

## ตอนที่ 2

### ปฏิบัติการทดลองเคมี

1. สมบัติ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของสาร
2. การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก
3. การหาสูตรสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์
4. การหาปริมาณกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน
5. ความร้อนของปฏิกิริยา
6. อัตราของปฏิกิริยาเคมี
7. สมดุลเคมี
8. การติเตรชันของกรด เบส และการหาน้ำหนักสมมูลย์ ของแมกนีเซียม
9. pH สเกล อินดิเคเตอร์ และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
10. สารละลายบัฟเฟอร์
11. การหาค่าคงที่สมดุลโดยเทคนิคสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
12. โครงสร้างผลึก
13. ตารางธาตุและสมบัติตามตารางธาตุ

# การทดลองที่ 1

## สมบัติ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของสาร (Physical and Chemical Properties Changes)

---

### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี
2. เพื่อศึกษาการหาจุดหลอมเหลวของสารและการพินิจจุดหลอมเหลวของสาร

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. หลอดทดสอบ (Test tube)
2. หลอดหยดสารละลาย (Dropper)
3. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
4. ตะเกียงเบนเสน (Bunsen burner)
5. บีกเกอร์ (Beaker)
6. ช้อนตักสาร (Spatula)
7. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
8. แผ่นตะแกรงลวด (Wire gauze)
9. ที่ตั้งและฐาน (Stand and base)

### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### สารละลาย

1. 0.1 M Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
2. 0.1 M Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ )
3. Ethyl alcohol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )

#### ของแข็ง

1. Copper nitrate [ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ]
2. Acetamide ( $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ )

## ทฤษฎีการทดลอง

สมบัติของสสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

1. สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารที่สังเกตได้โดยไม่ต้องใช้ปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ สี จุดเดือด ความหนาแน่น คุณสมบัติเหล่านี้ไม่เกี่ยวข้องกับมวลของสาร ถ้าเป็นสารชนิดเดียวกันจะมีจำนวนปริมาณมากหรือน้อยย่อมมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน เช่น น้ำจำนวน 100 ลบ.ซม. หรือ 1000 ลบ.ซม. จะมีจุดเดือด  $100^{\circ}\text{C}$  เท่ากันเมื่ออยู่ในสถานะเดียวกัน ลักษณะที่สังเกตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นมีดังนี้

- 1.1 ไม่มีสารใหม่เกิดขึ้น
- 1.2 การเปลี่ยนแปลงสามารถกลับเป็นสภาพเดิมได้
- 1.3 น้ำหนักก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงคงที่
- 1.4 เมื่อเกิดปฏิกิริยา ไม่มีการถ่ายเทความร้อนและอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมของธาตุ

2. สมบัติทางเคมี (Chemical properties) เป็นคุณสมบัติของสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกับอีกสารหนึ่ง และการทำปฏิกิริยานั้นเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของสาร เช่น ก๊าซไฮโดรเจนไหม้ไฟในก๊าซออกซิเจน หรือธาตุโซเดียมสามารถทำปฏิกิริยารุนแรงกับน้ำ ลักษณะที่สังเกตได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นมีดังนี้

- 2.1 มีสารใหม่เกิดขึ้น
- 2.2 การเปลี่ยนแปลงไม่สามารถกลับเป็นสภาพเดิมได้
- 2.3 น้ำหนักก่อนและหลังมีการเปลี่ยนแปลง
- 2.4 เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี จะมีการถ่ายเทความร้อนและอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมของธาตุ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอาจเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ แต่การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่สามารถมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีร่วมด้วย

## การหาจุดหลอมเหลว

การหาจุดหลอมเหลวสำหรับของแข็ง มีประโยชน์ในการตรวจสอบสารอินทรีย์นั้นว่าบริสุทธิ์ และเป็นสารตัวเดียวกับสารที่สงสัยหรือไม่ จุดหลอมเหลวของสารคือ อุณหภูมิที่ของแข็งและของเหลวอาจอยู่ร่วมกันโดยสมดุล ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้สารจะเป็นของเหลว แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะเป็นของแข็ง ถ้าสารนั้นเป็นสารบริสุทธิ์จุดหลอมเหลวจะมีค่าคงที่ และช่วงของการหลอมเหลวล้นมาก (ไม่เกิน  $2^{\circ}\text{C}$ ) สำหรับของแข็งที่ไม่บริสุทธิ์จุดหลอมเหลวนั้นจะต่ำกว่าจุด

หลอมเหลวของสารบริสุทธิ์ที่เป็นจริง ดังนั้นจึงต้องนำมาตกผลึกใหม่เพื่อให้สารบริสุทธิ์ขึ้น จุดหลอมเหลวหลังจากการตกผลึกใหม่พบว่าจะมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น แต่หลักการนี้ไม่สามารถบ่งชี้ว่าสารนั้นบริสุทธิ์หรือไม่ ดังนั้นการเขียนรายงานในการหาจุดหลอมเหลวต้องบอกช่วงของการเริ่มต้นหลอมเหลวจนสารหลอมเหลวหมดพอดี

ตารางที่ 1.1 จุดหลอมเหลวของสารประกอบ

Compound	Formula	Melting Point (°C)
Sodium sulfate	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	32
Zinc nitrate	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	36
Calcium nitrate	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	43
Sodium thiosulfate	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	48
Iron (III) nitrate	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	50
Nickel nitrate	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	57
Cadmium nitrate	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	59
Potassium aluminum alum	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$	92
Ammonium alum	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$	94
Magnesium nitrate	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	95
Thymol	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	51-52
p - Dichlorobenzene	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	53
p - Nitrophenetole	$\text{C}_9\text{H}_9\text{NO}_3$	60
Acetyl m - toluidine	$\text{C}_9\text{H}_9\text{NO}$	65
Diphenyl	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2$	69-70
Acetyl - o - phenetone	$\text{C}_{10}\text{H}_{11}\text{NO}_2$	79
Naphthalene	$\text{C}_{10}\text{H}_8$	80
Acetamide	$\text{C}_2\text{H}_5\text{ONH}_2$	81
Acetoacetanilide	$\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{NO}_2$	85
m- dinitrobenzene	$\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_4$	90
o - nitroacetanilide	$\text{C}_8\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_3$	92
2, 4 - dinitroanisole	$\text{C}_7\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_4$	95
Methyl - p - nitro benzoate	$\text{C}_8\text{H}_7\text{NO}_4$	96

## วิธีการทดลอง

### 1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

#### 1.1 ปฏิกริยาการเกิดก๊าซ

1. นำหลอดทดสอบมา 2 หลอด หลอดแรกหยดสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 2 mL และหลอดที่ 2 หยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 2 mL
2. เทสารละลายจากหลอดที่ 1 ลงในหลอดที่ 2 คนให้ทั่วจากนั้นนำไปจุ่มใน water bath สังเกตผลของการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผล

#### 1.2 ปฏิกริยาการเกิดตะกอน

- นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด หยดสารละลาย  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  จำนวน 2 mL ลงในหลอดทดสอบ จากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ทีละหยดพร้อมคนให้ทั่ว เมื่อเกิดตะกอนขึ้นให้หยดต่อไปจนตะกอนละลายหมด สังเกตผลและบันทึกปฏิกิริยาของการทดลองตั้งแต่ต้นจนตะกอนละลายหมด

#### 1.3 ปฏิกริยาการเกิดกลิ่น

1. นำหลอดทดสอบมา 2 หลอด หลอดแรกหยดสารละลาย  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  จำนวน 3 mL และหลอดที่ 2 หยดสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จำนวน 3 mL
2. เทสารละลายจากหลอดที่ 1 ลงในหลอดที่ 2 พร้อมทั้งคนให้ทั่ว สังเกตกลิ่นที่เกิดขึ้นว่าเป็นชนิดใดพร้อมทั้งเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

#### 1.4 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเนื่องจากผลของความร้อน

1. นำหลอดทดสอบมา 3 หลอด  
หลอดที่ 1 ใส่สาร  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 1 mg ไม่ต้องทำการทดลอง  
หลอดที่ 2 ใส่สาร  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 1 mg นำไปเผาไฟจนสีมีการเปลี่ยนแปลงจึงหยุดเผา

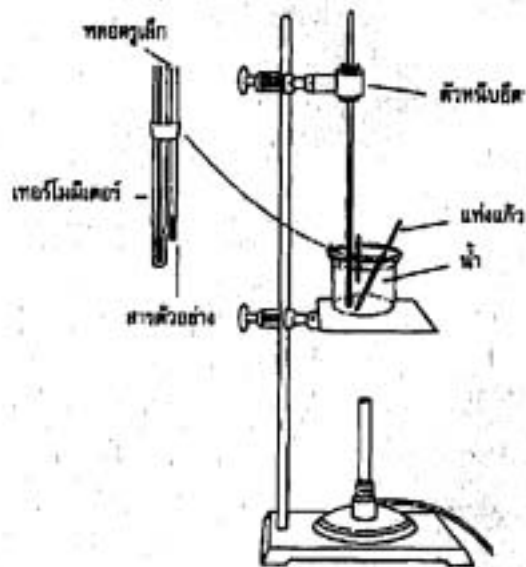
หลอดที่ 3 ใส่สาร  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  จำนวน 1 mg นำไปเผาจนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น

2. เมื่อหลอดทดสอบเย็นแล้วให้เติมน้ำกลั่น 3 mL ลงในแต่หลอดพร้อมคนให้ทั่วทั้ง

3 หลอดให้สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 หลอดที่เกิดขึ้น

## 2. การหาจุดหลอมเหลวของสาร Acetamide

1. จัดเครื่องมือดังรูป นำบีกเกอร์ 250 mL มา 1 ใบ ใส่น้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ 150 mL



รูปที่ 1.1 ลักษณะการจัดเครื่องมือการหาจุดหลอมเหลวโดยใช้หลอดคาปิลลารี

- นำหลอดคาปิลลารี (Capillary) จากเจ้าหน้าที่มา 1 หลอด นำสารที่ต้องการหาจุดหลอมเหลวมาค้ำให้ละเอียดลงบนกระดาษหยาบโดยใช้ spatula ทำการตะแคงหลอดคาปิลลารี ด้านปลายเปิดคลไปบนสารตัวอย่าง แล้วหงายหลอดคาปิลลารีทางด้านปลายปิดกับโต๊ะ เพื่อให้ผงของสารตัวอย่างตกลงในก้นหลอดคาปิลลารี
- นำเส้นด้ายมาผูกเทอร์โมมิเตอร์กับหลอดคาปิลลารีให้ติดกัน โดยก้นหลอดคาปิลลารีที่บรรจุสารอยู่ระดับเดียวกับกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ แต่ไม่ควรเกิน 1 ซม. และให้เทอร์โมมิเตอร์อยู่สูงจากก้นบีกเกอร์ที่ใช้หาจุดหลอมเหลวพอสมควร ระวังอย่าให้ปลายหลอดคาปิลลารีด้านปลายเปิดจุ่มลงในน้ำ

4. ควรทำการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง นำค่าจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่างที่ได้ไปเทียบกับจุดหลอมเหลวมาตรฐานว่าเป็นสารชนิดใด

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม้ทราบจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่าง ควรบรรจุสารตัวอย่างใส่ในหลอดคาปิลลารีทั้ง 2 หลอดเพื่อหาจุดหลอมเหลวของหลอดแรกโดยประมาณอย่างรวดเร็วก่อนจากนั้นทำให้น้ำเย็นลงต่ำกว่าจุดหลอมเหลวที่หาครั้งแรกโดยประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$  จึงนำหลอดคาปิลลารีที่ 2 มาหาจุดหลอมเหลวโดยละเอียดอีกครั้ง

### ผลการทดลอง

#### 1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

##### 1.1 ปฏิกริยาที่ทำให้เกิดก๊าซ

ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น .....

ก๊าซที่เกิดขึ้นคือ .....

วิธีทดสอบ .....

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ .....

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีคือ .....

##### 1.2 ปฏิกริยาการเกิดตะกอน

ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น .....

ตะกอนที่เกิดขึ้นคือ .....

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ .....

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีคือ .....

##### 1.3 ปฏิกริยาการเกิดกลิ่น

ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น .....

สารใหม่ที่เกิดขึ้น .....

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือ .....

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีคือ .....

1.4 การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากผลของความร้อนเมื่อทำการเผา

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดที่ 1 คือ .....

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดที่ 2 คือ .....

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลอดที่ 3 คือ .....

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ .....

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี .....

เมื่อนำมาละลาย

เปรียบเทียบการละลายของสารในหลอดทั้ง 3 .....

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ .....

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี .....

2. การหาจุดหลอมเหลวของสาร

จุดหลอมเหลวของสารตัวอย่าง

จากการทดลอง จุดหลอมเหลวของสารตัวอย่าง = ..... องศาเซลเซียส

เทียบจากตาราง สารตัวอย่างคือ .....

คำถาม

1. จงบอกลักษณะที่แตกต่างระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

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

2. การทดลองใดบ้างที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งกายภาพและทางเคมี

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



3. ในการทดลองที่ 2 จุดหลอมเหลวของสารสามารถบอกคุณสมบัติทางกายภาพของสารที่ทดลองอย่างไร

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

4. จงบอกวิธีการสังเกตการหาจุดหลอมเหลวของสาร

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

## การทดลองที่ 2

### การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

( Gravimetric Analysis )

---

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาวิธีการแยกสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี
2. เพื่อศึกษาวิธีการแยกสารละลายที่มีจุดเดือดต่ำ และการทดสอบสารคลอไรด์ไอออนในสารละลาย

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |                                      |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. ปีกเกอร์ ( Beaker )               | 7. แผ่นตะแกรงถวด ( Wire gauze ) |
| 2. ชามกระเบื้อง ( Evaporating dish ) | 8. สามขา ( Tripod )             |
| 3. กระบอกตวง ( Graduated cylinder )  | 9. หลอดทดสอบ ( Test tube )      |
| 4. แท่งแก้วคนสาร ( Stirring rod )    | 10. หลอดหยดสาร ( Dropper )      |
| 5. ตะเกียงบุนเสน ( Bunsen burner )   | 11. กรวยกรอง ( Glass funnel )   |
| 6. กระดาษกรอง ( Filter paper )       |                                 |

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลาย

1. Hexane (  $C_6H_{14}$  )
2. Silver nitrate (  $AgNO_3$  )

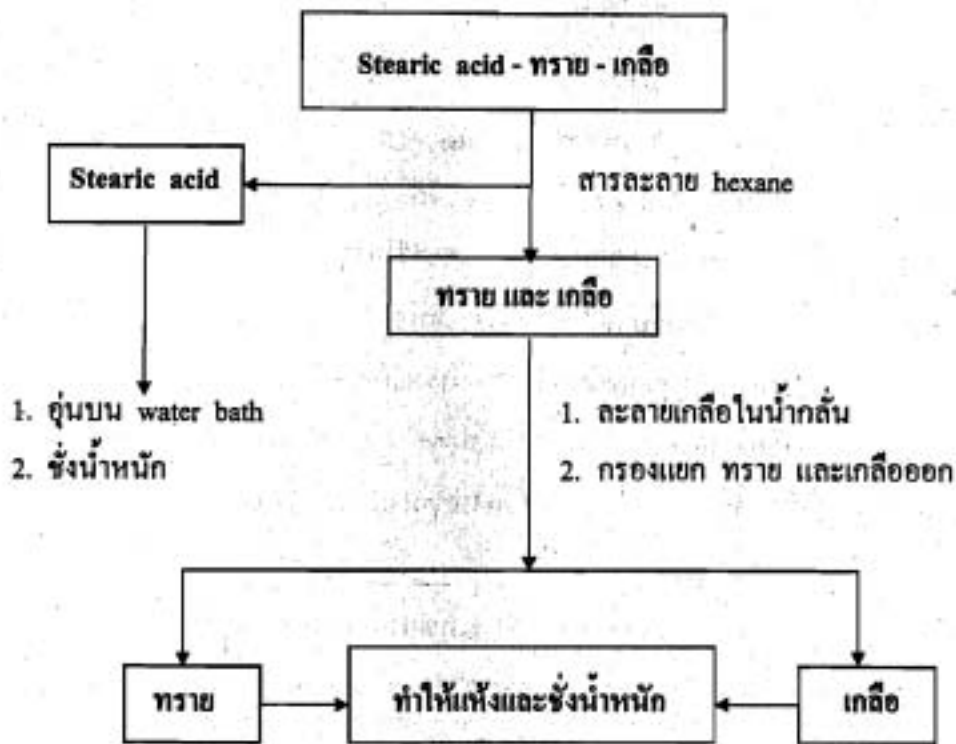
### ทฤษฎีการทดลอง

การแยกสารประกอบหรือของผสมออกจากกันอาศัยการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การวิเคราะห์คุณภาพ (Qualitative analysis) เป็นการวิเคราะห์เคมีซึ่งเกี่ยวกับจำนวนหรือปริมาณอย่างคร่าว ๆ ขององค์ประกอบของสาร ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณ (Quantitative analysis) เป็นการวิเคราะห์เคมีซึ่งเกี่ยวกับการหาจำนวนหรือปริมาณของธาตุหรือสารประกอบในสารตัวอย่างได้อย่างแน่นอน

สารประกอบ (Compound) คือ สารบริสุทธิ์ที่เกิดจากการรวมตัวทางเคมีของสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยมีอัตราส่วนของน้ำหนักคงที่และสามารถเขียนเป็นสูตรโมเลกุลทางเคมีได้ เช่น  $\text{NO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ส่วนของผสมเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ เกิดจากการรวมตัวของสารผสมต่าง ๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกันโดยไม่อาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งการรวมนั้นไม่มีอัตราส่วนของน้ำหนักและไม่สามารถเขียนสูตรทางเคมีได้ ลักษณะตัวอย่างและวิธีการแยกของผสมสามารถจำแนกออกเป็นดังนี้

1. ของแข็งกับของแข็ง แยกโดยวิธีการหีบ หรือใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมแยกออก
2. ของแข็งกับของเหลว แยกโดยการคกตะกอน การเซนติฟิวจ์ หรือการกรอง
3. ของเหลวกับของเหลว แยกโดยการใช้กรวยแยกถ้าของเหลวไม่ปนเปื้อนเป็นเนื้อเดียว

สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการจะใช้สารตัวอย่างผสมกันระหว่างเกลือ ( $\text{NaCl}$ ) ทราช ( $\text{SiO}_2$ ) และ stearic acid ( $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ ) ของผสมจะประกอบด้วยของแข็งทั้ง 3 ชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่างกันไป โดยจะแยก stearic acid ออกจากทราชและเกลือโดย stearic acid สามารถละลายใน organic solvent (Hexane) ส่วนทราชและเกลือจะไม่สามารถละลายได้ จากนั้นทำการแยกเกลือออกจากทราชโดยนำมาละลายน้ำ เกลือจะละลายน้ำออกมา ส่วนที่เหลือคือทราช (Inner material) เมื่อทำการแยกของผสมออกจากกันหมดแล้วสามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักเปอร์เซ็นต์ของแต่ละสารในของผสมเหล่านั้นได้



รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงการแยกของผสม

### วิธีการทดลอง

1. วิธีการแยก stearic acid ออกจากทราย และ เกลือ (ให้ทำในตู้ดูดควัน)
  1. ทำการชั่งน้ำหนักบีกเกอร์เปล่าขนาด 250 mL มา 1 ใบ
  2. ทำการชั่งน้ำหนักชามกระเบื้อง (Evaporating dish) มา 1 ใบ
  3. รับสารตัวอย่างจากเจ้าหน้าที่มา 1 หลอด ( Stearic acid ทรายและเกลือ ) ทำการชั่งสารตัวอย่าง โดยเทสารตัวอย่างลงในบีกเกอร์ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วในข้อ 1 จดบันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ชั่งได้ ( น้ำหนักบีกเกอร์ + สารตัวอย่าง )
  4. ทำการสกัดสารละลายสาร Stearic acid จากตัวอย่าง ด้วยสารละลาย hexane ครั้งแรก ใช้ hexane จำนวน 20 mL โดยใช้กระบอกตวงเทสารละลาย hexane ลงในบีกเกอร์ พร้อมทั้งคนสารตัวอย่างให้ทั่ว ตั้งทิ้งไว้รอให้ตกตะกอนนอนก้นบีกเกอร์ ท่อย ๆ วัน ส่วนที่เป็นสารละลายลงในชามกระเบื้อง

5. ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 3 ประมาณ 2-3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้ใช้ hexane ครั้งละ 10 mL เพื่อละลายสาร stearic acid ออกจนหมด
6. ทดสอบดูว่า stearic acid เหลือตกค้างในตะกอนหรือไม่ โดยหยดสารละลาย hexane จากข้อ 4 จำนวน 2 หยด ลงบนกระดาษนาฬิกา ทิ้งไว้ให้สารละลาย hexane ระเหยหมด ถ้ายังมีเกล็ดสีขาวอยู่บนกระดาษนาฬิกา แสดงว่าสาร stearic acid ยังละลายออกจากสารตัวอย่างไม่หมด ให้กลับไปทำซ้ำข้อ 4 ใหม่จนกว่าไม่มี stearic acid เหลือตกค้างอยู่
7. หลังจาก stearic acid ถูกละลายออกจากทรายและเกลือหมด นำ stearic acid ที่อยู่ในชามกระเบื้องไประเหยเอาสารละลาย hexane ออกโดยตั้งบน water bath ดังรูปที่ 2.2
8. นำชามกระเบื้องกับ stearic acid ที่ได้ไปชั่งหาน้ำหนักของ stearic acid ที่สกัดออกมา

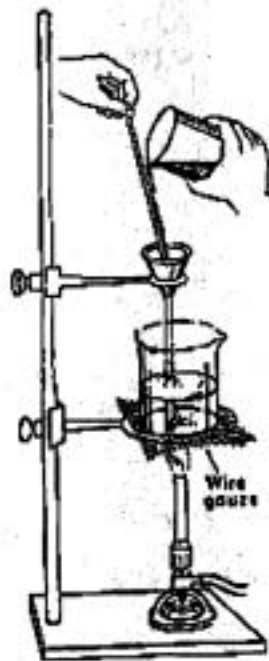


รูปที่ 2.2 ลักษณะเครื่องมือสำหรับระเหยสารละลาย hexane

## 2. วิธีการแยกเกลือออกจากทราย

1. ทำการชั่งปิเกตอร์เปล่าขนาด 600 mL มา 1 ใบ
2. เริ่มแรกทำการทดสอบคลอไรด์ไอออน ( $Cl^-$ ) จากน้ำกลั่นก่อนใช้ นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด เติมน้ำกลั่นลงในหลอดทดสอบ 1 mL และหยดสารละลาย  $AgNO_3$  ลงไป 2 หยด ถ้าไม่มีตะกอนพุ่งขาวแสดงว่าไม่มี  $Cl^-$  อยู่

3. หลังจากแยกสาร Stearic acid ออกหมด ครั้งแรกใช้น้ำกลั่น 20 mL ลงในบีกเกอร์ เพื่อจะแยกเอาเกลือออกจากทรายพร้อมทั้งคนให้เกลือละลายในน้ำ ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน
4. ทำซ้ำในข้อ 3 ประมาณ 2 - 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้ใช้น้ำกลั่นครั้งละ 10 mL เพื่อละลายเกลือจนกระทั่งไม่มีเกลือตกค้างอยู่ จากนั้นทำการทดสอบว่ามีเกลือละลายออกหมดหรือไม่โดยทำการทดสอบตามข้อ 2
5. นำบีกเกอร์เปล่าขนาด 600 mL ที่ซังน้ำหนักให้เรียบร้อย ทำการกรองสารละลายที่ได้ โดยใช้กรวยกรองลงในบีกเกอร์ที่ซังน้ำหนักไว้แล้วดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการกรองสารละลายเกลือ

6. นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายเกลือไปต้มบน hot plate จนกระทั่งน้ำในบีกเกอร์ระเหยออกหมดปล่อยให้เย็น นำไปซังหาน้ำหนักเกลือที่แยกออกจากทราย
7. บีกเกอร์ที่แยกเกลือออกแล้วจะเหลือแต่ทรายอย่างเดียว นำบีกเกอร์ที่มีทรายอยู่ไปทำให้แห้งโดยนำไปตั้งบน hot plate น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของทราย จากนั้นนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทดลองและเปอร์เซ็นต์ของ stearic ทรายและเกลือ

ผลการทดลอง

รายงานการทดลอง	น้ำหนัก (กรัม)
1. น้ำหนักของบีกเกอร์เปล่า 250 mL	.....
2. น้ำหนักของบีกเกอร์เปล่า 600 mL	.....
3. น้ำหนักของชามกระเบื้องเปล่า	.....
4. น้ำหนักของบีกเกอร์เปล่า 250 mL + สารตัวอย่าง	.....
5. น้ำหนักของสารตัวอย่าง (4 - 1)	.....
6. น้ำหนักของชามกระเบื้องเปล่า + stearic acid	.....
7. น้ำหนักของ stearic acid (6 - 3)	.....
8. น้ำหนักของบีกเกอร์เปล่า 600 mL + เกลือ	.....
9. น้ำหนักของเกลือ (8 - 2)	.....
10. น้ำหนักของบีกเกอร์ 250 mL + ทราช	.....
11. น้ำหนักของทราช (10 - 1)	.....
12. รวมน้ำหนัก stearic acid + เกลือ + ทราชที่แยกได้ (7 + 9 + 11)	.....
14. เปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทดลอง (ข้อ 12หาร ข้อ 5 × 100)	.....
15. เปอร์เซ็นต์ของ stearic acid (ข้อ 7หาร ข้อ 5 × 100)	.....
16. เปอร์เซ็นต์ของเกลือ (ข้อ 9หาร ข้อ 5 × 100)	.....
17. เปอร์เซ็นต์ของทราช (ข้อ 11หาร ข้อ 5 × 100)	.....

คำถาม

1. ในการทดลองนี้เพราะเหตุใดจึงต้องแยก stearic acid ออกอันดับแรก

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

2. เหตุใดจึงต้องใช้  $\text{AgNO}_3$  ในการทดสอบว่าเกลือถูกแยกออกจากทรายได้หมด

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

3. จงบอกวิธีการแยกสารประกอบเหล่านี้

- 3.1 สาร A และสาร B ละลายในสารละลายที่ต่างกัน

.....  
.....

- 3.2 ทรายในสารละลาย ethanol

.....  
.....

- 3.3 สารละลาย  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Pb}^{2+}$

.....  
.....

- 3.4 สารละลาย A มีจุดเดือด  $120^\circ\text{C}$  และสารละลาย B มีจุดเดือด  $150^\circ\text{C}$

.....  
.....



### การทดลองที่ 3

#### การหาสูตรสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์

(Determination of the Magnesium Oxide Formula)

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ โดยใช้ลวดโลหะแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ และการหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Crucible and cover
2. Bunsen burner
3. Stand and base
4. Triangle wire
5. Crucible tongs
6. Beaker
7. Ring clamp
8. Wash bottle

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลาย

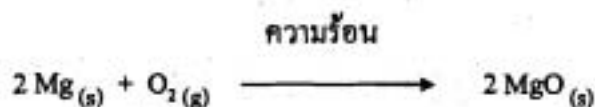
6 M Hydrochloric acid (HCl)

##### ของแข็ง

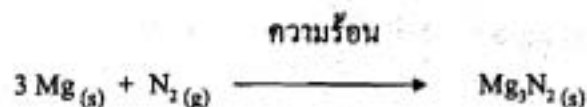
ลวดโลหะแมกนีเซียม

#### ทฤษฎีการทดลอง

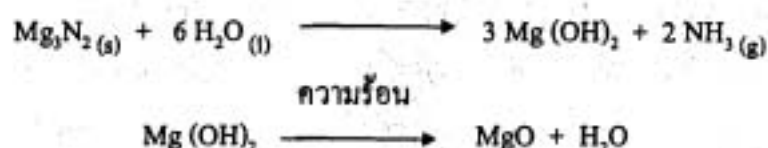
ในการหาสูตรโมเลกุลของแมกนีเซียมออกไซด์ ทำให้ทราบว่า 1 โมเลกุลของสารประกอบด้วยธาตุอะไรบ้างอย่างละเอียด ใน การทดลองจะใช้ลวดแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ



แต่ความเป็นจริงไม่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากในอากาศจะประกอบด้วยปริมาณของก๊าซออกซิเจน 20 % และส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซไนโตรเจนปริมาณ 80 % ดังนั้นเมื่อจะทำการเผาผลาญก๊าซไนโตรเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับถวคมีเนียมก่อนตั้งปฏิกิริยาดังนี้



จากนั้นจะต้องเปลี่ยน  $\text{Mg}_3\text{N}_2$  เป็น  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  โดยให้ทำปฏิกิริยากับน้ำจำนวนเล็กน้อยขณะเผาและเริ่มเผาต่อจน  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  เปลี่ยนเป็น  $\text{MgO}$  โดยสมบูรณ์ดังปฏิกิริยาดังนี้



จากนั้นสามารถหาสูตรโมเลกุลที่แน่นอนของมีเนียมออกไซด์ได้ โดยทราบน้ำหนักถวคมีเนียมก่อนเผาและน้ำหนักถวคมีเนียมหลังเผา การหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบสามารถหาได้จากการทราบ atomic ratio ซึ่งจะทำได้ดังนี้

ขั้นที่ 1. หาน้ำหนักของธาตุต่าง ๆ ในสารประกอบให้ได้ทุกธาตุ เช่น

สาร A ประกอบด้วยคาร์บอน (C)หนัก 32 % ไฮโดรเจน (H)หนัก 4 % นอกนั้นเป็นออกซิเจน (O) (กำหนดให้น้ำหนักโมเลกุลของ C = 12 H = 1 O = 16) ดังนั้นสามารถหาน้ำหนักออกซิเจนได้เท่ากับ  $100 - (32 + 4) = 64$  % ซึ่งจะได้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของธาตุ C:H:O = 32:4:64

ขั้นที่ 2. หา atomic ratio โดยการเอาน้ำหนักอะตอมของธาตุไปหารน้ำหนักของธาตุนั้น  
ในขั้นที่ 1

$$\text{atomic ratio ของ C:H:O} = \frac{32}{12} : \frac{4}{1} : \frac{64}{16}$$

$$= 2.67 : 4 : 4$$

$$\text{เอา 2.76 หารตลอด} = 1 : 1.49 : 1.49$$

$$\text{เอา 2 คูณตลอด} = 2 : 2.98 : 2.98$$

$$= 2 : 3 : 3$$

ขั้นที่ 3. Atomic ratio ต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มลงตัวง่าย ๆ  
จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 เป็นวิธีการหาสูตร empirical ซึ่งเป็นการแสดงอัตราส่วน  
อย่างต่ำระหว่างน้ำหนักอะตอมต่อน้ำหนักของธาตุนั้น เมื่อได้สูตร empirical  
แล้วสามารถหาสูตรโมเลกุล (Molecular formula) ได้จาก

$$\text{สูตรโมเลกุล} = (\text{สูตร Empirical})_n$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, n \text{ และค่า } n \text{ ต้องเป็นเลขลงตัว}$$

ถ้าหาสูตร empirical ของสารประกอบ carbon, hydrogen และ oxygen ได้  
ดังนี้

$$\text{สูตร empirical คือ } C_2H_3O_3$$

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลจากสูตร } C_2H_3O_3 = [(12 \times 2) + (1 \times 3) + (16 \times 3)]_n = 75n$$

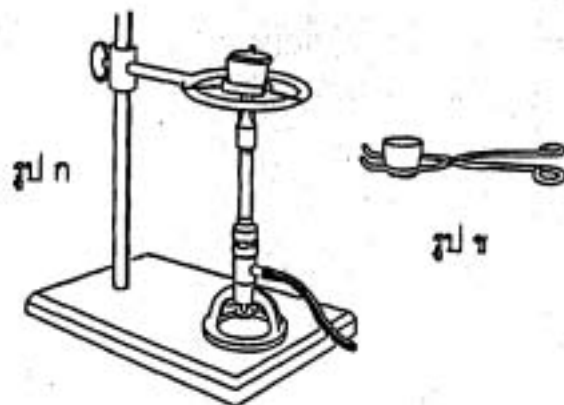
$$\text{ถ้ากำหนดให้น้ำหนักโมเลกุล} = 150$$

$$75n = 150 \quad \text{ดังนั้น } n = 2$$

$$\text{สูตรโมเลกุลของสารนี้คือ } (C_2H_3O_3)_2$$

### วิธีการทดลอง

- นำครุฑิเบิลพร้อมฝาที่แห้งวางบนถาดสามเหลี่ยมที่อยู่บนสามขา ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ก. การเผาครุฑิเบิลและฝา ข. ลักษณะการคีบครุฑิเบิลด้วยคีมคีบ

2. ทำการเผาครุชิลิตและฝาด้วยตะเกียงเบนเสนประมาณ 10 นาทีก่อนจะนำลาวคัมภีนิเซียมมาเผา
3. ปิดตะเกียงเบนเสน นำคีมทองเหลืองคีบครุชิลิตพร้อมฝาวางลงบนแผ่นกระเบื้องซึ่งจัดเตรียมไว้และปล่อยให้เย็นลง ใช้คีมทองเหลืองคีบครุชิลิตพร้อมฝาที่เย็นลง (ห้ามใช้มือจับ) ใส่ในบีกเกอร์เพื่อป้องกันการแตก จากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. นำลาวคัมภีนิเซียมที่ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดมา 1 ช้อน มาจดบันทึกน้ำหนักของลาวไว้
5. ใช้คีมทองเหลืองคีบครุชิลิตพร้อมฝาหลังจากชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางลงบนลาวสามเหลี่ยมอีกครั้ง และนำลาวคัมภีนิเซียมใส่ลงในครุชิลิตและปิดฝา ทำการเผาด้วยตะเกียงเบนเสนอีกประมาณ 20 นาที จากนั้นให้เปิดฝาดู ถ้าลาวคัมภีนิเซียมที่เผายังไม่เป็นแก้วสีขาวให้ทำการเผาต่อจนกระทั่งเป็นแก้วสีขาว
6. ปล่อยให้ครุชิลิตและฝาเย็นลง หยคน้ำกลั่นลงในครุชิลิต 2-3 หยดและปิดฝาทำการเผาต่อไปอีก 10 นาทีจนกระทั่ง  $Mg(OH)_2$  เปลี่ยนเป็น  $MgO$  สมบูรณ์
7. ปิดตะเกียงเบนเสน ใช้คีมทองเหลืองคีบครุชิลิตพร้อมฝาออกจากลาวสามเหลี่ยมวางลงบนแผ่นกระเบื้องและทิ้งให้เย็น ทำการชั่งครุชิลิตพร้อมฝาและลาวคัมภีนิเซียมหลังเผาจดบันทึกน้ำหนักไว้
8. นำน้ำหนักของลาวคัมภีนิเซียมหลังเผาไปคำนวณหาสูตร empirical และสูตรโมเลกุลของสารประกอบคัมภีนิเซียมออกไซด์
9. ให้ทำความสะอาดราบสีดำภายในครุชิลิตโดยใช้กรด  $HCl$  ความเข้มข้น 6 M และล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง เช็ดให้แห้ง

**ผลการทดลอง**

1. น้ำหนักของลาวคัมภีเนียม	..... กรัม
2. น้ำหนักของครุซิบิลและฝ้า	..... กรัม
3. น้ำหนักของลาวคัมภีเนียมและครุซิบิลพร้อมฝ้า ( 1 + 2 )	..... กรัม
4. น้ำหนักของครุซิบิลพร้อมฝ้าและคัมภีเนียมออกไซด์หลังเผา	..... กรัม
5. น้ำหนักของลาวคัมภีเนียมออกไซด์ ( 4 - 2 )	..... กรัม
6. น้ำหนักของออกซิเจนในลาวคัมภีเนียมออกไซด์ ( 5 - 1 )	..... กรัม
7. มวลอะตอมของลาวคัมภีเนียม	24.31
8. มวลอะตอมของออกซิเจน	15.99

**คำถาม**

1. แสดงวิธีการคำนวณหาสูตรอย่างง่าย และสูตรโมเลกุลของลาวคัมภีเนียมออกไซด์ที่ได้จากการทดลอง กำหนดให้มวลโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 40.30

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

2. โลหะโบรไมด์ เมื่อทำให้กลายเป็นไอจะมีความหนาแน่นไอเท่ากับ 17.86 กรัม/Lit ที่ STP ถ้าโลหะ M มีมวลอะตอมเท่ากับ 150 และมีวาเลนซ์เท่ากับ 3 จงหาสูตรโมเลกุลของโลหะโบรไมด์ (น้ำหนักอะตอม Br = 80) (กำหนดให้มวลโมเลกุลของโลหะโบรไมด์เท่ากับ 22.38 เท่าของความหนาแน่นไอ)

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

3. จงหาสูตรอย่างง่ายของสารประกอบ  $C_8H_{16}Cl_2$

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

4. สารประกอบ cyclohexane มีสูตรอย่างง่ายคือ  $CH_2$  และน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 84 จงหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้

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

## การทดลองที่ 4

### การหาปริมาตรกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน (Determination of Molar Volume of Oxygen)

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซในกฎของบอยล์ (Boyle's law) และชาร์ลส์ (Charis's law) ในรูปสมการกฎรวมของก๊าซ นอกจากนั้นยังศึกษากฎความสัมพันธ์ของดอลตัน (Dalton's law) เพื่อคำนวณหาความดันของก๊าซออกซิเจน
2. เพื่อศึกษาการหาปริมาตรกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนจากการทดลอง

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask)
2. ที่ตั้งและฐาน (Stand and base)
3. บีกเกอร์ (Beaker)
4. หลอดทดสอบ (Test tube)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. กระบอกตวง (Graduated cylinder)

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### ของแข็ง

1. สาร Potassium chlorate ( $KClO_3$ ) 2 กรัม
2. สารตะกั่วไดออกไซด์ Manganese dioxide ( $MnO_2$ )

#### ทฤษฎีการทดลอง

กฎเกี่ยวกับก๊าซ กฎที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซมีดังนี้

1. กฎของบอยล์ (Boyle's law)

เมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่าปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับความดัน

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad PV = k$$

กำหนดให้

$V$  = ปริมาตรของก๊าซ

$P$  = ความดันของก๊าซ

$k$  = ค่าคงที่สำหรับก๊าซแต่ละชนิด

ถ้าก๊าซชนิดหนึ่งมีปริมาตร  $V_1$  และความดัน  $P_1$  เปลี่ยนปริมาตรไปเป็น  $V_2$  และความดันเป็น  $P_2$  โดยที่อุณหภูมิคงที่ดังนี้

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{เมื่ออุณหภูมิคงที่}$$

## 2. กฎของชาร์ลส์ (Charles's law)

เมื่อความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะเปลี่ยนไป  $\frac{1}{273}$  เท่าของปริมาตรเดิมที่  $0^\circ\text{C}$  ทุกๆ  $1^\circ\text{C}$  ที่เปลี่ยนไป คือถ้าให้ปริมาตรของก๊าซที่  $0^\circ\text{C}$  เท่ากับ  $V_0$  และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $1^\circ\text{C}$  ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเป็น  $\frac{1}{273} V_0$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรที่ } 1^\circ\text{C} = V_1 = V_0 + \frac{1}{273} V_0$$

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีกเป็น  $1^\circ\text{C}$  ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นอีก  $\frac{1}{273} V_0$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรที่ } 2^\circ\text{C} \text{ จะมีปริมาตรเป็น } V_2 = V_0 + \frac{1}{273} V_0 + \frac{1}{273} V_0$$

$$V_2 = V_0 \left(1 + \frac{2}{273}\right)$$

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $T^\circ\text{C}$  ปริมาตรที่  $T^\circ\text{C}$  คือ  $V_T = V_0 \left(1 + \frac{T}{273}\right)$

$$\text{ดังนั้นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น } t_1^\circ\text{C} \text{ ปริมาตรที่ } t_1^\circ\text{C} = V_{t_1} = V_0 \left(1 + \frac{t_1}{273}\right)$$

$$\text{ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น } t_2^\circ\text{C} \text{ ปริมาตรที่ } t_2^\circ\text{C} = V_{t_2} = V_0 \left(1 + \frac{t_2}{273}\right)$$

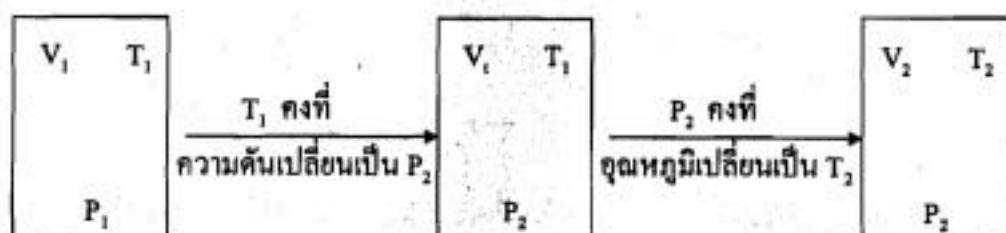
$$\text{จะได้ว่า } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ หรือ } V_1 T_2 = V_2 T_1 \text{ เมื่อความดันคงที่}$$

ถ้า  $T_1$  และ  $T_2$  เรียกว่าอุณหภูมิเคลวิน หรือองศาสมบูรณ์ ( $^\circ\text{K}$ ) กำหนดให้  $^\circ\text{K} = 273.15 + t^\circ\text{C}$



### 3. กฎรวมของก๊าซทั่วไป

ถ้าอุณหภูมิและความดันของก๊าซไม่คงที่ เมื่อรวมกฎทั้ง 2 ของบอยล์และชาส์ลด้วยกัน จะได้กฎทั่วไปของก๊าซคือ



**กฎของบอยล์**

$$P_1 V_1 = P_2 V_1 \quad (4.1)$$

$$V_1 = \frac{P_1 V_1}{P_2} \quad (4.2)$$

**กฎของชาส์ล**

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4.3)$$

$$V_1 = \frac{T_1 V_2}{T_2} \quad (4.4)$$

ดังนั้น (4.2) = (4.4)

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

เนื่องจากในทางเคมี 1 โมลของก๊าซใด ๆ ก็ตามที่สภาวะมาตรฐาน S.T.P. (Standard temperature pressure) หรือ N.T.P. (Normal temperature pressure) คืออุณหภูมิที่  $0^\circ\text{C}$  หรือ  $273.15^\circ\text{K}$  และความดัน 1 บรรยากาศหรือ 760 มม.ปรอท จะมีปริมาตรเท่ากันหมดคือ 22.4 ลิตร ปริมาตรสาร 1 โมล เรียกว่าปริมาตรโมลาร์ หรือปริมาตรกรัมโมเลกุลของสาร ในที่นี้ปริมาตรโมลาร์ของก๊าซที่ S.T.P. มีค่าเท่ากับ 22.4 ลิตรโดยที่

$V_1$  และ  $V_2$  คือ ปริมาตรของก๊าซ

$P_1$  และ  $P_2$  คือ ความดันของก๊าซ

$T_1$  และ  $T_2$  คือ อุณหภูมิของก๊าซเป็นองศา K ( $273.15 + t^\circ\text{C}$ )

#### 4. กฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's law)

ความดันรวมของก๊าซผสมมีค่าเท่ากับผลบวกของความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิดที่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งก๊าซต่าง ๆ ต้องบรรจุอยู่ในภาชนะเดียวกันและไม่ทำปฏิกิริยากันที่ปริมาตรและอุณหภูมิคงที่ จากกฎนี้จะได้สูตรว่า

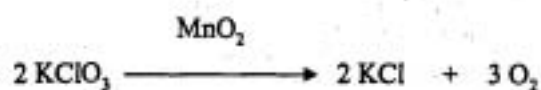
$$P_{(รวม)} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

กฎนี้นำไปใช้เกี่ยวกับการวัดความดันของก๊าซที่เตรียมขึ้นมาและเก็บโดยการแทนที่น้ำ ดังนั้นความดันของก๊าซเหนือน้ำที่วัดได้เป็นความดันรวมระหว่างความดันของก๊าซที่เตรียมได้กับความดันไอน้ำที่อุณหภูมินั้น

$$P_{(รวม \text{ หรือ } ก๊าซ \text{ ขึ้น})} = P_{(ก๊าซ \text{แห้ง})} + P_{(ไอน้ำ)}$$

$$P_{(ก๊าซ \text{แห้ง})} = P_{(ก๊าซ \text{ขึ้น})} - P_{(ไอน้ำ)}$$

ในการทดลองจะทำการหาความดันของก๊าซออกซิเจน โดยการเผา  $KClO_3$  และมี  $MnO_2$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสามารถเก็บก๊าซออกซิเจนได้โดยการแทนที่น้ำ สมการการเกิดปฏิกิริยามีดังนี้



ความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนสามารถหาได้จากกฎความดันย่อยของดอลตันได้ว่า

$$P_{(Oxygen)} = P_{(รวม)} - P_{(ไอน้ำ)}$$

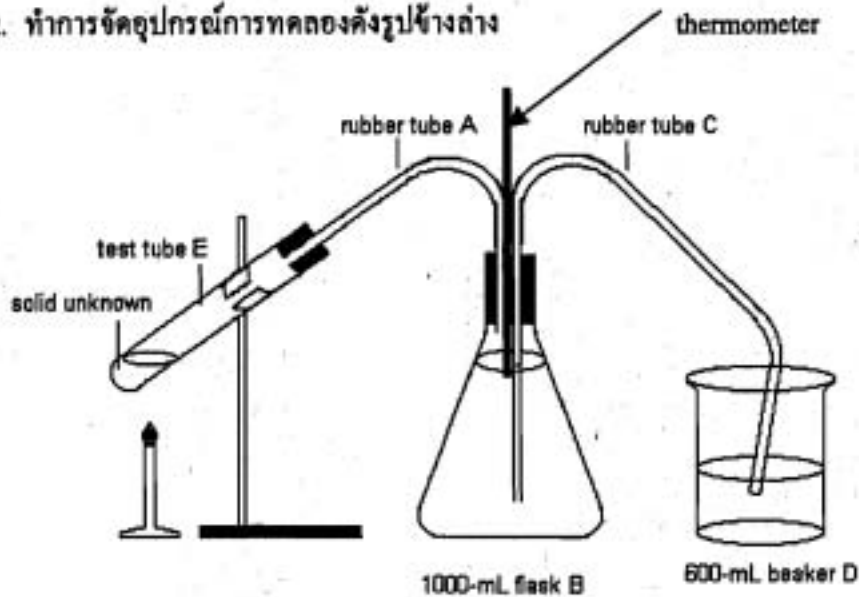
ส่วนค่าความดันของไอน้ำสามารถหาได้จากอุณหภูมิต่าง ๆ ได้ขณะทำการทดลองตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันไอและจุดหมึกของไอน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ความดันไอ ( มม.ปรอท )
24	22.4
25	23.8
26	25.2
27	26.7
28	28.3
29	30.0
30	31.8
31	33.4
32	35.4
33	37.4
34	39.6
35	41.9

## วิธีการทดลอง

1. นำหลอดใส่สารตัวอย่างที่มีสาร  $KClO_3$  และ  $MnO_2$  ซึ่งมีน้ำหนักคิดไว้ที่หลอดทดสอบ ทำการจุดบันทึกน้ำหนักไว้
2. ทำการจัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดเตรียมเครื่องมือหาปริมาณกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน

3. ก่อนทำการทดลองให้เป่าปลายหลอดด้าน tube A เพื่อปรับความดันภายในขวดรูปกรวยเท่ากับความดันภายนอก โดยการสังเกตน้ำจะหยุดไหลจากขวดรูปกรวยลงสู่บีกเกอร์ เทน้ำในบีกเกอร์ทิ้งและนำบีกเกอร์ใบใหม่ที่สะอาดมาวางแทนที่
4. เช็บบลอคทดสอบที่บรรจุสารเข้าที่ปลายด้านเป่า เริ่มเผาสารโดยใช้ไฟอ่อน ๆ จนให้ทั่วทั้งก้นของหลอดทดสอบจนกระทั่งเกิดก๊าซออกซิเจน ( สังเกตจากควันสีขาวที่เกิดขึ้น ) ทำการเผาจนน้ำในขวดรูปกรวยหยุดไหลลงสู่บีกเกอร์ แสดงว่าก๊าซออกซิเจนออกมาหมด ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ที่ไหลออกจากขวดรูปกรวยจะเท่ากับปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่เข้าแทนที่น้ำ
5. ทำการอ่านอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ทันที จุดอุณหภูมิที่วัดได้แล้วนำไปเปิดตารางที่ 4.1 ก็จะได้ความดันของไอน้ำขณะทำการทดลอง

6. นำน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์ดวงใส่กระบอكدวง เพื่อวัดปริมาตรของน้ำที่ก๊าซออกซิเจนเข้าแทนที่
7. นำหลอดทดสอบหลังจากการเผาไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. คำนวณหาค่าความดันของก๊าซออกซิเจน และปริมาตรกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน

#### ผลการทดลอง

ข้อมูล	บันทึกผล
1. ( น้ำหนักหลอดทดสอบ + $KClO_3$ + $MnO_2$ ) ก่อนเผา	.....กรัม
2. ( น้ำหนักหลอดทดสอบ + $KCl$ + $MnO_2$ ) หลังเผา	.....กรัม
3. น้ำหนักของหลอดทดสอบ + $MnO_2$	.....กรัม
4. น้ำหนักของ $KClO_3$	.....กรัม
5. อุณหภูมิของก๊าซออกซิเจน	..... $^{\circ}C$
6. ปริมาตรของก๊าซออกซิเจน = ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์	.....mL
7. ความดันของอากาศที่อ่านจากบารอมิเตอร์	.....มม.ปรอท
8. ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิทำการทดลอง	.....มม.ปรอท

#### ตารางแสดงผลและการคำนวณ

1. น้ำหนักของก๊าซออกซิเจน	
2. อุณหภูมิ ( $^{\circ}K$ )	
3. ความดันของก๊าซออกซิเจน	
4. ปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการแทนที่น้ำ	
5. ปริมาตรของก๊าซออกซิเจน ( ที่สภาวะมาตรฐาน , STP ) จากการคำนวณในข้อ 4	
6. จำนวน โมลของก๊าซออกซิเจน ( ที่ได้จากการทดลอง )	

<p>7. ปริมาตรกรัมโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนที่ได้จากการทดลอง</p> <p><math>\frac{\text{ข้อ 5} \times 1 \text{ mole}}{\text{ข้อ 6}}</math></p>	
<p>8. เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด</p> <p><math>\frac{22.4 \text{ lit} - \text{ข้อ 7}}{22.4 \text{ lit}} \times 100</math></p>	

**คำถาม**

1. เพราะเหตุใดการวัดปริมาณของก๊าซออกซิเจน จึงวัดเป็นค่าปริมาตรมากกว่าวัดเป็นน้ำหนัก  
.....  
.....  
.....
2. เหตุใดจึงต้องปรับความดันในขวดกันแวนเท่ากับความดันภายนอก ก่อนทำการเผาสารในหลอดทดสอบที่บรรจุสารตัวอย่าง  
.....  
.....  
.....  
.....
3. จงบอกคุณสมบัติของสารอะตอมลิธที่ใช้ในการเตรียมก๊าซออกซิเจน  
.....  
.....  
.....  
.....

4. ในการเตรียมก๊าซออกซิเจนโดยการเผาของผสม  $KClO_3$  และ  $MnO_2$  หนัก 52.5 กรัม ทำการเก็บก๊าซโดยการแทนที่น้ำวัดปริมาตรได้ 80 mL ความดันอากาศขณะทดลองเท่ากับ 740 มม.ปรอท และอุณหภูมิของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ  $35^\circ C$  จงตอบคำถามต่อไปนี้

4.1 จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 จำนวนโมลของก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

4.3 ปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน

.....

.....

.....

.....

.....

## การทดลองที่ 5

### ความร้อนของปฏิกิริยา

(Heat of Reaction)

---

#### วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาความร้อนของปฏิกิริยาเคมี ในแง่ของปฏิกิริยาการคายความร้อน (Exothermic reaction) และปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ของสารแอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) และแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ )
2. เพื่อศึกษาความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask)
2. บีกเกอร์ (Beaker)
3. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
4. ชุดอุปกรณ์ถ้วยโฟม (Styrofoam cup set)
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
6. กระบอกตวง (Graduated cylinder)
7. ตะเกียงบุนเสน (Bunsen burner)

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลาย

1. เกลือ Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )
2. เกลือ Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
3. 0.25 และ 0.5 M Hydrochloric acid ( $\text{HCl}$ )
4. 0.5 M Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ )

##### ของแข็ง

- 2 กรัม Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}(s)$ )

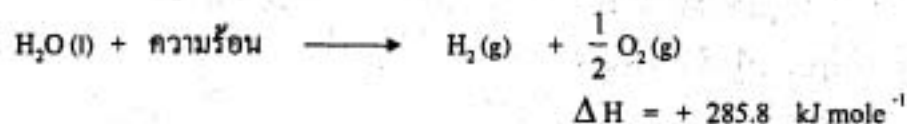


### ทฤษฎีการทดลอง

ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสามารถวัดได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) ซึ่งการวัดปริมาณความร้อนสามารถแทนด้วย  $\Delta H$  ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของปฏิกิริยาหรือความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction) ค่า  $\Delta H$  จะขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มแรกและสถานะสุดท้ายของระบบ ถ้าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาการสันดาปจะเรียกว่า heat of combustion ถ้าความร้อนที่เกิดจากกรดและเบสทำปฏิกิริยากันเรียกว่า heat of neutralization ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

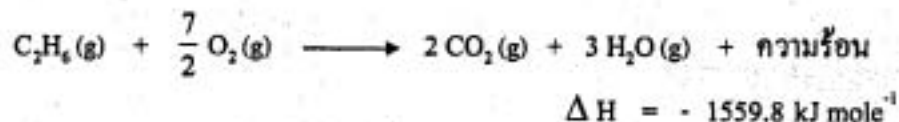
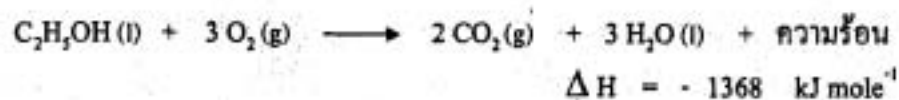
#### 1. ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction)

ปฏิกิริยาดูดความร้อน ค่า  $\Delta H$  มีเครื่องหมายเป็นบวกที่  $25^{\circ}\text{C}$



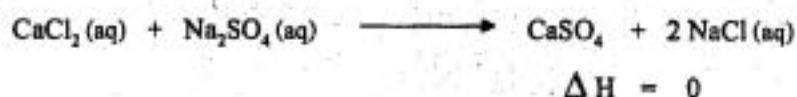
#### 2. ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction)

ปฏิกิริยาคายความร้อน ค่า  $\Delta H$  มีเครื่องหมายเป็นลบที่  $25^{\circ}\text{C}$



#### 3. ปฏิกิริยาไม่มีการดูดหรือคายความร้อน (Athermic reaction)

ปฏิกิริยาไม่มีการดูดหรือคายความร้อน ค่า  $\Delta H$  มีเครื่องหมายเป็นศูนย์ที่  $40^{\circ}\text{C}$



ปริมาณความร้อนที่คายออกมา พบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในแคลอรีมิเตอร์ จะทำให้จำนวนน้ำในแคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการวัดผลของความร้อนสามารถวัดได้จากปฏิกิริยาคายความร้อน หรือปฏิกิริยาดูดความร้อนของสาร ซึ่งความร้อนนี้วัดค่าได้จากค่าความร้อนจำเพาะของสารละลาย ในกรณีหน่วยของการวัดปริมาณความร้อนจะวัดเป็นหน่วยแคลอรี (Calories) ซึ่งหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  ส่วนความร้อนจำเพาะของสารหมายถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้สาร 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  การคำนวณหาปริมาณความร้อนทั้งหมดของปฏิกิริยาเคมีสามารถหาได้จากน้ำหนักของน้ำในภาชนะและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจากสูตร

$$Q = M \times S \times \Delta t$$

ให้	Q = ปริมาณความร้อน	หน่วยเป็น	Cal , Kcal หรือ kJ
	M = มวลของน้ำ	หน่วยเป็น	กรัม หรือ กิโลกรัม
	$\Delta t$ = อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	หน่วยเป็น	$^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$
	S = ความร้อนจำเพาะของสาร	หน่วยเป็น	Cal / g - deg

#### ความร้อนของสารละลาย (Heat of Solution)

ในการทดลองเมื่อละลายสาร  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ในน้ำ ปรากฏว่าอุณหภูมิของสารละลายจะลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าใส่สาร  $\text{NaOH}$  มาละลายน้ำอุณหภูมิของสารที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้  $\text{NaOH}$  ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นย่อมทำให้อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาร  $\text{NH}_4\text{Cl}$  จะดูดกลืนความร้อนจากน้ำและสาร  $\text{NaOH}$  มีการคายความร้อนออกมา เมื่อนำสารทั้งสองมาละลายในน้ำ ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถูกดูดกลืนหรือคายออกมาต่อสาร 1 โมล ของ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{NaOH}$  เมื่อนำมาละลายในน้ำจำนวนหนึ่งเรียกว่า เอนทัลปีของสารละลายหรือความร้อนของสารละลาย ( $\Delta H_{\text{soln}}$ ) ค่าความร้อนของสารละลายมีค่าต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดความเข้มข้นของตัวละลายและตัวทำละลาย ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อตัวละลายถูกละลายในตัวทำละลายจะได้สารละลายที่มีการดูดกลืนความร้อน ค่า  $\Delta H_{\text{soln}}$  จะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าตัวละลายถูกละลายในตัวทำละลายและได้สารละลายที่มีการคายความร้อน ค่า  $\Delta H_{\text{soln}}$  จะมีค่าเป็นลบ

### ขั้นตอนของการละลาย

ขั้นตอนของการละลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคตัวละลายและตัวละลาย หรืออนุภาคของตัวทำละลายและตัวทำละลาย

ขั้นตอนที่ 2 การรวมตัวของอนุภาคตัวละลายและตัวทำละลาย

ในขั้นตอนที่ 1 ต้องอาศัยพลังงาน ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นการปล่อยพลังงาน ดังนั้นผลรวมของ 2 ขั้นตอนจึงเป็นพลังงานความร้อนทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงสำหรับการละลาย ซึ่งค่า  $\Delta H_{\text{sol}}$  อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

ถ้าสารละลายเป็นของแข็งเช่น NaOH เมื่อนำมาละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวให้อิออนิกเกิดขึ้นซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน

#### ขั้นตอนที่ 1

ไอออนิกบวกและลบของผลึก NaOH จะแยกออกจากกันเป็นอิสระ ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยพลังงานในการทำละลายไอออนิกทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นพลังงานในขั้นตอนนี้เรียกว่า พลังงานแลตทิซผลึก หรือพลังงานแลตทิซ (Lattice energy)

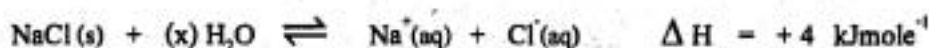


#### ขั้นตอนที่ 2

โมเลกุลของน้ำมาล้อมรอบไอออนิกเหล่านั้น การรวมตัวของไอออนิกที่ถูกห้อมล้อมด้วยน้ำจะให้พลังงานออกมาเรียกว่า พลังงานไฮเดรชัน (Hydration energy)



ถ้าเอาทั้ง 2 ขั้นตอนมารวมกันจะได้



ดังนั้น  $\Delta H_{\text{sol}}$  จึงเท่ากับ lattice energy รวมกับค่า hydration energy ซึ่งค่า  $\Delta H_{\text{sol}}$  ของ lattice energy จะมีค่าเป็นบวก ส่วนค่า  $\Delta H_{\text{sol}}$  ของ hydration energy จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้น

Lactic energy > Hydration energy      $\Delta H_{soln}$    มีค่าเป็นบวก อุณหภูมิของสารละลายลดลง  
 ขณะละลายน้ำ

Lactic energy < Hydration energy      $\Delta H_{soln}$    มีค่าเป็นลบ อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น  
 ขณะละลายน้ำ

### ความร้อนของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

เมื่อนำน้ำแข็งมาละลายในน้ำ ความร้อนของปฏิกิริยาจะเกิด 2 ลักษณะด้วยกันคือ น้ำแข็ง จะดูดความร้อนจากน้ำ เพื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำจะคายความร้อนให้แก่ น้ำแข็ง เพื่อลด อุณหภูมิลง และสามารถคำนวณหาความร้อนของการหลอมเหลวของน้ำแข็งได้จากสูตร

ความร้อนที่น้ำคายออกมา = ความร้อนที่น้ำแข็งดูดกลืน

$$M_{(น้ำ)} \times S_{(น้ำ)} \times \Delta t_{(น้ำ)} = [M_{(น้ำแข็ง)} \times (\text{ความร้อนแฝงแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว น้ำแข็ง})] + [M_{(น้ำแข็ง)} \times S_{(น้ำแข็ง)} \times \Delta t_{(น้ำแข็ง)}]$$

ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว ( Specific latent heat of fusion ) ของน้ำแข็ง คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำแข็ง 1 กรัม  $0^{\circ}\text{C}$  เปลี่ยนสถานะกลายเป็นน้ำเหลว 1 กรัม  $0^{\circ}\text{C}$  มีค่าประมาณ 80 แคลอรี/กรัม หรือ  $3.35 \times 10^5$  จูล/กิโลกรัม หรือ 80 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

### วิธีการทดลอง

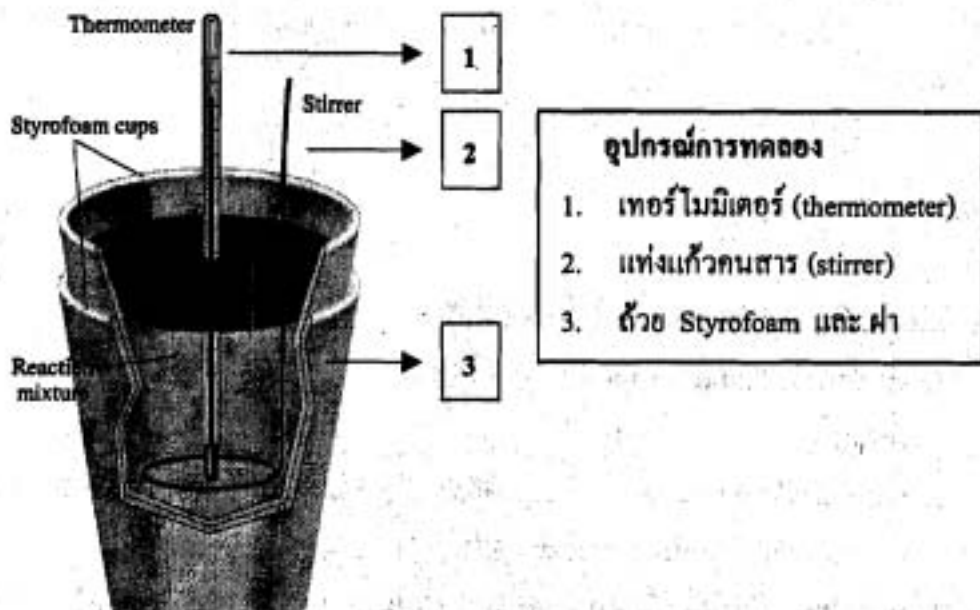
#### 1. การดูดกลืนความร้อนโดยน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

1. เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จำนวน 50 mL ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำ เริ่มต้น
2. นำบีกเกอร์ไปตั้งบน hot plate หรือตะเกียงเบนเสน ให้ความร้อนแก่น้ำพร้อมทั้งคนสม่ำเสมอจนได้อุณหภูมิประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  ทำการวัดอุณหภูมิสุดท้าย
3. นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้เริ่มต้น และสุดท้ายไปคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ถูกดูดกลืน โดยน้ำจากสูตร  $Q = MS\Delta t$

2. การหาความร้อนของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง มีขั้นตอนดังนี้

1. นำน้ำที่อุ่นแล้วจากการทดลองที่ 1 มาใช้ โดยใช้กระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 30 mL ทำการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นใหม่อีกครั้งและจดบันทึกไว้
2. นำน้ำแข็งแห้งมาประมาณ 20 กรัม (ไม่ต้องชั่ง) ใส่ในถ้วย styrofoam
3. จากนั้นเทน้ำอุ่นที่ตวงได้ 30 mL ลงในถ้วย styrofoam ที่มีน้ำแข็ง 20 กรัมอยู่พร้อม ปิดฝาและเจียบเทอร์โมมิเตอร์ลงบนฝาของถ้วย styrofoam ทำการเขย่าอย่างรวดเร็วให้ อุณหภูมิตกลงจากเริ่มต้นที่วัดครั้งแรกประมาณ 20 – 30 °C ทำการจดบันทึกอุณหภูมิที่ อ่านได้สุดท้าย
4. จากนั้นเปิดฝาและนำเทอร์โมมิเตอร์ออก ถ้าน้ำแข็งละลายไม่หมดให้โยกทิ้งไป เทน้ำที่ได้ทั้งหมดลงในถ้วย styrofoam ลงในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาตรของน้ำทั้งหมด ปริมาตรของน้ำที่เกินจากจำนวน 30 mL คือปริมาตรของน้ำแข็งส่วนที่ละลาย
5. ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง และคำนวณหาค่าความร้อนของการหลอมเหลวของ น้ำแข็ง

3. ความร้อนที่เกิดจากการละลายเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{CaCl}_2$  มีขั้นตอนดังนี้



1. นำถ้วย styrofoam 2 ใบมาซึ่งน้ำหนักด้วยเครื่องชนิดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
  2. ชั่งน้ำหนักเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{CaCl}_2$  ทั้ง 2 ชนิด โดยมีน้ำหนักอย่างละ 5 กรัม ลงในถ้วย styrofoam แต่ละใบ
  3. ใช้กระบอกตวงขนาด 100 mL ทำการตวงน้ำให้ได้ปริมาตร 30 mL จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นและจดบันทึกไว้
  4. เทน้ำจำนวน 30 mL ที่ตวงได้ลงในถ้วย styrofoam แต่ละใบที่ชั่งน้ำหนักเกลือไว้แล้ว พร้อมปิดฝาและเขียนเทอร์โมมิเตอร์บนฝาของถ้วย styrofoam
  5. เขย่าด้วย styrofoam จนกระทั่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจากเริ่มต้น ทำการวัดอุณหภูมิสุดท้ายที่ได้และจดบันทึกไว้
  6. นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้เริ่มต้นและสุดท้ายของการละลายเกลือทั้ง 2 ชนิด ไปหาค่าความร้อนของการละลายเกลือทั้ง 2 ชนิดว่าเกลือชนิดใดเกิดปฏิกิริยาคูดหรือคายความร้อน กำหนดให้ความร้อนจำเพาะของสารละลายเท่ากับความร้อนจำเพาะของน้ำ
4. การหาความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง  $\text{NaOH}$  และ  $\text{HCl}$
- 4.1 ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NaOH}$  ที่เป็นของแข็งละลายในน้ำ
1. ก่อนทำการทดลองให้ชั่งน้ำหนักขวดรูปกรวยขนาด 250 mL ด้วยเครื่องชั่งชนิดหยวนไว้เพื่อคำนวณหาค่าความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยแก้ว
  2. นำกระบอกตวงขนาด 100 mL ทำการตวงน้ำจำนวน 100 mL เทลงในขวดรูปกรวยที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ใช้เทอร์โมมิเตอร์ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นและจดบันทึก
  3. ชั่งน้ำหนัก  $\text{NaOH}$  มาประมาณ 1.04 กรัม เทลงในขวดรูปกรวย ทำการคนจนกระทั่ง  $\text{NaOH}$  ละลายหมด ทำการวัดอุณหภูมิสุดท้ายและจดบันทึกไว้
- 4.2 ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{NaOH}$  ที่เป็นของแข็งละลายในสารละลายกรด  $\text{HCl}$
1. การทดลองทำเหมือนกับข้อ 4.1 แต่สารละลายจะใช้กรด  $\text{HCl}$  ความเข้มข้น 0.25 M จำนวน 100 mL แทนน้ำ
  2. ทำการวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของกรด  $\text{HCl}$  และอุณหภูมิสุดท้ายเมื่อ  $\text{NaOH}$  ละลายในกรด  $\text{HCl}$  จนหมด จากนั้นคำนวณหาค่าความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน

4.3 ปฏิกริยาระหว่างสารละลาย NaOH และสารละลายกรด HCl

- ใช้กระบอกตวงทำการตวงสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.5 M จำนวน 50 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL บันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลายไว้
- ใช้กระบอกตวงทำการตวงสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.5 M จำนวน 50 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จากนั้นเทสารละลาย HCl ลงในสารละลาย NaOH ในข้อ 1 พร้อมทั้งคนอย่างสม่ำเสมอให้ทั่ว จดบันทึกอุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย

หมายเหตุ ความร้อนจำเพาะของแก้ว = 0.2 Cal / g-deg

**ผลการทดลอง**

1. การชดเชยความร้อนโดยน้ำ

ข้อมูล	บันทึกผล
1. ปริมาตร (น้ำหนัก) ของน้ำในบีกเกอร์	.....กรัม
2. อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	.....°C
3. อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ	.....°C
4. อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำ (ข้อ 3 - ข้อ 2)	.....°C
5. ปริมาณความร้อนที่ถูกชดเชยโดยน้ำ [(ข้อ 1) × (ข้อ 4) × 1]	.....Cal

**คำถาม**

แสดงการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถูกชดเชยโดยน้ำ 1 กรัมจากการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

## 2. ความร้อนของการหลอมละลายของน้ำแข็ง

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1. ปริมาตร ( กรัม ) ของน้ำอุ่นที่ใช้ ( แบ่งมา 30 mL )		กรัม
2. อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ ( หลังแบ่งมา 30 mL )		°C
3. อุณหภูมิสุดท้าย ( ขณะน้ำแข็งละลายหมด )		°C
4. อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ( $\Delta t$ )		°C
5. ปริมาตรน้ำทั้งหมดหลังจากเอาน้ำแข็งที่เหลือออกไป		กรัม
6. จำนวนกรัมของน้ำแข็งที่ละลาย ( ข้อ 5 - ข้อ 1 )		กรัม
7. ปริมาณความร้อนแฝงจำเพาะในการหลอมเหลว น้ำแข็งทั้งหมด		Cal.
8. ปริมาณความร้อนแฝงจำเพาะที่ต้องการในการหลอมเหลว น้ำแข็ง 1 กรัม		Cal / g

### คำถาม

จงหาปริมาณความร้อนแฝงจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเหลว น้ำแข็งทั้งหมด และปริมาณความร้อนแฝงจำเพาะที่ใช้ในการหลอมเหลว น้ำแข็ง 1 กรัม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



3. ความร้อนของการละลายของเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  และ  $\text{CaCl}_2$

ข้อมูล	เกลือ $\text{NH}_4\text{Cl}$	เกลือ $\text{CaCl}_2$
1. น้ำหนักของถ้วย styrofoam		กรัม
2. น้ำหนักของถ้วย styrofoam + น้ำหนักเกลือ		กรัม
3. ปริมาตร ( น้ำหนัก ) ของน้ำในกระบอกตวง		กรัม
4. น้ำหนักของเกลือ ( ข้อ 2 - ข้อ 1 )		กรัม
5. น้ำหนักของสารละลาย ( ข้อ 3 + ข้อ 4 )		กรัม
6. อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ		$^{\circ}\text{C}$
7. อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย		$^{\circ}\text{C}$
8. อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง		$^{\circ}\text{C}$
9. ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่คายหรือดูดจากปฏิกิริยา		Cal.
10. ความร้อนของสารละลายต่อกรัมของเกลือ		Cal.
11. ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายหรือดูดความร้อน		

คำถาม

1. จงแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนทั้งหมดที่คาย หรือดูดความร้อนจากปฏิกิริยาของการละลายเกลือแต่ละตัว

.....

.....

.....

.....

2. จะทราบได้อย่างไรว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อน เพราะเหตุใด

.....

.....

4. ความร้อนของการสะเทินระหว่าง NaOH และ HCl

ข้อมูล	ปฏิกิริยา NaOH <sub>(s)</sub> ละลายน้ำ	ปฏิกิริยาระหว่าง NaOH <sub>(s)</sub> / HCl	ปฏิกิริยาระหว่าง NaOH <sub>(aq)</sub> / HCl
1. อุณหภูมิเปลี่ยนไป ( $\Delta t$ )			
2. ความร้อนที่สารละลายดูดกลืน			
3. ความร้อนที่ภาชนะดูดกลืน			
4. ความร้อนทั้งหมดที่ดูดกลืน			
5. จำนวนโมลของ NaOH ที่ใช้			
6. ปริมาณความร้อนต่อ โมลของ NaOH			

น้ำหนักของขวดรูปกรวยแต่ละใบ

ใบที่ 1 = ..... กรัม  
 ใบที่ 2 = ..... กรัม  
 ใบที่ 3 = ..... กรัม

คำถาม

1. จงแสดงการคำนวณปริมาณความร้อนต่อไปนี้
  - 1.1 ปริมาณความร้อนที่สารละลายดูดกลืน
  - 1.2 ปริมาณความร้อนที่ภาชนะดูดกลืน ( ความร้อนจำเพาะของแก้วเท่ากับ 0.2 Cal / g - deg )
  - 1.3 ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถูกดูดกลืน

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

2. ปริมาณความร้อนของแต่ละปฏิกิริยาต่อโมลของ NaOH ที่ใช้ไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ปฏิกิริยาสะเทินนี้เป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# การทดลองที่ 6

## อัตราของปฏิกิริยาเคมี

(Rate of Chemical Reaction)

---

### วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยาอันเนื่องมาจาก
  - 1.1 ความเข้มข้นของสารที่มีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโพตัสเซียมไอโอเดต ( $KIO_3$ ) และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ( $Na_2S_2O_3$ ) ในสารละลายกรดที่มีน้ำแป้งเป็นตัวบ่งชี้การยุติของปฏิกิริยา (Iodine - Clock reaction)
  - 1.2 อุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา
  - 1.3 ผลของคะตะลิสต์ แมงกานีสซัลเฟต ( $MnSO_4$ ) หรือ แอมโมเนียมโมลิบเดต ( $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ) ที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา
2. เพื่อศึกษาอัตราของปฏิกิริยา (Rate of reaction) ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) อันดับของปฏิกิริยา (Order of reaction) และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (Rate constant)

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. บีกเกอร์ (Beaker)              | 6. หลอดหยดสาร (Dropper)          |
| 2. กระบอกตวง (Graduated cylinder) | 7. ปิเปต (Pipette)               |
| 3. หลอดทดสอบ (Test tube)          | 8. นาฬิกาจับเวลา (Clock watch)   |
| 4. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)   | 9. ตะเกียงบุนเสน (Bunsen burner) |
| 5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)   | 10. ตะแกรงลวด (Wire gauze)       |

## **สารเคมีที่ใช้ทดลอง**

### **สารละลาย**

1. 0.01 M Sodium metabisulphite ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )
2. 0.01 M Potassium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ )
3. 0.02 M Potassium iodate ( $\text{KIO}_3$ )
4. 0.1 M Manganese sulphate ( $\text{MnSO}_4$ )
5. 0.1 M Sodium oxalate ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )
6. 0.1 M Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
7. 0.1 M Ammonium molybdate ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
8. 0.1 M และ 0.5 M Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
9. 0.6 M Potassium iodide (KI)
10. 0.05 M Oxalic acid ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )
11. 1% น้ำแป้ง
12. สารละลาย A 0.02 M  $\text{KIO}_3$
13. สารละลาย B 0.01 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  ในสารละลายกรดที่มีน้ำแป้ง

### **ทฤษฎีการทดลอง**

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นมีอัตราของการเกิดเร็วและช้าต่างกัน ซึ่งบางปฏิกิริยาอาจจะต้องใช้เวลานานหลายวัน เช่น การเกิดสนิมของเหล็กหรือการพุกร่อนของโลหะ บางปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นได้เร็ว เช่น ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  กับ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ให้  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4$  อัตราของปฏิกิริยาสามารถวัดด้วยจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาต่อหน่วยเวลาที่ผ่านไป ซึ่งจะวัดเป็นความเข้มข้นของสารเป็น โมล/ลิตร และระยะเวลาจะวัดเป็น วินาที นาที ชั่วโมง หรือวัน อัตราของการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งได้แก่

1. ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา
2. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)
4. ความเข้มข้นของสารเข้าทำปฏิกิริยา

### 1. ชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

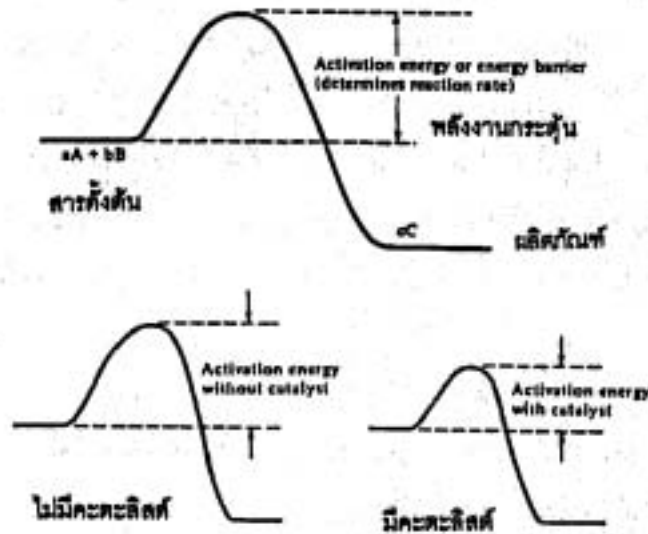
ชนิดของสารแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเร็วหรือช้าต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารนั้น ๆ ในหมู่ของตารางธาตุ เช่น ธาตุในหมู่ VII A ได้แก่คลอรีน (Cl) กับธาตุในหมู่ IA ได้แก่ไฮโดรเจน (H) ซึ่งทั้ง 2 หมู่จะทำปฏิกิริยากันรุนแรงมาก หรือถ้าเอาชิ้นของแมกนีเซียมมาทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ จะได้ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นทันทีและเร็วมาก แต่ถ้าเอาชิ้นของเหล็กมาทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก จะให้ก๊าซไฮโดรเจนเช่นเดียวกัน แต่ปฏิกิริยาเกิดได้ช้ามาก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำปฏิกิริยา

### 2. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง

ปฏิกิริยาเคมีบางชนิดต้องอาศัยอุณหภูมิเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น บางปฏิกิริยาถ้าปล่อยให้ทำปฏิกิริยากันเองในสภาวะอุณหภูมิปกติอาจจะต้องใช้เวลานานหรือไม่เกิดก็ได้ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ปฏิกิริยาเท่ากับเป็นการเพิ่มอัตราของปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจะทำให้อนุภาคของสารเข้าทำปฏิกิริยามีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ดังนั้นอนุภาคจะต้องมีพลังงานมากพอที่จะปะทะกันแล้วจึงจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น เช่น การรวมตัวของก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซออกซิเจน จะเกิดเป็นน้ำจำนวนมากหรือแทบไม่เกิดขึ้นเลยในสภาวะอุณหภูมิปกติ แต่ถ้าให้ความร้อนหรือจุดไฟก๊าซทั้งสองจะรวมตัวกันอย่างรุนแรงจนเกิดการระเบิดได้ไอน้ำเกิดขึ้น หรืออาหารที่เก็บในตู้เย็นจะไม่เกิดการบูดเน่า แต่ถ้านำมาไว้อุณหภูมิห้องจะเกิดการบูดเน่าได้เนื่องจากความร้อนไปเพิ่มอัตราของปฏิกิริยา

### 3. ตัวเร่งของปฏิกิริยาหรือคะตะลิสต์ (Catalyst)

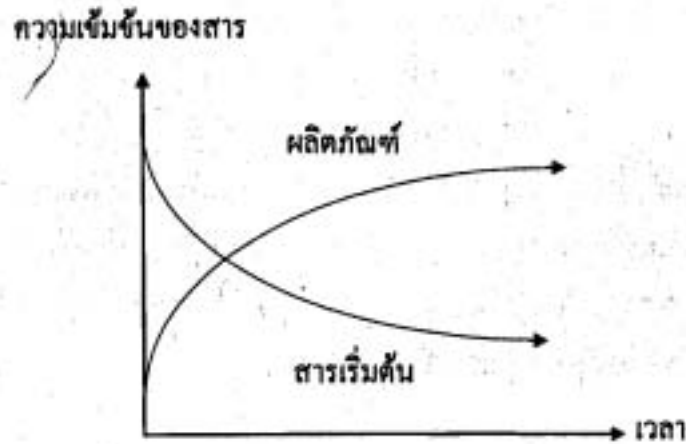
คะตะลิสต์เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา หรือลดค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ของปฏิกิริยาให้ต่ำลง ตัวคะตะลิสต์จะเข้าร่วมตัวกับสารตั้งต้นเพื่อจัดโครงสร้างให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ตัวคะตะลิสต์ก็จะกลับคืนเป็นสารตัวเดิม ตัวอย่างของคะตะลิสต์ที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ การฟอกขาวสีของ  $KMnO_4$  และ  $Na_2C_2O_4$  โดยมี  $MnSO_4$  เป็นคะตะลิสต์ จึงทำให้สีของ  $KMnO_4$  จะเปลี่ยนจากสีม่วงไปเป็นไม่มีสี ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าที่ไม่มีคะตะลิสต์ในปฏิกิริยา



รูปที่ 6.1 แสดงปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

#### 4. ความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา

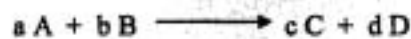
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งในปฏิกิริยา จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ค่าความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ โมล / ลิตร และเวลาที่ใช้ไปในการทำปฏิกิริยาสามารถวัดเป็นวัน ชั่วโมง นาที หรือวินาที ขึ้นอยู่กับอัตราของปฏิกิริยาว่าเกิดขึ้นเร็วหรือช้า ปฏิกิริยามักจะเกิดรวดเร็วในตอนเริ่มต้นและค่อย ๆ ช้าลง เนื่องจากปริมาณของตัวทำปฏิกิริยาลดลง



รูปที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่อเวลา

ปฏิกิริยาเคมีอาจเกิดเป็นขั้น ๆ ต่อเนื่องกัน ถ้าลำดับของการเกิดปฏิกิริยาคือกลไกของปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสารจะใช้วงเล็บ [ ] เป็นสัญลักษณ์ซึ่งมีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร เช่น ความเข้มข้นของสาร A จะเขียนเป็น [A] ถ้าสารตั้งต้นของปฏิกิริยามีมากกว่า 1 ชนิด อัตราของการเกิดปฏิกิริยาเคมีอาจจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งหรืออาจจะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นทุกตัว

ถ้าสาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B ได้สาร C กับสาร D ดังสมการ



$$\begin{aligned} \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา หรือ rate} &= \frac{\text{ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงในปฏิกิริยา}}{\text{เวลา}} \\ &= \frac{\text{ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา}}{\text{เวลา}} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นอัตราการหายไปของ [A] และ [B]} = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt}$$

$$\text{หรืออัตราการเกิดขึ้นของ [C] และ [D]} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$$

เครื่องหมายลบแสดงถึงความเข้มข้นของ [A] และ [B] ที่ลดลง ส่วนเครื่องหมายบวกจะแสดงถึงความเข้มข้นของ [C] และ [D] ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารมีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎอัตราในรูปทั่วไปดังนี้

$$-\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = K [A]^x [B]^y$$

$$\text{หรือ rate} = K [A]^x [B]^y$$

ค่า x และ y ไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นของสาร [A] และ [B] และไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับ a และ b ในปฏิกิริยา ซึ่งค่า x และ y สามารถหาได้โดยควบคุมความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งให้คงที่ เช่น สามารถหาค่า x ได้โดยควบคุมความเข้มข้นของสาร [B] ให้



คงที่แล้วเปลี่ยนความเข้มข้นของสาร [A] และสามารถหาค่า  $y$  ได้โดยควบคุมความเข้มข้นของสาร [A] ให้คงที่แล้วเปลี่ยนความเข้มข้นของสาร [B]

ให้  $K$  = ค่าคงที่ของอัตราของปฏิกิริยา (Rate constant) จะเป็นค่าเฉพาะปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่ขณะทำการทดลอง

$x$  = อันดับของปฏิกิริยาในแง่ของความเข้มข้นของ A

$y$  = อันดับของปฏิกิริยาในแง่ของความเข้มข้นของ B

$x + y$  = อันดับรวมของปฏิกิริยา

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของ

$x + y = 0$  เรียกปฏิกิริยาว่าเป็นอันดับศูนย์ หรือ Zero order

$x + y = \frac{1}{2}$  เรียกปฏิกิริยาว่าเป็นอันดับครึ่ง หรือ Half order

$x + y = 1$  เรียกปฏิกิริยาว่าเป็นอันดับหนึ่ง หรือ First order

$x + y = 2$  เรียกปฏิกิริยาว่าเป็นอันดับที่สอง หรือ Second order

$x + y = 3$  เรียกปฏิกิริยาว่าเป็นอันดับที่สาม หรือ Third order

ถ้าปฏิกิริยาของสาร  $2A + 3B \longrightarrow C + D$

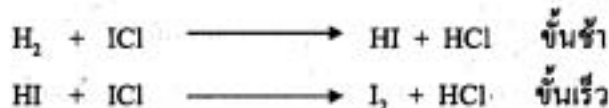
กฎอัตราจะเขียนเป็น  $r = K[A]^x[B]^y$  ทันทที่ไม่ได้เนื่องจากปฏิกิริยาไม่ได้ดำเนินไปขั้นตอนเดียวได้สารทางด้านขวามือเท่านั้น แต่ปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะประกอบขึ้นหลายขั้นตอนก่อนจะได้สารผลิตภัณฑ์ และในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีขั้นตอนที่ช้าที่สุด ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราของปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ขั้นกำหนดอัตรา

ตัวอย่างของปฏิกิริยา



อัตราของปฏิกิริยาหาได้จากการทดลองได้แก่  $r = [H_2][ICl]$  ไม่ใช่  $r = [H_2][ICl]^2$

เพราะปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ขั้นตอน และอัตราของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาขั้นแรกซึ่งช้าที่สุด



ดังนั้นกฎอัตราเป็นสมการที่แสดงว่า อัตราของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารและหาได้จาก การทดลองเท่านั้น

### วิธีการทดลอง

#### 1. ความเข้มข้นของสารที่มีผลต่ออัตราปฏิกิริยา ( Iodine - Clock reaction )

การหาความเข้มข้นของสารที่มีผลต่ออัตราปฏิกิริยา ในการทดลองจะเตรียมสารละลายผสมทั้งหมด 5 ชุด

##### 1. การเตรียมสารละลายผสมที่ 1

1.1 ปิเปตสารละลาย A ( $KIO_3$ , ความเข้มข้น 0.02 M ) จำนวน 10 mL ลงในบีกเกอร์ 250 mL เติมน้ำกลั่น 40 mL คนให้เข้ากัน

1.2 ปิเปตสารละลาย B ( $Na_2S_2O_3$ , ความเข้มข้น 0.01 M ในสารละลายกรดที่มีน้ำแข็ง) 10 mL ลงในหลอดทดสอบ จากนั้นเทสารละลาย B ลงใน A พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ทำการจับเวลาจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงิน บันทึกเวลาของการเปลี่ยนแปลงสี

##### 2. การเตรียมสารละลายผสมที่ 2 ถึง 5

2.1 ในสารละลายผสมที่ 2 ถึง 5 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1.1 และข้อ 1.2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย A และ B ตามตารางข้างล่าง ควรทำการทดลองสารละลายผสม 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

สารละลายผสม	สารละลาย A ( mL )	สารละลาย B ( mL )	น้ำกลั่น ( mL )
1	10	10	40
2	10	20	20
3	10	30	20
4	20	30	10
5	30	30	0

## 2. อุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

สารละลายที่ใช้ทดลองประกอบด้วย

สารละลาย A ( $KIO_3$  ความเข้มข้น 0.02 M)

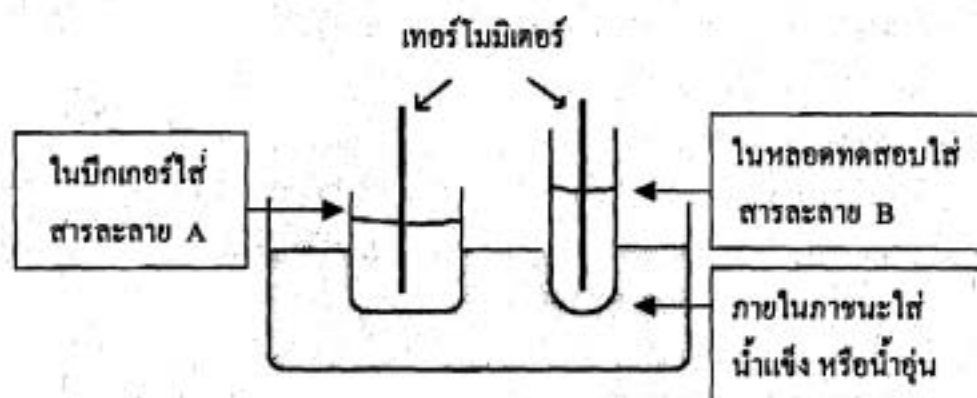
สารละลาย B ( $Na_2S_2O_3$  ความเข้มข้น 0.01 M ในสารละลายกรดที่มีน้ำแข็ง)

การหาอุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยาในการทดลองจะเตรียมสารละลายผสมทั้งหมด 5 จุด

### 1. การเตรียมสารละลายผสมที่ 1

1.1 บีบเปิดสารละลาย A จำนวน 5 mL ลงในบีกเกอร์ 50 mL และบีบเปิด สารละลาย B จำนวน 5 mL ลงในหลอดทดสอบ ทำการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองให้ได้จุดอุณหภูมิ  $0^\circ C$  โดยแช่ในอ่างบรรจุน้ำแข็ง ใช้เทอร์โมมิเตอร์ทำการวัดอุณหภูมิภายในสารละลาย A และ B ให้ได้  $0^\circ C$  ดังรูป 6.3

1.2 เทสารละลาย B ลงในสารละลาย A พร้อมคนให้ทั่วอย่างสม่ำเสมอ บันทึกเวลาจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงินเกิดขึ้น



รูปที่ 6.3 แสดงการควบคุมอุณหภูมิของสารละลาย

### 2. การเตรียมสารละลายผสมที่ 2 ถึง 6

2.1 ในสารละลายผสมที่ 2 ถึง 6 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1.1 และข้อ 1.2 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของสารละลาย A และ B ตามตารางข้างล่าง ควรทำการทดลองสารละลายผสม 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

สารละลายผสม	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	สารละลาย A (mL)	สารละลาย B (mL)
1	0	5	5
2	10	5	5
3	20	5	5
4	30	5	5
5	40	5	5
6	50	5	5

### 3. คະตะลิสต์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

#### 3.1 ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{KMnO}_4$ และ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

##### ในกรณีที่ไม่มีคະตะลิสต์

- นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด ทำการบีบเปิดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 3 mL และกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบตามลำดับพร้อมทั้งคนให้เข้ากัน
- หยดสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 3 หยดลงในหลอดทดสอบในข้อ 1 พร้อมทั้งคน บันทึกเวลาที่สีม่วงแดงของสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  จางหายไป
- ทำการหยดสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  ลงไปอีก 3 หยดในหลอดเดิม บันทึกเวลาที่สีของสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  จางหายไป ให้ทำการทดลองซ้ำเช่นนี้จนครบ 5 ครั้ง จากนั้นเทสารละลายในหลอดทิ้งไป

##### ในกรณีที่มีคະตะลิสต์

- นำหลอดทดสอบใหม่มา 1 หลอด ทำการบีบเปิดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 3 mL และกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบตามลำดับพร้อมคนให้ทั่ว
- หยดสารละลาย  $\text{MnSO}_4$  หรือ  $\text{MnCl}_2$  (คະตะลิสต์) ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 9 หยดลงในหลอดทดสอบในข้อ 1 แล้วจึงหยดสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  จำนวน 3 หยดพร้อมคนให้ทั่ว บันทึกเวลาที่สีของสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  จางหายไป
- ทำการพล็อตกราฟระหว่างจำนวนหยดของสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  กับเวลาที่ใช้ไป

### 3.2 ปฏิกริยาระหว่าง KI และ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

เปรียบเทียบในกรณีที่มีอะตอมและไม่มีอะตอม

ก่อนทำการทดลอง นักศึกษาต้องทำการเตรียมสารละลายต่าง ๆ คือ KI, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> และ (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O โดยนำหลอดทดสอบมา 3 หลอด เพื่อเตรียมสารละลาย ดังตารางข้างล่างนี้

หลอด ทดสอบ	สารละลาย H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (10 M)	สารละลาย KI (0.6 M)	สารละลาย (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O (0.1 M)	น้ำกลั่น (mL)
1	10 หยด	-	-	10
2	-	2 หยด	-	10
3	-	-	2 หยด	10

นำหลอดทดสอบใหม่มา 2 หลอด ทำการหยดสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น และสารละลายที่ทางห้องปฏิบัติการเตรียมให้เพิ่มเติม ( H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ความเข้มข้น 0.5 M ) ลงในหลอดทดสอบทั้ง 2 หลอด ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. หยดสารละลาย H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> จำนวน 2 หยด
2. หยดสารละลาย (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O จำนวน 1 หยด
3. หยดสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ความเข้มข้น 0.5 M จำนวน 2 หยด
4. หยดสารละลายน้ำแป้ง จำนวน 2 หยด

โดยหลอดที่ 1 (ไม่มีอะตอม) หยดสารละลายลำดับที่ 1, 3 และ 4

โดยหลอดที่ 2 (มีอะตอม) หยดสารละลายลำดับที่ 1, 2, 3 และ 4

จากนั้นนำหลอดทดสอบทั้ง 2 หลอดมาเติมสารละลายตัวสุดท้ายคือ สารละลาย KI จำนวน 1 หยดลงในหลอดทดสอบทั้ง 2 หลอดพร้อมกัน ให้สังเกตทั้ง 2 หลอด ว่าหลอดใดเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินก่อน บันทึกผลทั้ง 2 หลอดว่าหลอดใดเกิดการเปลี่ยนสี เป็นสีน้ำเงินเร็วกว่ากัน

**ตัวอย่างการคำนวณ**

คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย A และสารละลาย B (จากสารละลายผสมที่ 1)

สารละลาย A : 0.02 M  $KIO_3$  จำนวน 10 mL

สารละลาย B : 0.01 M  $Na_2S_2O_3$  จำนวน 10 mL

นำมาผสมกันแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรเป็น 50 mL

**ผลของความเข้มข้นที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา**

สารละลายผสม	ความเข้มข้นของสารละลาย		$\Delta C_A$	$\Delta C_B$	อัตราของปฏิกิริยา (rate) $(-\Delta c/\Delta t)$	t เฉลี่ย (วินาที)	ค่าคงที่ของอัตรา (k)
	$C_A$ (M)	$C_B$ (M)					
1	0.004	0.002	0.002/3	0.002	$1.1 \times 10^{-3}$	60	687.5
2	0.004	0.004	0.004/3	0.004	$3.8 \times 10^{-3}$	35	
3	0.004	0.006	0.006/3	0.004	$1.0 \times 10^{-4}$	20	
4						40	
5						33	
6						60	

t เฉลี่ยได้จากผลการทดลอง ส่วนค่าต่าง ๆ ในตารางข้างบนนี้คำนวณได้ดังนี้

**1. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย A และ B ในสารละลายผสมที่ 1**

จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น} \times \text{ปริมาตรเริ่มต้น}}{\text{ปริมาตรรวมสุดท้าย}}$$

เช่น

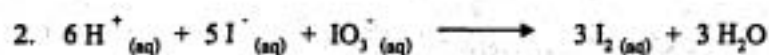
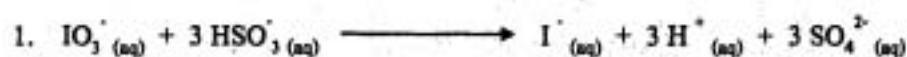
$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย A} = \frac{0.02 \times 10}{50} = 0.004 \text{ M}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย B} = \frac{0.01 \times 10}{50} = 0.002 \text{ M}$$

2. การคำนวณการลดลงของความเข้มข้นของสารละลาย A และ B

การคำนวณการลดลงของสารละลาย B ( $\Delta C_B$ )

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลาย A ทำปฏิกิริยากับสารละลาย B



จากสมการที่เกิดขึ้น จะได้สารละลายสีน้ำเงิน ( $\text{I}_2$  ผสมกับน้ำแป้ง) เมื่อสารละลาย  $\text{HSO}_3^-$  ถูกใช้หมดในการทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{IO}_3^-$  ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลาย B ที่ลดลง ( $\Delta C_B$ ) จึงเท่ากับความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{HSO}_3^-$  ที่เริ่มต้นคือ 0.002 M

การคำนวณการลดลงของสารละลาย A ( $\Delta C_A$ )

พิจารณาจากสมการ

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{IO}_3^-}{\text{จำนวนโมลของ } \text{HSO}_3^-} = \frac{1}{3}$$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{IO}_3^- = \frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{HSO}_3^-}{3}$$

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย A ที่ลดลง} = \frac{0.002}{3}$$

3. การคำนวณอัตราของปฏิกิริยา (สามารถคำนวณได้จากการลดลงของ [A] หรือ [B])

$$\text{จากกฎอัตรา} \quad -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = K [A]^m [B]^n$$

$$\text{หรือ rate} = K [A]^m [B]^n$$

เครื่องหมายลบจะแสดงถึงความเข้มข้นของ [A] และ [B] ที่ลดลง

$$\text{จากปฏิกิริยาเคมีข้างต้นจะได้} \quad \text{rate} = -\frac{1}{1} \frac{d[\text{IO}_3^-]}{dt} = -\frac{1}{3} \frac{d[\text{HSO}_3^-]}{dt}$$

กรณีคิดจากความเข้มข้นของสารละลาย [B] ที่ลดลง

$$\text{สารละลายผสมที่ 1} \quad \text{rate} = -\frac{1 \times [0.002]}{3 \times 60} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ M/sec}$$

กรณีคิดจากความเข้มข้นของสารละลาย [A] ที่ลดลง

$$\text{สารละลายผสมที่ 1} \quad \text{rate} = -\frac{[0.002]}{3 \times 60} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ M/sec}$$

ดังนั้นการคิด rate จากความเข้มข้นที่ลดลงของสารละลาย [A] หรือ [B] จะเป็นค่าเดียวกัน

#### 4. การคำนวณหาค่าอันดับของปฏิกิริยา

$$\text{จาก rate} = -\frac{d[\text{IO}_3^-]}{dt} = -\frac{d[\text{HSO}_3^-]}{3dt} = K [A]^m [B]^n$$

การหาค่า n อันดับของปฏิกิริยาในแง่ความเข้มข้น B (ให้ความเข้มข้น A คงที่)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \frac{\text{อัตราเร็วเฉลี่ยของสารละลายผสมที่ 1}}{\text{อัตราเร็วเฉลี่ยของสารละลายผสมที่ 2}} &= \frac{K [A]^m [B]^n}{K [A]^m [B]^n} \\ \frac{1.1 \times 10^{-5}}{3.8 \times 10^{-5}} &= \frac{K [0.004]^m [0.002]^n}{K [0.004]^m [0.004]^n} \\ n &= 2 \end{aligned}$$

การหาค่า m อันดับของปฏิกิริยาในแง่ความเข้มข้น A (ให้ความเข้มข้น B คงที่)  
คำนวณจากความสัมพัทธ์ของสารละลายผสมตั้งแต่ 4 ถึง 6 ในทำนองเดียวกันกับการหาค่า n

#### 5. การคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราของปฏิกิริยา (K)

จากสารละลายผสมที่ 1 สมมติให้ค่า m = 1 และ n = 2

$$\text{rate} = K [A]^m [B]^n$$

$$1.1 \times 10^{-5} = K [0.004]^1 [0.002]^2 ; K = 687.5$$



## ผลการทดลอง

### 1. ผลของความเข้มข้นที่มีผลต่ออัตราปฏิกิริยา

สารละลายผสม	สารละลาย A (mL)	สารละลาย B (mL)	น้ำกลั่น (mL)	เวลาที่ใช้ (วินาที)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1	10	10	40			
2	10	20	20			
3	10	30	20			
4	20	30	10			
5	30	30	0			

### การคำนวณค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา

สารละลายผสม	ความเข้มข้นของสารละลาย		$\Delta C_A$	$\Delta C_B$	อัตราของ ปฏิกิริยา ( $-\Delta c/\Delta t$ )	ค่าคงที่ ของอัตรา (k)
	$C_A$ (M)	$C_B$ (M)				
1						
2						
3						
4						
5						

**คำถาม**

1. จงคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา ในแง่ของสารละลาย A และในแง่ของสารละลาย B

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

2. พล็อตกราฟระหว่าง

2.1 ค่าเฉลี่ยอัตราเร็วกับความเข้มข้นของสารละลาย A

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

2.2 หากำความชันของกราฟซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของอัตรา

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

2.3 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ  $IO_3^-$  กับอัตราของปฏิกิริยา

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

3. คำนวณหาค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละสารละลายผสม

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

4. จงเปรียบเทียบ

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ  $(IO_3^-)$  และ  $(SO_3^{2-})$  ในสารละลายผสมที่ 1, 2 และ 3

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

4.2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ  $(SO_3^{2-})$  กับอัตราของปฏิกิริยา และ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ  $(IO_3^-)$  กับอัตราของปฏิกิริยา

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

5. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายผสมที่ 2 กับสารละลายผสมที่ 4 เป็นอย่างไร

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

2. อุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

สารละลายผสม	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	สารละลาย A $\text{KIO}_3$ (mL)	สารละลาย B $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	เวลาที่ใช้ (วินาที)			1/t
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
1	0	5	5				
2	10	5	5				
3	20	5	5				
4	30	5	5				
5	40	5	5				
6	50	5	5				

คำถาม

1. จงอธิบายและเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในสารละลายผสมที่ 2 และสารละลายผสมที่ 5

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. ถ้าเติมน้ำกลั่นลงในสารละลายผสมแต่ละการทดลอง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเกิดอัตราของปฏิกิริยาหรือไม่อย่างไร

.....

.....

.....

.....

3. พล็อตกราฟระหว่างเวลา ( $\ln 1/t$ ) กับ อุณหภูมิ ( $1/T$ ) ในหน่วย  $^{\circ}\text{K}$  และหาค่าความชันของเส้นตรง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ตะตะดิสต์ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

3.1. ปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{KMnO}_4$  และ  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

หลอดทดลองที่	ปริมาตร (mL)		จำนวน (หลอด)		เวลา (วินาที)
	0.1M $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	0.1M $\text{H}_2\text{SO}_4$	0.1M $\text{KMnO}_4$ ครั้งละ 3 หลอด จนครบ 5 ครั้ง	0.1M $\text{MnSO}_4$	
1	3	1	3	-	
				-	
				-	
				-	
				-	
2	3	1	3	9	

### คำถาม

จงพล็อตกราฟระหว่างจำนวนหยดของ  $\text{KMnO}_4$  ที่เติมลงไปกับเวลา (วินาที) ที่สีของ  $\text{KMnO}_4$  จางหายไปและอธิบายลักษณะกราฟที่ได้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

### 3.2 ปฏิกริยาระหว่าง KI และ $\text{H}_2\text{O}_2$

หลอดทดสอบที่	จำนวน (หยด)					ความเร็วของการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
	ลำดับการหยดสารละลายแต่ละชนิด					
	1	2	3	4	5	
	$\text{H}_2\text{O}_2$	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5 M $\text{H}_2\text{SO}_4$	น้ำแป้ง	KI	
1	2	--	1	2	2	
2	2	1	1	2	2	

**คำถาม**

**อธิบายความแตกต่างระหว่างหลอดทดสอบที่ 1 และ 2 ทั้งก่อนและหลังเติมตัวกระตุ้น**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## การทดลองที่ 7

### สมดุลเคมี

#### (Equilibria in Chemical Reaction)

---

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสาร ความดัน อุณหภูมิและกะตะลิสต์ที่มีผลต่อสภาวะสมดุลเคมี ตามหลักของเลอแชตลิเยร์ (Le Chatelier's principle)
2. เพื่อศึกษาค่า common ion ที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา และค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (Equilibrium constant)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. หลอดทดสอบ (Test tube)
2. ที่วางหลอดทดสอบ (Test tube rack)
3. ช้อนตักสาร (Spatula)
4. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
5. ขวดน้ำกั้น (Wash bottle)

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลาย

1. 0.1 M Copper-nitrate ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ )
2. 1 M Potassium chromate ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )
3. 1 M Potassium dichromate ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
4. 1 M Ammonium hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )
5. 1 M Magnesium chloride ( $\text{MgCl}_2$ )
6. 1 M Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )
7. 1 M Sodium sulphate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
8. 1 M Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
9. 1 M Sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ )

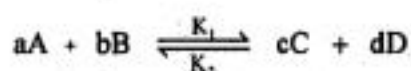


## ของแข็ง

1 กรัม Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

## ทฤษฎีการทดลอง

สมดุลเคมี (Chemical equilibrium) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ความเร็วของปฏิกิริยาไปข้างหน้ากับปฏิกิริยาย้อนกลับมีความเร็วเท่ากัน ดังสมการเคมีนี้



ปฏิกิริยาเคมีของการเปลี่ยนแปลงสาร A กับ B ได้สาร C กับ D และสาร C กับ D เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นสาร A กับ B ได้

ปฏิกิริยาที่ดำเนินไปทางขวามือของสมการคือสาร A และ B ทำปฏิกิริยากันได้สาร C และ D เรียกว่า อัตราของปฏิกิริยาที่ดำเนินไปข้างหน้า (Forward reaction) ส่วนปฏิกิริยาที่สาร C และ D ทำปฏิกิริยาย้อนกลับได้สาร A และ B เรียกว่า อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับ (Reverse reaction) ในที่สุดอัตราปฏิกิริยาของความเร็วที่ไปข้างหน้าและย้อนกลับมีความเร็วเท่ากันสภาวะนี้เรียกว่าสมดุลเคมี ในสภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นค่าคงตัวทุกสาร เนื่องจากอัตราการลดลงของสารตั้งต้นเท่ากับอัตราการเพิ่มของสารผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจากสมการเคมีข้างต้นและจากกฎอัตราของปฏิกิริยาจะได้

$$\text{ปฏิกิริยาไปข้างหน้า } r = K_1[A]^a[B]^b$$

$$\text{ปฏิกิริยาย้อนกลับ } r = K_2[C]^c[D]^d$$

$$K_1[A]^a[B]^b = K_2[C]^c[D]^d$$

$$\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} = \frac{K_1}{K_2} = K$$

ค่า K คือค่าคงที่สมดุล จะขึ้นอยู่กับเฉพาะอุณหภูมิขณะทำการทดลอง ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปค่า K ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วย

ตัวอย่าง ในการทดลองที่ 25 °C ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) เข้าทำปฏิกิริยากันให้ก๊าซแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) และปล่อยให้ก๊าซทั้งสองเข้าสู่ภาวะสมดุล ความดันรวมของก๊าซทั้งสองเท่ากับ 20 มม.ปรอท พบว่ามีก๊าซ N<sub>2</sub> อยู่ 31.28 % ก๊าซ H<sub>2</sub> อยู่ 52.37 % และก๊าซ NH<sub>3</sub> อยู่ 16.35 % ให้หาค่าคงที่สมดุล

จากกฎความดันย่อยของ Dalton



$$P_{\text{N}_2} = 0.3128 \times 10 = 3.128 \text{ มม.ปรอท}$$

$$P_{\text{H}_2} = 0.5237 \times 10 = 5.237 \text{ มม.ปรอท}$$

$$P_{\text{NH}_3} = 0.1635 \times 10 = 1.635 \text{ มม.ปรอท}$$

$$K = \frac{[P_{\text{NH}_3}]^2}{[P_{\text{N}_2}][P_{\text{H}_2}]^3} = \frac{[1.635]^2}{[3.128][5.237]^3}$$

$$K = 5.95 \times 10^{-3}$$

#### หลักเลอแชตลियร์ (Le Chatelier's principle)

ในสถานะที่ปฏิกิริยาสมดุลถ้าไม่มีสิ่งใดมารบกวน ปฏิกิริยาของการดำเนินไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับจะเท่ากัน ในขณะที่ระบบอยู่ในสถานะสมดุล ถ้ามีอะไรบางอย่างจากภายนอก ระบบมารบกวน สถานะสมดุลก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น เช่น อาจจะมีเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดันของระบบนี้ อาจทำให้อัตราของปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะสมดุลเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือย้อนกลับได้ ถ้าสถานะของระบบเกิดเปลี่ยนแปลงไป ระบบจะมีการปรับตัวเองเพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยา หลักการนี้เรียกว่ากฎของเลอแชตลियร์ ปัจจัยที่มีผลทำให้สถานะของระบบสมดุลเปลี่ยนไปได้แก่

1. ความเข้มข้นของสาร
2. อุณหภูมิ
3. ความดัน
4. กะตะลิสต์

### 1. ความเข้มข้นของสาร

จากปฏิกิริยา  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2 HI(g)$  เมื่อความเข้มข้นของสารทั้ง 3 อยู่ในสภาวะสมดุล ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นคือ  $H_2(g)$  จะทำให้ระบบเสียดุลและระบบจะพยายามแก้ไขโดยการลดปริมาณความเข้มข้นของสาร  $H_2(g)$  ลง โดยทำปฏิกิริยากับ  $I_2(g)$  ทำให้ความเข้มข้นของ HI เพิ่มขึ้นสมดุลจึงเลื่อนไปทางด้านขวามากขึ้น แต่ถ้าลดความเข้มข้น  $I_2(g)$  และ  $H_2(g)$  ระบบจะพยายามปรับให้สู่สภาวะสมดุลโดยเพิ่มการสลายตัวของ HI ให้กลายเป็น  $I_2(g)$  และ  $H_2(g)$  มากขึ้น ดังนั้นระบบจึงเลื่อนไปทางด้านซ้ายมือ

### 2. อุณหภูมิ

จากปฏิกิริยาสมดุลของ  $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g) + \text{ความร้อน}$  ระบบจะเป็นแบบปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าจะให้สมดุลเลื่อนไปทางด้านซ้ายมือทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบจะทำให้  $NH_3(g)$  สลายตัวให้  $N_2(g)$  และ  $H_2(g)$  มากขึ้น แต่ถ้าลดความร้อนให้แก่ระบบจะทำให้  $N_2(g)$  และ  $H_2(g)$  รวมตัวกันให้  $NH_3(g)$  เพิ่มมากขึ้น สมดุลจึงเลื่อนไปทางด้านขวามือ

### 3. ความดัน

จากปฏิกิริยาสมดุลของ  $2 NO_2(g) \rightleftharpoons 2 N_2(g) + 2 O_2(g)$  เมื่อเพิ่มความดันให้กับระบบจะทำให้  $NO_2(g)$  สลายตัวได้น้อยลง แต่ถ้าจะให้  $N_2(g)$  และ  $O_2(g)$  มีปริมาณเพิ่มขึ้นจะต้องทำการลดความดันให้แก่ระบบ

### 4. คะตะลิสต์

ตัวคะตะลิสต์ที่ใส่เข้าไปในปฏิกิริยานั้นไม่มีส่วนเปลี่ยนแปลงของระบบสมดุล แต่จะทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นเท่านั้น ค่าคงที่สมดุลจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะมีตัวคะตะลิสต์อยู่ในปฏิกิริยาก็ตาม

### สมดุลของการละลายของไอออนในน้ำ

ถ้านำเอาของแข็งที่ละลายได้น้อยมากมาละลายในน้ำ จะมี 2 ส่วนที่เกิดขึ้นคือ ส่วนแรกจะละลายได้น้อยมากซึ่งเป็นสารละลายอิ่มตัว ส่วนที่สองจะแตกตัวเป็นไอออนในสารละลายเกิดเป็นสภาวะสมดุลระหว่างของแข็งกับไอออนในสารละลาย ตัวอย่างสารละลายที่เป็นของแข็งได้แก่  $\text{AgBr}(s)$



ที่สมดุล

$$K = \frac{[\text{Ag}^+][\text{Br}^-]}{[\text{AgBr}]}$$

เนื่องจาก  $\text{AgBr}(s)$  ละลายได้น้อยมากในน้ำ ดังนั้น  $\text{AgBr}(s)$  ซึ่งเป็นของแข็งจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น

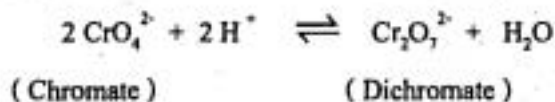
$$K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-]$$

ค่าคงที่ใหม่นี้เรียกว่า  $K_{sp}$  (Solubility product) จะมีค่าเฉพาะที่อุณหภูมิของการทดลองนั้นๆ ในการพิจารณาค่า Solubility product กับ ผลคูณของความเข้มข้นไอออนในสารละลายจะได้ว่า [ผลคูณของความเข้มข้นไอออน]  $> K_{sp}$  ไอออนจะตกตะกอนลงมาจนได้ความเข้มข้นที่สมดุล [ผลคูณของความเข้มข้นไอออน]  $< K_{sp}$  ไอออนจะไม่ตกตะกอนลงมาและสามารถละลายต่อไปได้อีก แต่ถ้าสารนั้นสามารถละลายได้หมด ค่า  $K_{sp}$  จะไม่น่ามาคิด

### วิธีการทดลอง

#### 1. ปฏิกิริยาสมดุลของสารละลาย chromate ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) และ dichromate ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )

- นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด ทำการหยดสารละลาย  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ความเข้มข้น 1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบ จากนั้นหยดสารละลายกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 6 M จำนวน 2-3 หยด บันทึกสีที่เปลี่ยนแปลงจากสารละลาย chromate เป็น สารละลาย dichromate ดังสมการ



2. ทำการทดลองซ้ำโดยหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 6 M จำนวน 2-3 หยดลงในหลอดเดิมในข้อ 1 ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีจากสารละลาย dichromate เป็นสารละลาย chromate

## 2. ปฏิกริยาสมดุลของแอมโมเนียม

1. นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด หยดสารละลาย  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  ความเข้มข้น 0.1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบ
2. หยดสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ความเข้มข้น 6 M ลงในหลอดทดสอบข้อ 1 จำนวน 3 หยด จนกระทั่งสีของสารละลาย  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  เปลี่ยนเป็น  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  ซึ่งสังเกตจากสารละลายมีสีน้ำเงินเข้มเกิดขึ้น จากนั้นเติม 6 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 6 M จำนวน 4 หยดลงในหลอดเดิม บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

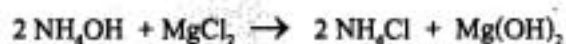


## 3. สมดุลของการละลายของไอออน

1. นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด ทำการหยดสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  ความเข้มข้น 1 M จำนวน 3 mL และสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ความเข้มข้น 1 M จำนวน 2 mL ลงในหลอดทดสอบตามลำดับพร้อมคนให้ทั่ว จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง จะสังเกตได้โดยส่วนของน้ำใสอยู่ส่วนบน และส่วนของตะกอนอยู่ส่วนล่างของหลอดทดสอบ
2. นำหลอดทดสอบใหม่มา 2 หลอด ทำการดูดสารละลายส่วนที่เป็นน้ำใสหลังตกตะกอนจากหลอดทดสอบในข้อ 1 มาใส่ลงในหลอดทดสอบใหม่โดยให้มีปริมาตรเท่ากันทั้งสองหลอด นำหลอดแรกหยดสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  จำนวน 4-5 หยด และหลอดที่สองหยดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  จำนวน 4-5 หยดเช่นกัน สังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงทั้งสองหลอด

4. การทดสอบหาไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) และแอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ )

1. นำหลอดทดสอบมา 1 หลอด เติมสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ความเข้มข้น 1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบ แล้วทำการทดสอบความเป็นกรดและเบสด้วยกระดาษลิตมัส จากนั้นเติมสารละลาย  $\text{MgCl}_2$  ความเข้มข้น 1 M จำนวน 1 mL ลงในหลอดทดสอบ บันทึกผลการเปลี่ยนแปลง



3. จากนั้นทำการหยดสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ความเข้มข้น 1 M ทีละหยด (หรือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  จำนวน 1 gm) ลงในหลอดทดสอบเดิม ให้สังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลง

**ผลการทดลอง**

1. ปฏิกริยาสมดุลของสารละลาย chromate และ dichromate

ข้อมูล	สีที่เปลี่ยนแปลง
1. $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$	.....
2. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$	.....

**คำถาม**

1. เขียนสมการเคมีแสดงสภาวะสมดุลระหว่างปฏิกริยา chromate และ dichromate

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

2. ในการเติม  $H_2SO_4$  ลงไป ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสมดุลเปลี่ยนไปอย่างไร และถ้าเติม  $NaOH$  ลงไป ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาวะสมดุลเปลี่ยนไปอย่างไร

.....

.....

.....

3.  $OH^-$  และ  $H^+$  ไอออน ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนไปอย่างไร

.....

.....

.....

2. ปฏิริยาสมดุลของแอมโมเนียม

ข้อมูล	สีที่เปลี่ยนแปลง
$Cu(NO_3)_2 + NH_4OH$	.....

คำถาม

1. จงบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงปฏิริยาเคมีระหว่าง  $Cu(NO_3)_2 + NH_4OH$

.....

.....

.....

.....

2. สารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  สามารถใช้ในการตรวจสอบหา  $\text{Cu}^{2+}$  ไอออนในสารละลายอย่างไร

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

3. จากการทดลองถ้าจะให้สมดุลเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อน จะมีวิธีการอย่างไร

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

### 3. สมดุลของการละลายของไอออน

ข้อมูล	สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น
หลอดที่ 1    เติม $\text{CaCl}_2$	.....
หลอดที่ 2    เติม $\text{Na}_2\text{SO}_4$	.....

### คำถาม

1. อธิบายผลของปฏิกิริยาระหว่าง  $\text{CaCl}_2$  และ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

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



2. จากสมการแตกตัวของ  $\text{CaCl}_2$  และ  $\text{CaSO}_4$  ในน้ำ อธิบายผลของ common ion มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะสมดุลอย่างไรเมื่อ

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

2.2 ถ้าเติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ลงในสารละลายอิ่มตัวของ  $\text{CaSO}_4$  จะเป็นอย่างไร

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

3. ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{Ca}^{2+}$  ไอออนเท่ากับ 0.03 โมล/ลิตร และ  $\text{Cl}^-$  ไอออนเท่ากับ 0.05 โมล/ลิตร จงคำนวณหาค่าผลคูณของการละลายไอออน ( $K_{sp}$ )

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

4. จากสมการ  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$  ที่สถานะสมดุล

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}][\text{CH}_3\text{COOH}]} = 9$$

4.1 ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = \text{H}_2\text{O}$  เท่ากับ 3 M และ

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = \text{CH}_3\text{COOH}$  เท่ากับ 1 M จะเกิดสถานะสมดุลหรือไม่เพราะเหตุใด

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

4.2 ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารทั้ง 4 มีค่าเท่ากับ 1 M ทิศทางของปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

4. การทดสอบหา  $\text{OH}^-$  และ  $\text{NH}_4^+$

ข้อมูล	ผลที่เปลี่ยนแปลง
1. $\text{NH}_4\text{OH} + \text{MgCl}_2$	.....

คำตอบ

1. จงเติมสมการเคมีต่อไปนี้



2. จากสมการ  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

ถ้าเติมสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ลงในปฏิกิริยา สมดุลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

## การทดลองที่ 8

การวิเคราะห์ของกรด เบส และการหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียม

(Determination of Acid Base Titration and  
Equivalent Weight of Magnesium)

---

### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาการหาความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบค่าโดยการทำ standardization กับสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน
2. เพื่อศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ของกรด เบส ในการหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียม

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บิวเรต (Buret)
2. ปิเปต (Pipette)
3. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask)
4. กระจกฉีกน้ำ (Wash bottle)
5. ที่ตั้งและฐาน (Stand and base)
6. ตัวยึดบิวเรต (Buret clamp)

### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น

1. 0.1 N และ 0.3 N Hydrochloric acid (HCl)
2. 0.2 N Sodium hydroxide (NaOH)

#### สารละลายตัวอย่างที่จะหาความเข้มข้น

1. Hydrochloric acid (HCl)
2. Sodium hydroxide (NaOH)
3. Acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )

### อินดิเคเตอร์

Phenolphthalein

## ของแข็ง

### ลาวมกนิเชียม 2 ชั้น

#### ทฤษฎีการทดลอง

การติเตรชัน (Titration) คือขบวนการทางเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสาร โดยให้สารที่ต้องการทราบความเข้มข้น ทำปฏิกิริยากันพอดีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จุดที่ทำปฏิกิริยากันพอดีเรียกว่าจุดยุติของการติเตรท (End point of titration) ซึ่งจะทราบได้โดยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ สารอินดิเคเตอร์ที่นำมาใช้ในการติเตรทควรจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับสารละลายที่จะนำมาทำการติเตรท และควรชี้บอกจุดยุติได้ใกล้เคียงหรือเท่ากับจุดยุติของการติเตรทอย่างชัดเจน ดังนั้นจุดยุติของการติเตรทจะมีปริมาณของสารอย่างหนึ่งเกินไป จึงทำให้สารอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีจากปริมาตรที่ทำปฏิกิริยากันพอดี สามารถนำมาคำนวณหาความเข้มข้นหรือปริมาตรของสารที่ไม่ทราบค่าได้

สารละลายมาตรฐาน เป็นสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนถูกต้อง ดังนั้นในการเตรียมสารละลายมาตรฐานต้องคำนวณหาเนื้อสารตามความเข้มข้น และปริมาตรที่ต้องการก่อน แล้วจึงชั่ง หรือตวงให้ได้น้ำหนักและได้ปริมาตรที่แน่นอน แล้วผสมกับน้ำกลั่นจนครบปริมาตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นและปริมาตรตามต้องการ ในห้องปฏิบัติการทดลอง จะใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 N เพื่อใช้ในการ standardization หาความเข้มข้นที่แน่นอนของเบสก่อน ซึ่งในการทดลองนี้เบสที่ใช้คือ สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เมื่อทราบความเข้มข้นของเบสแล้ว สามารถนำมาเป็นสารละลายมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างของกรดต่อไป ดังนั้นการหาความเข้มข้นหรือปริมาตรของสารที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้นมีวิธีคำนวณได้ 3 วิธีคือ

#### 1. คำนวณโดยใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

เมื่อ  $N_1$  และ  $N_2$  = ความเข้มข้นของสารละลายกรดและเบสเป็น normal เสมอ

$V_1$  และ  $V_2$  = ปริมาตรของสารละลายกรดและเบสที่เข้าร่วมตัวกันพอดี

## 2. คำนวณโดยใช้หลักจำนวนกรัมสมมูลที่เท่ากัน

สารที่ทำปฏิกิริยากันพอดีจะมีจำนวนกรัมสมมูลเท่ากัน วิธีนี้ไม่ต้องเขียนสมการ  
คั่งนั้นที่จุดยุติการไตเตรชันของกรดและเบสได้ว่า

จำนวนกรัมสมมูลของเบส = จำนวนกรัมสมมูลของกรด

$$\frac{N_b \times \text{cm}^3}{1000} = \frac{N_a \times \text{cm}^3}{1000}$$

$$\text{หรือ } N_b \text{ cm}^3 = N_a \text{ cm}^3$$

ถ้าคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของจำนวน โมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี  
จะต้องอาศัยสมการมวลสารสัมพันธ์ เช่น



จะได้จำนวนโมลของสาร  $\text{NaOH} = \text{จำนวนโมลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{จำนวนโมลของ } \text{Na}_2\text{SO}_4$

$$\frac{\text{จำนวน โมลของ NaOH}}{2} = \frac{\text{จำนวน โมลของ H}_2\text{SO}_4}{1}$$
$$\frac{M_{(\text{NaOH})} \times V_{(\text{NaOH})}}{2} = \frac{M_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \times V_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{1}$$

### สมมูลหรือสมมูลเคมี (Equivalent or Chemical equivalent)

สมมูล คือตัวเลขที่แสดงว่าสารหนักกี่หน่วยน้ำหนักสามารถรวมตัวพอดีโดยตรงกับ  
ไฮโดรเจน (H) 1 หน่วยน้ำหนัก หรือคลอรีน (Cl) 35.5 หน่วยน้ำหนัก หรือออกซิเจน (O)  
8 หน่วยน้ำหนัก (ในหน่วยน้ำหนักที่เหมือนกัน) เช่น สมมูลของโซเดียม (Na) เท่ากับ 23  
หมายความว่า Na หนัก 23 หน่วยน้ำหนักสามารถรวมโดยตรงหรือโดยอ้อมกับ H 1 หน่วย  
น้ำหนักหรือ O 8 หน่วยน้ำหนัก หรือ Cl 35.5 หน่วยน้ำหนัก ดังนั้นปริมาณของสาร 1  
กรัมสมมูล (gmE) จะเป็นน้ำหนักสมมูลของสารนั้นเป็นกรัม เช่น

K มีสมมูล 39 ดังนั้น K ปริมาณ 1 กรัมสมมูล จะคิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ 39 กรัม

Na มีสมมูล 23 ดังนั้น Na ปริมาณ 1 กรัมสมมูล จะคิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ 23 กรัม

ดังนั้น

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของสาร} = \frac{\text{น้ำหนักของสารนั้นเป็นกรัม}}{\text{สมมูลของสารนั้น}}$$

ในการทดลองหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียม โดยการนำเอาลวดแมกนีเซียมมาละลายในกรด HCl ความเข้มข้น 0.3 N จากนั้นนำมาทำการติเตรทกับสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.2 N เพื่อหาปริมาณกรดที่เหลือโดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อบอกจุดยุติการติเตรชันของปฏิกิริยา ซึ่งสามารถคำนวณหาน้ำหนักสมมูลของแมกนีเซียมได้จากหลักการที่ว่า

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของ Mg} = [\text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดทั้งหมด}] - [\text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดที่เหลือหลังจากลวดแมกนีเซียมละลายหมด}]$$

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ Mg} = \frac{\text{น้ำหนักของ Mg (กรัม)}}{[\text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดทั้งหมด}] - [\text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดที่เหลือหลังจากลวดแมกนีเซียมละลายหมด}]}$$

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าเหล่านี้เป็นค่าสมมุติขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณ ให้นักศึกษาใช้ค่าจริงที่ได้จากการทดลองเท่านั้น

นำเอาลวดแมกนีเซียม 0.2456 กรัมมาละลายในกรด HCl ความเข้มข้น 0.3 N จำนวน 20 mL จนลวดแมกนีเซียมละลายหมด จากนั้นนำมาทำการติเตรทเพื่อหาปริมาณกรดที่เหลือหลังจากลวดแมกนีเซียมละลายหมด ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.2 N โดยใช้ปริมาณ NaOH ไปจำนวน 10 mL ให้หาน้ำหนักสมมูลของลวดแมกนีเซียม ซึ่งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. หาจำนวนกรัมสมมูลของกรด HCl ทั้งหมดที่ใช้ไปในการทดลอง =  $\frac{0.3 \times 20}{1000} = 0.006$

2. จำนวนกรัมสมมูลของกรด = จำนวนกรัมสมมูลของเบส

จำนวนกรัมสมมูลของ HCl ที่เหลือหลังจากลวดแมกนีเซียมละลายหมด

$$\frac{[0.2] \times [10]}{1000} = 0.002$$

3. คำนวณหาจำนวนกรัมสมมูลของกรด HCl ที่ถูกใช้ไปจากสมการ

[ จำนวนกรัมสมมูลของกรดทั้งหมด ] - [ จำนวนกรัมสมมูลของกรดที่เหลือหลังจากลวค  
มักนีเซียมละลายหมด ]

$$[ 0.006 ] - [ 0.002 ] = 0.004$$

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ Mg} = \frac{\text{น้ำหนักของ Mg ( กรัม )}}{[ \text{จำนวนกรัมสมมูลของกรดทั้งหมด} ] - [ \text{จำนวนกรัมสมมูล} \\ \text{ของกรดที่เหลือหลังจากลวคมักนีเซียมละลายหมด} ]}$$

$$= \frac{0.2456}{[ 0.004 ]} = 61.40$$

### วิธีการทดลอง

1. การ standardization ของ NaOH ด้วย HCl ความเข้มข้น 0.1 N

1. ทำความสะอาดบิวเรตด้วยน้ำกลั่น และตามด้วยสารละลาย NaOH เล็กน้อยแล้วทิ้งไปจากนั้นเติมสารละลาย NaOH ที่จะนำมาหาความเข้มข้นลงในบิวเรตจนถึงขีดบอกระดับศูนย์
2. ปิ่เปิดสารละลายมาตรฐาน HCl ความเข้มข้น 0.1 N จำนวน 10 mL ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 mL สองใบ หยด phenolphthalein จำนวน 2-3 หยดลงในแต่ละใบพร้อมเขย่าให้เข้ากัน
3. ใช้กระดาษสีขาวรองใต้ขวดรูปกรวย ทำการติเตรทโดยใสสารละลาย NaOH ทีละหยดลงในขวดรูปกรวยที่มีสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.1 N พร้อมหมุนขวดช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ
4. เมื่อใกล้จุดยุติจะเห็นสีชมพูเกิดขึ้น ค่อย ๆ ปล่อยสารละลาย NaOH จากบิวเรตอย่างช้า ๆ จนกระทั่งสีของสารละลายในขวดรูปกรวย เปลี่ยนจากสารละลายไม่มีสีเป็นสีชมพูอย่างถาวรแสดงว่าถึงจุดยุติของการติเตรท
5. อ่านปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ไปในการติเตรท

6. ทำการติเตรทซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 เพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาตรของ NaOH ที่ถูกใช้ไป
7. ทำซ้ำจากข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยข้อ 2 เมื่อเปิดสารละลายกรดลงในขวดรูปกรวย 2 ใบ ๆ ละ 10 mL ให้เติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปกรวยใบละ 10 mL แล้วดำเนินการทดลองต่อไป
8. จากนั้นนำปริมาตรที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH จากสูตร

$$\frac{N_{(\text{HCl})} V_{(\text{HCl})}}{V_{(\text{NaOH})}} = N_{(\text{NaOH})}$$

## 2. การหาความเข้มข้นของกรด HCl และ CH<sub>3</sub>COOH

1. เปิดสารละลายกรด HCl ที่จะใช้นำมาหาความเข้มข้นใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 mL สองใบ ๆ ละ 10 mL หยด phenolphthalien 2 - 3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์ลงในขวดรูปกรวยแต่ละใบพร้อมทั้งทำการเขย่าให้เข้ากัน
2. เติมสารละลาย NaOH ที่ทราบความเข้มข้นจากการทดลองที่ 1 ลงในบิวเรต แล้วทำการติเตรทกับสารละลายกรด HCl ที่จะนำมาหาความเข้มข้น จนกระทั่งสารละลายในขวดรูปกรวยเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอย่างถาวร ทำการติเตรทซ้ำอีกครั้งจากข้อ 1 ถึงข้อ 2
3. จดปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ทั้งสองครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อมาคำนวณหาความเข้มข้นของกรด HCl ที่ไม่ทราบความเข้มข้นได้
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ถึงข้อ 3 แต่เปลี่ยนกรด HCl ที่ไม่ทราบความเข้มข้นเป็นกรด CH<sub>3</sub>COOH ที่จะนำมาหาความเข้มข้นแทน

## 3. การหาน้ำหนักกรัมสมมูลของมกนีเซียม

1. นำขวดรูปกรวยขนาด 250 mL มา 2 ใบเขียนเลขกำกับไว้แต่ละใบ
2. นำชิ้นลวดมกนีเซียมที่ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดจำนวน 2 ชิ้น แต่ละชิ้นนำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ และใส่ลงในขวดรูปกรวยใบที่ 1 และใบที่ 2 จากนั้นเปิดสารละลายกรด HCl ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน 0.3 N จำนวน 20 mL ลงในขวดรูปกรวยแต่ละใบพร้อมเขย่าอย่างสม่ำเสมอจนลวดมกนีเซียมในขวดรูปกรวยทั้งสองละลายหมด



- นำสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.2 N ใส่ลงในบิวเรตและปรับปริมาตรจนถึงขีดศูนย์ ทำการหยด phenolphthalein 2-3 หยดลงในขวดรูปกรวยทั้ง 2 ใบ จากนั้นทำการติเตรท จนกระทั่งสีของสารละลายในขวดรูปกรวยทั้ง 2 ใบเปลี่ยนจากสารละลายไม่มีสีเป็นสีชมพู อย่างถาวร
- บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ถูกใช้ไปในแต่ละครั้งของการติเตรท เพื่อนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักสมมูลของกรดที่มีเขียน

### ผลการทดลอง

#### 1. การ standardization ของ NaOH ด้วย 0.1 N HCl

	การติเตรทครั้งที่		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
1. ความเข้มข้นของกรดมาตรฐาน (HCl)	0.1 N	0.1 N	0.1 N
2. ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน HCl ที่ใช้	10 mL	10 mL	10 mL
3. ปริมาตรเริ่มต้นของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
4. ปริมาตรสุดท้ายของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
5. ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (ข้อ 4 - ข้อ 3)	mL	mL	mL
6. ความเข้มข้นของ NaOH ที่ได้ ( $N_a V_a = N_b V_b$ )	N	N	N
7. ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (เมื่อเติมน้ำกลั่น)	mL	mL	mL

ความเข้มข้นของ NaOH ที่ได้จากการ standardization นำไปหาความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ไม่ทราบความเข้มข้น

#### คำถาม

จงแสดงการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ได้จากการทดลอง ที่จะนำไปใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการหาความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ไม่ทราบความเข้มข้น

.....  
 .....

## 2. การหาความเข้มข้นของกรด HCl และ CH<sub>3</sub>COOH

### 2.1 การหาความเข้มข้นของกรด HCl

	การวิเคราะห์ครั้งที่		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
1. ความเข้มข้นของ NaOH (จากการทดลองที่ 1)	N	N	N
2. ปริมาตรเริ่มต้นของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
3. ปริมาตรสุดท้ายของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
4. ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (ข้อ 3 - ข้อ 2)	mL	mL	mL
5. ปริมาตรของ HCl ที่จะหาความเข้มข้น	mL	mL	mL
6. ความเข้มข้นตัวอย่าง HCl ที่ได้	N	N	N

### 2.2 การหาความเข้มข้นของกรด CH<sub>3</sub>COOH

	การวิเคราะห์ครั้งที่		
	1	2	ค่าเฉลี่ย
1. ความเข้มข้นของ NaOH (จากการทดลองที่ 1)	N	N	N
2. ปริมาตรเริ่มต้นของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
3. ปริมาตรสุดท้ายของ NaOH ที่อ่านจากบิวเรต	mL	mL	mL
4. ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (ข้อ 3 - ข้อ 2)	mL	mL	mL
5. ปริมาตรของ CH <sub>3</sub> COOH ที่จะหาความเข้มข้น	mL	mL	mL
6. ความเข้มข้นตัวอย่าง CH <sub>3</sub> COOH ที่ได้	N	N	N

### คำถาม

จงแสดงการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl และ CH<sub>3</sub>COOH ที่ได้จากการทดลอง

.....  
.....

### 3. การหาน้ำหนักกรัมสมมูลของแมกนีเซียม (HCl ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน 0.3 N)

ขวดรูปกรวยใบที่	ปริมาตรของ HCl (0.3 N)	น้ำหนักของ Mg	ปริมาตรของ NaOH (0.2 N)
1	20 mL		
2	20 mL		

### คำถาม

1. จงหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl ที่เหลือหลังจากลวคแมกนีเซียมละลายหมดในขวดรูปกรวยใบที่ 1 และ 2

.....  
.....

2. จงคำนวณหาน้ำหนักสมมูลของลวคแมกนีเซียมแต่ละชิ้น ในขวดรูปกรวยใบที่ 1 และ 2

.....  
.....

3. คำนวณหาน้ำหนักและปริมาตรของก๊าซ H<sub>2</sub> ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองที่ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ ( การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซ H<sub>2</sub> ไปที่ STP ใช้สูตร  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$  )

.....

## การทดลองที่ 9

### pH สเกล อินดิเคเตอร์และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (pH Scale, Indicator and Hydrolysis)

---

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาความเป็นกรดและเบสของสารละลายโดยอาศัย พีเอช สเกล (pH scale) ในการวัดค่าสารละลาย
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอินดิเคเตอร์แต่ละตัวที่จะนำไปใช้ในการวัดความเป็นกรด และเบสของสารละลาย
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของเกลือชนิดต่าง ๆ

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. หลอดทดสอบ (Test tube)
2. ที่วางหลอดทดสอบ (Test tube rack)
3. หลอดหยดสารละลาย (Dropper)
4. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
5. กระจกนิรภัยน้ำ (Wash bottle)

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลายที่ใช้เตรียมค่า pH 1-12

1. 0.01 M Sodium hydroxide (NaOH)
2. 0.1 M Hydrochloric acid (HCl)

##### สารละลายที่ใช้หาค่า pH

1. Monosodium hydrogen phosphate ( $\text{NaHPO}_4$ )
2. Disodium hydrogen phosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ )
3. Trisodium hydrogen phosphate ( $\text{Na}_3\text{HPO}_4$ )
4. Acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
5. Vinegar
6. Carbonate beverage
7. Shampoo
8. Liquid laundry detergent

- |  |  |
|--|--|
| 9. Sodium sulphate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )                                | 16. Alcohol  |
| 10. Milk   | 17. Ammonium sulphate [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ]         |
| 11. Potassium nitrate ( $\text{KNO}_3$ )                                       | 18. Ammonium oxalate [ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ] |
| 12. Potassium alum [ $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ] | 19. Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )                 |
| 13. Sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ )                                    | 20. Ammonium hydroxide ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )              |
| 14. Sodium chloride ( $\text{NaCl}$ )  | 21. Sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )              |
| 15. Ammonium nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )                              | 22. Ammonium chloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )               |

### อินดิเคเตอร์

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1. Universal indicator | 7. Alizarin yellow     |
| 2. Phenolphthalein     | 8. Bromothymol blue    |
| 3. Methyl violet       | 9. Thymol blue         |
| 4. Methyl yellow       | 10. Bromocresol purple |
| 5. Methyl red          | 11. Phenol red         |
| 6. Methyl orange       |                        |

### ทฤษฎีการแตกตัวของ

กรด คือสารละลายซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วให้ไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ความแรงของกรดขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของไฮโดรเจนไอออน ถ้าแตกตัวแล้วให้ไฮโดรเจนไอออนมากเรียกว่ากรดแก่ เช่น



เบส คือสารละลายเมื่อละลายน้ำแล้วให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ดังนั้นความแรงของเบสขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของไฮดรอกไซด์ไอออน ถ้าแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออนมากเรียกว่าเบสแก่ เช่น



อย่างไรก็ตามผลคูณของไอออนบวกและไอออนลบนี้จะมีค่าคงที่เสมอเท่ากับ  $10^{-14}$  ในกรณีของน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งถือว่าเป็นกลางสามารถแตกตัวได้ดังนี้  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

ดังนั้นความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะเท่ากับไฮดรอกไซด์ไอออนคือมีค่าเป็น  $10^{-7}$  โมลาร์ ( โมล / ลิตร ) ฉะนั้นสารละลายที่เป็นกลางจะมีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ  $10^{-7}$  โมลาร์ ถ้าสารละลายมีค่าไฮโดรเจนไอออนมากกว่า  $10^{-7}$  โมลาร์ สารละลายจะแสดงความเป็นกรด และถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนมีค่าน้อยกว่า  $10^{-7}$  โมลาร์ สารละลายจะแสดงความเป็นเบส

Sorensen ได้กล่าวไว้ว่าพีเอช ( pH ) ใช้บอกความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยกำหนดค่า pH ดังนี้

$$pH = -\log [H^+]$$

ดังนั้นสารละลายที่เป็นกลางจะมี  $pH = -\log [10^{-7}] = 7$  หรือถ้าสารละลายมีค่าความเข้มข้นของ  $[H^+]$  เท่ากับ  $10^{-3} M$  จะมีค่า pH เท่ากับ 3 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของกรดและเบสจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 10 เท่าต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพียง 1 หน่วยเสมอ เช่น ถ้าสารละลายที่มีค่า pH เท่ากับ 2 จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนแตกต่างจากสารละลายที่มีค่า pH 3 อยู่ถึง 10 เท่า หรือแตกต่างจากสารละลายที่มีค่า pH 4 อยู่ถึง 100 เท่า ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ต่อสารละลายที่แสดงความเป็นกรดและเบส คือ

สารละลายที่มีค่า pH สูง จะแสดงความเป็นเบส

สารละลายที่มีค่า pH ต่ำ จะแสดงความเป็นกรด

การบอกความเป็นเบสในสารละลายอาจใช้ pOH ได้เช่นเดียวกับค่า pH ในสารละลายดังนั้น

$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$\text{เนื่องจาก } pH + pOH = 14$$

$$\text{หรือ } pOH = 14 - pH$$

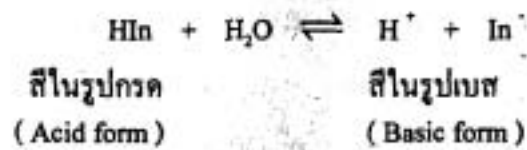
ตารางที่ 9.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ ความเข้มข้นของ  $[H^+]$  และ  $[OH^-]$

$[H^+]$	pH	$[OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{[H^+]}$
<b>กรด</b> $10^0 = 1$	0	$10^{-14}$
$10^{-1} = 0.1$	1	$10^{-13}$
$10^{-2} = 0.01$	2	$10^{-12}$
$10^{-3} = 0.001$	3	$10^{-11}$
$10^{-4} = 0.0001$	4	$10^{-10}$
$10^{-5} = 0.00001$	5	$10^{-9}$
$10^{-6} = 0.000001$	6	$10^{-8}$
<b>กลาง</b> $10^{-7} = 0.0000001$	7	$10^{-7}$
$10^{-8} = 0.00000001$	8	$10^{-6}$
$10^{-9} = 0.000000001$	9	$10^{-5}$
$10^{-10} = 0.0000000001$	10	$10^{-4}$
$10^{-11} = 0.00000000001$	11	$10^{-3}$
$10^{-12} = 0.000000000001$	12	$10^{-2}$
$10^{-13} = 0.0000000000001$	13	$10^{-1}$
<b>เบส</b> $10^{-14} = 0.00000000000001$	14	$10^0$

#### อินดิเคเตอร์ (Indicator)

การวัดค่า pH ของสารละลายนอกจากจะใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter) แล้วยังสามารถใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวบ่งชี้จากการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้น สารอินดิเคเตอร์เป็นสารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นทั้งกรดอ่อนและเบสอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงสีได้เมื่อค่า pH ของสารละลายเปลี่ยน สารอินดิเคเตอร์เป็นสาร amphiprotic substance คือสามารถรับหรือให้โปรตอน เช่น phenolphthalein พบว่าไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรดและจะแตกตัวให้แอนไอออนสีชมพูเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นเบส หรือ methyl orange ในสารละลายเบสจะมีสีเหลืองและจะรวมตัวกับ

โปรตอนเกิดเป็นแคทไอออนให้สีแดง ถ้าไม่คิดถึงประจุสมดุลของอินดิเคเตอร์สามารถแตกตัวได้ดังนี้



ค่าคงที่ของการแตกตัว  $(K_{\text{In}}) = \frac{[\text{H}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$

ตัวอย่างอินดิเคเตอร์ชนิด methyl orange จะให้สีแดงเมื่อสารละลาย pH ต่ำกว่า 3.1 และให้สีเหลืองเมื่อสารละลาย pH สูงกว่า 4.4 แต่ถ้าค่า pH อยู่ระหว่าง 3.1 - 4.4 จะให้สีเหลืองปนแดง นั่นคือการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่า pH ในสารละลายโดยจะเป็นตัวควบคุมปริมาณของ HIn และ In<sup>-</sup> ทำให้สารละลายมีสีต่างๆ คือ

1. เมื่อเพิ่ม H<sup>+</sup> ลงในสารละลาย จะทำให้ระบบมีปริมาณของ H<sup>+</sup> เพิ่มขึ้นหรือค่า pH ต่ำลงซึ่งทำให้ค่าสมดุลของระบบเปลี่ยนไป ดังนั้นระบบจะจัดตัวให้เข้าสู่สมดุลโดยการเปลี่ยนจากขวาไปซ้าย ทำให้ค่าของ HIn เพิ่มขึ้น จะปรากฏสีของ HIn อย่างเดียว
2. เมื่อเพิ่ม OH<sup>-</sup> ลงในสารละลาย จะทำให้ระบบมีปริมาณของ H<sup>+</sup> ลดลง หรือค่า pH เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ค่าสมดุลของระบบเปลี่ยนไป ดังนั้นระบบจะจัดตัวให้เข้าสู่สมดุลโดยการเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา ทำให้ค่าของ In<sup>-</sup> เพิ่มขึ้น จะปรากฏสีของ In<sup>-</sup> อย่างเดียว

$[\text{HIn}] > [\text{In}^-] 10$  เท่าขึ้นไป จะปรากฏสีของ HIn

$[\text{HIn}] < [\text{In}^-] 10$  เท่าขึ้นไป จะปรากฏสีของ In<sup>-</sup>

ช่วง pH ของสารละลายที่ทำให้สารอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีหนึ่งไปเป็นอีกสีหนึ่งเรียกว่า ช่วง pH ของสารอินดิเคเตอร์ ส่วนสารอินดิเคเตอร์สากล (Universal indicator) ได้จากการนำเอาสารอินดิเคเตอร์หลายชนิดมาผสมกัน ซึ่งจะสามารถแสดงค่า pH ของสารละลายในช่วงต่างๆ ได้ดีกว่า



### การเลือกใช้สารอินดิเคเตอร์

1. การ titration ของกรดแก่และเบสแก่ เมื่อถึงจุดยุติของการ titration จะได้สารละลายเป็นกลาง อินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็นชนิดที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ที่เป็นกลางซึ่งได้แก่ litmus หรือ bromothymol blue
2. การ titration ของกรดแก่และเบสอ่อน เมื่อถึงจุดจบของการ titration จะได้สารละลายเป็นกรด อินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็นชนิดที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ที่เป็นกรดซึ่งได้แก่ methyl orange
3. การ titration ของกรดอ่อนและเบสแก่ เมื่อถึงจุดจบของการ titration จะได้สารละลายเป็นเบส อินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็นชนิดที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ที่เป็นเบสซึ่งได้แก่ phenol red หรือ phenolphthalein

ประโยชน์ของอินดิเคเตอร์มีดังนี้ วัดความเป็นกรดหรือเบส ทดสอบการไฮโดรไลซิสของเกลือ นอกจากนี้ยังบอกจุดยุติของการ titration

ตารางที่ 9.2 กรด เบส อินดิเคเตอร์แสดงการเปลี่ยนสี

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH ที่เปลี่ยน	สีที่เปลี่ยน	
		กรด	เบส
Methyl yellow	2.9 - 4.0	แดง	เหลือง
Methyl orange	3.1 - 4.4	แดง	เหลือง
Methyl red	4.4 - 6.2	แดง	เหลือง
Litmus	4.5 - 8.3	แดง	น้ำเงิน
Bromocresol purple	5.2 - 6.8	เหลือง	ชมพู
Bromothymol blue	6.0 - 7.6	เหลือง	น้ำเงิน
Phenol red	6.4 - 8.2	เหลือง	แดง
Thymol blue	8.0 - 9.6	เหลือง	น้ำเงิน
Phenolphthalein	8.3 - 10.0	ไม่มีสี	ชมพู
Alizarin yellow	10.0 - 12.1	เหลือง	น้ำตาลแดง

## ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

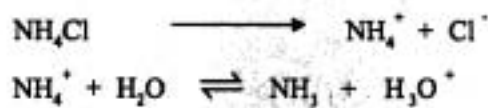
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาที่ไอออนของเกลือที่แตกตัวในน้ำทำให้สารละลายของเกลือนั้นแสดงคุณสมบัติเป็นกรด เบส หรือเป็นกลาง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือเหล่านั้น ชนิดประเภทการไฮโดรไลซิสของเกลือสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

### 1. สารละลายของเกลือที่เกิดจากกรดอ่อนและเบสอ่อน

สารละลายของเกลือนชนิดนี้เมื่อนำมาละลายน้ำจะแสดงความเป็นเบสที่ pH มากกว่า 7 หรือเป็นกลาง เกลือประเภทนี้ได้แก่  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  หรือ  $\text{NH}_4\text{CN}$

### 2. สารละลายของเกลือที่เกิดจากกรดแก่และเบสอ่อน

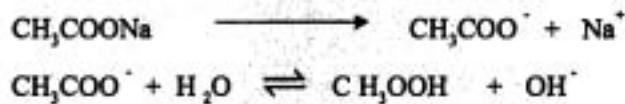
สารละลายของเกลือนชนิดนี้เมื่อนำมาละลายน้ำแล้วจะแสดงความเป็นกรด เกลือประเภทนี้ได้แก่  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ซึ่งเป็นเกลือของกรดแก่คือ  $\text{HCl}$  และเบสอ่อนคือ  $\text{NH}_4\text{OH}$



เนื่องจาก  $\text{NH}_4^+$  ให้โปรตอนแก่น้ำได้ ทำให้ค่า  $\text{OH}^-$  ในสารละลายลดลงจึงทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  ในสารละลายเพิ่มขึ้น สารละลายมี  $\text{H}^+$  มากจึงแสดงความเป็นกรด

### 3. สารละลายของเกลือที่เกิดจากกรดอ่อนและเบสแก่

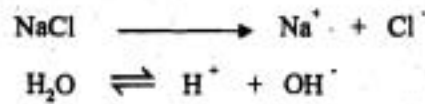
สารละลายของเกลือนชนิดนี้เมื่อนำมาละลายน้ำจะแสดงความเป็นเบส เกลือประเภทนี้ได้แก่  $\text{CH}_3\text{COONa}$  ซึ่งเป็นเกลือของกรดอ่อนของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และเบสแก่ของ  $\text{NaOH}$



ค่า  $\text{H}^+$  จากน้ำสามารถรวมตัวกับ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  จึงทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{H}^+$  ในสารละลายลดลง ทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{OH}^-$  เพิ่มขึ้น สารละลายมีค่า pH มากกว่า 7 จึงแสดงความเป็นเบส

#### 4. สารละลายของเกลือที่เกิดจากกรดแก่และเบสแก่

สารละลายของเกลือชนิดนี้เมื่อนำมาละลายน้ำจะแสดงค่า pH เท่ากับ 7 หรือเป็นกลาง เกลือประเภทนี้ได้แก่ NaCl KCl และ Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



ไอออนของเกลือเหล่านี้เมื่อแตกตัวแล้วไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ H<sup>+</sup> และ OH<sup>-</sup> ในสารละลาย ดังนั้นจึงแสดงค่า pH เท่ากับ 7 เนื่องจาก NaCl สามารถแตกตัวได้ Na<sup>+</sup> และ Cl<sup>-</sup> ได้หมดจึงไม่ไปรบกวนปริมาณของ H<sup>+</sup> และ OH<sup>-</sup> ในสารละลาย

#### วิธีการทดลอง

##### 1. การหาช่วง pH ของการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ที่ต่างชนิด

1. ห้องปฏิบัติการจะเตรียมค่า pH ต่างๆ ไว้ตั้งแต่ pH 1 ถึง pH 12
2. นำหลอดทดสอบมา 12 หลอด เติมสารละลายที่มีค่า pH 1 ถึง pH 12 ลงในหลอดทดสอบทั้ง 12 หลอด จำนวนหลอดละ 2 mL
3. อินดิเคเตอร์ที่ใช้มี 11 ตัว ได้แก่

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Methyl red       | 7. Methyl violet        |
| 2. Methyl yellow    | 8. Alizarin yellow      |
| 3. Bromothymol blue | 9. Bromocresol purple   |
| 4. Phenolphthalein  | 10. Methyl orange       |
| 5. Thymol blue      | 11. Universal indicator |
| 6. Phenol red       |                         |

หยดอินดิเคเตอร์ตัวแรก methyl red จำนวน 3 หยดลงในหลอดทดสอบแต่ละหลอดจนครบทั้ง 12 หลอด พร้อมเขย่าให้เข้ากัน บันทึกค่า pH และช่วงสีที่เปลี่ยน

4. เทสารละลายทั้งทั้ง 12 หลอด และล้างหลอดทดสอบให้สะอาด ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึง ข้อ 3 แต่เปลี่ยนอินดิเคเตอร์ตัวใหม่โดยเริ่มตัวที่ 2 จนถึงตัวที่ 11
5. ทำการบันทึกค่า pH และช่วงสีที่เปลี่ยนจนครบทั้ง 11 ตัว

2. การหาค่า pH ของกรด เบส และเกลือโดยใช้ universal indicator เป็นตัวเทียบสี

1. ทำการเตรียมสี pH ที่ได้จาก universal indicator ก่อนโดยใช้หลอดทดสอบ 12 หลอด ให้หยดสารละลายที่มี pH ตั้งแต่ 1 ถึง 12 ลงในหลอดทดสอบแต่ละหลอด แล้วหยด universal indicator ลงในหลอดทั้ง 12 หลอด ๆ ละ 3 หยดพร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากัน ทำการเก็บสารละลายชุดนี้ไว้เทียบหาค่า pH ของสารละลายที่จะทำการทดลองต่อไป
2. นำหลอดทดสอบใหม่มา 9 หลอด ให้หยดสารละลายข้างล่างต่อไปนี้ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 2 mL จนครบทั้ง 9 หลอด และหยด universal indicator จำนวน 2-3 หยดลงในแต่ละหลอด

- |                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| 1. Acetic acid                  | 6. Sodium chloride   |
| 2. Sodium hydroxide             | 7. Ammonium nitrate  |
| 3. Trisodium hydrogen phosphate | 8. Ammonium sulphate |
| 4. Disodium hydrogen phosphate  | 9. Ammonium oxalate  |
| 5. Sodium bicarbonate           |                      |

3. จากนั้นนำสารละลายทั้ง 9 หลอดไปเทียบสีหาค่า pH กับสารละลายที่หยด universal indicator ในข้อ 1

3. การหาค่า pH ของกรด เบส เกลือ และสารเคมีที่ใช้ในชีวิตประจำวันโดยใช้ universal indicator

1. นำหลอดทดสอบมาจำนวน 10 หลอด หยดสารละลายต่อไปนี้ลงในหลอดทดสอบแต่ละหลอดจำนวนหลอดละ 2 mL จนครบทั้ง 10 หลอด สารละลายที่ใช้มีดังนี้

- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Sulphuric acid     | 6. Carbonate beverage       |
| 2. Acetic acid        | 7. Shampoo                  |
| 3. Sodium hydroxide   | 8. Liquid laundry detergent |
| 4. Ammonium hydroxide | 9. Alcohol                  |
| 5. Vinegar            | 10. Milk                    |

2. ทำการทดสอบสารละลายแต่ละหลอดด้วยกระดาษลิตมัส โดยใช้แท่งแก้วสะอาดและสารละลายแล้วนำมาแตะกับกระดาษลิตมัส บันทึกผลว่าสารละลายชนิดใดแสดงความเป็นกรดหรือเบส
3. ทำการแบ่งสารละลายแต่ละหลอดออกเป็น 3 ส่วนจากสารละลายข้อ 1 โดยแต่ละส่วนให้หยดอินดิเคเตอร์ของ methyl orange, universal indicator และ phenolphthalein อย่างละ 3 หยดดังนี้
 

ส่วนที่ 1	หยด methyl orange	3	หยด
ส่วนที่ 2	หยด universal indicator	3	หยด
ส่วนที่ 3	หยด phenolphthalein	3	หยด
4. จากนั้นบันทึก และเปรียบเทียบสีของสารละลายจากการทดลองที่ 1 และ 2 เพื่อหาค่า pH ของสารละลาย

#### 4. ปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของเกลือ

1. นำหลอดทดสอบที่สะอาดมาจำนวน 9 หลอด ใช้ช้อนตักสารตักเกลือแต่ละชนิดประมาณ 0.1 มิลลิกรัมลงในหลอดทดสอบทั้ง 9 หลอด และเติมน้ำกลั่นลงหลอดละ 3 mL พร้อมคนให้ทั่ว เกลือที่จะนำมาทดสอบคือ
 

1. Sodium carbonate	6. Ammonium nitrate
2. Potassium nitrate	7. Potassium alum
3. Trisodium hydrogen phosphate	8. Sodium sulphate
4. Ammonium chloride	9. Ammonium oxalate
5. Monosodium hydrogen phosphate	
2. ทดสอบความเป็นกรดหรือเบสของสารละลายแต่ละหลอดโดยใช้กระดาษลิตมัส บันทึกผลที่ได้
3. หยด universal indicator ลงในหลอดทดสอบเดิมในข้อ 1 หลอดละ 3 หยดพร้อมทั้งเขย่าให้เข้ากัน นำหลอดทดสอบแต่ละหลอดไปเทียบกับสีของ universal indicator ในการทดลองที่ 2 ในข้อ 1 เพื่อหาค่า pH ของแต่ละสารละลาย

**ผลการทดลอง**

**1. การหาช่วง pH ของการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ต่างชนิด**

อินดิเคเตอร์	pH												สีที่เปลี่ยนแปลง	ช่วง pH ที่เปลี่ยนสี	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1. Methyl orange															
2. Methyl yellow															
3. Bromothymol blue															
4. Phenolphthalein															
5. Methyl red															
6. Thymol blue															
7. Phenol red															
8. Methyl violet															
9. Alizarin yellow															
10. Bromocresol purple															
11. Universal indicator															

**2. การหา pH ของสารละลายกรด-เบส และเกลือโดยใช้ universal indicator เป็นสารเทียบสี**

หลอดที่	สารละลาย	สีของ universal indicator	ช่วง pH ของสารละลาย
1	Acetic acid		
2	Sodium hydroxide		
3	Disodium hydrogen phosphate		
4	Trisodium hydrogen phosphate		
5	Sodium bicarbonate		
6	Sodium chloride		
7	Ammonium nitrate		
8	Ammonium sulphate		
9	Ammonium oxalate		

3. การหา pH ของกรด-เบส เกลือ และสารเคมีที่ใช้ในชีวิตประจำวันโดยใช้อินดิเคเตอร์ ชนิดต่าง ๆ (Methyl orange = M.O , Phenolphthalein = P.P)

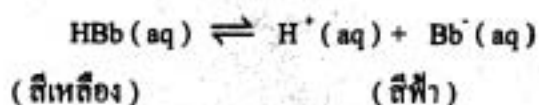
หลอดที่	สารละลาย	สีเดิม	สีใหม่	ช่วงของ pH ที่เปลี่ยน			pH ของสารละลาย
				Universal Indicator	M.O	P.P	
1	Sulphuric acid						
2	Acetic acid						
3	Sodium hydroxide						
4	Ammonium hydroxide						
5	Vinegar						
6	Carbonate beverage						
7	Shampoo						
8	Liquid laundry detergent						
9	Alcohol						
10	Milk						

4. ปฏิริยาไฮโดรไลซิสของเกลือ

เกลือ	สูตรของเกลือ	ชื่อของกระดาดสีเดิม	Universal Indicator	pH	สูตรของกรดและเบสที่ได้จากเกลือ
1.	Sodium carbonate				
2.	Potassium nitrate				
3.	Monosodium hydrogen phosphate				
4.	Trisodium hydrogen phosphate				
5.	Ammonium chloride				
6.	Ammonium nitrate				
7.	Potassium alum				
8.	Sodium sulphate				
9.	Ammonium oxalate				

คำถาม

1. Bromothymol blue เป็นกรดอ่อนแตกตัวได้ดังนี้



สมดุลของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปทางซ้ายหรือขวา เมื่อเติมสารละลาย NaOH ลงไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงหาค่า  $[\text{H}^+]$  และ  $[\text{OH}^-]$  ของสารละลายที่มี  $\text{pH} = 5$  ที่  $25^\circ\text{C}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....



**การทดลองที่ 10**  
**สารละลายบัฟเฟอร์**  
**( Buffer Solution )**

---

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการควบคุมระดับค่า pH ในสารละลาย

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง**

- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1. หลอดทดสอบ ( Test tube )            | 4. กระจกตวง ( Graduated cylinder ) |
| 2. ที่วางหลอดทดสอบ ( Test tube rack ) | 5. แท่งแก้วคนสาร ( Stirring rod )  |
| 3. หลอดหยดสาร ( Dropper )             | 6. กระจกฉีบน้ำ ( Wash bottle )     |

**สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง**

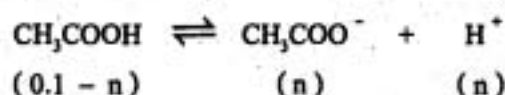
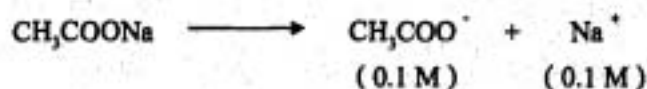
**สารละลาย**

1. 0.01 M Hydrochloric acid ( HCl )
2. 0.01 M Sodium hydroxide ( NaOH )
3. 0.5 M Sodium dihydrogen phosphate (  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  )
4. 0.5 M Disodium hydrogen phosphate (  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  )
5. 1.0 M Acetic acid (  $\text{CH}_3\text{COOH}$  )
6. 1.0 M Sodium acetate (  $\text{CH}_3\text{COONa}$  )
7. 1.0 M Ammonium hydroxide (  $\text{NH}_4\text{OH}$  )
8. 1.0 M Ammonium chloride (  $\text{NH}_4\text{Cl}$  )

### ทฤษฎีการทดลอง

สารละลายบัฟเฟอร์ คือสารละลายที่สามารถรักษาระดับค่า pH ของสารละลายไว้ได้เกือบคงที่เสมอไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณกรดหรือเบส สารละลายบัฟเฟอร์จะประกอบด้วยกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน เช่น สารละลายกรดอ่อนคือกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และเกลือของกรดอ่อนคือ โซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) ในการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ทำได้โดยการคิดตรงหรือใช้สมการของ Henderson - Hasselbalch equation ซึ่งจะบอกความสัมพันธ์ของการแตกตัวของกรดอ่อนกับค่า pKa ของกรดอ่อน ในสภาพ pH ต่าง ๆ เช่น ในการคำนวณหา pH ของสารละลายผสมของ 0.1 M กรดอะซิติกกับ 0.1 M โซเดียมอะซิเตทจะหาได้ดังนี้

โซเดียมอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) จะแตกตัวได้หมดให้  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$  อย่างละ 0.1 M กำหนดให้ n เป็นส่วนของกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ที่แตกตัวให้  $\text{H}^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$



ดังนั้น

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0.1 + n$$

$$\text{และ } [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.1 - n$$

กำหนดให้ค่าคงที่ ( $K_a$ ) ของการแตกตัวของกรดอะซิติก =  $1.8 \times 10^{-5}$  ดังนั้น pKa ของ  $\text{CH}_3\text{COOH} = -\log(1.8 \times 10^{-5}) = 4.76$  จากสมการของ Henderson - Hasselbalch equation จะได้ว่า

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\text{pH} = 4.76 + \log \frac{[0.1 + n]}{[0.1 - n]}$$

เนื่องจากค่า  $n$  มีค่าน้อยมาก (ประมาณ  $1.8 \times 10^{-5}$ ) เมื่อเทียบกับ 0.1 M จึงไม่นำมาคิดดังนั้น

$$\text{pH} = 4.76 + \log \frac{[0.1]}{[0.1]}$$

$$\text{pH} = 4.76$$

นั่นคือ สารละลายผสมของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน ในปริมาณโมลาร์ที่เท่ากันจะมีค่า pH เท่ากับ  $\text{pK}_a$  ของกรดอ่อนนั้น ถ้าเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของกรดหรือไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ลงในสารละลายนี้เป็น 0.01 M ค่าไฮโดรเจนไอออนที่เกินมาจะรวมตัวกับอะซิเตทให้กลายเป็นกรดอะซิติก ดังนั้นความเข้มข้นของ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  จะลดลงเป็น 0.1 - 0.01 เท่ากับ 0.09 M และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จะเพิ่มเป็น 0.1 + 0.01 เท่ากับ 0.11 M ค่า pH ของสารละลายจะเปลี่ยนไปเป็น

$$\text{pH} = 4.76 + \log \frac{[0.09]}{[0.11]} = 4.67$$

จะเห็นได้ว่าค่า pH ในสารละลายจะลดลงจาก 4.76 เป็น 4.67 ซึ่งลดลงจากเดิมไป 0.09 เท่านั้น ถ้าเติมเบสหรือไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ลงในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ค่า pH จะเพิ่มเป็น  $4.76 + 0.09 = 4.85$  โดยทั่วไปช่วงของบัฟเฟอร์ที่มีประโยชน์จะอยู่ระหว่างค่า  $\text{pK}_a + 1$  ถึง  $\text{pK}_a - 1$  ดังนั้นจึงเลือกค่า  $\text{pK}_a$  ให้เหมาะสมสำหรับช่วง pH ในการทำสารละลายบัฟเฟอร์ ถ้ากรดที่มีการแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้หลายไอออน (Polyprotic acid) เช่น กรดฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) จะให้สารละลายบัฟเฟอร์ได้ดีที่ pH ประมาณ 2, 7 และ 12 ซึ่งเป็นค่า  $\text{pK}_a$  ของกรดนี้ตามตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 10.1 การแตกตัวของ Polyprotic acid กับค่า pKa ของกรด

กรด	pKa	การแตกตัว
Formic acid	3.37	$\text{HCOOH} = \text{H}^+ + \text{HCOO}^-$
Acetic acid	4.76	$\text{CH}_3\text{COOH} = \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
Carbonic acid	3.77	$\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
		$\text{HCO}_3^- = \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$
Phosphoric acid	2.14	$\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$
	7.20	$\text{H}_2\text{PO}_4^- = \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$
	12.40	$\text{HPO}_4^{2-} = \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$
Glycine	2.34	$\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COOH} = \text{H}^+ + \text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COO}^-$
	9.60	$\text{H}_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COO}^- = \text{H}^+ + \text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO}^-$

### วิธีการทดลอง

#### วิธีการเตรียมสารละลาย buffer และ unbuffer

##### สารละลาย buffer

- 1 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  จำนวน 5 mL ผสมกับ 1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  จำนวน 20 mL (1:4)
- 0.5 M  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  จำนวน 10 mL ผสมกับ 0.5 M  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  จำนวน 10 mL
- 1 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  จำนวน 10 mL ผสมกับ 1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  จำนวน 10 mL (1:1)
- 1 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  จำนวน 10 mL ผสมกับ 1 M  $\text{CH}_3\text{COONa}$  จำนวน 10 mL

##### สารละลาย Unbuffer

- 0.0001 M HCl (0.01 M HCl จำนวน 1 mL ผสมกับน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 mL)
- 0.0001 M NaOH (0.01 M NaOH จำนวน 1 mL ผสมกับน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 mL)
- น้ำกลั่นจำนวน 400 mL ที่ต้มไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออกเรียบร้อยแล้ว

1. สารละลาย unbuffer ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลาย

ทางห้องปฏิบัติการได้เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ค่า pH ต่าง ๆ ไว้เทียบสีกับสารละลายที่ทำการทดลอง

- นำหลอดทดสอบมา 3 หลอด เติมสารละลาย unbuffer ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 3 mL ตามตารางข้างล่างนี้

หลอดทดสอบ	สารละลาย unbuffer
1	น้ำกลั่น 3 mL
2	0.0001 M HCl 3 mL
3	0.0001 M NaOH 3 mL

- ใช้เครื่องมือ pH meter ในการวัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นทั้ง 3 หลอดก่อนเติมสารละลายกรดและเบส ทำการบันทึกค่า pH ที่วัดได้
- หยดสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.01 M ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 1 หยดตามตารางข้างล่างนี้ คนให้เข้ากัน และทำการวัดค่า pH ของสารละลายหลังเติมกรด

หลอดทดสอบ	สารละลาย unbuffer	0.01 M HCl
1	น้ำกลั่น 3 mL	1 หยด
2	0.0001 M HCl 3 mL	1 หยด
3	0.0001 M NaOH 3 mL	1 หยด

- นำหลอดทดสอบใหม่มา 3 หลอด เติมสารละลาย unbuffer ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 3 mL ทำการหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 M จำนวน 1 หยดลงในแต่ละหลอดตามตารางข้างล่างนี้ ทำการวัดค่า pH ของสารละลายหลังเติมเบส

หลอดทดสอบ	สารละลาย unbuffer	0.01 M NaOH
1	น้ำกลั่น 3 mL	1 หยด
2	0.0001 M HCl 3 mL	1 หยด
3	0.0001 M NaOH 3 mL	1 หยด

2. สารละลาย buffer ที่มีผลต่อการควบคุม pH ในสารละลาย

1. นำหลอดทดสอบมา 4 หลอด เติมสารละลาย buffer ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 3 mL ตามตารางข้างล่างนี้

หลอดทดสอบ	สารละลาย buffer
1	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$ และ $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
2	$\text{CH}_3\text{COOH}$ และ $\text{CH}_3\text{COONa}$
3	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:1)
4	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:4)

2. ใช้เครื่องมือ pH meter ในการวัดค่า pH ของสารละลายเริ่มต้นทั้ง 4 หลอดก่อนเติมสารละลายกรดและเบส ทำการบันทึกค่า pH ที่วัดได้
3. หยดสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 0.01 M ลงในแต่ละหลอด ๆ ละ 1 หยดตามตารางข้างล่างนี้ คนให้เข้ากัน และทำการวัดค่า pH ของสารละลายหลังเติมกรด

หลอดทดสอบ	สารละลาย buffer	0.01 M HCl
1	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$ และ $\text{Na}_2\text{HPO}_4$	1 หยด
2	$\text{CH}_3\text{COOH}$ และ $\text{CH}_3\text{COONa}$	1 หยด
3	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:1)	1 หยด
4	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:4)	1 หยด

4. นำหลอดทดสอบใหม่มา 4 หลอด เติมสารละลาย buffer ลงในแคละหลอด ๆ ละ 3 mL ทำการหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 M จำนวน 1 หยดลงในแคละหลอดตามตารางข้างล่างนี้ ทำการวัดค่า pH ของสารละลายหลังเติมเบส

หลอดทดสอบ	สารละลาย buffer	0.01 M NaOH
1	$\text{NaH}_2\text{PO}_4$ และ $\text{Na}_2\text{HPO}_4$	1 หยด
2	$\text{CH}_3\text{COOH}$ และ $\text{CH}_3\text{COONa}$	1 หยด
3	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:1)	1 หยด
4	$\text{NH}_4\text{OH}$ และ $\text{NH}_4\text{Cl}$ (1:4)	1 หยด

### ผลการทดลอง

1. สารละลาย unbuffer ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลาย

	สารละลาย (1) น้ำกลั่น หลอดที่ 1	สารละลาย (2) 0.0001M HCl หลอดที่ 2	สารละลาย (3) 0.0001M NaOH หลอดที่ 3
1. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( ก่อนเติม กรด และ เบส )	.....	.....	.....
2. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( เมื่อเติม 0.01 M HCl )	.....	.....	.....
3. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( เมื่อเติม 0.01 M NaOH )	.....	.....	.....

2. สารละลาย buffer ที่มีผลต่อการควบคุม pH ในสารละลาย

	สารละลาย (4) NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> และ Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> หลอดที่ 1	สารละลาย (5) CH <sub>3</sub> COOH และ CH <sub>3</sub> COONa หลอดที่ 2	สารละลาย (6) NH <sub>4</sub> OH และ NH <sub>4</sub> Cl (1:1) หลอดที่ 3	สารละลาย (7) NH <sub>4</sub> OH และ NH <sub>4</sub> Cl (1:4) หลอดที่ 4
1. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( ก่อนเติม กรด และ เบส )	.....	.....	.....	.....
2. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( เมื่อเติม 0.01 M HCl )	.....	.....	.....	.....
3. ค่า pH ของสารละลายตั้งต้น ( เมื่อเติม 0.01 M NaOH )	.....	.....	.....	.....

ตารางสรุปการเปลี่ยนแปลงค่า pH เมื่อเติมกรดและเบสลงในสารละลายข้อ 1 ถึง ข้อ 2

	ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลง	
	สารละลาย unbuffer	สารละลาย buffer
1. เติมกรด	สารละลาย (1).....	สารละลาย (4).....
2. เติมเบส	สารละลาย (1).....	สารละลาย (4).....
3. เติมกรด	สารละลาย (2).....	สารละลาย (5).....
4. เติมเบส	สารละลาย (2).....	สารละลาย (5).....
5. เติมกรด	สารละลาย (3).....	สารละลาย (6).....
6. เติมเบส	สารละลาย (3).....	สารละลาย (6).....



**คำถาม**

1. จงอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า pH หลังจากการเติมสารละลายกรดและเบสลงในสารละลาย buffer และ unbuffer

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. อัตราส่วนของสารละลาย buffer ที่ 6 และ 7 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH หลังการเติมสารละลายกรดและเบสลงในสารละลายอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## การทดลองที่ 11

### การหาค่าคงที่สมดุลโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

(Determination of an Equilibrium Constant by Spectrophotometer)

---

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนของการรวมตัวระหว่างเหล็ก ( III ) และไอโซไซยาเนตไอออนในอัตราส่วน 1 : 1 โดยวิธีการผันแปรอย่างต่อเนื่อง ( Method of continuous variation )
2. เพื่อศึกษาปริมาณของสารประกอบเชิงซ้อนที่สภาวะสมดุล และคำนวณหาค่าคงที่สมดุล ( K ) ของการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องสเปกโตรนิค 20 ( Spectronic 20 )
2. เซลล์ใส่สารละลาย ( Cuvette cell )
3. บิวเรต ( Buret )
4. กระจกวง ( Graduated cylinder )
5. ขวดวัดปริมาตร ( Volumetric flask )
6. กระจกฉีดน้ำ ( Wash bottle )
7. หลอดทดสอบ ( Test tube )

#### สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### สารละลาย

1. 0.002 M Potassium thiocyanate ( KSCN )
2. 0.05 M Nitric acid (  $\text{HNO}_3$  )
3. 0.002 M Ferric nitrate (  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  )
4. Sodium bicarbonate (  $\text{NaHCO}_3$  )

### ทฤษฎีการทดลอง

ในธรรมชาติจะพบว่าสารเคมีต่าง ๆ สามารถดูดกลืน (Absorb) รังสีหรือแสงได้แตกต่างกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของสารเหล่านั้น ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์สารแต่ละชนิดว่าเป็นสารอะไรและมีปริมาณมากน้อยเพียงใด การดูดกลืนแสงคล้าย ๆ กับปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องระหว่างตัวโมเลกุลของสารที่ดูดกลืนคลื่นแสง หรือไอออนและแถบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่าโฟตอน (Photon) จากทฤษฎีควอนตัมพลังงานของโฟตอนจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความถี่ดังสมการนี้

$$E = hv$$

E = พลังงานโฟตอน

h = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)

v = ความถี่

ถ้าความเร็วของแสง (c) เท่ากับผลคูณของความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) และความถี่ (v)

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

เครื่องมือสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโดยอาศัยการดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของสาร โดยจะวัดในช่วงคลื่นวิสิเบิล (Visible) ที่ความยาวคลื่น 380 nm ถึง 800 nm เมื่อลำแสงวิสิเบิลผ่านเข้าไปในสารเคมีจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนเกิดขึ้น (Electron transition) โดยเฉพาะอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Outer most electron) หรืออิเล็กตรอนที่เกิดพันธะ (Bonding electron) หรืออิเล็กตรอนอะตอมของธาตุบางธาตุที่ยังไม่เกิดพันธะ (Nonbonding electron) ให้ได้รับพลังงานสูงขึ้น การเกิดขบวนการดูดกลืนแสงนี้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

## ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบเพื่อหาปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ดังรูปที่ 11.1

1. แหล่งกำเนิดคลื่นแสง (Radiation sources) จะใช้จะเป็นหลอดทังสเตน (Tungsten lamp) สำหรับช่วงคลื่นวิสิเบิลที่ความยาวคลื่น 320 nm ถึง 800 nm หรือหลอดไฮโดรเจน (Hydrogen lamp) หรือหลอดควิเทอร์ียม (Deuterium lamp) สำหรับช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ที่ความยาวคลื่น 180 nm ถึง 375 nm

2. เครื่องแยกคลื่นแสง (Wavelength selector) หรือโมโนโครมาเตอร์ ทำหน้าที่แยกแสงออกเป็นความยาวคลื่นที่ต่าง ๆ กันจากลำแสงโพลีโครมาติก (Polychromatic radiation) เป็นลำแสงโมโนโครมาติก (Monochromatic radiation) โมโนโครมาเตอร์จะประกอบด้วย เกรตติง (Grating) ปริซึม (Prism) หรือฟิลเตอร์ (Filter)

3. เลนส์รวมแสง (lens) ใช้สำหรับรวมความเข้มของแสงที่ออกจากช่องแสง

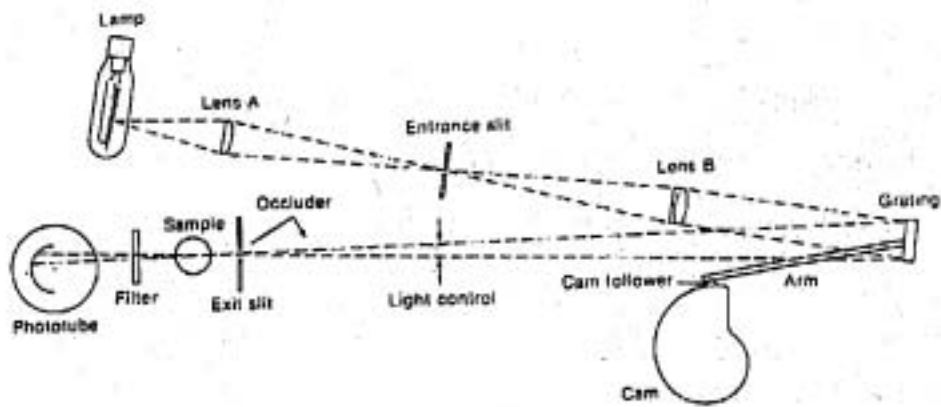
4. ช่องแสงเข้า (Entrance slit) ทำหน้าที่ปรับลำแสงผ่านเข้าสู่โมโนโครมาเตอร์

5. ช่องแสงออก (Exit slit) ใช้แยกแถบแคบ ๆ เพื่อหาความยาวคลื่นแสงที่ถูกกระจาย

6. ช่องใส่เซลล์ (Sample slot) ใช้สำหรับใส่เซลล์ ที่จะทำการวัดความเข้มข้นของสารละลาย เซลล์ที่ใช้ใส่สารละลายตัวอย่างเรียกว่า cuvettes ซึ่งทำด้วยแก้วธรรมดา ใช้ได้ในช่วงวิสิเบิลเท่านั้นเพราะแก้วธรรมดาสามารถดูดกลืนแสง UV ได้ ส่วนเซลล์ที่ทำด้วยควอทซ์ (Quartz) หรือซิลิกา (Silica) ใช้ได้กับแสง UV ในช่วงความยาวคลื่น 220 nm ถึง 340 nm แต่ในช่วงความยาวคลื่น 185 nm ถึง 220 nm อาจต้องใช้เซลล์ซิลิกาแทน เซลล์ที่ใช้ควรจะต้องทำความสะอาดโดยอย่าให้มีรอยขีดข่วนบนผิวหน้าเซลล์มิฉะนั้นอาจทำให้แสงที่มากกระทบบนผิวเซลล์เกิดการสะท้อนได้

7. เครื่องตรวจวัดความเข้มของแสง (Photo detector) ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณคลื่นแสงที่ผ่านออกจากเซลล์ใส่สารตัวอย่าง

8. เครื่องบันทึกค่า (Readout device) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจากเครื่องตรวจวัดความเข้มของแสงให้ออกมาอยู่ในรูปที่สามารถนำค่านั้นไปใช้ต่อไปได้



รูปที่ 11.1 อุปกรณ์และระบบทางเดินแสงของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

### กฎของการดูดกลืนแสง

ในการหาปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืนด้วยสารตัวอย่าง ซึ่งทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง จากนั้นทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านออกจากสารตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง กฎของการดูดกลืนแสงมีอยู่ 2 กฎด้วยกันคือ กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) และกฎของเบียร์ (Beer's law)

1. **กฎของแลมเบิร์ต** กล่าวว่าเมื่อแสงสีเดียว (Monochromatic light) ซึ่งมีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) สัดส่วนของความเข้มข้นของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดไว้จะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มข้นของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน หรือหมายความว่าลำแสงความยาวคลื่นเดียวที่ผ่านตัวกลางหนึ่งที่เป็นเนื้อเดียวกัน ความเข้มของลำแสงจะลดลงเป็นแบบ exponential กับความหนาของตัวกลาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dI = -kI db$$

- I = ความเข้มของแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว
- dI = ความเข้มข้นของแสงที่เปลี่ยนไป
- k = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงซึ่งมีค่าคงที่สำหรับแต่ละความยาวคลื่น
- b = ความหนาของตัวกลางที่ลำแสงเดียวผ่าน

ถ้าเขียนสมการใหม่เป็น

$$\frac{dI}{I} = -kdb$$

ถ้าให้  $I_0$  เป็นความเข้มข้นของแสงก่อนผ่านตัวกลาง ดังนั้นค่า  $b = 0$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -k \int_{I_0}^b db$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -kb$$

$$2.303 \log \frac{I}{I_0} = -kb$$

ดังนั้น  $\log \frac{I}{I_0} = \frac{-kb}{2.303}$  หรือ  $\log \frac{I_0}{I} = \frac{kb}{2.303}$

ถ้าให้  $\log \frac{I_0}{I} = A$  และ  $\frac{k}{2.303} = a$

$$A = ab$$

โดยที่ A คือค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) หรือ optical density

a คือค่า extinction coefficient หรือ absorptivity

2. กฎของเบียร์ กล่าวว่าเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ถูกดูดกลืนแสงนั้น หรือหมายความว่าสัดส่วนของลำแสงที่ผ่านสารละลายที่มีความหนาขนาดหนึ่งจะลดลงแบบ exponential กับความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = I_0 e^{-Gbc}$$

c = ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมล / ลิตร

b = ความหนาของตัวกลางที่ลำแสงเดียวผ่าน

G = เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง เมื่อความเข้มข้นของสารมีหน่วยเป็นโมล / ลิตร ค่านี้เป็นค่าเฉพาะตัวของสารซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและอุณหภูมิ

ถ้าเขียนสมการใหม่เป็น

$$\ln \frac{I}{I_0} = -Gbc$$

$$\log \frac{I_0}{I} = \frac{Gbc}{2.303}$$

$$\log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad \left( \text{เมื่อ } \epsilon = \frac{G}{2.303} \right)$$

$$A = \epsilon bc$$

เมื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของตัวกลางที่ลำแสงผ่าน จึงต้องรวมกฎของแลมเบิร์ตและกฎของเบียร์เข้าด้วยเรียกเป็นกฎเบียร์-แลมเบิร์ต และเขียนเป็นสมการใหม่ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

- $I_0$  = ความเข้มของแสงก่อนผ่านสารละลายตัวอย่าง
- $I$  = ความเข้มของแสงหลังจากผ่านสารละลายตัวอย่าง
- $\epsilon$  = molar absorptivity มีหน่วยเป็น  $\text{cm}^2/\text{โมล}$
- $b$  = ความหนาของสารละลายในหน่วย  $\text{cm}$
- $c$  = ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วย  $\text{โมล/ลิตร}$

เนื่องจากการวัดสามารถวัดออกมาเป็นค่า absorbance (A) หรือค่าการส่งผ่านแสง (Transmittance, T) จึงอาจใช้สมการต่อไปนี้ในการคำนวณได้ดังนี้

$$\text{กำหนดให้ } T = \frac{I}{I_0} \quad \text{และ} \quad \%T = 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\text{ดังนั้น } A = \epsilon bc = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T}$$

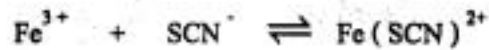
เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับห้องปฏิบัติการจะใช้  
รุ่น Unicam UV-Visible Spectrometers



เมื่อทำการวัดหาความเข้มข้นของสาร โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างจากการอ่านค่า absorbance ได้โดยตรง เมื่อทราบค่า  $\epsilon$  และความกว้างของเซลล์ ( $b$ ) ก็สามารถนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้โดยใช้สูตร  $A = \epsilon bc$

ในการทดลองจะศึกษาสารเชิงซ้อนของปฏิกิริยาการรวมตัวระหว่าง  $Fe^{3+}$  และ  $SCN^-$  ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไอออนเชิงซ้อนสีแดงของ  $Fe(SCN)^{2+}$  โดยใช้วิธีการแปรผันแบบต่อเนื่อง (Method of continuous variation) ซึ่งเป็นวิธีใช้หาอัตราส่วนของลิแกนด์ ( $SCN^-$ ) กับโลหะ ( $Fe^{3+}$ ) และค่าคงที่สมดุล ( $K$ ) ของการเกิดสารเชิงซ้อน โลหะและลิแกนด์ที่ไม่มีสีเมื่อนำมาทำปฏิกิริยากันจะได้สารเชิงซ้อนที่มีสีดังสมการ

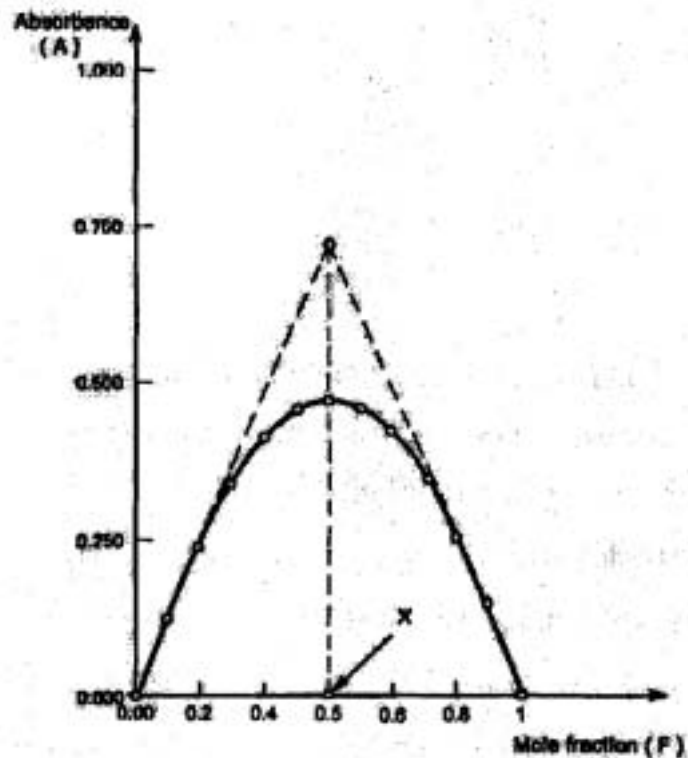




โลหะ ( สีเหลือง )      ลิแกนด์ ( ไม่มีสี )      ไอออนเชิงซ้อน ( สีแดง )

$$\text{ค่าคงที่สมดุล } K = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]}$$

ถ้าสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีชนิดเดียวและค่าคงที่สมดุลที่เกิดขึ้นมีหลายค่า จะนิยมใช้วิธีการแปรผันแบบต่อเนื่อง การวิเคราะห์วิธีนี้นิยมเตรียมสารละลายที่มีโลหะและลิแกนด์ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยรักษาผลรวมของจำนวนโมลของโลหะและลิแกนด์ให้มีค่าคงที่ สารละลายที่เตรียมได้มีค่าเศษส่วนโมลของโลหะและลิแกนด์หลายค่า จากนั้นนำมาพล็อตกราฟเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงกับเศษส่วนโมลของโลหะหรือลิแกนด์ดังนี้



เมื่อให้แกนตั้ง A คือค่า absorbance ของสารเชิงซ้อน และแกนราบ F คือค่าเศษส่วนโมล (Mole fraction) ของ  $\text{Fe}^{3+}$  หรือเศษส่วนโมลของ  $\text{SCN}^-$  ดังนั้น

$$\text{เศษส่วนโมลของ } \text{Fe}^{3+} = \frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{Fe}^{3+}}{\text{จำนวนโมลของ } \text{Fe}^{3+} + \text{จำนวนโมลของ } \text{SCN}^-}$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } \text{SCN}^- = \frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{SCN}^-}{\text{จำนวนโมลของ } \text{Fe}^{3+} + \text{จำนวนโมลของ } \text{SCN}^-}$$

$$\text{Fe}^{3+} + \text{SCN}^- = 1$$

เมื่อต่อเส้นตรงทั้งสองเส้นจะได้จุดตัดกัน เมื่อต่อจุดตัดกันนี้ไปยังแกนราบ ที่จุดตัด (X) บนแกนราบจะได้เศษส่วนโมลของ  $\text{Fe}^{3+}$  หรือเศษส่วนโมลของ  $\text{SCN}^-$  ที่จุดนี้คือสารเชิงซ้อนที่เกิดสมบูรณ์และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด จุดที่เกิดจากเส้นประตัดกับเส้นโค้งเกิดสารเชิงซ้อนมีการแตกตัว อัตราส่วนโมลของโลหะต่อลิแกนด์หาได้จาก

$$\frac{n}{m} = \frac{\text{จำนวนโมลของลิแกนด์}}{\text{จำนวนโมลของโลหะ}}$$

เนื่องจากความเข้มข้นของโลหะและลิแกนด์มีค่าเท่ากัน ดังนั้นค่าเศษส่วนโมลของโลหะและลิแกนด์จึงหาได้จาก

$$\text{เศษส่วนโมลของ } \text{Fe}^{3+} = \frac{\text{mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+}}{\text{mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+} + \text{mL ของสารละลาย } \text{SCN}^-}$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } \text{SCN}^- = \frac{\text{mL ของสารละลาย } \text{SCN}^-}{\text{mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+} + \text{mL ของสารละลาย } \text{SCN}^-}$$

## วิธีการทดลอง

### การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน

1. ทำการเตรียมหลอดทดลองจำนวน 8 หลอด พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขหลอดทดลอง ตั้งแต่ 1 ถึง 8
2. เติมสารละลาย  $0.002 \text{ M Fe(NO}_3)_3$  ใน  $0.05 \text{ M HNO}_3$  และสารละลาย  $0.002 \text{ M KSCN}$  ใน  $0.05 \text{ M HNO}_3$  ลงในแต่ละหลอด ซึ่งผลรวมแต่ละหลอดจะมีปริมาตรรวมเท่ากับ  $10 \text{ mL}$  ตามตารางข้างล่างนี้

หลอดทดลองที่	สารละลาย $0.002 \text{ M KSCN}$ ใน $0.05 \text{ M HNO}_3$ (mL)	สารละลาย $0.002 \text{ M Fe(NO}_3)_3$ ใน $0.05 \text{ M HNO}_3$ (mL)
1	สารละลายอ้างอิง (blank) ใช้ $0.05 \text{ M HNO}_3$	
2	KSCN = 10 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 0 ml
3	KSCN = 8 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 2 ml
4	KSCN = 6 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 4 ml
5	KSCN = 5 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 5 ml
6	KSCN = 4 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 6 ml
7	KSCN = 2 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 8 ml
8	KSCN = 0 ml	$\text{Fe(NO}_3)_3$ = 10 ml

3. ทำการคนสารละลายทั้ง 8 หลอดให้ทั่ว
4. ทำการเทสารละลายทั้ง 8 หลอดที่ผสมอัตราส่วนกันเรียบร้อยแล้วลงใน cuvette (ให้จับ cuvette ด้านที่หยาบ และอย่าให้มีฟองอากาศภายใน cuvette) จากนั้นทำความสะอาด cuvette ให้เรียบร้อย

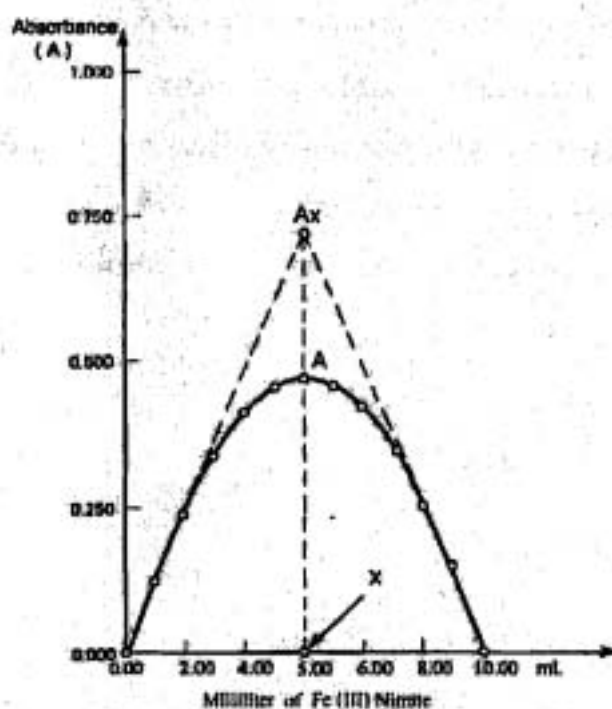
5. ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายแต่ละหลอดที่ความยาวคลื่น 477 nm โดยทำการเปิดเครื่อง Unicam UV-Visible Spectrometers ตามขั้นตอนดังนี้
1. เปิดเครื่อง UV-Visible Spectrometers ไว้ประมาณ 20 นาทีเพื่อทำการอุ่นเครื่อง
  2. ปรับความยาวคลื่นที่จะทำการวัดค่า absorbance ที่ 477 nm
  3. ใส่ cuvette หลอดที่ 2 - 8 ลงในช่องใส่สารตามลำดับ
  4. นำ cuvette หลอดที่ 1 ที่ใส่สารละลายอ้างอิง (0.05 M  $\text{HNO}_3$ ) ลงในช่องที่ 1 และปิดฝาแล้วทำการปรับค่า T ให้เป็น 100 % T หรือศูนย์ absorbance (A)
  5. จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงทั้ง 8 หลอด ทำการจดบันทึกค่าไว้
  6. คำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง และทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนแต่ละหลอดกับค่าเศษส่วนโมลของสารเชิงซ้อน

#### ตัวอย่างการคำนวณหาเศษส่วนโมลของสารเชิงซ้อนและค่าคงที่สมดุล

สารละลาย 0.002 M  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  และสารละลาย 0.002 M KSCN นำมาผสมในปริมาตรต่าง ๆ กันทั้ง 7 หลอด โดยควบคุมให้ปริมาตรของสารละลายทั้งสองเท่ากับ 10 mL

หมายเหตุ ค่า absorbance ที่ยกมานี้เป็นค่าสมมุติขึ้นเพื่อเป็นตัวอย่างในการคำนวณให้นักศึกษาคำนวณค่า absorbance จากผลการทดลองที่ได้จริงเท่านั้น

หลอดทดลองที่	สารละลาย 0.002 M Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (mL)	สารละลาย 0.002 M KSCN (mL)	Absorbance (ค่าสมมุติ)
1	10	0	0.000
2	8	2	0.415
3	6	4	0.460
4	5	5	0.473
5	4	6	0.460
6	2	8	0.424
7	0	10	0.334



ทำการพล็อตกราฟระหว่าง absorbance กับปริมาตรของเหล็ก (III) ไนเตรด เมื่อต่อเส้นจากการพล็อตกราฟทั้งสองเส้นมาพบกันที่จุด  $A_x$  จากนั้นลากเส้นตรงจากจุด  $A_x$  ไปยังแกนราบ ได้ที่จุดตัด  $X$  คือปริมาตรเศษส่วนโมลของ  $Fe^{3+}$  เท่ากับ 5 mL หาปริมาตร

อัตราส่วนลิแกนด์ต่อโลหะ ( ให้  $n$  = จำนวนโมลของลิแกนด์ และ  $m$  = จำนวนโมลของโลหะ )

$$\frac{n}{m} = \frac{\text{จำนวนโมลของลิแกนด์}}{\text{จำนวนโมลของโลหะ}}$$

$$= \frac{5 \text{ mL} \times 0.002 \text{ M}}{5 \text{ mL} \times 0.002 \text{ M}} = 1$$

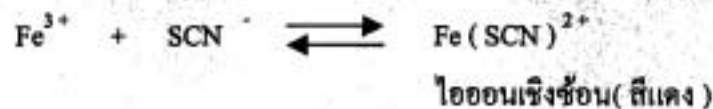
1. หาคะส่วนโมลของ  $\text{Fe}^{3+}$  ( กรณีหาในหลอดที่ 2 ) คือ

$$\text{เศษส่วนโมลของ } \text{Fe}^{3+} = \frac{\text{mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+}}{\text{mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+} + \text{mL ของสารละลาย } \text{SCN}^-}$$

$$= \frac{8 \text{ mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+}}{8 \text{ mL ของสารละลาย } \text{Fe}^{3+} + 2 \text{ mL ของสารละลาย } \text{SCN}^-}$$

2. การคำนวณค่าคงที่สมดุล

จากปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับลิแกนด์



$$\text{ค่าคงที่สมดุล } K = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]}$$

ถ้า  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$  หาได้จากจุดที่เกิดสารเชิงซ้อนคือจุด  $A_x = 0.720$  และจุดที่ A มีค่าเท่ากับ 0.473 เป็นจุดที่สารเชิงซ้อนมีการแตกตัวไม่สมบูรณ์ ทั้งสองจุดนี้บนแกนราบ (X) ปริมาตรของ  $\text{Fe}^{3+}$  และ  $\text{SCN}^-$  ที่ทำปฏิกิริยากันมีค่าเท่ากันและเท่ากับ 5 mL ดังนั้นที่จุด A จะได้

ความเข้มข้นของ  $\text{Fe}^{3+}$ ;  $C_{\text{Fe}} = [\text{Fe}^{3+}] + [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$   
 $[\text{Fe}^{3+}] = C_{\text{Fe}} - [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] \quad \dots\dots(1)$

ความเข้มข้นของ  $\text{SCN}^-$ ;  $C_{\text{SCN}} = [\text{SCN}^-] + [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$   
 $[\text{SCN}^-] = C_{\text{SCN}} - [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] \quad \dots\dots(2)$

$$C_{\text{Fe}} = \frac{0.002 \text{ M} \times \text{mL } \text{Fe}^{3+} \text{ ที่ใช้เริ่มต้น}}{10 \text{ mL}} \quad \dots\dots(3)$$

$$= \frac{0.002 \text{ M} \times 5 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} = 0.001 \text{ โมล/ลิตร}$$

$$C_{\text{SCN}} = \frac{0.002 \text{ M} \times \text{mL } \text{SCN}^- \text{ ที่ใช้เริ่มต้น}}{10 \text{ mL}} \quad \dots\dots(4)$$

$$= \frac{0.002 \text{ M} \times 5 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} = 0.001 \text{ โมล/ลิตร}$$

$[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$  หาได้จากจุดที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่อไปพบกันคือจุด  $A_x$  ซึ่งจุดนี้จะมีสาร  
 เชิงซ้อนของ  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$  สูงสุดและมีค่าเท่ากับ  $C_{\text{Fe}}$

ดังนั้น  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] = C_{\text{Fe}}$

จากสูตร  $A = \epsilon bc$

$$A_x = \epsilon b [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_x = \epsilon b C_{\text{Fe}}$$

A ที่วัดตรงสารเชิงซ้อนที่มีการแตกตัวไม่สมบูรณ์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A = \epsilon b [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$$

$$\frac{A}{A_x} = \frac{\epsilon b [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{\epsilon b [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]_x} = \frac{\epsilon b [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{\epsilon b C_{\text{Fe}}}$$

$$\frac{A}{A_x} C_{\text{Fe}} = [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}] \quad \dots\dots(5)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 1 และ 2 ลงในสมการที่ 6 ของค่าคงที่สมดุลจะได้

$$K = \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]} \quad \dots\dots (6)$$

$$= \frac{[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]}{(C_{\text{Fe}} - [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}])(C_{\text{SCN}} - [\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}])} \quad \dots\dots (7)$$

เมื่อทราบความเข้มข้นของ  $[\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}]$  ในสมการที่ 5 จากนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 7 จะหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาได้

$$K = \frac{\frac{A}{A_x} C_{\text{Fe}}}{(C_{\text{Fe}} - \frac{A}{A_x} C_{\text{Fe}})(C_{\text{SCN}} - \frac{A}{A_x} C_{\text{Fe}})}$$

$$K = \frac{\frac{A}{A_x} \cancel{C_{\text{Fe}}}}{\cancel{C_{\text{Fe}}} (1 - \frac{A}{A_x}) (C_{\text{SCN}} - \frac{A}{A_x} C_{\text{Fe}})}$$

จากการพล็อตเคอร์ฟจะได้ค่า  $A = 0.473$  และ  $A_x = 0.720$

$$K = \frac{0.473}{(1 - \frac{0.473}{0.720}) (0.001 \text{ โมล/ลิตร} - \frac{0.473}{0.720} \times 0.001 \text{ โมล/ลิตร})}$$

$$K = 5.58 \times 10^3 \text{ ลิตร/โมล}$$



### ผลการทดลอง

1. การวัดค่าการดูดกลืนแสง ( บันทึกการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 477 nm ของแต่ละสารละลาย )

หลอดทดลองที่	ค่าการดูดกลืนแสง ( Absorbance , A )	เศษส่วนโมลของ $Fe^{3+}$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

### คำถาม

1. นำข้อมูลจากผลการทดลองมาพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับเศษส่วนโมลของ  $Fe^{3+}$  ( ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง และค่าเศษส่วนโมลของ  $Fe^{3+}$  เป็นแกนนอน )

.....

.....

.....

.....

.....

2. จากการพล็อตเคอร์ฟในข้อ 1 จงตอบคำถามต่อไปนี้

2.1 หาค่าเศษส่วนโมลของ  $Fe^{3+}$  ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

.....  
 .....

2.2 หาค่าอัตราส่วนระหว่าง  $Fe^{3+}$  ต่อ  $SCN^-$  มีค่าเท่าไร

.....  
 .....

2. การคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

		หาค่าคงที่ (ความเข้มข้นเป็น mole / Lit)		
		2	4	6
1. $C_{Fe}$	จากสมการที่ 3			
2. $C_{SCN}$	จากสมการที่ 4			
3. $[Fe^{3+}]$	จากสมการที่ 1 (ข้อ 1 - ข้อ 5)			
4. $[SCN^-]$	จากสมการที่ 2 (ข้อ 2 - ข้อ 5)			
5. $[Fe(SCN)^{2+}]$	จากสมการที่ 5			
6. ค่า K	จากสมการที่ 6 $\frac{\text{ข้อ 5}}{\text{ข้อ 3} \times \text{ข้อ 4}}$			
ค่าเฉลี่ยของ K สำหรับสารละลายทั้ง 3 หลอด .....		Lit / mole		

ให้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาในหาค่าคงที่ 4

.....  
 .....

**การทดลองที่ 12**  
**โครงสร้างผลึก**  
**( Crystal structure )**

---

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

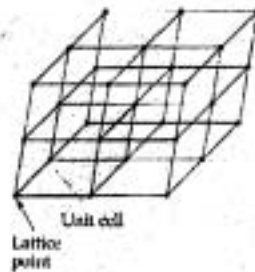
1. เพื่อศึกษาความแตกต่างของโครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวเบื้องต้นของผลึก
2. เพื่อศึกษาการจัดโครงสร้างผลึกแบบ Cubic closest packing ( ccp ) และ Hexagonal closest packing ( hcp )
3. การหาจำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ ( Co - ordination number ) ของธาตุ
4. การคำนวณหาปริมาตรของที่ว่าง ( Void volume ) และปริมาตรที่ถูกครอบครองในหน่วยเซลล์ของโครงสร้างผลึกแต่ละชนิด
5. การหาอัตราส่วนของรัศมีของไอออนบวกและ ไอออนลบ

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. สีของลูกปิงปองที่ใช้แทนหน่วยของอะตอมของโครงสร้างผลึก ( สีขาว 38 ลูก สีส้ม 14 ลูก )
2. แบบจำลองการจัดเรียงโครงสร้างผลึกแบบ ccp และ hcp
3. แบบจำลองการจัดเรียงทรงกลมลักษณะของช่องว่างเตตระฮีดรอล ( Tetrahedral holes ) และออกตะฮีดรอล ( Octahedral holes )

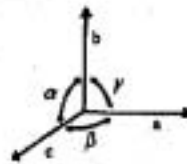
### ทฤษฎีการทดลอง

ผลึก (Crystals) เป็นของแข็งเนื้อเดียว มีหน้าเรียบ อนุภาคภายในก้อนผลึกจะจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โครงสร้างของอนุภาคในผลึกเรียกว่า โครงผลึก (Crystal lattice) และจุดศูนย์กลางของอนุภาคที่อยู่ในโครงผลึกเรียกว่า จุดแลตทิซ (Lattice point) ถ้าแบ่งโครงผลึกออกไปเรื่อย ๆ จนมีขนาดเล็กที่สุดและผลึกยังคงรักษารูปร่างลักษณะตลอดจนแบบการเรียงตัวทางเรขาคณิตของอนุภาคไว้ได้เหมือนโครงสร้างเดิมทุกประการ ส่วนที่เล็กที่สุดเรียกว่าหน่วยเซลล์ (Unit cell) ถ้าเอาหน่วยเซลล์มาต่อประชิดกันเข้าทุกทิศทุกทางก็จะได้โครงผลึกทั้งหมด ดังรูปที่ 12.1

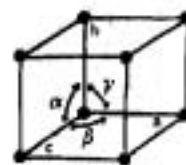


รูปที่ 12.1 ลักษณะของ Unit cell และ lattice point ของผลึก

ผลึกจัดแบ่งพื้นฐานออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้เป็น 7 กลุ่ม โดยอาศัยความยาวของแกนผลึกและมุมระหว่างแกนคู่ใดคู่หนึ่ง เช่น โขเคียมคลอไรด์อยู่ในระบบลูกบาศก์ซึ่งมีด้านเท่ากันทุกด้านและมีแกนเท่ากันทั้ง 3 ด้าน มุมระหว่างแกนทุกคู่ทำมุมกันเท่ากับ 90 องศา ในการพิจารณาระบบผลึกอาจใช้หน่วยเซลล์เป็นตัวแทนได้ ความยาวของด้านของหน่วยเซลล์ตามแกนทั้ง 3 ของโครงสร้างผลึกเป็น  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ดังรูปที่ 12.2 ก และมุมระหว่างด้านให้เป็น  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$  ซึ่งเป็นมุมของโครงผลึกดังรูปที่ 12.2 ข



รูป ก



รูป ข

รูปที่ 12.2 ก. ความยาวของด้าน ข. มุมระหว่างด้านของหน่วยเซลล์

ระยะระหว่างจุดไปตามแนวอนของแกนทั้ง 3 ก็คือ  $a$ ,  $b$  และ  $c$  จาก การเรียงจุดที่มีแกน  $a$ ,  $b$ , และ  $c$  และมุม  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$  ต่างแบบกันทำให้มีระบบผลึกแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มดังนี้

1. **Cubic** ความยาวด้านทั้งสามของหน่วยเซลล์ยาวเท่ากัน และทั้งสามด้านทำมุมกัน 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่น ผลึกของ  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Fe}$ , และ  $\text{Au}$

2. **Tetragonal** ความยาวเท่ากันทั้งสองด้าน ส่วนด้านที่สามมีความยาวต่างออกไป ทั้งสามด้านทำมุมกัน 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่น ผลึกของ  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  และ  $\text{TiO}_2$

3. **Orthorhombic** ความยาวด้านทั้งสามยาวไม่เท่ากัน แต่ทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน เช่น ผลึกของ  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$  และ  $\text{CaCO}_3$

4. **Rhombohedral** ความยาวทั้งสามด้านยาวเท่ากันและมีมุมทั้งสามด้านเท่ากัน แต่ไม่เท่ากับ 90 องศา เช่น ผลึกของ  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{ZnCO}_3$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$  และ  $\text{Bi}$

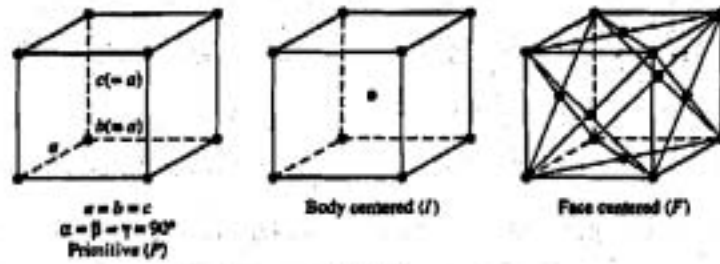
5. **Hexagonal** ความยาวทั้งสองด้านยาวเท่ากันและทำมุมกัน 120 องศา ส่วนอีกด้านหนึ่งมีความยาวต่างออกไปและทำมุมกัน 90 องศาทั้งสองด้านนั้น เช่น ผลึกของ  $\text{CuS}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Zn}$  และ  $\text{PbI}_2$

6. **Monoclinic** ความยาวด้านทั้งสามยาวไม่เท่ากัน ด้านสองด้านทำมุมกันไม่เท่ากับ 90 องศา ส่วนด้านที่สามทำมุมกันเท่ากับ 90 องศาทั้งสองด้าน เช่น ผลึกของ  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

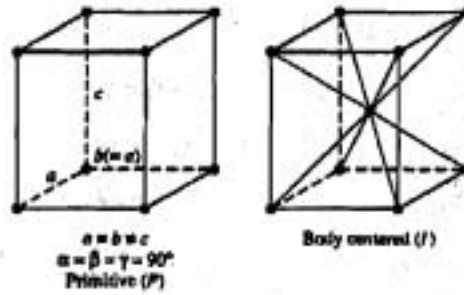
7. **Triclinic** ความยาวด้านทั้งสามยาวไม่เท่ากัน และมุมระหว่างด้านทั้งสามไม่เท่ากับ 90 องศา เช่น ผลึกของ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  และ  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ตารางที่ 12.1 ความยาวของด้านหน่วยเซลล์และมุมระหว่างด้านทั้งสามของระบบผลึกทั้ง 7 กลุ่ม

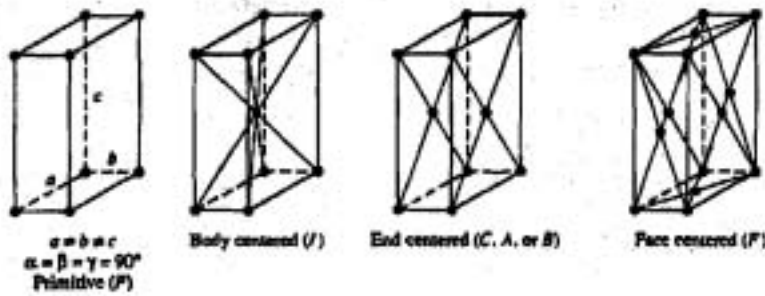
ระบบ	ด้านของหน่วยเซลล์	มุม (องศา)
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90$
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90$
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90$
Rhombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90$
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90, \gamma = 120$
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90 \neq \gamma$
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$



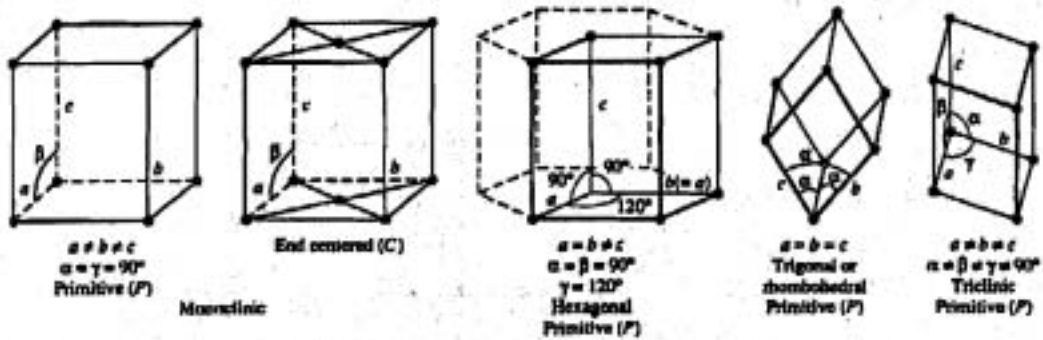
Cubic  $O_h$



Tetragonal  $D_{4h}$



Orthorhombic  $D_{2h}$

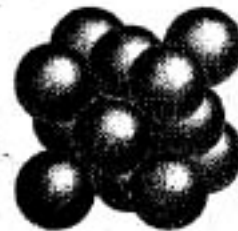
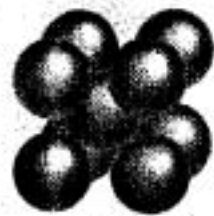
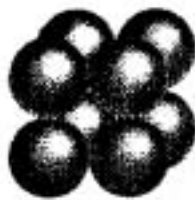
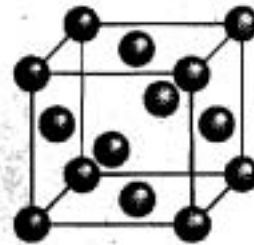
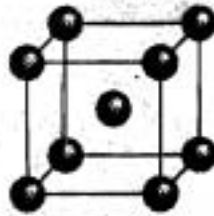
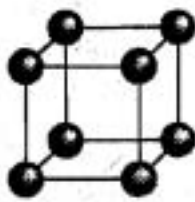


รูปที่ 12.3 ระบบโครงสร้างผลึกทั้ง 7 กลุ่ม

### แบบของผลึกระบบลูกบาศก์

หน่วยเซลล์ไม่จำเป็นต้องมีอนุภาคเฉพาะที่มุมของลูกบาศก์เท่านั้น อาจจะมีปรากฏที่ตำแหน่งอื่นก็ได้ ในการเกิดเป็นโครงสร้างผลึกอนุภาคจะมีโอกาสบรรจุในหน่วยเซลล์ตามตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เกิดโครงสร้างโครงผลึกได้ 3 รูปแบบดังนี้

1. แบบธรรมดา ( Simple cubic หรือ Primitive cubic )
2. แบบกลางตัว ( Body - centered cubic )
3. แบบกลางหน้า ( Face - centered cubic )



Simple cubic

Body - centered cubic

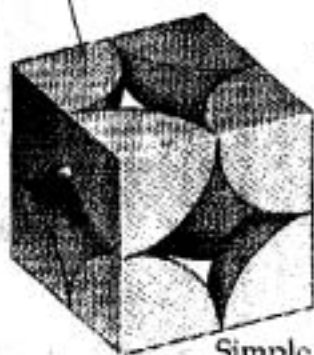
Face - centered cubic

### รูปที่ 12.4 ชนิดการจัดเรียงโครงสร้างผลึกทั้ง 3 รูปแบบ

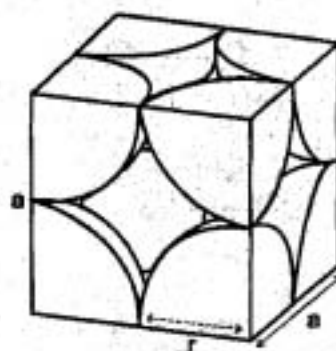
อนุภาคที่มุมของแต่ละหน่วยเซลล์ต้องใช้ร่วมกับหน่วยเซลล์อื่นรวมแปดหน่วยเซลล์ ถ้าสมมติให้อนุภาคในหน่วยเซลล์เป็นทรงกลมหนึ่งลูก เมื่อพิจารณาหน่วยเซลล์ระบบลูกบาศก์ทั้ง 3 แบบคือ simple cubic , body - center cubic และ face - center cubic จะพบว่าจำนวนทรงกลมที่มีอยู่ได้ภายในหนึ่งหน่วยเซลล์ต่างกันดังนี้

1. แบบธรรมดา (Simple cubic) จะมีจำนวนอนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปด และมุมแต่ละมุมของลูกบาศก์ทั้ง 8 อนุภาคมาจกดัดกัน ซึ่งทรงกลมที่อยู่ที่มุมจะต้องมีส่วนของลูกบาศก์ทั้งแปดเท่า ๆ กัน ดังนั้นลูกบาศก์แต่ละลูกของที่มุมจะได้เนื้อทรงกลมไปเท่ากับ 1 ใน 8 อนุภาค แต่ simple cubic มีทรงกลมอยู่ที่มุมทั้งหมดแปดอนุภาค ฉะนั้นอนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปดมุมจึงมีจำนวนอนุภาครวมได้เท่ากับ  $(8 \text{ ที่มุม} \times \frac{1}{8}) = 1$  อนุภาคต่อหน่วยเซลล์

1/8 atom at  
8 corners



Simple cubic



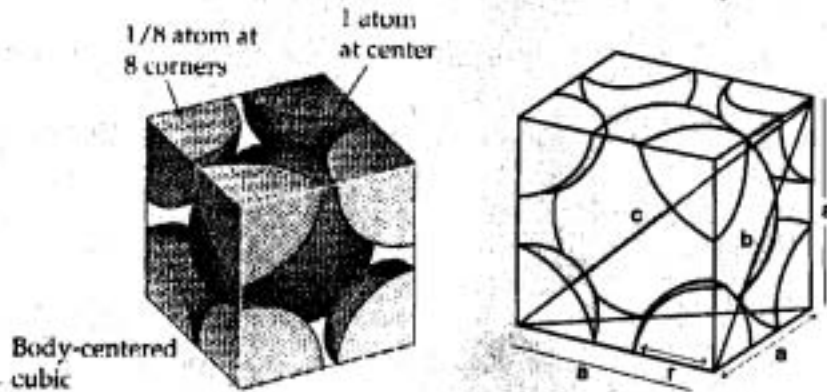
การหาปริมาตรทั้งหมดของ simple cubic

ถ้าให้  $v$  = ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์  
 $a$  = ความยาวของด้านลูกบาศก์  
 $r$  = รัศมีของอนุภาค

ดังนั้นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของด้านลูกบาศก์และเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคก่อน ซึ่งจะได้ว่า  $a = 2r$  ถ้าให้  $r = 1$  ฉะนั้นปริมาตรทั้งหมดของ simple cubic คือ  $a^3 = [2 \times 1]^3 = 8$  ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์ ( $v$ ) ในเทอมของรัศมี ( $r$ ) มีค่าเท่ากับ  $(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 1$  และปริมาตรของที่ว่าง (Void volume) ในหน่วยเซลล์เท่ากับ  $8 - [(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 1]$



2. แบบกลางตัว ( Body - centered cubic ) จะมีจำนวนอนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปดและมีอนุภาค 1 ลูกตรงกลางภายในด้านทั้งหกของลูกบาศก์ ดังนั้นเมื่อนับรวมกันทั้งที่มุมและตรงกลางภายในลูกบาศก์จึงมีจำนวนอนุภาคทั้งหมดเท่ากับ  $(8 \text{ ที่มุม} \times \frac{1}{8}) + 1 = 2$  อนุภาคต่อหน่วยเซลล์



การหาปริมาตรทั้งหมดของ body - centered cubic

ถ้าให้  $v$  = ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์  $r$  = รัศมีของอนุภาค  
 $a$  = ความยาวของด้านลูกบาศก์  $c$  = เส้นทแยงมุมแต่ละด้าน  
 $b$  = เส้นทแยงมุมของลูกบาศก์

ดังนั้นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของด้านลูกบาศก์และเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค จากความสัมพันธ์ทางทฤษฎีของ Pythagorean

ถ้าพิจารณาในรูปสามเหลี่ยม abc จะได้  $c^2 = b^2 + a^2$  ..... (1)

และพิจารณาในรูปสามเหลี่ยม baa จะได้ว่า  $b^2 = a^2 + a^2$  ..... (2)

แทนค่าสมการ (2) ลงใน (1) จะได้ว่า  $c^2 = (a^2 + a^2) + a^2 = 3a^2$

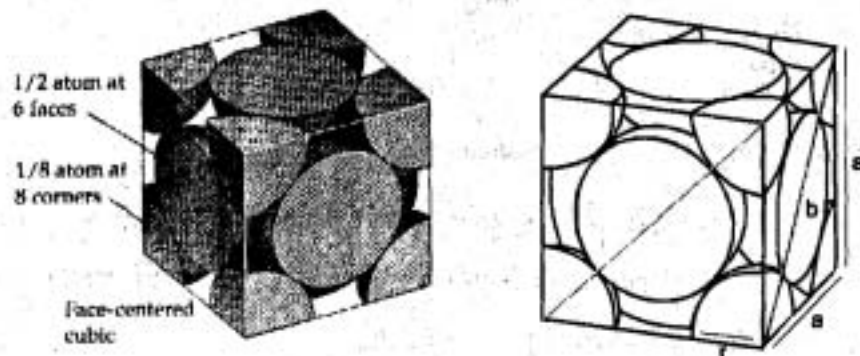
$$c = \sqrt{3} a$$

แต่  $c = 4r$  ดังนั้น  $a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$

ถ้าให้  $r = 1$  จะนับปริมาตรทั้งหมดของ body - center cubic คือ  $a^3 = 12.3$  ดังนั้น

ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์ ( $v$ ) ในเทอมของรัศมี ( $r$ ) มีค่าเท่ากับ  $(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 2$  และปริมาตรของที่ว่าง (Void volume) ในหน่วยเซลล์เท่ากับ  $12.3 - [(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 2]$

3. แบบกวางหน้า (Face-centered cubic) จะมีจำนวนอนุภาคอยู่ที่มุมทั้งแปด นอกจากนี้ยังมีอนุภาคที่หน้าตัดของลูกบาศก์ทั้ง 6 หน้า ซึ่งแต่ละอนุภาคแบ่งส่วนกับลูกบาศก์ที่ติดอยู่กันเป็นข้างละ  $\frac{1}{2}$  อนุภาค ดังนั้นหนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอนุภาคตามหน้าลูกบาศก์รวมได้เท่ากับ  $6 \times \frac{1}{2}$  เท่ากับ 3 อนุภาค และเมื่อรวมกับมุมทั้งแปดด้านของลูกบาศก์จะมีอนุภาคทั้งหมดเท่ากับ  $(8 \text{ ที่มุม} \times \frac{1}{8}) + (6 \text{ หน้า} \times \frac{1}{2}) = 4$  อนุภาคต่อหน่วยเซลล์



การหาปริมาตรทั้งหมดของ face-centered cubic

ถ้าให้  $v$  = ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์  $r$  = รัศมีของอนุภาค  
 $a$  = ความยาวของด้านลูกบาศก์  $b$  = เส้นทแยงมุมของลูกบาศก์

ดังนั้นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของด้านลูกบาศก์และเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค ได้ดังนี้ พิจารณาในรูปสามเหลี่ยม baa จะได้ว่า  $b^2 = a^2 + a^2$  ..... (3)

แต่  $b^2 = 4r^2$  ดังนั้นแทนค่าลงในสมการ (3) จะได้ว่า

$$16r^2 = 2a^2$$

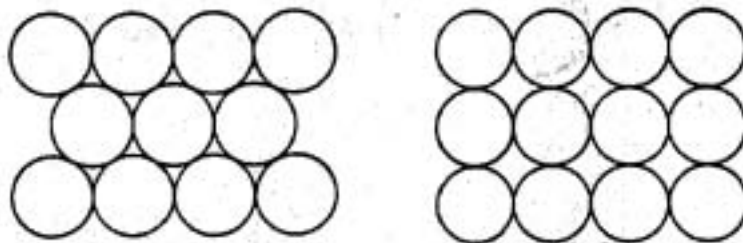
$$a = \sqrt{8} r \text{ หรือ } \frac{4r}{\sqrt{2}}$$

ถ้าให้  $r = 1$  ฉะนั้นปริมาตรทั้งหมดของ face-centered cubic คือ  $a^3 = 22.6$  ดังนั้น

ปริมาตรของอนุภาคต่อหน่วยเซลล์ ( $v$ ) ในเทอมของรัศมี ( $r$ ) มีค่าเท่ากับ  $(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 3$   
 และปริมาตรของที่ว่าง (Void volume) ในหน่วยเซลล์เท่ากับ  $22.6 - [(\frac{4}{3} \pi r^3) \times 3]$

### การจัดเรียงตัวของอนุภาคในหน่วยผลึก

การจัดเรียงตัวของอนุภาคในผลึกทำได้หลายอย่าง อาจจัดแบบที่ทำให้เกิดช่องว่างน้อยที่สุด เรียกว่าการจัดเรียงตัวแบบชิดที่สุด (Closest packing) และแบบที่ทำให้เกิดช่องว่างไม่น้อยที่สุด เรียกว่าการจัดเรียงตัวแบบไม่ชิดที่สุด (Non-closest packing) ดังรูปที่ 12.5



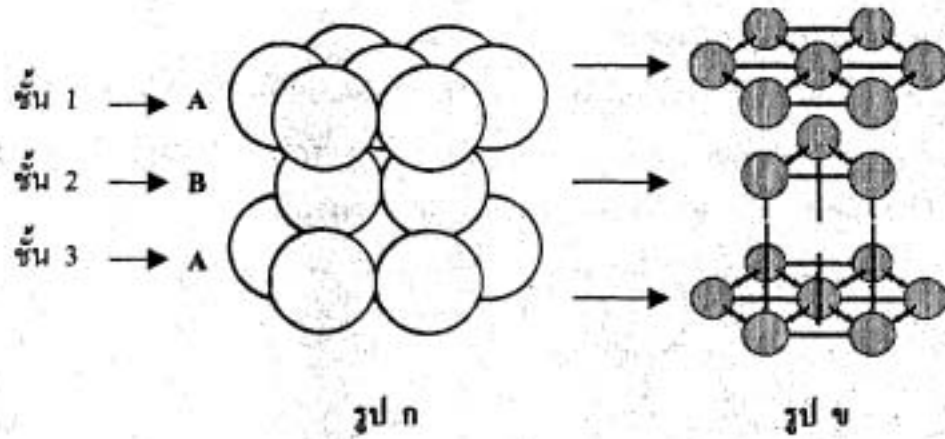
ก. การจัดเรียงตัวแบบชิดที่สุด      ข. การจัดเรียงตัวแบบไม่ชิดที่สุด  
 รูปที่ 12.5 ลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคในผลึก

ในโครงผลึกรูปลูกบาศก์ประสิทธิภาพของการบรรจุอนุภาคใน face-centered cubic จะมากกว่า body-centered cubic และมากกว่า simple cubic ในรูปแบบของการเรียงตัวแบบชิดที่สุดหมายถึงการจัดเรียงอนุภาคลงในที่ว่างในหน่วยเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือจำนวนอนุภาคที่จะอยู่ใกล้ชิดกันได้มากที่สุดของแต่ละอนุภาคที่อยู่ในโครงผลึกของหน่วยเซลล์ ซึ่งจะเรียกว่า โคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ (Co-ordination number) ดังนั้นอนุภาคแบบ simple cubic จะมีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์เท่ากับ 6 ส่วน body-centered cubic จะมีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์เท่ากับ 8 และสำหรับแบบ face-centered cubic จะมีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์เท่ากับ 12 ถ้าเลขโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ยิ่งมากผลึกจะมีความหนาแน่นมาก ในการจัดเรียงตัวของอนุภาคในโครงผลึกแบบชิดที่สุดสามารถจัดได้ 2 แบบคือ

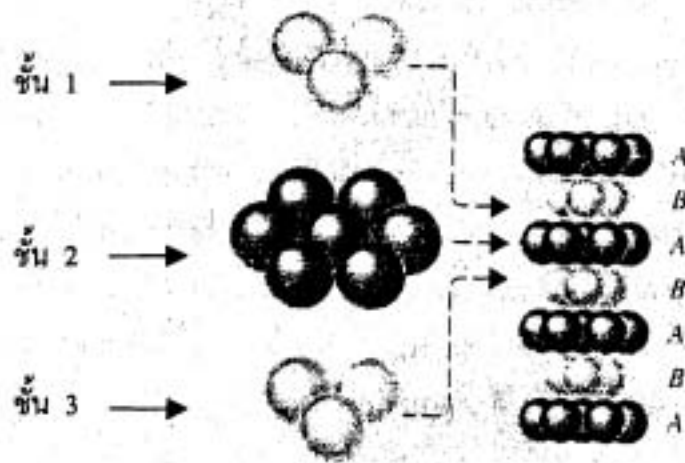
1. แบบโครงสร้างชิดที่สุดรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal closest packing, hcp)
2. แบบโครงสร้างชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (Cubic closest packing, ccp)

1. แบบโครงสร้างชิดที่สุดรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal closest packing, hcp)

เป็นการจัดเรียงตัวให้ทรงกลมลูกที่อยู่ตรงกลางในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 ในแนวตั้งให้ตรงกันเรียกว่าแบบ ABABAB ดังรูป ก และรูป ข



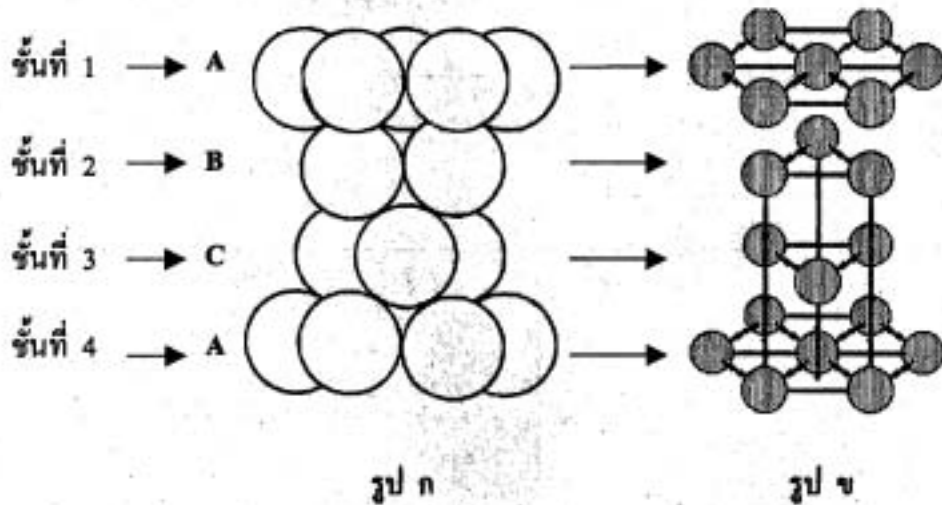
จากรูป ก ข้างล่างจะเห็นว่า ทรงกลมในชั้นที่ 2 ลูกที่อยู่ตรงกลางสัมผัสกับทรงกลม 6 ลูกในชั้นเดียวกัน ซึ่งทรงกลมที่อยู่ตรงกลางในชั้นที่ 2 นี้จะสัมผัสทรงกลมอีก 3 ลูกในชั้นที่ 1 และสัมผัสทรงกลมที่อยู่ 3 ลูกในชั้นที่ 3 เช่นเดียวกัน ดังนั้นลูกทรงกลมนี้จะมีลูกอื่นๆ ล้อมอยู่ทั้งสิ้น 12 ลูก คือ ล่าง 3 ลูก บน 3 ลูกและด้านข้าง 6 ลูก เรียกว่ามีโคออร์ดิเนชัน - นัมเบอร์เท่ากับ 12 ตัวอย่างโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ Mg, Zn และ Ni



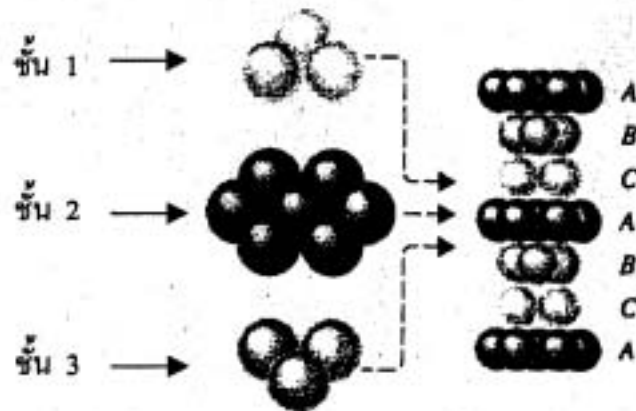
รูป ก โครงสร้างแบบ hexagonal closest packing

2. แบบโครงสร้างชิดที่สุดรูปลูกบาศก์ (Cubic closest packing , ccp)

เป็นการจัดเรียงตัวของทรงกลมที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 4 ในแนวตั้งให้ตรงกันเรียกว่าแบบ ABCABCABC หน่วยเซลล์ของการจัดโครงสร้างแบบนี้คือ face - centered cubic ดังรูป ก และรูป ข



จากรูป ก ข้างล่างจะเห็นว่า ทรงกลมในชั้นที่ 2 ถูกที่อยู่ตรงกลางในชั้นที่ 1 จะมีลูกทรงกลมล้อมรอบเท่ากับ 12 ลูกเรียกว่ามีโคออร์ดิเนชันจำนวนเท่ากับ 12 ตัวอย่างโครงสร้างแบบนี้ ได้แก่ Cu , Ag , Au และ Al



รูป ก โครงสร้างแบบ cubic closest packing

จะเห็นได้ว่า ในโครงสร้างหน่วยเซลล์แบบลูกบาศก์ก็อย่างง่ายจะมีลูกทรงกลมบรรจุประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางดังนี้

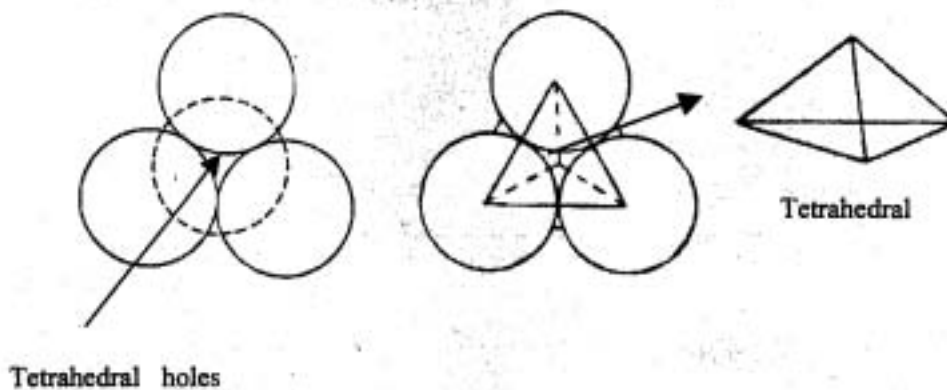
กำหนดให้  $r$  = รัศมีของอนุภาค และ  $a^3$  = ปริมาตรทั้งหมดของลูกบาศก์ในแต่ละแบบ

ชื่อ	เลขโคออร์ดิเนชัน	จำนวนอนุภาคต่อหน่วยเซลล์	เศษส่วนของหน่วยเซลล์ที่มีทรงกลมที่บรรจุอยู่
Simple cubic	6	$8 \times \frac{1}{8} = 1$	$\frac{\left[\frac{4\pi(r)^3}{3}\right] \times 1}{a^3} = 0.52$
Body - centered cubic	8	$\left(8 \times \frac{1}{8}\right) + 1 = 2$	$\frac{\left[\frac{4\pi(r)^3}{3}\right] \times 2}{a^3} = 0.68$
Face - centered cubic หรือ Cubic closest packing (ccp)	12	$\left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(6 \times \frac{1}{2}\right) = 4$	$\frac{\left[\frac{4\pi(r)^3}{3}\right] \times 4}{a^3} = 0.74$
Hexagonal closest packing (hcp)	12	$\left(2 \times \frac{1}{2}\right) + \left(12 \times \frac{1}{6}\right) + 3 = 6$	$\frac{\left[\frac{4\pi(r)^3}{3}\right] \times 6}{a^3} = 0.74$

### ลักษณะช่องว่างในโครงผลึก

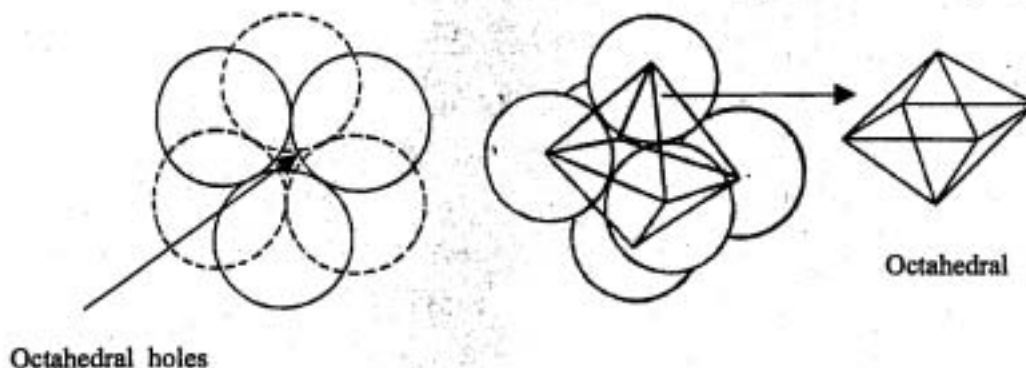
ถ้าพิจารณาโครงสร้างแบบซิกที่ซูดซึ่งการเรียงตัวของอนุภาคทำให้เกิดช่องว่างในโครงผลึกได้ 2 แบบคือ

1. ช่องว่างเตตระฮีดรอล (Tetrahedral holes) เป็นช่องว่างประกอบด้วยทรงกลม 3 ลูกในชั้นแรกและหนึ่งลูกในชั้นที่ 2 รวม 4 ลูก โดยจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งสี่เรียงกันเป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral) ดังรูปที่ 12.8



รูปที่ 12.8 ลักษณะช่องว่างเตตระฮีดรอล

2. ช่องว่างออกตะฮีดรอล (Octahedral holes) เป็นช่องว่างประกอบด้วยทรงกลม 6 ลูก โดยสามลูกอยู่ในชั้นแรกและอีก 3 ลูกอยู่บนชั้น 2 รวมทั้งหมด 6 ลูก ช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาค 6 อนุภาคเรียงกันเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral) ดังรูปที่ 12.9

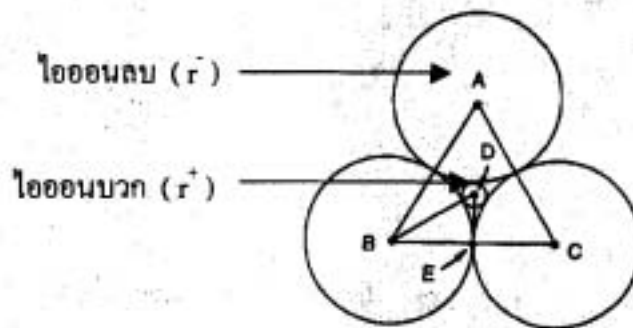


รูปที่ 12.9 ลักษณะช่องว่างออกตะฮีดรอล

### อัตราส่วนของรัศมี

จะเห็นได้ว่าช่องว่างเตตระฮีดรอลขนาดเล็กกว่าช่องว่างออกเตตระฮีดรอล ซึ่งพบว่ารัศมีของช่องเตตระฮีดรอลมีค่าประมาณ 0.225 ของรัศมีลูกทรงกลมที่ประกอบเป็นช่องเตตระฮีดรอล ส่วนรัศมีของช่องออกเตตระฮีดรอลมีค่าประมาณ 0.414 ของรัศมีลูกทรงกลม แสดงให้เห็นว่าขนาดช่องว่างของออกเตตระฮีดรอลมีขนาดใหญ่กว่าถึงสองเท่าของช่องว่างของเตตระฮีดรอล ดังนั้นขนาดสัมพัทธ์ของช่องจะได้ว่า cubic hole > octahedral hole > tetrahedral hole ดังนั้นสามารถคำนวณหาขนาดสัมพัทธ์ของช่องและแคตไอออนซึ่งเข้าไปบรรจุอยู่ในช่องได้พอดีได้ดังนี้

#### 1. สามเหลี่ยมแบนราบ



จากรูปข้างเห็นว่ ไอออนบวกจะมีขนาดเล็กกว่าไอออนลบซึ่งจะเข้าไปอยู่และสัมผัสไอออนลบ 3 ไอออน ดังนั้นจากด้านของสามเหลี่ยม ABC จะได้ว่าด้าน  $AB = BC = AC = 2r$ ,  $BE = r$  และ  $BD = r' + r$  เนื่องจากสามเหลี่ยม ABC เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมุม  $ABC = 60$  องศาและมุม  $DBE = 30$  องศา

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\cos 30^\circ = \frac{BE}{BD}$$

$$BD = \frac{BE}{\cos 30^\circ}$$

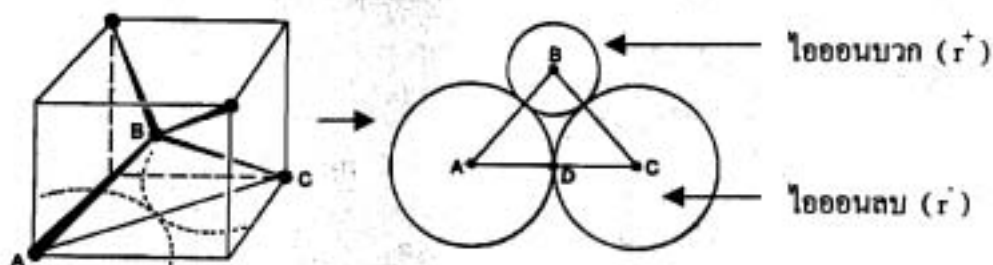
$$r' + r = \frac{r}{\cos 30^\circ} = \frac{r}{0.866} = 1.155r$$

$$r' = 1.155r - r$$

$$\frac{r'}{r} = 0.155$$



## 2. เตะระฮีดรอน



จากรูปข้างเห็นว่า มุมของสามเหลี่ยม ABC เท่ากับ  $109^{\circ} 28'$  ดังนั้นมุม ABD เป็นครึ่งหนึ่งของมุม ABC จึงเท่ากับ  $54^{\circ} 44'$

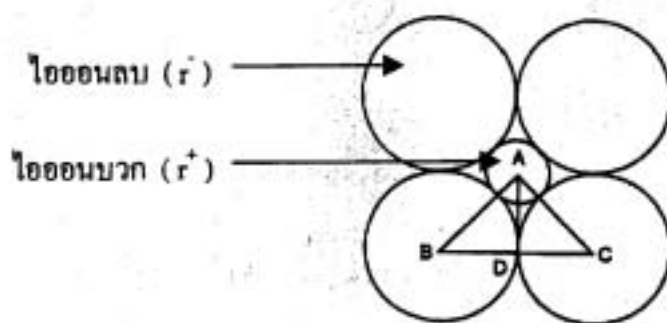
$$\text{จากสามเหลี่ยม ABD ; ค่า } \sin \text{ ABD} = \frac{AD}{AB} = \frac{r^-}{r^+ + r^-}$$

$$0.8164 = \frac{r^-}{r^+ + r^-}$$

$$\frac{r^+ + r^-}{r^-} = \frac{1}{0.8164} = 1.225$$

$$\frac{r^+}{r^-} = 0.225$$

## 3. ออกตะระฮีดรอน



แสดงหน้าตัดของรูปลูกทรงสี่เหลี่ยม ไอออนบวกซึ่งมีขนาดเล็กกว่าจะสัมผัสไอออนลบทั้ง 6 ไอออน (หมายเหตุ : จากรูปข้างบนจะเห็นไอออนลบเพียง 4 ไอออน อีก 2 ไอออนอยู่ข้างบนและข้างล่าง) ดังนั้น  $AB = r^+ + r^-$  ;  $BD = r^-$  และมุมของสามเหลี่ยม  $ABC = 45$  องศา จากรูป สามเหลี่ยม  $ABC$  ค่า

$$\begin{aligned} \cos ABC &= \cos 45^\circ = \frac{BD}{AB} = \frac{r^-}{r^+ + r^-} \\ 0.707 &= \frac{r^-}{r^+ + r^-} \\ \frac{r^+ + r^-}{r^-} &= \frac{1}{0.707} = 1.414 \\ \frac{r^+}{r^-} &= 0.414 \end{aligned}$$

### วิธีการทดลอง

#### 1. Simple cubic

ในการทดลองนี้ จะใช้ลูกปิงปองเป็นแบบจำลองแทนอนุภาคของอะตอมหรือไอออนนำลูกปิงปองมาติดกันดังรูป ก, รูป ข และรูป ค ข้างล่างนี้ เพื่อทำการทดลองตามขั้นตอนดังนี้



รูป ก



รูป ข



รูป ค

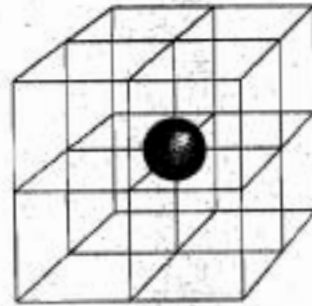
รูปที่ 12.9 แสดงชั้นของอนุภาคใน simple cubic

- วางลูกปิงปอง 4 ลูกจากรูป ก ลงบนลูกปิงปองอีก 4 ลูกจะได้รูป ง



รูป ง

2. เติมลูกบิ๊งปองอีก 4 ลูกลงในรูป ง เพื่อขยายโครงผลึกนี้ออกทางแกน x และเติมลูกบิ๊งปองอีก 6 ลูกจากรูป ข ลงในรูป ง ตามแกน y และเติมลูกบิ๊งปองอีก 9 ลูกจากรูป ค ลงในรูป ง ตามแกน z ดังนั้นจะได้ทั้งหมด 8 หน่วยเซลล์ดังรูป จ



รูป จ

คำถาม

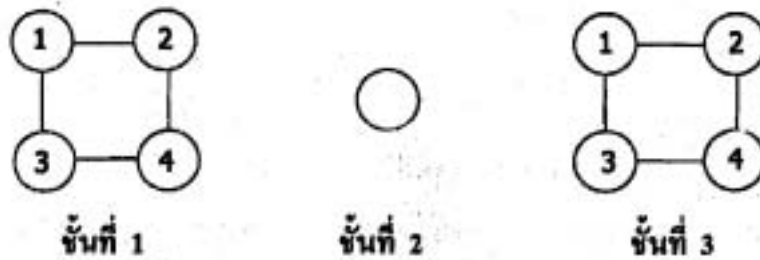
1. ในหนึ่งหน่วยเซลล์ ให้วัดความยาวจากจุดกึ่งกลางของลูกบิ๊งปองไปยังจุดกึ่งกลางของลูกบิ๊งปองที่อยู่ติดกัน ( $a$  = ด้านความยาวหน่วยเซลล์  $r$  = รัศมีของอนุภาค (ลูกบิ๊งปอง)) ความยาวของแต่ละด้านของหน่วยเซลล์เท่ากันเท่าไร  
.....
2. คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของหน่วยเซลล์ในเทอมของ  $r$   
.....
3. เศษส่วนของลูกบิ๊งปองต่อ 8 หน่วยเซลล์  
.....
4. คำนวณหาจำนวนลูกบิ๊งปองทั้งหมดต่อหน่วยเซลล์  
.....
5. คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของลูกบิ๊งปองในหน่วยเซลล์ในเทอมของ  $r$   
.....
6. คำนวณหาปริมาตรที่ว่างในหน่วยเซลล์ (Void volume)  
.....

7. จำนวนโคออร์ดิเนชันของ simple cubic

8. แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่ถูกครอบครองโดยลูกปิงปอง และที่ว่างในหน่วยเซลล์

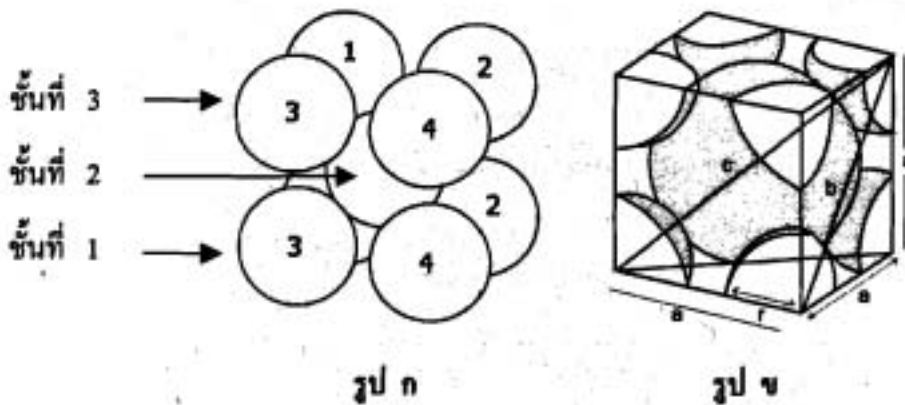
2. Body - centered cubic

ให้จัดเรียงลูกปิงปองโดยให้มีที่ว่างระหว่างลูกปิงปองดังรูปที่ 12.10



รูปที่ 12.10 แสดงชั้นของอนุภาคใน body - centered cubic

1. ให้วางลูกปิงปองชั้นที่ 2 ลงบนชั้นที่ 1 จากนั้นวางลูกปิงปองชั้นที่ 3 ลงบนชั้นที่ 2 โดยให้หมายเลขของลูกปิงปองในชั้นที่ 3 ตรงกับหมายเลขของลูกปิงปองในชั้นที่ 1 ลักษณะของ body - center cubic จะได้ ดังรูป ก และรูป ข



2. หาคความยาวของด้านลูกบาศก์ และปริมาตรทั้งหมดของ body-centered cubic ได้จาก  
ทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

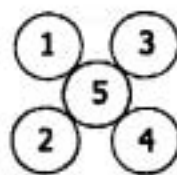
คำถาม

ใช้รูป ข ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

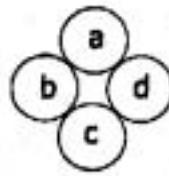
1. คำนวณหาความยาวของเส้นทแยงมุม  $c$  ในเทอมของรัศมี  $r$   
.....
2. จากความสัมพันธ์  $c^2 = 3a^2$  ให้คำนวณความยาวของด้านแต่ละด้าน  $a$  ในหน่วยเซลล์ใน  
เทอมของรัศมี  $r$   
.....
3. คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของหน่วยเซลล์ในเทอมของรัศมี  $r$   
.....
4. คำนวณหาจำนวนลูกบิงปองทั้งหมดต่อหน่วยเซลล์  
.....
5. คำนวณหาปริมาตรของลูกบิงปองทั้งหมดในหน่วยเซลล์ในเทอมของ  $r$   
.....
6. คำนวณหาปริมาตรที่ว่าง (Void volume) ในเทอมของรัศมี  $r$   
.....
7. แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่ถูกครอบครองด้วยลูกบิงปอง และที่ว่างใน  
หน่วยเซลล์  
.....  
.....  
.....
8. จำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ของ body-centered cubic  
.....

3. Face-centered cubic หรือ Cubic closest packing (ccp)

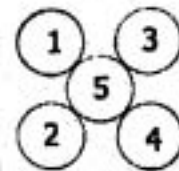
ให้จัดเรียงลูกปิงปองโดยให้มีที่ว่างระหว่างลูกปิงปองดังรูปที่ 12.11



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

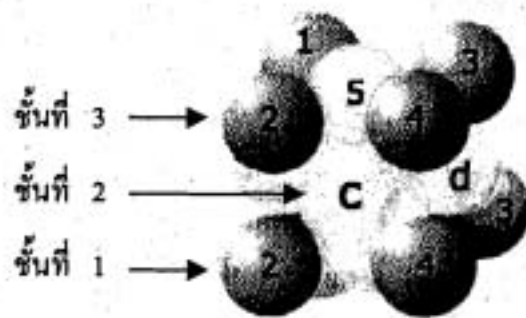
รูปที่ 12.11 แสดงชั้นของอนุภาคใน face-centered cubic

- วางลูกปิงปองชั้นที่ 2 ลงบนชั้นที่ 1 โดยให้ตำแหน่งของช่องว่างของชั้นที่ 2 ตรงกลางอยู่ตรงกับลูกปิงปองที่ 5 ของชั้นที่ 1 จากนั้นทำการจัดตำแหน่งให้ลูกปิงปองทั้ง 4 ลูกของชั้นที่ 2 อยู่บนชั้นที่ 1 โดย

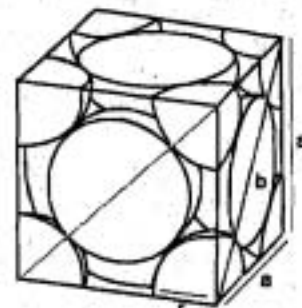
ให้ลูกปิงปอง

- a อยู่ระหว่างลูกปิงปอง 1 และ 3
- b อยู่ระหว่างลูกปิงปอง 1 และ 2
- c อยู่ระหว่างลูกปิงปอง 2 และ 4
- d อยู่ระหว่างลูกปิงปอง 3 และ 4

- วางลูกปิงปองชั้นที่ 3 ลงบนชั้นที่ 2 โดยให้หมายเลขของลูกปิงปองในชั้นที่ 3 ตรงกับหมายเลขของลูกปิงปองในชั้นที่ 1 ดังรูป ก และรูป ข



รูป ก



รูป ข

คำถาม

ใช้รูป ข ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของหน่วยเซลล์ในเทอมของ  $r$

.....

2. คำนวณหาจำนวนลูกบิ๊งปองทั้งหมดต่อหน่วยเซลล์

.....

3. คำนวณหาปริมาตรของลูกบิ๊งปองทั้งหมดในหน่วยเซลล์ในเทอมของ  $r$

.....

4. คำนวณหาปริมาตรที่ว่างในหน่วยเซลล์ (Void volume)

.....

5. จำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ของ face - centered cubic

.....

6. แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่ถูกครอบครองโดยลูกบิ๊งปอง และที่ว่างในหน่วยเซลล์

.....

.....

.....

.....

.....

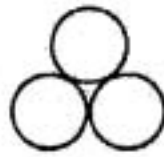
.....

.....

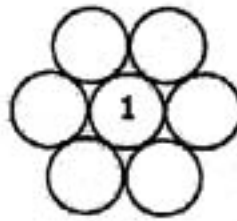
.....

#### 4. Hexagonal closest packing (hcp)

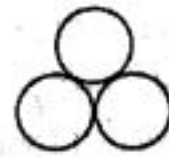
ให้จัดเรียงลูกบิ๊งปองดังรูปที่ 12.12



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

รูปที่ 12.12 แสดงชั้นของอนุภาคใน hexagonal closest packing

1. วางลูกบิ๊งปองชั้นที่ 2 ลงบนชั้นที่ 1 โดยให้ช่องว่างตรงกลางในชั้นที่ 1 ตรงกับหมายเลข 1 ในชั้นที่ 2 ต้องแน่ใจว่าลูกบิ๊งปองแต่ละลูกในชั้นที่ 2 สัมผัสกับลูกบิ๊งปองทั้ง 3 ลูกในชั้นที่ 1
2. วางชั้นที่ 3 ลงบนชั้นที่ 2 อีก โดยให้ลูกบิ๊งปองชั้นที่ 3 สัมผัสแต่ละลูกบิ๊งปองในชั้นที่ 2

พิจารณาในโครงผลึกจะเป็นการจัดตัวแบบ ABABAB จะเห็นได้ว่าลูกบิ๊งปองที่อยู่ตรงกลางในชั้นที่ 2 จะสัมผัสกับลูกบิ๊งปองอีก 6 ลูกในชั้นเดียวกัน และยังสัมผัสกับอีก 3 ลูกซึ่งจะอยู่ชั้นบนและชั้นล่างรวมทั้งหมด 12 ลูก

#### คำถาม

1. โลหะ Mg มีโครงสร้างแบบ hcp จงหาจำนวนโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ของ Mg

.....

2. แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างในการจัดโครงผลึกแบบ hcp

.....

.....

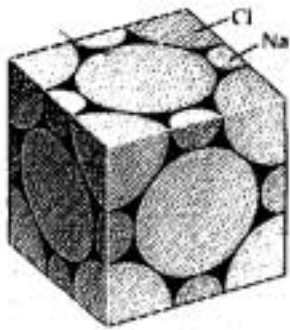
.....

.....

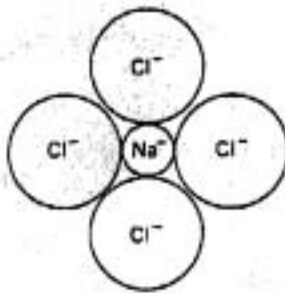


### 5. โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

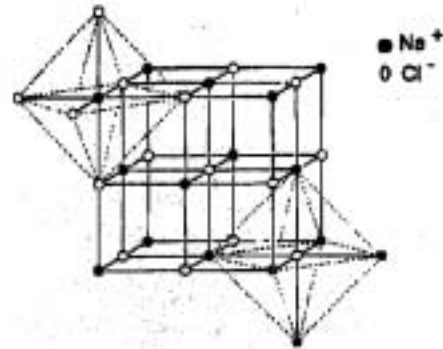
โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์คือโครงสร้างแบบชิดกันของแอนไอออน (ประจุลบ) ได้แก่  $\text{Cl}^-$  ที่มีแคทไอออน (ประจุบวก) ได้แก่  $\text{Na}^+$  ซึ่ง  $\text{Na}^+$  ใน NaCl จะมีอนุภาคเล็กกว่า  $\text{Cl}^-$  จึงทำให้สามารถแทรกอยู่ในช่องว่างของออกตะฮีดรอล ดังรูป ก และรูป ข ทั้ง  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ต่างจะล้อมรอบซึ่งกันและกัน 6 ไอออน จึงเรียกว่ามีโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 : 6 หรือ 1 : 1 ดังรูป ค



รูป ก

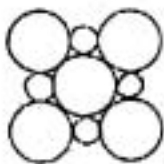


รูป ข

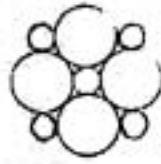


รูป ค

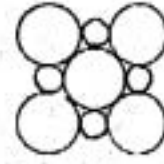
$\text{Na}^+$  ไอออนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.190 nm และ  $\text{Cl}^-$  ไอออนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.376 nm ในการเลือกลูกบิ๊งปองจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วแทน  $\text{Na}^+$  ไอออน และขนาด 2 นิ้วแทน  $\text{Cl}^-$  ไอออน ให้จัดเรียงลูกบิ๊งปองดังรูปที่ 12.13



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

รูปที่ 12.13 แสดงชั้นของอนุภาคในโซเดียมคลอไรด์

คำถาม

1. คำนวณหาเศษส่วนของ  $\text{Cl}^-$  ไอออนที่อยู่ตรงมุมต่อหนึ่งหน่วยเซลล์  
.....
2. มีจำนวน ไอออนเท่าไรที่อยู่ทีมุมต่อหนึ่งหน่วยเซลล์  
.....
3. คำนวณหาผลรวมของเศษส่วนของไอออนที่อยู่ทีมุมต่อหนึ่งหน่วยเซลล์  
.....
4. คำนวณหาผลรวมของเศษส่วน  $\text{Cl}^-$  ไอออนที่อยู่ตรงกลางที่อยู่ในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3  
.....
5. คำนวณหาเศษส่วนของ  $\text{Na}^+$  ไอออนที่อยู่ในชั้นที่ 2  
.....
6. คำนวณหา  $\text{Cl}^-$  ไอออนทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยเซลล์  
.....
7. คำนวณหาเศษส่วนของ  
     $\text{Na}^+$  ไอออนในชั้นที่ 1 .....  
     $\text{Na}^+$  ไอออนในชั้นที่ 2 .....  
     $\text{Na}^+$  ไอออนในชั้นที่ 3 .....  
     $\text{Na}^+$  ไอออนทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยเซลล์ .....
8. คำนวณสูตรอย่างง่ายของโซเดียมคลอไรด์  
.....
9. ผลึกโซเดียมคลอไรด์หนัก 58.5 กรัม จะมี  $\text{Na}^+$  ไอออนและ  $\text{Cl}^-$  ไอออน จำนวนเท่าไร  
.....  
.....  
.....  
.....

6. การคำนวณหาปริมาตรของที่ว่างของโลหะตัวอย่างทองแดง

1. น้ำหนักของโลหะตัวอย่าง .....
2. ความสูงของโลหะตัวอย่าง .....
3. เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของโลหะตัวอย่าง .....
4. ปริมาตรของโลหะตัวอย่าง .....

จากข้อมูลข้างต้น จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ใช้ค่ามวลและเลขอะตอมในการคำนวณหาจำนวนอะตอมทั้งหมดของทองแดงในตัวอย่าง

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

2. ใช้จำนวนอะตอมทั้งหมดในสารตัวอย่างหาปริมาตรที่ถูกครอบครองโดยอะตอมในตัวอย่าง

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

3. แสดงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่ว่าง และค่าทางทฤษฎีของเปอร์เซ็นต์ที่ว่างของ face - centered cubic

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

7. การคำนวณตะกั่ว (Pb) ในรูปของ face-centered cubic lattices

ผลึกของตะกั่วมีความยาวของแต่ละด้านเท่ากับ  $4.95 \text{ \AA}$  และน้ำหนักอะตอมของตะกั่วเท่ากับ 207.19 จงคำนวณหา

1. จำนวนอนุภาคของตะกั่วในหน่วยเซลล์

.....

2. รัศมีของอนุภาคตะกั่วมีค่าเท่ากับ

.....

3. จำนวน โคออร์ดิเนชันของอนุภาคตะกั่วที่ศูนย์กลางของหน่วยเซลล์เท่ากับ

.....

4. จำนวน โคออร์ดิเนชันของอนุภาคตะกั่วที่มุมของหน่วยเซลล์เท่ากับ

.....

5. ค่ามวลหาปริมาตรทั้งหมดของตะกั่วในหน่วยเซลล์ (ลบ.ซม)

.....

.....

.....

6. ค่ามวลหาจำนวนอนุภาคทั้งหมดของตะกั่วต่อหน่วยเซลล์

.....

.....

.....

.....

7. ค่ามวลหาปริมาตรที่ถูกครอบครองโดยอนุภาคของตะกั่ว

.....

.....

.....

.....

8. นำหนักหนึ่งอะตอมของตะกั่ว

.....

.....

.....

.....

9. ความหนาแน่นของตะกั่ว (กรั้มต่อ ลบ.ซม.)

.....

.....

.....

.....

ตารางสรุปข้อมูลของโครงผลึกแต่ละชนิด

ชนิดของเซลล์	ความยาว ของด้าน	ปริมาตร ทั้งหมด	จำนวนลูก ปิงปอง ทั้งหมด	ปริมาตรที่ ถูกรอบ ครอง	% ของ ปริมาตรที่ ถูกรอบ ครอง	% ของ ปริมาตร ที่ว่าง	โคออร์ ดิเนชัน นัมเบอร์
Simple cubic							
Body - centered cubic							
Face - centered cubic							
Hexagonal - closest packing							

## การทดลองที่ 13

### ตารางธาตุและสมบัติตามตารางธาตุ (Periodic Table and Periodic Properties)

#### วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาสมบัติของธาตุและการจัดเรียงตัวของธาตุในตารางธาตุ
2. ศึกษาชื่อ สัญลักษณ์และน้ำหนักอะตอมของธาตุ
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของธาตุในหมู่และคาบเดียวกัน

#### อุปกรณ์การทดลอง

แผ่นภาพตารางธาตุที่แสดงสัญลักษณ์ของธาตุและสมบัติตามตารางธาตุ

#### ทฤษฎีการทดลอง

ตารางธาตุสมัยปัจจุบันได้ปรับมาจากตารางธาตุของ Mendeleef ซึ่งได้จัดธาตุต่าง ๆ ดังนี้ ธาตุต่าง ๆ ได้จัดเรียงตามสัญลักษณ์ ตัวเลขเหนือสัญลักษณ์จะเป็นตัวเลขแสดงค่า atomic number และตัวเลขใต้สัญลักษณ์จะเป็นตัวเลขแสดงค่าน้ำหนักอะตอมของธาตุ การจัดเรียงธาตุตามแนวนอน ใช้เรียงเลขอะตอมเป็นหลักโดยเรียงเลขอะตอมจากน้อยไปหามาก ซึ่งธาตุตามแนวนอนเรียกว่า คาบ (Period) หรือ อนุกรม (series) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 คาบคือ

1. คาบที่ 1 มีธาตุทั้งหมด 2 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 1 ถึง 2
2. คาบที่ 2 มีธาตุทั้งหมด 8 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 3 ถึง 10
3. คาบที่ 3 มีธาตุทั้งหมด 8 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 11 ถึง 18
4. คาบที่ 4 มีธาตุทั้งหมด 18 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 19 ถึง 36

ซึ่งธาตุในคาบที่ 4 จะมีธาตุ transition elements รวมอยู่ด้วย 10 ธาตุ คือธาตุที่เริ่มตั้งแต่ atomic number 21 ถึง 30

5. คาบที่ 5 มีธาตุทั้งหมด 18 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 37 ถึง 54 ซึ่ง

ธาตุในคาบที่ 5 ประกอบด้วยธาตุ transition elements อีก 10 ธาตุรวมอยู่ด้วย คือธาตุที่เริ่มตั้งแต่ atomic number 39 ถึง 48

6. คาบที่ 6 มีธาตุทั้งหมด 32 ธาตุ มี atomic number ตั้งแต่ 55 ถึง 86 ซึ่งธาตุในคาบที่ 6 ประกอบด้วยธาตุ transition elements และธาตุ lanthanide series อีก 14 ธาตุ คือธาตุที่เริ่มตั้งแต่ atomic number 58 ถึง 71

7. คาบที่ 7 ควรจะมี 32 ธาตุเท่ากับคาบที่ 6 แต่ในปัจจุบันพบถึงธาตุที่มี atomic number 109 โดยเริ่มต้นจาก Fr ซึ่งคาบที่ 7 นี้มี atomic number ตั้งแต่ 87 ถึง 109 ประกอบด้วยธาตุ transition elements และธาตุ actinide series คือธาตุที่เริ่มตั้งแต่ atomic number 89 ถึง 103

ความสัมพันธ์ของธาตุในคาบมีความสัมพันธ์ดังนี้

1. ในคาบเดียวกันจะมีจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากันและมีจำนวนเท่ากับเลขหมู่นั้น
2. จำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะเพิ่มจากบนลงล่าง

ธาตุที่อยู่ในแนวฮินเรียกว่าหมู่ (Group) หรือ column มีอยู่ด้วยกัน 18 หมู่ จากคุณสมบัติของธาตุพบว่า ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงมีการแบ่งทั้ง 18 หมู่ออกเป็นสองหมู่ใหญ่ ๆ คือหมู่ A และหมู่ B ส่วน inert gases หรือธาตุเฉื่อย (Representative) จะจัดอยู่ทางขวามือสุดของตารางธาตุได้แก่หมู่ 8A ดังรูปที่ 13.1 ดังนั้นความสัมพันธ์ของธาตุในคาบมีความสัมพันธ์ดังนี้

1. ในหมู่เดียวกันจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอนจะเพิ่มจากซ้ายไปขวา ยกเว้นธาตุทรานซิชัน
2. จำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะเท่ากับจำนวนเลขของคาบนั้น

Periodic Table of the Elements

The periodic table is organized into main groups (1A to 8A) and transition metals. The lanthanide and actinide series are shown at the bottom.

Main groups																	
1A																	8A
1	2	Transition metals										13	14	15	16	17	18
3	4	10	11	12	13	14	15	16	17	18	3A	4A	5A	6A	7A	8A	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	19	
6.941	9.01224	10.811	12.011	14.007	15.9994	18.998403	20.1797	22.989769	24.305	26.981538	28.0855	30.973762	32.06	35.453	39.948	40.078	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	
39.0983	40.078	44.9559	47.88	50.9415	51.9961	54.938045	55.845	58.933195	58.69	63.546	65.38	69.723	72.63	74.9216	78.96	79.904	
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	
85.4678	87.62	88.9058	91.224	92.9064	95.94	98	101.07	101.07	106.365	106.36	107.8682	112.41	114.82	118.710	127.60	126.90509	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	
132.9054	137.33	138.9055	178.49	180.9479	183.85	186.207	190.2	192.22	195.08	196.9665	200.59	204.38	207.2	208.9804	209	210	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112						
Fr	Ra	*Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Cn	Uu						
223	226	227	261	262	263	264	265	266	267	268	269						
*Lanthanide series		59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		140.12	140.9077	144.24	144.91	150.36	151.96	157.25	158.9254	162.50	164.9304	167.26	168.9302	171.96	174.967		
*Actinide series		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
		232.0377	231.0369	238.0289	237.048	244	243	247	247	251	252	257	259	260	261	262	

รูปที่ 13.1 ชื่อของส่วนต่างๆ ของตารางธาตุ

หมู่ A เริ่มจาก 1 A ถึง 8 A และบางหมู่จะมีชื่อเรียกดังนี้

- หมู่ 1 A เรียกว่า alkali metals ได้แก่ธาตุ Li, Na, K, Rb, Cs และ Fr ซึ่งยกเว้น H เพราะเป็นก๊าซไม่จัดอยู่ในธาตุโลหะ
- หมู่ 2 A เรียกว่า alkaline earth metal ได้แก่ธาตุ Be, Mg, Ca, Sr, Ba และ Ra
- หมู่ 6 A เรียกว่า chalcogens ได้แก่ธาตุ O, S, Se, Te และ Po
- หมู่ 7 A เรียกว่า halogen ได้แก่ธาตุ F, Cl, Br, I และ At
- หมู่ 8 A เรียกว่า noble gases หรือ rare gases ได้แก่ธาตุ He, Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn

ซึ่งหมู่ 8 A ก็คือพวกก๊าซเฉื่อยดังที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้หมู่ 8 A ที่มีธาตุอยู่ 3 จุดที่เรียกว่า triad ได้แก่



จุดแรก Fe Co Ni

จุดที่สอง Ru Rh Pb

จุดที่สาม Os Ir Pt

ซึ่งธาตุในหมู่ B เป็นโลหะทั้งหมดเรียกว่า ธาตุทรานซิชัน (Transition elements) ในตารางธาตุจะมีเส้นกั้นบันไดแยกความเป็นโลหะและอโลหะ โดยธาตุที่ติดอยู่กับเส้นนี้จะมีคุณสมบัติกึ่งอโลหะและโลหะเรียกว่า เมทัลลอยด์ (Metalloids) ธาตุเมทัลลอยด์เหล่านี้ได้แก่ธาตุ B, Si, Ge, As, Sb, Te, Po และ At ดังรูปที่ 13.2

หมู่ธาตุ metalloids →

	13 Group 3A	14 Group 4A	15 Group 5A	16 Group 6A	17 Group 7A	18 Group 8A
	5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.179
	13 Al 26.98154	14 Si 28.0855	15 P 30.97376	16 S 32.066	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.59	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.904
	48 Cd 112.41	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.757	52 Te 127.60	53 I 126.9045
	80 Hg 200.59	81 Tl 204.383	82 Pb 207.2	83 Bi 208.9804	84 Po (209)	85 At (210)
						86 Rn (222)

Metals ←      → Nonmetals

รูปที่ 13.2 กลุ่มของธาตุโลหะ Metalloids

### สมบัติของธาตุในตารางธาตุ

ธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน แนวโน้มที่สำคัญได้แก่ ขนาดของอะตอม พลังงานไอออไนเซชัน (Ionization energy) อิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (Electron affinity) จุดหลอมเหลว (Melting point) จุดเดือด (Boiling point) และความเป็นโลหะกับอโลหะ

1. ขนาดของอะตอมและไอออน ขนาดของอะตอมจะมีหน่วยเป็น angstrom ( $\text{\AA}$ ) ขนาดของอะตอมจะขึ้นอยู่กับรัศมีระหว่างนิวเคลียสถึงอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอม ถ้าวัดระยะจาก

นิวเคลียสถึงอิเล็กตรอนวงนอกสุดไกลมาก อะตอมจะมีขนาดใหญ่แรงดึงดูดระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนวงนอกสุดมีน้อยมาก โอกาสที่อิเล็กตรอนจะหลุดจากอะตอมง่ายขึ้น ส่วนธาตุที่มีขนาดอะตอมเล็กพบว่าอิเล็กตรอนจะหลุดยาก

#### ขนาดของอะตอม

**ในหมู่เดียวกัน** เมื่อเลขอะตอมเพิ่มขึ้น ขนาดของอะตอมจะใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง เพราะจำนวนระดับพลังของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าแรงดึงดูดจากประจุบวกเพิ่มขึ้นก็ตามแต่พบว่ามีผลน้อย จึงทำให้ขนาดของอะตอมใหญ่ขึ้น

**ในคาบเดียวกัน** ขนาดอะตอมจะเล็กลงจากซ้ายไปขวา เพราะจำนวนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเท่ากัน พบว่าประจุบวกที่นิวเคลียสเพิ่มขึ้น แรงดึงดูดก็มากขึ้นทำให้ขนาดของอะตอมเล็กลง

#### ขนาดของไอออน

**ในหมู่เดียวกัน** ขนาดของไอออนจะใหญ่ขึ้นจากบนลงล่าง

**ในคาบเดียวกัน** ขนาดของไอออนจะเล็กลงจากซ้ายไปขวา

ในกรณีที่ไอออนมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน ขนาดของไอออนจะขึ้นอยู่กับประจุบวกที่นิวเคลียส เช่น

ไอออน	$O^{2-}$	$F^-$	$Na^+$	$Mg^{2+}$
ประจุที่นิวเคลียส	8	9	11	12
ไอออนมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากัน	10	10	10	10
รัศมีของไอออน (ppm)	140	136	95	65

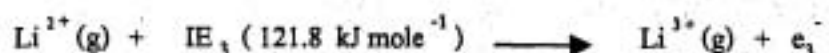
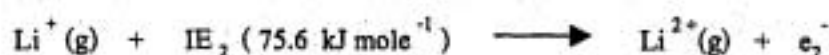
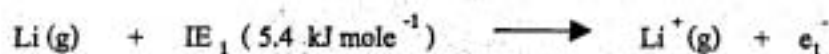
จากตารางจะเห็นว่า เมื่ออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนไปหนึ่งหรือสองตัว ทำให้อะตอมเกิดประจุบวกขึ้น และเมื่อจำนวนอิเล็กตรอนลดลงแต่ประจุบวกในนิวเคลียสยังเท่าเดิม อิเล็กตรอนที่เหลืออยู่จึงถูกดึงเข้าใกล้นิวเคลียสยิ่งขึ้น จึงทำให้ไอออนบวกจึงมีขนาดเล็กกว่าอะตอมเดิม ถ้ายังอิเล็กตรอนสูญเสียมากเท่าไรขนาดของไอออนยิ่งขนาดเล็กลงเท่านั้น เช่น ไอออนของ  $Mg^{2+}$

จะมีขนาดเล็กกว่าไอออนของ  $\text{Na}^+$  ในทางตรงกันข้ามถ้าเพิ่มประจุลบเข้าไปที่อะตอม ทำให้อิเล็กตรอนมีความหนาแน่นมากขึ้น แรงดึงดูดของประจุบวกที่นิวเคลียสกับอิเล็กตรอนจึงลดลง มีผลทำให้ขนาดของไอออนใหญ่ขึ้น เช่น ไอออนของ  $\text{O}^{2-}$  มีขนาดใหญ่กว่าไอออนของ  $\text{F}^-$

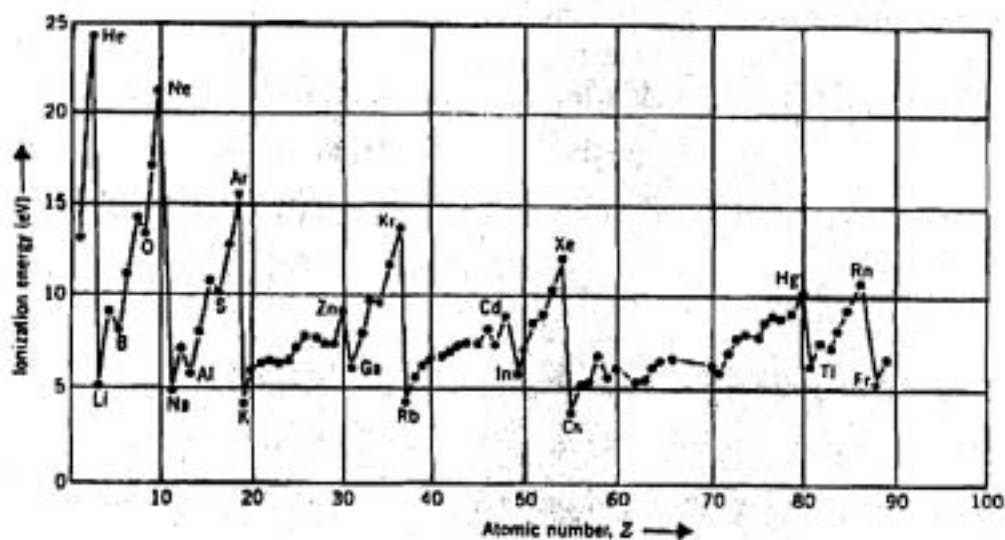
**2. พลังงานไอออไนเซชัน** คือพลังงานที่ต้องใช้ในการดึงอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกออกจากอะตอมในสถานะก๊าซกลายเป็นก๊าซไอออนบวก



$\text{IE}_1$  แทนค่าพลังงานในการดึงอิเล็กตรอนตัวที่หนึ่งออกจากอะตอมที่สถานะก๊าซเรียกว่าพลังงานในการเกิดไอออนในเซชันชั้นที่หนึ่ง (First ionization energy) เช่น



จะเห็นได้ว่าค่าการเกิดไอออไนเซชันชั้นที่หนึ่งต่ำกว่าชั้นที่สองและชั้นที่สามของทุก ๆ อะตอม สาเหตุที่ค่าไอออนในเซชันในชั้นที่สามมีค่ามาก เนื่องจากการที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับประจุของนิวเคลียสเพิ่มขึ้นและขนาดของไอออนจะลดลง ฉะนั้นจึงเป็นการยากที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนไปอีก จึงทำให้ชั้นที่สามต้องใช้พลังงานมากขึ้น



รูปที่ 13.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเกิดพลังงานไอออนในเซชันชั้นที่ 1

จากรูปที่ 13.3 เป็นกราฟแสดงค่าไอออนในเซชันกับเลขอะตอมของธาตุในตารางธาตุ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามคาบและลดลงตามหมู่ ดังนั้นค่าพลังงานไอออนในเซชันจะบอกว่าธาตุต่างๆ จะมีความว่องไวในปฏิกิริยาเพียงใด ถ้าธาตุใดมีค่าไอออนในเซชันต่ำ ก็จะเป็นธาตุที่ว่องไวและทำปฏิกิริยาได้รวดเร็ว

**ค่าพลังงานไอออนในเซชัน** พิจารณาค่าพลังงานไอออนในเซชันของธาตุในหมู่และในคาบเดียวกันดังนี้

ธาตุในหมู่เดียวกัน ค่าพลังงานไอออนในเซชันมีค่าลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากขนาดของอะตอมมีขนาดใหญ่แรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนในวงนอกสุดกับนิวเคลียสลดลง ทำให้อิเล็กตรอนวงนอกหลุดง่ายจึงมีค่าไอออนในเซชันลดลง

ธาตุในคาบเดียวกัน ค่าพลังงานไอออนในเซชันมีค่าเพิ่มขึ้นซ้ายไปขวา เนื่องจากขนาดของอะตอมมีขนาดเล็กแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนในวงนอกสุดกับนิวเคลียสเพิ่มขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนวงนอกหลุดยากจึงมีค่าไอออนในเซชันเพิ่มขึ้น

3. ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี คือความสามารถที่อะตอมของธาตุจะดึงคู่อิเล็กตรอนที่เกิดพันธะเข้าหาอะตอมได้ดีเพียงใด

ธาตุในหมู่เดียวกัน ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีจะลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากขนาดของอะตอมมีขนาดใหญ่มากขึ้น ทำให้แรงดึงดูดคู่อิเล็กตรอนลดลง

ธาตุในคาบเดียวกัน ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีจะเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เนื่องจากขนาดของอะตอมมีขนาดเล็กลง ทำให้แรงดึงดูดคู่อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

4. ค่าอิเล็กตรอนอффินิตี คือค่าพลังงานที่คายออกมาเมื่อเพิ่มอิเล็กตรอนเข้าไปในอะตอมเดี่ยวที่อยู่ในสภาพก๊าซแล้วเกิดเป็นไอออนลบ ซึ่งในกรณีนี้พลังงานจะถูกปล่อยออกมา เนื่องจากรับอิเล็กตรอนเข้าไปอยู่ในสภาพถูกนิวเคลียสดึงดูดไว้ วัตถุประสงค์ของค่าพลังงานเป็นกิโลจูลต่อโมล เช่น



ค่าอิเล็กตรอนอффินิตีสามารถบอกให้ทราบความยากง่ายที่อะตอมจะรับอิเล็กตรอนแล้วกลายเป็นไอออนลบ ถ้าค่าอิเล็กตรอนอффินิตีสูงหมายความว่าอะตอมชนิดนั้นเป็นไอออนลบได้ง่าย และถ้าค่าอิเล็กตรอนอффินิตีต่ำหมายถึงเป็นไอออนลบได้ยาก พิจารณาค่าอิเล็กตรอนอффินิตีของธาตุในหมู่และในคาบเดียวกันดังนี้

ธาตุในหมู่เดียวกัน ค่าอิเล็กตรอนอффินิตีจะมีค่าลดลงจากบนลงล่าง เนื่องจากขนาดของอะตอมใหญ่มากขึ้น จำนวนระดับพลังงานก็เพิ่มขึ้น ถึงแม้ประจุบวกที่นิวเคลียสเพิ่ม แต่จำนวนระดับอิเล็กตรอนที่กั้นกลางระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนวงนอกลดลง ทำให้อำนาจแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนวงนอกลดลง อิเล็กตรอนที่เพิ่มเข้ามาใหม่จึงหลุดได้ง่าย ไม่ติดอยู่กับอะตอมทำให้อะตอมใหญ่จึงเป็นไอออนได้ยากกว่าอะตอมเล็ก ดังนั้นจึงมีค่าอิเล็กตรอนอффินิตีต่ำ

ธาตุในคาบเดียวกัน ค่าอิเล็กตรอนอัมฟิโนติจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา เนื่องจากอะตอมมีขนาดเล็กจะรับอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า เพราะประจุบวกที่นิวเคลียสดึงอิเล็กตรอนไว้ได้ดีกว่า เนื่องจากระยะทางระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนสั้น การเกิดไอออนลบของอะตอมขนาดเล็กจะปล่อยพลังงานออกมามากกว่า

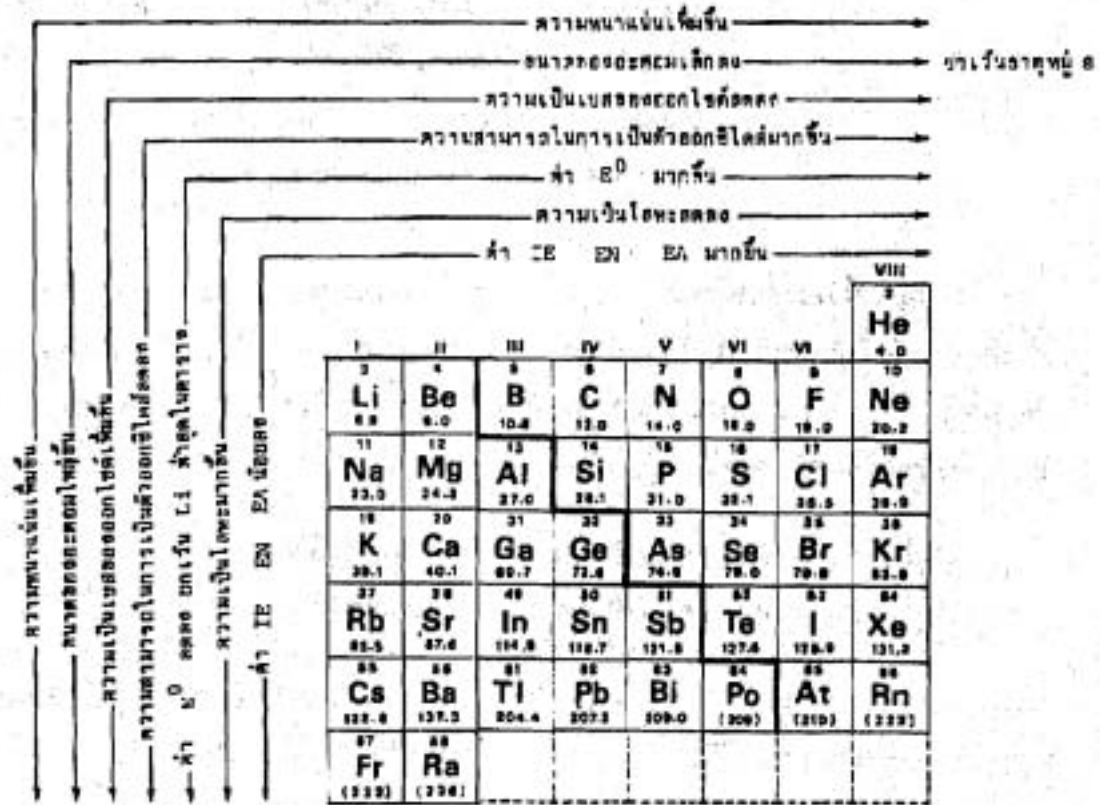
5. ความเป็นโลหะและอโลหะ โลหะเป็นธาตุที่อยู่ทางซ้ายของตารางธาตุ ธาตุใดที่มีความโน้มเอียงที่จะให้อิเล็กตรอนได้คือจัดว่าเป็นโลหะ เนื่องจากโลหะมีพลังงานในการแตกตัวเป็นไอออนต่ำ เมื่อพลังงานการแตกตัวเป็นไอออนเพิ่มขึ้นความเป็นโลหะจะลดลง พิจารณาความเป็นโลหะและอโลหะของธาตุในหมู่และในคาบเดียวกันดังนี้

ธาตุในหมู่เดียวกัน ความเป็นโลหะจะเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง

ธาตุในคาบเดียวกัน ความเป็นโลหะของธาตุจะลดลงจากซ้ายไปขวา

สำหรับหมู่ 8 A ได้แก่ Ne, Ar, Kr, Xe และ Rn จะมีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนวงนอกครบ 8 ยกเว้น He ที่มีการจัดอิเล็กตรอนวงนอกเป็น 2 อิเล็กตรอนเท่านั้น

แนวโน้มสมบัติของธาตุในตารางธาตุ ได้สรุปดังรูปที่ 13.4



IE = Ionization energy ; EN = Electronegativity ; EA = Electron affinity

รูปที่ 13.4 แนวโน้มของสมบัติของธาตุในตารางธาตุ

คำถาม

1. อะตอมที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชัน และค่าอิเล็กตรอนแอฟฟินิตีต่ำ จะมีค่าอิเล็กโตรเนกาตีฟตี้อย่างไร

.....

.....

.....

2. จงเขียนความสัมพันธ์แสดงแนวโน้มของสมบัติต่าง ๆ ของธาตุที่กำหนดให้ในตารางดังนี้

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน	รัศมีอะตอม	จุดเดือด	จุดหลอมเหลว
He				
Ne				
Ar				
Kr				
Xe				
Rn				

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน	อิเล็กโตรเนกาติวิตี	รัศมีอะตอม	จุดเดือด	จุดหลอมเหลว
Li					
Na					
K					
Rb					
Cs					

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน	อิเล็กโตรเนกาติวิตี	รัศมีอะตอม	จุดเดือด	จุดหลอมเหลว
Be					
Mg					
Ca					
Sr					
Ba					
Ra					



ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน	อิเล็กโตรเนกาติวิตี	รัศมีอะตอม	จุดเดือด	จุดหลอมเหลว
F					
Cl					
Br					
I					

ธาตุ	พลังงานไอออไนเซชัน	อิเล็กโตรเนกาติวิตี	รัศมีอะตอม	จุดเดือด	จุดหลอมเหลว
O					
S					
Se					
Te					
Po					

3. ธาตุ A เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือน้ำ สามารถรวมตัวกับก๊าซ ออกซิเจนเป็นสารประกอบออกไซด์ที่ละลายน้ำได้ และสามารถเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจาก น้ำเงินเป็นแดง จงทำนายว่าควรอยู่ในหมู่ใดของตารางธาตุ เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

.....

.....

4. ธาตุ A มีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนเป็น 2 , 8 , 18 , 7 ให้ทำนายว่าธาตุ A ควรจะเป็นธาตุใดของตารางธาตุและมีคุณสมบัติอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

5. ธาตุ Li, Be, N, O, F ไอออนของธาตุใดมีขนาดใหญ่ที่สุด เพราะเหตุใด

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

6. ธาตุ A, B, C, D มีเลขอะตอมเป็น 3, 9, 11, 17 ตามลำดับ ธาตุใดเป็นโลหะ และธาตุใดเป็นอโลหะ

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

7. จากตารางข้างล่าง จงตอบคำถาม

หมู่ที่	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
คาบที่ 5	A	B	C	D	E	F	G	H
คาบที่ 6	I	J	K	L	M	N	O	P

7.1 สารประกอบระหว่าง J กับ E ควรมีสสูตรเป็นอย่างไร

.....

7.2 สูตรทางเคมีของสารประกอบที่รวมกันระหว่างธาตุ K กับ F คือ

.....

7.3 ธาตุตัวใดที่แสดงความเป็นโลหะ และธาตุตัวใดแสดงความเป็นอโลหะ

โลหะ .....

อโลหะ .....