

# ปฏิบัติการที่ 1

## การแยกสาร

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการแยกของผสมโดยใช้วิธีการกรอง การใช้ตัวทำละลาย และการทำให้ตกผลึก

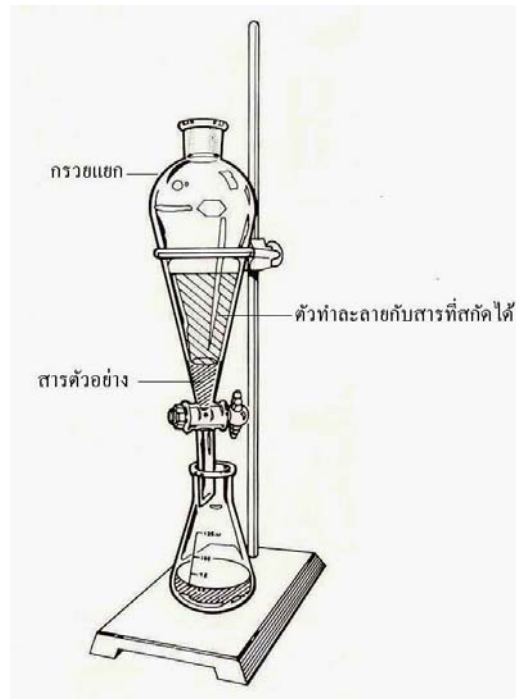
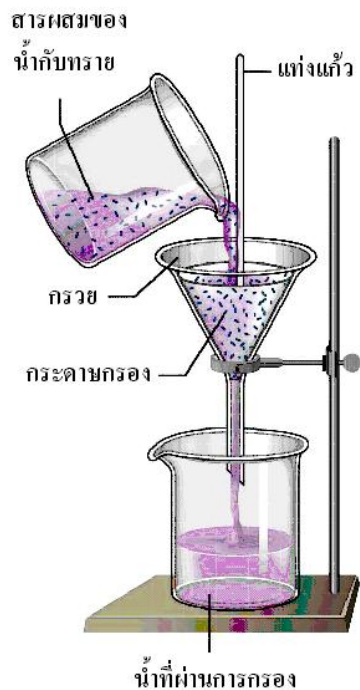
### หลักการ

การแยกของผสมออกเป็นสารแต่ละอย่าง อาศัยความแตกต่างในสมบัติทางกายภาพของสาร เช่น การละลาย การระเหย จุดเดือด และอื่นๆ

1. การกรอง (filtration) เป็นกระบวนการแยกทางกายภาพ เหมาะสำหรับแยกของผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว หรือของแข็งกับของแข็งที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน โดยใช้วัสดุกรองที่มีขนาดของรูพรุนที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของวัสดุกรอง ไม่สามารถรอดผ่านไปได้ ส่วนของเหลวหรืออนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กจะสามารถผ่านไปได้ ดังภาพที่ ผ-1.1)

2. การตกผลึก (crystallization) เป็นกระบวนการแยกสารที่เป็นตัวถูกละลายออกจากสารเนื้อผสมหรือสารละลายที่อิ่มตัวแบบยิ่งยวด สารที่เป็นตัวถูกละลายที่แยกออกมาได้จะกลับมาอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง โดยอาศัยสมบัติของการละลายที่แตกต่างกัน ณ สภาวะต่าง ๆ

3. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับแยกสาร 2 ชนิด ที่มีความสามารถในการละลายต่างกัน โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการที่มีสมบัติคล้ายกันจะละลายเข้าด้วยกัน (like dissolves like) ดังภาพที่ ผ-1.1



ภาพที่ ผ-1.1 การจัดอุปกรณ์ในการกรอง และการสกัดด้วยตัวทำละลาย  
ทีมา (Zumdahl, 2004 และ Fieser , 1999 , p.5)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- |                     |                |
|---------------------|----------------|
| 1. บีกเกอร์         | 2. กรวยแยก     |
| 3. ขาดังพร้อมวงแหวน | 4. ขวดรูปชมพู่ |
| 5. อ่างน้ำร้อน      |                |

### สารเคมี

1. ของผสม ที่ประกอบด้วย กรดเบนโซอิก และหินภูเขาไฟ (pumice)
2. เบนซีน
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจาง
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 3 M
5. เมทานอล เข้มข้น ร้อยละ 20
6. ผงถ่าน
7. กระดาษกรอง

## คำถามก่อนการทดลอง

1. กรดเบนโซอิก และ หินภูเขาไฟ มีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันอย่างไร
2. การกรอง การสกัดด้วยตัวทำละลาย และการตกผลึก อาศัยตามแตกต่างสมบัติในด้านใดของสาร
3. ท่านมีวิธีการจัดลำดับวิธีการที่จะใช้แยกสารผสมอย่างไร

## วิธีทำการทดลอง

1. นำของผสมของกรดเบนโซอิกและหินภูเขาไฟ ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมเบนซีนลงประมาณ 20 cm<sup>3</sup> สังเกตการละลายที่เกิดขึ้น จากนั้นกรองเอาสิ่งที่ไม่ละลายออก
2. ใส่ของเหลวที่กรองได้ลงกรวยแยก เติม 3M NaOH 10 cm<sup>3</sup> ปิดจุกกรวยแยกแล้วคว่ำลง เปิดจุกก๊อกเพื่อลดความดันไอของของเหลว ปิดจุกก๊อกและเขย่าสารละลายเบาๆ สลับด้วยการเปิดจุกก๊อกเพื่อลดความดันไอของของเหลวเป็นระยะๆ ทำเช่นนี้ประมาณ 2 นาที เพื่อให้ NaOH ทำปฏิกิริยากับกรดเบนโซอิก
3. วางกรวยแยกลงบนที่วางกรวย เปิดจุกก๊อก แล้วทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้สารละลายแยกตัวออกเป็น 2 ชั้น ไขเอาสารละลายชั้นล่างออกใส่ในบีกเกอร์ ระวังอย่าให้สารละลายชั้นบนติดลงมา
4. เติม HCl เจือจางครึ่งละ 1 cm<sup>3</sup> ลงในบีกเกอร์จนกระทั่งตะกอนเกิดขึ้นและเติมไปเรื่อยๆ จนได้ตะกอนมากพอ
5. กรองเอาตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง นำตะกอนมาละลายด้วยเมทานอล เข้มข้นร้อยละ 20 จำนวน 25 cm<sup>3</sup> ในบีกเกอร์ เติมผงถ่านลงไป 1 กรัม แล้วนำไปทำให้ค่อยๆ ร้อนขึ้นในอ่างน้ำร้อน (เมทานอลเป็นสารระเหยง่าย และติดไฟต้องระมัดระวัง) จนกระทั่งกรดเบนโซอิกละลายหมด ส่วนผงถ่านไม่ละลาย สังเกตลักษณะของสารละลายที่ได้
6. กรองสารละลายที่ได้ขณะร้อนด้วยกระดาษกรอง ลงในขวดรูปชมพู่ที่แช่อยู่ในอ่างน้ำร้อน เมื่อกรองเสร็จยกออกจากอ่างน้ำร้อน
7. ปลอ่ยทิ้งไว้ให้สารละลายตกผลึก แล้วกรองผลึกที่เกิดขึ้น ล้างผลึกด้วยน้ำเย็นครึ่งละ 5 cm<sup>3</sup> ซับผลึกด้วยกระดาษกรอง ทิ้งผลึกไว้ให้แห้งในอากาศ สังเกตลักษณะของผลึก
8. ส่งผลึกที่ได้จากการทดลอง

### คำถามหลังการทดลอง

1. การละลายของกรดเบนโซอิก และ พิวมิช ในเบนซีน แตกต่างกันอย่างไร
2. ในของเหลวหลังจากผ่านการกรอง ที่นำมาใส่ในกรวยแยก น่าจะมีสารใดละลายอยู่
3. หลังจากเติม NaOH ลงในกรวดแยก ละลายมีการเปลี่ยนอย่างไร
4. สารละลายที่แยกเป็นสองชั้น แต่ละชั้นมีลักษณะเป็นอย่างไร และสามารถบอกได้หรือไม่ว่า แต่ละชั้นประกอบด้วยสารอะไรบ้าง
5. พง่ามันที่เติมลงในสารละลายที่ผ่านจากการสกัดแล้ว เพื่ออะไร
6. ผลึกที่ได้จากการตกผลึกละลายในเมทานอลหรือไม่

### เอกสารอ้างอิง

Fieser, L. F. & Williamson K. L. (1992). **Organic Experiments** (7th ed). Lexington: D.C. Heath.

Hagen, J. W.(1972). **Empirical Chemistry: A quantitative Laboratory Program** (2nd ed.). San Francisco: Feeman.

Hall, J. F. (1993). **Experimental chemistry** (3rd ed.). Lexington: D.C. Heath.

Zumdahl, S. S. (2004). **General Chemistry** [Online], Available HTTP:[http://college.hmco.com/chemistry/general/zumdahl/world\\_of\\_chem/1e/instructors/ppt/figures/chap01.ppt](http://college.hmco.com/chemistry/general/zumdahl/world_of_chem/1e/instructors/ppt/figures/chap01.ppt)

# ปฏิบัติการที่ 2

## การกลั่น

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการกลั่นแบบธรรมดาและแบบลำดับส่วน
2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการกลั่นทั้งสองแบบ

### หลักการ

1. การกลั่นแบบธรรมดา (simple distillation) ใช้แยกสารหรือตัวทำละลายที่ระเหยง่าย ออกจากตัวถูกละลายที่ระเหยยาก เช่น การกลั่นเพื่อแยกน้ำจากน้ำทะเล
2. การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation) ใช้แยกสารหรือตัวทำละลายที่ระเหยง่าย ทีละ 1 ชนิด ออกจากสารละลาย โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้สารที่มีจุดเดือดต่ำเกิดการระเหยออกมาก่อน แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรียงตามลำดับของจุดเดือดของแต่ละสาร

### เครื่องมือ อุปกรณ์

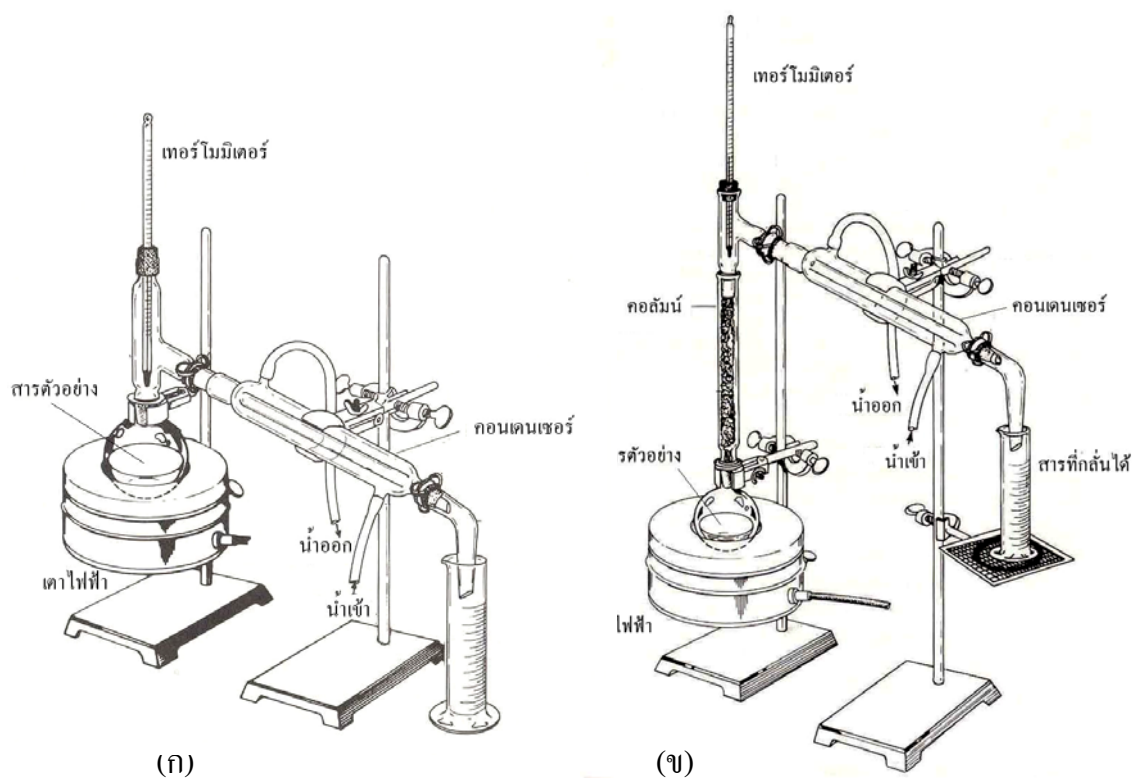
- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. เตาไฟฟ้า (heating mantle)  | 2. ขวดก้นกลม        |
| 3. เครื่องควบแน่น (condenser) | 4. คอลัมน์ลำดับส่วน |
| 5. อะแดปเตอร์                 | 6. เทอร์โมมิเตอร์   |
| 7. สายยาง                     | 8. ขาดังและที่ยึด   |
| 9. เศษกระเบื้อง               | 10. กระจบอกลง       |
| 11. แผ่นอลูมิเนียม            | 12. ล้าสี           |

### สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. เมทานอล

### คำถามก่อนการทดลอง

1. มีหลักเกณฑ์อย่างไร ในการเลือกใช้วิธีการกลั่นแบบธรรมดาหรือการกลั่นลำดับส่วน
2. เครื่องควบแน่น ทำหน้าที่อะไร และมีหลักการในการทำงานอย่างไร
3. เศษกระเบื้อง ใส่ลงในขวดก้นกลม มีประโยชน์อย่างไร



ภาพที่ ผ-2.1 การจัดวางอุปกรณ์แสดงการกลั่นแบบธรรมดา และการกลั่นแบบลำดับส่วน  
 ทีมา (Fieser, 1999, pp. 5 , 67)

### วิธีทำการทดลอง

1. ผสมน้ำ 15 cm<sup>3</sup> กับ เมทานอล 15 cm<sup>3</sup> แล้วใส่ลงในขวดก้นกลม พร้อมทั้งใส่  
 กระจกเป็อง (boiling chip)
2. จัดเครื่องมือการกลั่นดังภาพที่ ผ-2.1 (ก) สำหรับการกลั่นแบบธรรมดา และจัด  
 เครื่องมือดังภาพที่ ผ-2.1 (ข) สำหรับการกลั่นแบบลำดับส่วน
3. ค่อย ๆ ให้ความร้อนทีละน้อยๆ
4. จดบันทึกอุณหภูมิของของเหลวที่ที่กลั่นได้ และให้อัตราการไหลของของเหลว  
 ที่กลั่นได้ประมาณ 1-5 หยด ต่อวินาที
5. นำผลที่ได้มาทดลองจุดไฟดูโดยใช้สารละลายที่กลั่นได้ ครั้งละ 1 cm<sup>3</sup> สังเกตการ  
 ติดไฟของสารละลาย

### คำถามหลังการทดลอง

1. การกลั่นแบบใด ที่สามารถทำการกลั่นได้รวดเร็วกว่า
2. อุณหภูมิที่บันทึกขณะทำการกลั่นของการกลั่นทั้งสองแบบแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร
3. การนำของเหลวที่กลั่นได้มาทดสอบการลุกไหม้ เพื่อวัตถุประสงค์ใด
4. การกลั่นแบบใดได้ปริมาณเมทานอลมากกว่า

### เอกสารอ้างอิง

Fieser, L. F. & Williamson K. L. (1992). **Organic Experiments** (7th ed). Lexington:

D.C. Heath.

Hall, J. F. (1993). **Experimental chemistry** (3rd ed.). Lexington: D.C. Heath.

## ปฏิบัติการที่ 3

### โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ

#### วัตถุประสงค์

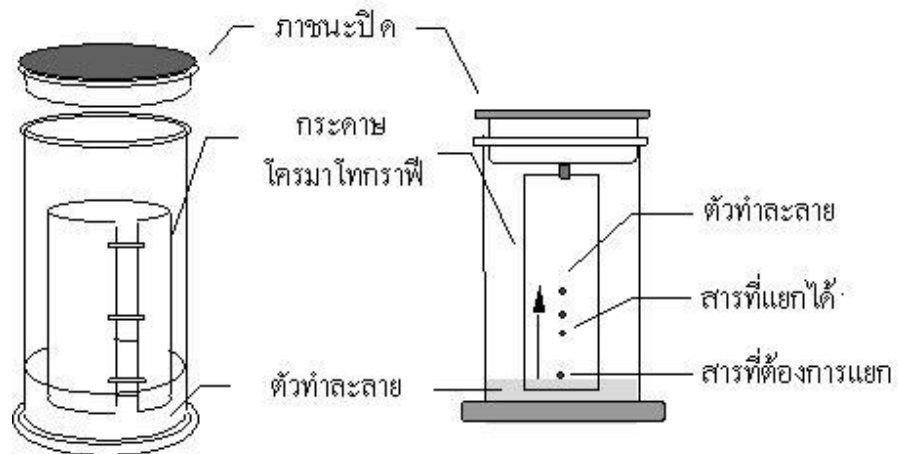
1. เพื่อศึกษาวิธีการแยกสาร โดยโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ
2. เพื่อแยกสารตัวอย่างที่เป็นไอออนของโลหะแทนซิซัน

#### ความรู้เบื้องต้น

โครมาโทกราฟี (chromatography) เป็นวิธีการแยกสารที่มีสีและไม่มีสี ออกจากกัน โดยอาศัยคุณสมบัติการดูดซับ (adsorption) ที่แตกต่างกันของสาร โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ทำหน้าที่เป็นตัวเคลื่อนที่ (mobile phase) ไปผสมหรือให้เคลื่อนที่ผ่านสารที่ต้องการจะแยก แล้วให้ไหลผ่านตัวดูดซับหรือตัวคงตัว (stationary phase) เช่น อลูมินา ซิลิกา พงถ่าน สารที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่ผ่าน ออกมาได้เร็ว ช้า ต่างกัน เนื่องจากถูกดูดซับไว้ไม่เท่ากัน

โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (paper chromatography) เป็นวิธีโครมาโทกราฟีอย่างง่าย ที่ประกอบด้วยส่วนที่คงที่เป็นกระดาษที่มีเซลลูโลสบริสุทธิ์และน้ำปนอยู่เล็กน้อย ส่วนตัวที่เคลื่อนที่จะเป็นสารละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำหรือไม่ก็ได้ วิธีทำโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ เริ่มจากการจุดสารตัวอย่าง บนแผ่นกระดาษโครมาโทกราฟีให้อยู่เหนือปลายขอบล่าง ประมาณ 1.0-1.5 เซนติเมตร และต้องทำให้เป็นวงกลมที่มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ กระดาษที่จุดสารตัวอย่างเรียบร้อยแล้วใส่ในถัง (chamber) ที่มีตัวทำละลายบรรจุอยู่ โดยจะต้องปิดฝาให้สนิทเพื่อให้อากาศภายในอิ่มตัวไปด้วยไอของตัวทำละลาย เมื่อตั้งทิ้งไว้ตัวทำละลายจะเคลื่อนที่ไปบนกระดาษ การแยกของสารตัวอย่างจะเกิดขึ้นเนื่องจากมีสมบัติในการดูดซับที่แตกต่างกัน





ภาพที่ ผ-3.1 โครมาโทกราฟีแบบกระดาศ  
 ทั้มา (Ramsden, 1994, p. 193)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 500 cm<sup>3</sup>
2. แผ่นแก้วปิดปากบีกเกอร์
3. กระดาศโครมาโทกราฟี เบอร์ 1 ขนาด 10 cm x 15 cm
4. หลอดคัพปลารี (capillary) สำหรับหยดสารละลาย
5. ที่เขี่ยกระดาศพร้อมลวด
6. ดินสอ
7. ไม้บรรทัด
8. กรรไกร
9. กระบอกตวง ขนาด 25 cm
10. เครื่องเป่าผม

### สารเคมี

1. สารละลายเกลือของโลหะชนิดต่างๆ เช่น Fe<sup>2+</sup> Cu<sup>2+</sup> Co<sup>2+</sup> และ Mn<sup>2+</sup>
2. สารตัวอย่าง (unknown) ที่ประกอบด้วยไอออนผสม
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 6 M
4. อะซีโตน
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH<sub>4</sub>OH) เข้มข้น 6 M

## คำถามก่อนการทดลอง

1. ตัวคงที่ ของโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ เป็นอย่างไร
2. ตัวเคลื่อนที่ ที่ใช้ในโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ ต้องมีสมบัติอย่างไร
3. ค่า  $R_f$  คืออะไร

## วิธีการทดลอง

1. ผสมสารละลาย HCl เข้มข้น 6 M ปริมาตร 7 cm<sup>3</sup> และอะซีโตน 25 cm<sup>3</sup> ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วปิดฝาด้วยแผ่นกระดาษ
2. นำกระดาษโครมาโทกราฟีที่ตัดได้ขนาดตามต้องการ มาวางบนกระดาษหรือแผ่นกระดาษที่สะอาด แล้วใช้ไม้บรรทัดลากเส้นด้านดินสอดำห่างจากขอบด้านล่าง 2 cm ไปตามความยาว แล้วแบ่งระยะจุดห่างกันประมาณ 2 cm จำนวน 6 จุด พร้อมทำเขียนหมายเลขกำกับ
3. หยดสารละลายตามลำดับดังนี้ Fe<sup>2+</sup> Cu<sup>2+</sup> Co<sup>2+</sup> Mn<sup>2+</sup> สารละลายผสม (Fe<sup>2+</sup> Cu<sup>2+</sup> Co<sup>2+</sup> และ Mn<sup>2+</sup>) และสารตัวอย่าง ในตำแหน่งหมายเลขที่ 1 2 3 4 5 และ 6 ตามลำดับ แล้วใช้ที่เป่าลม เป่าให้สารละลายแห้งโดยเร็วเพื่อที่จะไม่ให้แผ่เป็นวงกว้างเกินกว่า 0.5 cm
4. โคนปลายกระดาษทั้งสองข้างเข้ามาหากัน (อย่าให้แตะกัน) แล้วเย็บกระดาษทั้งด้านบนและล่าง ด้วยที่เย็บกระดาษ
5. วางกระดาษที่โค้งเรียบร้อยแล้วลงในบีกเกอร์ที่ภายในอ้อมตัวไปด้วยไอของสารละลาย แล้วรีบปิดฝา โดยให้จุดทั้ง 6 อยู่ด้านล่าง
6. เมื่อตัวทำละลายซึมขึ้นไปบนกระดาษ จนเกือบถึงด้านบนของกระดาษ ให้รีบนำกระดาษออก แล้วใช้ดินสอดำทำตำแหน่งแนวบนสุดของตัวละลายที่ซึมขึ้นมา แล้วรีบใช้ที่เป่าลม เป่าให้กระดาษแห้งโดยเร็ว แล้วบันทึกสีของจุดทั้งหมดที่สังเกตเห็น
7. นำกระดาษ ไปวางเหนือภาชนะที่มีสารละลาย NH<sub>4</sub>OH เข้มข้น 6 M สังเกตสีของจุดทั้งหมด ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
8. ใช้ที่เป่าลม เป่ากระดาษให้แห้ง แล้วสังเกตจุดสีอีกครั้ง
9. วัดระยะทางจากจุดเริ่มต้น ถึง จุดศูนย์กลางของจุดสีแต่ละจุดที่ปรากฏบนแผ่นกระดาษ และวัดระยะทางทั้งหมดที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ บันทึกข้อมูล และทำการหาคำนวณค่า

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ (cm)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (cm)}}$$

### คำถามหลังการทดลอง

1. ก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง สารละลายแต่ละชนิดมีสีอะไร
2. สารมาตรฐานแต่ละชนิด ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NH}_4\text{OH}$  เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. ค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานแต่ละตัว เท่ากับ ค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานผสม หรือไม่
4. สารตัวอย่าง ประกอบด้วยเกลือของโลหะอะไบบ้าง และทราบได้อย่างไร

### เอกสารอ้างอิง

Hagen, J. W.(1972). **Empirical Chemistry: A quantitative Laboratory Program** (2nd ed.).

San Francisco: Feeman.

Ramsden, E.N. (1994). **A-level chemistry** (3rd ed.). Cheltemham: Stanley Thornes.

# ปฏิบัติการที่ 4

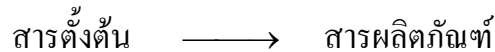
## อัตราการเกิดปฏิกิริยา

### วัตถุประสงค์

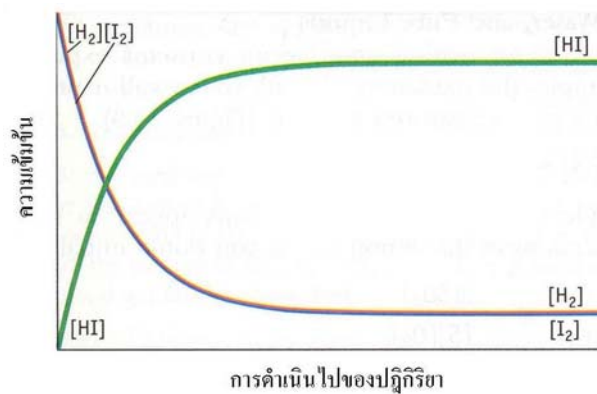
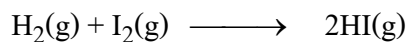
1. เพื่อหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา
2. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
3. เพื่อหาอันดับของปฏิกิริยา (reaction order)

### ความรู้เบื้องต้น

ในการวัดอัตราปฏิกิริยา (rate of chemical reaction) จะเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน หรือสารผลิตภัณฑ์ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะค่อย ๆ ลดลงไปในขณะที่ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น



เช่น ปฏิกิริยา

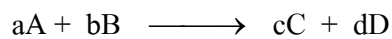


ภาพที่ ผ-4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในการเกิดปฏิกิริยาเคมี  
ที่มา (Kotz , Treichel & Harman, 2003, p.659)

ดังนั้น ในการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พิจารณาจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลง หรือพิจารณาจากความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลง}}{\text{เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป}} \\ &= \frac{\text{ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น}}{\text{เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป}} \end{aligned}$$

เนื่องจาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละช่วงเวลาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น ในการหาอัตราปฏิกิริยาที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่งในระหว่างการเกิดปฏิกิริยานั้น สามารถการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาที่กำหนด หรือหาได้จาก ความชันของเส้นกราฟของปฏิกิริยา ณ จุดที่สัมผัส ตัวอย่างเช่น

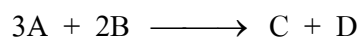


เมื่อ a b c และ d เป็นจำนวนโมลของสาร A, B, C และ D ตามลำดับ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} &= \frac{1}{a} \text{อัตราการลดลงของ A} \\ &= \frac{1}{b} \text{อัตราการลดลงของ B} \\ &= \frac{1}{c} \text{อัตราการเพิ่มขึ้นของ C} \\ &= \frac{1}{d} \text{อัตราการเพิ่มขึ้นของ D} \end{aligned}$$

หรือ อัตราปฏิกิริยา  $-\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$

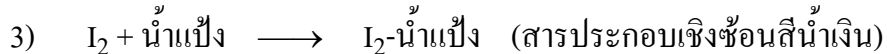
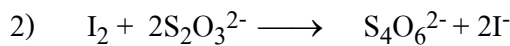
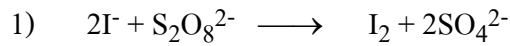
การเขียนกฎอัตราดิฟเฟอเรนเชียลนั้น เราเขียนเป็นผลคูณของความเข้มข้น ที่ยกกำลัง อย่างเช่น ปฏิกิริยา



จะเขียนได้ว่า  $-\frac{1}{3} \frac{d[A]}{dt} = \frac{d[C]}{dt} = k[A]^n[B]^m$

จากสมการ n และ m เป็นอันดับของปฏิกิริยาของสาร A และ B ตามลำดับ k เป็นค่าคงตัวอัตรา (rate constant) และอันดับของปฏิกิริยารวม (overall reaction order) จะเท่ากับ n + m ค่าของ n และ m นั้นหาได้จากการทดลอง

ตัวอย่างปฏิกิริยาระหว่าง  $I^-$  กับ  $S_2O_8^{2-}$  (peroxydisulfate) เมื่อ  $I^-$  ทำปฏิกิริยากับ  $S_2O_8^{2-}$  ได้  $I_2$  และ  $SO_4^{2-}$  โดย  $I_2$  ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ  $S_2O_3^{2-}$  (tetrathionate) และ  $I^-$  เมื่อ  $S_2O_3^{2-}$  หหมด  $I_2$  ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้ง ได้สารละลายสีน้ำเงิน ดังสมการ



### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บิวเรตต์ ขนาด  $50 \text{ cm}^3$
2. หลอดทดลอง
3. แท่งแก้วคนสาร
4. นาฬิกาจับเวลา

### สารเคมี

1. สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 0.05 , 0.1 , 0.2 , 0.4 M
2. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ( $Na_2S_2O_3$ ) เข้มข้น 0.01 M
3. สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต ( $(NH_4)_2S_2O_8$ ) เข้มข้น 0.05, 0.1 , 0.2 และ 0.4 M
4. น้ำแป้ง

### คำถามก่อนการทดลอง

1. สารตั้งต้นที่ใช้ในการปฏิกิริยา ได้แก่สารใด
2. น้ำแป้ง ทำหน้าที่อะไร
3. จะมีวิธีการวัดอัตราเร็วปฏิกิริยานี้ ได้อย่างไร

### วิธีทำการทดลอง

ตอนที่ 1 ผลของความเข้มข้นของ  $S_2O_8^{2-}$  ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

1. ผสมสารละลาย KI เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร  $5 \text{ cm}^3$  กับ สารละลาย  $Na_2S_2O_3$  เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร  $2 \text{ cm}^3$  และน้ำแป้ง  $1 \text{ cm}^3$  ในบีกเกอร์ แล้วเทสารละลาย ( $(NH_4)_2S_2O_8$ ) เข้มข้น 0.2 M เริ่มจับเวลา จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน โดยคนสารละลายตลอดเวลา

2. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ KI เป็น 0.1 , 0.2 , 0.4 M

## ตอนที่ 2 ผลของความเข้มข้นของ I<sup>-</sup> ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

3. ผสมสารละลาย (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 5 cm<sup>3</sup> กับ สารละลาย Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 2 cm<sup>3</sup> และน้ำเปล่า 1 cm<sup>3</sup> ในบีกเกอร์ แล้วเทสารละลาย KI เข้มข้น 0.2 M เริ่มจับเวลา จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน โดยคนสารละลายตลอดเวลา

4. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) เป็น 0.1 , 0.2 , 0.4 M

5. เขียนกราฟระหว่าง  $\ln \frac{1}{t}$  กับ  $\ln [I^-]$  และหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ I<sup>-</sup>

6. เขียนกราฟระหว่าง  $\ln \frac{1}{t}$  กับ  $\ln [S_2O_8^{2-}]$  และหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>

### คำถามหลังการทดลอง

1. อันดับของปฏิกิริยา เมื่อเทียบกับ I<sup>-</sup> มีค่าเท่าใด
2. อันดับของปฏิกิริยา เมื่อเทียบกับ S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> มีค่าเท่าใด
3. ปฏิกิริยาระหว่าง I<sup>-</sup> กับ S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup> เป็นปฏิกิริยาอันดับที่เท่าใด
4. ค่าคงตัวของอัตรา มีค่าเท่าใด

### เอกสารอ้างอิง

Hagen, J. W.(1972). **Empirical Chemistry: A quantitative Laboratory Program** (2nd ed.).

San Francisco: Feeman.

Kotz, J. C. , Treichel, P. M. & Harman, P. A. (2003). **Chemistry & Chemical Reactivity**

(5th ed.). New York: Thomson Learning.

## ปฏิบัติการที่ 5

### ปริมาณสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมี

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณของสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี
2. เพื่อใช้สมบัติทางกายภาพของสาร ช่วยในการหาปริมาณสัมพันธ์ปฏิกิริยาเคมี

#### ความรู้เบื้องต้น

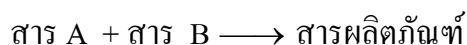
ในการเขียนสมการเคมีให้ถูกต้อง จำเป็นจะต้องทราบถึงชนิดของสารตั้งต้น และอัตราที่ส่วนเหล่านั้นที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี ที่เรียกว่า ปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยา (stoichiometry of the reaction) และชนิด ปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย

ในการทดลองนี้จะเป็นการหาปริมาณสารสัมพันธ์ระหว่าง โซเดียมไฮโปคลอไรด์ กับ โซเดียมไธโอซัลเฟต เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาผสมกัน ถ้ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ซึ่งทำให้สมบัติของสารแตกต่างกันไปจากสมบัติของสารตั้งต้น โดยการสังเกตจากสมบัติเมื่ออัตราส่วนขององค์ประกอบเปลี่ยนไป ก็สามารถที่จะหาปริมาณสารสัมพันธ์ที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยากันพอดีได้ ในการทดลองจะต้องควบคุมจำนวนโมลของสารตั้งต้นทั้งสอง ให้มีจำนวนโมลรวมคงตัว หรือผสมในอัตราส่วนร้อยละ จากนั้นให้ทำการวัดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา เช่น ความร้อน เป็นต้น แล้วทำการเขียนกราฟแสดงอัตราส่วนผสมของสารทั้งสอง กับ ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่า การเขียนกราฟปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometric plot) จึงจะทำให้มองเห็นจุดสูงสุดของกราฟ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้เกิดผลผลิตของปฏิกิริยามากที่สุด ดังภาพ ผ-5.1 ตัวอย่างเช่นการทดลองหาปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาจากความร้อนที่ถูกละลายออกมาจากปฏิกิริยา โดย

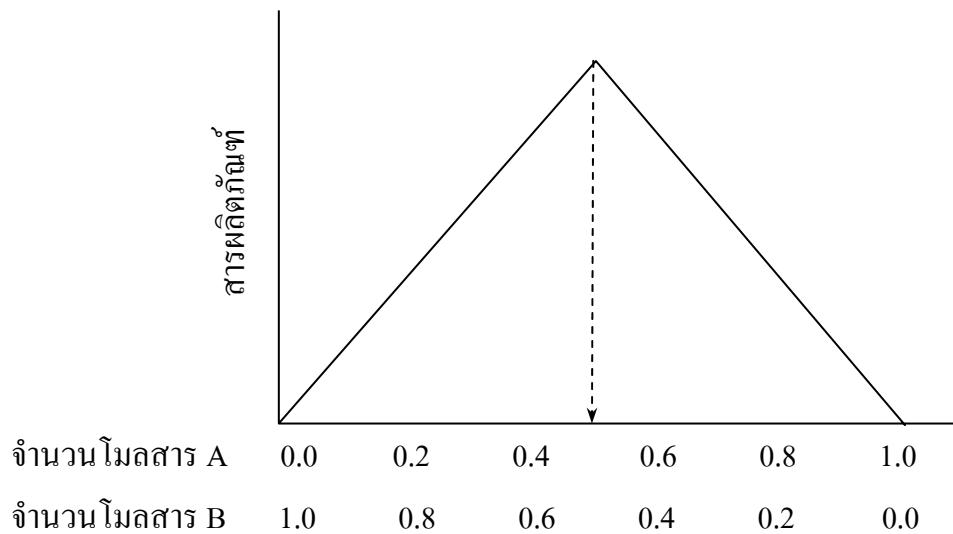


เมื่อ Q คือปริมาณความร้อนที่คายออกจากปฏิกิริยาซึ่งหาได้จากอุณหภูมิ (t) ที่เปลี่ยนแปลง

$$\Delta t = (t \text{ สุดท้าย} - t \text{ เริ่มต้น})$$







ภาพที่ ผ-5.1 แสดงอัตราส่วนจำนวนโมลของสารตั้งต้น  
ที่มา (Hall, 1993, p.38)

ปริมาณความร้อนที่ถูกคายออกมาเมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ค่า  $\Delta t$  ก็จะมากขึ้นด้วย ดังนั้น เราสามารถใช้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นตัวติดตาม ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากปฏิกิริยา ปริมาณความร้อนที่ถูกคายออกมาจากปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาอย่างไร เมื่อพิจารณาจากสมการ ถ้าเราผสม  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$   $x$  โมล กับ  $\text{NaOCl}$   $y$  โมล จะได้ปริมาณความร้อนค่าหนึ่ง ในทางตรงกันข้ามถ้าเราใช้ปริมาณ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  น้อยกว่า  $x$  โมล ผสมกับ  $\text{NaOCl}$  ปริมาณมากกว่า  $y$  โมล  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอจะทำปฏิกิริยากับ  $\text{NaOCl}$  ดังนั้นปริมาณความร้อนที่คายออกมาจะน้อยกว่า ผลคือค่า  $\Delta t$  จะลดลง แต่ในการทดลองสิ่งที่สำคัญคือ ผลรวมของจำนวนโมล (จำนวนโมลของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{NaOCl}$ ) จะต้องควบคุมให้มีค่าคงตัวในแต่ละปฏิกิริยา

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกตวง  $100 \text{ cm}^3$
2. ถ้วยเก็บความร้อน (styrofoam cup)
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. บีกเกอร์ขนาด  $250 \text{ cm}^3$

## สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เข้มข้น 0.5 M
2. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เข้มข้น 0.5 M

## คำถามก่อนการทดลอง

1. ทำไมถึงต้องใช้ถ้วยเก็บความร้อน
2. ทำไมจึงต้องควบคุมอัตราส่วนผสมรวมให้คงที่

## วิธีทำการทดลอง

1. ใส่สารละลาย 0.50 M NaOCl ปริมาตร 50 cm<sup>3</sup> ลงในถ้วยเก็บความร้อน
2. ใส่สารละลาย 0.5 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ปริมาตร 50 cm<sup>3</sup> ลงในกระบอกตวง วัดอุณหภูมิ
3. เทสารละลาย Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (จากข้อ 2) ลงในสารละลาย NaOCl ในถ้วยเก็บความร้อนผสมสารละลายทั้งสองให้ทั่วถึง วัดอุณหภูมิ
4. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนปริมาตรของสารทั้งสอง โดยควบคุมปริมาตรรวมเป็น 100 cm<sup>3</sup> อย่างน้อย 5 อัตราส่วน เช่น 50:50 , 40:60 , 60:40 , 20:80, 80:20 เป็นต้น
5. นำผลการทดลองมาเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง  $\Delta t$  กับจำนวนโมลของ สารตั้งต้นทั้งสอง
6. จากกราฟที่ได้หาอัตราส่วนที่สารทำปฏิกิริยากันพอดี

## คำถามหลังการทดลอง

1. ปฏิกิริยาระหว่าง Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> กับ NaOCl เป็นปฏิกิริยาคูดหรือคายความร้อน
2. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือไม่
3. ถ้าสารละลาย Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ NaOCl มีความเข้มข้นมากกว่า 0.5 M ปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาจะเป็นอย่างไร

## เอกสารอ้างอิง

Hall, J. F. (1993). **Experimental chemistry** (3rd ed.). Lexington: D.C. Heath.

# ปฏิบัติการที่ 6

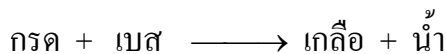
## การไทเทรตกรด-เบส

### วัตถุประสงค์

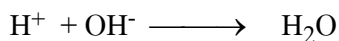
1. เพื่อให้นักศึกษาทราบหลักของการไทเทรต
2. เพื่อฝึกทักษะในการไทเทรต
3. เพื่อหาความเข้มข้นของกรดในน้ำส้มสายชู

### ความรู้เบื้องต้น

การไทเทรต เป็นเทคนิคการทำปริมาณวิเคราะห์ โดยการนำสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบความเข้มข้น (แต่ทราบปริมาตรที่แน่นอน) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เราเรียกสารตัวอย่างว่า ไทแทรนด์ (titrand) ทำปฏิกิริยากับ สารละลายมาตรฐาน ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ที่บรรจุในบิวเรตต์ เรียกสารละลายนี้ว่า ไทแทรนต์ (titrant) โดยมีอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการบอกจุดยุติ (end point) จากการที่ทราบปริมาตรที่แน่นอนของสารตัวอย่างกับ ความเข้มข้นที่แน่นอนที่ใช้ในการไทเทรตและปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตก็สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างได้ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรด-เบส แล้วได้เกลือ กับ น้ำ ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาทำให้เป็นกลาง (neutralization reaction) ดังสมการ



ในการคำนวณหาความเข้มข้นจากการไทเทรตนั้น พิจารณาว่า กรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกันถึงจุดยุติซึ่งยอมรับว่าเป็นจุดที่สารทำปฏิกิริยาพอดีกัน เมื่อเขียนปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลางจะเขียนแทนได้ว่า



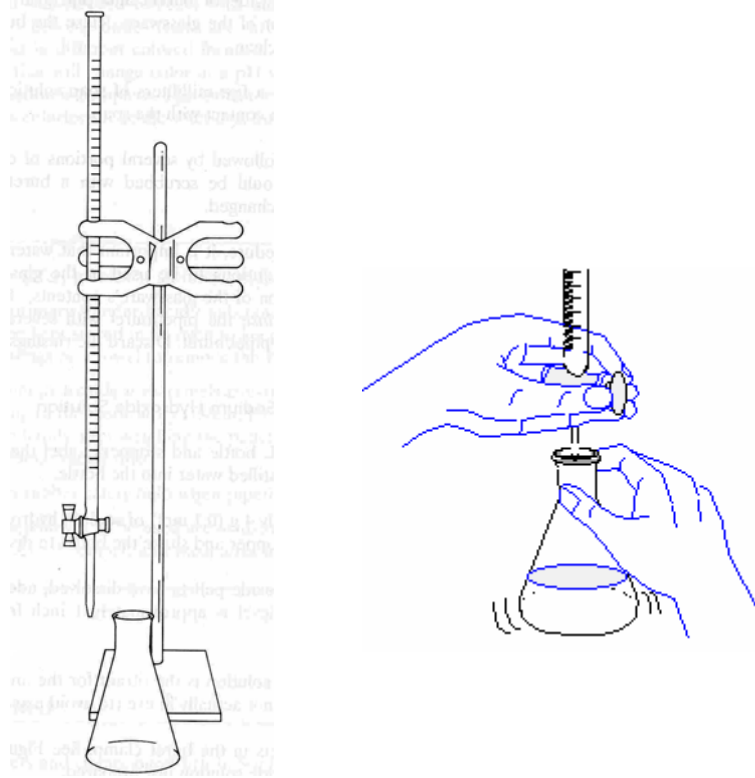
จะเห็นว่าในการจะเกิดเป็นน้ำ 1 โมล ก็จะต้องมี และ อย่างละ 1 โมล อาจพิจารณาได้ว่าปฏิกิริยาที่ทำให้เป็นกลาง (neutralization reaction) จำนวนโมลของ  $\text{H}^+$  และจำนวนโมลของ  $\text{OH}^-$  จะต้องเท่ากัน ดังนั้น

$$\text{จำนวนโมลของกรด} = \text{จำนวนโมลของเบส}$$

$$\text{ความเข้มข้นของกรด} \times \text{ปริมาตรของกรด} = \text{ความเข้มข้นของเบส} \times \text{ปริมาตรของเบส}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

เมื่อ  $M_1$  และ  $M_2$  เป็นความเข้มข้นของกรด และเบส  $V_1$  และ  $V_2$  เป็นปริมาตรของกรด และเบส ตามลำดับ



ภาพที่ ผ-6.1 แสดงขั้นตอนต่างๆ ในการไทเทรต  
ที่มา (Hall, 1993, pp. 376-377)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บิวเรตต์ ขนาด 50 cm<sup>3</sup>
2. ปิเปตต์ ขนาด 10 cm<sup>3</sup>
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 cm<sup>3</sup>
4. ขวดน้ำกลั่น
5. ขาตั้งพร้อมที่ยึดบิวเรตต์
6. หลอดหยด

### สารเคมี

1. สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 M
2. สารละลายกรดตัวอย่าง เช่น น้ำส้มสายชู
3. ฟีนอล์ฟทาลีน

### คำถามก่อนการทดลอง

1. ตัวเลขที่อ่านได้จากบิวเรตต์ ขนาด 50 cm<sup>3</sup> จะได้ทศนิยมกี่ตำแหน่ง
2. ทำไมในการไทเทรต จึงต้องใช้อินดิเคเตอร์
3. สารละลายตัวอย่างที่เป็นไทแทนต์ ที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ สามารถจะสลับที่กับสารละลายมาตรฐานที่เป็นไทแทนท์ ที่บรรจุในบิวเรตต์ ได้หรือไม่ เพราะอะไร

### วิธีทำการทดลอง

1. บรรจุสารละลาย NaOH ลงในบิวเรตต์ที่แห้งและสะอาด แล้วยึดด้วยขาตั้งและที่จับบิวเรตต์ ต่อจากนั้นทำการไล่อากาศที่ปลายบิวเรตต์และปรับปริมาตรเริ่มต้น
2. ใช้ปิเปตต์ขนาด 10 cm<sup>3</sup> ดูดสารละลายกรดตัวอย่าง ลงในขวดรูปชมพู่ หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด
3. ทำการไทเทรตสารละลาย โดยใช้มือด้านซ้ายจับคร่อมบิวเรตต์ส่วนล่างเพื่อเปิด-ปิดก๊อก มือขวาจัดที่ส่วนคอของขวดรูปชมพู่ แกว่งกันขวดเป็นวงกลม
4. ค่อยๆ ปล่อยสารละลาย NaOH จากบิวเรตต์ลงมาในขวดรูปชมพู่จนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ หยดสุดท้ายของสารละลาย NaOH ที่ทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนที่สุด และไม่จางหายไปภายในเวลา 30 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ไป
5. ทำการทดลองซ้ำอีก 2-3 ครั้ง
6. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายกรดตัวอย่าง

### คำถามหลังการทดลอง

1. ก่อนทำการไทเทรต หลังจากหยดฟีนอล์ฟทาลีนแล้ว สารละลายกรดตัวอย่างมีสีอะไร
2. จุดยุติ มีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายกรดอย่างไร
3. ขณะเข้าใกล้จุดยุติ ควรจะปล่อยสารละลาย NaOH ลงอย่างช้าๆ หรือเร็ว
4. หากหลังการไทเทรตได้สารละลายกรดตัวอย่างมีสีชมพูเข้ม แสดงว่าอย่างไร

### เอกสารอ้างอิง

Hagen, J. W. (1972). **Empirical Chemistry: A quantitative Laboratory Program** (2nd ed.).

San Francisco: Feeman.

Hall, J. H. (1993). **Experimental Chemistry**. Lexington : D.C. Heath.

## ปฏิบัติการที่ 7

### การหาค่าคงตัวของแก๊ส

#### วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าคงตัวของแก๊ส (R) โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการสถานะของแก๊สอุดมคติและเปรียบเทียบกับค่า R ที่ยอมรับโดยทั่วไป

#### ความรู้เบื้องต้น

จากกฎของบอยล์ ชาร์ล และ เกย์-ลูสแซก ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส ไว้ตามลำดับดังนี้

$$V \propto \frac{1}{P} \quad (\text{เมื่อ } T \text{ และ } n \text{ คงตัว})$$

$$V \propto T \quad (\text{เมื่อ } P \text{ และ } n \text{ คงตัว})$$

$$P \propto T \quad (\text{เมื่อ } V \text{ และ } n \text{ คงตัว})$$

ซึ่งเมื่อรวมความสัมพันธ์ของกฎทั้งสาม เข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$V \propto \frac{T}{P} \quad (\text{เมื่อ } n \text{ คงตัว})$$

เมื่อ k เป็นค่าคงตัว จะได้ว่า

$$\frac{PV}{T} = k \quad (\text{เมื่อ } n \text{ คงตัว})$$

ดังนั้น ก่อนการเปลี่ยนแปลง ถ้าแก๊สใด ๆ มีความดัน ( $P_1$ ) ปริมาตร ( $V_1$ ) และอุณหภูมิ ( $T_1$ ) แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลง มีความดัน ( $P_2$ ) ปริมาตร ( $V_2$ ) และอุณหภูมิ ( $T_2$ ) โดยกฎการรวมแก๊ส (combined gas law) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงตัว ในกรณีที่แก๊สที่มีจำนวนโมลใด ๆ ( $n$ ) ตามที่กำหนดให้ จึงเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ว่า

$$\frac{P V}{T} = nR$$

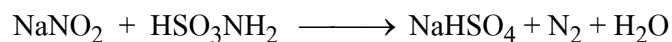
หรือ  $P V = nRT$

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนโมลของแก๊ส และ  $R$  เป็นค่าคงตัวของแก๊สใด ๆ ซึ่งแก๊สใด ๆ ที่มีจำนวน 1 โมล อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  และที่ความดัน 1 บรรยากาศ จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ทำให้สามารถคำนวณหาค่า  $R$  ได้ดังนี้

$$R = \frac{(1 \text{ atm})(22.4 \text{ L})}{(273 \text{ K})(1 \text{ mol})} = 0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

แก๊สอุดมคติ จะเป็นแก๊ส ซึ่งจะมีสมบัติเป็นไปตามกฎของแก๊สทุกประการ ทุกอุณหภูมิและความดัน ส่วนแก๊สจริงจะไม่สอดคล้องกับกฎของแก๊ส และจะเบี่ยงเบนอย่างชัดเจนที่ความดันสูง ๆ และที่อุณหภูมิต่ำ ๆ

เช่น แก๊สไนโตรเจน ได้จากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนไตรต์ ( $\text{NaNO}_2$ ) กับกรดซัลฟามิก ( $\text{HSO}_3\text{NH}_2$ ) ดังสมการ

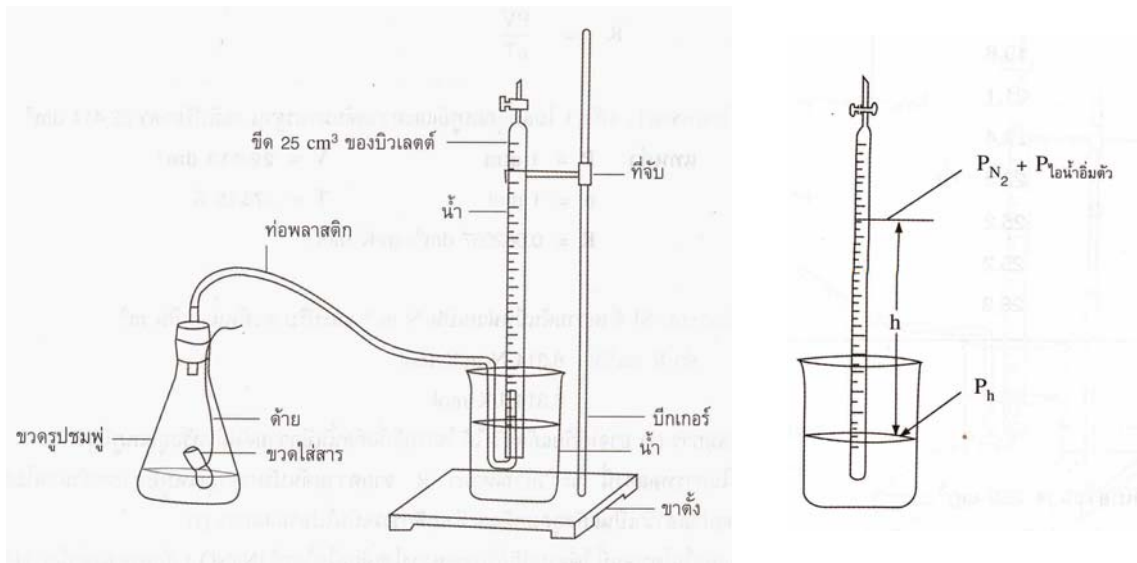


จะเห็นว่า กรดซัลฟามิก 1 โมล ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไนไตรต์ 1 โมล แล้วให้แก๊สไนโตรเจน 1 โมล แต่ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนโมลเท่ากัน ดังนั้นเมื่อสารที่มีจำนวนน้อยหมดไป ปฏิกิริยาก็จะสิ้นสุด เรียกสารนี้ว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting agent) สำหรับปฏิกิริยานี้กรดซัลฟามิกเป็นสารกำหนดปริมาณ ไนโตรเจนจากปฏิกิริยาสามารถเก็บไว้ได้โดยการแทนที่น้ำในบิวเรตต์ และวัดปริมาตรได้ดังภาพที่ ผ-7.1

ในการคำนวณหาความดันของแก๊สไนโตรเจน เนื่องจากความดันที่ผิวหน้าเท่ากับ ความดันบรรยากาศ ดังนั้น ความดันบรรยากาศ เท่ากับ ความดันของแก๊สไนโตรเจน + ความดันไอน้ำอิ่มตัว + ความดันเนื่องจากความสูง  $h$  เซนติเมตร

$$P_{\text{บรรยากาศ}} = P_{\text{ไนโตรเจน}} + P_{\text{ไอน้ำอิ่มตัว}} + P_{\text{ความสูง } h}$$

และเนื่องจากความดันเนื่องจากปรอทสูง 1 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ ความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำสูง 13.6 เซนติเมตร ดังนั้น ความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำความสูง  $h$  เท่ากับ  $h/13.6 \times 10 \text{ mmHg}$



ภาพที่ ผ-7.1 การจัดเครื่องมือเพื่อหาค่าคงตัวของแก๊ส

ตารางที่ ผ-7.1 ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	P ไอน้ำอิ่มตัว (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	P ไอน้ำอิ่มตัว (mmHg)
10	9.2	29	30.0
12	10.5	30	31.6
14	12.0	31	33.7
16	13.6	32	35.7
18	15.5	33	37.7
19	16.5	34	39.9
20	17.5	35	42.2
21	18.7	36	44.5
22	19.8	37	47.0
23	21.1	38	49.7
24	22.4	39	52.4
25	23.8	40	55.3
26	25.2	45	71.8
27	25.2	50	92.5
28	28.3	60	149.4

ที่มา (Dean, 1999, p. 5.28)



## เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 250 cm<sup>3</sup>
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 cm<sup>3</sup>
3. บิวเรตต์ ขนาด 25 cm<sup>3</sup>
4. ปิเปตต์ ขนาด 5 cm<sup>3</sup>
5. จุกยาง
6. ท่อนำแก๊ส
7. ขวดใส่สารขนาดเล็ก
8. ขาค้างพร้อมที่จับ
9. กระบอกตวง
10. เส้นด้าย
11. บอโรมิเตอร์
12. ลูกยาง

## สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟามิก เข้มข้น 0.3 M
2. โซเดียมไนไตรต์

## คำถามก่อนการทดลอง

1. จะมีวิธีการวัดปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาได้อย่างไร
2. จะมีวิธีการวัดอุณหภูมิของแก๊สได้อย่างไร

## วิธีทำการทดลอง

1. ล้างเครื่องมือให้สะอาด แล้วจัดเครื่องมือดังภาพที่ ผ-7.1
2. ละลายโซเดียมไนไตรต์ (ประมาณ 0.5 กรัม) ในน้ำ 20 cm<sup>3</sup>
3. ใช้ปิเปตต์ ดูดสารละลายกรดซัลฟามิก เข้มข้น 0.3 M ปริมาตร 2.5 cm<sup>3</sup> ลงในขวดใส่สารขนาดเล็ก ที่ผูกเส้นด้ายไว้ดังภาพที่ ผ-7.1
4. ค่อยๆ หย่อนขวดสารในข้อ 3 ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุโซเดียมไนไตรต์ในข้อ 2 ระวังอย่าให้สารทั้งสองผสมกัน
5. ปิดจุกยาง โดยให้ปลายเชือกเหลือออกมานอกขวดรูปชมพู่
6. ปรับระดับน้ำในบิวเรตต์ให้อยู่ที่ระดับ 25 cm<sup>3</sup> ระวังอย่าให้อากาศรั่ว
7. ค่อยๆ เอียงขวดรูปชมพู่ จนให้สารทั้งสองผสมกัน เก็บแก๊สที่ได้โดยการแทนที่น้ำ เขย่าขวดเล็กน้อยและรอจนให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ ประมาณ 5 นาที
8. อ่านระดับน้ำที่บิวเรตต์ อ่านปริมาตรของน้ำที่ลดลง ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่เกิดขึ้น
9. วัดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ซึ่งถือเป็นอุณหภูมิของแก๊สไนโตรเจน วัดความดันอากาศในห้องปฏิบัติการ

## 10. คำนวณหาค่าคงตัวของแก๊ส

### คำถามหลังการทดลอง

1. ท่านคิดว่าปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะมีผลต่อปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่เกิดขึ้นหรือไม่ และจะมีผลต่อค่าคงตัวของแก๊สหรือไม่
2. ถ้าอุณหภูมิขณะทำการทดลองเปลี่ยนไป ท่านคิดว่าจะมีผลต่อค่าคงตัวของแก๊สหรือไม่

### เอกสารอ้างอิง

Dean, J. A.(1999). **Lange's Handbook of Chemistry** (5th ed.). USA: McGraw-Hill.

Nelson, J. H. & Kemp, C K. (2000). **Laboratory Experimental Chemistry The Central Science** (8th ed.). London: Prentice Hall.

## ปฏิบัติการที่ 8

### การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำ

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะในการไทเทรต
2. เพื่อศึกษาหลักการและทำการหาปริมาณออกซิเจนในน้ำตัวอย่าง

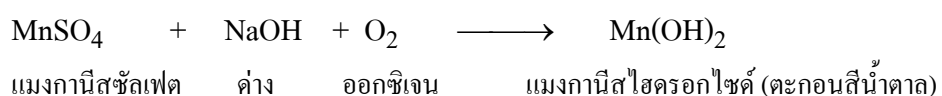
#### ความรู้เบื้องต้น

การหาค่าออกซิเจนละลาย คือ การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบประเภทใช้ออกซิเจนอิสระ (aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (anaerobic) ปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ และ สิ่งเจือปนในน้ำ

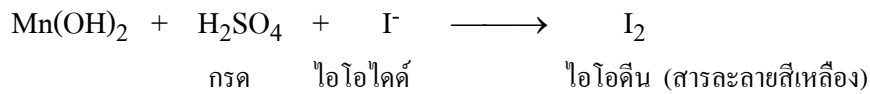
การหาค่าออกซิเจนละลายสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ดีโอมิเตอร์ (DO meter) หรือ ออกซิเจนมิเตอร์ (oxygen meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (หน่วย mg/L) ได้โดยตรง หรือจะใช้วิธีทางเคมี เช่น วิธีไอโอดิไดด์ของไอโอไดด์เมตริก (azide modification of iodometric method) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำที่สกปรก เช่น น้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น

วิธีไอโอดิไดด์ของไอโอไดด์เมตริกอาศัยปฏิกิริยาเคมีจากการเติมสารเคมีประเภทแมงกานีสซัลเฟต และอัลคาไลด์ไอโอไดด์ไอโอดิไดด์ จับแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำรวมตัวเป็นตะกอน แมงกานีสไฮดรอกไซด์ในสถานะต่างเมื่อเติมกรดซัลฟูริก ตะกอนแมงกานีสไฮดรอกไซด์จะละลาย และเกิดสารละลายสีเหลืองของไอโอดิน ไทเทรตหาปริมาณไอโอดินที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ดังแสดงในสมการเคมีต่อไปนี้

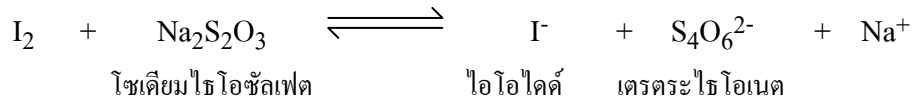
#### 1. ขั้นตอนการคงสภาพของออกซิเจน



## 2. ขั้นตอน ละลายตะกอน



## 3. ขั้นตอน การไทเทรต



สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.025 N ทำหน้าที่เป็นไทเทรนต์ ทำปฏิกิริยาเคมี เปลี่ยน ไอโอดีน เป็น ไอโอดีน ไอโอดีน สารละลายสีเหลืองจางลง เติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ร่วมกับไอโอดีน ให้สารละลายสีน้ำเงิน เมื่อถึงจุดยุติ สีน้ำเงินจะเปลี่ยนเป็นสารละลายใสไม่มีสี อ่านปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้หน่วย mL และสามารถหาค่าปริมาณออกซิเจนละลาย จากสูตร

$$\text{ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/L)} = \text{ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (mL)}$$

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี ขนาด 300 mL
2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 200 mL
3. บิวเรตต์ (burette)
4. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 mL

### สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (manganese Sulfate Solution) 2 M
2. สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอดีน เอไซด์ (alkali-iodide-azide solution)  
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 g และโซเดียมไอโอดีน (NaI) 135 g ในน้ำกลั่นแล้วทำให้เจือจางเป็น 1 L และเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN<sub>3</sub>) 10 g
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
4. น้ำแป้ง (starch solution)
5. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O) 0.025 N
6. สารละลายมาตรฐานโปแทสเซียมไอโอเดต [KH(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] 0.025 N
7. สารละลายโปแทสเซียมฟลูออไรด์ (potassium fluoride solution, KF · 2H<sub>2</sub>O)

เข้มข้นร้อยละ 40

## คำถามก่อนการทดลอง

1. ปริมาณออกซิเจนในน้ำ สามารถบอกคุณภาพของน้ำได้อย่างไร
2. มีวิธีการใดบ้างในการหาปริมาณออกซิเจนในน้ำ
3. วิธเไอซ์ต์โมดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก มีหลักการอย่างไร

## วิธีทำการทดลอง

การหาค่าออกซิเจนละลายจากน้ำตัวอย่าง ซึ่งเก็บไว้ในขวดบีโอดีขนาด 300 cm<sup>3</sup> ทำได้ดังต่อไปนี้

1. เติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 mL และอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซค์ 1 mL ลงในขวดบีโอดีที่ใส่น้ำตัวอย่าง โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำตัวอย่างเล็กน้อย ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ผสมให้เข้ากัน โดยคว่ำขวดขึ้นลง 15 ครั้ง

2. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส ½ ของขวด

3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 mL ปิดจุกขวดก่อนตะกอน (oxidize flocc) จะล้นออกจากปากขวดเขย่ากลับไปกลับมาประมาณ 15 ครั้ง

4. ถ้าใช้ขวดบีโอดีที่มีความจุ 300 mL ตวงตัวอย่างจากขวดในข้อ 3 ปริมาตร 201 mL เพื่อนำไปไทเทรต (ปริมาตรนี้มีค่าเท่ากับปริมาตรน้ำตัวอย่างเริ่มต้น 200 mL) เนื่องจากมีการสูญเสียตัวอย่างจากขวดบีโอดีโดยการแทนที่ของสารละลายเคมีที่เติมลงไปทั้งสิ้น 2 mL ดังนั้นปริมาตรตัวอย่างซึ่งใช้ในการไทเทรตจึงควรเท่ากับ  $\frac{200 \times 300}{300 - 2} = 201 \text{ mL}$

5. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง 1 mL จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อไป จนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป อ่านปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้สำหรับการไทเทรตตัวอย่าง 201 mL

6. คำนวณหาปริมาณออกซิเจนในน้ำตัวอย่าง โดยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 1 mL มีค่าเท่ากับ ออกซิเจนละลาย 1 mg/L (หรือ ppm)

## คำถามหลังการทดลอง

1. หลังจากเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 mL และอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซค์ จะได้ตะกอนสีอะไร
2. ขณะเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ทำไมต้องระวังไม่ให้ตะกอนพุ่งขึ้นมาที่ปากขวด
3. จุดยุติในการไทเทรตสังเกตจากอะไร

4. น้ำแข็งทำหน้ำที่อะไร
5. สารละลายไอโอดีนทำหน้ำที่อะไร

### เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห (2544). **เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**(พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ประยูรวงศ์.

Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. & Eaton, A. D. (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**(20th ed.). Maryland: American Publish Health.