม 0.5000 กรัม ประกอบด้วย LiCl และ KCl เท่านั้น เมื่อนำมาทำให้เป็น  $\text{LiSO}_4$  และ  $\text{K}_2\text{SO}_4$  จะได้หนัก 0.6227 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Cl ในสารตัวอย่างเริ่มต้น ตอบ 68.46
49. สารตัวอย่าง 9.75 กรัม หลังจากนำมาทำปฏิกิริยากับ KI ที่มากเกินไปให้  $\text{TI}_2$  หนัก 0.186 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{TI}_2\text{SO}_4$  ในสารตัวอย่าง ตอบ 1.46

50. ซัลเฟอร์ในแซคคาริน ( $C_7H_5NO_3S$ ) 3 เม็ด ซึ่งหนัก 0.118 กรัม ถูกออกซิไดส์เป็นซัลเฟต แล้วนำมาตกตะกอนเป็น  $BaSO_4$  ได้หนัก 0.150 กรัม จงคำนวณหาปริมาณของแซคคาริน ในแต่ละเม็ด

ตอบ 0.0393 กรัม

51. จงคำนวณหาปริมาตรของสารละลาย 1% (w/v) ของโคเมซิลโกออกซิม ( $C_4H_8N_2O_2$ ) ที่ต้องใช้ในการตกตะกอน  $Ni^{2+}$  ในสารละลายที่มี 100 มิลลิกรัม ของ  $NiCl_2$  โดยต้องเติมให้มากเกินไปพอ 5%

52. ในการตกตะกอนถ้าต้องการให้ตกตะกอนได้สมบูรณ์ไม่มีการสูญเสียจากการละลายของตะกอน ต้องเติมตัวตกตะกอนให้มากเกินไปพอ 10% ถ้าต้องการตกตะกอนซัลเฟตจากสารตัวอย่างหนัก 1.00 กรัม และมี  $Al_2(SO_4)_3$  อยู่ 20% ต้องใช้ปริมาตรของสารละลายต่อไปนี้เท่าไร

a) สารละลาย 0.120 F  $BaCl_2$

b) สารละลาย 3.25% (w/v) ของ  $BaCl_2 \cdot 2H_2O$

ตอบ a) 16.1 ลบ.ซม.

b) 14.5 ลบ.ซม.

53. กรดซัลฟิวริกถูกนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยการตกตะกอน  $SO_4^{2-}$  เป็น  $BaSO_4$  โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 100 ลบ.ซม. ได้ตะกอน  $BaSO_4$  หนัก 0.473 กรัม จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นฟอร์แมลของกรดซัลฟิวริก

ตอบ 0.203

54. สารตัวอย่างประกอบด้วย  $BaCl_2$  และ  $SrCl_2$  หนัก 0.3705 กรัม ถูกทำให้เป็นเกลือของคาร์บอเนตซึ่งได้น้ำหนัก 0.3485 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Ba และ Sr ในสารตัวอย่าง

ตอบ Ba = 39.84% Sr = 22.89%

55. สารผสมของ NaCl และ  $(NH_4)_2SO_4$  หนัก 0.7970 กรัม ให้ตะกอน AgCl หนัก 1.632 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $SO_3$ ,  $NH_3$  และ Na ในสารตัวอย่าง

ตอบ  $SO_3$  = 9.997%

56. ตัวอย่าง 0.7500 กรัม ประกอบด้วยอะลูมิเนียม เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนได้ ตะกอนของอะลูมิเนียม 8-ควิโนลิโนเลต (aluminium 8-quinolinolate,  $\text{Al}(\text{C}_9\text{H}_6\text{ON})_3$ ) น้หนัก 0.0304 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Al}_2\text{O}_3$

ตอบ 0.450%

57. สารผสมของ  $\text{AgCl}$  และ  $\text{AgBr}$  น้หนัก 0.8000 กรัม เมื่อนำมาเผาในบรรยากาศของคลอรีน ปรากฏว่าจะสูญเสียน้ำหนักไป 0.1066 กรัม จงคำนวณหาน้ำหนักของ  $\text{AgCl}$  และ  $\text{AgBr}$  ใน สารผสมนี้

ตอบ  $\text{AgCl} = 0.3497$  กรัม  $\text{AgBr} = 0.4503$  กรัม

58. จงคำนวณหาน้ำหนักของยูเรีย ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) ที่ต้องใช้ในการตกตะกอน 0.100 กรัม  $\text{Fe}(\text{III})$  เป็น  $\text{Fe}(\text{OH})_3$

ตอบ 0.1614

59. ไอโอไดในสารตัวอย่างที่มีคลอไรด์ปนอยู่ด้วยถูกทำให้เป็นไอโอเดต โดยการทำให้ปฏิกิริยากับ ไบรมินที่มากเกินไป



ไบรมินส่วนที่เกินพอเอาออกโดยการต้มไล่ เติม  $\text{Ba}^{2+}$  ที่มากเกินไปเพื่อตกตะกอนไอโอเดต ปรากฏว่าสารตัวอย่าง 2.72 กรัม จะให้  $\text{Ba}(\text{IO}_3)_2$  น้หนัก 0.072 กรัม จงคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ของ  $\text{KI}$  ในสารตัวอย่าง

ตอบ 1.80%

60. จงหาน้ำหนักของ  $\text{As}_2\text{O}_3$  ที่ต้องใช้ในการเตรียมสารละลาย 1 ลิ.ค.ม. เข้มข้น 0.1000 N  $\text{As}(\text{III})$  [arsenic (+3) ถูกออกซิไดส์ไปเป็น arsenic (+5)]

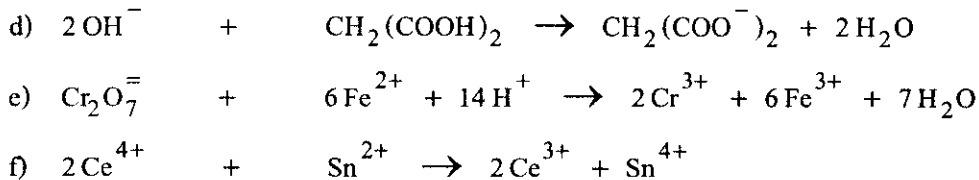
61. สาร KHP น้หนัก 0.7546 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{NaOH}$  34.79 ลิ.ช.ม. ในการหาความ เข้มข้นที่แน่นอน จงคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{NaOH}$

ตอบ 0.1062

62. สารละลายชนิดหนึ่งเมื่อนำมาเจือจางลง 12 เท่า ปรากฏว่าได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.125 M จงคำนวณหาความเข้มข้นเริ่มต้น



63. ต้องใช้สารละลายต่อไปนี้เท่าไร ในการเตรียมให้มีความเข้มข้น 0.10 M จำนวน 2 ลบ.คม.  
 a) 1.5 M HNO<sub>3</sub> ตอบ 133.3  
 b) 6.7 M NaOH  
 c) 0.25 M HF
64. จะต้องใช้กรดเกลือเข้มข้นกี่ลบ.คม. ในการเตรียมให้ได้สารละลายที่เข้มข้น 0.100 M จำนวน 1 ลบ.คม. ถ้า HCl เข้มข้นมีค่า 38% (w/w) และความถ่วงจำเพาะ 1.19  
ตอบ 81 ลบ.คม.
65. จงหาปริมาตรของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น 0.5000 N ที่ต้องใช้เติมลงไป 200 ลบ.คม. ของ 0.1500 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และเมื่อเจือจางเป็น 500 ลบ.คม. แล้วมีความเข้มข้นเป็น 0.1000 N พอดี
66. ต้องใช้รีเอเจนต์ที่เข้มข้นจากโรงงานจำนวนเท่าไร เพื่อเตรียมเป็นสารละลายต่อไปนี้ (ดูความเข้มข้นของรีเอเจนต์จากภาคผนวก 3)  
 a) 250 ลบ.คม. ของ 1.0 M HClO<sub>4</sub>  
 b) 5 ลบ.คม. ของ 2.0 mM NH<sub>3</sub>  
 c) 10 ลบ.คม. ของ 8 M HCl  
 d) 0.5 ลบ.คม. ของ 0.3 M CH<sub>3</sub>COOH
67. จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายที่เกิดจากการเตรียมของสารละลายต่อไปนี้  
 a) 25 ลบ.คม. ของ H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> เข้มข้น เจือจางให้เป็น 1 ลบ.คม.  
 b) 10 ลบ.คม. ของเอทานอล (ความหนาแน่น = 0.79 g/cm<sup>3</sup>) เจือจางให้เป็น 100 ลบ.คม.  
 c) 0.10 โมลของแก๊สแอมโมเนียละลายในน้ำ 350 ลบ.คม.
68. ต้องใช้ 0.10 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> กี่ลบ.คม. เติมลงใน 50 ลบ.คม. ของ 0.10 M NaOH แล้วทำให้สารละลายมีความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0.050 M
69. จงเขียนอัตราส่วนที่ทำปฏิกิริยา (reacting ratio) ของปฏิกิริยาต่อไปนี้
- | ไทแทนต์             | + | สารที่ถูกไทเทรต                                     |
|---------------------|---|---|
| a) Ba <sup>2+</sup> | + | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> → BaSO <sub>4</sub>    |
| b) Ag <sup>+</sup>  | + | 2CN <sup>-</sup> → Ag(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup> |
| c) H <sup>+</sup>   | + | NH <sub>3</sub> → NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>      |

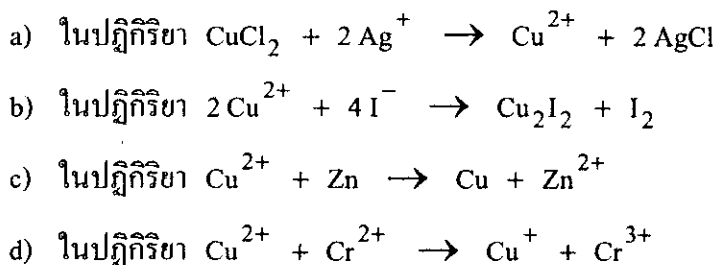


70. จากโจทย์ข้อ 69 จงเขียนน้ำหนักสมมูล (equivalent weight) ของสารที่ถูกไทเทรตในเทอมของน้ำหนักสูตร

71. ปฏิกริยาต่อไปนี้ เป็นปฏิกริยาชนิดใด และจงหาน้ำหนักสมมูลของสารประกอบที่อยู่ในคอลัมน์ขวามือในเทอมของน้ำหนักสูตร

ปฏิกริยา	สารประกอบ
a) $\text{B}_4\text{O}_7^{2-} + 2\text{H}^+ + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_3\text{BO}_3$	$\text{HClO}_4$ , B, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ $\text{NaBO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
b) $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , $\text{I}_2$ , S, $\text{SO}_3$
c) $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$	$\text{NH}_3$ , $\text{H}_2\text{NNH}_2$ , HCl, $\text{CH}_2\text{H}_4$
d) $\text{MnO}_4^- + 6\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 6\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{KMnO}_4$ , $\text{FeSO}_4$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Fe

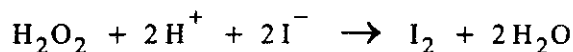
72. จงหาน้ำหนักสมมูลของทองแดง (II) คลอไรด์ ( $\text{CuCl}_2$ ) ในเทอมของน้ำหนักสูตร



73. ในสารละลายที่ประกอบด้วย KI หนัก 4.15 กรัม ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 500 ลบ.ซม. จงบอกความเข้มข้นของสารละลาย KI ในเทอมของ

- a) ฟอร์แมลิตี  
 b) นอร์แมลิตี เมื่อใช้ไทเทรนต์  $\text{Ag}^+$  ตอบ 0.0500 F  
 c) นอร์แมลิตี เมื่อเกิดปฏิกริยา  $\text{HgO} + 4\text{I}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HgI}_4^{2-} + 2\text{OH}^-$

d) นอร์เมลิติ เมื่อใช้เป็นตัวรีดิวซ์เกิดปฏิกิริยา

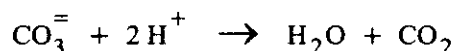


74. สารละลายประกอบด้วย 2.120 กรัม ของโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ใน 400 ลบ.ซม.

จงคำนวณหา

a) ความเข้มข้นเป็นฟอร์แมล

b) ความเข้มข้นเป็นนอร์เมลิติเมื่อเกิดปฏิกิริยา



c) ปริมาตรของ HCl เข้มข้น 0.150 N ที่ต้องใช้ในการทำให้  $\text{CO}_3^{2-}$  ของสารละลายจำนวน 25.00 ลบ.ซม. กลายเป็น  $\text{HCO}_3^-$

ตอบ 8.33 ลบ.ซม.

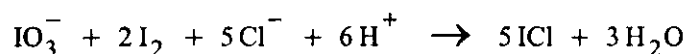
75. สารประกอบโพแทสเซียมไฮโครเจนไอโอเดต [ $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ ] ที่บริสุทธิ์ ถูกนำมาใช้เป็นสารปฐมภูมิ โดยเตรียมเป็นสารละลาย 1 ลบ.ดม. จาก  $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$  จำนวน 9.75 กรัม จงบอกความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$  ในเทอมของ

a) ฟอร์แมลิติ

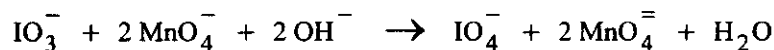
b) นอร์เมลิติ โดยใช้  $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$  เป็นกรด

ตอบ 0.0250

c) ไตเตอร์เป็น mg.  $\text{I}_2/\text{cm}^3$  โดยเกิดปฏิกิริยา



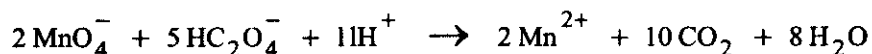
d) นอร์เมลิติ, ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ  $\text{MnO}_4^-$  ในสารละลายที่เป็นเบส



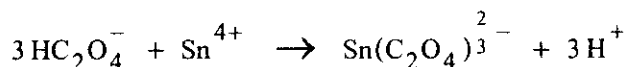
76. จงคำนวณหาน้ำหนักสมมูลของโพแทสเซียมไฮโครเจนออกซาเลต ( $\text{KHC}_2\text{O}_4$ ) ในเทอมของน้ำหนักสูตร

a) เมื่อใช้เป็นกรด (ให้  $\text{H}^+$ )

b) เมื่อเกิดปฏิกิริยากับเปอร์แมงกานेट



c) ใช้เป็นตัวทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน Sn(IV)



d) ใช้เป็นตัวตกตะกอนสำหรับ  $\text{Ca}^{2+}$

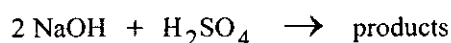
77. สารตัวอย่างเบสหนัก 5.3692 กรัม เมื่อนำมาละลายแล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 250 ลบ.ซม. นำ 50 ลบ.ซม. ของสารตัวอย่างมาไทเทรตกับ 0.2136 M HCl ปรากฏว่าใช้ HCl ไปเท่ากับ 27.66 ลบ.ซม. จึ่งถึงจุดยุติพอดีตามสมการ



จงคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของเบส

ตอบ 182

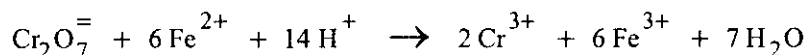
78. สารละลาย NaOH มีความเข้มข้นประมาณ 0.15 M เมื่อนำมาทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วย 0.06082 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$



จงคำนวณว่าต้องเปิดสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  มากี่ลูกบาศก์เซนติเมตร จึ่งจะทำให้การไทเทรตใช้เบส NaOH = 40 ลบ.ซม. พอดี

79. สารตัวอย่างคลอไรด์ที่ไม่บริสุทธิ์หนัก 0.3212 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.1070 N  $\text{AgNO}_3$  จำนวน 35.52 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ NaCl ในสารตัวอย่าง

80. จงคำนวณหาน้ำหนักของลวดเหล็กที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1.0 N  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  จำนวน 45.00 ลบ.ซม. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



ตอบ 2.513 กรัม

81. สารตัวอย่าง 0.500 กรัม ประกอบด้วย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  กับสารเจือย เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยการเติม 50.0 ลบ.ซม. ของ 0.100 M HCl ให้มากเกินไป หลังจากนั้นทำการไทเทรตย้อนกลับ ปรากฏว่าใช้ NaOH 0.100 M จำนวน 5.6 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ในสารตัวอย่าง

ตอบ 47.1%

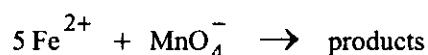
82. สารกรดอินทรีย์ที่บริสุทธิ์หนัก 0.6079 กรัม นำมาละลายใน NaOH 45.67 ลบ.ซม. แล้วไทเทรตเบสที่มากเกินไปด้วย 3.25 ลบ.ซม. ของ 0.1200 N HCl เมื่อนำเบสนี้มาไทเทรตอีกครั้งหนึ่งพบว่า 40.0 ลบ.ซม. ของ NaOH จะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรด HCl จำนวน 31.69 ลบ.ซม. จงคำนวณหาน้ำหนักสมมูลของกรดอินทรีย์

83. จงคำนวณหาปริมาตรของ 0.0450 M HCl ที่ต้องใช้ในการไทเทรตกับสารตัวอย่างโซเดียมคาร์บอเนตหนัก 0.1000 กรัม ซึ่งสารตัวอย่างนี้มี  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  อยู่เท่ากับ 90% ปฏิกิริยาของการไทเทรตคือ  $2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

84. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เตรียมจากการละลาย 4.68 กรัม  $\text{KMnO}_4$  ในน้ำแล้วเจือจางให้เป็น 500 ลบ.ซม. จงหาปริมาตรของสารละลายนี้ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารตัวอย่างแร่หนัก 0.500 กรัม ที่มี  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  อยู่ 35.6%

ตอบ 7.53 ลบ.ซม.

85. จงคำนวณหาความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (M.W. = 278.05) ถ้าสารตัวอย่างหนัก 0.3616 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.02013 M  $\text{KMnO}_4$  จำนวน 12.53 ลบ.ซม.



ตอบ 97.0%

86. สารตัวอย่างน้ำส้มสายชูจำนวน 20.0 ลบ.ซม. มีความหนาแน่น 1.055 กรัม/ลบ.ซม. ทำปฏิกิริยาพอดีกับเบส 40.34 ลบ.ซม. เข้มข้น 0.3024 N จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของกรดแอสซิดิกในน้ำส้มสายชู

87. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของคลอไรด์ในสารตัวอย่างหนัก 0.4179 กรัม ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.1012 N  $\text{AgNO}_3$  จำนวน 34.67 ลบ.ซม.

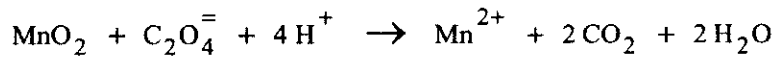
ตอบ 29.77%

88. จงคำนวณหาน้ำหนักสารตัวอย่างแร่อะทาคาไมต์ [ $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ] เพื่อทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.1250 N  $\text{AgNO}_3$  จำนวน 25.00 ลบ.ซม. ในการหาเปอร์เซ็นต์คลอไรด์

ตอบ 0.6677 กรัม

89. แร่เหล็กประกอบด้วย 25.0%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ 13.0%  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  จงหาปริมาตรของ 0.120 N ตัวออกซิไดส์ที่ต้องใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง 0.600 กรัม

90. สารตัวอย่างแร่ที่มี  $\text{MnO}_2$  นำมาวิเคราะห์โดยการเติม  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ให้มากเกินไป และทำให้สารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ

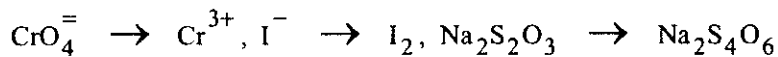


ออกซาเลตที่มากเกินไปทำการไทเทรตกับ  $\text{KMnO}_4$  ออกซาเลตจะถูกออกซิไดส์เป็น  $\text{CO}_2$  และเปอร์แมงกานัตจะถูกรีดิวซ์เป็น  $\text{Mn}^{2+}$  ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ

สารตัวอย่างหนัก 1.000 กรัม,  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  หนัก 0.4020 กรัม และปริมาตรของ 0.1000 N  $\text{KMnO}_4$  ที่ใช้ไปเท่ากับ 20.00 ลบ.ซม. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ  $\text{MnO}_2$  ในสารตัวอย่าง

ตอบ 17.39

91. จากข้อมูลเดียวกันกับข้อ 90 จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) และแมงกานีส (Mn) ในสารตัวอย่าง
92. สารตัวอย่างเงินหนัก 1.000 กรัม นำมาตกตะกอนเป็น  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  แล้วนำตะกอนมาละลายในกรด และเติม KI ให้มากเกินไป โครเมตจะออกซิไดส์ไอโอไดด์ไปเป็นไอโอดีน ปรากฏว่าไอโอดีนที่ได้ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 30.00 ลบ.ซม. ของ 0.0950 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเงินในสารตัวอย่าง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



ตอบ 20.50

93. จงหาไต่เตอร์ของสารละลาย 0.0500 M  $\text{KMnO}_4$  ในเทอมของ  $\text{mg. Fe}_2\text{O}_3 / \text{cm}^3$

94. ไต่เตอร์ของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  คือ 22.7  $\text{mg. Cl} / \text{cm}^3$

จงหาไต่เตอร์ของสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ในเทอมของ  $\text{mg. Br} / \text{cm}^3$

95. จงหาความเข้มข้นของสารละลายเป็นไต่เตอร์ในเทอมต่าง ๆ กันคือ

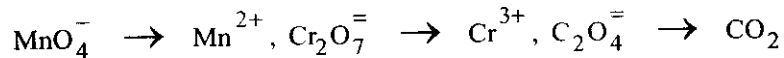
a) 0.150 N HCl ในเทอมของ CaO,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และ NaOH

b) 0.240 N NaOH ในเทอมของ HCl,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$

c) 0.0200 M  $\text{KMnO}_4$  ในเทอมของ FeO,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{As}_2\text{O}_3$  ปฏิกิริยาคือ



d) 0.120 M  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ในเทอมของ  $\text{KMnO}_4$  และ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ปฏิกริยา คือ



96. จงคำนวณหาจำนวนส่วนในล้าน (ppm) ของคลอไรด์และโซเดียมคลอไรด์ ถ้า 50.00  
 ลบ.ซม. ของสารตัวอย่างทำปฏิกิริยาพอดีกับ 27.38 ลบ.ซม. ของ 0.0785 N  $\text{AgNO}_3$  โดยวิธี  
 ของมอห์ร และมีการไทเทรตแบลนค์ = 0.15 ลบ.ซม.

ตอบ 1.516 ppm Cl

97. จงทำตารางข้างล่างให้สมบูรณ์

จำนวน	ค่าลือก	จำนวน	ค่าลือก
1.2	.....	4.0	.....
1.4	.....	5.0	.....
1.6	.....	6.0	.....
2.0	0.301	7.0	0.845
2.5	.....	8.0	.....
3.0	0.477	9.0	.....

ค่าลือกที่คำนวณได้ตามตารางนี้ควรมีค่าผิดพลาดประมาณ  $\pm 0.02$

