

## การทดลองที่ 12

### เรื่อง สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ

1. ความหมายของสมดุลเคมี และหลักของ เลอ ชาตเตอริเยร์
2. หาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
3. หาปริมาณสารต่าง ๆ ที่สภาวะสมดุล
4. ทำนายทิศทางการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาได้
5. ศึกษาผลทาง common ion ที่มีต่อสมดุลของปฏิกิริยา

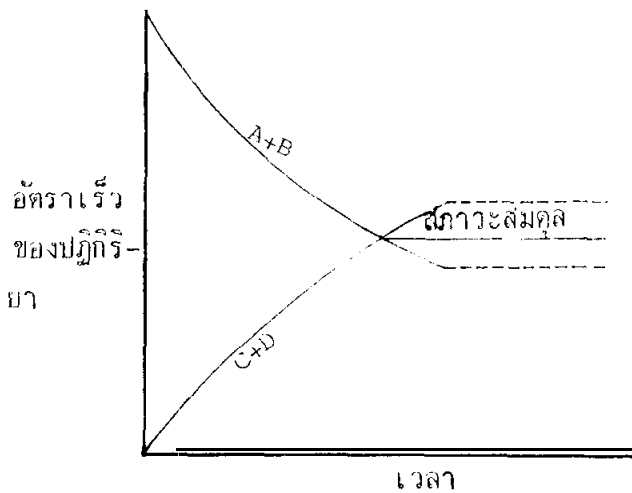
## สารเคมี

1. สารละลายโพตัสเซียมโครเมตเข้มข้น 1.0M ( $1.0M K_2CrO_4$ )
2. สารละลายโพตัสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 1.0M ( $1.0M K_2Cr_2O_7$ )
3. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 6M ( $6M H_2SO_4$ )
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6M ( $6M NaOH$ )
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0M ( $1.0M NH_4OH$ )
6. สารละลายคอปเปอร์ (II) ไนเตรตเข้มข้น 0.1M ( $0.1M Cu(NO_3)_2$ )
7. สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0M ( $1.0M MgCl_2$ )
8. แอมโมเนียมคลอไรด์ ( $NH_4Cl$ )
9. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0M ( $1.0M CaCl_2$ )
10. สารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้น 1.0M ( $1.0M Na_2SO_4$ )

## อุปกรณ์

1. หลอดทดสอบ
2. ที่วางหลอดทดสอบ
3. ขอนตักสาร
4. แท่งแก้วสำหรับคน
5. ขวดน้ำกลั่น

เมื่อสารเคมีต่าง ๆ เข้าทำปฏิกิริยากันจนเกิดสารใหม่ขึ้น ปฏิกิริยามักจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ไม่ว่าจะปล่อยให้ปฏิกิริยา ดำเนินไปนานเท่าใดก็ตาม เมื่อเริ่มต้นของปฏิกิริยา ปริมาณสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (Reactants) จะมีค่าหนึ่ง เมื่อเกิดปฏิกิริยา และปฏิกิริยาดำเนินไปเรื่อย ๆ ปริมาณของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาก็จะลดลงไปเรื่อย ๆ ในขณะที่เดียวกันก็จะมีสารใหม่ที่เป็นผลจากปฏิกิริยา (products) เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระยะเวลาหนึ่ง ปริมาณสารทั้งหมดจะคงที่ และจะคงอยู่ในสภาพนี้ตลอดไป ถ้าไม่มีสิ่งใดมารบกวน เรียกว่า ระบบนี้อยู่ในสภาวะสมดุล (equilibrium state)



ที่สภาวะสมดุล อัตราเร็วของปฏิกิริยาไปข้างหน้า และปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากัน

ในสภาวะนี้ไม่ใช่สภาวะหยุดนิ่ง ปฏิกิริยาก็ยังคงมีเกิดขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จะสลายตัวกลับคืนมาเป็นสารตั้งต้น แต่อัตราการเกิดเท่ากับอัตราการสลายตัว ปริมาณของสารทุกชนิดในปฏิกิริยาจะคงที่ คือ ภาวะที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาไปข้างหน้า (Forward reaction) เท่ากับอัตราเร็วของปฏิกิริยาย้อนกลับ (Reverse reaction) เรียกว่า สมดุลไดนามิก (dynamic equilibrium) การเข้าสู่สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาต่าง ๆ อาจใช้เวลาไม่เท่ากัน เพราะอัตราใน

การเกิดปฏิกิริยาเร็วและช้าต่างกัน การเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลนี้สามารถทำได้โดย

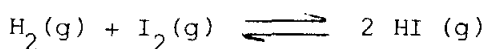
1. เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์
2. เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ
3. เปลี่ยนแปลงความดัน กรณีเป็นปฏิกิริยาของแก๊ส

### หลักของเลอชาเตอลิเยร์กับการเปลี่ยนสภาวะสมดุล

ในขณะที่ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล สมบัติต่าง ๆ ของระบบจะคงที่ ถ้าสมดุลถูกรบกวนด้วยปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับให้เข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง ในการเปลี่ยนแปลงเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งหนึ่ง เลอ ชาเตอลิเยร์ ได้ทำการทดลอง และสรุปเป็นหลักเพื่อใช้ทำนายทิศทางของการเปลี่ยนแปลง ไว้ว่า ระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลนั้น ถ้ามีปัจจัยใด ๆ ที่สามารถเปลี่ยนสมดุลได้มารบกวน จะทำให้ระบบเสียสมดุลไป ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่จะลดปัจจัยนั้น แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่

#### 1. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับสภาวะสมดุล

ถ้ามีการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา จะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นลง เช่น



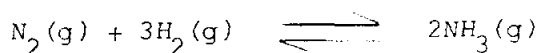
- ถ้าเพิ่มจำนวน  $\text{H}_2$  จะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น เพื่อลดจำนวน  $\text{H}_2$  โดยจะรวมตัวกับ  $\text{I}_2$  กลายเป็น  $\text{HI}$

- ถาลดจำนวน  $I_2$  จะทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดมากขึ้น คือ HI สลายตัวให้  $H_2$ ,  $I_2$  มากขึ้น

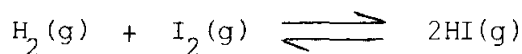
## 2. การเปลี่ยนแปลงความดันกับสภาวะสมดุล

ในระบบของแก๊ส ความดันจะมีผลกระทบต่อระบบสมดุล ดังนี้

ในปฏิกิริยาของ



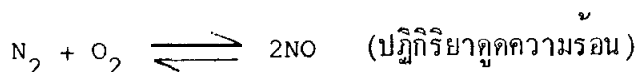
เพื่อเพิ่มความดัน ปฏิกิริยาจะเกิดมากในทิศทางไปข้างหน้า เนื่องจากจำนวนโมลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ต่างกัน



จำนวนโมลของทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เท่ากัน การเพิ่มหรือลดความดันไม่มีผลต่อสมดุล

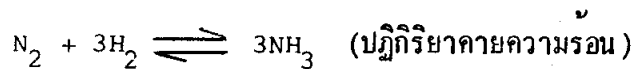
## 3. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับสภาวะสมดุล

ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ เพื่อรบกวนสภาวะสมดุลจะขึ้นกับชนิดของปฏิกิริยา ถ้าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้ามากขึ้น



ถ้าเพิ่มอุณหภูมิแก่ปฏิกิริยานี้ จะได้ NO มากขึ้น

ในกรณีที่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ถ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับมากขึ้น เช่น



เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ปฏิกิริยา จะเกิดในทิศทางย้อนกลับมากขึ้น นั่นคือ  $\text{NH}_3$  จะสลายตัวให้  $\text{N}_2$  และ  $\text{H}_2$  มากขึ้น

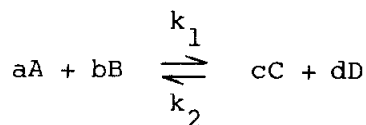
#### 4. คะตะลิสต์กับสภาวะสมดุล

คะตะลิสต์จะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น เพราะจะไปลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาให้ต่ำลง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายและเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลต่อสภาวะสมดุล คือ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุล

#### ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่สภาวะสมดุล

สมดุลของปฏิกิริยาเคมี เป็นภาวะที่เหมาะสม เมื่อปฏิกิริยาที่ดำเนินไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากัน

ถ้าสมการเคมีเป็น



เมื่ออยู่ในสมดุล อัตราของปฏิกิริยาที่ดำเนินไปข้างหน้า (Forward Reaction) และปฏิกิริยาย้อนกลับ (Reverse Reaction) มีค่าเท่ากัน

$$R_1 = R_2 \quad (R = \text{Rate of Reaction})$$

จาก กฎของอัตราปฏิกิริยา  $R_1 = k_1 [\text{A}]^a [\text{B}]^b$

$$R_2 = k_2 [\text{C}]^c [\text{D}]^d$$

$$k_1[A]^a [B]^b = k_2[C]^c [D]^d$$

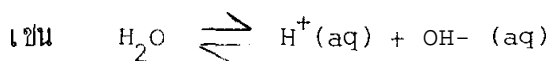
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

$\frac{k_1}{k_2}$  แทนด้วยค่าคงที่ใหม่, K เรียกว่า ค่าคงที่สมดุล

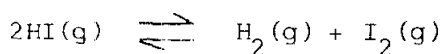
(equilibrium constant)

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant) คืออัตราส่วนระหว่างผลคูณระหว่างความเข้มข้นของสารที่เป็นผลิตภัณฑ์ (products) ต่อผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Reactants) ที่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารแต่ละตัวยกกำลังเท่ากับสัมประสิทธิ์ของสารนั้นในปฏิกิริยาเคมี ค่านี้จะคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง และอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง



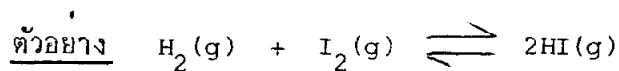
$$K = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ ที่อุณหภูมิ } 25^\circ C$$



$$K = \frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} = 0.018 \text{ ที่ } 423^\circ C$$

## การคำนวณที่เกี่ยวข้องของกับสภาวะสมดุล

### 1. การคำนวณหาค่า K

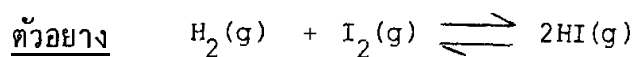


ที่สภาวะสมดุล                      0.0862                      0.263                      1.02 โมล/ลิตร

จงหาค่า K ของปฏิกิริยาที่อุณหภูมินี้

$$\begin{aligned} K &= \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \\ &= \frac{(1.02)^2}{(0.0862)(0.263)} \\ &= 45.9 \end{aligned}$$

### 2. คำนวณหาปริมาณสารที่สภาวะสมดุล



เมื่อเริ่มต้น                      1.00                      1.00                      0 โมล/ลิตร  
ที่สภาวะสมดุล                      (1.00-x)                      (1.00-x)                      2x โมล/ลิตร

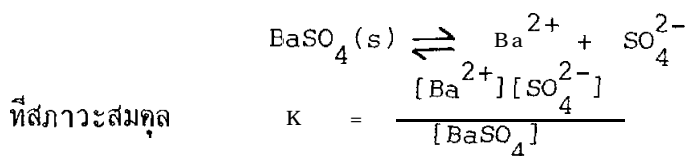
$$\begin{aligned} K &= \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \\ 45.9 &= \frac{(2x)^2}{(1.00-x)^2} \\ x &= 0.772 \text{ โมล/ลิตร} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{ที่สมดุลจะมี} \quad \text{H}_2 &= 1.00 - 0.772 = 0.228 \text{ โมล/ลิตร} \\
 \text{I}_2 &= 1.00 - 0.772 = 0.228 \text{ โมล/ลิตร} \\
 \text{HI} &= 2 \times 0.772 = 1.544 \text{ โมล/ลิตร}
 \end{aligned}$$

### สมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย

เมื่อนำเกลือบางชนิดมาละลายในน้ำเป็นสารละลายอิ่มตัว ส่วนที่ละลายจะแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย จะเกิดสภาวะสมดุลของเกลือที่อยู่ในสภาวะเป็นของแข็ง และไอออนต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ เช่น เมื่อนำ  $\text{BaSO}_4$  ที่เป็นของแข็งมาละลาย ปล่อยให้เกิดสารละลายจนไม่ละลายต่อไป จะได้



เนื่องจากเกลือนี้ละลายได้น้อยมาก ดังนั้นสารละลายที่ได้เป็นสารละลายเจือจางมาก ดังนั้น  $[\text{BaSO}_4] = 1$  ค่าคงที่สมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย เรียกว่า ผลคูณของสารละลาย เขียนย่อว่า  $K_{sp}$

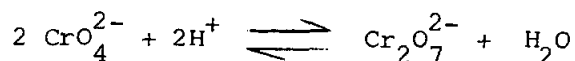
$$K_{sp} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$K_{sp}$  ก็เช่นเดียวกับค่า  $k$  อื่น ๆ ก็จะมีค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิคงที่ ในกรณีที่เกลือละลายน้ำได้ดี เช่น  $\text{NaCl}(s)$  จะไม่คิดค่า  $K_{sp}$

## การทดลอง

### 1. สมดุลของโครเมต-ไดโครเมต (Chromate-Dichromate Equilibrium)

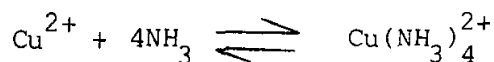
สารละลายของ  $\text{CrO}_4^{2-}$  สามารถทำปฏิกิริยากับกรด,  $\text{H}^+$  ให้ผลิตภัณฑ์เป็น  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ดังสมการ



: นำหลอดทดสอบที่สะอาด ใส่สารละลาย  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  เข้มข้น 1.0M จำนวน 3 ลบ.ซม. หยดสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 6M 2-3 หยด ให้สังเกตเห็นเปลี่ยนแปลง บันทึกผล นำหลอดทดสอบเดิม มาหยดสารละลาย  $\text{NaOH}$  เข้มข้น 6M ที่จะหยดจนสีของสารละลายเปลี่ยนแปลง บันทึกผล ทำทดลองซ้ำโดยหยดสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ลงในหลอดเดิม ที่จะหยด จนสีของสารละลายเปลี่ยนแปลง

### 2. สมดุลที่เกี่ยวข้องกับแอมโมเนียม

สารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ปกติใช้ในการทดสอบหา  $\text{Cu}^{2+}$  โดยปฏิกิริยาการรวมตัว จะได้  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  ทำให้สารละลายมีสีน้ำเงินเข้ม



ในทางตรงข้าม เราสามารถใช้  $\text{Cu}^{2+}$  ตรวจสอบหาแอมโมเนีย

- : เติมสารละลาย  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  0.1 M จำนวน 3 ลบ.ซม.  
ใส่ลงในหลอดทดสอบ คอย ำ หยดสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น  
1.0 M ลงไปที่ละหยด จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม

### 3. การตรวจสอบ $\text{NH}_4^+$ ไอออนและ $\text{OH}^-$ ไอออน

1. เติมสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  เข้มข้น 1.0 M จำนวน 3 ลบ.ซม.  
ลงในหลอดทดสอบ ทดสอบหา  $\text{OH}^-$  ในสารละลายโดยใช้  
กระดาษลิตมัส
2. เติมสารละลาย  $\text{MgCl}_2$  เข้มข้น 1.0 M จำนวน 3 ลบ.ซม.  
ลงในหลอดทดสอบจากข้อ 1 สังเกตและบันทึกผล
3. ละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  จำนวน 1 กรัม ใน  $\text{NH}_4\text{OH}$  เข้มข้น  
1.0 M จำนวน 3 ลบ.ซม.
4. เติมสารละลาย  $\text{MgCl}_2$  เข้มข้น 1.0M จำนวน 3 ลบ.ซม.  
ลงในหลอดทดสอบจากข้อ 3 สังเกตและบันทึกผล

### 4. Solubility Equilibrium

1. ผสมสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  เข้มข้น 1.0 M จำนวน 3 ลบ.ซม.  
เข้ากับสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 1.0M จำนวน 2 ลบ.ซม.  
ลงในหลอดทดสอบ คนสารละลายแล้วตั้งทิ้งไว้ สังเกตบันทึกผล

2. รินส่วนที่เป็นสารละลายใส่ไว้ในหลอดทดสอบอีกหลอดหนึ่งไว้  
เพื่อเฉพาะตะกอน
3. แบ่งส่วนที่เป็นสารละลายใสออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน  
ส่วนหนึ่ง หยดสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  ลงไป 4-5 หยด  
สังเกตและบันทึกผล อีกส่วนหนึ่งหยดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   
ลงไป 4-5 หยด สังเกตและบันทึกผล

รายงานการทดลอง

ปฏิบัติการเคมีเรื่อง.....วันที่ทำการทดลอง.....

ชื่อผู้ทำการทดลอง.....รหัส.....เลขที่.....

4. ผู้ร่วมทำการทดลอง.....รหัส.....เลขที่.....

กลุ่มปฏิบัติการ.....Section.....

อาจารย์ผู้ควบคุม 1. ....

2. ....\*

3. ....

ผลการทดลอง

1. สมดุลของโครเมต-ไดโครเมต

1. เขียนสมการเคมีเพื่อแสดงสภาวะสมดุลของ  $\text{CrO}_4^{2-}$  -  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$   
.....  
.....  
.....

2. ในการเติม  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{NaOH}$  มีผลต่อสมดุลของ  $\text{CrO}_4^{2-}$  และ  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  อย่างไร  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. ไอออนที่มีผลต่อการเปลี่ยนที่สภาวะสมดุลของ  $\text{CrO}_4^{2-}$  คือ  $\text{H}^+$  หรือ  $\text{SO}_4^{2-}$

.....  
.....

4. เมื่อเติม  $\text{NaOH}$  ลงไป ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสมดุลไปทางใด  
(แสดงควยสมการ)

.....  
.....  
.....

5.  $\text{OH}^-$  ไอออน ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนแปลงอย่างไร

.....  
.....  
.....

2. สมดุลที่เกี่ยวข้องกับแอมโมเนีย

1. เมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียลงในสารละลาย  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  การเปลี่ยนแปลง  
ที่เกิดขึ้นคือ

.....  
.....  
.....

2.  $\text{Cu}^{2+}$  ไอออนสามารถใช้ตรวจสอบแอมโมเนียในสารละลายแอมโมเนียได้หรือไม่ จงอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงเสนอวิธีการที่จะทำให้สภาวะสมดุลเปลี่ยนแปลง (ที่เกี่ยวข้องกับสารเชิงซ้อนที่เกิด)

.....

.....

.....

.....

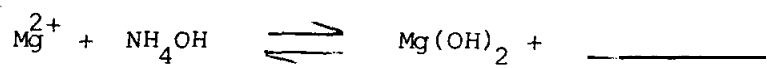
3. การตรวจสอบ  $\text{NH}_4^+$  ไอออนกับ  $\text{OH}^-$  ไอออน

1. จงบอกหลักฐานที่แสดงว่า มี  $\text{OH}^-$  ไอออน อยู่ในสารละลายแอมโมเนียมา 2 ข้อ

.....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

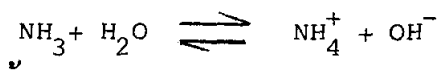
2. จงเติมสมการเคมีต่อไปนี้ให้สมบูรณ์



3. จงบอกความแตกต่างจากการสังเกตปฏิกิริยาในข้อ 2, และข้อ 4

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4. จากสมการ



(ก) ถ้าเติมสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ลงในปฏิกิริยานี้ จะเป็นอย่างไร

.....  
.....  
.....  
.....



(ข) จะมี  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  เกิดขึ้นในสารละลายที่มี  $\text{OH}^-$  ไออนน้อยอธิบาย

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

#### 4. Solubility Equilibrium

1. ถ้าเติม  $\text{CaCl}_2$  ลงในสารละลายอิ่มตัวของ  $\text{CaSO}_4$  จะเป็นอย่างไร

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

2. จากสมการการแตกตัวของ  $\text{CaSO}_4$  ในน้ำ จงอธิบายเมื่อ

(ก) เติม  $\text{CaCl}_2$  ลงในสารละลายอิ่มตัวของ  $\text{CaSO}_4$

.....  
.....  
.....  
.....

(ข) เติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ลงในสารละลายอิ่มตัวของ  $\text{CaSO}_4$

.....  
.....  
.....  
.....

3. นักศึกษาสามารถใช้ผลของ common ion อธิบาย การเปลี่ยนแปลง  
สภาวะสมดุลใดอย่างไร

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

4. จากสมการ  $K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$  ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{Ca}^{2+}$   
ไอออนเท่ากับ 0.0049 โมล/ลิตร และ  $\text{SO}_4^{2-}$  resell เท่ากับ 0.0049 โมลต่อ-  
ลิตรเช่นเดียวกัน จงคำนวณหาค่า  $k_{sp}$

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

5. ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{Ca}^{2+}$  ไอออนเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 10 เท่า ความเข้มข้นของ  $\text{SO}_4^{2-}$  ไอออนจะมีค่าเท่าไร?

.....

.....

.....

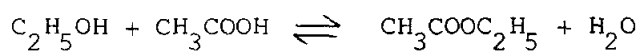
.....

.....

.....

.....

6. จากสมการ esterification



$$\frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]} = 4.0$$

จงตอบคำถาม

(ก) ความเข้มข้นของน้ำที่สภาวะสมดุลจะมีค่าเท่าไร ถ้าความเข้มข้นของสารตัวอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 2M

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(ข) ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$  และน้ำเท่ากับ 2M และของ  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เท่ากับ 1 M จะเกิดสภาวะสมดุลหรือไม่ เพราะอะไร

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

(ค) ทิศทางของปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างไร ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารทั้ง 4 มีค่าเท่ากับ 1M

.....  
 .....  
 .....

## การทดลองที่ 13

เรื่อง การตีเตรชั้นของกรดและเบสและการหาน้ำหนักสมมูลของมก-  
นีเซียม

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการหาปริมาณโดยการวัดปริมาตร
2. เพื่อฝึกฝนการใช้บิวเรตและปิเปตได้อย่างถูกต้อง
3. เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบค่าโดยใช้เทคนิคการตีเตรท
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบที่ศึกษา
5. เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการคำนวณหาความเข้มข้น
6. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสมมูลจำนวนกรัมสมมูล และน้ำหนักของสาร
7. เพื่อใช้เทคนิคในการตีเตรทระหว่างกรดกับเบสในการหาน้ำหนักสมมูลของมกนีเซียม

## เทคนิคที่เกี่ยวข้อง

1. ในขณะทำการตีเทรท เพื่อความสะดวกในการคูสีของอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนไป นักศึกษาควรใช้กระดาษขาววางรองใต้ขงครูปกรวย
2. ในการเขย่าขวดสารละลายขณะตีเทรท ควรใช้วิธีหมุนคอขวดอย่างเขย่าอย่างรุนแรง สารละลายอาจหกหรือกระเด็นได้
3. ในขณะตีเทรท ต้องใช้มือควบคุมอัตราการไหลของสารละลายจากบิวเรตตลอดเวลา
4. การควบคุมปริมาตรของสารละลายในบิเปตควรใช้นิ้วชี้
5. เมื่อเลิกใช้บิวเรตแล้ว ให้ทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง โดยเฉพาะบริเวณทอกบิต-เปิด

## สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.10 M (0.10 M HCl)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ทราบความเข้มข้น  
(Unknown NaOH)
3. สารละลายกรดเกลือตัวอย่าง (HCl)
4. สารละลายกรดน้ำส้มตัวอย่าง (CH<sub>3</sub>COOH)
5. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)
6. ลวดแมกนีเซียม 2 ชิ้น ๆ ละ 0.10 กรัม (Magnesium wire)

## อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ปิเปต
3. ขวดรูปกรวย
4. กระจกฉีดยาน้ำกลั่น

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายในรูปของค่า pH จะเป็นเพียงการบอกค่าความเข้มข้นของ  $H^+$  ไอออน แต่ไม่ได้บอกถึงปริมาณของกรดหรือเบสทั้งหมดในสารละลายที่เราศึกษา ขบวนการวิเคราะห์ที่ต้องการวัดจำนวนโมลหรือจำนวนสมมูล ทั้งหมดของกรดในปริมาตรสารละลายที่กำหนดให้ โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น เรียกว่า ขบวนการติเตรชัน (Titration) การติเตรทระหว่างกรดกับด่าง จำเป็นต้องใช้อินดิเคเตอร์ (indicator) ทดครั้งเพื่อให้ทราบถึงจุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์ โดยจุดที่สีของอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อใกล้ถึงจุดสมมูล (equivalent point) หรือตรงจุดสมมูลพอดี จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี เรียกว่า จุดยุติหรือจุดจบของการติเตรท (end point of titration) ซึ่งที่จุดนี้จะไม่พอดีกันทีเดียว แต่จะมีปริมาณของสารอย่างหนึ่งมากเกินไปเล็กน้อย จึงทำให้อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี จากปริมาตรสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน นำมาหาความเข้มข้นหรือปริมาตรของสารที่ไม่ทราบได้

ในการคำนวณ อาจทำได้โดยการคำนวณจากสมการ, คำนวณโดยใช้หลักที่ว่า สารทำปฏิกิริยากันพอดีจะมีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน หรือคำนวณโดยใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$N_1, N_2 = \text{ความเข้มข้นมีหน่วยเป็นนอร์แมล}$$

$$V_1, V_2 = \text{ปริมาตรของสารละลายที่รวมกันพอดี}$$

แต่จะไม่มีสูตร  $M_1 V_1 = M_2 V_2$

$$M_1, M_2 = \text{ความเข้มข้นมีหน่วยเป็นโมลาร์}$$



สูตรที่ใช้ในการคำนวณนี้ ได้จากหลักที่ว่า สารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะมีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน ดังนั้น

∴ ที่จุดสมมูลของการติเตรระหว่างกรดกับเบส

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของกรด} = \text{จำนวนกรัมสมมูลของเบส}$$

$$\frac{N_a V_a}{1000} = \frac{N_b V_b}{1000}$$

$$N_a V_a = N_b V_b$$

a = acid

b = base

ถ้าคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาพอดีกัน จะต้องอาศัยสมการมวลสารสัมพันธ์ เช่น



จากสมการ a โมลของสาร A ทำปฏิกิริยาพอดีกับ b โมลของสาร B

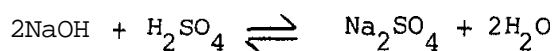
∴ ที่จุดสมมูลของการติเตรท จะได้ว่า

$$\frac{\text{จำนวนโมลของสาร A}}{\text{จำนวนโมลของสาร B}} = \frac{a}{b}$$

$$\frac{\text{จำนวนโมลของสาร A}}{a} = \frac{\text{จำนวนโมลของสาร B}}{b}$$

$$\frac{M_A V_A}{a} = \frac{M_B V_B}{b}$$

เช่น



$$\text{จำนวนโมลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{1}{2} \text{ จำนวนโมลของ NaOH}$$

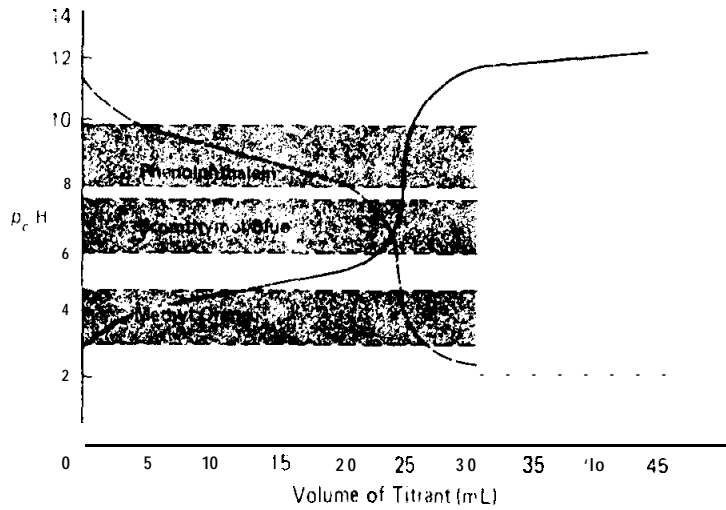
$$\frac{M_a V_a}{1} = \frac{M_b V_b}{2}$$

### การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ในการไตเตรท

ในการไตเตรทระหว่างกรดกับเบส ในขณะที่เราหยดสารละลาย จาก บิวเรตลงไปทำปฏิกิริยากับสารละลายอีกชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ในขวดรูปกรวย เราจะไม่ สามารถทราบได้ว่าถึงจุดสมมูลของปฏิกิริยาหรือยัง เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลง ขณะที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกัน เราจึงจำเป็นต้องใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวบอก จุดยุติของการไตเตรท โดยอาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ จุดที่อินดิเคเตอร์ เปลี่ยนสี เรียก จุดยุติ ซึ่งจะขึ้นกับค่า pH ของสารละลาย ส่วนจุดที่สารทำปฏิกิริยา พอดีกันเรียกจุดสมมูล ในขณะที่ทำการไตเตรท pH ของสารละลายจะเปลี่ยนแปลง ไปเรื่อย ๆ เราควรที่จะเลือกอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสี ตรงช่วง pH ของจุดสมมูล พอดี ก็จะได้จุดยุติใกล้เคียงกับจุดสมมูลที่สุด ถ้าเราเลือกใช้อินดิเคเตอร์ผิด จุด ยุติจะไกลจากจุดสมมูล เมื่อนำปริมาตรที่ได้ไปคำนวณ ผลจะผิดพลาดไปมาก

การเลือกอินดิเคเตอร์ จะต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH จาก เควอร์ฟของการไตเตรท (Titration curve) ของระบบที่เราจะศึกษาดูว่า ที่จุดสมมูลมี pH เท่าไร แล้วนำมาเลือกใช้อินดิเคเตอร์ โดยดูจากช่วง pH ของ การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์

ตัวอย่างเคอร์พของการติเตรทของระบบต่าง ๆ และอินดิเคเตอร์ที่เลือกใช้



- การติเตรทระหว่าง 0.1000 N  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  กับ 0.1000 N NaOH
- การติเตรทระหว่าง 0.1000 N  $\text{NH}_4\text{OH}$  กับ 0.1000 N HCl

การติเตรทระหว่าง	pH ที่จุดจบของการติเตรท	อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม
กรดแก่-เบสแก่	ประมาณ 7	Bromthymol blue
กรดแก่-เบสอ่อน	ต่ำกว่า 7	Methyl orange
กรดอ่อน-เบสแก่	สูงกว่า 7	Phenolphthalein
กรดอ่อน-เบสอ่อน	อาจสูงหรือต่ำกว่า 7	ไม่มี

ในการติเตรชัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ควรทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ในการติเตรชัน เราสามารถหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้โดยติเตรทกับสารละลายที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน ซึ่งสารละลายที่เตรียมให้มีความเข้มข้นที่ถูกต้องและแน่นอน เรียกว่า สารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) การทดลองนี้ในการติเตรทระหว่างกรดกับเบส เพื่อจะนำไปหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่เป็นกรด โดยทั่วไปจะต้องเตรียมสารละลายมาตรฐานขึ้นมาเพื่อนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนของเบสก่อน เรียกว่า Standardization เมื่อทราบความเข้มข้นของเบสแล้ว จึงจะนำเบสนี้เป็นสารมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างกรดต่อไป โดยทั่วไปจะใช้สารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เป็นสารละลายมาตรฐานเริ่มต้น (primary standard)

แต่ในการทดลองนี้ทางห้องปฏิบัติการจะเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดเกลือเข้มข้น 0.10 M ให้ จึงไม่ต้องทำขั้นตอนในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

## สมมูลเคมี

ปริมาณสมมูล คือน้ำหนักของสารหนึ่งที่ทำปฏิกิริยากันได้พอดีกับอีกสารหนึ่ง คำว่า "สมมูลเคมีของสาร" คือ จำนวนเลขที่บ่งแสดงน้ำหนักของสาร ซึ่งทำปฏิกิริยาโดยตรงหรือโดยอ้อมได้พอดีกับ 1.008 หน่วยน้ำหนักของ H หรือ 8 หน่วยน้ำหนักของ O หรือ 35.5 หน่วยน้ำหนักของ Cl (หน่วยน้ำหนักเดียวกัน) สมมูลเคมีไม่มีหน่วยน้ำหนักสมมูลของสาร น้ำหนักของสารซึ่งทำปฏิกิริยาโดยตรงหรือโดยอ้อมได้พอดีกับ 1.008 หน่วยน้ำหนักของ H หรือ 8 หน่วยน้ำหนักของ O หรือ 35.5 หน่วยน้ำหนักของ Cl น้ำหนักสมมูลมีหน่วย เช่น

สมมูลเคมีของ H = 1

1 กรัมสมมูลของ H = 1 กรัม

สมมูลของ Ca = 20 หมายความว่า Ca 20 หน่วยน้ำหนัก

จะรวมพอดีโดยตรงหรือโดยอ้อมกับไฮโดรเจน 1 หน่วยน้ำหนักหรือออกซิเจน 8 หน่วยน้ำหนัก หรือ คลอรีน 35.5 หน่วยน้ำหนัก

ปริมาณของสาร เป็นจำนวนกรัมสมมูล เบื้องวิธีบอกปริมาณของสารวิธีหนึ่ง คือ สารปริมาณ 1 กรัมสมมูล (เขียนย่อว่า gmE) จะเท่ากับสมมูลของสารมีหน่วยเป็นกรัม เช่น

Na มีสมมูล = 23 1 gmE ของ Na = 23 กรัม

CO<sub>2</sub> มีสมมูล = 22 1 gmE ของ CO<sub>2</sub> = 22 กรัม

จะเห็นว่าปริมาณสารต่างชนิดกัน 1 gmE จะหนักไม่เท่ากัน

## การหาสมมูล

$$\text{สมมูลของธาตุ} = \frac{\text{น้ำหนักอะตอม}}{\text{ประจุของธาตุนั้น}}$$

$$\text{สมมูลของสารประกอบ} = \text{ผลบวกของสมมูลย่อยของไอออนบวกและไอออนลบ}$$

$$\text{สมมูลของกรด} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของกรด}}{\text{สภาพเบส}}$$

$$\text{สมมูลของเบส} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของเบส}}{\text{สภาพกรด}}$$

$$\text{สมมูลของเกลือ} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุลของเกลือ}}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสารเป็นกรัม สมมูล และจำนวนกรัมสมมูล

$$\text{จำนวนกรัมสมมูล (gmE)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{สมมูล}}$$

การคำนวณหาสมมูลของธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

1. การหาสมมูลของธาตุโดยการรวมตัวกับออกซิเจนเป็นออกไซด์  
โดยหาน้ำหนักของธาตุและออกซิเจนที่รวมพอดีกันมาให้ได้ แล้วเทียบหาน้ำหนัก  
ของธาตุที่รวมพอดีกับออกซิเจน 8 หนวน้ำหนัก ตัวเลขที่ได้ก็คือสมมูลของธาตุนั้น
2. การหาสมมูลของธาตุ โดยการรวมตัวกับคลอรีน เป็นคลอไรด์  
คำนวณเช่นเดียวกันกับวิธีเกิดเป็นออกไซด์
3. การหาสมมูลของโลหะโดยการแทนที่ไฮโดรเจนในกรดหรือเบส แล้วให้แก๊ส  
ไฮโดรเจนออกมา

ในการทดลองนี้ ทำการทดลองหาสมมูลของโลหะ โดยการละลายโลหะในกรด  
เจือจางที่มากเกินพอ แล้วหาปริมาณกรดที่เหลือโดยใช้เทคนิคการติเตตรกับสาร  
ละลายมาตรฐานเบส โดยอาศัยหลักที่ว่า สารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน และผลที่เกิดขึ้น  
จะต้องมีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน

## การหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียม (Mg) โดยการติเตอร

จะหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียม โดยการละลายลวดแมกนีเซียมที่ทราบ น้ำหนักที่แน่นอนในสารละลายกรดเกลือเจือจางที่มากเกินไป โดยโลหะแมกนีเซียมจะทำปฏิกิริยากับกรด ได้แก๊สไฮโดรเจนออกมา หลังจากเกิดปฏิกิริยาหมดแล้ว หาปริมาณกรดที่เหลือ โดยการติเตอรกับสารละลายเบสมาตรฐาน ซึ่งปริมาณสารต่าง ๆ จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดทั้งหมด} &= \text{จำนวนกรัมสมมูลของ Mg} \\ &+ \text{จำนวนกรัมสมมูลของเบส} \end{aligned}$$

ซึ่งจากความสัมพันธ์ข้างบนนี้ เราจะได้ จำนวนกรัมสมมูลของ Mg และจากความสัมพันธ์ที่ว่า

$$\text{จำนวนกรัมสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนักของสารเป็นกรัม}}{\text{สมมูลของสารนั้น}}$$

เราก็สามารถหาน้ำหนักสมมูลของ Mg ได้



## วิธีการทดลอง

### ตอนที่ 1 การ Standardization

1. ทำความสะอาดบิวเรตโดยการล้างและชะควายน้ำกลั่น ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพียงเล็กน้อยชะอีกครั้ง แล้วจึงเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ทราบความเข้มข้นลงในบิวเรต ปรับระดับของสารละลายให้ตรงขีดบอกระดับ
2. ปิเปตสารละลายกรดเกลือมาตรฐานลงในขวดรูปกรวยทั้งหมด 2 ใบ ๆ ละ 10 ลบ.ซม. หยดอินดิเคเตอร์ ฟีนอลทาลีนไบละ 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน
3. ทำการติเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรต โดยใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรต ลงในขวดรูปกรวย พร้อมทั้งหมุนขวดรูปกรวย ตลอดเวลา (ดูรูปประกอบ)
4. ขณะใกล้ถึงจุดยุติของการติเตรท จะเห็นสีชมพูเกิดขึ้นรอบ ๆ หยดเบสที่เติมลงไป ให้คอย ๆ เติมเบสลงไปอย่างช้า ๆ จนกระทั่งปรากฏว่าสีของสารละลายเป็นสีชมพูถาวรครั้งแรก แสดงว่าถึงจุดจบของการติเตรท
5. อ่านปริมาตรสุดท้ายของสารละลายเบสที่บิวเรต ก็จะสามารถหาปริมาตรของเบสที่ใช้ไปทั้งหมดได้
6. ทำการติเตรทซ้ำอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้สารละลายกรดที่เตรียมไว้อีก 1 ขวด
7. ทำซ้ำจากข้อ 1-5 \* โดยในข้อ 2 เมื่อปิเปตสารละลาย กรดลงในขวดรูปกรวย 2 ใบ ๆ ละ 10 ลบ.ซม. ให้เติมน้ำกลั่นลงไปใบ ๆ ละ 10 ลบ.ซม. แล้วดำเนินการทดลองต่อไป



#### ตอนที่ 4 การหาค่าหนักสัมมูลของมกนีเซียม

- นำขวดรูปกรวยที่สะอาดมา 4 ใบ เขียนเลข 1-4 กำกับไว้ให้ชัดเจน
- เตรียมสารละลายกรดเกลือเข้มข้นประมาณ 0.5 N จำนวน 250 ลบ.ซม.
- ปิเปตสารละลายกรดเกลือจากข้อ 2 ใส่ในขวดรูปกรวย ดังนี้  
ขวดใบที่ 1 และใบที่ 2 จำนวน 10 ลบ.ซม.  
ขวดใบที่ 3 และใบที่ 4 จำนวน 30 ลบ.ซม.
- วางหลอดมกนีเซียมที่ทราบน้ำหนักแล้ว 2 ชิ้น บนตีก้นน้ำหนักของหลอดไว้
- หย่อนหลอดมกนีเซียมลงในขวดรูปกรวยใบที่ 3 และ 4 ใบละ 1 ชิ้น เขย่าจนหลอดมกนีเซียมในขวดทั้งสองละลายหมด
- หยด phenolphthalein 3 หยด ลงในขวดรูปกรวยทั้ง 4 ใบ เขย่าสารละลาย
- ล้างบิวเรตให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และชะอีกครั้งด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.20 N 2-3 ลบ.ซม. แล้วบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในบิวเรต ปริมาณที่พอเหมาะ นำไปติเตรตกับสารละลายกรดเกลือในขวดรูปกรวยทั้ง 4 ใบ

## รายงานการทดลอง

ปฏิบัติการเคมีเรื่อง ..... วันที่ทำการทดลอง .....

ชื่อผู้ทำการทดลอง ..... รหัส ..... เลขที่ .....

ชื่อผู้ร่วมทำการทดลอง ..... รหัส ..... เลขที่ .....

กลุ่มปฏิบัติการทดลอง ..... Section .....

อาจารย์ผู้ควบคุม 1. ....

2. .... \*

3. .... I .....

### บันทึกผลการทดลอง

#### ตารางบันทึกผลการทดลอง 1      Standardization of a Base

	การไตเตรทครั้งที่		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
1. ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรด	10 ml.	10 ml.	10 ml.
2. ความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน	N	N	N
3. ปริมาตรสุดท้ายที่อ่านจากบิวเรต	ml.	ml.	ml.
4. ปริมาตรเริ่มต้นที่อ่านจากบิวเรต	ml.	ml.	ml.
5. ปริมาตร เบสที่ใช้ (3-4)	ml.	ml.	ml.
6. ความเข้มข้นของเบสที่ได้ $(N_a V_a = N_b V_b)$			
7. ปริมาตร เบสที่ใช้ (เมื่อเติมน้ำกลั่น)	ml.	ml.	ml.

จะได้อัตราความเข้มข้นเป็น Normality ของเบสที่ได้จากการทดลอง = ..... N  
นำไปใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของสารละลายกรดตัวอย่าง

ตารางบันทึกผลการทดลอง 2 การติเตรชันเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรด  
เกลือตัวอย่าง

	การติเตรทครั้งที่		
	1	2	เฉลี่ย
1. ปริมาตรของกรดเกลือตัวอย่าง	ml	ml	ml
2. ปริมาตรสุดท้ายที่อ่านจากบิวเรต	ml	ml	ml
3. ปริมาตรเริ่มต้นที่อ่านจากบิวเรต	ml.	ml.	ml.
4. ปริมาตรของเบสที่ใช้	ml.	ml.	ml.
5. ความเข้มข้นของเบสที่ใช้	N.	N.	N.
6. ความเข้มข้นของกรดตัวอย่าง	N.	N.	N.

จะได้ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดเกลือตัวอย่าง = .....N

ตารางบันทึกผลการทดลอง 3 การไตเตรชันเพื่อหาความเข้มข้นของกรดอะซิติกใน  
สารตัวอย่างน้ำส้ม

	การไตเตรทครั้งที่		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
1. ปริมาตรของกรคน้ำส้มตัวอย่าง	ml.	ml.	ml.
2. ปริมาตรสุดท้ายที่อ่านจากบิวเรต	ml.	ml.	ml.
3. ปริมาตรเริ่มต้นที่อ่านจากบิวเรต	ml.	ml.	ml.
4. ปริมาตรของเบสที่ใช้	ml.	ml.	ml.
5. ความเข้มข้นของเบสที่ใช้	N.	N.	N.
6. ความเข้มข้นของกรดตัวอย่าง	N.	N.	N.

ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรคน้ำส้มตัวอย่าง = .....N

ตารางบันทึกผลการทดลอง 4 การหาน้ำหนักสัมมูลของมกนีเซียม

ขวดรูปกรวยใบที่	ปริมาตรของ HCl	น้ำหนักของ Mg	ปริมาตรของ 0.20N NaOH
1	10		.....
2	10		.....
3	30	.....	.....
4	30	.....	.....

1. จากผลการตีเทรทสารละลายกรดเกลือในขวดรูปกรวยใบที่ 1, 2 จงคำนวณหา  
 ความเข้มข้นของกรดเกลือ

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

2. จงคำนวณหาน้ำหนักสัมมูลของลวคมกนีเซียม  
 (คำนวณแต่ละชิ้นแยกกัน)

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

3. คำนวณน้ำหนักและปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น สำหรับมันนี่เซียมที่ใช้แต่ละชิ้น เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ความดัน 1 บรรยากาศ (ในการเปลี่ยนปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนไปที่ S.T.P.)

ใช้สูตร  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$