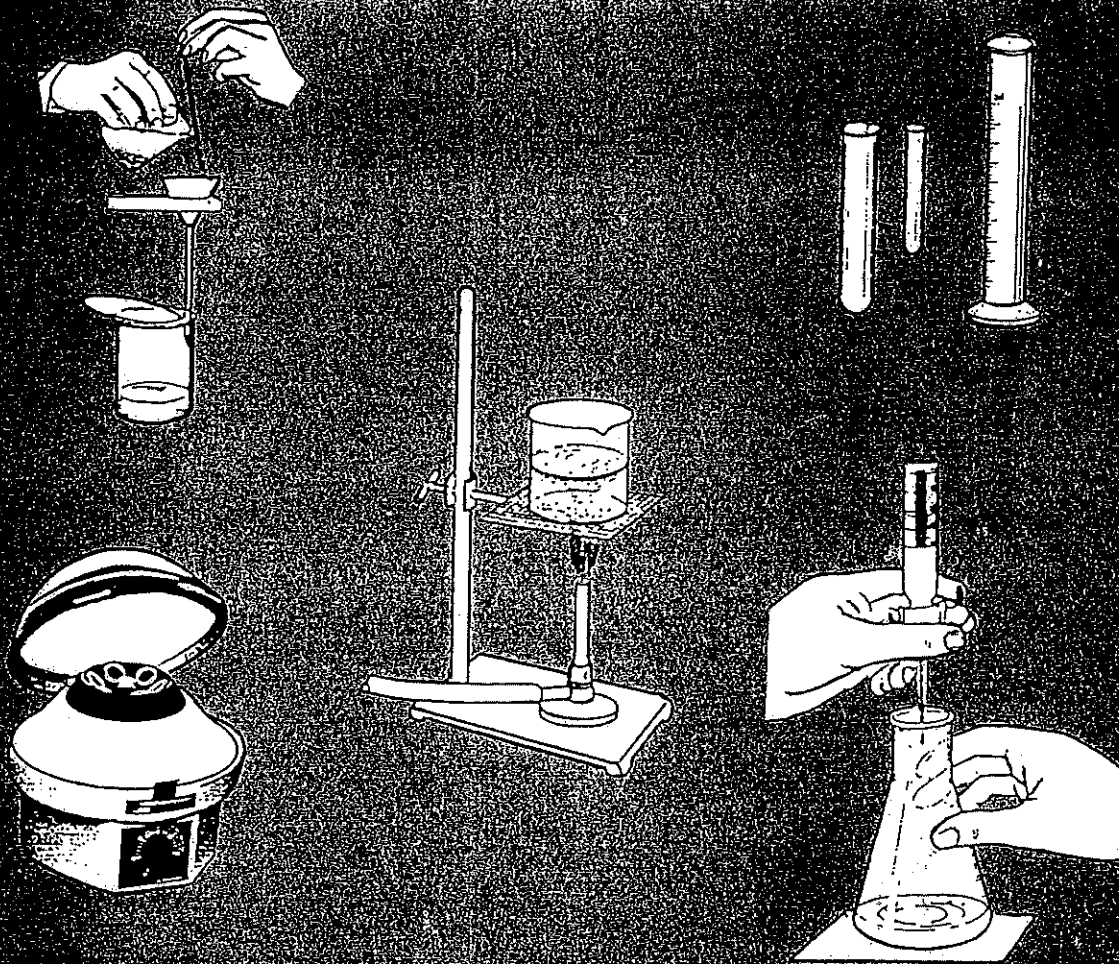


# ปฏิบัติการเคมีทั่วไป I



ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พิมพ์ครั้งที่ 6



# ปฏิบัติการเคมีทั่วไป I

พิมพ์ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2539

|           |                  |
|-----------|------------------|
| กิตติมา   | ฉัตรรวงศ์วาน     |
| จุนเจือ   | โล่ห์สุวรรณ      |
| พัทธาภรณ์ | สายวัฒนาสุข      |
| เขอริ     | มหาทุมะรัตน์     |
| รานี      | สุวรรณพฤกษ์      |
| ลักขณา    | จรรยาชัยเลิศ     |
| สายใจ     | ชาญเศรษฐิกุล     |
| สุดจิต    | สงวนเรือง        |
| สุธาทิพย์ | ศิริไพศาลพิพัฒน์ |
| อภิสิทธิ์ | ศงสะเสน          |
| อัจฉนา    | วงศ์ชัยสุวรรณ    |

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## ปฏิบัติการเคมีทั่วไป I

คณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2527

พิมพ์ครั้งที่ 2 พฤศจิกายน 2529

พิมพ์ครั้งที่ 3 มิถุนายน 2532

พิมพ์ครั้งที่ 4 มิถุนายน 2535

พิมพ์ครั้งที่ 5 ตุลาคม 2536

พิมพ์ครั้งที่ 6 ตุลาคม 2539

ISBN 974-553-296-7

ลิขสิทธิ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คู่ ปณ. 1011 เกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10903 โทรศัพท์ 5790658 โทรสาร 5793955

พิมพ์ที่ โอ. เอส. พรินติ้ง เฮาส์

113/13 ซอยวัดสุวรรณคีรี (วัดจี้เหล็ก)

ถนนปิ่นเกล้า-นครชัยศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700

โทร. 424-6944, 424-7292

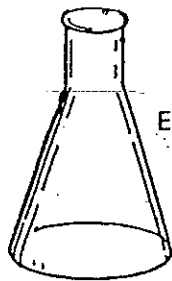
นายประสิทธิ์ สันติวัฒนา ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา 2539

## สารบัญ

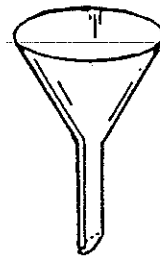
|                                                                          | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------|------|
| อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง                                                  | 1    |
| ข้อแนะนำทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับความปลอดภัยและวิธีปฏิบัติใน<br>ห้องปฏิบัติการ  | 3    |
| บทที่ 1 การใช้อุปกรณ์บางชนิดและเทคนิคการปฏิบัติ                          | 6    |
| บทที่ 2 ปฏิกริยาเคมีและความสัมพันธ์ทางน้ำหนัก                            | 24   |
| บทที่ 3 ปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน                                      | 32   |
| บทที่ 4 แบบจำลองโมเลกุล                                                  | 41   |
| บทที่ 5 การไทเทรต                                                        | 53   |
| บทที่ 6 การไทเทรตระหว่างกรดกับเบส                                        | 62   |
| บทที่ 7 เทอร์โมเคมี                                                      | 69   |
| บทที่ 8 pH และสารละลายบัฟเฟอร์                                           | 82   |
| บทที่ 9 การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยการสูงขึ้นของจุดเดือด<br>ของสารละลาย       | 92   |
| บทที่ 10 กฎของแก๊ส                                                       | 98   |
| บทที่ 11 สมดุลเคมี                                                       | 106  |
| บทที่ 12 สารประกอบไอออนิกและโคเวเลนต์                                    | 114  |
| บทที่ 13 ผลของความเข้มข้นและอุณหภูมิต่ออัตราการ<br>เกิดปฏิกิริยา         | 127  |
| บทที่ 14 ผลของความเข้มข้นและตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ<br>อัตราการเกิดปฏิกิริยา | 141  |
| บทที่ 15 เคมีไฟฟ้า                                                       | 153  |
| บทที่ 16 คุณภาพวิเคราะห์                                                 | 168  |
| บทที่ 17 การวิเคราะห์แคดไอออน                                            | 175  |
| บทที่ 18 การวิเคราะห์แอมไอออน                                            | 184  |
| เอกสารอ้างอิง                                                            | 194  |



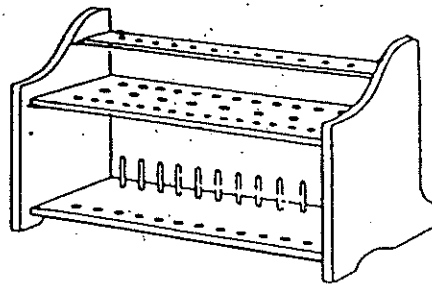
## อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



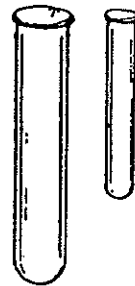
Erlenmeyer flask  
ขวดรูปกรวย



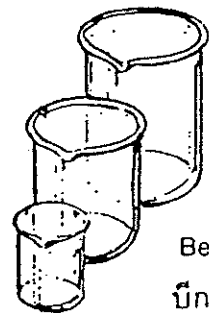
Glass funnel  
กรวยกรอง



Test tube rack  
ที่ตั้งหลอดทดลอง



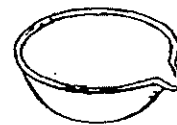
Test tube  
หลอดทดลอง



Beaker  
บีกเกอร์



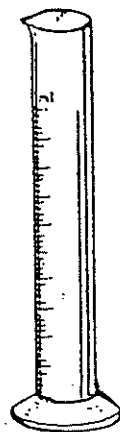
Test tube holder  
ที่จับหลอดทดลอง



Evaporating dish  
ชามระเหย



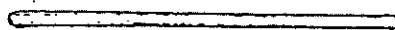
Test tube brush  
แปรง



Graduated  
cylinder  
กระบอกตวง



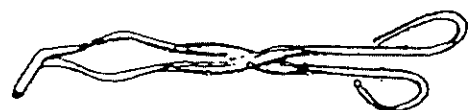
Crucible  
ถ้วยทนไฟ



Stirring rod  
แท่งแก้วคน



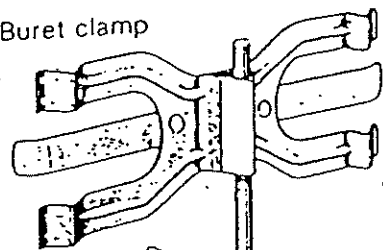
Medicine  
dropper  
หลอดหยด



Crucible tong  
คีมจับถ้วยทนไฟ

ที่ยึดบิวเรต

Buret clamp

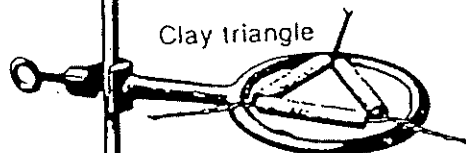


ที่ยึดอุปกรณ์

Utility clamp

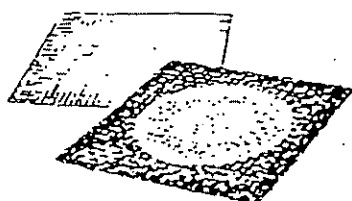


Clay triangle



Wire gauze

ตะแกรงลวด



Thermometer

เทอร์มอมิเตอร์



Pipet

ปิเปต



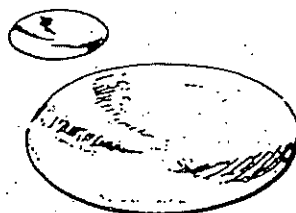
Buret

บิวเรต



Watch glasses

กระจกนาฬิกา



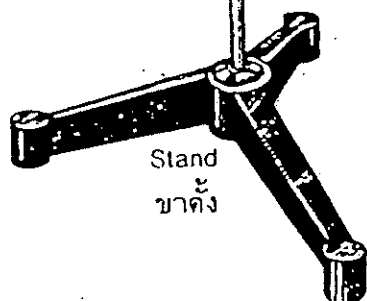
Cobalt glass

กระจกโคบอลต์



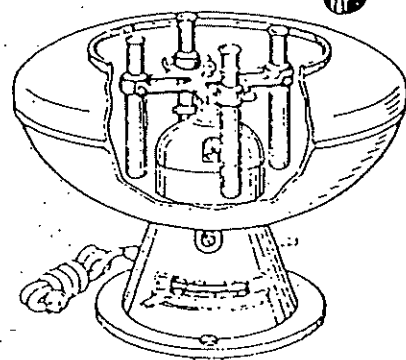
Stand

ขาตั้ง



Centrifuge

เครื่องเหวี่ยง



Wash Bottle

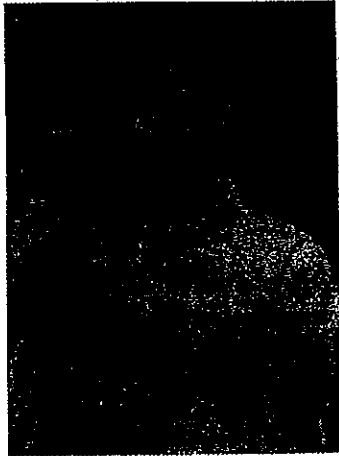
ขวดฉีดน้ำ





## ข้อแนะนำทั่ว ๆ ไป

### เกี่ยวกับความปลอดภัยและวิธีปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ



ในการทดลองทำปฏิบัติการทางเคมีนั้น จะต้องเกี่ยวข้องกับสารเคมีหลายชนิดซึ่งสารเคมีบางชนิดอาจทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายทั้งโดยตรง หรืออาจเกิดอุบัติเหตุในขณะที่ทำการทดลองก็ได้ การบาดเจ็บที่เกิดขึ้นเสมอในการทำการทดลอง เช่น บาดแผลที่เกิดจากเครื่องแก้วขาด การไหม้พองเนื่องจากจับอุปกรณ์ที่ร้อนจัด หรือผิวหนังถูกกรดเข้มข้นเป็นพิษ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบถึงการป้องกันหรือแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น นักศึกษาทุกคนควรปฏิบัติเมื่อจะทำการทดลอง ดังนี้ :-

1. ก่อนจะทำการทดลอง ควรถามตัวเองก่อนว่าจะเกิดอันตรายหรือไม่ในสิ่งที่จะทำ ถ้าสงสัยให้ถามอาจารย์ ผู้ควบคุมปฏิบัติการ
2. ต้องไม่ทำการทดลองใด ๆ นอกเหนือไปจากการทดลองที่กำหนดไว้ในบททดลองเท่านั้น
3. จัดอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดลองวางไว้บนโต๊ะปฏิบัติการให้ครบก่อนลงมือทำการทดลอง
4. ควรสวมแว่นตานิรภัยทุกครั้งที่ทำปฏิบัติการเพื่อช่วยป้องกันอุบัติเหตุจากสารเคมีกระเด็นเข้าตา
5. อย่าดื่มของเหลวในหลอดทดลองขนาดเล็กด้วยเปลวไฟโดยตรง เพราะจะทำให้ของเหลวในหลอดพุ่งออกไป อาจเป็นอันตรายแก่ตัวเองและผู้ที่อยู่ใกล้ ควรดื่มในบีกเกอร์ซึ่งมีน้ำเดือด
6. ออกไซด์ (oxide) ของกำมะถันและไนโตรเจน แก๊สแอสไฮเจน และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) เป็นแก๊สพิษ การทดลองใด ๆ ที่เกี่ยวกับแก๊สพิษต้องทำการทดลองในตู้ควัน
7. อย่าชิมสารต่าง ๆ ในห้องทดลอง เพราะสารเคมีส่วนมากเป็นพิษ และไม่ควรมานำอาหารเข้าไปรับประทานในห้องปฏิบัติการ
8. อย่าดมกลิ่นสารต่าง ๆ ด้วยการเอามาจ่อที่จมูก แต่ให้ถือหลอดทดลองที่มีสารเคมีนั้นไว้ ห่าง ๆ แล้วใช้มือโบกกลิ่นของสารนั้นให้เข้าจมูกเพียงเล็กน้อย
9. ถ้าผิวหนังถูกกับกรดหรือเบสเข้มข้นให้รีบล้างด้วยน้ำจำนวนมาก ๆ ทันที หลังจากนั้นล้างด้วยสารละลาย 1%  $NaHCO_3$  อีกครั้งหนึ่งถ้าสารเคมีกระเด็นเข้าตาต้องรีบล้างด้วยน้ำทันที และแจ้งให้อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการทราบ
10. การใส่หลอดแก้วหรือเทอร์มอมิเตอร์ลงในจุกยางเพื่อป้องกันไม่ให้หลอดแก้วขาดมือ ควรจะปฏิบัติดังนี้
  - ก. ลบคมแก้วที่ปลายหลอดแก้วทั้งสองด้านเสียก่อน
  - ข. ใช้ผ้าจับหลอดแก้ว
  - ค. ใช้กลีเซอรอลทาบริเวณรูของจุกยางเพื่อช่วยหล่อลื่น

11. ถ้าเสื้อผ้าที่สวมใส่เกิดติดไฟขึ้น ให้พยายามดับไฟโดยการนอนคลิ้งลงบนพื้น
12. ควรสวมเสื้อกันเปื้อนทุกครั้งที่เราทำปฏิบัติการ
13. ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ
14. รู้ตำแหน่งที่เก็บอุปกรณ์สำหรับใช้ในเวลาฉุกเฉิน เช่น เครื่องดับเพลิง

### การศึกษามททดลอง

ควรศึกษามททดลองล่วงหน้าก่อนจะเข้าทำปฏิบัติการ เพื่อจะได้เข้าใจทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการที่จะทำการทดลอง และสามารถวางแผนในการทำงานไว้เป็นขั้นตอน จะช่วยให้การทดลองเสร็จทันภายในเวลาที่กำหนด

### การจดบันทึกผลการทดลอง

ควรจดบันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอนอย่างละเอียดลงในสมุดสำหรับจดบันทึก เพื่อจะได้เอาไว้อ่านทำความเข้าใจ เมื่อจะเขียนรายงานส่งอาจารย์ควรจดให้เรียบร้อยเป็นระเบียบ มีชื่อบททดลอง วันที่ทำการทดลองและถ้าเป็นการวิเคราะห์สารตัวอย่างก็ต้องจดเบอร์ของสารตัวอย่างเอาไว้

### การใช้รีเอเจนต์

รีเอเจนต์ทั้งที่เป็นเกลือ กรด หรือเบส ไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือของเหลว แตกต่างกันตามความบริสุทธิ์ รีเอเจนต์ชนิดธรรมดาที่มีความบริสุทธิ์พอสมควร เป็นเคมีภัณฑ์ชนิด Technical grade หรือ Commercial grade รีเอเจนต์ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ได้แก่ Chemical pure หรือใช้อักษรย่อว่า CP ส่วนรีเอเจนต์ที่บริสุทธิ์ที่สุด ได้แก่ เคมีภัณฑ์ชนิด Analar ใช้อักษรย่อว่า AR. หรือ Guaranteed reagent ใช้อักษรย่อว่า GR.

1. การใช้รีเอเจนต์ ให้ใช้ตามจำนวนหรือปริมาณที่กำหนดไว้ในบททดลองเท่านั้น การใช้มากเกินไป ในบางครั้งอาจจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาด
2. อ่านฉลากที่ปิดข้างขวดรีเอเจนต์ให้แน่ใจก่อนจะใช้
3. เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนกัน (contamination) ของรีเอเจนต์แต่ละชนิด อย่างง่ายพาดัก (spatula) ที่ใช้ตักรีเอเจนต์ชนิดหนึ่งแล้ว ไปตักรีเอเจนต์ชนิดอื่นๆ ต่อไปโดยไม่ทำความสะอาดพาดักเสียก่อน หรือถ้าเป็นสารละลายก็อย่าใช้หลอดหยดอันเดียวกันดูดสารละลายออกจากหลาย ๆ ขวด โดยไม่ทำความสะอาดเสียก่อน ควรจะใช้หลอดหยดที่มีอยู่ประจำในแต่ละขวดของสารละลายอยู่แล้ว หรือถ้าต้องการใช้รีเอเจนต์จากขวดใหญ่ที่ไม่มีหลอดหยดใส่ไว้ ก็ต้องรินสารละลายออกจากขวดใส่บีกเกอร์ที่เตรียมไปต่างหาก แล้วจึงนำมาใช้ในการทดลอง ถ้าสารละลายที่นำมามากเกินไปความต้องการ ให้เทส่วนที่เหลือทิ้งลงในอ่างน้ำ อย่างนำไปเทกลับคืนขวดเดิมอีก
4. ถ้าเป็นการผสมกันระหว่างกรดกับน้ำ อย่าเทน้ำลงไปลงในกรดเข้มข้น แต่ค่อย ๆ รินกรดเข้มข้นลงไปในน้ำ โดยเฉพาะกรดซัลฟิวริกเข้มข้นรวมกับน้ำจะคายความร้อนออกมามาก
5. อย่างนำขวดรีเอเจนต์จากชั้นที่วางไปไว้ที่โต๊ะปฏิบัติการของตนเอง

## ความสะอาด

1. ถ้างอปรณ์ที่ใช้ทำการทดลองให้สะอาดทุกครั้งด้วยผงซักฟอก และล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นครั้งสุดท้าย อุปกรณ์ที่ทำด้วยแก้วถ้าสะอาดจะเป็ยกน้ำอย่างสม่ำเสมอ ถ้ามีไขมันติดอยู่ผิวแก้วจะเป็ยกน้ำไม่สม่ำเสมอและจะมีหยดน้ำเกาะอยู่ตรงบริเวณที่มีไขมัน โดยทั่วไปเมื่อใช้แล้วควรทำความสะอาดทันที ถ้าปล่อยทิ้งไว้จนสารละลายแห้งติดผิวแก้วจะล้างทำความสะอาดยาก

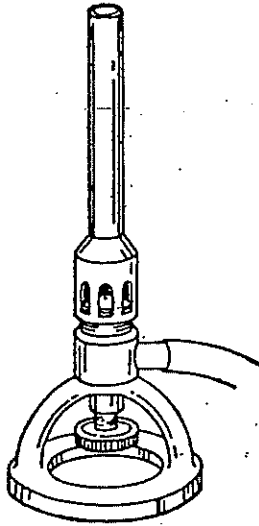
2. ของแข็งต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น ก้านไม้ขีดไฟ กระดาษกรองที่ไม่ใช้ กระดาษแก้วสำหรับปิดหลอดทดลอง เศษแก้ว เป็นต้น อย่าทิ้งลงในอ่างน้ำหรือรางน้ำกลางโต๊ะให้ไ้ไ้ลงในถังขยะ

3. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ให้ทำความสะอาดโต๊ะปฏิบัติการ

## สิ่งของเครื่องใช้ที่นิสิตต้องนำมาเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ

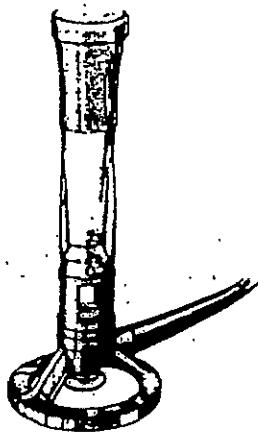
1. ผ้ากั้นเบื่อนสีขาว
2. สมุดบันทึกผลการทดลอง





### ตะเกียงเทอร์ริล (Tirril burner)

เป็นตะเกียงแบบหนึ่ง ที่ได้แก้ไขปรับปรุงมาจากตะเกียงเบนซิน คือสามารถปรับปริมาณของอากาศและแก๊สได้ที่ตัวตะเกียง ปริมาณของแก๊สปรับได้โดยหมุนปุ่มเกลียวที่ฐานของตะเกียง ขึ้นหรือลง ตะเกียงชนิดนี้ให้อุณหภูมิสามารถเผาเข้าทองคำขาว ที่ปิดฝาได้อุณหภูมิสูง  $1,050^{\circ}\text{C}$  -  $1,150^{\circ}\text{C}$  และเผาเข้าเคลือบ ที่ปิดฝาได้อุณหภูมิ  $600^{\circ}\text{C}$  -  $700^{\circ}\text{C}$



### ตะเกียงมีเกอร์ (Meker burner)

เป็นแบบที่แก้ไขปรับปรุงสร้างขึ้น โดยให้ทางเข้าของอากาศ กว้างพอที่ให้ปริมาณของอากาศผ่านเข้าในตะเกียงพอสมควร เพื่อ เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คอนโค่นตัวตะเกียงเล็ก แคบ และโคกว้างในคอนโกถตัวตะเกียง ซึ่งทำให้การผสมของอากาศ และแก๊สเหมาะสมดีขึ้น มีตะแกรงลวดนิกเกิลติดอยู่ที่หัวของ ตะเกียงเพื่อป้องกันเปลวไฟสะท้อนกลับ แก๊สติดไฟในเปลวเล็ก ๆ หลายอัน ซึ่งยอดของ reducing cone แต่ละเปลวไฟจะสูงจาก หัวตะเกียงประมาณ 1 มิลลิเมตร เปลวไฟเล็ก ๆ จำนวนมาก นี้รวมกันเป็นเปลวไฟใหญ่ อุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟจะอยู่สูงกว่าหัวตะเกียงประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ตะเกียงมีเกอร์เหมือนกับตะเกียงเทอร์ริลตรงที่สามารถปรับปริมาณของอากาศและแก๊ส ได้ที่ตัวตะเกียง อุณหภูมิของเข้าทองคำขาวที่ปิดฝาเข้าด้วย ตะเกียงมีเกอร์สูงถึง  $1,000^{\circ}\text{C}$  -  $1,200^{\circ}\text{C}$  ส่วนเข้าเคลือบ ปิดฝาสูง  $800^{\circ}\text{C}$  -  $900^{\circ}\text{C}$

## บทที่ 1

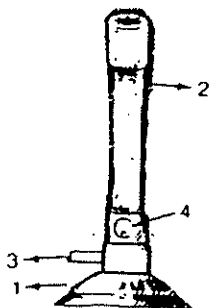
### การใช้อุปกรณ์บางชนิดและเทคนิคการปฏิบัติ

วิธีการใช้อุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ให้ถูกวิธี ในการทำปฏิบัติการทางเคมีนั้นสำคัญมาก เพื่อที่จะป้องกันอันตรายและอุบัติเหตุซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้กับผู้ทำการทดลองหรือผู้ที่อยู่ใกล้เคียง นอกจากนี้เทคนิคในการปฏิบัติต่าง ๆ ก็ควรจะถูกต้อง ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด อุปกรณ์ที่จะต้องรู้จักใช้เป็นอย่างดี

#### 1.1 ตะเกียงบุนเซน (Bunsen burner)

ส่วนประกอบของตะเกียง

1. ฐานของตะเกียง
2. ท่อตัวตะเกียง
3. ช่องทางเข้าของแก๊สซึ่งเป็นท่อที่ยื่นจากฐานของตะเกียง
4. ช่องปรับปริมาณของอากาศที่โคนท่อตัวตะเกียง



ตะเกียงบุนเซนแบบธรรมดา ใช้กันทั่วไปเมื่อต้องการอุณหภูมิสูงพอประมาณ แต่การใช้ไม่สะดวกตรงที่ไม่มีการปรับปริมาณของแก๊สที่จะเข้าไปในตัวตะเกียง มีแต่ที่ปรับปริมาณของอากาศอย่างเดียว การปรับปริมาณของแก๊สให้เข้าในตัวตะเกียงมากหรือน้อยต้องปรับที่ก๊อกแก๊ส

### เปลวไฟสีเหลืองไปเหมาะที่จะใช้ในการทดลองเพราะ

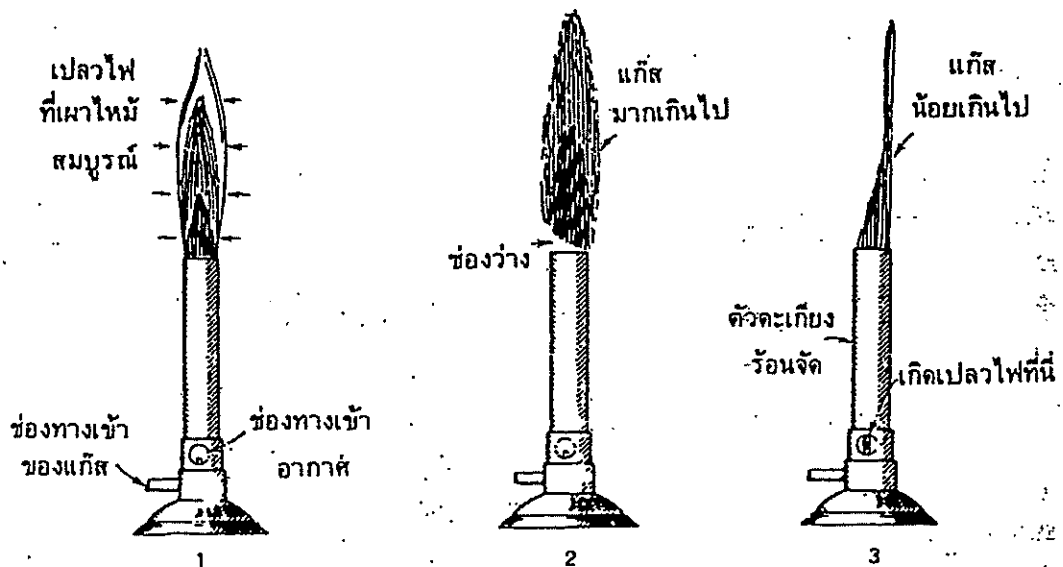
1. อุณหภูมิของเปลวไฟไม่สูงพอ
2. เปลวไฟสีเหลืองมีอนุภาคของคาร์บอนซึ่งยังถูกออกไซด์ไม่หมด ดังนั้นเมื่อใช้เปลวไฟชนิดนี้กับอุปกรณ์ชนิดใดก็ตามจะมีเขม่าจับอุปกรณ์นั้น ๆ ทำให้สกปรก
3. จะทำให้ตะแกรงลวด (wire gauze) หุเหวี่ยงกว่าปกติ ทั้งนี้เพราะอนุภาคของคาร์บอนในเปลวไฟ จะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นเหล็กคาร์ไบด์

ในบางครั้งเมื่อจุดตะเกียงบุ๋นขึ้น ถ้าปล่อยให้แก๊สเชื้อเพลิงเข้าตะเกียงมากเกินไป เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะเดินและจะดับ แต่ถ้าหากให้แก๊สเชื้อเพลิงเข้าตะเกียงน้อยเกินไป แทนที่เปลวไฟจะเกิดที่หัวตะเกียงกลับไปเกิดที่ช่องทางที่แก๊สจะเข้ามาในตัวตะเกียง ซึ่งอยู่ที่ฐานภายในของตะเกียง การที่เปลวไฟเกิดที่ฐานภายในตะเกียงนี้เรียกว่าเปลวไฟสะท้อนกลับ (struck back)

เมื่อเกิดเปลวไฟสะท้อนกลับ จะต้องปิดก๊อกแก๊สให้เปลวไฟดับทันที ถ้าหากปล่อยให้เกิดเปลวไฟสะท้อนกลับอยู่นานจะก่อให้เกิดความเสียหายดังนี้

1. ตัวตะเกียงจะร้อนจัด โลหะตรงช่องทางเข้าของแก๊สภายในตัวตะเกียงจะหลอมเหลว และเชื่อมปิดทางเข้าไปในตัวตะเกียงของแก๊สเชื้อเพลิง
2. สายยางที่เชื่อมโยงตะเกียงกับก๊อกแก๊สจะละลาย
3. เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษ

### สรุปการเกิดเปลวไฟ



รูป 1 เปลวไฟตะเกียงบุ๋นขึ้นที่เกิดจากอัตราส่วนของแก๊สและอากาศที่เหมาะสม

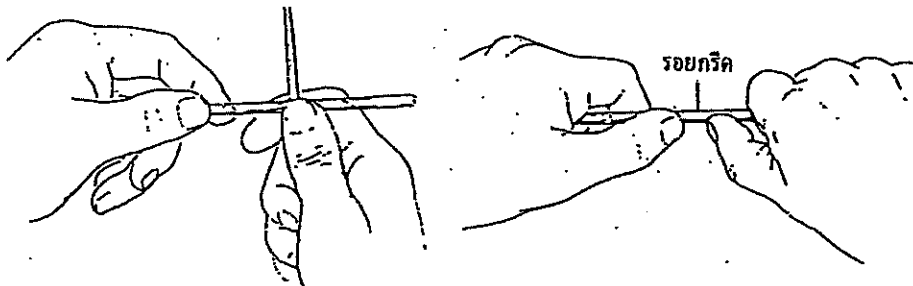
รูป 2 เปลวไฟที่เกิดจากแก๊สมากเกินไป

รูป 3 เปลวไฟที่เกิดจากแก๊สน้อยเกินไป

1. ถ้าจัดอัตราส่วนของแก๊สและอากาศได้เหมาะสม จะได้เปลวไฟเกือบไม่มีสี เปลวไฟมีอุณหภูมิสูง (รูปที่ 1)
2. ถ้าปริมาณของแก๊สมากกว่าปริมาณของอากาศ เปลวไฟจะเดินและมีช่องว่างระหว่างเปลวไฟกับหัวตะเกียง (รูปที่ 2)
3. ถ้าปริมาณของแก๊สน้อยและอากาศมาก เปลวไฟจะสะท้อนกลับ (รูปที่ 3)

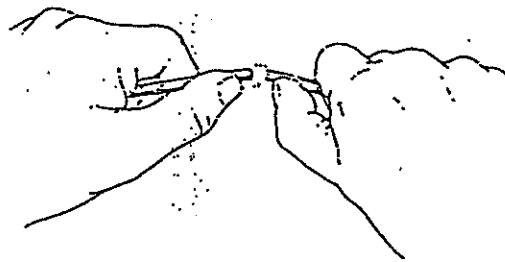
## 1.2 การตัดแก้ว

วิธีการตัดแต่งแก้วหรือหลอดแก้ว ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้



1. กริดให้เป็นรอยโดยรอบด้วยตะไบสามเหลี่ยม

2. วางนิ้วหัวแม่มือทั้งสองเหนือรอยกริด



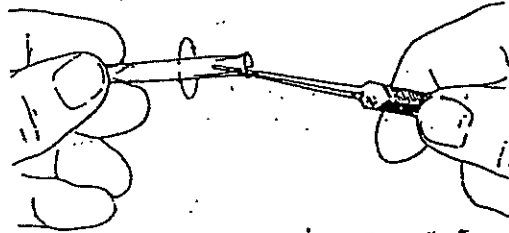
3. ดึงและดันไปข้างหน้าให้หักอย่างรวดเร็ว

รูปแสดงการตัดแก้ว



### 1.3 การลบคมแก้ว

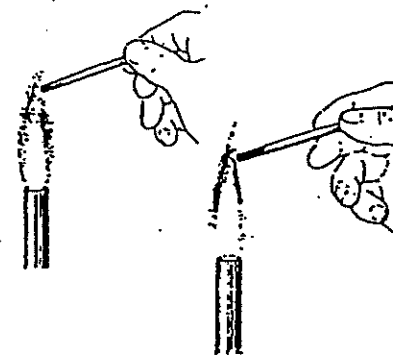
หลอดแก้วหรือแท่งแก้วที่ตัดใหม่นั้นคม ก่อนนำไปใช้ควรลบคมที่ปลายทั้งสองข้างเสียก่อน เพื่อป้องกันการบาดมือและส่วนที่คมนั้นอาจจะขูดข้างๆปิกเกอร์ เมื่อใช้คนสารละลายทำให้ปิกเกอร์เป็นรอยได้ การลบคมแก้วอาจจะทำได้หลายวิธี ดังรูป



การลบคมแก้ว ทำโดยเผาปลายด้านที่คม แล้วสอดก้านโลหะเข้าไป หมุนหลอดแก้วโดยรอบ



ลบปลายแหลมด้วยตะแกรงลาวด



เผาปลายหลอดแก้วโดยหมุนไปมาจนกระทั่งรอยคมนั้นหมดไป

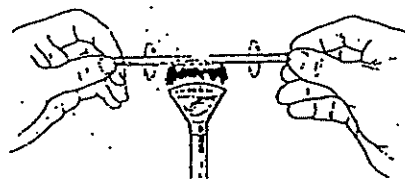


ปลายหลอดแก้ว ปลายหลอดแก้ว ปลายที่ถูกความร้อน  
ก่อนลบคม หลังลบคมแล้ว มากเกินไป

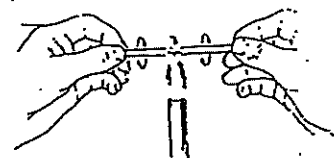
รูปแสดงการลบคมแก้ว

### 1.4 การงอหลอดแก้วและการทำหลอดหยด

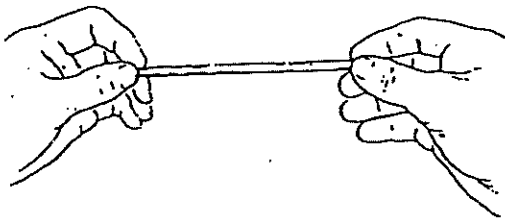
ในการทดลองบางครั้งจำเป็นต้องใช้หลอดแก้วที่งอเป็นมุมต่าง ๆ กัน ตะเกียงที่ใช้เผาหลอดแก้ว อาจจะปรับให้มีเปลวไฟกว้างได้โดยใช้ wing top สวมไว้ที่หัวตะเกียง ตามภาพซ้ายมือ



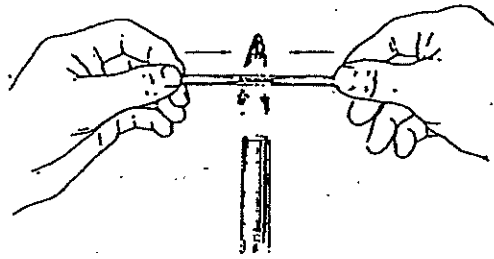
หมุนหลอดแก้วไปมาบนเปลวไฟที่แผ่กว้าง จนกระทั่งแก้วอ่อนตัว



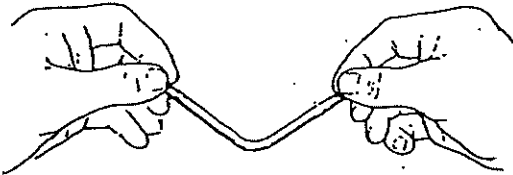
หมุนหลอดแก้วบนเปลวไฟเหนือตะเกียง จนหลอดแก้วอ่อนตัว



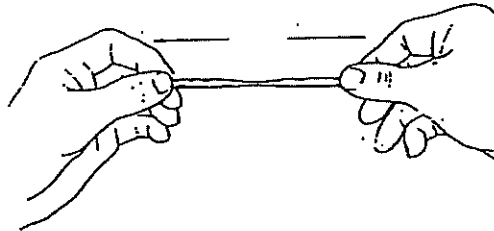
เอาออกจากเปลวไฟ ทิ้งให้ความร้อนกระจาย  
อย่างสม่ำเสมอสัก 2-3 นาที



ลนหลอดแก้วจนกระทั่งรูภายในเล็กลง (แต่ไม่ปิด)



งอหลอดแก้วให้ได้รูปที่ต้องการ รอนจนกระทั่ง  
แก้วแข็งตัวจึงปล่อยมือ

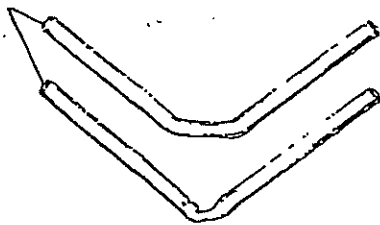


เอาหลอดแก้วออกจากเปลวไฟ และดึงให้หลอดแก้ว  
ยืดจนกระทั่งได้ขนาดที่ต้องการ

การงอที่ดี



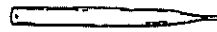
การงอที่เลว



รูปแสดงการงอหลอดแก้ว



ตัดเป็นสองส่วน



ลบคมแก้ว

รูปแสดงการทำหลอดหยด

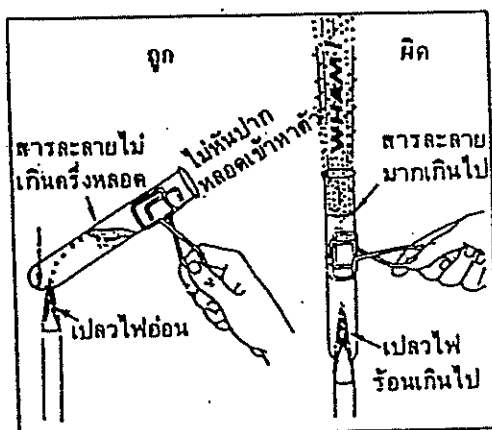
### 1.5 การค้ำของเหลวในหลอดทดลอง

การค้ำของเหลวในหลอดทดลองต้องระวังให้มาก เพราะอาจจะมีอันตรายเกิดขึ้นได้ง่าย ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ของเหลวในหลอดทดลองที่จะค้ำ ไม่ควรมีเกินครึ่งหลอด
2. อย่าจับหลอดทดลองด้วยนิ้วมือโดยตรง เพราะไอของเหลวที่ระเหยขึ้นมาจะทำให้หลอดทดลองร้อนจนมือทนไม่ได้
3. ใช้ที่จับหลอดทดลอง จับหลอดทดลอง หรือใช้กระดาษขนาดประมาณ  $8 \times 15$  cm มงหุ้มหลาย ๆ ชั้น ให้เป็นแผ่นเล็ก ๆ ขาว ๆ นำไปคาดได้ปากหลอดทดลองเล็กน้อยใช้หัวแม่มือและนิ้วชี้จับกระดาษก็ได้
4. ควรใช้เปลวไฟต่ำ ๆ และเอียงหลอดทดลองเล็กน้อย ให้ส่วนของหลอดทดลองที่มีของเหลวถูกเปลวไฟทีละน้อย พร้อมกับแกว่งหลอดทดลองไปมาในเปลวไฟ ซึ่งเป็นการเขย่าของเหลวภายในหลอดทดลองด้วย

การค้ำของเหลวในหลอดทดลองนี้ ข้อที่ต้องระวังให้มากที่สุดมี 2 ประการ คือ

1. ต้องหันปากหลอดทดลองไปทางที่ไม่มีคนหรือสิ่งของอื่น ๆ ดังรูป 1.1 (รูปซ้าย) เพราะเมื่อของเหลวเดือดอาจจะพุ่งออกมานอกหลอด
2. อย่าก้มหน้าดูของเหลวภายในหลอดทดลองในขณะที่กำลังค้ำเป็นอันขาด เพราะถ้าของเหลวพุ่งออกมาจากหลอดอาจจะถูกตาและทำให้ตาบอดได้



รูป 1.1 แสดงวิธีการค้ำของเหลวในหลอดทดลอง รูปซ้ายเป็นวิธีการที่ถูกต้อง ส่วนรูปขวานั้นผิด



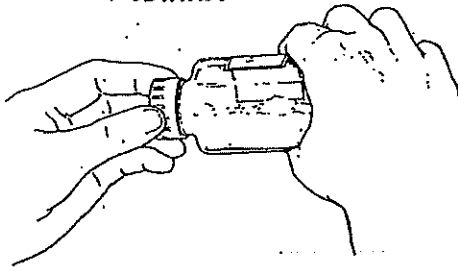
รูป 1.2 แสดงวิธีการค้ำแก๊ส ซึ่งใช้มือจับแก๊สจากปากหลอดเข้าหาจมูก และให้หลอดอยู่ห่างจากจมูกพอสมควร

ถ้าหากประสงค์จะคมแก้สที่เกิดจากปฏิกิริยา หรือคมไอ หรือควันที่ระเหยออกมาจากหลอดทดลอง และขวดรูปกรวย - อย่าให้ปากหลอดทดลองอยู่ชิดจมูก ให้ปากหลอดทดลองอยู่ห่างจากจมูกพอสมควร แล้วใช้มือโบกแก้สหรือควันเข้าหาจมูกดังรูป 1.2

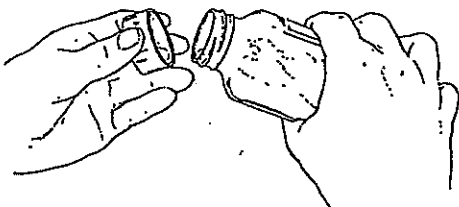
### 1.6 การตักและเทสารเคมี

โดยปกติสารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีสองภาวะคือ ของแข็งและของเหลว สารที่เป็นของแข็งมักบรรจุอยู่ในขวดปากกว้าง เมื่อตักใช้แล้วต้องปิดจุกให้แน่น เพื่อป้องกันความชื้นและฝุ่นละอองไม่ให้เข้าไปในขวด วิธีตักสารเคมีที่เป็นของแข็งให้ปฏิบัติดังรูป 1.3

#### วิธีที่หนึ่ง



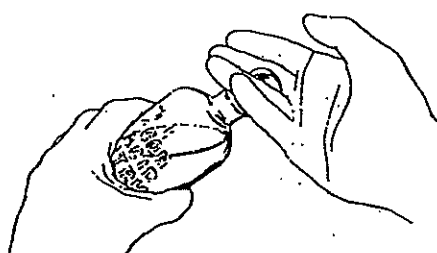
**ขั้นที่หนึ่ง** หมุนและเอียงขวดจนกระทั่งสารบางส่วนมารวมอยู่ในฝาจุก



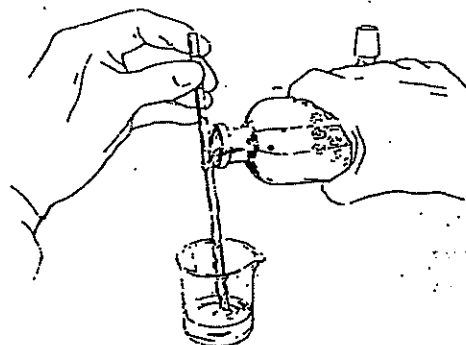
สารเคมีที่เป็นของเหลวมักบรรจุอยู่ในขวดปากแคบ ถ้าใช้บรรจุสารละลายที่เป็นเบส ควรอุดด้วย  
จุกยางไม่ควรใช้จุกแก้ว เพราะสารละลายเบสจะทำให้จุกแก้วติดแน่นกับปากขวด วิธีเทสารที่เป็นของเหลว  
ให้ปฏิบัติดังรูป 1.4



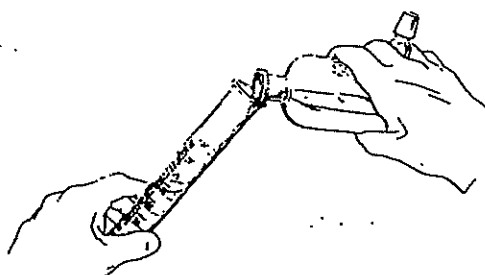
ขั้นที่หนึ่ง อ่านฉลากที่ปิดข้างขวดให้แน่ใจก่อนจะใช้



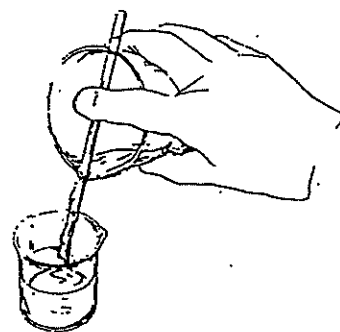
ขั้นที่สอง ค้างจุกออกจากขวด ใช้มือจับขวดทาง  
ด้านที่มีฉลาก และใช้นิ้วค้ำจุกไว้  
อย่าวางจุกบนโต๊ะ



เทของเหลวออกจากด้านตรงข้ามฉลาก  
ให้ของเหลวไหลไปตามแท่งแก้ว



ขั้นที่สาม เทสารละลายออกจากด้านตรงข้าม  
ฉลากลงในภาชนะที่ต้องการโดยไม่  
ใช้แท่งแก้ว



เมื่อเทของเหลวจากบีกเกอร์ ให้ทำความสะอาดรูปนี้ก็ได้

รูป 1.4 แสดงวิธีเทสารที่เป็นของเหลว

### 1.7 การผสมสารละลาย

เมื่อเทสารละลายรวมกัน จำเป็นต้องให้สารละลายผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวอย่างสม่ำเสมอ หรือถ้าสารละลายนั้นทำปฏิกิริยากัน ก็ต้องให้เกิดปฏิกิริยาโดยทั่วกันทั้งหมด เพื่อให้เกิดผลดังกล่าว จำเป็นต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ถ้าผสมสารละลายในบีกเกอร์ให้ใช้แท่งแก้วคน อย่าใช้หลอดแก้วคนเป็นอันขาด การคนต้องคนให้ทั่วเพื่อให้สารละลายผสมกันสม่ำเสมอ อย่างคนแค่เพียงคอนบนของสารละลาย ควรคนจนถึงก้นของบีกเกอร์ ควรคนให้สารละลายหมุนวนไปทางเดียวกัน และอย่าให้แท่งแก้วกระทบหรือชิดกับข้าง ๆ ของบีกเกอร์ เพราะจะทำให้บีกเกอร์เป็นรอย

2. ถ้าผสมสารละลายในขวดรูปกรวย จะใช้แท่งแก้วคนเหมือนในบีกเกอร์นั้นไม่สะดวกและห้ามเขย่า ควรใช้วิธีหมุนขวด คือใช้มือจับขวดแล้วหมุนข้อมือ และให้สารละลายในขวดไหลวนไปทางเดียวกัน (ดูรูป 1.5)



รูป 1.5 แสดงการผสมสารละลายภายในขวดรูปกรวย ห้ามเขย่า แต่ใช้มือจับขวดรูปกรวยแล้วหมุนข้อมือให้สารละลายไหลวนไปทางเดียวกัน

3. การผสมสารละลายในหลอดทดลอง ให้คนด้วยแท่งแก้วหรือสัลดหลอดอย่างเบา ๆ

เมื่อจะทำการผสมสารละลายกรดกับน้ำต้องระวังให้มากและจำไว้ว่าต้องเทกรดลงในน้ำอย่าเทน้ำลงในกรดเป็นอันขาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดซัลฟิวริกกับน้ำ

การผสมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์กับน้ำก็เช่นกัน สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์อย่างเข้มข้น จะมีแก๊สแอมโมเนียระเหยออกมาเสมอ ฉะนั้นเวลาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ควรให้จมูกอยู่ต่ำกว่าปากขวดของสารละลายนี้ มิฉะนั้นจะสูดแก๊สแอมโมเนียเข้าไปเมื่อหายใจ

### 1.8 การริน (Decantation)

การรินเป็นเทคนิคอันหนึ่งที่จะทำให้การกรองมีประสิทธิภาพ การรินหมายถึงการเทของเหลวใสที่อยู่คอนบน ของตะกอนออกจากตะกอน โดยพยายามให้ตะกอนทั้งหมดเหลืออยู่ในบีกเกอร์ อย่าให้ตะกอนไหลตามสารละลายออกไป การรินให้เอาปากบีกเกอร์แตะแท่งแก้ว แล้วให้สารละลายไหลไปตามแท่งแก้ว (รูป 1.7)

## 1.9 การกรอง

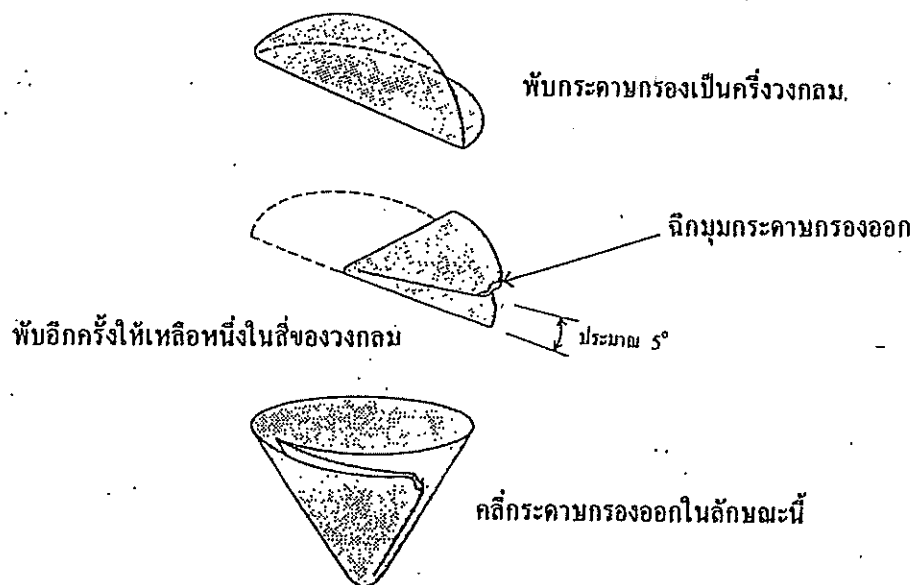
การกรองเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้แยกของแข็งออกจากของเหลวที่ของแข็งนั้นแขวนลอยอยู่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองมีอยู่หลายอย่าง แต่ที่จะแนะนำในการทดลองเบื้องต้นนี้ ได้แก่ กรวยกรอง และ กระดาษกรอง กรวยกรองที่ใช้มีมุม 60 องศา คอนบนของปลายก้นจะตีบเล็กน้อย ซึ่งจะช่วยให้ของเหลวไหลผ่านกรวยให้เต็มอยู่ตลอดเวลา กรวยกรองมีหลายขนาด

กระดาษกรองมีหลายชนิด มีขนาดและความละเอียดของเนื้อกระดาษต่าง ๆ กัน ดังนั้นการใช้กระดาษกรองจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับปริมาณและขนาดของตะกอน เมื่อใช้กรองแล้วปริมาณของตะกอนควรอยู่ต่ำกว่าขอบกระดาษกรองในกรวยกรองไม่น้อยกว่าหนึ่งในสามของกระดาษกรอง หรือไม่ควรเกินกว่าครึ่งหนึ่งของกระดาษกรอง การที่จะเลือกใช้กระดาษกรองซึ่งมีเนื้อละเอียดหรือหยาบนั้น ต้องพิจารณาขนาดของตะกอนที่จะกรอง กระดาษกรองต้องสามารถกั้นตะกอนเอาไว้ทั้งหมดและใช้ระยะเวลาในการกรองไม่นานจนเกินไป เช่น ตะกอนไฮดรอกไซด์ หรือออกไซด์ของโลหะเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ต้องใช้กระดาษกรองที่มีเนื้อหยาบและรูซึมใหญ่ ส่วนตะกอนขนาดกลาง เช่น ตะกอน แคลเซียมออกไซด์ กรองด้วยกระดาษกรองเนื้อละเอียดปานกลาง ถ้าตะกอนมีลักษณะละเอียดมากและไม่เป็นกลุ่มก้อน เช่น ตะกอนแบเรียมซัลเฟต ต้องกรองด้วยกระดาษกรองที่เนื้อละเอียดมาก ซึ่งมีรูซึมเล็ก

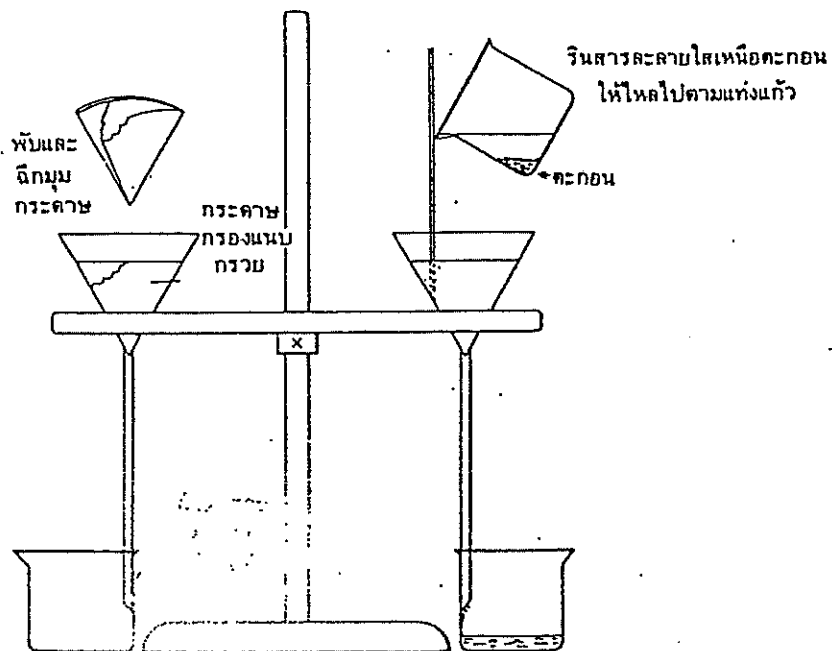
การกรองจะมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับเทคนิคการพับกระดาษกรองให้เป็นรูปกรวย วิธีการพับคือพับกระดาษกรอง เป็นครึ่งวงกลมแล้วพับอีกครั้งหนึ่งให้เหลือเพียงหนึ่งในสี่ของวงกลม แต่การพับครึ่งหลังนี้ให้ขอบของกระดาษทำมุมกันกลาง 5 องศา ดังนั้นส่วนของกระดาษที่พับครึ่งนี้จะไม่เท่ากัน ส่วนหนึ่งใหญ่และอีกส่วนหนึ่งจะเล็กกว่า ถักมุมกระดาษของส่วนที่เล็กกว่าออกไปส่วนหนึ่ง ดังรูป 1.6 การพับเช่นนี้จะทำให้กระดาษกรองมีลักษณะเป็นกรวย ที่มีมุมกางเกินกว่า 60 องศาเล็กน้อย (ใหญ่กว่ามุมของกรวยกรอง) เพื่อที่จะทำให้กระดาษกรองแนบสนิทกับกรวยกรองเฉพาะคอนบนของกระดาษกรองเท่านั้น ไม่ให้แนบสนิทตลอดทั้งกรวย ดังนั้นระหว่างการกรองจะทำให้ของเหลวไหลผ่านกรวยอย่างรวดเร็วลงไประหว่างกระดาษกรองและผิวแก้วลงสู่ก้นกรวย

เมื่อแยกกระดาษกรองที่พับแล้วนี้ออกด้านหนึ่งของรูปกรวยจะหนาสามชั้น ส่วนอีกด้านหนึ่งจะหนาชั้นเดียว รอยฉีกจะอยู่ด้านหลังของด้านที่มีความหนาสามชั้น วางกระดาษที่พับแล้วนี้ลงในกรวยกรอง ขอบของกระดาษกรองควรต่ำกว่าขอบของกรวยกรอง 0.5 cm ใช้ขวดฉีกนี้กลั่นฉีกกระดาษกรองให้ขึ้นใช้นิ้วมือกดให้กระดาษกรองแนบสนิทกับกรวยกรอง

เมื่อจะกรองให้วางกรวยกรองบนที่รองรับ และนำปิเกตอร์มารองรับสิ่งกรองที่ไหลผ่านกระดาษกรอง ให้ก้นของกรวยแตะข้างปิเกตอร์ (รูป 1.7) เพื่อป้องกันสิ่งกรองกระเด็น ก่อนจะกรองต้องรอให้ตะกอนนอนกันหมดเสียก่อน แล้วรินสารละลายลงในกระดาษกรอง โดยให้ไหลไปตามแท่งแก้วให้ spout (ปากปิเกตอร์ส่วนที่งอ) ของปิเกตอร์แตะกับแท่งแก้ว แต่อย่าให้ปลายของแท่งแก้วแตะกระดาษกรอง สารละลายที่รินลงไปนี้จะกระเด็นมีระดับต่ำกว่าขอบกระดาษกรองประมาณ 0.5 - 1 cm พยายามอย่าให้ตะกอนไหลลงไปในกระดาษกรอง เพราะจะทำให้การกรองช้า เนื่องจากตะกอนไปอุดรูซึมของกระดาษกรอง



รูป 1.6 แสดงการพับกระดาษทรง



รูป 1.7 แสดงการรินสารละลายลงในกระดาษทรง



### 1.10 การล้างตะกอนและการถ่ายตะกอน

เมื่อมีสารละลายเหลือติดอยู่กับตะกอนเพียงเล็กน้อยแล้ว ควรจะล้างตะกอนเพื่อกำจัดสารเจือปน ซึ่งอาจจะติดอยู่กับตะกอน หลักที่สำคัญคือ ของเหลวที่นำมาล้างตะกอนต้องไม่ละลายตะกอนโดยเด็ดขาด แต่สามารถละลายสารเจือปนที่เกาะอยู่กับตะกอนได้ โดยมากใช้น้ำสำหรับล้างตะกอน เมื่อรินน้ำล้างตะกอน ออกให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับวิธีการกรองที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อจะทำการถ่ายตะกอนลงในกระดวยกรอง ให้ใช้ขวดตักน้ำล้างตะกอนในบีกเกอร์ ลงบนกระดวยกรอง โดยให้ไหลผ่านแท่งแก้วเช่นกัน (ดูรูป 1.8)



การกรองในขณะสารละลายร้อน จะช่วยให้กรองได้เร็วขึ้น การล้างตะกอนก็เช่นกัน ถ้าล้างด้วยของเหลวที่ร้อน สารเจือปนจะหมดไปได้เร็วกว่า ล้างด้วยของเหลวที่เย็น (ยกเว้นตะกอนละลายได้ในของเหลวที่ร้อน จึงจำเป็นต้องใช้ของเหลวที่เย็นล้างแทน)

รูป 1.8 แสดงการถ่ายตะกอนจากบีกเกอร์ลงในกระดวยกรอง

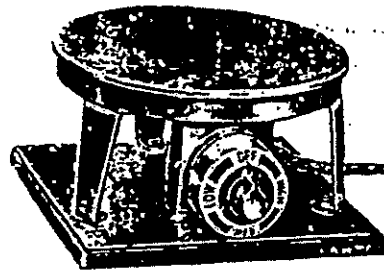
การแยกของแข็งออกจากของเหลว นอกจากโดยวิธีการกรองดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ อาจจะใช้แยกด้วยเครื่องเหวี่ยง (centrifuge) ก็ได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่เกี่ยวกับคุณภาพวิเคราะห์ต่อไป

### 1.11 การระเหยของเหลว

ความประสงค์ในการระเหยของเหลวมี 2 ประการ คือ

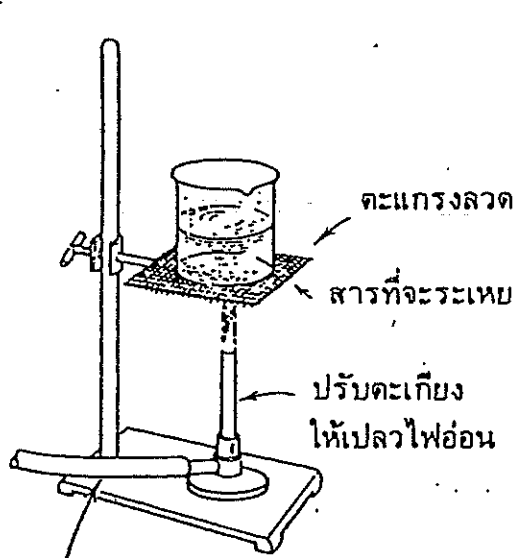
1. เพื่อลดปริมาตรของเหลวให้น้อยลง
2. เพื่อไล่สารประกอบที่ระเหยได้ออกจากสารละลาย.

โดยปกติการระเหยสารละลายในภาชนะปากกว้าง เช่น บีกเกอร์ หรือชามระเหย มีข้อควรระวังคือ ของเหลวที่นำระเหยนั้นเป็นสารที่ติดไฟได้ง่ายหรือไม่ติดไฟ ถ้าหากเป็นของเหลวที่ติดไฟได้ง่าย เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ อีเทอร์ แอซิโตน แอลกอฮอล์ จะระเหยด้วยความร้อนจากเปลวไฟไม่ได้ ควรใช้เครื่องไฟฟ้า เช่น electric hot plate ซึ่งไม่มีเปลวไฟ (รูป 1.9)

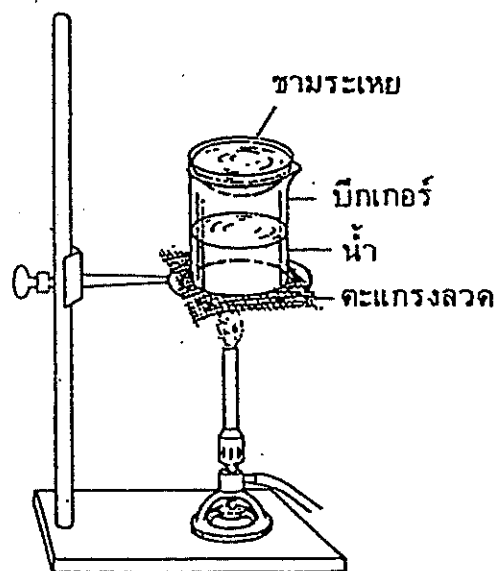


รูป 1.9 electric hot plate

ส่วนของเหลวที่ไม่ติดไฟได้ง่าย อาจจะใช้เปลวไฟต้มโดยตรง (รูป 1.10) ก็ได้แต่ต้องใช้เปลวไฟอ่อน ๆ เพราะถ้าใช้เปลวไฟแรงของเหลวจะเดือดและกระเด็นออกมาจนภาชนะได้ โดยปกติการระเหยของเหลวใช้ water bath (ดังรูป 1.11)



รูป 1.10 แสดงการต้มหรือระเหยสารละลายโดยใช้เปลวไฟโดยตรง



รูป 1.11 แสดงการระเหยของเหลวด้วย water bath โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ

### 1.12 เครื่องชั่งและเทคนิคการชั่ง

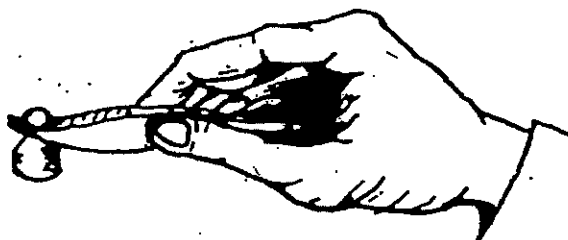
การทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมีทั่วไป สิ่งที่จะต้องพบบ่อยเสมอ คือ การชั่งน้ำหนักของสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) ดังนั้นผู้ที่จะทำปฏิบัติการทางเคมี ควรจะได้ศึกษาเครื่องชั่งชนิดต่าง ๆ และเข้าใจถึงวิธีการใช้เครื่องชั่งเหล่านั้นให้ถูกต้องตามเทคนิค

#### เครื่องชั่งที่จะแนะนำในการทดลองบทนี้คือ

1. Platform balance (รูป 1.14)
2. Triple-beam balance (รูป 1.15)
3. Two-pan analytical balance (รูป 1.16)

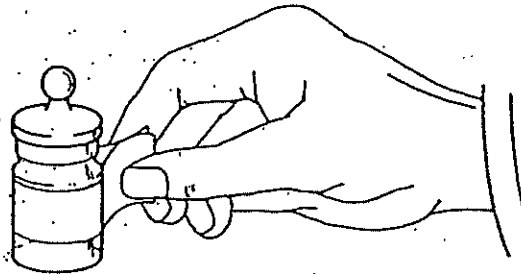
ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีใช้เครื่องชั่งแต่ละแบบโดยเฉพาะ ขอกล่าวถึงการระวังรักษาเครื่องชั่งทุกชนิด ไม่ว่าชนิดใด เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายซึ่งจะเกิดได้ ทุกครั้งที่ใช้เครื่องชั่งผู้ใช้เครื่องชั่งต้องปฏิบัติตามหัวข้อต่อไปนี้

- 1) เครื่องชั่งต้องตั้งอยู่บนที่แน่นหนามั่นคง ไม่มีการสั่นสะเทือน ไม่ควรตั้งริมหน้าต่างหรือใกล้ความร้อน อย่าให้แสงแดดส่องถูกเครื่องชั่งโดยตรง ฐานของเครื่องชั่งต้องอยู่ในแนวระดับ (ดูฟองอากาศ)
- 2) เมื่อทำการชั่งต้องนั่งตรงกึ่งกลางของเครื่องชั่ง วางวัตถุที่จะชั่งบนจุดกึ่งกลางจานทางซ้ายมือ (เมื่อจานอยู่นิ่งเป็นรองรับ) ของผู้ชั่ง และวางค้อนน้ำหนักบนจุดกึ่งกลางจานทางขวามือเสมอ
- 3) ห้ามวางวัตถุหรือสารที่จะชั่งบนจานของเครื่องชั่งโดยตรง ต้องใส่วัตถุหรือสารนั้นลงในขวดชั่ง (weighing bottle) หรือกระบอกนาฬิกาเสมอ ห้ามใช้กระดาษทุกชนิดแทนขวดชั่ง หรือกระบอกนาฬิกาอย่างเด็ดขาด
- 4) ห้ามชั่งวัตถุที่ยังร้อนอยู่ วัตถุที่นำมาชั่งต้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของห้องเครื่องชั่ง
- 5) ห้ามใช้นิ้วมือหยิบค้อนน้ำหนัก และต้องใช้ปากคีบหยิบค้อนน้ำหนัก หรือแผ่นน้ำหนักเสมอ หยิบค้อนน้ำหนักที่หนักตั้งแต่หนึ่งกรัมต้องหงายปากคีบ (ดูรูป 1.12). แต่ถ้าหยิบแผ่นน้ำหนักต้องคว่ำปากคีบ



รูป 1.12 แสดงการหยิบค้อนน้ำหนักโดยหงายปากคีบ

6) อย่าใช้นิ้วมือจับวัตถุที่จะชั่ง เพราะน้ำหนักจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเหงื่อติดอยู่ที่นิ้วมือ ควรใช้กระดาษพับ ดังรูป (1.13)



รูป 1.13 แสดงการใช้กระดาษพับเป็นแผ่นเล็กๆ ภาครองชั่ง

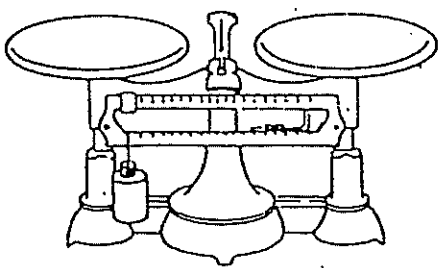
7) เมื่อชั่งได้น้ำหนักของวัตถุเรียบร้อยแล้ว ต้องเก็บค้อนน้ำหนักและแผ่นน้ำหนัก ตลอดจนวัตถุที่นำมาชั่งออกจากเครื่องชั่งให้หมด ถ้าหากวัตถุหกอยู่บนจานหรือพื้นเครื่องชั่ง ต้องทำความสะอาดโดยทันที

8) อย่าชั่งวัตถุที่หนักเกิน capacity ของเครื่องชั่ง โดยปกติเครื่องชั่งในห้องทดลองจะชั่งได้ตั้งแต่ 100 กรัม ถึง 200 กรัม ซึ่งผู้ผลิตจะระบุไว้

9) ถ้าหากเครื่องชั่งขัดข้องหรือผิดปกติห้ามแก้ไขอย่างเด็ดขาด แต่ต้องรายงานให้อาจารย์ควบคุมการทดลองทราบ

การที่จะเลือกใช้เครื่องชั่งชนิดใดในการทดลองให้เหมาะสมนั้น ขึ้นอยู่กับว่าการทดลองนั้นต้องการความถูกต้องมากน้อยแค่ไหน

### เครื่องชั่งแบบ Platform balance

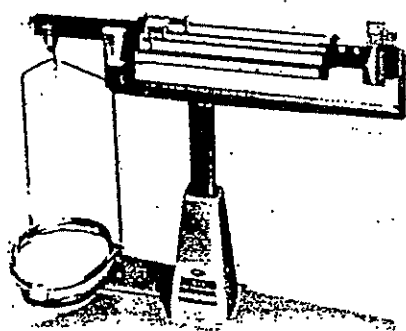


รูป 1.14

เมื่อจะใช้ Platform balance แบบรูป 1.14 นี้ ให้วางวัตถุที่จะชั่งลงบนจานชั่ง แล้วหาน้ำหนักของวัตถุนั้น โดยการเลื่อนค้อนน้ำหนักที่ติดอยู่กับคานของเครื่องชั่ง จนกระทั่งเข็มที่หน้าปิด แล้วยกจากจุดศูนย์ไปทาง ซ้าย และขวาเท่า ๆ กัน

โดยปกติ Platform balance ใช้ชั่งวัตถุที่หนักไม่เกิน 200 กรัม และถ้าชั่งด้วยความระมัดระวังแล้ว น้ำหนักของวัตถุนั้นจะผิดจากความจริงไม่เกิน 0.1 กรัม การใช้ Platform balance ต้องปฏิบัติตามข้อต่าง ๆ ที่ได้อ่านมาแล้ว เพื่อป้องกันงานเป็นสนิม อย่าวางเคมีภัณฑ์ลงบนจานของเครื่องชั่ง เป็นอันตราย ถ้าหาเคมีภัณฑ์ หกลงบนจานของเครื่องชั่ง ต้องรีบทำความสะอาดทันที

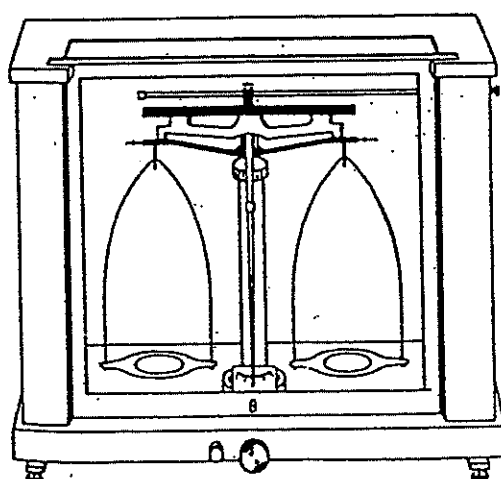
### เครื่องชั่งแบบ Triple-beam balance



การใช้เครื่องชั่งแบบนี้ ให้วางวัตถุที่ต้องการชั่งไว้ในจาน แล้วเลื่อนคัมน้ำหนักที่แขวนอยู่บนคันทั้งสี่จนกระทั่ง เข็มที่หน้าปัดแกว่งจากจุดศูนย์ขึ้นไปข้างบน และลงข้างล่างเท่ากัน น้ำหนักที่แขวนอยู่บนคัน ที่ 1 จะเป็น น้ำหนักในหน่วย 100 กรัม และ 10 กรัม 1 กรัม 0.1 กรัม บนความถี่ 2,3,4 ตามลำดับ เครื่องชั่งแบบนี้จะชั่งน้ำหนักของวัตถุผิดพลาดจากความจริง ไม่เกิน 0.01 กรัม

รูป 1.15

### เครื่องชั่งแบบ Two-pan analytical balance



เครื่องชั่งชนิดนี้ใช้สำหรับชั่งวัตถุที่หนักไม่เกิน 200 กรัม จะมีความถูกต้องแน่นอน 0.001 กรัม ส่วนใหญ่ใช้ในปริมาณวิเคราะห์ เครื่องชั่งแบบนี้มีความไวสูงมาก ต้องระมัดระวังในการใช้เป็นพิเศษ จึงควรจะได้ศึกษาถึง รายละเอียดของส่วนประกอบของเครื่องชั่งชนิดนี้ให้ดีก่อน

รูป 1.16

## บทที่ 2

# ปฏิกิริยาเคมีและความสัมพันธ์ทางน้ำหนัก

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงเคมีชนิดต่าง ๆ และหาความสัมพันธ์ทางน้ำหนักระหว่างโมเลกุลหรือไอออนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา
2. เพื่อให้รู้จักใช้เทคนิคที่สำคัญบางอย่างในการทำปฏิบัติการทางเคมี
3. เพื่อพิสูจน์กฎทรงมวลของสสาร

### บทนำ

กฎทรงมวลของสสาร (law of mass conservation) กล่าวว่า "สสารจะทำให้เกิดขึ้นใหม่หรือทำให้สูญหายไปไม่ได้" หมายความว่า มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาจะเท่ากับมวลของสารหลังจากทำปฏิกิริยา ในการทดลองเพื่อพิสูจน์กฎนี้ จะเริ่มต้นด้วยการนำโลหะทองแดงจำนวนหนึ่งที่ทราบน้ำหนักแน่นอนมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีเพื่อให้เกิดสารประกอบชนิดต่าง ๆ ของทองแดง และจากสารประกอบเหล่านั้นก็ทำให้เกิดปฏิกิริยากลับมาอยู่ในรูปของโลหะทองแดงอย่างเดิม ถ้ากฎทรงมวลของสสารเป็นจริง น้ำหนักของโลหะทองแดงที่ได้กลับคืนมาควรจะเท่ากับ น้ำหนักของโลหะทองแดงเมื่อเริ่มต้น

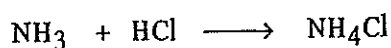
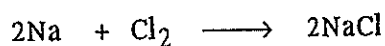
ในทางปฏิบัติ ผลจากการทดลองอาจจะพบว่าน้ำหนักของโลหะทองแดงที่ได้กลับคืนมา อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าเมื่อเริ่มต้นทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เพราะว่าอาจจะมีสารอื่นที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาคิดมากับทองแดงด้วย หรือบางส่วนอาจหายไปตามขั้นตอนต่าง ๆ ของปฏิกิริยาแต่ละขั้นที่เกิดขึ้น การทดลองจะได้ผลดีที่สุดตรงตามทฤษฎีก็ต้องอาศัยเทคนิคที่ถูกต้องในการทำทดลองเช่น เทคนิคในการละลายตะกอน, การตกตะกอน (precipitation), การกรอง (filtration), การล้างตะกอน (washing), การรินสารละลายใสออกจากตะกอน (decantation) และการระเหยน้ำออกจากตะกอน (evaporation) เป็นต้น

โดยทั่ว ๆ ไป ปฏิกิริยาเคมีแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

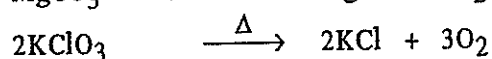
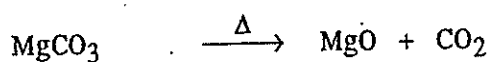
1. Redox reaction (Oxidation-reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนค่าเลขออกซิเดชันของสารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยา
2. Non-redox reaction เป็นปฏิกิริยาที่ไม่มีการเปลี่ยนค่าเลขออกซิเดชันของสารที่เข้าร่วมในปฏิกิริยา

ในบางครั้งอาจจะแบ่งชนิดของปฏิกิริยาเคมี ออกตามลักษณะของการเปลี่ยนตำแหน่งของอะตอมของธาตุในปฏิกิริยา ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้:-

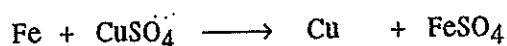
1. ปฏิกิริยาการรวมตัว (Combination reaction) เกิดขึ้นได้โดยสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกันเป็นสารประกอบใหม่ เช่น



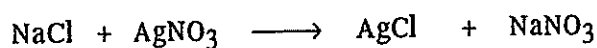
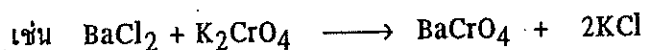
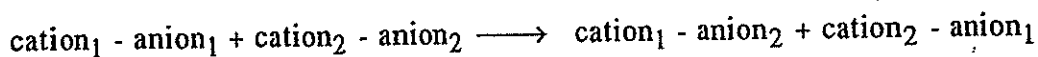
2. ปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างง่าย (Simple decomposition reaction) เกิดขึ้นโดยที่สารประกอบชนิดหนึ่งสลายตัวให้สารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เช่น



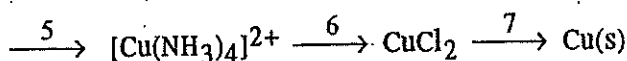
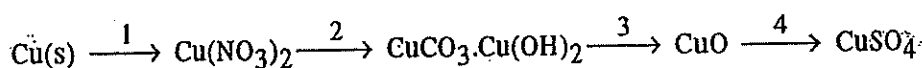
3. ปฏิกิริยาการแทนที่อย่างง่าย (Simple replacement reaction) เกิดขึ้นได้โดยที่ธาตุหนึ่งเข้าแทนที่ธาตุอีกชนิดหนึ่งในสารประกอบ เช่น



4. ปฏิกิริยาการแทนที่สองข้อ (Double replacement reaction) เกิดขึ้นโดยที่ anion ของสารประกอบชนิดหนึ่งเปลี่ยนที่กับ anion ของสารประกอบอีกชนิดหนึ่งในสารละลาย



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นของการทดลองนี้ คือ



น้ำหนักของทองแดงที่เกิดขึ้นในขั้นสุดท้าย จะนำไปเปรียบเทียบกับน้ำหนักของทองแดงเมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่กลับคืนมาหลังจากปฏิกิริยาได้

### การทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง

บีกเกอร์ขนาด 250 cm<sup>3</sup>

กระบอกตวงขนาด 10 cm<sup>3</sup> และ 100 cm<sup>3</sup>

แท่งแก้วคน

กรวยกรอง และ กระดาษกรอง

เครื่องชั่ง (triple-beam balance)

ตะเกียง สามขา และ ตะแกรงลวด

ขวดดัดน้ำ

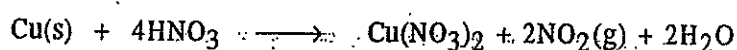
ชามระเหย

### สารเคมีที่ใช้

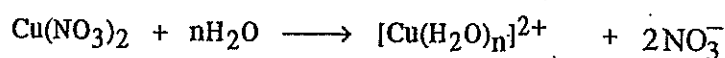
|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| Cu                                 | copper                     |
| Conc. HNO <sub>3</sub>             | nitric acid                |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>    | anhydrous sodium carbonate |
| 3 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | sulfuric acid              |
| 6 M HCl                            | hydrochloric acid          |
| Conc. NH <sub>4</sub> OH           | ammonium hydroxide         |
| 6 M NH <sub>4</sub> OH             | ammonium hydroxide         |
| Mg                                 | magnesium                  |
| กระดาษลิตมัส                       |                            |

### วิธีทดลอง

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นทองแดง (II) ในเตรด โดยปฏิกิริยา oxidation ด้วยกรดไนตริก



นำโลหะทองแดง 1 แผ่น ที่ทราบน้ำหนักแล้ว (สอบถามน้ำหนักจากอาจารย์หลังจากทำการทดลองเสร็จ) ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 cm<sup>3</sup> นำไปที่ตู้ควัน ตวง conc. HNO<sub>3</sub> 3 cm<sup>3</sup> ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 cm<sup>3</sup> แล้วค่อย ๆ รินกรดไนตริกลงไปในบีกเกอร์ช้า ๆ เขย่าจนโลหะทองแดงละลายหมด ขณะที่ทองแดงละลายจะเกิดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) เป็นไอสีน้ำตาลและมีพิษมาก ไม่ควรหายใจเอาแก๊สนี้เข้าไป หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว โลหะทองแดงจะละลายหมดได้สารสีเขียวของทองแดง (II) ในเตรด หลังจากนั้นให้เติมน้ำกลั่นลงไป 100 cm<sup>3</sup> จะได้สารละลายสีฟ้าของ Hydrated copper (II) ion



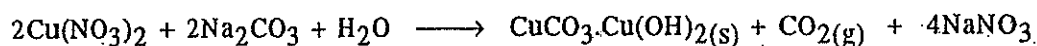
สารละลายสีเขียว

hydrated copper (II) ion

สารละลายสีฟ้า

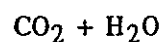
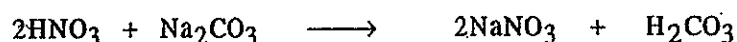


ขั้นที่ 2 เปลี่ยนทองแดง (II) ไนเตรด ให้เป็นเกลือเบสิกทองแดง (II) คาร์บอเนต-ทองแดง (II) ไฮดรอกไซด์ โดยปฏิกิริยาแทนที่สองต่อ (double replacement reaction)

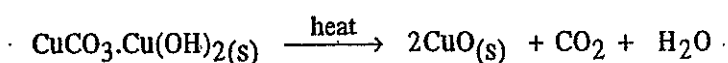


นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายสีฟ้าของ Hydrated copper (II) ion จากขั้นที่ 1 ออกจากตู้ควีน ค่อย ๆ เติมเกลือ anhydrous  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ประมาณ 3 กรัม ลงไปที่ละน้อย ช้า ๆ พร้อมทั้งคนไปด้วยตลอดเวลา สังเกตฟองแก๊ส  $\text{CO}_2$  และตะกอนสีฟ้าผสมกับสีขาวของเกลือเบสิก  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  ที่เกิดขึ้น รอจนปฏิกิริยาสิ้นสุด คือไม่มีฟองแก๊ส  $\text{CO}_2$  อีกต่อไป สารละลายควรจะมีฤทธิ์เป็นเบส ทดสอบโดยใช้แท่งแก้วแตะสารละลายในบีกเกอร์ แล้วจึงนำมาแตะที่กระดาษลิตมัสสีแดง ถ้ากระดาษลิตมัสยังไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าสารละลายยังไม่เป็นเบส ให้เติม  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ลงไปอีกเล็กน้อย ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสอีกครั้งหนึ่ง เมื่อสารละลายเป็นเบสแสดงว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์แล้ว

ฟองแก๊ส  $\text{CO}_2$  ที่เกิดขึ้นเมื่อเติม  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ลงไป เกิดจากปฏิกิริยาแทนที่สองต่อระหว่างกรดไนตริกที่มีอยู่ในสารละลายกับ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ดังนี้



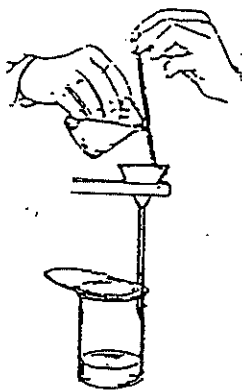
ขั้นที่ 3 เปลี่ยนเกลือเบสิกทองแดง (II) คาร์บอเนต-ทองแดง (II) ไฮดรอกไซด์ ให้เป็นทองแดง (II) ออกไซด์ โดยปฏิกิริยาการสลายตัว (decomposition reaction)



นำบีกเกอร์ที่มีตะกอนทองแดง (II) คาร์บอเนต-ทองแดง (II) ไฮดรอกไซด์ จากขั้นที่ 2 ไปวางบน wire gauze แล้วต้มสารละลายจนตะกอนเปลี่ยนจากสีฟ้าผสมกับสีขาวเป็นสีดำของทองแดง (II) ออกไซด์ จนหมด ขณะต้มให้คนไปด้วยอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายกระเด็นออกจากบีกเกอร์ เมื่อตะกอนเปลี่ยนเป็นสีดำหมดแล้ว คึงตะกอนออกแต่ยังคงคนสารละลายต่อไปอีก 1-2 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าปฏิกิริยาได้เกิดสมบูรณ์แล้ว

กรองตะกอนทองแดง (II) ออกไซด์ ขณะร้อน โดยใช้กระดาษกรองและกรวยกรอง ค่อย ๆ รินสารละลายใสตอนบนของตะกอนลงบนกระดาษกรองที่มีอยู่ในกรวยกรอง พยายามอย่าให้ตะกอนตกกลงไปจนสารละลายใสเกือบจะหมดแล้ว จึงใช้แท่งแก้วคนตะกอนให้ผสมกับสารละลายที่เหลือในกรวยกรองให้หมด การรินควรรินให้ตะกอนและสารละลายไหลผ่านไปตามแท่งแก้ว (ดังรูป 2.1) ลงไปในกรวยกรอง

สารละลายที่ไหลผ่านกระดาษกรองควรจะมีสี ซึ่งแสดงว่าไม่มี copper (II) ion เหลืออยู่ในสารละลายอีก ควรจะทดสอบถึงกรองที่ไหลผ่านกระดาษกรองออกมาว่ามี copper (II) ion หรือไม่ โดยเอาสารละลายที่ผ่านกระดาษกรองออกมา 4-5 หยด เติม Conc.  $\text{NH}_4\text{OH}$  ลงไป 2-3 หยด ถ้าไม่ได้สารละลายสีน้ำเงินเข้มของ tetraammine-copper (II) ion  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  แสดงว่าไม่มี copper(II) ion



รูป 2.1 แสดงการกรองด้วยกรวยกรอง และกระดาษกรอง และแสดงการรินสารละลายลงในกระดาษกรอง



รูป 2.2 แสดงการนิตล้างตะกอน

ใช้ขวดนิตน้ำล้างล้างตะกอนในบีกเกอร์ (ดังรูป 2.2) ให้ลงไปบนกรวยกรองให้หมด ใช้น้ำร้อน  $10\text{ cm}^3$  ล้างบีกเกอร์ เหน้้น้ำร้อนนี้ลงไปบนตะกอนเพื่อล้างตะกอนให้สะอาด แต่ถึงอย่างไรก็ตามอาจจะมีทองแดง (II) ออกไซด์เหลือติดอยู่ข้าง ๆ บีกเกอร์ได้ ดังนั้นจึงใช้บีกเกอร์ใบนี้ในการทดลองขั้นที่ 4 ค่อยไปล้างกรองที่ได้รวมทั้งน้ำล้างตะกอนให้ทิ้งไป

**ขั้นที่ 4** เปลี่ยนทองแดง (II) ออกไซด์ให้เป็นทองแดง (II) ซัลเฟต โดยปฏิกิริยาการแทนที่สองข้อ (double replacement reaction)



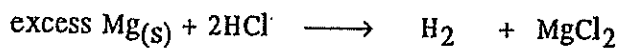
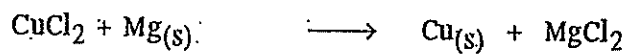
ควมสารละลาย 3 M กรดซัลฟิวริกมา  $20\text{ cm}^3$  ค่อย ๆ รินราลงไปในบนตะกอนในกระดาษกรองเพื่อละลายตะกอนสีดำของทองแดง (II) ออกไซด์ เก็บสารละลายที่ไหลออกจากกรวยกรองไว้ในบีกเกอร์ใบที่ใช้ในการทดลองขั้นที่ 3 ถ้าตะกอนทองแดง (II) ออกไซด์บนกระดาษกรองละลายไม่หมดเมื่อได้รินกรดซัลฟิวริกลงไปบนตะกอนจนหมดแล้ว ให้นำสิ่งกรองที่ได้เทกลับไปในกระดาษกรองอีก และ



เปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย อย่างไรก็ตามถ้าเติม 6 M HCl เร็วเกินไปจะมองไม่เห็น ตะกอนสีฟ้าของ  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  ที่เกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 6 นี้จะกลับกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นที่ 5 ค่อย ๆ เติม 6 M HCl ลงไปในสารละลายอีก 5 cm<sup>3</sup>

ในกรณีที่เติม 6 M HCl มากเกินไปมาก ๆ จะทำให้สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียว กรณีนี้ไม่ต้องเติม 6 M HCl เพิ่มอีก 5 cm<sup>3</sup> ให้สารละลายไปทำการทดลองต่อในขั้นที่ 7 ได้เลย

### ขั้นที่ 7 เปลี่ยนทองแดง (II) คลอไรด์ให้เป็นโลหะทองแดง โดยปฏิกิริยาการแทนที่ (simple replacement reaction)

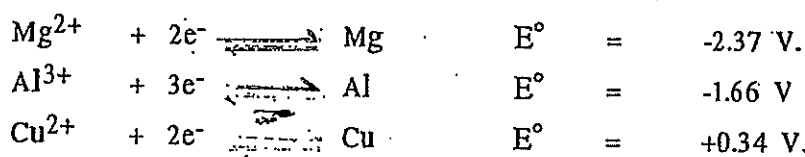


ซึ่งโลหะแมกนีเซียมประมาณ 0.5 กรัม เติมลงไปในสารละลายทองแดง (II) คลอไรด์ จากขั้นที่ 6 ที่ละน้อยๆ พร้อมทั้งคนสารละลายตลอดเวลา แมกนีเซียมซึ่งเป็นโลหะที่ไวกว่าทองแดงในการทำปฏิกิริยา ( $\text{Cu}^{2+}$  รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า  $\text{Mg}^{2+}$ ) จะเข้าแทนที่ทองแดงในสารละลายได้โลหะทองแดงออกมาเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงอยู่ที่ก้นบีกเกอร์

ภายหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว สังเกตจากฟองแก๊ส  $\text{H}_2$  หมดไป สารละลายที่ได้จะต้องไม่มีสี แสดงว่าทองแดง (II) คลอไรด์ ได้เปลี่ยนเป็นโลหะทองแดงหมดแล้ว ถ้าสารละลายยังคงมีสีฟ้าอยู่ให้เติมแมกนีเซียมลงไปอีกเล็กน้อย *ระวังอย่าเติมมากเกินไป* และคนจนปฏิกิริยาสิ้นสุด

ตะกอนสีน้ำตาลแดงของโลหะทองแดง อาจจะมีโลหะแมกนีเซียมที่เหลือติดปนมาด้วย สังเกตดูที่ก้นบีกเกอร์ ถ้าเหลือยู่ต้องกำจัดแมกนีเซียมให้หมดไป เหลือแต่โลหะทองแดงอย่างเดียว โดยการเติม 6 M HCl ที่ละหยด คนจน Mg ละลายหมด กรดเกลือนี้จะละลายเฉพาะโลหะแมกนีเซียมเท่านั้น แต่ไม่ละลายโลหะทองแดง ทั้งนี้เพราะโลหะแมกนีเซียมมีความไวในการทำปฏิกิริยาเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในกรดได้ดีกว่าโลหะทองแดง (ทองแดงไม่ทำปฏิกิริยากับกรดเกลือ)

ตะกอนสีน้ำตาลแดงของโลหะทองแดง มีลักษณะเป็นตะกอนหนัก จะนอนก้นง่าย ค่อย ๆ รินสารละลายใสไม่มีสีทิ้งไป เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 10 cm<sup>3</sup> คนให้ทั่ว ตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนนอนก้นแล้วรินน้ำทิ้งอีก *ระวังอย่าให้โลหะทองแดงไหลตามออกมาด้วย* เมื่อเหลือแต่ตะกอนแล้วให้ถ่ายตะกอนใส่ชามระเหยที่ได้ซึ่งและบันทึกน้ำหนักเอาไว้แล้ว (ซึ่งโดยเครื่องชั่งแบบ Triple-beam balance) ให้น้ำล้างตะกอนในบีกเกอร์ลงไปในชามระเหยจนหมด แล้วค่อย ๆ รินน้ำใส่ออกจากชามระเหยจนเหลือแต่ตะกอน นำไประเหยบนบีกเกอร์น้ำเดือด (ดังรูป 1.11) จนแห้ง เมื่อโลหะทองแดงแห้งดีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่เคยใช้ชั่งชามระเหยไว้ในตอนแรก เมื่อหักน้ำหนักของชามระเหยออกไปก็จะได้น้ำหนักของโลหะทองแดงที่กลับคืนมา บันทึกผลการทดลองที่ได้ นำทองแดงที่ได้จากปฏิกิริยาไปเทรวมไว้ในบีกเกอร์ที่จัดไว้ให้



## ปฏิบัติการ 403.....

ชื่อ ..... คณะ ..... หมู่ ..... เบอร์คู่ .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

## รายงานการทดลองเรื่อง ปฏิริยาเคมีและความสัมพันธ์ทางน้ำหนัก

น้ำหนักของทองแดงก่อนทำปฏิริยา ..... กรัม  
 น้ำหนักของซามะเหย + น้ำหนักของทองแดงหลังปฏิริยา ..... กรัม  
 น้ำหนักของซามะเหย ..... กรัม  
 ∴ น้ำหนักของทองแดงหลังปฏิริยา ..... กรัม  
 เปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่ได้กลับคืนมา .....

การทดลองของท่านไม่ได้ผลน้อยกว่าหรือมากกว่า 100% .....  
 จงให้เหตุผลว่าทำไมเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่ได้กลับคืนมาจึงเป็นเช่นนั้น

ในการทดลองขั้นสุดท้าย ถ้าใช้ผงอะลูมิเนียมแทนโลหะแมกนีเซียมจะได้ไหม? เพราะอะไร

ถ้านำซามะเหยที่มีโลหะทองแดงอยู่ไปทำให้แห้งโดยเผาอย่างแรงด้วยเปลวไฟโดยตรงจะทำให้เกิดผลเสียอย่างไร และจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของทองแดงที่ได้กลับคืนมาอย่างไร

สมมติว่าการทดลองของท่านได้ผล 100% จงคำนวณหาน้ำหนักเป็นกรัมของสารประกอบของทองแดงในข้อข้างล่างนี้ที่เกิดจากการใช้ทองแดง 0.25 กรัม

1)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

2)  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$



## บทที่ 2

### ปฏิกิริยาเคมีและความสัมพันธ์ทางน้ำหนัก

ผศ.ดร.ปิติ ตรีสุก

#### วิธีการทดลอง

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนโลหะทองแดงให้เป็นทองแดง(II)ไนเตรท โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกรดไนตริก

- 1 รับแผ่นโลหะทองแดงจากอาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการพร้อมบันทึกหมายเลข นำโลหะทองแดงใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL จากนั้นนำไปที่ตู้ดูดควัน
- 2 ตวงสารละลาย Conc.  $\text{HNO}_3$  2 mL แล้วค่อย ๆ รินลงไปในบีกเกอร์ทองแดงช้า ๆ แกว่งบีกเกอร์เบา ๆ เพื่อให้กรดสัมผัสกับแผ่นทองแดง ขณะเกิดปฏิกิริยาแผ่นทองแดงจะค่อย ๆ ละลายได้สารละลายสีเขียวของ Copper (II) Nitrate และเกิดแก๊ส  $\text{NO}_2$  ซึ่งเป็นไอสีน้ำตาลและมีพิษ ห้ามสูดดมและห้ามนำบีกเกอร์ออกจากตู้ดูดควัน
- 3 เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นคือ จะได้สารละลายสีเขียวและไม่มีแผ่นทองแดงหรือไอแก๊ส  $\text{NO}_2$  เหลืออยู่ ให้เติมน้ำกลั่น 50 mL ในบีกเกอร์ จะได้สารละลายสีฟ้าของ Hydrated copper (II) ion

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนทองแดง (II) ไนเตรท เป็นเกลือทองแดงไฮดรอกไซด์ โดยปฏิกิริยาแทนที่

- 1 นำบีกเกอร์ที่มีสารละลายสีฟ้าจากขั้นที่ 1 ออกจากตู้ดูดควัน เติมสารละลาย 6M NaOH 10 mL คนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยแท่งแก้วคน จะเกิดตะกอนสีน้ำเงิน ของ  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  แขนวลอยอยู่ในสารละลาย สังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลาย
- 2 ทดสอบว่าสารละลายเป็นเบสหรือไม่โดยใช้แท่งแก้วคนแตะสารละลายจากนั้นแตะที่กระดาษลิตมัสสีแดงบนกระดาษฟิลา สีของกระดาษลิตมัสควรเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ถ้ากระดาษลิตมัสไม่เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน ให้เติมสารละลาย NaOH เพิ่มครึ่งละ 5 หยด และทดสอบกับกระดาษลิตมัสซ้ำจนกระทั่งสารละลายเป็นเบส

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนเกลือทองแดง (II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็น ทองแดง (II) ออกไซด์ โดยปฏิกิริยาการสลายตัว

- 1 นำบีกเกอร์จากขั้นที่ 2 วางบนเตาไฟฟ้า ต้มสารละลายพร้อมคนด้วยแท่งแก้วคนจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีดำของ Copper (II) oxide ( $\text{CuO}$ ) คนต่อไปอีก 1-2 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ หยุดคนสารและยกบีกเกอร์ออกจากเตาไฟฟ้า วางทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้ตะกอนแยกชั้นออกจากสารละลาย
- 2 กรองตะกอนทองแดง (II) ออกไซด์ด้วยชุดกรวยกรองและกระดาษกรอง โดยรินสารละลายใส่ด้านบนลงกระดาษกรองก่อนจากนั้นจึงเทสารที่เหลือพร้อมตะกอน จะได้ตะกอนดำของ  $\text{CuO}$  บนกระดาษกรอง สารละลายที่ไหลผ่านกระดาษกรองควรเป็นสารละลายใสไม่มีสี ใช้น้ำร้อน 10 mL ล้างตะกอนที่อยู่บนกระดาษกรอง ทั้งสารละลายที่ไหลผ่านกระดาษกรองและน้ำล้างตะกอน เก็บตะกอนที่ได้บนกระดาษกรองอย่างเดิม แล้วนำบีกเกอร์ที่ใช้ต้มมารองด้านล่างกรวย

ขั้นที่ 4 เปลี่ยนทองแดง (II) ออกไซด์ให้เป็นทองแดง (II) ซัลเฟตโดยปฏิกิริยาแทนที่สองต่อ

- 1 ตวงสารละลาย 6M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 mL แล้วค่อย ๆ รินลงไปในตะกอนดำที่อยู่บนกระดาษกรองเพื่อทำเปลี่ยนตะกอน  $\text{CuO}$  เป็นสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  โดยเก็บสารละลายสีฟ้าอ่อนของ  $\text{CuSO}_4$  ที่ไหลผ่านกระดาษกรองใส่ในบีกเกอร์ที่ใช้ในขั้นที่ 3
- 2 ถ้ายังมีตะกอนดำติดบนกระดาษกรอง ข้างบีกเกอร์หรือที่แท่งแก้วคน ให้ใช้หลอดหยดดูดสารละลายสีฟ้าในบีกเกอร์วนรอบบนตะกอนซ้ำจนตะกอนดำทั้งหมดละลายลงมาในบีกเกอร์ด้านล่าง

ขั้นที่ 5 เปลี่ยนทองแดง (II) ซัลเฟต ให้เป็นโลหะทองแดง โดยปฏิกิริยาแทนที่

- 1 ชั่งน้ำหนักของซามะระเหยเปล่า ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล บันทึกน้ำหนักที่ได้ตามความละเอียดของเครื่องชั่ง
- 2 นำผงสังกะสีประมาณ 0.3 g (ครึ่งช้อนตักสารเล็ก) แล้วค่อย ๆ เติมลงไปในบีกเกอร์สารละลาย  $\text{CuSO}_4$  จากขั้นตอนที่ 4 ที่ละน้อยพร้อมแกว่งบีกเกอร์ตลอดเวลาเพื่อให้สารเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของทองแดงที่ก้นบีกเกอร์และฟองแก๊สไฮโดรเจน เมื่อฟองแก๊สหมดถ้าสารละลายยังมีสีฟ้าให้เติมผงสังกะสีเพิ่มเล็กน้อย ทำซ้ำจนได้สารละลายใสไม่มีสี

- 3 ทิ้งให้ตะกอนทองแดงนอนกัน จากนั้นค่อย ๆ รินสารละลายใส่ด้านบนทิ้งจนเหลือแต่ตะกอนทองแดง สังเกตตะกอนในปิកเกอร์หากมีผงสังกะสีเหลือปะปนกับตะกอนทองแดง ให้หยดสารละลาย 6M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในสารละลายที่ละลายพร้อมแกว่งปิกเกอร์เพื่อกำจัดผงสังกะสีที่เหลือและปนมากับตะกอนทองแดง
- 4 ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 10 mL ทิ้งให้ตะกอนนอนกันแล้วรินน้ำล้างทิ้ง ทำซ้ำสองครั้ง
- 5 เทตะกอนทองแดงลงในชามระเหยที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปตั้งบนเตาไฟฟ้าที่ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 150 °C เพื่อระเหยน้ำจนตะกอนทองแดงแห้ง จากนั้นให้นำออกจากเตาไฟฟ้าทันทีเพื่อป้องกันไม่ให้ทองแดงเกิดปฏิกิริยาต่อวางชามระเหยทิ้งให้เย็น
- 6 สังเกตลักษณะของทองแดงที่ได้ ชั่งน้ำหนักของชามระเหยที่มีผงทองแดงเพื่อหาปริมาณทองแดงที่ได้กลับคืนมา



## บทที่ 3

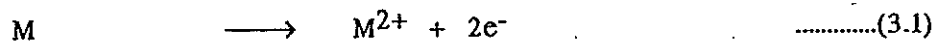
### ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

#### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน
2. เรียงลำดับความแรงของออกซิไดซิงเอเจนต์ และรีดิวซิงเอเจนต์ของโลหะและธาตุแฮโลเจน

#### บทนำ

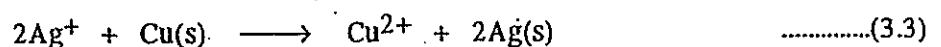
ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างอะตอม ซึ่งมีผลให้เกิดการเปลี่ยนวาเลนซ์ หรือเลขออกซิเดชันของอะตอมของธาตุที่มีการให้ และรับอิเล็กตรอน ปฏิกิริยานี้ประกอบด้วยสองปฏิกิริยาย่อย คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน แต่ละปฏิกิริยานี้เรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา (half reaction) ดังตัวอย่าง



ครึ่งปฏิกิริยา (3.1) นี้ เป็นปฏิกิริยาที่ให้อิเล็กตรอน เรียกว่าออกซิเดชัน (oxidation) M คือสารที่ให้อิเล็กตรอนออกมา 2 ตัว กลายเป็น  $M^{2+}$  ดังนั้น M จึงเป็นรีดิวซิงเอเจนต์หรือรีดิวเซอร์ ในขณะที่เดียวกันครึ่งปฏิกิริยา (3.2) มีการรับอิเล็กตรอน จึงเป็นปฏิกิริยารีดักชัน (reduction)  $X_2$  ก็เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์หรือออกซิแดนต์ เนื่องจาก  $X_2$  รับอิเล็กตรอนจากสาร M ทำให้มีประจุลบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น เราสามารถสรุปได้ว่า ถ้าสารใดที่รับอิเล็กตรอนหรือมีเลขออกซิเดชันลดลง (ประจุลบมากขึ้นหรือประจุบวกลดลง) กล่าวได้ว่าสารนั้นถูกรีดิวซ์หรือเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ ในทำนองเดียวกันสารที่ให้หรือสูญเสียอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (ประจุบวกเพิ่มขึ้น หรือประจุลบลดลง) กล่าวได้ว่าสารนั้นถูกออกซิไดส์หรือเป็นรีดิวซิงเอเจนต์

#### การเรียงลำดับความแรงของออกซิไดซิงเอเจนต์และรีดิวซิงเอเจนต์

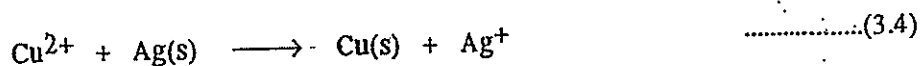
ความแรงของออกซิไดซิงเอเจนต์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับอิเล็กตรอน ทำนองเดียวกันความแรงของรีดิวซิงเอเจนต์ขึ้นอยู่กับความยากง่ายต่อการให้อิเล็กตรอน ออกซิไดซิงเอเจนต์ที่แรงมากมีความสามารถในการดึงคู่อิเล็กตรอนมาก รีดิวซิงเอเจนต์ที่แรงมากมีความสามารถในการดึงคู่อิเล็กตรอนน้อยที่สุดแต่ให้อิเล็กตรอนได้ง่ายที่สุด ตัวอย่างเช่นในปฏิกิริยาระหว่าง  $Ag^+$  กับโลหะทองแดง





$\text{Ag}^+$  เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่แรงกว่า  $\text{Cu}^{2+}$  เพราะปฏิกิริยาเกิดขึ้นแสดงว่า  $\text{Ag}^+$  มีความสามารถในการดึงคู่อิเล็กตรอนมากกว่า  $\text{Cu}^{2+}$  จึงดึงเอาอิเล็กตรอนจากอะตอมของทองแดง ทำนองเดียวกันโลหะทองแดงเป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่แรงกว่าโลหะเงิน เพราะโลหะทองแดงให้อิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า

ในทางกลับกันถ้าเอา  $\text{Cu}^{2+}$  มาทำปฏิกิริยากับโลหะเงิน ปฏิกิริยาจะไม่เกิดขึ้น นั่นคือไม่เกิดตะกอนทองแดง โลหะเงินก็ไม่ละลาย สารละลายก็ยังคงเป็นสีฟ้าเหมือนเดิม



ในกรณีนี้  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่อ่อนกว่า  $\text{Ag}^+$  และโลหะเงินเป็นรีดิวซิงเอเจนต์ที่อ่อนกว่าโลหะทองแดง จากสมบัตินี้เราจึงสามารถเรียงลำดับความแรงของออกซิไดซิงเอเจนต์และรีดิวซิงเอเจนต์ในปฏิกิริยา (3.3) ได้ดังนี้ ออกซิไดซิงเอเจนต์  $\text{Ag}^+$  แรงกว่า  $\text{Cu}^{2+}$  รีดิวซิงเอเจนต์  $\text{Cu}$  แรงกว่า  $\text{Ag}$

## การทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| หลอดทดลอง ขนาด 16 x 150 mm        | หลอดหยด (dropper) |
| บีกเกอร์ ขนาด 600 cm <sup>3</sup> | ตะเกียง           |
| แผ่นกระจก ขนาด 8 x 10 cm          | สามขา ตะแกรงลวด   |

### สารเคมีที่ใช้

| โลหะทองแดง                       | สังกะสี           | ฝอยทองแดง | ผงตะกั่ว                                 | น้ำคลอรีน | น้ำโบรมีน              |
|----------------------------------|-------------------|-----------|------------------------------------------|-----------|------------------------|
| 0.1 M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ | copper nitrate    |           | 0.1 M KI                                 |           | Potassium iodide       |
| 0.1 M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ | Lead nitrate      |           | 0.1 M $\text{AgNO}_3$                    |           | Silver nitrate         |
| 0.1 M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ | Zinc nitrate      |           | 0.1 M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ |           | Potassium ferricyanide |
| 0.1 M $\text{FeCl}_3$            | Ferric chloride   |           | 0.05 M $\text{I}_2$                      |           | Iodine                 |
| 0.1 M NaCl                       | Sodium chloride   |           | conc. $\text{NH}_4\text{OH}$             |           | Ammonium hydroxide     |
| 0.1 M KBr                        | Potassium bromide |           | $\text{CCl}_4$                           |           | Carbontetrachloride    |

### วิธีทดลอง

#### 1. โลหะและไอออนโลหะ

1.1 วางชิ้นโลหะทองแดงและสังกะสีอย่างละ 1 ชิ้น บนแผ่นกระจก หยดสารละลายที่แสดงไว้ในตาราง 3.1 บนชิ้นโลหะ 1 หยด ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง

1.2 ตักผงตะกั่ว (ปริมาณเท่าหัวไม้จิ้มฟัน) ใส่ลงในหลอดทดลอง 2 หลอด เติมน้ำละลาย  $\text{Cu}^{2+}$  1 cm<sup>3</sup> ลงในหลอดที่หนึ่ง และ  $\text{Zn}^{2+}$  ในหลอดที่สอง เขย่า แล้วทิ้งไว้ 15 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลง

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น เปลี่ยนสี เกิดตะกอน หรือเกิดแก๊ส แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายนั้น บันทึกผลการทดลองลงบนตารางในรายงาน และตอบคำถามที่กำหนดให้ เมื่อเสร็จการทดลอง ให้นำโลหะที่ใช้แล้วใส่ในภาชนะที่กำหนดให้ ห้ามทิ้งลงถังขยะ

ตารางที่ 3.1 สารละลายที่ต้องหยดบนโลหะแต่ละชนิด

| โลหะ | สารละลายที่ใช้ทดลอง   |
|------|-----------------------|
| Cu   | $Zn^{2+}$ , $Pb^{2+}$ |
| Zn   | $Cu^{2+}$ , $Pb^{2+}$ |
| Pb   | $Cu^{2+}$ , $Zn^{2+}$ |

## 2. แอลโลเจนและแฮไลด์

แอลโลเจน (Halogen) มีสมบัติละลายใน  $CCl_4$  ได้ดีกว่าในน้ำ แต่แฮไลด์ (Halide) ไม่ละลายใน  $CCl_4$  เราสามารถทราบว่าได้มีแอลโลเจนชนิดใดละลายอยู่ใน  $CCl_4$  โดยสังเกตสีในชั้น  $CCl_4$

ตาราง 3.2 สีของแอลโลเจนในชั้น  $CCl_4$

| halogen ใน $CCl_4$ | สีที่เกิด    |
|--------------------|--------------|
| $Cl_2$             | ไม่มีสี      |
| $Br_2$             | สีเหลือง-ส้ม |
| $I_2$              | ส้มชมพู-ม่วง |

**\*ข้อควรระวัง**  $Br_2$  ทำให้เกิดการแสบและคันคล้ายโดนไฟไหม้เมื่อถูกผิวหนัง น้ำคลอรีนและน้ำโบรมีนจะปล่อยแก๊ส  $Cl_2$  และ  $Br_2$  ออกมาเมื่อหายใจเข้าไปในปอด ดังนั้นเวลาใช้สารละลายพวกนี้จึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ และต้องวางไว้ในตู้ควั่นเท่านั้น

จัดหลอดทดลอง 6 หลอด วางเรียงในที่วางหลอด และทำเครื่องหมาย 1 ถึง 6 บนหลอดเหล่านั้น แล้วเทสารละลายแฮไลด์  $1\text{ cm}^3$  ลงในหลอดทั้ง 6 ดังนี้

สารละลาย NaCl ลงในหลอดที่ 1 และ 2

สารละลาย KBr ลงในหลอดที่ 3 และ 4

สารละลาย KI ลงในหลอดที่ 5 และ 6

เติมน้ำโบรมีน 5 หยด ลงในหลอดที่ 1 และ 6 ทำนองเดียวกัน เติมน้ำคลอรีนลงใน หลอดที่ 3 และ 5 และสารละลายไอโอดีนลงในหลอดที่ 2 และ 4 (ดูการผสมจากตาราง 3.3) :

เติม  $\text{CCl}_4$  ลงในหลอดทั้งหกหลอดละ  $1 \text{ cm}^3$  เขย่าแรง ๆ หลาย ๆ ที แล้วปล่อยให้ชั้นทั้งสองแยกจากกัน น้ำและ  $\text{CCl}_4$  เป็นของเหลวที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (immiscible)  $\text{CCl}_4$  ซึ่งมีความต้งจำเพาะสูงกว่าน้ำจะแยกเป็นชั้นอยู่ข้างล่าง ดังนั้นแอโลเจนที่มีอยู่หรือที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะละลายอยู่ในชั้นของ  $\text{CCl}_4$  และให้สีต่าง ๆ ออกมา สังเกต และบันทึกสีของชั้น  $\text{CCl}_4$

จากผลการทดลอง เราสามารถบอกได้ว่ามีแอโลเจนชนิดใดเกิดขึ้นหลังการเขย่า และปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเกิดขึ้นหรือไม่

ตารางที่ 3.3 สารละลายที่ต้องผสมกันในแต่ละหลอด

| หลอดที่ | สารละลาย halide<br>( $1 \text{ cm}^3$ ) | สารละลาย halogen<br>(5 หยด) |
|---------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1       | NaCl                                    | $\text{Br}_2$               |
| 2       | NaCl                                    | $\text{I}_2$                |
| 3       | KBr                                     | $\text{Cl}_2$               |
| 4       | KBr                                     | $\text{I}_2$                |
| 5       | KI                                      | $\text{Cl}_2$               |
| 6       | KI                                      | $\text{Br}_2$               |

### 3. โลหะกับแอโลเจน

3.1 ปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับคลอรีน ใส่ฝอยทองแดงลงในหลอดทดลองเล็กน้อย แล้วเติมน้ำคลอรีน  $5 \text{ cm}^3$  เขย่า 2-3 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจุ่มหลอดในบีกเกอร์น้ำเดือดสักครู่ เพื่อไล่คลอรีนอิสระ ( $\text{Cl}_2$ ) ที่มีเหลืออยู่ในสารละลาย ถ้ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะได้คลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) และทองแดงไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เป็นผลผลิต เทสารละลายที่ได้ลงในหลอดทดลองสองหลอด ๆ ละ  $1 \text{ cm}^3$  แล้วนำไปทดสอบ  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{Cu}^{2+}$  ต่อไป

3.2 ปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับโบรมีน ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1- แต่ใช้น้ำโบรมีนแทนน้ำคลอรีน (เขย่า, ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจุ่มหลอดในบีกเกอร์น้ำเดือดสักครู่) ถ้ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะได้โบรไมด์ ( $\text{Br}^-$ ) และทองแดงไอออน ( $\text{Cu}^{2+}$ ) เป็นผลผลิต เทสารละลายที่ได้ลงในหลอดทดลองสองหลอด ๆ ละ  $1 \text{ cm}^3$  แล้วนำไปทดสอบ  $\text{Br}^-$  และ  $\text{Cu}^{2+}$

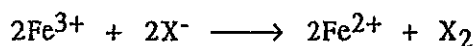
3.3 ปฏิกริยาระหว่างทองแดงกับไอโอดีน ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.1 แต่ใช้สารละลายไอโอดีนแทนน้ำกลอรีน (เขย่า; ตั้งไว้ 30 นาที แล้วจุ่มหลอดในบีกเกอร์น้ำเดือดสักครู่) ถ้ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะได้ไอโอไดด์ ( $I^-$ ) และทองแดงไอออน ( $Cu^{2+}$ ) เป็นผลผลิต เทสารละลายที่ได้ลงในหลอดทดลองสองหลอด ๆ ละ  $1\text{ cm}^3$  แล้วนำไปทดสอบ  $I^-$  และ  $Cu^{2+}$

ทดสอบ  $Cl^-$ ,  $Br^-$  และ  $I^-$  เดิม  $0.1\text{ M AgNO}_3$  5 หยด ลงในสารละลายที่จะทดสอบ ถ้ามี  $Cl^-$  อยู่จะเกิดตะกอนสีขาวของ  $AgCl$  ถ้ามี  $Br^-$  จะเกิดตะกอนสีเหลืองอ่อนของ  $AgBr$  และถ้ามี  $I^-$  จะเกิดตะกอน สีเหลืองของ  $AgI$

ทดสอบ  $Cu^{2+}$  เดิม conc.  $NH_4OH$  5 หยด ลงในสารละลายที่จะทดสอบ ถ้ามี  $Cu^{2+}$  จะเกิดสีน้ำเงินของ  $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$  บันทึกผลการทดสอบไอออนทั้งหมดและตอบคำถามที่กำหนดให้

#### 4. ไอออนของเหล็กกับแฮไลด์

เมื่อ  $Fe^{3+}$  ทำปฏิกิริยากับแฮไลด์ จะเกิด  $Fe^{2+}$  และแฮไลเจนเป็นผลผลิต



4.1 เดิม  $0.1\text{ M KBr}$   $2\text{ cm}^3$  ลงในหลอดทดลองที่ 1

เดิม  $0.1\text{ M KI}$   $2\text{ cm}^3$  ลงในหลอดทดลองที่ 2

4.2 เดิม  $0.1\text{ M FeCl}_3$   $1\text{ cm}^3$  ลงในหลอดที่ 1 และ 2 ตามด้วย  $CCl_4$  (ประมาณ  $1\text{ cm}^3$ )

4.3 เขย่าและสังเกตการเปลี่ยนแปลงในชั้น  $CCl_4$  (ชั้นล่าง) ว่ามีแฮไลเจนใดเกิดขึ้น (เปรียบเทียบกับสีจากตาราง 3.2)

4.4 ใช้หลอดหยดดูดสารละลายส่วนบนของหลอดที่ 1 และ 2 ลงในหลอดทดลองใหม่ 2 หลอด หลอดละ 10 หยด เพื่อใช้ในการทดสอบ  $Fe^{2+}$

ทดสอบ  $Fe^{2+}$  เดิม  $0.1\text{ M K}_3[Fe(CN)_6]$  5 หยด ลงในสารละลายที่จะทดสอบ ถ้ามี  $Fe^{2+}$  จะได้ตะกอนสีน้ำเงินเข้มของ  $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$  ในสารละลายสีน้ำเงินแกมเขียว แต่ถ้ามี  $Fe^{3+}$  จะได้สารละลายสีน้ำตาลแกมเขียว

## บทที่ 4

# แบบจำลองโมเลกุลและรูปทรงทางเรขาคณิต ของโมเลกุล

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจทฤษฎี VSEPR และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้
2. เพื่อให้สามารถจำแนกโมเลกุลหรือไอออนให้อยู่ในรูปของ  $AX_mE_n$  และทำนายการจัดตัวของพันธะในโมเลกุลหรือไอออนที่มีสัญลักษณ์แบบ  $AX_mE_n$  ได้
3. เพื่อให้สามารถวาดรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุลหรือไอออนแบบง่าย ๆ ได้
4. เพื่อให้เข้าใจในเหตุผลของการเบี่ยงเบนรูปร่างโมเลกุลจริงจากรูปร่างโมเลกุลทางอุดมคติ

### บทนำ

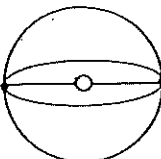
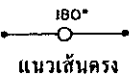
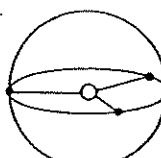
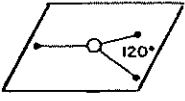
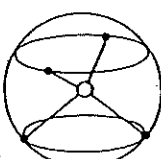
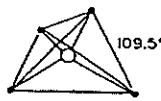
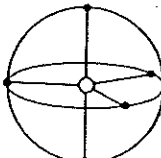
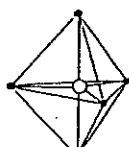
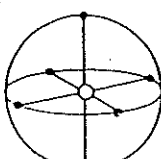
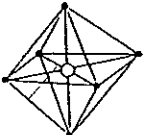
การทำนายรูปร่างโมเลกุลอาจใช้หลักที่เรียกว่าทฤษฎีการผลักคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ (Valence Shell Electron Pair Repulsion สัญลักษณ์ย่อคือ VSEPR) ทฤษฎีนี้ใช้กับโมเลกุลหรือไอออนที่อะตอมยึดกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยการพิจารณาถึงการผลักกันระหว่างคู่อิเล็กตรอนที่มีอยู่ในวงเวเลนซ์ (valence shell) ของอะตอมกลางในโมเลกุลหรือไอออนที่สนใจ โดยคู่อิเล็กตรอนเหล่านี้จะจัดตัวเืองรอบอะตอมกลางใน 3 มิติ เพื่อลดแรงผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนให้เหลือน้อยที่สุด นั่นคือคู่อิเล็กตรอนรอบอะตอมกลางจะพยายามอยู่ห่างกันให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

พันธะโคเวเลนต์เป็นพันธะที่มีทิศทาง พันธะชนิดนี้เกิดจากอะตอมที่สร้างพันธะกันนำเวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมมาใช้ร่วมกัน การใช้ทฤษฎี VSEPR ทำนายรูปร่างทางเรขาคณิตของโมเลกุลซึ่งประกอบด้วยทิศทางพันธะ มุมพันธะ และความยาวพันธะ ให้เริ่มจากการเขียนสูตรลิวอิสของโมเลกุล นับคู่อิเล็กตรอนรอบอะตอมกลาง แล้วพิจารณาว่าคู่อิเล็กตรอนเหล่านั้นควรจัดตัวในรูปแบบใดจึงจะมีแรงผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนน้อยที่สุด ตัวอย่างสูตรลิวอิสของโมเลกุลบางชนิด

|                                    |                |                                           |                                                                   |                                                                  |                                                              |
|------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| สูตรลิวอิส                         | $Cl : Hg : Cl$ | $Cl : \overset{\overset{Cl}{ }}{Al} : Cl$ | $H : \overset{\overset{H}{ }}{\underset{\underset{H}{ }}{C}} : H$ | $\begin{array}{c} Br \\   \\ Br : P : Br \\   \\ Br \end{array}$ | $\begin{array}{c} F \\   \\ F : S : F \\   \\ F \end{array}$ |
| สูตรโมเลกุล                        | $HgCl_2$       | $AlCl_3$                                  | $CH_4$                                                            | $PBr_5$                                                          | $SF_6$                                                       |
| จำนวนคู่อิเล็กตรอน<br>รอบอะตอมกลาง | 2              | 3                                         | 4                                                                 | 5                                                                | 6                                                            |

อะตอมกลางของโมเลกุลเหล่านี้มีแต่คู่อิเล็กตรอนคู่พันธะ (bonding electron) ไม่มีคู่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) และความยาวพันธะในแต่ละโมเลกุลเท่ากัน เนื่องจากอะตอมกลางใน

ตาราง 4.1 แบบการจัดตัวของคู่อิเล็กตรอนรอบอะตอมกลาง และรูปร่างโมเลกุล

| จำนวนคู่อิเล็ก-<br>ตรอนรอบ<br>อะตอมกลาง | แบบการจัดตัว<br>ของคู่อิเล็กตรอน<br>รอบอะตอมกลาง                                    | มุมระหว่าง<br>พันธะและรูปร่าง<br>โมเลกุล                                                                           | สูตร $AX_m$ | ตัวอย่าง                                 |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 2                                       |    | <br>แนวเส้นตรง                    | $AX_2$      | $Cl-Hg-Cl$<br><u><math>HgCl_2</math></u> |
| 3                                       |   | <br>ระนาบสามเหลี่ยม               | $AX_3$      | $F-B-F$<br><u><math>BF_3</math></u>      |
| 4                                       |  | <br>ทรงสี่หน้า                  | $AX_4$      | $Cl-C-Cl$<br><u><math>CCl_4</math></u>   |
| 5                                       |  | <br>พีระมิดคู่<br>ทรงสามเหลี่ยม | $AX_5$      | $Cl-P-Cl$<br><u><math>PCl_5</math></u>   |
| 6                                       |  | <br>ทรงแปดหน้า                  | $AX_6$      | $F-S-F$<br><u><math>SF_6</math></u>      |

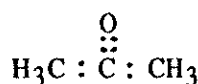
แต่ละโมเลกุลสร้างพันธะกับอะตอมชนิดเดียวกัน ทิศทางของพันธะและมุมพันธะจะเป็นเช่นไร ขึ้นอยู่กับแรงผลักรันระหว่างคู่อิเล็กตรอนรอบอะตอมกลาง ถ้าวงอะตอมกลาง (สมมติให้เป็นอะตอม A) ไว้ที่จุดศูนย์กลางของลูกทรงกลม และวงอะตอมที่สร้างพันธะกับอะตอมกลาง (สมมติให้เป็นอะตอม X) ไว้ที่ผิวของ



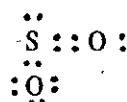
ทรงกลม และใช้เส้นตรงแทนความยาวพันธะ ตารางที่ 4.1 จะแสดงถึงทิศทางทางพันธะ มุมพันธะ และรูปร่างทางเรขาคณิตของโมเลกุลที่มีสูตรแบบ  $AX_m$  (เมื่อ  $m$  = จำนวนอะตอมของ X) ในโมเลกุลที่อะตอมกลางสร้างพันธะคู่หรือพันธะสาม กับอะตอมรอบข้าง ทฤษฎี VSEPR จะคิดจำนวนอิเล็กตรอนเพียง 1 คู่ต่อ 1 พันธะ เช่น อะซิโตน และ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ นับอิเล็กตรอนรอบอะตอมกลางได้ 3 คู่ และ 2 คู่ ตามลำดับ และทั้งสองสารมีสูตรแบบ  $AX_2$



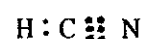
แอมโมเนีย



อะซิโตน



ซัลเฟอร์ไดออกไซด์



ไฮโดรเจนไซยาไนด์

กรณีที่มีโมเลกุลหรือไอออนมีทั้งอิเล็กตรอนคู่พันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว เช่น แอมโมเนีย หรือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รูปร่างของโมเลกุลหรือไอออนจะเบี่ยงเบนไปจากรูปร่างที่นายโดยทฤษฎี VSEPR ข้างต้น การพิจารณารูปร่างของโมเลกุลหรือไอออนเหล่านี้จะพิจารณาเฉพาะอะตอมกลางและอะตอมที่สร้างพันธะเท่านั้น อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะไม่นำมาพิจารณาด้วย ถ้าโมเลกุลที่อะตอมกลางมีทั้งอิเล็กตรอนคู่พันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมี สูตรแบบ  $AX_mE_n$  โดย E เป็นสัญลักษณ์แทนคู่อิเล็กตรอนโดดเดี่ยว n แทนจำนวนคู่อิเล็กตรอน คู่โดดเดี่ยว รูปร่างของโมเลกุลหรือไอออนจะเป็นไปตามตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 รูปร่างของโมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

| สูตร      | รูปร่างโมเลกุล       | ตัวอย่าง               | ขนาดของมุมพันธะ           |
|-----------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| $AX_2E$   | รูป V                | $\text{SO}_2$          | $< 120^\circ$             |
| $AX_3E$   | พีระมิดฐานสามเหลี่ยม | $\text{H}_3\text{O}^+$ | $< 109.5^\circ$           |
| $AX_4E$   | ไม้กระดานหก          | $\text{TeCl}_4$        | $< 90^\circ, < 120^\circ$ |
| $AX_5E$   | พีระมิดฐานจัตุรัส    | $\text{IF}_5$          | $< 90^\circ$              |
| $AX_2E_2$ | รูป V                | $\text{H}_2\text{O}$   | $< 109.5^\circ$           |
| $AX_3E_2$ | รูป T                | $\text{IF}_3$          | $< 90^\circ$              |
| $AX_4E_2$ | จตุรัสระนาบ          | $\text{XeF}_4$         | $90^\circ$                |
| $AX_2E_3$ | เส้นตรง              | $\text{ICl}_2^-$       | $180^\circ$               |

ขนาดของมุมพันธะในโมเลกุลที่มีรูปร่างเบี่ยงเบนไปจากทฤษฎี VSEPR อธิบายได้โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของอาณาเขตการกระจายอิเล็กตรอนของอิเล็กตรอนคู่พันธะ อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว อิเล็กตรอนที่สร้างพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม

เมื่อเปรียบเทียบอิเล็กตรอนคู่พันธะกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะถูกดึงดูดโดยนิวเคลียสของอะตอมเพียงอะตอมเดียว อาณาเขตการกระจายอิเล็กตรอนจึงกว้างกว่าของอิเล็กตรอนคู่พันธะ ซึ่งถูกดึงดูดโดยอะตอมสองอะตอม อิเล็กตรอนสองคู่ และสามคู่ ในพันธะสองและพันธะสาม จะมี

อาณาเขตการกระจายอิเล็กตรอนมากกว่าอิเล็กตรอนหนึ่งคู่ในพันธะเดี่ยว อาจกล่าวได้ว่าถ้ามีจำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในพันธะมาก อาณาเขตของการกระจายอิเล็กตรอนก็จะมากขึ้นด้วย เมื่ออาณาเขตของการกระจายอิเล็กตรอนแตกต่างกัน ความสามารถในการผลักกันระหว่างอิเล็กตรอนแบบต่าง ๆ ก็ย่อมแตกต่างกันด้วย อาจสรุปอิทธิพลของการผลักกันของอิเล็กตรอนแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

คูโคเคียว-คูโคเคียว > คูโคเคียว-คูพันธะ > คูพันธะ-คูพันธะ (คูพันธะสาม > คูพันธะสอง > คูพันธะเดี่ยว)

ในโมเลกุลที่อะตอมกลางสร้างพันธะอยู่กับอะตอมที่มีสภาพไฟฟ้าลบ (อิเล็กโตรเนกาติวิตี) ที่แตกต่างกัน ความยาวพันธะและมุมพันธะจะเบี่ยงเบนไปจากทฤษฎี VSEPR อะตอมที่มีสภาพไฟฟ้าลบสูงจะดึงอิเล็กตรอนคู่พันธะเข้าหาตัวเองได้มาก ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนรอบอะตอมกลางน้อยลง อันอาจการผลักกันระหว่างอิเล็กตรอนรอบอะตอมกลางลดลงทำให้มุมพันธะแคบลง

## การทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

ลูกปิงปอง

เข็มและด้าย

ดินน้ำมันสีแดง และสีเขียว

ไม้จิ้มฟัน

ใบมิดโคน

## 1) รูปร่างโมเลกุลหรือไอออนที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคูโคเคียว

### 1.1 สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนด้วยลูกปิงปอง เปรียบเทียบกับทฤษฎี VSEPR

เนื่องจากอิเล็กตรอนไม่อยู่นิ่งแต่เคลื่อนที่ตลอดเวลา และครอบครองอาณาบริเวณส่วนหนึ่ง ในการทดลองนี้จะให้ลูกปิงปองแทนอาณาบริเวณการกระจายอิเล็กตรอนคู่พันธะ ให้ปมของเชือกที่ผูกลูกปิงปองให้ติดกันแทนตำแหน่งอะตอมกลาง และปมของเชือกที่ปลายของลูกปิงปองแต่ละลูกแทนตำแหน่งของอะตอมที่สร้างพันธะกับอะตอมกลาง

1.1.1 สันเข็มด้วยเชือกยาวประมาณ 15 cm ขมวดปมที่ปลายเชือกด้านหนึ่ง

1.1.2 นำลูกปิงปองมา 1 ลูก แหวงด้วยเข็มในข้อ 1.1.1 ให้ทะลุเส้นผ่าศูนย์กลาง ดึงเข็มผ่านลูกปิงปอง จนปลายเชือกด้านขมวดปมอยู่ที่ผิวของลูกปิงปอง นำเข็มออกไป

1.1.3 นำลูกปิงปองมาอีก 19 ลูก แต่ละลูกนำไปทำการทดลองซ้ำ จากข้อ 1.1.1 ถึง 1.1.2

1.1.4 นำลูกปิงปองในข้อ 1.1.3 มา 2 ลูก ผูกลูกปิงปองทั้งสองให้สัมผัสกัน ด้วยเชือกจากลูกปิงปองทั้งสอง จะได้ลูกปิงปอง 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยลูกปิงปอง 2 ลูก สังเกตรูปร่างและการจัดตัวของลูกปิงปองทั้งสอง วาดรูปลูกปิงปองและตำแหน่งที่เชือกผูกติดกันลงในตารางรายงานการทดลอง

1.1.5 ทำการทดลองข้อ 1.1.4 ซ้ำอีก 3 ครั้ง แต่ละครั้งจะได้ลูกปิงปอง 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยลูกปิงปอง 2 ลูก

1.1.6 นำลูกปิงปองในข้อ 1.1.3 มาอีก 3 ลูก ผูกลูกปิงปองทั้งสามเข้าด้วยกัน โดยให้ลูกปิงปองแต่ละลูกสัมผัสกัน จะได้ลูกปิงปองอีก 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยลูกปิงปอง 3 ลูก สังเกตรูปร่างและการจัดตัวของลูกปิงปองทั้งสาม วาดรูปลูกปิงปองและตำแหน่งที่เชือกผูกติดกันไว้ในตารางรายงานการทดลอง

1.1.7 ทำการทดลองข้อ 1.1.6 ซ้ำอีก 3 ครั้ง แต่ละครั้งจะได้ลูกปิงปอง 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยลูกปิงปอง 3 ลูก

1.1.8 นำชุดลูกปิงปองจากข้อ 1.1.5 มา 2 ชุด ผูกเข้าด้วยกัน โดยให้ลูกปิงปองแต่ละลูกสัมผัสกัน สังเกตรูปร่างและการจัดตัวของลูกปิงปองทั้ง 4 วาดรูปลูกปิงปองและตำแหน่งที่เชือกผูกติดกันไว้ในตารางรายงานการทดลอง

1.1.9 นำชุดลูกปิงปองจากข้อ 1.1.4 ผูกเข้ากับชุดลูกปิงปองในข้อ 1.1.6 ให้ลูกปิงปองแต่ละลูกสัมผัสกัน สังเกตรูปร่างและการจัดตัวของลูกปิงปองทั้ง 5 วาดรูปลูกปิงปองและตำแหน่งที่เชือกผูกติดกันไว้ในตารางรายงานการทดลอง

1.1.10 นำชุดลูกปิงปองจากข้อ 1.1.7 มา 2 ชุด ผูกลูกปิงปองเข้าด้วยกัน โดยให้ลูกปิงปองแต่ละลูกสัมผัสกัน สังเกตรูปร่างและการจัดตัวของลูกปิงปองทั้ง 6 วาดรูปลูกปิงปองและตำแหน่งที่เชือกผูกติดกันไว้ในตารางรายงานการทดลอง

1.1.11 จากภาพลูกปิงปองแบบ 2 ลูก 3 ลูก 4 ลูก 5 ลูก และ 6 ลูก ที่วาดไว้ในรายงานการทดลอง ให้เขียนรูปภาพแสดงทิศทางการพันธะในภาพรูปปิงปองแต่ละแบบ โดยลากเส้นตรงจากตำแหน่งที่เชือกผูกติดกัน ผ่านจุดศูนย์กลางของลูกปิงปองทุกลูก ไปสิ้นสุดที่เส้นรอบวงของลูกปิงปองแต่ละลูก

1.1.12 จากภาพที่วาดไว้จากข้อ 1.1.11 จงคาดคะเนมุมพันธะในภาพแต่ละภาพ บันทึกในรายงานการทดลอง แล้วเปรียบเทียบมุมที่คาดคะเนได้กับมุมในตาราง 4.1

1.1.13 รูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุลที่อะตอมกลางสร้างพันธะเดียวกับอะตอมอื่นแบบ 2, 3, 4, 5, 6 พันธะควรเป็นอย่างไร บันทึกในรายงานการทดลอง

1.1.14 ใช้ใบมีดโกนตัดเชือกที่ผูกลูกปิงปองทั้งหมดและนำเชือกออกไป ตอนนี้จะได้ลูกปิงปอง 20 ลูก แต่ละลูกมีรู 2 รู เก็บลูกปิงปองเหล่านี้ไว้ทดลองในข้อ 2.1

## 1.2 สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนโดยใช้ดินน้ำมันและไม้จิ้มฟัน

ให้ดินน้ำมันสีแดงแทนอะตอมกลาง(A) ดินน้ำมันสีเขียวแทนอะตอมที่สร้างพันธะกับอะตอมกลาง (X) และให้ไม้จิ้มฟันแทนพันธะเคมี

1.2.1 ปั้นดินน้ำมันสีแดงให้เป็นลูกทรงกลม จำนวน 5 ลูก แต่ละลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 cm

1.2.2 ปั้นดินน้ำมันสีเขียวให้เป็นลูกทรงกลม จำนวน 20 ลูก แต่ละลูกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 cm

1.2.3 สร้างแบบจำลองโมเลกุลที่มีสูตรแบบ  $AX_m$  เมื่อ  $m = 2, 3, 4, 5, 6$

1.2.3.1 สูตรแบบ  $AX_2$  ใช้ดินน้ำมันสีแดง 1 ลูก ดินน้ำมันเขียว 2 ลูก ไม้จิ้มฟัน 2 อัน

1.2.3.2 สูตรแบบ  $AX_3$  " 1 ลูก " 3 ลูก " 3 อัน

|         |                |                   |       |                |       |            |       |
|---------|----------------|-------------------|-------|----------------|-------|------------|-------|
| 1.2.3.1 | สูตรแบบ $AX_4$ | ใช้ดินน้ำมันสีแดง | 1 ลูก | ดินน้ำมันเขียว | 4 ลูก | ไม้จิ้มฟัน | 4 อัน |
| 1.2.3.4 | สูตรแบบ $AX_5$ | "                 | 1 ลูก | "              | 5 ลูก | "          | 5 อัน |
| 1.2.3.5 | สูตรแบบ $AX_6$ | "                 | 1 ลูก | "              | 6 ลูก | "          | 6 อัน |

ในการสร้างแบบจำลองโมเลกุลแต่ละแบบ ให้ใช้มุมพันธะที่คาดคะเนได้จากการทดลองในข้อ 1.1.12 วาดภาพแบบจำลองโมเลกุลในรายงานการทดลอง และบอกรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุล

## 2. รูปร่างโมเลกุลหรือไอออนที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

2.1 สร้างแบบจำลองโมเลกุลโดยใช้ดินน้ำมัน ไม้จิ้มฟัน และ ลูกปิงปอง ให้ดินน้ำมันสีแดงแทนอะตอมกลาง ดินน้ำมันสีเขียวแทนอะตอมที่สร้างพันธะกับอะตอมกลาง ใช้ไม้จิ้มฟันแทนพันธะเคมี ลูกปิงปองแทนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (ใช้ลูกปิงปอง 9 ลูก จากข้อ 1.1.14)

สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนที่มีสูตรแบบ  $AX_mE_n$  เมื่อ E เป็นสัญลักษณ์แทนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว n เป็นจำนวนคู่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

2.1.1 สูตรแบบ  $AX_2E$  ทำโดยเปลี่ยนดินน้ำมันสีเขียว ในข้อ 1.2.3.2 1 ลูก ด้วยลูกปิงปอง 1 ลูก

2.1.2 สูตรแบบ  $AX_3E$  ทำโดยเปลี่ยนดินน้ำมันสีเขียว ในข้อ 1.2.3.3 1 ลูก ด้วยลูกปิงปอง 1 ลูก

2.1.3 สูตรแบบ  $AX_2E_2$  ทำโดยเปลี่ยนดินน้ำมันสีเขียว ในข้อ 2.1.2 1 ลูก ด้วยลูกปิงปอง 1 ลูก

2.1.4 สูตรแบบ  $AX_4E$ ,  $AX_3E_2$  และ  $AX_2E_3$  ทำโดยเปลี่ยนดินน้ำมันสีเขียวจากข้อ 1.2.3.4 1 ลูก, 2 ลูก และ 3 ลูก ด้วยลูกปิงปอง 1 ลูก, 2 ลูก และ 3 ลูก ตามลำดับ

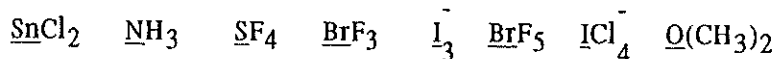
2.1.5 สูตรแบบ  $AX_5E$  และ  $AX_4E_2$  ทำโดยเปลี่ยนดินน้ำมันสีเขียวจากข้อ 1.2.3.5 จำนวน 1 และ 2 ลูก ด้วยลูกปิงปอง 1 และ 2 ลูก ตามลำดับ

2.1.6 จงคาดคะเนมุมพันธะที่ควรจะเป็นในแบบจำลองโมเลกุล ที่มีสูตรแบบ  $AX_mE_n$  (ในข้อ 2.1.1-2.1.5) โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของอาณาเขตการกระจายอิเล็กตรอน ดังได้กล่าวไว้ในบทนำ และปรับมุมพันธะในแบบจำลองโมเลกุลแต่ละแบบตามมุมพันธะที่คาดคะเนไว้ วาดรูปลงในรายงานการทดลอง

2.1.7 จงทำนายรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุลหรือไอออนที่มีสูตรแบบ  $AX_mE_n$  (ในข้อ 2.1.6) อย่าลืมว่าการพิจารณารูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุล จะพิจารณาเฉพาะอะตอมกลางและอะตอมที่สร้างพันธะเท่านั้น อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวจะไม่นำมาพิจารณาด้วย

### 2.2 สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนโดยพิจารณาจากสูตรลิวอิส

2.2.1 จงเขียนสูตรลิวอิสของโมเลกุลและไอออนต่อไปนี้ อะตอมที่ขีดเส้นใต้คืออะตอมกลาง



2.2.2 เขียนสูตรโมเลกุลหรือไอออนในข้อ 2.2.1 ในรูปของ  $AX_mE_n$

2.2.3 จงทำนายรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุลและไอออนในข้อ 2.2.1

ปฏิบัติการ 403.....

ชื่อ ..... คณะ ..... หมู่ ..... เบอร์คิว .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

รายงานการทดลองเรื่องแบบจำลองโมเลกุลและรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุล

1. รูปร่างโมเลกุลหรือไอออนที่อะตอมกลางไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

1.1. สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนด้วยลูกปิงปอง

| จำนวนลูก<br>ปิงปอง | ภาพลูกปิงปอง | รูปภาพแสดง<br>ทิศทางพันธะ | มุมพันธะ | รูปทรงทางเรขาคณิตของ<br>โมเลกุล |
|--------------------|--------------|---------------------------|----------|---------------------------------|
| 2                  |              |                           |          |                                 |
| 3                  |              |                           |          |                                 |
| 4                  |              |                           |          |                                 |
| 5                  |              |                           |          |                                 |
| 6                  |              |                           |          |                                 |

## 1.2 สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนโดยใช้ดินน้ำมันและไม้จิ้มฟัน

| สูตรแบบ         | ภาพโมเลกุล | รูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุล |
|-----------------|------------|-----------------------------|
| AX <sub>2</sub> |            |                             |
| AX <sub>3</sub> |            |                             |
| AX <sub>4</sub> |            |                             |
| AX <sub>5</sub> |            |                             |
| AX <sub>6</sub> |            |                             |

2. รูปร่างโมเลกุลหรือไอออนที่อะตอมกลางมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว

2.1 สร้างแบบจำลองโมเลกุลหรือไอออนโดยใช้คินน้ำมัน ไม้จิ้มฟัน และลูกปัดปอง

| สูตรแบบ   | ภาพ | รูปทรงทางเรขาคณิต | มุมพันธะ |
|-----------|-----|-------------------|----------|
| $AX_2E$   |     |                   |          |
| $AX_3E$   |     |                   |          |
| $AX_2E_2$ |     |                   |          |
| $AX_3E_2$ |     |                   |          |
| $AX_4E$   |     |                   |          |
| $AX_2E_3$ |     |                   |          |
| $AX_5E$   |     |                   |          |
| $AX_4E_2$ |     |                   |          |

2.2 ทำนายรูปทรงทางเรขาคณิตของโมเลกุลหรือไอออนโดยพิจารณาจากสูตรลิวอิส  
อะตอมที่ขีดเส้นใต้คืออะตอมกลาง

| โมเลกุลหรือไอออน                      | สูตรลิวอิส | สูตรแบบ $AX_mE_n$ | รูปทรงทางเรขาคณิต |
|---------------------------------------|------------|-------------------|-------------------|
| $\underline{\text{Sn}}\text{Cl}_2$    |            |                   |                   |
| $\underline{\text{N}}\text{H}_3$      |            |                   |                   |
| $\underline{\text{S}}\text{F}_4$      |            |                   |                   |
| $\underline{\text{Br}}\text{F}_3$     |            |                   |                   |
| $\underline{\text{I}}_3^-$            |            |                   |                   |
| $\underline{\text{Br}}\text{F}_5$     |            |                   |                   |
| $\underline{\text{I}}\text{Cl}_4^-$   |            |                   |                   |
| $\underline{\text{O}}(\text{CH}_3)_2$ |            |                   |                   |



## บทที่ 5

### การไทเทรต

Titrimetric analysis เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสาร หรือหาความเข้มข้นของสารละลาย โดยนำเอาสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ มาทำปฏิกิริยากับสารที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ซึ่งเรียกว่า สารละลายมาตรฐาน (standard solution) ปกติสารละลายมาตรฐานบรรจุไว้ในอุปกรณ์วัดปริมาตรที่เรียกว่า บิวเรต (buret) ส่วนสารที่จะนำมาวิเคราะห์ซึ่งทราบปริมาตรแล้ว บรรจุอยู่ในขวดรูปกรวย (Erlenmeyer flask) ขบวนการหยดสารละลายมาตรฐานจากบิวเรตลงในขวดรูปกรวย จนกระทั่งสารทั้งสองทำปฏิกิริยากันสมบูรณ์พอดี เรียกว่า การไทเทรต (Titration) จุดที่สารทำปฏิกิริยาสมบูรณ์พอดีกันเรียกว่า จุดสมมูล (equivalence point)

จากความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน และการวัดปริมาตรที่แน่นอนของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ก็จะนำมาคำนวณหาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายที่นำมาวิเคราะห์ได้

ในการไทเทรตนั้น จะหาจุดที่ใกล้เคียงกับจุดสมมูลได้ โดยดูการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ซึ่งอาจจะเป็นการเปลี่ยนสีของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน หรือการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่ใส่ลงไป ซึ่งจุดที่สีของสารละลายเปลี่ยนไปนี้เรียกว่า จุดยุติ (end point) ของการไทเทรต

สารละลายที่อยู่ในบิวเรตเรียกว่า titrant ส่วนสารละลายที่อยู่ในขวดรูปกรวย เรียกว่า titrand เพื่อที่จะทำให้การสังเกตจุดยุติในบางปฏิกิริยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น อาจจะมีการบรรจุสารละลายมาตรฐานไว้ในขวดรูปกรวย และบรรจุสารที่จะวิเคราะห์ไว้ในบิวเรต

สารละลายมาตรฐาน (Standard solution) เป็นสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ซึ่งเตรียมได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีตรง (Direct method) เตรียมโดยการชั่งสารให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน โดยใช้เครื่องชั่งสำหรับวิเคราะห์ แล้วมาละลายให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน โดยใช้ Volumetric flask (รูป 5.1) สารละลายที่เตรียมได้นี้จึงมีความเข้มข้น ที่แน่นอน ซึ่งเรียกว่า สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard solution) สารที่จะนำมาชั่งเพื่อเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ จะต้องมีความสมบัติดังนี้

- ก. มีความบริสุทธิ์สูง
- ข. ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการชั่ง เช่น ไม่ทำปฏิกิริยากับ  $O_2$  หรือ  $CO_2$  ในอากาศ ไม่ดูดความชื้น
- ค. มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการชั่ง)
- ง. เป็นสารที่หาง่ายและราคาถูก

2. วิธีอ้อม (Indirect method) สารส่วนมากที่นำมาเตรียมเป็นสารละลายมาตรฐานไม่มีคุณสมบัติตามข้อ ก-ง ข้างต้น จะต้องนำสารเหล่านั้นมาเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นโดยประมาณขึ้นมาก่อน แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน (ทศนิยม 4

ตำแหน่ง) อีกทีหนึ่ง ซึ่งเราเรียกขบวนการนี้ว่า "standardization" และสารละลายใหม่ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนนี้เรียกว่า สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard solution)

#### การเลือกอินดิเคเตอร์ (Indicator)

การเลือกอินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตให้เหมาะสม ควรเลือกอินดิเคเตอร์ที่ทำให้จุดยุติอยู่ใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด เช่น ถ้าเป็นการไทเทรตระหว่างกรดกับเบส ก็ใช้ Acid-base indicator ซึ่งจะเปลี่ยนสีเมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าปฏิกิริยาเป็นแบบ oxidation-reduction ก็เลือกใช้ Redox-indicator ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารที่อยู่ในบิวเรต เมื่อไทเทรตจนถึงจุดสมมูลแล้ว อินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีทันที เมื่อหยดแรกของสารจากบิวเรตทำปฏิกิริยากับอินดิเคเตอร์ที่ใส่ลงไปนั้น เป็นต้น

#### อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการไทเทรต

ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาตรได้อย่างแน่นอน คือ ปิเปต (pipet) และ บิวเรต (buret)

**ปิเปต** มี 2 ชนิด คือ

1. Transfer pipet (รูป 5.2) มีขีดบอกปริมาตรเพียงขีดเดียว จึงใช้วัดปริมาตรได้เพียงจำนวนเดียว เช่น ถ้าหากมีความจุ  $10\text{ cm}^3$  ก็จะวัดปริมาตรสารละลายได้  $10\text{ cm}^3$  เท่านั้น Transfer pipet มีหลายขนาด แต่ที่ใช้กันมาก ได้แก่ ความจุ 5, 10, 25 และ  $50\text{ cm}^3$

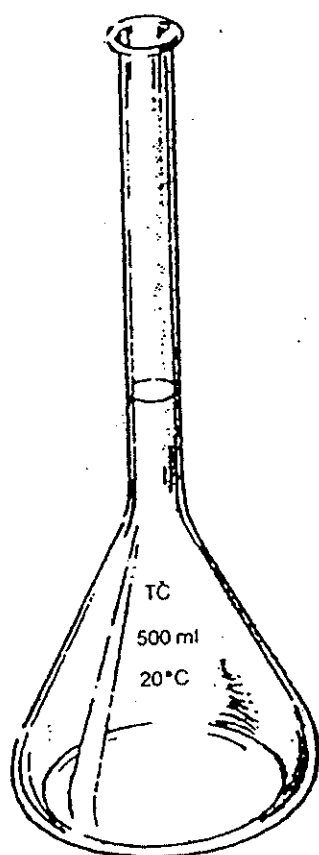
2. Mohr (measuring) pipet หรือ Graduate pipet (รูป 5.3) ปิเปตชนิดนี้มีขีดบอกปริมาตรย่อย ๆ ไว้ และก็มีหลายขนาดแล้วแต่ความจุ

เมื่อมีความจุใกล้เคียงกัน Graduate pipet วัดปริมาตรได้แน่นอนน้อยกว่า Transfer pipet ดังนั้นในการ ไทเทรตจึงใช้ Transfer pipet ในการวัดปริมาตรของสารละลายใส่ในขวดรูปกรวย หรือ Erlenmeyer Flask (รูป 5.4)

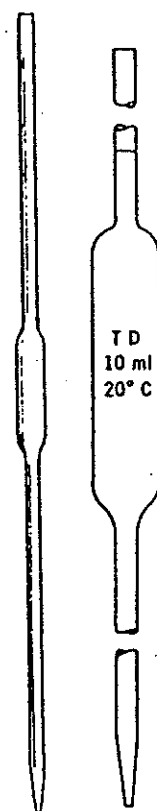
**บิวเรต** (รูป 5.5) มีขีดบอกปริมาตรย่อย ๆ เช่นเดียวกับ Graduate pipet และมีก๊อก (stopcock) สำหรับควบคุม ให้สารละลายไหลออกจากปลายบิวเรตได้ตามต้องการ.

อุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาตรนั้นจะต้องสะอาด ถ้าผนังภายในสกปรกโดยเฉพาะอย่างยิ่งมีคราบน้ำมัน หรือไขมันติดอยู่จะทำให้การวัดปริมาตรไม่ถูกต้อง ถ้าเป็นบิวเรตหรือปิเปตจะทำให้หยดสารละลายติดอยู่ตามผนังภายใน หลังจากปล่อยให้สารละลายไหลออกไปแล้ว ดังนั้น การทำความสะอาดจึงจำเป็นมาก ก่อนใช้หรือเมื่อใช้แล้วจะต้องทำความสะอาด โดยการล้างด้วยน้ำสบู่หรือผงซักฟอกและใช้แปรงถู ถ้าเป็นไปได้ เช่น บิวเรตที่ใช้แปรงก้านยาวสำหรับล้างบิวเรต ถ้าสกปรกมากต้องแช่ด้วย cleaning solution (เตรียมโดยละลาย sodium หรือ potassium dichromate ในกรดกำมะถันเข้มข้น) แล้วล้างด้วยน้ำประปาจนสะอาด แล้วกลั้ว (rinse) ด้วยน้ำกลั่นอีก 2-3 ครั้ง (การกลั้วก็คือการล้างด้วยสารละลายจำนวนน้อย ๆ )

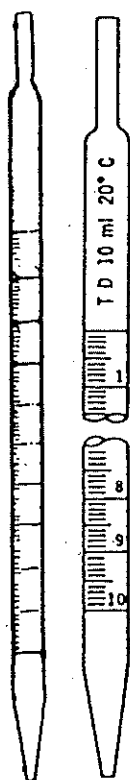
**หมายเหตุ** เครื่องแก้วจะล้างให้สะอาดได้ง่ายถ้าหากล้างทันทีหลังจากใช้เสร็จแล้ว



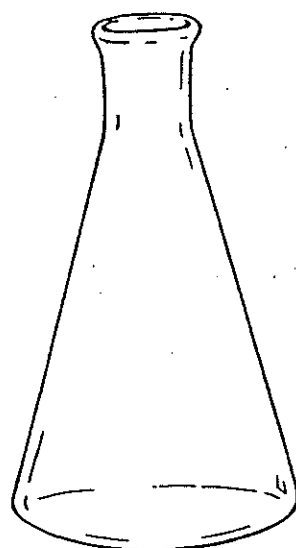
ပုံ 5.1 Volumetric Flask



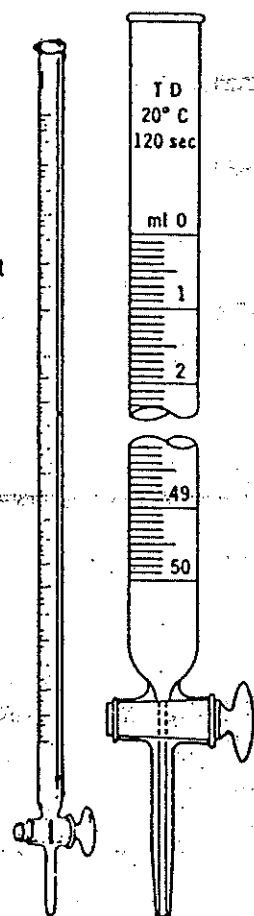
ပုံ 5.2 Transfer pipet



ပုံ 5.3 Measuring pipet



ပုံ 5.4 Erlenmeyer Flask



ပုံ 5.5 Buret

## เทคนิคการใช้ Transfer pipet

1. หลังจากล้างปิเปตให้สะอาด ให้กลั้วปิเปตด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง โดยการใช้ลูกยางดูดน้ำกลั่นขึ้นไปประมาณ 5 cm<sup>3</sup> ใช้นิ้วชี้ปิดปลายบนปิเปตไว้ เอียงปิเปตให้น้ำกลั่นเปียกผิวแก้วภายในอย่างทั่วถึง ปลอ่ยน้ำกลั่นทิ้งทางปลายล่าง แล้วเช็ดปลายปิเปตให้แห้ง
2. กลั้วปิเปตด้วยสารละลายที่ต้องการอีก 2-3 ครั้ง (โดยวิธีเดียวกันกับกลั้วด้วยน้ำกลั่น)
3. ดูดสารละลายขึ้นมาจนระดับของสารละลายอยู่เหนือขีดบอกปริมาตร
4. ใช้นิ้วชี้ที่แห้งปิดปลายบนของปิเปต แล้วเช็ดสารละลายที่เกาะติดอยู่ข้างนอกปลายล่างของปิเปต
5. ขยับนิ้วชี้ให้สารละลายในปิเปตไหลออกทางปลายล่างอย่างช้า ๆ จนระดับของสารละลาย (คู่มือที่มองเห็นน้ำเว้าซึ่งเรียกว่า meniscus) อยู่ตรงกับขีดเครื่องหมายบอกปริมาตรพอดี โดยให้ปิเปตตั้งตรงและที่มองเห็นน้ำเว้าอยู่ในระดับเดียวกับตา
6. เอาปลายปิเปตแตะกับผนังภาชนะที่ใส่สารละลาย เพื่อให้หยดของสารละลายตรงปลายปิเปตหมดไป
7. จากนั้นปลอ่ยให้สารละลายไหลลงไปในภาชนะรองรับ โดยแตะปลายปิเปตไว้ที่ผนังภาชนะ แล้วปลอ่ยนิ้วชี้จนสารละลายไหลออกหมด
8. เมื่อสารละลายไหลออกหมดแล้ว ให้แตะปลายปิเปตข้างผนังภาชนะอีกประมาณ 15-20 วินาที (draining time) จึงเอาปิเปตออกได้

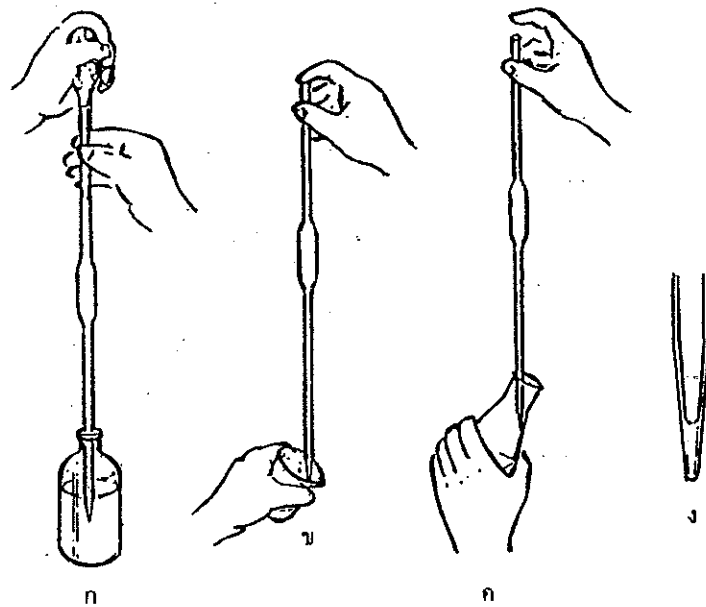
### หมายเหตุ

1. ให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ระดับสารละลายตลอดเวลาที่ทำการดูด
2. หลังจากเอาปิเปตออกมาแล้ว ที่ปลายปิเปตจะมีสารละลายติดอยู่อีกเล็กน้อย จะไม่เป่าออกเป็นอันตรายเพราะจะเป็นปริมาตรส่วนเกินที่ระบุไว้ที่ปิเปต

## เทคนิคการใช้บิวเรต

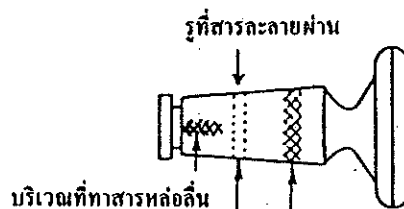
บิวเรตชนิดที่มีก๊อก (stopcock) เป็นแก้ว ให้หาสารหล่อลื่นที่ก๊อกก่อนใช้ เพราะจะทำให้หมุนก๊อกได้คล่อง และถ้าเปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายล่างสารละลายจะไม่ไหลซึม หรือหยดจากก๊อกด้านข้าง การหาสารหล่อลื่นให้ปฏิบัติดังนี้

1. ถอดก๊อกออกมา แล้วเช็ดช่องก๊อกในบิวเรตและตัวก๊อกให้แห้ง
2. หาสารหล่อลื่นให้เป็นฟิล์มบาง ๆ เป็นวง 2 วง รอบ ๆ ก๊อก ห้ามทาบริเวณที่อยู่ในแนวเดียวกับรูก๊อก เพราะจะทำให้สารหล่อลื่นเข้าไปอุดในรูก๊อกได้
3. สอดก๊อกเข้าที่แล้วกดให้แน่น ขณะเดียวกันก็หมุนก๊อกกลับไปกลับมา เพื่อให้สารหล่อลื่นแผ่กระจายโดยทั่ว



- ก. ดูดสารละลายโดยใช้ลูกยาง  
 ข. หลังจากปรับระดับสารละลายตรงขีดบอกปริมาตร ให้แตะปลายปิเปตที่ผนังภาชนะเพื่อกำจัดหยดของเหลวที่ปลายปิเปต  
 ค. เมื่อสารละลายไหลออกหมดแล้ว จะต้องแตะปลายปิเปตข้างผนังภาชนะ 20 วินาที  
 ง. ของเหลวที่ติดอยู่ที่ปลายปิเปต จะไม่เป่าออก

รูป 5.6 การใช้ปิเปต



รูป 5.7 การทำสารหล่อลื่นที่ก๊อกของบิวเรต

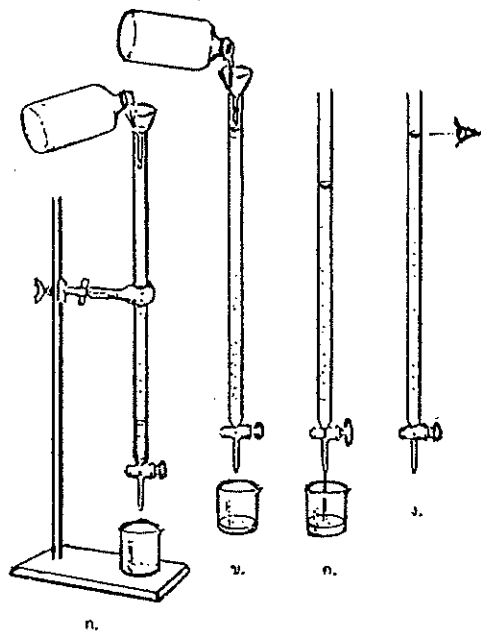
บิวเรตชนิดที่มีก๊อกเป็นเทฟลอน (Teflon) ไม่ต้องทำสารหล่อลื่น

หมายเหตุ บิวเรตที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีก๊อกเป็นเทฟลอนจึงไม่ต้องทำสารหล่อลื่น บิวเรตชนิดนี้มีราคาแพงมาก การใช้บิวเรตตลอดจนการล้างทำความสะอาดจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ

### การเติมสารละลายในบิวเรต

1. กลั้วด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง โดยการเติมสารละลายลงไปในบิวเรตประมาณ  $5 \text{ cm}^3$  เติงบิวเรตให้น้ำกลั่น เปียกผนังภายในให้ทั่ว แล้วไขน้ำกลั่นทิ้งทางปลายล่าง
2. กลั้วด้วยสารละลายที่จะเติมอีก 2-3 ครั้ง ทำโดยวิธีเดียวกันกับข้อ 1
3. เติมสารละลายที่ต้องการลงไปที่ระดับสารละลายอยู่เหนือขีด 0.00 ถ้าใช้กรวยกรองช่วยในการเติมสารละลายจะต้องเอาออกทันทีเมื่อใช้เสร็จ

4. เปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายล่าง 2-3 วินาที เพื่อไล่อากาศใต้ก๊อกออกให้หมด
5. เติมสารละลายอีกครั้งหนึ่งให้ระดับสารละลายอยู่ระหว่างขีด 0.00 - 1.00 ไม่จำเป็นต้องให้ตรงขีด 0.00 หรือ 1.00 พอดี แล้วอ่านระดับสารละลาย (initial reading) โดยให้ตาอยู่ระดับเดียวกันกับท้องน้ำ

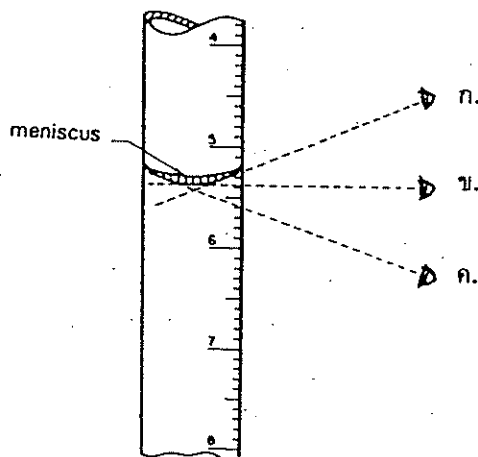


- ก. แสดงการจัดตั้งบิวเรต และการเติมสารละลายจากขวดโดยใช้กรวยกรอง
- ข. เติมสารละลายให้ระดับของสารละลายอยู่เหนือขีด 0.00
- ค. เปิดก๊อกให้สารละลายไหลออกทางปลายล่าง เพื่อไล่อากาศใต้ก๊อกออกให้หมด
- ง. เติมสารละลายใหม่แล้วอ่านระดับสารละลาย

รูป 5.8 การใช้บิวเรต

**หมายเหตุ** ในการทดลองสารละลายที่จะเติมในบิวเรตบรรจุอยู่ในบีกเกอร์ ซึ่งสามารถเทใส่ในบิวเรตได้โดยไม่ต้องใช้กรวยกรอง แต่ต้องปลดบิวเรตออกจากที่ยึดและเอียงบิวเรตเล็กน้อยขณะเทสารละลายจาก บีกเกอร์ลงไป

การอ่านระดับของสารละลายในอุปกรณ์วัดปริมาตร เช่น กระจกควง บิวเรต ปีเปต ถ้าเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ให้อ่านตรงท้องน้ำ (meniscus, รูป 5.9) ถ้าหากเป็นของเหลวที่มีสีจะมองเห็นท้องน้ำไม่ชัดเจนให้อ่านระดับผิวบน และเพื่อป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากการเกิด parallax ควรให้สายตาดูระดับเดียวกับท้องน้ำ



รูป 5.9 อ่านปริมาตรสารละลายในบิวเรต สายตาดูระดับเดียวกับท้องน้ำ (จุด ข.) จุด ก. จะให้อ่านได้น้อยไป จุด ค. จะให้อ่านได้มากไป

### เทคนิคการไทเทรต

1. เมื่อหันหน้าเข้าหาบิวเรตที่ยึดติดกับที่ยึดนั้น ก๊อกบิวเรตต้องอยู่ด้านขวามือจึงจะให้อ่านขีดบอกริมาตรได้ชัดเจน
2. ใช้มือซ้ายไขก๊อกบิวเรต โดยการใช้หัวแม่มือจับก๊อกด้านหน้า นิ้วชี้และนิ้วกลางอ้อมไปจับก๊อกด้านหลัง ส่วนนิ้วที่เหลือก็อ้อมไปอยู่ทางด้านหลังก๊อก
3. ขณะทำการหมุนก๊อกเพื่อให้สารละลายไหลออกมา จะต้องดันก๊อกเข้าไปข้างในด้วย เพื่อป้องกันการรั่วของสารละลายออกมาด้านข้างของก๊อก
4. สารละลายที่จะนำมาไทเทรตนั้นบรรจุอยู่ในขวดรูปกรวย ให้จับขวดรูปกรวยด้วยมือขวา หมุนข้อมือให้สารละลายไหลวนไปทางเดียวกัน ขณะไขสารละลายจากบิวเรตลงไป เพื่อให้สารละลายผสมกันได้ดี
5. เมื่อใกล้จุดยุติ ควรไขสารละลายอย่างช้า ๆ จนกระทั่งในที่สุดเมื่อใกล้จุดยุติมาก ๆ ต้องใส่สารละลายทีละหยด **หรือไม่ถึงหยด** ซึ่งทำได้โดยการเปิดก๊อกเพียงเล็กน้อย ให้สารละลายเป็นดั่งที่ปลายบิวเรต แล้วปิดก๊อก นำผนังด้านในของขวดรูปกรวยมาแตะที่ดั่งตรงปลายบิวเรต แล้วใช้ขวดลั่นน้ำกลั้นลั่นน้ำกลั้นล้างลงไป

6. ขณะไทเทรตอาจมีสารกระเด็นขึ้นมาติดผนังด้านในของขวดรูปกรวย จึงต้องใช้ขวดฉีดยาน้ำกลั่น ฉีดน้ำกลั่นล้างลงไป เพื่อให้สารเข้าทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ การฉีดยาน้ำกลั่นลงไปจะทำให้ปริมาตรของ สารละลายเพิ่มขึ้น **แต่เนื้อสารหรือจำนวนโมลของสารยังคงเดิม**

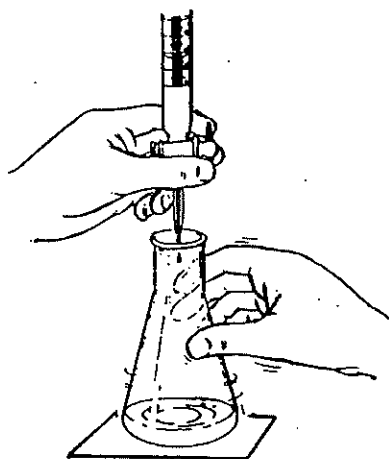
7. การไทเทรต ควรจะทำในที่ที่มีแสงสว่างพอดี และควรมีกระดาษสีขาววางไว้ใต้ขวดรูปกรวย เพื่อจะทำให้ สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายเมื่อถึงจุดยุติได้ชัดเจน

8. การไทเทรตบางครั้งจะสังเกตจุดยุติไม่ชัด จึงทำให้ตัดสินใจได้ยากกว่าถึงจุดยุติแล้วหรือยัง เมื่อ เป็นเช่นนี้ให้อ่านสารละลายในบิวเรตก่อน แล้วเติมสารละลายลงไปอีก 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนสี ถ้า ยังไม่แน่ใจก็ให้อ่านปริมาตรในบิวเรตอีกครั้ง แล้วเติมสารละลายลงไปอีก 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนสีอีก แล้วจึงนำมาเลือกจุดยุติว่าครั้งใดเหมาะสมที่สุด โดยถ้าเป็นจุดยุติที่แท้จริงแล้ว 1 หยดของสารที่เติมลงไป จะทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน

9. ในกรณีที่ไทเทรตเกินจุดยุติก็ต้องทำการทดลองใหม่ แต่ถ้าจำเป็นจะต้องแก้ไขจากสารละลาย เดิมนั้น ก็ต้องใช้วิธีไทเทรตกลับ (back titration) โดยใส่สารละลายมาตรฐานอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถ ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานชนิดแรกลงในบิวเรตอันที่สอง แล้วทำการไทเทรตกับสารละลายใน ขวดรูปกรวย เพื่อหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานอันแรกที่เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

10. เมื่อไทเทรตถึงจุดยุติแล้ว ไม่ควรอ่านปริมาตรสารละลายในบิวเรตทันที จะต้องทิ้งไว้อย่างน้อย 15-20 วินาที

11. ทำการไทเทรตอย่างน้อย 2 ครั้ง สำหรับตัวอย่างหนึ่ง ๆ โดยปริมาณของสารที่ใช้ต่างกันไม่ เกิน  $0.20 \text{ cm}^3$



รูป 5.10 ขณะไทเทรตจับก๊อกบิวเรตด้วยมือซ้าย และจับขวดรูปกรวยด้วยมือขวา



หน่วยของความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต คือ โมลาริตี (Molarity, M,  $\text{mol dm}^{-3}$ ) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนโมล (mole) ของตัวถูกละลาย (solute) ที่ละลายในสารละลาย  $1 \text{ dm}^3$  เช่น สารละลาย HCl เข้มข้น  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  แสดงว่าสารละลายนั้น  $1 \text{ dm}^3$  มี HCl ละลายอยู่ 1 mole ซึ่งหนัก 36.5 กรัม

$$\text{โมลาริตี} = \frac{\text{จำนวนโมลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลายเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร}}$$

#### การคำนวณ

คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย โดยคิดจากความสัมพันธ์ของจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ซึ่งต้องอาศัยสมการที่ดุลแล้วของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา จะอธิบายและยกตัวอย่างวิธีคำนวณในการทดลองเรื่องการไทเทรตระหว่างกรดกับเบสในบทต่อไป

## บทที่ 6

### การไทเทรตระหว่างกรดกับเบส

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการไทเทรตระหว่างกรดกับเบส
2. เพื่อเตรียมสารละลายเบส NaOH และหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH โดยไทเทรตกับสารละลายกรด  $H_2SO_4$  ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน
3. เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl ตัวอย่าง
4. เพื่อหาปริมาณกรด  $CH_3COOH$  ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

#### บทนำ

Acid-base titration เป็นการไทเทรตระหว่างกรดกับเบส ปฏิริยาสะเทิน (Neutralization reaction) เกิดขึ้นเมื่อกรดและเบสทำปฏิกิริยากันสมมูลพอดี อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตจะเป็น Acid-base indicator ซึ่งจะเปลี่ยนสี เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนไป หลักการเลือกอินดิเคเตอร์คือ ต้องให้ช่วง pH ของการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ใกล้เคียงกับ pH ของสารละลายที่จุดสมมูลมากที่สุด

ตาราง 6.1 Acid-base อินดิเคเตอร์ ที่มีช่วง pH ต่าง ๆ กัน

| อินดิเคเตอร์    | ช่วง pH    | สีที่เปลี่ยน     |
|-----------------|------------|------------------|
| Methyl orange   | 3.1 - 4.4  | แดง - เหลือง     |
| Methyl red      | 4.2 - 6.3  | แดง - เหลือง     |
| Bromthymol blue | 6.0 - 7.6  | เหลือง - น้ำเงิน |
| Phenolphthalein | 8.3 - 10.0 | ไม่มีสี - แดง    |

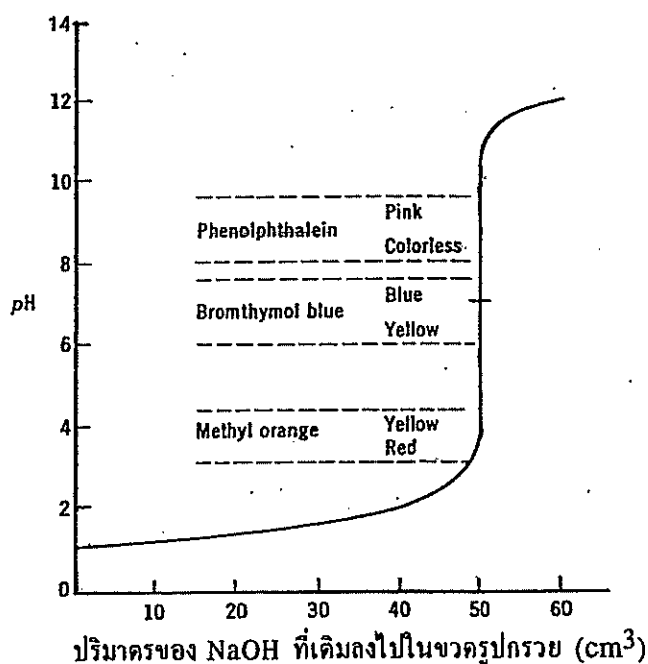
### เลือกอินดิเคเตอร์แล้วแต่ชนิดของการไทเทรต ดังนี้

1. ไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ เช่น HCl กับ NaOH ที่จุดสมมูลสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกลาง คือ มี  $\text{pH} = 7$  ดังนั้น อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้คือ Bromthymol blue ซึ่งมีช่วง  $\text{pH}$  6.0 - 7.6

2. ไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ เช่น  $\text{CH}_3\text{COOH}$  กับ NaOH ที่จุดสมมูลสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นเบส ( $\text{pH} = 9-10$ ) ทั้งนี้เนื่องจากเกิด hydrolysis ของเกลือ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  ที่เกิดขึ้น อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ phenolphthalein ซึ่งมีช่วง  $\text{pH}$  8.3 - 10.0

3. ไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน เช่น HCl กับ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ที่จุดสมมูลสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรด ( $\text{pH} = 3-4$ ) เนื่องจากเกิด hydrolysis ของเกลือ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  อินดิเคเตอร์ที่ใช้คือ Methyl orange ซึ่งมีช่วง  $\text{pH}$  3.1 - 4.4

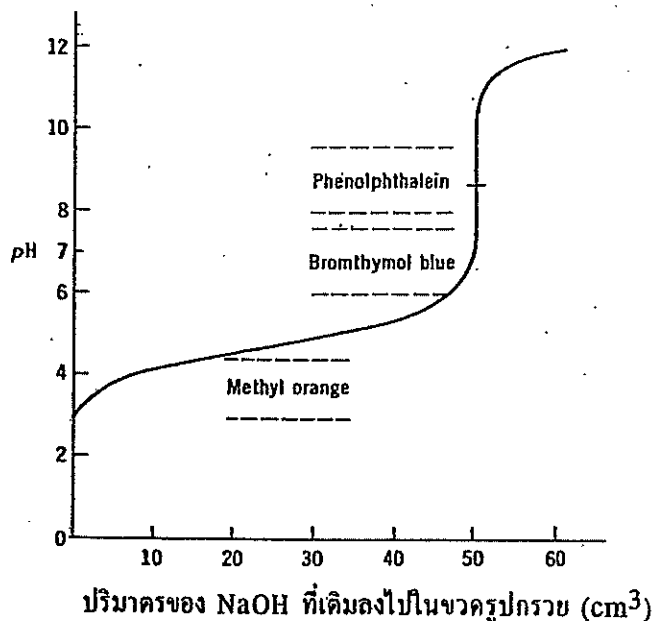
นอกจากจะเลือกอินดิเคเตอร์โดยการเลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง  $\text{pH}$  ใกล้เคียงกับ  $\text{pH}$  ที่จุดสมมูลแล้ว อาจจะเลือกอินดิเคเตอร์โดยวิธีศึกษาจากกราฟของการไทเทรต (Titration curve) ซึ่งได้จากการเขียนกราฟระหว่างปริมาตรเป็น  $\text{cm}^3$  ของสารที่ไทเทรตกับ  $\text{pH}$  ของสารละลายในขวดปกรวยที่เปลี่ยนไป ถ้าเป็นการไทเทรตระหว่างกรดแก่ HCl กับเบสแก่ NaOH จะได้ titration curve ดังรูป 6.1



รูป 6.1 กราฟของการไทเทรตระหว่าง 0.1 M HCl 50  $\text{cm}^3$  กับ 0.1 M NaOH

จากกราฟของการไทเทรตระหว่างกรดแก่ HCl กับเบสแก่ NaOH จะเห็นว่า เมื่อเริ่มไทเทรต  $\text{pH}$  ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นช้า ๆ แต่เมื่อเติม NaOH ลงไปตอนใกล้ ๆ จุดสมมูล  $\text{pH}$  ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก  $\text{pH}$  ประมาณ 4 เป็น 10 ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง  $\text{pH}$  ในช่วงนี้ (4-10)

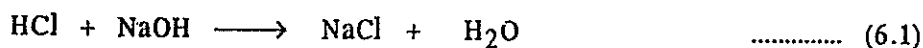
จึงนำมาใช้ในการไทเทรตได้ เช่น Bromthymol blue, Phenolphthalein ถ้าใช้ Bromthymol blue ที่จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียว หรือ เริ่มเป็นสีน้ำเงิน (เกินจุดยุติเป็นสีน้ำเงิน) ถ้าใช้ Phenolphthalein ที่จุดยุติจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู (เกินจุดยุติเป็นสีแดง) แต่ถ้าใช้ methyl orange จะมีการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จากสีแดงเป็นสีส้มเมื่อใกล้จุดยุติ และที่จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลือง ไม่นิยมใช้ methyl orange เป็นอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ เนื่องจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่จุดยุติสังเกตยาก



รูป 6.2 กราฟของการไทเทรตระหว่าง 0.1 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  50  $\text{cm}^3$  กับ 0.1 M NaOH

จากกราฟของการไทเทรตระหว่างกรดอ่อน  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และเบสแก่ NaOH (รูป 6.2) ที่จุดสมมูลมี pH มากกว่า 7 ช่วงของการเปลี่ยนแปลง pH อย่างรวดเร็วเมื่อเติม NaOH ลงไปเล็กน้อยคือ pH ประมาณ 6 ถึง 10 อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตได้แก่ Bromthymol blue, Phenolphthalein จะใช้ Methyl orange ไม่ได้เพราะจะทำให้สีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนก่อนที่การไทเทรตจะถึงจุดสมมูล

การคำนวณหาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบส ถ้าเป็นการไทเทรต ระหว่าง HCl กับ NaOH ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้

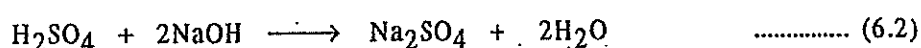


คำนวณโดยคิดจากความสัมพันธ์ของจำนวนโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน จากสมการที่ (6.1)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}} &= \frac{1}{1} \\ \therefore \text{จำนวนโมลของกรด} &= \text{จำนวนโมลของเบส} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากโมลาริตี} &= \frac{\text{จำนวนโมลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลายเป็นลิตร}} \\
 \text{จะได้ว่า } M_a V_a &= M_b V_b \\
 \text{โดยที่ } M_a, M_b &= \text{โมลาริตีของสารละลายกรดและเบสตามลำดับ} \\
 V_a, V_b &= \text{ปริมาตรของสารละลายกรดและเบสตามลำดับ}
 \end{aligned}$$

แต่ถ้าจำนวนโมลของกรดไม่เท่ากับจำนวนโมลของเบส เช่น



$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น } \frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}} &= \frac{1}{2} \\
 \text{จำนวนโมลของกรด} &= \frac{1}{2} \text{ จำนวนโมลของเบส}
 \end{aligned}$$

ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

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

ฉะนั้น จะได้สูตรความสัมพันธ์ทั่วไปดังนี้

$$M_a V_a = x M_b V_b \quad \text{เมื่อ } x = \frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}}$$

### การทดลอง

#### อุปกรณ์การทดลอง

บิวเรต ขนาด 50 cm<sup>3</sup>

ปิเปต ขนาด 10 cm<sup>3</sup>

ขวดและที่ยัดบิวเรต

ลูกยาง

ขวดรูปกรวย ขนาด 250 cm<sup>3</sup>

บีกเกอร์ ขนาด 400 cm<sup>3</sup>

แท่งแก้วคน

กระดาษสีขาสำหรับวางใต้ขวดรูปกรวยขณะไทเทรต

#### สารเคมีที่ใช้

NaOH sodium hydroxide

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sulfuric acid (สารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.0500 M)

อินดิเคเตอร์, Bromthymol blue และ Phenolphthalein

สารละลายกรด HCl ตัวอย่าง

สารละลายน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

## วิธีทดลอง

### 1. เตรียมสารละลาย NaOH (ความเข้มข้นประมาณ $0.05 \text{ mol dm}^{-3}$ )

1.1 ชั่ง NaOH โดยเครื่องชั่ง platform balance มา 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด  $400 \text{ cm}^3$  (การทดลองนี้นิสิิตไม่ต้องชั่ง NaOH แต่ให้นับเม็ด NaOH ใส่ในบีกเกอร์ โดยอาจารย์ผู้ควบคุมจะแจ้งให้ทราบว่าต้องใช้จำนวนกี่เม็ด จึงจะมีน้ำหนักเท่ากับ 0.5 กรัม)

1.2 เติมน้ำกลั่น 10 - 20  $\text{cm}^3$  ลงไป ใช้แท่งแก้วคนจน NaOH ละลายหมด แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร  $250 \text{ cm}^3$  คนให้สารละลายผสมกัน

### 2. หาคความเข้มข้นของสารละลาย NaOH โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $\text{H}_2\text{SO}_4$

2.1 บรรจุสารละลาย NaOH ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ลงในบิวเรต (ทำการบรรจุสารละลายในบิวเรตตามวิธีที่อธิบายไว้ในเรื่อง Titration) แล้วจดปริมาตรเริ่มต้น (initial reading) ไว้ อ่านปริมาตรสารละลายในบิวเรตให้มีเลขน้อยสำคัญมากที่สุด บิวเรตขนาด  $50 \text{ cm}^3$  อ่านทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.2 ใช้ปิเปตขนาด  $10.00 \text{ cm}^3$  วัดสารละลายมาตรฐาน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จากขวดที่เบิกมาจากห้อง stock ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด  $250 \text{ cm}^3$  ที่อยู่ในตู้ lab ทึบใบจนครบ 2 ใบ (ดูวิธีการใช้ปิเปตในเรื่อง titration ประกอบ) ดังนั้นในแต่ละขวดจะมีสารละลายมาตรฐาน  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $10.00 \text{ cm}^3$

2.3 เติมอินดิเคเตอร์, Bromthymol blue 2-3 หยด ลงในขวดรูปกรวย

2.4 ไทเทรตสารละลาย NaOH ในบิวเรตกับ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในขวดรูปกรวยจนถึงจุดยุติ ซึ่งมีสีเขียว

2.5 อ่านปริมาตรสุดท้ายในบิวเรต (final reading) อ่านทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.6 ทำการไทเทรตสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในขวดที่ 2 อีกครั้งหนึ่งโดยปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตทั้งสองครั้งต่างกันไม่เกิน  $0.20 \text{ cm}^3$  ถ้าหากต่างกันมากกว่านี้จะต้องทำการทดลองใหม่

2.7 คำนวณหาคความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (เมื่อทำการทดลองข้อ 3 และ 4 เสร็จแล้ว)

### 3. หาคความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl ตัวอย่าง โดยไทเทรตกับสารละลายเบส NaOH มาตรฐาน (สารละลาย NaOH ที่นิสิิตเตรียม ซึ่งรู้ความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว จากการทดลองในข้อ 2)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 ตั้งแต่ 2.1 - 2.6 แต่เปลี่ยน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็น HCl ตัวอย่าง เสร็จแล้วคำนวณหาคความเข้มข้น (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ของสารละลายกรด HCl ตัวอย่าง

### 4. หาปริมาณ $\text{CH}_3\text{COOH}$ ในน้ำส้มสายชูตัวอย่างโดยไทเทรตกับสารละลายเบส NaOH มาตรฐาน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 ตั้งแต่ 2.1 - 2.6 แต่เปลี่ยน  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็นน้ำส้มสายชูตัวอย่างและอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจาก Bromthymol blue เป็น Phenolphthalein (ในข้อ 2.3) และที่จุดยุติสารละลายจะมีสีชมพู (ในข้อ 2.4) แล้วคำนวณหาปริมาณของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณน้ำหนักโมเลกุลของ  $\text{CH}_3\text{COOH} = 60 \text{ g mol}^{-1}$

ปฏิบัติการ 403.....

ชื่อ ..... คณะ..... หมู่ ..... เบอร์ตู้ .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

รายงานการทดลองเรื่อง การไทเทรตระหว่างกรดกับเบส

หาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน  $\text{H}_2\text{SO}_4$

| รายการ                                           | ครั้งที่ 1                | ครั้งที่ 2                |
|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ความเข้มข้นของกรด $\text{H}_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ | .....mol dm <sup>-3</sup> | .....mol dm <sup>-3</sup> |
| ปริมาตรของกรด $\text{H}_2\text{SO}_4$ ที่ใช้     | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ปริมาตรของเบส NaOH ที่ใช้                        | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ความเข้มข้นของเบส NaOH ที่คำนวณได้               | .....mol dm <sup>-3</sup> | .....mol dm <sup>-3</sup> |

ความเข้มข้นของสารละลายเบส NaOH (เฉลี่ย) = ..... mol dm<sup>-3</sup>

แสดงวิธีคำนวณเฉพาะการทดลองครั้งที่ 1

หาความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl ตัวอย่าง โดยการไทเทรตกับสารละลายเบส NaOH  
ตัวอย่างเบอร์ A .....

| รายการ                                    | ครั้งที่ 1                | ครั้งที่ 2                |
|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ความเข้มข้นของเบส NaOH ที่ใช้             | .....mol dm <sup>-3</sup> | .....mol dm <sup>-3</sup> |
| ปริมาตรของเบส NaOH ที่ใช้                 | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ปริมาตรของกรด HCl ตัวอย่างที่ใช้          | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ความเข้มข้นของกรด HCl ตัวอย่างที่คำนวณได้ | .....mol dm <sup>-3</sup> | .....mol dm <sup>-3</sup> |

ความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl ตัวอย่าง (เฉลี่ย) = ..... mol dm<sup>-3</sup>

แสดงวิธีคำนวณเฉพาะการทดลองครั้งที่ 1

หาปริมาณ CH<sub>3</sub>COOH ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง โดยไทเทรตกับสารละลายเบส NaOH  
ตัวอย่างเบอร์ B .....

| รายการ                                     | ครั้งที่ 1                | ครั้งที่ 2                |
|--------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ความเข้มข้นของเบส NaOH ที่ใช้              | .....mol dm <sup>-3</sup> | .....mol dm <sup>-3</sup> |
| ปริมาตรของเบส NaOH ที่ใช้                  | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ปริมาตรของน้ำส้มสายชูที่ใช้                | ..... cm <sup>3</sup>     | ..... cm <sup>3</sup>     |
| ปริมาณของ CH <sub>3</sub> COOH ที่คำนวณได้ | ..... %                   | ..... %                   |

ปริมาณของ CH<sub>3</sub>COOH ในน้ำส้มสายชูตัวอย่าง (เฉลี่ย) = .....%

แสดงวิธีคำนวณเฉพาะการทดลองครั้งที่ 1



## บทที่ 7

### เทอร์โมเคมี

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาสะเทิน
2. เพื่อศึกษากฎของเฮสส์

#### บทนำ

เทอร์โมเคมี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของการถ่ายเทความร้อน หรือการคายและการดูดกลืนพลังงานแสง

#### เอนทัลปีของปฏิกิริยา

การเปลี่ยนแปลงความร้อนเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ความดันคงที่\* ก็คือการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ( $\Delta H$ )

$$\Delta H = q_p \quad \text{.....(7.1)}$$

เอนทัลปีเป็นฟังก์ชันสถานะ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของระบบจะขึ้นกับค่าเอนทัลปีของระบบที่สถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้าย ไม่ขึ้นกับวิธีการเปลี่ยนแปลง

$$\Delta H = H_{\text{สถานะสุดท้าย}} - H_{\text{สถานะเริ่มต้น}} \quad \text{.....(7.2)}$$

ในที่นี้ถือว่าปฏิกิริยาเคมีเป็นระบบที่กำลังศึกษา ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ปฏิกิริยานั้นมีพลังงานลดลง เรียกว่าปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction)  $\Delta H$  มีค่าเป็นลบ ส่วนปฏิกิริยาที่มีการดูดกลืนความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบมีพลังงานสูงขึ้นเรียกว่าปฏิกิริยา ดูดความร้อน (endothermic reaction)  $\Delta H$  มีค่าเป็นบวก

---

\* การทดลองนี้กระทำที่ความดันคงที่คือที่ความดันบรรยากาศ เพราะปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในเครื่องมือที่ปิด ไม่สนิททำให้ความดันภายในเครื่องมือที่ใช้สมดุลกับความดันภายนอก

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน วัดได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคลอรีมิเตอร์กับสิ่งแวดล้อม แต่ในความเป็นจริงแคลอรีมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง อาจมีการดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้หรือถ่ายเทความร้อนให้แก่ระบบ จึงต้องมีการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อน .. โดยคำนวณหาค่าความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดหรือคายไว้ ( $Q_c$ ) จากค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์ ( $C_c$ ) และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ( $\Delta T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) ตามสมการ (7.3)

$$Q_c = C_c \cdot \Delta T \quad \text{.....(7.3)}$$

สำหรับปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพ เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนไป ( $\Delta T$ ) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (7.4)

$$Q_r = m.s. \Delta T \quad \text{.....(7.4)}$$

|       |            |   |                                                |
|-------|------------|---|------------------------------------------------|
| เมื่อ | $Q_r$      | = | ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา              |
|       | $m$        | = | มวลของสารละลาย                                 |
|       | $s$        | = | ค่าความร้อนจำเพาะ* (specific heat) ของสารละลาย |
|       | $\Delta T$ | = | อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของสารละลาย                |

ดังนั้น ความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมด จึงเท่ากับผลรวมของความร้อนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทางเคมี และความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดหรือคายไว้ โดยที่ถ้าแคลอรีมิเตอร์ดูดความร้อน ความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมดจะเท่ากับผลบวกของความร้อนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทางเคมีและความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดไว้

$$Q = Q_r + Q_c \quad \text{.....(7.5)}$$

ในทางตรงกันข้าม ถ้าแคลอรีมิเตอร์คายความร้อน ความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมด จะเท่ากับผลต่างของความร้อนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการทางเคมีและความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์คายไว้

$$Q = Q_r - Q_c \quad \text{.....(7.6)}$$

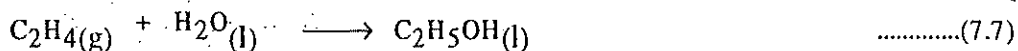
ถ้า  $Q$  ที่คำนวณได้ก็คือการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) ของปฏิกิริยานั้นเอง

---

\* ค่าความร้อนจำเพาะ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สาร 1 g มีอุณหภูมิสูงขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$

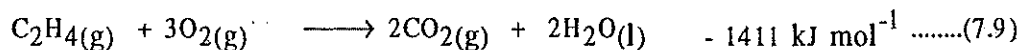
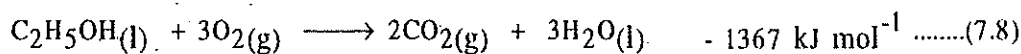
### กฎของเฮสส์

กฎของเฮสส์กล่าวไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของปฏิกิริยารวมจะเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาย่อย ๆ แต่ละขั้น ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนกับน้ำ



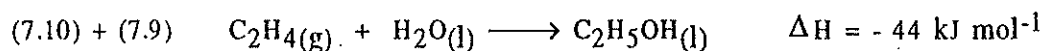
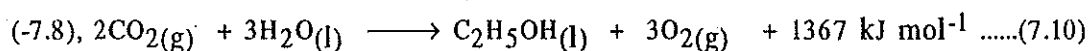
สามารถหาได้จากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$\Delta H$

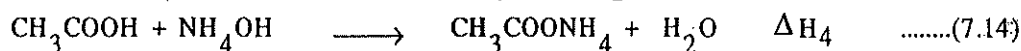
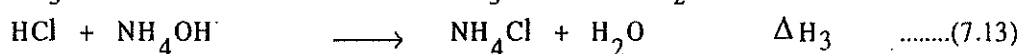
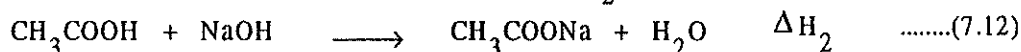
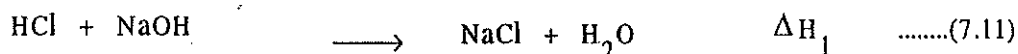


โดยถ้ามกลับปฏิกิริยาที่ (7.8) เป็นปฏิกิริยาที่ (7.10) แล้วนำไปรวมกับปฏิกิริยาที่ (7.9) ก็จะได้ปฏิกิริยาที่ (7.7) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

$\Delta H$



ในการทดลองนี้จะศึกษาและตรวจสอบกฎของเฮสส์จากการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน 4 ปฏิกิริยาต่อไปนี้



$\Delta H$  ของปฏิกิริยาที่ (7.14) สามารถคำนวณหาได้จากผลรวมของ  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาที่ (7.11), (7.12) และ (7.13)

### การทดลอง

#### อุปกรณ์การทดลอง

แคลอรีมิเตอร์แบบง่าย ๆ

เทอร์มอมิเตอร์ ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ )

กระบอกตวง ขนาด  $10\text{ cm}^3$

บิวเรตต์ ขนาด  $50\text{ cm}^3$

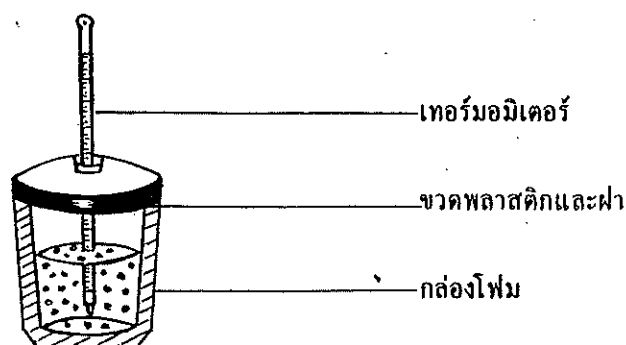
#### สารเคมี

|                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| 2.0 M HCl                      | Hydrochloric acid  |
| 2.0 M NaOH                     | Sodium hydroxide   |
| 2.0 M $\text{CH}_3\text{COOH}$ | Acetic acid        |
| 2.0 M $\text{NH}_4\text{OH}$   | Ammonium hydroxide |

### วิธีทดลอง

#### 1. การหาค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์

การสร้างแคลอรีมิเตอร์อย่างง่าย ๆ สามารถทำได้ดังรูปที่ 7.1



รูป 7.1 แคลอรีมิเตอร์แบบง่าย ๆ

**การตรวจสอบเทอร์โมมิเตอร์** ให้เปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ของแคลอรีมิเตอร์ 2 อัน โดยจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองอันลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที แล้วอ่านอุณหภูมิ ถ้าค่าที่อ่านได้ต่างกัน ก็ให้ทำการแก้ไขโดยการบวกหรือลบอุณหภูมิที่แตกต่างกันจากเทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่ง

#### การหาค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์

1.1 ตวงน้ำประปาที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จำนวน  $15.0\text{ cm}^3$  ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์อันที่ 1

1.2 อุ่นน้ำประปา แล้วตวงน้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ  $45\text{--}50^\circ\text{C}$  จำนวน  $15.0\text{ cm}^3$  ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์อันที่ 2

1.3 ปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ทั้งสอง อ่านอุณหภูมิของน้ำเย็น ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) ทุก ๆ 1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ แล้วอ่านอุณหภูมิของน้ำอุ่น ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) ทันที

1.4 เปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ทั้งสอง รีบเทน้ำอุ่นลงไปผสมกับน้ำเย็นในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาอย่างรวดเร็ว แล้วเขย่าให้น้ำในแคลอรีมิเตอร์ผสมเข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที บันทึกอุณหภูมิสูงสุดของน้ำผสม

1.5 ถ่ายน้ำออกจากแคลอรีมิเตอร์ เช็ดแคลอรีมิเตอร์ให้แห้ง แล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 1.1 - 1.4

1.6 คำนวณหาความร้อนที่น้ำอุ่นสูญเสียและความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ  $1.00 \text{ g cm}^{-3}$  และความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ  $1.00 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  ความแตกต่างของความร้อนทั้งสอง คือ ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดหรือคายไว้ เมื่อนำความร้อนจำนวนนี้หารด้วย  $\Delta T$  ก็จะได้ค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์ ( $C_c$ ) มีหน่วยเป็น  $\text{cal } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  หาค่าเฉลี่ยของค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์จากการทดลองทั้งสองครั้ง

#### ตัวอย่างการคำนวณหา $C_c$ ของแคลอรีมิเตอร์

|                                       |                                                                                                                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| อุณหภูมิของน้ำเย็น (ที่คงที่)         | $30.8^{\circ}\text{C}$                                                                                              |
| อุณหภูมิของน้ำอุ่น                    | $47.0^{\circ}\text{C}$                                                                                              |
| อุณหภูมิสูงสุดของน้ำผสม               | $37.7^{\circ}\text{C}$                                                                                              |
| น้ำหนักของน้ำอุ่น = น้ำหนักของน้ำเย็น | $= 15.0 \text{ cm}^3 \times 1.0 \text{ g cm}^{-3}$                                                                  |
|                                       | $= 15.0 \text{ g}$                                                                                                  |
| ความร้อนที่น้ำอุ่นคายออกมา            | $= m.s. \Delta T$                                                                                                   |
|                                       | $= 15.0 \text{ g} \times 1.0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (47.0 - 37.7)^{\circ}\text{C}$ |
|                                       | $= 139.5 \text{ cal}$                                                                                               |
| ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ              | $= 15.0 \text{ g} \times 1.0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times (37.7 - 30.8)^{\circ}\text{C}$ |
|                                       | $= 103.5 \text{ cal}$                                                                                               |

เนื่องจากความร้อนที่น้ำอุ่นคายออกมามากกว่าความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ แสดงว่าแคลอรีมิเตอร์อันที่ 1 ดูดความร้อนไว้

|                                              |                                                                         |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์อันที่ 1 ดูดไว้      | $= \text{ความร้อนที่น้ำอุ่นคายออกมา} - \text{ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ}$ |
|                                              | $= 139.5 - 103.5 \text{ cal}$                                           |
|                                              | $= 36 \text{ cal}$                                                      |
| อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของแคลอรีมิเตอร์อันที่ 1 | $= 37.7 - 30.8^{\circ}\text{C}$                                         |
|                                              | $= 6.9^{\circ}\text{C}$                                                 |

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นแคลอรีมิเตอร์อันที่ 1 มีค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์ } (C_c) &= \frac{36 \text{ cal}}{6.9^{\circ}\text{C}} \\ &= 5.2 \text{ cal } ^{\circ}\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

## 2. การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน

### 2.1 การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง $\text{HCl(aq)}$ กับ $\text{NaOH(aq)}$

2.1.1 ใสสารละลาย 2.0 M  $\text{HCl}$  จากบิวเรตต์ 15.00  $\text{cm}^3$  ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์อันที่ 1 (อันเดียวกับที่บรรจุน้ำเย็น) และสารละลาย 2.0 M  $\text{NaOH}$  จากบิวเรตต์ 15.00  $\text{cm}^3$  ลงในแคลอริมิเตอร์อันที่ 2 (แคลอริมิเตอร์ทั้งสองจะต้องแห้งและสะอาด) ปิดฝา และอ่านอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองทุก ๆ 1 นาที ( $\pm 0.1^\circ \text{C}$ ) จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ (ถ้าอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองต่างกัน ให้ใช้ค่าเฉลี่ย)

2.1.2 รีบเปิดฝาแคลอริมิเตอร์ แล้วเทสารละลาย  $\text{NaOH}$  ลงในสารละลาย  $\text{HCl}$  โดยเร็ว ปิดฝาอย่างรวดเร็วก่อนที่ทั้งหมดยาจะผสมเป็นเวลา 30 วินาที บันทึกอุณหภูมิสูงสุดของสารละลายผสม

2.1.3 คำนวณหา  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำที่เกิดขึ้น ( $\Delta H_1$ ) โดยกำหนดให้สารละลาย  $\text{NaCl}$  ที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะประมาณเท่ากับของน้ำ

### 2.2 การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง $\text{CH}_3\text{COOH(aq)}$ กับ $\text{NaOH(aq)}$

2.2.1 ทำความสะอาดแคลอริมิเตอร์ทั้งสองอัน และเช็ดให้แห้ง

2.2.2 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 2.1 โดยใช้สารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 1 และ  $\text{NaOH}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 2

2.2.3 คำนวณหา  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำที่เกิดขึ้น ( $\Delta H_2$ ) โดยกำหนดให้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONa}$  มีค่าเท่ากับของน้ำ

### 2.3 การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง $\text{HCl(aq)}$ กับ $\text{NH}_4\text{OH(aq)}$

2.3.1 ทำความสะอาดแคลอริมิเตอร์ทั้งสองอัน และเช็ดให้แห้ง

2.3.2 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 2.1 โดยใช้สารละลาย  $\text{HCl}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 1 และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 2

2.3.3 คำนวณหา  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำที่เกิดขึ้น ( $\Delta H_3$ ) โดยกำหนดให้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของสารละลาย  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับของน้ำ

### 2.4 การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง $\text{CH}_3\text{COOH(aq)}$ กับ $\text{NH}_4\text{OH(aq)}$

2.4.1 ทำความสะอาดแคลอริมิเตอร์ทั้งสองอัน และเช็ดให้แห้ง

2.4.2 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 2.1 โดยใช้สารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 1 และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ใส่ในแคลอริมิเตอร์อันที่ 2

2.4.3 คำนวณหา  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำที่เกิดขึ้น ( $\Delta H_4$ ) โดยกำหนดให้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับของน้ำ

ตัวอย่างการคำนวณหา  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทิน

สมมติว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของ HCl = อุณหภูมิเริ่มต้นของ NaOH (ที่คงที่) =  $29.8^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายผสม =  $40.9^{\circ}\text{C}$

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( $\Delta T$ ) =  $40.9 - 29.8 = 11.1^{\circ}\text{C}$

ปริมาตรทั้งหมดของสารละลาย (กรดกับเบส) =  $30.0\text{ cm}^3$

ความหนาแน่นของสารละลาย =  $1.0\text{ g cm}^{-3}$

ความร้อนจำเพาะของสารละลาย =  $1.0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

ค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์ ( $C_C$ ) =  $5.2\text{ cal }^{\circ}\text{C}^{-1}$

การคำนวณ ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ( $Q_r$ ) =  $m \cdot s \cdot \Delta T$

$m = 30.0\text{ cm}^3 \times 1.0\text{ g cm}^{-3} = 30.0\text{ g}$

$Q_r = 30.0\text{ g} \times 1.0\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 11.1^{\circ}\text{C}$

=  $333.0\text{ cal}$

ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดไว้ ( $Q_c$ ) =  $C_C \cdot \Delta T$

=  $5.2\text{ cal }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 11.1^{\circ}\text{C}$

=  $57.72\text{ cal}$

เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้น

$\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทิน

=  $-(Q_r + Q_c)$

=  $-(333.0 + 57.72)\text{ cal}$

=  $-390.72\text{ cal}$

ชื่อ ..... คณะ ..... หมู่ ..... เบอร์ตัว .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

### รายงานการทดลองเรื่อง เทอร์โมเคมี

#### 1. การหาค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์

การอ่านอุณหภูมิโดยเทอร์โมมิเตอร์ อันที่ 1 ..... อันที่ 2 .....  
 การแก้ไข .....

การหาค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์

|                                                   | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ<br>(เฉพาะการทดลองครั้งที่ 1) | ครั้งที่ 1                        | ครั้งที่ 2                        |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| อุณหภูมิของน้ำเย็น ( $T_1$ ) (ที่คงที่)           | -                                                    | $^{\circ}\text{C}$                | $^{\circ}\text{C}$                |
| อุณหภูมิของน้ำอุ่น ( $T_2$ )                      | -                                                    | $^{\circ}\text{C}$                | $^{\circ}\text{C}$                |
| อุณหภูมิสูงสุดของน้ำหลังผสม ( $T_3$ )             | -                                                    | $^{\circ}\text{C}$                | $^{\circ}\text{C}$                |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเย็น ( $\Delta T_1$ ) |                                                      | $^{\circ}\text{C}$                | $^{\circ}\text{C}$                |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอุ่น ( $\Delta T_2$ ) |                                                      | $^{\circ}\text{C}$                | $^{\circ}\text{C}$                |
| ความร้อนที่น้ำอุ่นคายออกมา                        |                                                      | cal                               | cal                               |
| ความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ                          |                                                      | cal                               | cal                               |
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูด (หรือคาย)             |                                                      | cal                               | cal                               |
| ค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์ ( $C_c$ )                   |                                                      | $\text{cal}^{\circ}\text{C}^{-1}$ | $\text{cal}^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
| ค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์เฉลี่ย                       |                                                      | $\text{cal}^{\circ}\text{C}^{-1}$ |                                   |



## 2. การหา $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน

### 2.1 ปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง $\text{HCl(aq)}$ และ $\text{NaOH(aq)}$

|                                                                 | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ |                       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{HCl}$ (ที่คงที่)                     | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{NaOH}$ (ที่คงที่)                    | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| อุณหภูมิสูงสุดของสารละลายผสม                                    | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( $\Delta T$ )                           |                         | $^{\circ}\text{C}$    |
| น้ำหนักของสารละลายผสม                                           |                         | g                     |
| ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ( $Q_r$ )                     |                         | cal                   |
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูด(หรือคาย) ไว้ ( $Q_c$ )              |                         | cal                   |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน                                   |                         | cal                   |
| จำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้น                                       |                         | mol                   |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำ ( $\Delta H_f$ ) |                         | cal mol <sup>-1</sup> |

2.2 ปฏิกริยาสะเทินระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$  และ  $\text{NaOH}(\text{aq})$ 

|                                                                 | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ |                    |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{CH}_3\text{COOH}$ (ที่คงที่)         | -                       | $^{\circ}\text{C}$ |
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{NaOH}$ (ที่คงที่)                    | -                       | $^{\circ}\text{C}$ |
| อุณหภูมิสูงสุดของสารละลายผสม                                    | -                       | $^{\circ}\text{C}$ |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( $\Delta T$ )                           |                         | $^{\circ}\text{C}$ |
| น้ำหนักของสารละลายผสม                                           |                         | g                  |
| ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ( $Q_r$ )                     |                         | cal                |
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูด (หรือคาย) ไว้ ( $Q_c$ )             |                         | cal                |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน                                   |                         | cal                |
| จำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้น                                       |                         | mol                |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำ ( $\Delta H_2$ ) |                         | cal mol $^{-1}$    |

2.3 ปฏิกริยาสะเทินระหว่าง  $\text{HCl(aq)}$  และ  $\text{NH}_4\text{OH(aq)}$ 

|                                                                 | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ |                       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{HCl}$ (ที่คงที่)                     | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{NH}_4\text{OH}$ (ที่คงที่)           | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| อุณหภูมิสูงสุดของสารละลายผสม                                    | -                       | $^{\circ}\text{C}$    |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( $\Delta T$ )                           |                         | $^{\circ}\text{C}$    |
| น้ำหนักของสารละลายผสม                                           |                         | g                     |
| ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ( $Q_T$ )                     |                         | cal                   |
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูด (หรือคาย) ไว้ ( $Q_C$ )             |                         | cal                   |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน                                   |                         | cal                   |
| จำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้น                                       |                         | mol                   |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำ ( $\Delta H_3$ ) |                         | cal mol <sup>-1</sup> |

2.4 ปฏิกริยาสะเทินระหว่าง  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$  และ  $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$ 

|                                                                 | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ |                    |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{CH}_3\text{COOH}$ (ที่คงที่)         |                         | $^{\circ}\text{C}$ |
| อุณหภูมิเริ่มต้นของ $\text{NH}_4\text{OH}$ (ที่คงที่)           |                         | $^{\circ}\text{C}$ |
| อุณหภูมิสูงสุดของสารละลายผสม                                    |                         | $^{\circ}\text{C}$ |
| การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ( $\Delta T$ )                           |                         | $^{\circ}\text{C}$ |
| น้ำหนักของสารละลายผสม                                           |                         | g                  |
| ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ( $Q_r$ )                     |                         | cal                |
| ความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูด (หรือคาย) ไว้ ( $Q_c$ )             |                         | cal                |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทิน                                   |                         | cal                |
| จำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้น                                       |                         | mol                |
| $\Delta H$ ของปฏิกิริยาสะเทินต่อหนึ่งโมลของน้ำ ( $\Delta H_4$ ) |                         | cal mol $^{-1}$    |

## 3. กฎของเฮสส์

3.1 เขียนสมการไอออนิกสุทธิแสดงการเกิดปฏิกิริยาสะเทิน ข้อ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4

| การทดลอง                                               | สมการไอออนิกสุทธิ | $\Delta H$ (cal mol <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| ข้อ 2.1<br>(HCl + NaOH)                                | .....             | $\Delta H_1 =$ .....                |
| ข้อ 2.2<br>(CH <sub>3</sub> COOH + NaOH)               | .....             | $\Delta H_2 =$ .....                |
| ข้อ 2.3<br>(HCl + NH <sub>4</sub> OH)                  | .....             | $\Delta H_3 =$ .....                |
| ข้อ 2.4<br>(CH <sub>3</sub> COOH + NH <sub>4</sub> OH) | .....             | $\Delta H_4 =$ .....                |

3.2 อาศัยกฎของเฮสส์ จงคำนวณหาค่า  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง CH<sub>3</sub>COOH และ NH<sub>4</sub>OH จากการทดลองข้อ 2.1, 2.2 และ 2.3 ( $\Delta H_5$ )  
วิธีคำนวณ

$$\Delta H_5 \text{ จากการคำนวณ} = \dots\dots\dots \text{cal mol}^{-1}$$

$$= \dots\dots\dots \text{kJ mol}^{-1} \quad (1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J})$$

3.3 เปรียบเทียบค่า  $\Delta H$  ของปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง CH<sub>3</sub>COOH และ NH<sub>4</sub>OH ( $\Delta H_4$  และ  $\Delta H_5$ ) ว่าสอดคล้องกับกฎของเฮสส์หรือไม่ .....  
เพราะเหตุใด .....

## บทที่ 8.

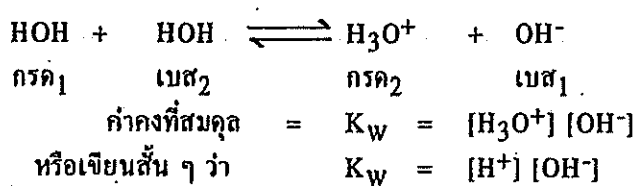
### pH และสารละลายบัฟเฟอร์

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อหา pH ของสารละลายที่ไม่มีสีโดยใช้อินดิเคเตอร์
2. เพื่อเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และทดสอบความเป็นบัฟเฟอร์ของสารละลายนี้

#### บทนำ

จากสมการการแตกตัวของน้ำ



$K_w$  คือ ค่าคงที่ผลคูณของไอออนของน้ำและมีค่า  $10^{-14} \text{ (mol dm}^{-3})^2$  ที่  $25^\circ\text{C}$  เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป  $K_w$  จะเปลี่ยนไปด้วย ดังตาราง 8.1

ตาราง 8.1 ค่าคงที่ผลคูณของไอออนของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| T(°C) | 0                       | 25                      | 40                     | 60                    |
|-------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| $K_w$ | $0.115 \times 10^{-14}$ | $1.008 \times 10^{-14}$ | $2.95 \times 10^{-14}$ | $9.5 \times 10^{-14}$ |

ในน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$   $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$

สารละลายในน้ำไม่ว่าจะเป็นกรด เบส หรือเป็นกลาง ประกอบด้วย  $\text{H}_3\text{O}^+$  และ  $\text{OH}^-$  เสมอ โดยมีผลคูณของไอออนทั้งสองเท่ากับ  $10^{-14} \text{ (mol dm}^{-3})^2$  เนื่องจาก  $\text{H}_3\text{O}^+$  ในสารละลายมีค่าน้อย และเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างจาก  $1 \text{ mol dm}^{-3}$  ถึง  $10^{-14} \text{ mol dm}^{-3}$  การเขียนความเข้มข้นด้วยเลขยกกำลังไม่สะดวก จึงใช้มาตราส่วน pH โดยมีนิยามว่า  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$

$$\text{หรือ } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

ดังนั้นสารละลาย HCl เข้มข้น  $0.1 \text{ mol dm}^{-3}$  ที่มี  $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$  (เพราะเป็นกรดแก่แตกตัวได้ 100 %) จะมี  $\text{pH} = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1$

$$\text{น้ำบริสุทธิ์มี } [\text{H}^+] = 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \text{ จะมี } \text{pH} = 7$$

สารละลาย NaOH  $0.1 \text{ mol dm}^{-3}$  ที่มี  $[\text{OH}^-] = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$   $[\text{H}^+] = 10^{-13} \text{ mol dm}^{-3}$  จะมี  $\text{pH} = 13$  โดยสรุปแล้ว สารละลายกรดจะมี pH น้อยกว่า 7 และสารละลายเบสจะมี pH มากกว่า 7 ส่วนสารละลาย ที่เป็นกลาง จะมี  $\text{pH} = 7$

### วิธีวัด pH ของสารละลาย

ค่า pH ของสารละลายใด ๆ อาจวัดได้ 2 วิธี คือ

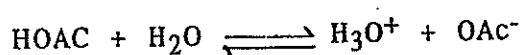
1. วิธีเปรียบเทียบสี วิธีนี้เป็นการวัด pH โดยประมาณ (มีความถูกต้อง 0.5 หน่วย pH) ซึ่งทำได้โดยการเติมอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมลงในสารละลายที่ต้องการวัด pH แล้วเปรียบเทียบกับสารละลายบัฟเฟอร์ซึ่งทราบค่า pH แน่นอน ซึ่งได้เติมอินดิเคเตอร์ชนิดเดียวกันลงไปไว้แล้วหรือใช้กระดาษซูปอินดิเคเตอร์ (กระดาษ pH) จุ่มลงไป แล้วเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน

2. วิธีวัดความต่างศักย์ วิธีนี้วัด pH ได้อย่างละเอียด (มีความถูกต้อง 0.001 หน่วย pH เป็นอย่างน้อย) โดยใช้เครื่อง pH มิเตอร์

### สารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายที่เมื่อเติมกรดแก่ หรือเบสแก่ลงไปเล็กน้อย หรือเมื่อทำให้สารละลายเจือจางลงจะไม่ทำให้ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลง ได้แก่ สารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติกกับโซเดียมอะซิเตด หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน เช่น แอมโมเนียกับแอมโมเนียมคลอไรด์ แบบแรกเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี  $\text{pH} < 7$  ส่วนแบบหลังจะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี  $\text{pH} > 7$

เพื่อให้เข้าใจปฏิกิริยาบัฟเฟอร์ ให้พิจารณาสมดุลของกรดอะซิติกและเกลืออะซิเตด จากการแตกตัวของกรดอะซิติกที่เขียนได้ดังสมการ

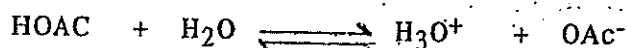


$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OAc}^-]}{[\text{HOAc}]}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{HOAc}]}{[\text{OAc}^-]}$$

ถ้านำ HOAc และ NaOAc มาผสมกัน โดยมีความเข้มข้นของกรดและเกลือเป็น  $C_a$  และ  $C_s$  mol dm<sup>-3</sup> ตามลำดับ

กรด HOAc จะแตกตัวดังสมการ



และเกลือ OAc<sup>-</sup> จะเกิดไฮโดรไลซิสดังสมการ



แต่การแตกตัวของกรดและการเกิดไฮโดรไลซิสของเกลือมีค่าน้อยมาก ดังนั้นความเข้มข้นของกรดและเกลือที่สภาวะสมดุลจึงไม่ต่างจากความเข้มข้นเดิมเท่าใดนัก และถือว่าเท่าเดิมโดยประมาณ

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{C_a}{C_s}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{pH} = \text{p}K_a - \log \frac{[\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]}$$

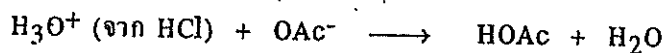
$$\text{ถ้ากรดและเกลือมีความเข้มข้นเท่ากัน จะได้ว่า } \log \frac{[\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]} = \log 1 = 0$$

$$\therefore \text{pH} = \text{p}K_a$$

ตัวอย่าง เช่น สารละลายที่มี HOAc 0.1 โมล และ NaOAc 0.1 โมล ใน 1 dm<sup>3</sup> จะมี pH = pK<sub>a</sub> เท่ากับ 4.74 (K<sub>a</sub> ของ HOAc = 1.8 × 10<sup>-5</sup>) จัดเป็นบัฟเฟอร์ที่เป็นกรด

ก. เมื่อเติมน้ำลงไป ความเข้มข้นของกรดและเกลือก็ยังคงเท่ากันตลอดไป pH จึงคงที่ = 4.74 แม้ว่าสารละลายจะเจือจางลง

ข. เมื่อเติม 1 M HCl ซึ่งเป็นกรดแก่ลงไป 1 cm<sup>3</sup> (0.001 โมล H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> จาก HCl จะทำ ปฏิกิริยากับอะซิเตตเพื่อเกิดเป็นกรดอะซิติก



ดังนั้นจะมี HOAc เพิ่มขึ้นอีก 0.001 โมล รวมเป็น HOAc = 0.101 โมล และ OAc<sup>-</sup> จะน้อยลง 0.001 โมลด้วย จึงเหลือ OAc<sup>-</sup> = 0.099 โมล

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{p}K_a - \log \frac{[\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]} &= 4.74 - \log \frac{0.101}{0.099} \\ & &= 4.74 - 0.009 = 4.731 \end{aligned}$$



จะเห็นว่าเมื่อเติม 0.001 โมล  $\text{H}_3\text{O}^+$  ลงในสารละลายบัฟเฟอร์, pH ของบัฟเฟอร์เปลี่ยนจาก 4.74 เป็น 4.731 แต่ถ้ายึดกรด HCl จำนวนเดียวกันนี้ลงในน้ำบริสุทธิ์ น้ำจะมี  $\text{pH} = -\log [10^{-3}] = 3$  ซึ่งเปลี่ยนจาก pH เดิมซึ่ง = 7 ไปถึง 4 หน่วย

ในทำนองเดียวกัน ถ้าเติมเบสลงไปก็ทำให้สารละลายบัฟเฟอร์มี pH เปลี่ยนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สารละลายที่มี  $[\text{กรด}] = [\text{เกลือ}]$  จะเป็นสารละลายที่มีความเป็นบัฟเฟอร์สูงสุด คือเปลี่ยน pH ไปน้อยที่สุดเมื่อถูกรบกวนด้วยการเติมกรดหรือเบสลงไป โดยทั่วไปถือว่าของผสมที่มีอัตราส่วนของกรดและเกลืออยู่ในช่วง  $\frac{1}{10}$  ถึง  $\frac{10}{1}$  หรือ  $\text{pH} = \text{pK} \pm 1$  ก็ยังมีความเป็นบัฟเฟอร์และความเข้มข้นของกรดควรวอยู่ใน ระดับ  $0.05 - 0.2 \text{ mol dm}^{-3}$

ในทำนองเดียวกัน สารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นของผสมระหว่างเบสอ่อนกับเกลือ เช่น  $\text{NH}_3$  กับ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ที่เป็นเบส

$$[\text{OH}^-] = K_b \frac{[\text{เบส}]}{[\text{เกลือ}]}$$

$$\text{pOH} = \text{pK}_b - \log \frac{[\text{เบส}]}{[\text{เกลือ}]}$$

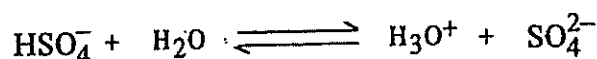
ซึ่งสามารถหา pH ได้จาก  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$

### การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH ค่าหนึ่ง ๆ นั้น ทำได้โดยการเลือกกรดที่มีค่าคงที่การ

แตกตัวที่ใกล้เคียงกับ  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  ที่ต้องการ แล้วปรับอัตราส่วนของ  $\frac{[\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]}$  ให้เหมาะสม เช่น ถ้าต้องการ

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี  $\text{H}_3\text{O}^+ = 3.3 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$  กรดที่มี  $K_a$  ใกล้เคียง  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  คือ  $\text{HSO}_4^-$  ( $K_a = 1.2 \times 10^{-2}$ )



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]}$$

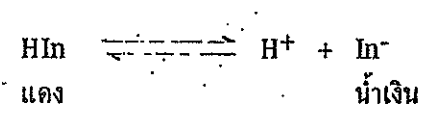
$$\frac{[\text{HSO}_4^-]}{[\text{SO}_4^{2-}]} = \frac{3.3 \times 10^{-2}}{1.2 \times 10^{-2}} = \frac{2.75}{1}$$

นั่นคือ จะต้องผสม  $\text{NaHSO}_4$  และ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ในอัตราส่วน 2.75:1 จึงจะได้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  เท่ากับ  $3.3 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$

เราอาจเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีจำนวนโมลของกรด หรือเบส และเกลือเท่า ๆ กัน แล้วคำนวณหา pH ของ สารละลายนั้น ๆ ซึ่งจะเท่ากับ  $\text{pK}_a$  หรือ  $\text{pK}_b$  ของกรดหรือเบสนั้น ๆ

อินดิเคเตอร์เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน และเปลี่ยนสีได้เมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น เมทิลออเรนจ์ จะมีสีแดงในสารละลายที่มี pH ต่ำกว่า 3.1 และมีสีเหลืองในสารละลายที่มี pH สูงกว่า 4.4 แต่ถ้าสารละลายมี pH อยู่ระหว่าง 3.1 - 4.4 สีของอินดิเคเตอร์จะเป็นสีผสมของสีเหลืองและสีแดง ดังนั้นการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จึงขึ้นกับ pH ของสารละลาย โดยนักวิจัยใช้อินดิเคเตอร์ในการบอก pH ของสารละลายได้

ถ้าให้  $\text{HIn}$  แทนโมเลกุลของอินดิคเตอร์ (มีสีแดง) และให้  $\text{In}^-$  แทนไอออนลบ (มีสีน้ำเงิน) สมการที่สภาวะ สมดุลของอินดิคเตอร์คือ



$$K = \frac{[H^+][In^-]}{[HIn]}$$

ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ  $H^+$  สมดุลจะเลื่อนไปทางซ้าย จึงเห็นสีแดงของ  $HIn$  แต่ถ้าเติม  $OH^-$  ลงไป จะทำให้ความเข้มข้นของ  $H^+$  ลดลง สมดุลเลื่อนไปทางขวาทำให้เห็นสีน้ำเงินของ  $In^-$  เกิดขึ้น

ค่าคงที่สมดุลของลิตมัสมีค่าประมาณ  $10^{-7}$  และมีช่วง pH 5-8

$$\text{ฉะนั้น } 10^{-7} = \frac{[\text{H}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$$

จัดใหม่ได้เป็น

$$\frac{10^{-7}}{[\text{H}^+]} = \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$$

ถ้า  $\text{pH} = 5$  หรือต่ำกว่า จะเห็นสีแดงของลิตมัส ถ้าแทนค่า  $[\text{H}^+] = 10^{-5}$  จะได้

$$\frac{10^{-7}}{10^{-5}} = \frac{1}{100} = \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \quad \begin{array}{l} \text{น้ำเงิน} \\ \text{แดง} \end{array}$$

ฉะนั้น จะเห็นสารละลายเป็นสีแดงเมื่อ  $[HIn] > [In^-]$  อย่างน้อยประมาณ 100 เท่า

ถ้า pH = 8 หรือสูงกว่า จะเห็นสีน้ำเงินของลิกนด์ ถ้าแทนค่า  $[H^+] = 10^{-8}$  จะได้

$$\frac{10^{-7}}{10^{-8}} = \frac{10}{1} = \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \quad \begin{array}{l} \text{น้ำเงิน} \\ \text{แดง} \end{array}$$

จะเห็นสารละลายสีน้ำเงินเมื่อ  $[In^-] > [HIn]$  อย่างน้อยประมาณ 10 เท่า แสดงว่าเราจะเห็นสีน้ำเงินเมื่อความเข้มข้นของโมเลกุลที่ให้สีน้ำเงินมากกว่าไอออนที่ให้สีแดงเพียง 10 เท่า แต่จะเห็นสีแดงเมื่อความเข้มข้นของโมเลกุลที่ให้สีแดงมากกว่าไอออนที่ให้สีน้ำเงิน 100 เท่า ทั้งนี้เพราะสีน้ำเงินของลิตมัสมี ความเข้มมากกว่าสีแดง แต่ถ้า  $[H^+] = K = 10^{-7}$  จะให้  $K / [H^+] = 1$  และ  $[In^-] = [HIn]$  แสดงว่าที่  $pH = 7$  ลิตมัสจะมีสีผสมของสีแดงและสีน้ำเงิน (ม่วง) ดังนั้น อินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีที่  $pH$  เท่าใด จึงขึ้นกับค่าคงที่สมดุลของอินดิเคเตอร์นั้นๆ ช่วง  $pH$  ที่อินดิเคเตอร์ค่อยๆ เปลี่ยนจากสีหนึ่งไปเป็นอีกสีหนึ่ง เรียกว่าช่วง  $pH$  ( $pH$  range หรือ  $pH$  interval) ของอินดิเคเตอร์

ตาราง 8.2 ช่วง  $pH$  ของอินดิเคเตอร์ต่าง ๆ

| อินดิเคเตอร์          | ช่วง $pH$  | สีที่เปลี่ยน     |
|-----------------------|------------|------------------|
| Methyl orange (MO)    | 3.1 - 4.4  | แดง - เหลือง     |
| Methyl red (MR)       | 4.2 - 6.3  | แดง - เหลือง     |
| Bromthymol blue (BTB) | 6.0 - 7.6  | เหลือง - น้ำเงิน |
| Phenol red (PR)       | 6.8 - 8.4  | เหลือง - แดง     |
| Phenolphthalein (PPN) | 8.3 - 10.0 | ไม่มีสี - แดง    |

## การทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

หลอดทดลอง ขนาด  $16 \times 150$  mm  
 กระบอกตวง ขนาด  $10 \text{ cm}^3$  และ  $100 \text{ cm}^3$   
 บีกเกอร์ ขนาด  $250 \text{ cm}^3$

### สารเคมีที่ใช้

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| 2 M $NH_4OH$ | ammonium hydroxide    |
| 1 M $NH_4Cl$ | ammonium chloride     |
| บรอมไทมอลบลู | Bromthymol blue (BTB) |
| เมทิลออเรนจ์ | Methyl orange (MO)    |
| เมทิลเรด     | Methyl red (MR)       |

|                                      |                       |
|--------------------------------------|-----------------------|
| ฟีนอลเรด                             | Phenol red (PR)       |
| ฟีนอล์ฟทาเลอิน                       | Phenolphthalein (PPN) |
| สารละลายบัฟเฟอร์ pH 3,4,5,6,7,8,9,10 |                       |
| สารละลายตัวอย่าง คู่ละ 1 ตัวอย่าง    |                       |

## วิธีทดลอง

### 1. pH และสีของอินดิเคเตอร์

1.1 บันทึกลีของอินดิเคเตอร์ 5 ชนิด ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่าง ๆ ที่จัดไว้ให้บนโต๊ะวางน้ำยา ลงในรายงาน

1.2 เขียนตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ทั้ง 5 ชนิด จากข้อมูลในข้อ 1.1

1.3 รับสารละลายตัวอย่างจากอาจารย์ผู้ควบคุม 1 ตัวอย่าง จดเบอร์ตัวอย่างในรายงาน เท สารละลายตัวอย่างลงในหลอดทดลอง 5 หลอด หลอดละ 2 cm<sup>3</sup> แล้วเติมอินดิเคเตอร์ 2 หยด ลงใน หลอดทดลองหลอดละชนิดรวม 5 ชนิด (ตามตารางในรายงานข้อ 1.3) เขย่า บันทึกลีเปรียบเทียบกับ ตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ในข้อ 1.2 แล้วทำนาย pH ของสารละลายตัวอย่างนั้น

### 2. สารละลายบัฟเฟอร์

2.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ โดยใช้ 2 M NH<sub>4</sub>OH 25 cm<sup>3</sup> และ 1 M NH<sub>4</sub>Cl 50 cm<sup>3</sup> แล้วคำนวณ pH ของสารละลายที่เตรียมได้

2.2 หาค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1.3 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้แทนสารละลายตัวอย่าง

2.3 ทดสอบความเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ โดยเทสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ลงในหลอดทดลอง 3 หลอด ๆ ละ 10 cm<sup>3</sup>

หลอดที่ 1 เติมน้ำกลั่น 5 cm<sup>3</sup> เขย่า

หลอดที่ 2 เติม 1 M HCl 2 หยด เขย่า

หลอดที่ 3 เติม 1 M NaOH 2 หยด เขย่า

หาค่า pH ของสารละลายในแต่ละหลอด โดยวิธีในข้อ 1.3 ใช้สารละลายในแต่ละหลอดทั้ง 3 แทน สารละลายตัวอย่าง

## ปฏิบัติการ 403.....

ชื่อ ..... คณะ ..... หมู่ ..... เบอร์ตู้ .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

### รายงานการทดลองเรื่อง pH และสารละลายบัฟเฟอร์

#### 1. pH และสีของอินดิเคเตอร์

##### 1.1 สารละลายบัฟเฟอร์ pH 3-10

| อินดิเคเตอร์   | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH |   |   |   |   |   |   |    |
|----------------|----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|
|                | 3                                      | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| เมทิลออเรนจ์   |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| เมทิลเรด       |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| บรอมไทมอลบลู   |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| ฟีนอลเรด       |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| ฟีนอล์ฟทาเลอิน |                                        |   |   |   |   |   |   |    |

##### 1.2 ตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์จากข้อมูลในข้อ 1.1

| อินดิเคเตอร์   | ช่วง pH | สีที่เปลี่ยน |
|----------------|---------|--------------|
| เมทิลออเรนจ์   |         |              |
| เมทิลเรด       |         |              |
| บรอมไทมอลบลู   |         |              |
| ฟีนอลเรด       |         |              |
| ฟีนอล์ฟทาเลอิน |         |              |

## 1.3 สารละลายตัวอย่าง

| อินดิเคเตอร์ | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายตัวอย่างเลขที่..... |
|--------------|------------------------------------------------|
| เมทิลออเรนจ์ |                                                |
| เมทิลเรด     |                                                |
| บรอมไทมอลบลู |                                                |
| ฟีนอลเรด     |                                                |
| ฟีนอล์ฟทาลิน |                                                |

pH ของสารละลายตัวอย่าง เลขที่ ..... คือ .....

## 2. สารละลายบัฟเฟอร์

2.1 แสดงวิธีคำนวณ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียม

( $K_b$  ของ  $\text{NH}_4\text{OH} = 1.8 \times 10^{-5}$ ,  $\log 1.8 = 0.26$ )

| อินดิเคเตอร์ | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลาย |
|--------------|-----------------------------|
| เมทิลออเรนจ์ |                             |
| เมทิลเรด     |                             |
| บรอมไทมอลบลู |                             |
| ฟีนอลเรด     |                             |
| ฟีนอล์ฟทาลิน |                             |

pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ = .....







# บทที่ เรื่อง pH และสารละลายบัฟเฟอร์

ผศ.ดร.วิรมล วัลลิขิต

## วิธีทดลอง

### 1. pH และสีของอินดิเคเตอร์

1.1 หยดสารละลายบัฟเฟอร์หลุมละ 3 หยดลงในภาตหลุม เรียงเป็นแถวตั้งแต่ pH 3-10 ทำทั้งหมด 5 แถว

1.2 แถวที่ 1 หยดอินดิเคเตอร์ เมทิลออเรนจ์(MO) หลุมละ 1 หยด จะได้สีของอินดิเคเตอร์เมทิลออเรนจ์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3-10 (จำนวน 8 หลุม)

ทำซ้ำข้อ 1.2 ตั้งแต่แถวที่ 2-5 โดยใช้อินดิเคเตอร์ เมทิลเรด (MR) บรอมไทมอลบลู (BTB) ฟีนอลเรด (PR) และฟีนอล์ฟทาเลอิน (PPN) ตามลำดับ

1.3 บันทึกสีของอินดิเคเตอร์ทั้ง 5 ชนิด ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ต่าง ๆ ลงในรายงาน

1.4 เขียนตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ทั้ง 5 ชนิด จากข้อมูลในข้อ 1.3

1.5 รับสารละลายตัวอย่างจากอาจารย์ผู้ควบคุม 1 ตัวอย่าง จดเบอร์ตัวอย่างในรายงาน หยดสารละลายตัวอย่างลงในภาตหลุมจำนวน 5 หลุม หลุมละ 3 หยด แล้วเติมอินดิเคเตอร์ 1 หยดลงในแต่ละหลุม หลุมละชนิด รวม 5 ชนิด บันทึกสีเปรียบเทียบกับตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ในข้อ 1.4 แล้วทำนาย pH ของสารละลายตัวอย่างนั้น

### 2. สารละลายบัฟเฟอร์

2.1 เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ โดยผสม  $2\text{M NH}_4\text{OH}$   $3\text{ cm}^3$  และ  $1\text{M NH}_4\text{Cl}$   $6\text{ cm}^3$  ลงในหลอดทดลอง ใช้แท่งแก้วคน แล้วคำนวณ pH ของสารละลายที่เตรียมได้

2.2 หาค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 1.5 โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้แทนสารละลายตัวอย่าง

2.3 ทดสอบความเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ โดยแบ่งสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมได้ลงในหลอดทดลองอีก 2 หลอด ๆ ละประมาณ  $3\text{ cm}^3$

หลอดที่ 1 เติมน้ำกลั่น  $1.5\text{ cm}^3$                       เขย่า

หลอดที่ 2 เติม  $1\text{M HCl}$  1 หยด                      เขย่า

หลอดที่ 3 เติม  $1\text{M NaOH}$  1 หยด                      เขย่า

หาค่า pH ของสารละลายในแต่ละหลอด โดยวิธีในข้อ 1.5 ใช้สารละลายในหลอดทั้ง 3 แทนสารละลายตัวอย่าง









## รายงานผลการทดลอง วิชา 01403112

หมู่เรียน \_\_\_\_\_

1. ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

2. ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

3. ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

กลุ่มที่ \_\_\_\_\_

ห้องเรียน \_\_\_\_\_

อาจารย์ผู้สอน \_\_\_\_\_ วันที่ \_\_\_\_\_

### บทที่ 8 เรื่อง pH และสารละลายบัฟเฟอร์

#### ผลการทดลอง

#### ตอนที่ 1 pH และสีของอินดิเคเตอร์

##### 1.1 สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3-10

| อินดิเคเตอร์  | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH |   |   |   |   |   |   |    |
|---------------|----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|
|               | 3                                      | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| เมทิลออเรนจ์  |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| เมทิลเรด      |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| บรอมไทมอลบูล  |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| ฟีนอลเรด      |                                        |   |   |   |   |   |   |    |
| ฟีนอล์ฟทาไลน์ |                                        |   |   |   |   |   |   |    |

##### 1.2 ตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์จากข้อมูลข้อ 1.1

| อินดิเคเตอร์  | ช่วง pH | สีที่เปลี่ยน |
|---------------|---------|--------------|
| เมทิลออเรนจ์  |         |              |
| เมทิลเรด      |         |              |
| บรอมไทมอลบูล  |         |              |
| ฟีนอลเรด      |         |              |
| ฟีนอล์ฟทาไลน์ |         |              |

#### ตอนที่ 2 สารละลายบัฟเฟอร์

##### 2.1 pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียม

| อินดิเคเตอร์  | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลาย |
|---------------|-----------------------------|
| เมทิลออเรนจ์  |                             |
| เมทิลเรด      |                             |
| บรอมไทมอลบูล  |                             |
| ฟีนอลเรด      |                             |
| ฟีนอล์ฟทาไลน์ |                             |

pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ คือ .....

## 2.2 แสดงวิธีคำนวณ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## 2.3 ทดสอบความเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

| อินดิเคเตอร์ | สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลาย |              |              |
|--------------|-----------------------------|--------------|--------------|
|              | เมื่อเติมน้ำ                | เมื่อเติมกรด | เมื่อเติมเบส |
| เมทิลออเรนจ์ |                             |              |              |
| เมทิลเรด     |                             |              |              |
| บรอมไทมอลบลู |                             |              |              |
| ฟีนอลเรด     |                             |              |              |
| ฟีนอล์ฟทาลีน |                             |              |              |

pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ เมื่อเติมน้ำ คือ.....

เมื่อเติมกรด คือ.....

เมื่อเติมเบส คือ.....

จากผลการทดลองข้างต้น สารละลายที่นิสิตเตรียม เป็นสารละลายบัฟเฟอร์หรือไม่ จงอธิบาย

.....

.....

.....

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## บทที่ 9

# การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยการสูงขึ้นของ จุดเดือดของสารละลาย

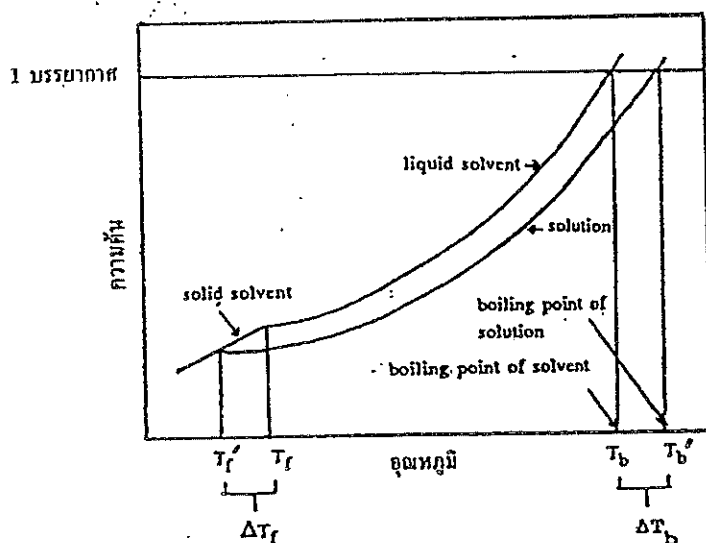
### วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้รู้จักวิธีหาจุดเดือดของของเหลว
2. เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่างจากจุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลาย

### บทนำ

การลดต่ำลงของความดันไอ และการสูงขึ้นของจุดเดือด เป็นสมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) อย่างหนึ่งของสารละลายซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย (solvent) และจำนวนอนุภาคของตัวถูกละลาย (solute) ที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวในสารละลายโดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกละลาย

สมบัติคอลลิเกทีฟนี้มีความสำคัญในการนำมาใช้น้ำหนักโมเลกุลของสารได้



รูป 9.1 แสดงความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์และของสารละลาย

จุดเดือดปกติ (normal boiling point) ของของเหลวโดยทั่วไป คืออุณหภูมิซึ่งความดันของของเหลวเท่ากับความดัน 1 บรรยากาศ (760 mmHg) ถ้าเติมตัวถูกละลายที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวลง





ไพบินของเหลวที่เป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ (liquid solvent) จะทำให้ความดันไอของของเหลวที่เป็นตัวทำละลายนี้ลดต่ำลงสารละลายจึงยังไม่เดือดที่จุดเดือดปกติของของเหลวที่เป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่าจุดเดือดปกติที่เคยเดือดนั้น ความดันไอของของเหลวที่เป็นตัวทำละลายในสารละลายดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับความดัน 1 บรรยากาศ สารละลายจึงจะเดือด ดังนั้นจุดเดือดของสารละลายที่มีตัวถูกละลายที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัว ( $T_b$ ) จึงสูงกว่าจุดเดือดของของเหลวที่เป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ ( $T_b$ ) ดังรูป 9.1

การสูงขึ้นของจุดเดือดนี้ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ไม่ระเหยและไม่แตกตัวในสารละลาย ซึ่งจุดเดือดที่สูงขึ้นนี้จะเท่ากับหมดเสมอไม่ว่าจะเป็นของสารละลายใด ๆ ก็ตามที่มีความเข้มข้นเท่ากันและมีตัวทำละลายเหมือนกัน เช่น จุดเดือดของสารละลายใด ๆ ก็ตามที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย และมีความเข้มข้น 1 โมลล (m) จะมีจุดเดือดสูงขึ้นกว่าจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ  $0.512^{\circ}\text{C}$  เสมอ หรือในกรณีที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายและความเข้มข้น 1 โมลล ก็จะมีจุดเดือดสูงขึ้นกว่าจุดเดือดของเอทานอลบริสุทธิ์เท่ากับ  $1.22^{\circ}\text{C}$  เสมอ เรียกจุดเดือดที่สูงขึ้น  $0.512^{\circ}\text{C}$  หรือ  $1.22^{\circ}\text{C}$  นี้ว่า molal boiling point elevation constant ( $K_b$ ) ซึ่งหมายถึงจุดเดือดของสารละลายที่สูงขึ้น เมื่อมีตัวถูกละลาย 1 โมล ละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม

เนื่องจากจุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลายเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับโมลลลิตีของสารละลาย

|         |              |           |                                                                                 |            |
|---------|--------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
|         | $\Delta T_b$ | $\propto$ | m                                                                               |            |
| ดังนั้น | $\Delta T_b$ | =         | $K_b m$                                                                         | .....(9.1) |
| เมื่อ   | $\Delta T_b$ | =         | จุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลาย                                                   |            |
|         |              |           | มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส                                                         |            |
|         | $K_b$        | =         | molal boiling-point elevation constant                                          |            |
|         |              |           | ซึ่งเป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับตัวทำละลายหนึ่ง ๆ                                    |            |
|         |              |           | เท่านั้นมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส /โมลล                                          |            |
|         |              |           | เช่น $K_b$ ของน้ำ = $0.512^{\circ}\text{C}/\text{m}$                            |            |
|         |              |           | $K_b$ ของเอทานอล = $1.22^{\circ}\text{C}/\text{m}$                              |            |
|         | m            | =         | ความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็นโมลล                                           |            |
| หรือ    | m            | =         | $\frac{\text{โมลของตัวถูกละลาย}}{\text{กิโลกรัมของตัวทำละลาย}}$                 |            |
|         |              | =         | $\frac{\text{กรัมของตัวถูกละลาย/น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{กิโลกรัมของตัวทำละลาย}}$ |            |

ในการทดลองถ้าทราบน้ำหนักเป็นกรัมของตัวทำละลาย ตัวถูกละลาย และจุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลายก็สามารถคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายได้จากสมการที่ (9.1)

### อุปกรณ์การทดลอง

เทอร์มอมิเตอร์ช่วง  $0 - 100^{\circ}\text{C}$  ที่มีขีดแบ่งละเอียดถึง  $0.1^{\circ}\text{C}$

บีกเกอร์ขนาด  $600\text{ cm}^3$

กระบอกตวงขนาด  $10\text{ cm}^3$  อ่านได้ละเอียด  $0.1\text{ cm}^3$

หลอดทดลองขนาด  $22 \times 175\text{ mm}$

หลอด capillary สำหรับหาจุดเดือด\*

หลอดแก้วกลางยาว  $30\text{ cm}$

จุกคอร์กที่มีรู 2 รู สำหรับเสียบเทอร์มอมิเตอร์และหลอดแก้วกลาง

ปากคีบยาว  $20\text{ cm}$

ขาตั้งและที่ยึดอุปกรณ์

ตะเกียบบนเช็น สามขา และ ตะแกรงลวด

**หมายเหตุ\*** หลอด capillary สำหรับหาจุดเดือด เตรียมขึ้นโดยนำหลอด capillary ขนาด  $1.5 \times 76\text{ mm}$  ที่ปิดปลายแล้วมาเชื่อมต่อให้ปลายด้านปิดติดกัน แล้วตัดปลายด้านหนึ่งให้ห่างจากรอยต่อประมาณ  $0.3 - 0.4\text{ cm}$

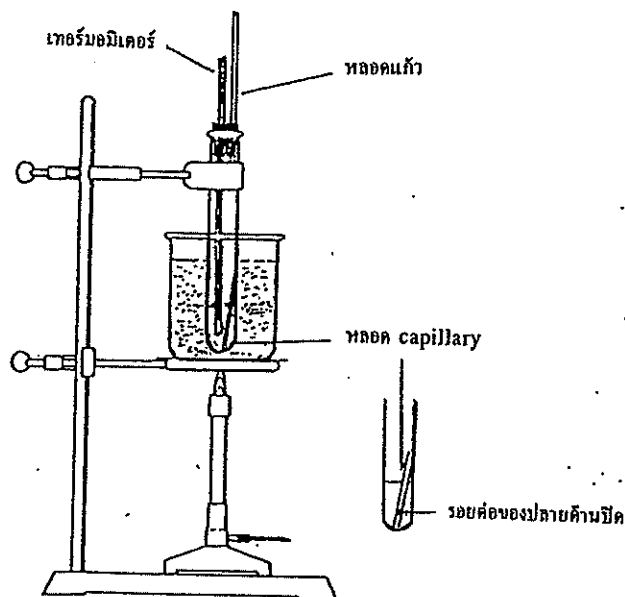
### สารเคมีที่ใช้

สารตัวอย่าง

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  ethanol (เอทานอล) ×

*Glucose, Urea, ...*

**ข้อควรระวัง** อย่านำสารตัวอย่างและเอทานอลซึ่งเป็นสารอินทรีย์เข้าใกล้เปลวไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เอทานอลเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ติดไฟง่าย



รูป 9.2 การหาจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์และของสารละลาย

## วิธีทดลอง

### 1. การหาหาจุดเดือดของเอทานอล

- 1.1 เตรียมน้ำปริมาตร  $400\text{ cm}^3$  ในบีกเกอร์ขนาด  $600\text{ cm}^3$
- 1.2 ใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรเอทานอล  $10\text{ cm}^3$  แล้วเทลงในหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด
- 1.3 ใส่หลอด capillary สำหรับหาจุดเดือด ลงในหลอดทดลอง ให้ปลายเปิดที่ยาว  $0.3 - 0.4\text{ cm}$  อยู่ข้างล่างโดยให้รอยต่อของหลอด capillary อยู่ใต้ผิวหน้าของของเหลวตลอดเวลาขณะทดลอง
- 1.4 ปิดหลอดทดลองด้วยจุกคอร์กที่มีหลอดแก้วกลางและเทอร์มอมิเตอร์เสียบอยู่โดยจัดให้ปลายล่างของหลอดแก้วกลางโผล่พ้นออกมาจากจุกคอร์กประมาณ  $1\text{ cm}$  และกระเปาะเทอร์มอมิเตอร์อยู่ต่ำกว่าผิวหน้าของของเหลวประมาณ  $2\text{ cm}$
- 1.5 จับหลอดทดลองด้วยที่ยึด แล้วจุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำที่เตรียมไว้แล้ว ดังรูป 9.2
- 1.6 ให้ความร้อนจนกระทั่งเห็นฟองอากาศออกมาจากปลายหลอด capillary เป็นสาย จึงหยุดให้ความร้อน ฟองอากาศจะออกมาช้าลงจนกระทั่งไม่มีฟองอากาศออกมาอีก บันทึกอุณหภูมิทันทีที่ของเหลวในหลอดทดลองเริ่มไหลเข้าไปในหลอด capillary อุณหภูมิที่อ่านได้นี้คือ จุดเดือดของเอทานอล โดยอ่านให้ละเอียด ถึง  $0.1^\circ\text{C}$
- 1.7 ทำการทดลองหาจุดเดือดของเอทานอลซ้ำอีกครั้ง โดยยกหลอดทดลองขึ้นจากบีกเกอร์ รอให้หลอดทดลองเย็นลง นำจุกคอร์กออก ใช้ปากคีบคีบหลอด capillary ออกมา สกัดให้ของเหลวที่ค้างอยู่ในหลอดออกไป แล้วจึงวางลงในหลอดทดลองตามเดิม ทำการทดลองต่อตามข้อ 4-6 จุดเดือดที่หาได้ครั้งนี้จะเท่ากับจุดเดือดที่หาได้ครั้งแรกหรือแตกต่างกันน้อยมาก

### 2. การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง

- 2.1 หลังจากทำการทดลองหาจุดเดือดของเอทานอลตามข้อ 1 แล้ว ทำให้หลอดทดลองเย็นลง โดยการนำไปแช่ในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำเย็น เช็ดหลอดด้านนอกให้แห้ง นำจุกคอร์กและหลอด capillary ออก วัดปริมาตรของเอทานอลในหลอดทดลอง โดยถ่ายลงในกระบอกตวงขนาด  $10\text{ cm}^3$  ที่แห้งและสะอาดให้หมด บันทึกปริมาตรของเอทานอลที่วัดได้
- 2.2 เทสารตัวอย่างที่มีน้ำหนัก  $1.000$  กรัม ซึ่งเตรียมไว้ให้แล้วลงในหลอดทดลองเดิมในข้อ 8 ซึ่งทำให้แห้งแล้ว จากนั้นเทเอทานอลในกระบอกตวงลงในหลอดทดลองที่บรรจุสารตัวอย่างดังกล่าว ละลายสารตัวอย่างในเอทานอลให้หมด แล้วจึงใส่หลอด capillary อันเดิมที่สกัดของเหลวที่ค้างอยู่ทิ้งไป แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-6 ซึ่งอุณหภูมิ ที่อ่านได้คือจุดเดือดของสารละลาย

**หมายเหตุ** สารตัวอย่างที่ละลายในเอทานอลได้ช้า ให้จุ่มหลอดทดลองลงในน้ำร้อน เขย่าโดยหมุนหลอดทดลองไปทางเดียวกัน จนกระทั่งสารตัวอย่างละลายหมด

ปฏิบัติการ 403.....

ชื่อ..... คณะ..... หมู่..... เบอร์ตู้ .....

อาจารย์ผู้ควบคุม..... วันที่.....

รายงานการทดลองเรื่องการหาโมเลกุลโดยการสูงขึ้น  
ของจุดเดือดของสารละลาย

1. การหาจุดเดือดของเอทานอล

| ผลการทดลอง         | ครั้งที่ 1         | ครั้งที่ 2         |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| จุดเดือดของเอทานอล | $^{\circ}\text{C}$ | $^{\circ}\text{C}$ |

จุดเดือดของเอทานอล (เฉลี่ย) = ..... $^{\circ}\text{C}$

## 2. การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง

สารตัวอย่างเลขที่ .....

|   |                                                     |                 |
|---|-----------------------------------------------------|-----------------|
| 1 | จุดเดือดของเอทานอล (จากข้อ 1)                       | °C              |
| 2 | ปริมาตรของเอทานอล                                   | cm <sup>3</sup> |
| 3 | น้ำหนักของเอทานอล                                   | กรัม            |
| 4 | น้ำหนักของสารตัวอย่าง                               | กรัม            |
| 5 | จุดเดือดของสารละลาย                                 | °C              |
| 6 | จุดเดือดที่สูงขึ้นของสารละลาย, $\Delta T_b$ (5)-(1) | °C              |
| 7 | น้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง                        |                 |

กำหนดให้ความหนาแน่นของเอทานอลเท่ากับ  $0.785 \text{ g cm}^{-3}$

แสดงการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของสารตัวอย่าง

## บทที่ 10

### กฎของแก๊ส

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากฎของแก๊ส
2. เพื่อหาปริมาตรโมลาร์ (molar volume) ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน
3. เพื่อหาค่าคงที่ของแก๊ส

#### บทนำ

##### กฎของบอยล์ (Boyle's law)

โรเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) สรุปเป็นกฎว่า "เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน" เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V \propto \frac{1}{p} \quad (\text{เมื่อ } T \text{ และ } n \text{ คงที่}) \quad \dots\dots\dots(10.1)$$

เมื่อ  $V$  = ปริมาตร,  $P$  = ความดัน,  $T$  = อุณหภูมิสมบูรณ์, และ  $n$  = จำนวนโมล

##### กฎของชาร์ลส์ (Charles' law)

จาควส์ ชาร์ลส์ (Jacques Charles) สรุปเป็นกฎว่า "เมื่อความดันและจำนวนโมลคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์" เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V \propto T \quad (\text{เมื่อ } P \text{ และ } n \text{ คงที่}) \quad \dots\dots\dots(10.2)$$

##### กฎรวมของแก๊ส (Combined gas law)

กฎรวมของแก๊สได้จากการรวมกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลส์เข้าด้วยกัน จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน อุณหภูมิ และปริมาตร เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{.....(10.3)}$$

จากสมการ 10.3 สามารถคำนวณหาตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเมื่อทราบค่าตัวแปรอื่น ๆ ตัวอย่าง เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร  $300 \text{ cm}^3$  ที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$  ความดัน 780 มม.ปรอท จะมีปริมาตรลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น  $0^\circ\text{C}$  และปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อความดันลดลงเป็น 760 มม.ปรอท คำนวณหาปริมาตรแก๊สที่ STP ได้จากสมการ 10.3 ดังนี้

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 \times \frac{T_1}{T_2} \times \frac{P_2}{P_1} \\ &= (300 \text{ cm}^3) \times \frac{(273 \text{ K})}{(303 \text{ K})} \times \frac{(780 \text{ มม.ปรอท})}{(760 \text{ มม.ปรอท})} \\ &= 277 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

#### กฎของอโวกาโดร (Avogadro's law)

อโวกาโดร (Avogadro) สรุปเป็นกฎว่า "เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส" เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V \propto n \quad (\text{เมื่อ } T \text{ และ } P \text{ คงที่}) \quad \text{.....(10.4)}$$

#### กฎของแก๊สอุดมคติ (Ideal-gas law)

กฎของแก๊สอุดมคติได้มาจากกฎของบอยล์ กฎของชาร์ลส์ และกฎของอโวกาโดร มารวมกัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของแก๊ส ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ เขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$PV = nRT \quad \text{.....(10.5)}$$

$$R = \frac{PV}{nT} \quad \text{.....(10.6)}$$

เมื่อ  $R$  = ค่าคงที่ของแก๊ส

=  $0.0821 \text{ ลิตร-บรรยากาศ-โมล}^{-1}\text{- องศาเซลเซียส}^{-1}$

=  $62.36 \text{ ลิตร-ทอร์-โมล}^{-1}\text{- องศาเซลเซียส}^{-1}$

=  $1.987 \text{ แคลอรี-โมล}^{-1}\text{- องศาเซลเซียส}^{-1}$  (1 ลิตร-บรรยากาศ = 24.1 แคลอรี)

=  $8.314 \text{ จูล-โมล}^{-1}\text{- องศาเซลเซียส}^{-1}$  (1 ลิตร-บรรยากาศ = 101.3 จูล)

### ปริมาตรโมลาร์ (Molar volume)

ตามกฎของอวกาศโดร จะได้ว่าแก๊สใด ๆ ก็ตามหนึ่งโมลจะมีปริมาตรเท่ากันภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันเดียวกัน เรียกว่า ปริมาตรโมลาร์ ปริมาตรโมลาร์ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (Standard Temperature-Pressure, STP) หมายถึงปริมาตรของแก๊ส 1 โมล ซึ่งมีปริมาตร 22.4132 ลิตร ที่ความดัน 760 มม.ปรอท อุณหภูมิ 273.15 K (0°C)

### กฎความดันย่อยของดาลตัน (Dalton's law)

ดาลตัน (Dalton) สรุปเป็นกฎว่า "ความดันไอรวมของแก๊สผสมจะเท่ากับผลบวกความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสมนั้น" เมื่อทำการเตรียมแก๊สในห้องปฏิบัติการ โดยการเก็บแก๊สนั้นเหนือน้ำภายในภาชนะปิด แก๊สที่เก็บเหนือน้ำจะมีไอน้ำผสมอยู่ด้วย ไอน้ำเกิดจากการระเหยของน้ำและไอน้ำจะทำให้เกิดความดันส่วนหนึ่งเรียกว่า ความดันไออิ่มตัว (ที่สภาวะสมดุล) ตัวอย่างเช่น ภายในภาชนะปิดที่มีโมเลกุลของน้ำ 3% และไฮโดรเจน 97% แสดงว่า 3% ของความดันทั้งหมดเกิดขึ้นเนื่องมาจากความดันไอของน้ำ และ 97% ของความดันไอทั้งหมดเนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจน แก๊สแต่ละชนิดจะมีความดันไอเฉพาะไม่ว่าภายในภาชนะจะมีแก๊สชนิดอื่นอยู่หรือไม่ก็ตาม วิธีการหาความดันทั้งหมดของแก๊สไฮโดรเจนและน้ำทำได้โดยการปรับความดันทั้งหมดในขวดเก็บแก๊สให้เท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก วัดความดันบรรยากาศภายนอกโดยใช้บารอมิเตอร์ และจากกฎความดันย่อยของดาลตันเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{H}_2} \quad \text{.....(10.7)}$$

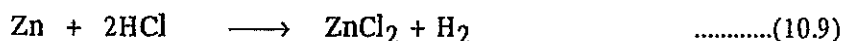
$$\therefore P_{\text{H}_2} = P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}} \quad \text{.....(10.8)}$$

เมื่อ  $P_{\text{atm}}$  = ความดันบรรยากาศ ขณะทำการทดลอง มีหน่วยเป็นบรรยากาศ หรือ มม.ปรอท

$P_{\text{H}_2}$  = ความดันแก๊สไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิขณะทำการทดลอง มีหน่วยเป็นบรรยากาศ หรือ มม.ปรอท

$P_{\text{H}_2\text{O}}$  = ความดันไออิ่มตัวของน้ำ ณ อุณหภูมิขณะทำการทดลอง มีหน่วยเป็นบรรยากาศ หรือ มม.ปรอท (ดูได้จากตาราง 10.1)

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาของแก๊สต่าง ๆ หาปริมาตรโมลาร์ที่ STP และหาค่าคงที่ของแก๊สภายใต้สภาวะในห้องปฏิบัติการ โดยการเตรียมแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างสังกะสีและกรดเกลือ ดังสมการ



แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นสามารถเก็บโดยการแทนที่น้ำในขวดปิด จำนวนโมลของแก๊สหาได้จากมวลของสารกำหนดปริมาณ และมวลโมเลกุลของสารกำหนดปริมาณดังนี้



$$n = \frac{\text{มวลของสารกำหนดปริมาณ (m)}}{\text{มวลโมเลกุลของสารกำหนดปริมาณ (M)}}$$

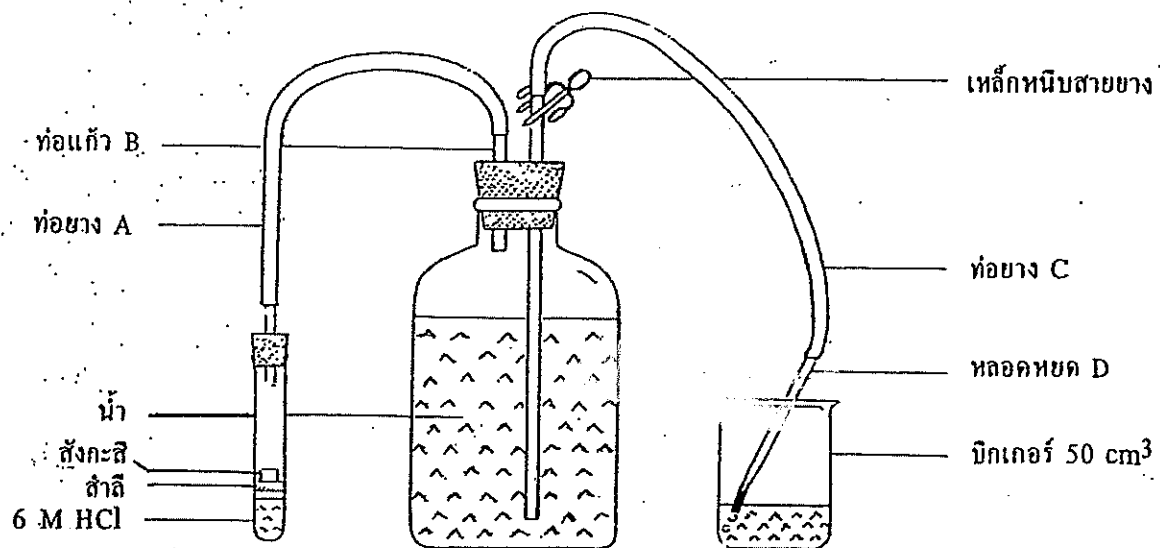
แทนค่าลงในสมการ 10.6 จะได้

$$R = \frac{MPV}{mT} \quad \dots\dots\dots(10.10)$$

จากสมการ 10.9 จะเห็นได้ว่าสังกะสี 1 โมล จะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดเกลือ 2 โมล และได้แก๊สไฮโดรเจน 1 โมล ดังนั้นอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ของสังกะสีต่อกรดเกลือเท่ากับ 1:2 และปฏิกิริยาจะสิ้นสุดลงเมื่อสารตั้งต้นที่มีปริมาณน้อยกว่าหมดไป เรียกสารตั้งต้นที่มีปริมาณน้อยกว่านี้ว่า สารกำหนดปริมาณ โดยทั่วไปสารกำหนดปริมาณคือสารที่มีปริมาณน้อยกว่า แต่ในการทดลองเพื่อให้ผลการทดลองถูกต้องยิ่งขึ้น ควรจะเลือกสารที่มีความเสถียรสูง ไม่ดูดความชื้น และมีมวลโมเลกุลสูง เพื่อลดความผิดพลาดในการชั่งสารกำหนดปริมาณ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้สังกะสีมาเป็นสารกำหนดปริมาณ และจะใช้กรดเกลือมากเกินไปในการทำปฏิกิริยา จากนั้นหาค่าหรือจำนวนโมลของสารกำหนดปริมาณนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาตร หรือจำนวนโมลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ในการทดลองนี้จะได้จำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับจำนวนโมลของสังกะสี จากค่าปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สสามารถคำนวณหาปริมาตรโมลาร์ของแก๊สไฮโดรเจนที่ STP จากสมการ 10.3 และค่าคงที่ของแก๊สได้จากสมการ 10.10

ตาราง 10.1 ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

| อุณหภูมิ<br>°C | ความดัน<br>ทอร์ | อุณหภูมิ<br>°C | ความดัน<br>ทอร์ |
|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 20             | 17.5            | 31             | 33.7            |
| 21             | 18.7            | 32             | 35.7            |
| 22             | 19.8            | 33             | 37.7            |
| 23             | 21.1            | 34             | 39.9            |
| 24             | 22.4            | 35             | 42.2            |
| 25             | 23.8            | 36             | 44.6            |
| 26             | 25.2            | 37             | 47.1            |
| 27             | 26.7            | 38             | 49.7            |
| 28             | 28.3            | 39             | 52.4            |
| 29             | 30.0            | 40             | 55.3            |
| 30             | 31.8            | 41             | 58.3            |



รูปที่ 10.1

### การทดลอง

#### อุปกรณ์การทดลอง

- หลอดทดลองขนาด 20 cm<sup>3</sup> พร้อมจุกยางที่มีหลอดแก้วเสียบอยู่ตั้งรูป
- ขวดสวเลม ขนาด 500 cm<sup>3</sup> หรือ 1000 cm<sup>3</sup> พร้อมจุกยางที่มีหลอดแก้วเสียบอยู่
- บีกเกอร์ขนาด 50 cm<sup>3</sup>
- กระบอกตวงขนาด 100 cm<sup>3</sup>
- ท่อข้าง
- เหล็กหนีบสายยาง (Pinch-clamp)
- ปากกิบ
- เทอร์มอมิเตอร์
- สำลี
- ลูกยาง

#### สารเคมีที่ใช้

แผ่นโลหะสังกะสี

6 M HCl

## วิธีทดลอง

1. จัดเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 10.1 เติมน้ำลงในขวดสารเคมีปริมาตรประมาณ  $400\text{ cm}^3$  หรือ  $900\text{ cm}^3$  ยังไม่ต้องต่อท่ออย่าง A เข้ากับหลอดทดลอง และปลายท่อแก้ว B ที่เสียบอยู่ในจุกยางที่ปิดขวดสารเคมี เติมน้ำให้ท่วมปลายหลอดหยด D ที่อยู่ในบีกเกอร์สูงประมาณ  $1\text{ cm}$
2. ใช้จุกยางเป่าผ่านทางท่อแก้ว B เพื่อให้ น้ำไหลผ่านท่ออย่าง C หลอดหยด D และไหลลงสู่บีกเกอร์เพื่อบรรจุน้ำให้เต็มทั้งสอง ขกบีกเกอร์ขึ้นและลงหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ น้ำไหลกลับไปในท่ออย่าง C และหลอดหยด D เป็นการกำจัดฟองอากาศ ต้องระวังให้ปลายของหลอดหยด D อยู่ต่ำกว่าผิวของน้ำในบีกเกอร์ในระหว่างยกบีกเกอร์ขึ้นและลง ระดับน้ำในขวดควรจะไม่เปลี่ยนแปลงเท่ากับระดับน้ำดังแสดงในรูป 10.1 ระวังอย่าให้น้ำไหลเข้าไปในท่อแก้ว B ปิดท่ออย่าง C ด้วยเหล็กหนีบสายยาง วางบีกเกอร์บนโต๊ะปฏิบัติการ
3. ตวงสารละลาย  $6\text{ M HCl}$  ปริมาตร  $5\text{ cm}^3$  ใส่ลงในหลอดทดลอง ให้หลอดทดลองตั้งตรง ซึ่งแผ่นสังกะสีประมาณ  $0.05\text{ กรัม}$  บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม ใช้คีมหยิบสำลี ขนาดพอเหมาะวางลงบนผิวหน้าของสารละลายกรดเกลือในหลอดทดลองให้มีความหนาพอสมควร แต่อย่าแน่นเกินไปดังรูป และไม่ให้สัมผัสกับกรดเกลือ ใส่แผ่นสังกะสีที่ทราบน้ำหนักแน่นอนลงไปบนสำลี ปิดจุกยางให้แน่นพอประมาณไม่ให้แก๊สรั่วออกมาได้ ต่อปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับท่อแก้ว B
4. ตรวจดูรอยรั่วโดยเอาเหล็กหนีบท่ออย่าง C ออก จะมีน้ำบางส่วนไหลลงสู่บีกเกอร์ ถ้าไม่มีรอยรั่วจะไม่มีน้ำไหลออกมาอีก ถึงแม้ระดับความสูงของน้ำจะแตกต่างกันมาก ปรับความดันของหลอดทดลองและขวดสารเคมีให้เท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก โดยยกบีกเกอร์จนกระทั่งระดับน้ำในบีกเกอร์เท่ากับระดับน้ำในขวดสารเคมี ต้องให้ปลายหลอดหยด D อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ ปิดเหล็กหนีบบนท่ออย่าง C เอาหลอดหยด D ออกจากบีกเกอร์ เทน้ำในบีกเกอร์ทิ้งให้หมด ไม่ต้องเช็ดบีกเกอร์ให้แห้ง ใส่หลอดหยด D ลงในบีกเกอร์เดิมซึ่งวางอยู่บนโต๊ะปฏิบัติการ เอาเหล็กหนีบท่ออย่าง C ออก จะมีน้ำไหลออกมาเล็กน้อย ไม่ต้องเทน้ำในบีกเกอร์ทิ้ง
5. เชียงหลอดทดลองเพื่อให้แผ่นสังกะสีและสารละลายกรดเกลือสัมผัสกัน จะสังเกตเห็นฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้น แก๊สไฮโดรเจนจะแทนที่น้ำในขวดสารเคมีและทำให้น้ำไหลลงสู่บีกเกอร์ เขย่าหลอดทดลองตลอดเวลา เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายกรดเกลือและแผ่นสังกะสีทำปฏิกิริยากันสมบูรณ์ และเป็นการไล่ฟองแก๊สไฮโดรเจนที่จับอยู่บริเวณผิวแก้วภายในหลอดทดลองด้วย ใช้เวลาประมาณ 5 นาที
6. ปรับระดับน้ำในบีกเกอร์ให้เท่ากับน้ำในขวดสารเคมี หนีบท่ออย่าง C ด้วยเหล็กหนีบ เทน้ำในบีกเกอร์ลงในกระบอกตวงขนาด  $100\text{ cm}^3$  ที่แห้งและสะอาด วัดปริมาตร วัดอุณหภูมิน้ำในกระบอกตวง
7. ล้างหลอดทดลองให้สะอาดและทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึงข้อ 6 อีก 2 ครั้ง วัดความดันบรรยากาศด้วยบารอมิเตอร์ หาค่าความดันไอ น้ำอิมดวที่อุณหภูมิการทดลองจากบทนำ
8. คำนวณจำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของสังกะสี ปริมาตรโมลาร์ที่ STP และค่าคงที่ของแก๊ส

**ข้อควรระวัง** แก๊สไฮโดรเจนติดไฟได้ง่าย ไม่ควรทำการทดลองใกล้เปลวไฟ

### ปฏิบัติการ 403 .....

ชื่อ ..... คณะ ..... หมู่ ..... เบอร์ตู้ .....  
 อาจารย์ผู้ควบคุม ..... วันที่ .....

### รายงานการทดลองเรื่องกฎของแก๊ส

| ผลการทดลอง                                           | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
|------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| 1. น้ำหนักสังกะสี (กรัม)                             |            |            |            |
| 2. ปริมาตรของน้ำ (ลิตร)                              |            |            |            |
| 3. อุณหภูมิของน้ำ (K)                                |            |            |            |
| 4. ความดันบรรยากาศ (บรรยากาศ)                        |            |            |            |
| 5. ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิการทดลอง (บรรยากาศ) |            |            |            |

### การคำนวณ

|                                                         | ตั้งตัวเลขแสดงวิธีคำนวณ<br>ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| 1. ความดันของแก๊สไฮโดรเจน (บรรยากาศ)                    |                                       |            |            |            |
| 2. จำนวนโมลของสังกะสี (โมล)                             |                                       |            |            |            |
| 3. จำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจน (โมล)                        |                                       |            |            |            |
| 4. ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมิห้อง (ลิตร)         |                                       |            |            |            |
| 5. ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่ STP (ลิตร)<br>(คำนวณจากข้อ 4) |                                       |            |            |            |
| 6. ปริมาตรโมลาร์ที่ STP จากผลการทดลอง (ลิตร)            |                                       |            |            |            |

|                                                                                     | คํงคํวเลขแสดงวิธีคํานวณ<br>คํงที่ 1 | คํงที่ 1 | คํงที่ 2 | คํงที่ 3 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| 7. ปริมาตรโมลาร์ (เฉลี่ย)<br>(ลิตร)                                                 |                                     |          |          |          |
| 8. ความผิดพลาดสัมพัทธ์<br>(%)                                                       |                                     |          |          |          |
| 9. R<br>(ลิตร-บรรยากาศ-โมล <sup>-1</sup> -<br>องศาสมบูรณ์ <sup>-1</sup> )           |                                     |          |          |          |
| 10. R (เฉลี่ย)<br>(ลิตร-บรรยากาศ-โมล <sup>-1</sup> -<br>องศาสมบูรณ์ <sup>-1</sup> ) |                                     |          |          |          |
| 11. ความผิดพลาดสัมพัทธ์<br>(%)                                                      |                                     |          |          |          |

มวลอะตอม Zn = 65.38

### คำถาม

1. จงหาน้ำหนักของแก๊สต่อไปนี้ที่มีปริมาตร 1 ลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน (ใช้มวลอะตอมและปริมาตรโมลาร์ในการคำนวณเท่านั้น)
  - 1.1 น้ำหนักแก๊ส Br<sub>2</sub> = ..... = ..... กรัม
  - 1.2 น้ำหนักแก๊ส O<sub>2</sub> = ..... = ..... กรัม
  - 1.3 น้ำหนักแก๊ส CO<sub>2</sub> = ..... = ..... กรัม
2. น้ำ 10 กรัม ระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิ 100°C และความดัน 700 มม.ปรอท จงหา
  - 2.1 จำนวนโมลของน้ำ
  - 2.2 ปริมาตรของไอน้ำ
3. เพราะเหตุใดจึงต้องปรับระดับน้ำในขวดสารเคมีเท่ากับระดับน้ำในบีกเกอร์

## บทที่ 11

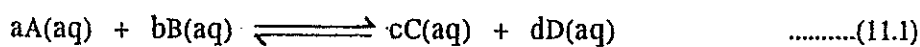
### สมดุลเคมี

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นและอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาในภาวะสมดุล
2. เพื่อศึกษาสมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย และสมดุลของไอออนเชิงซ้อน
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่าคงตัวสมดุล และเอนทัลปี (enthalpy) ของปฏิกิริยา

#### บทนำ

สมดุลเคมีเกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ และอยู่ในระบบปิด พิจารณาสมการ



เมื่อ A, B, C, D เป็นโมเลกุลหรือไอออนในสารละลาย a, b, c และ d เป็นเลขสัมประสิทธิ์แสดงปริมาณ สัมพันธ์ของสาร A, B, C และ D ตามลำดับ

ที่ภาวะสมดุลผลคูณของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์หารด้วยผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือ ความเข้มข้นแต่ละค่ายกกำลังด้วยเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารนั้น ๆ ในสมการที่ดุลแล้ว จะมีค่าคงที่เสมอเมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่าคงที่นี้คือค่าคงตัวสมดุล (equilibrium constant) หรือ K

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

[ ] คือความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล หน่วยเป็น  $\text{mol dm}^{-3}$

ถ้ามีการกระทำบางอย่างที่เป็นการรบกวนภาวะสมดุลของปฏิกิริยา เช่น การเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งในระบบ การเปลี่ยนอุณหภูมิหรือความดัน ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่ทำให้ปัจจัยที่รบกวนนั้นลดลง โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น หรือเกิดปฏิกิริยาผันกลับมากขึ้น จนกระทั่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งสองทิศทางเท่ากัน ระบบกลับเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง ค่าคงตัวสมดุลใหม่นี้จะเท่ากับค่าคงตัวสมดุลของระบบก่อนที่ระบบจะถูกรบกวน

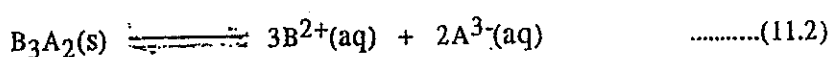
ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคูกความร้อน หรือ ปฏิกิริยาคายความร้อน ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้แก่วัสดุพิจารณาได้ 2 ลักษณะ

1. การเปลี่ยนแปลงความร้อนให้แก่ระบบแบบชั่วคราว เมื่อเริ่มเพิ่มหรือลดอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะพยายามปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างใดข้างหนึ่งมากขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิของระบบมีค่าเท่าเดิม กรณีนี้ค่าคงตัวสมดุลของระบบมีค่าเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนแปลงความร้อนให้แก่ระบบแบบถาวร ในการเปลี่ยนแปลงความร้อนแบบถาวรนี้ นอกจากระบบจะต้องปรับตัวเพื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่แล้ว ค่าคงตัวสมดุลของระบบยังจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ค่าคงตัวสมดุลของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) ของปฏิกิริยา สำหรับปฏิกิริยาคายความร้อน ( $\Delta H$  เป็นบวก) การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่าคงตัวสมดุลของระบบเพิ่มขึ้น สำหรับปฏิกิริยาดูดความร้อน ( $\Delta H$  เป็นลบ) การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่าคงตัวสมดุลของระบบลดลง

มีเกลือบางชนิดละลายน้ำได้น้อย ที่ภาวะสมดุลจะมีสมดุลระหว่างไอออนที่เกิดจากการแตกตัวของเกลือส่วนที่ละลายไปกับเกลือส่วนที่ไม่ละลาย

พิจารณาสมดุลในสารละลายอิ่มตัวของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย  $B_3A_2$



$$K = \frac{[B^{2+}]^3[A^{3-}]^2}{[B_3A_2(s)]}$$

$$K[B_3A_2(s)] = [B^{2+}]^3[A^{3-}]^2$$

แต่ความเข้มข้นของของแข็งเป็นค่าคงที่ เมื่อคูณกับค่า K จึงได้ค่าคงที่อีกค่าหนึ่งเรียกว่า ค่าคงตัวผลคูณสภาพละลายได้ (solubility product constant) หรือ  $K_{sp}$

$$K_{sp} = [B^{2+}]^3[A^{3-}]^2 \quad \text{.....(11.3)}$$

ค่า  $K_{sp}$  ก็เช่นเดียวกับค่า K คือมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิคงที่ ค่าทางขวามือของสมการที่ (11.3) เป็นผลคูณของความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดในสารละลาย ยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์บอกจำนวนโมลของไอออนนั้น ผลคูณนี้เรียกว่าผลคูณไอออน (ion product)

ในสารละลายอิ่มตัวที่มีของแข็งที่เป็นตัวถูกละลายอยู่มากเกินพอ ผลคูณไอออนในสารละลายจะมีค่าเท่ากับค่า  $K_{sp}$  เกิดภาวะสมดุลแบบสมการที่ (11.2) แต่ถ้าลดผลคูณไอออนลงให้น้อยกว่าค่า  $K_{sp}$  ของแข็งจะละลายได้อีกจนผลคูณไอออนเท่ากับค่า  $K_{sp}$  จึงจะหยุดละลาย การลดความเข้มข้นของไอออนลงนับว่าเป็นการรบกวนภาวะสมดุลของระบบ ระบบจึงต้องปรับตัวใหม่เพื่อให้ภาวะสมดุลกลับคืนมา โดยของแข็งจะละลายมากขึ้น จนกระทั่งระบบกลับเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง

ในสารละลายที่ค่าผลคูณไอออนน้อยกว่าค่า  $K_{sp}$  จะไม่มีของแข็งหรือตะกอนในสารละลายนั้นและจะไม่มีสมดุลแบบสมการที่ (11.2) ถ้าต้องการให้เกิดของแข็งต้องเพิ่มความเข้มข้นของไอออนให้มากขึ้นจนกระทั่งผลคูณไอออนในสารละลายมีค่าเท่ากับ  $K_{sp}$  หรือมีค่ามากกว่าค่า  $K_{sp}$

## อุปกรณ์การทดลอง

หลอดทดลอง ขนาด 16 × 15.0 mm

กระบอกวัดขนาด  $10 \text{ cm}^3$ .

บีกเกอร์ขนาด  $400 \text{ cm}^3$

ตะเกียง

## ឥរិយាបថ

**ຕະແກຣງຄວດ**

**แห่งแก้วคน**

**ตลอดหยด**

**สารเคมี**

$$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$$

cobalt (II) chloride hexahydrate

0.3 M

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

lead nitrate

0.3 M

HCl

hydrochloric acid

0.1 M

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

magnesium nitrate

6 M

$$\text{NaOH}$$

sodium hydroxide

12 M

HCl (conc HCl)

hydrochloric acid

0.1 M

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

**zinc nitrate**

6 M

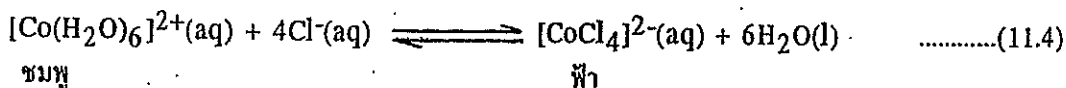
HCl

hydrochloric acid

### วิธีทดลอง

### 1. สมดุลของไอออนเชิงซ้อน

ไอออนของโลหะบางชนิดจะเสถียรในรูปของไอออนเชิงซ้อน เช่น  $\text{Co}^{2+}$  จะเสถียรในรูปไอออนเชิงซ้อน  $[\text{CoCl}_4]^{2-}$  ลิฟา หรืออยู่ในรูป  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  ลิขมพู สมดุลระหว่างไอออนเชิงซ้อนทั้งสองชนิดเป็นไปตามสมการ



1.1 ตัก  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ปริมาณเท่าหัวไม้ขีดไฟลงในหลอดทดลอง เดิม 12 M HCl ปริมาตร  $1 \text{ cm}^3$  (ระวัง) เพื่อที่จะละลาย  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  บันทึกลักษณะละลาย

1.2 หยคน้ำกลั่นปริมาตร 1 cm<sup>3</sup> ลงในหลอดทดลองจากข้อ 1.1 โดยหยดทีละหยดพร้อมทั้งคน  
สังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลาย

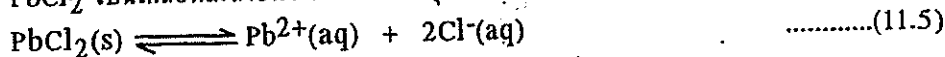
1.3 จุ่มหลอดทดลองลงในบีกเกอร์น้ำเดือด สังเกตการเปลี่ยนแปลง ทำหลอดทดลองให้เป็น โดยแช่ในน้ำประปาสังเกตการเปลี่ยนแปลง



## 2. สมดุลของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย

### 2.1 สมดุลการละลายของ $\text{PbCl}_2$

$\text{PbCl}_2$  เป็นเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย สมดุลการละลายเป็นดังนี้



$$K_{\text{sp}} = [\text{Pb}^{2+}] [\text{Cl}^{-}]^2 = 1.6 \times 10^{-5} \text{ ที่ } 25^{\circ}\text{C}$$

2.1.1 เทสารละลาย 0.3 M  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  ปริมาตร 3.0  $\text{cm}^3$  และ 0.3 M  $\text{HCl}$  ปริมาตร 1.0  $\text{cm}^3$  ลงในหลอดทดลอง คนสารละลายให้ทั่ว ทิ้งไว้ประมาณ 15 วินาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

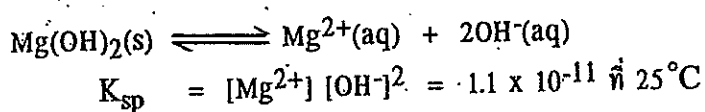
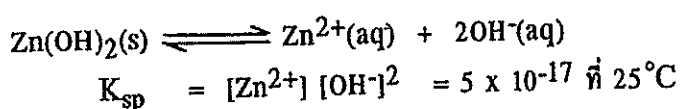
2.1.2 เติมน้ำกลั่น 0.3 M  $\text{HCl}$  ลงในหลอดทดลองจากข้อ 2.1.1 ทีละหยด จนมองเห็นตะกอนขาว ของ  $\text{PbCl}_2$  บันทึกปริมาตรทั้งหมดของ 0.3 M  $\text{HCl}$  ที่เติมลงไป

2.1.3 คำนวณหลอดทดลองที่มีตะกอน  $\text{PbCl}_2$  ในบีกเกอร์น้ำเดือด คนชั่วขณะหนึ่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทำหลอดทดลองให้เป็นโดยการจุ่มในบีกเกอร์น้ำประปา สังเกตการเปลี่ยนแปลง

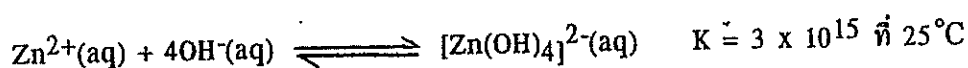
2.1.4 เติมน้ำกลั่นครั้งละ 1  $\text{cm}^3$  ลงในหลอดทดลองจากข้อ 2.1.3 คนสารละลายให้ทั่วหลังจากเติมน้ำแต่ละครั้ง เติมน้ำจนกระทั่งตะกอนละลายหมด บันทึกปริมาตรน้ำทั้งหมดที่เติมลงไป

### 2.2 สมดุลการละลายของ $\text{Zn}(\text{OH})_2$ และ $\text{Mg}(\text{OH})_2$

$\text{Zn}(\text{OH})_2$  และ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  เป็นเกลือที่ละลายได้น้อยมาก สมดุลการละลายของ  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  และ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  เป็นดังนี้



$\text{Zn}^{2+}$  เกิดไอออนเชิงซ้อนได้ในสารละลายที่มี  $\text{OH}^{-}$  มากเกินพอ ส่วน  $\text{Mg}^{2+}$  จะไม่เกิดไอออนเชิงซ้อนกับ  $\text{OH}^{-}$



2.2.1 นำหลอดทดลองมา 2 หลอด หลอดที่ 1 ใส่สารละลาย 0.1 M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  ปริมาตร 1  $\text{cm}^3$  หลอดที่ 2 ใส่สารละลาย 0.1 M  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  ปริมาตร 1  $\text{cm}^3$

2.2.2 หยดสารละลาย 6 M NaOH ลงในหลอดทดลองทั้งสองจากข้อ 2.2.1 หลอดละ 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

2.2.3 หยดสารละลาย 6 M NaOH ในหลอดทดลองทั้งสองต่อไปเรื่อย ๆ ทีละ 1 หยด จนครบหลอดละ 5 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

2.2.4 นำหลอดทดลองที่มีตะกอนในข้อ 2.2.3 มาเติมสารละลาย 6 M HCl ทีละหยด จนครบ 12 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

## บทที่ 13

### ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

ผศ.ดร.พจมาน พูลมี

#### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพื่อกำหนดอันดับของปฏิกิริยา (reaction order)
2. หาอันดับของปฏิกิริยา
3. เพื่อหาค่าคงที่อัตราเฉพาะปฏิกิริยา (specific rate constant)
4. เพื่อศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและหาค่าพลังงานกระตุ้น (activation energy) ของปฏิกิริยา

#### บทนำ

ในการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีนั้นมีความสำคัญอยู่ 3 คำถาม คำถามที่หนึ่ง คือ ปฏิกิริยาเคมีใดๆ จะเกิดขึ้นได้หรือไม่ คำถามที่สอง คือ ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นแล้วจะดำเนินต่อไปได้รวดเร็วเพียงใด และคำถามสุดท้าย คือ จะเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใดจึงจะสิ้นสุด ในคำถามที่สองนั้นเป็นคำถามที่สามารถหาคำตอบได้เมื่อศึกษาทางจลนศาสตร์เคมี ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและหากลไกของปฏิกิริยาได้ เมื่อกล่าวถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยานั้น มีปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และ ตัวทำละลาย แต่ในการทดลองนี้จะศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น

#### อัตราการเกิดปฏิกิริยา (reaction rate)

อัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $r$ ) หมายถึงจำนวนโมลของสารตั้งต้นที่ถูกทำปฏิกิริยาไปหรือจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลา โดยมากวัดเป็นความเข้มข้น ( $C$ ) ของสารหนึ่งสารใดที่เปลี่ยนไปต่อหน่วยเวลา ( $t$ ) หรืออาจจะเป็นปริมาตรของแก๊สต่อหน่วยเวลา

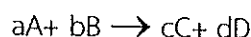
$$r = \frac{\Delta C}{\Delta t} \quad (1)$$

ถ้าความเข้มข้นมีหน่วยเป็นโมลาร์ ( $\text{mol L}^{-1}$ ) และเวลามีหน่วยเป็นวินาที ( $s$ ) อัตราการเกิดปฏิกิริยามีหน่วยเป็น

$\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$  แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารในเวลาต่างๆ จะไม่คงที่ ดังนั้นจึงนิยม เขียน อัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปของสมการดิฟเฟอเรนเชียล ดังนี้

$$r = \frac{dC}{dt} \quad (2)$$

สำหรับปฏิกิริยาใด ๆ



จะเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาในเทอมของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร A, B, C และ D ได้ดังนี้

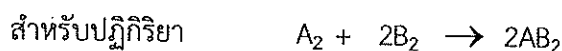
$$r = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt}$$

เครื่องหมาย - แสดงถึงอัตราการลดความเข้มข้นของสาร

เครื่องหมาย + แสดงถึงอัตราการเพิ่มความเข้มข้นของสาร

### กฎอัตรา (rate law)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา โดยอาจขึ้นอยู่กับสารเพียงหนึ่งหรือสองหรือทุกชนิดในปฏิกิริยา

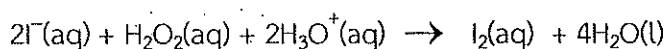


อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิด ดังนั้นจึงเขียนสมการแสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปของความเข้มข้นของสารที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ในรูป กฎอัตราของปฏิกิริยา ดังนี้

$$r = k[A_2]^x[B_2]^y \quad (3)$$

เมื่อ  $k$  คือ ค่าคงที่อัตราเฉพาะปฏิกิริยา (specific rate constant) โดยในแต่ละปฏิกิริยาจะมีค่า  $k$  เฉพาะที่อุณหภูมินั้นๆ ขนาดของ  $k$  บอกให้ทราบถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยานั้น ถ้าค่า  $k$  มาก แสดงว่าปฏิกิริยานั้นเกิดได้ดี  $[A_2]$  และ  $[B_2]$  คือ ความเข้มข้นของสาร  $A_2$  และ  $B_2$  ที่เข้าทำปฏิกิริยากันมีหน่วยเป็น  $\text{mol L}^{-1}$  ส่วน  $x$  และ  $y$  คือ อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสาร  $A_2$  และ  $B_2$  ตามลำดับ โดยค่า  $x$  และ  $y$  หาได้จากการทดลองเท่านั้น

สำหรับการทดลองนี้จะศึกษากฎอัตราสำหรับปฏิกิริยาของ  $\text{H}_2\text{O}_2$  กับ KI ดังสมการ



อัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยานี้ขึ้นกับความเข้มข้นของ  $\text{I}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และเขียนกฎอัตราได้ดังนี้

$$r = k[\text{I}^-]^x[\text{H}_2\text{O}_2]^y[\text{H}_3\text{O}^+]^z \quad (4)$$

ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  มีค่ามากกว่า  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  จะทำให้ปฏิกิริยาเร็วเกินไปจนไม่สามารถวัดได้ในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป แต่ถ้าความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  มีค่าน้อยกว่า  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสามารถวัดได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้บัฟเฟอร์ ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) ที่มีความเข้มข้นคงที่ประมาณ  $1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  เป็นตัวควบคุมความเข้มข้นของ  $\text{H}_3\text{O}^+$  ตลอดการทดลอง ซึ่งที่ความเข้มข้นนี้  $\text{H}_3\text{O}^+$  จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นกฎอัตราเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$r = k'[\text{I}^-]^x[\text{H}_2\text{O}_2]^y \quad \text{เมื่อ } k' = k[\text{H}_3\text{O}^+]^z \quad (5)$$

ดังนั้นในการทดลองนี้จะหาค่า  $x$  และ  $y$  เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ  $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  โดยจะมีการทดลอง 2 ชุด ชุดหนึ่งสำหรับหาค่า  $x$  และอีกชุดหนึ่งสำหรับหาค่า  $y$  และนอกจากนี้ต้องหาค่า  $k'$  อีกด้วย

#### การหาอันดับของปฏิกิริยา

- การหาอันดับ (x) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ  $\text{I}^-$

ในการทดลองชุดแรก จะเป็นการทดลองที่  $\text{I}^-$  มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยการทดลองชุดนี้จะมี  $\text{H}_2\text{O}_2$  จำนวนมากในบัฟเฟอร์ เพื่อจะทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{O}_2$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  คงที่ตลอดชุดการทดลอง ดังนั้นเมื่อเขียนกฎอัตราจะลดรูปเป็น

$$r = k'[\text{I}^-]^x \cdot c \quad \text{เมื่อ } c \text{ คือค่าคงที่เท่ากับ } [\text{H}_2\text{O}_2]^y \quad (6)$$

- การหาอันดับ (y) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{O}_2$

ในการทดลองชุดสอง จะเป็นการทดลองที่  $\text{H}_2\text{O}_2$  มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยการทดลองชุดนี้จะมี  $\text{I}^-$  จำนวนมากในบัฟเฟอร์ เพื่อจะทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{I}^-$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  คงที่ตลอดชุดการทดลอง ดังนั้นเมื่อเขียนกฎอัตราจะลดรูปเป็น

$$r = k'[\text{H}_2\text{O}_2]^y \cdot c \quad \text{เมื่อ } c \text{ คือค่าคงที่เท่ากับ } [\text{I}^-]^x \quad (7)$$

### การหาค่าคงที่อัตราเฉพาะปฏิกิริยา ( $k'$ )

การหาค่า  $k'$  ทำได้โดยเลือกการทดลองมาเพียง 1 การทดลอง จากนั้นแทนค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารตั้งต้นทุกตัวลงในสมการ (5) แก่สมการหาค่า  $k'$  ได้

### การหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา ( $E_a$ )

ปกติการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่อัตราของปฏิกิริยาจะไม่เปลี่ยนแปลง ( $x$  และ  $y$  ไม่เปลี่ยนแปลง) ดังนั้นผลของการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่า  $k$  เพิ่มขึ้น อาร์เรเนียสได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $k$  และอุณหภูมิได้สมการ ซึ่งนำไปสู่การหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาได้

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (8)$$

เมื่อ  $A$  = แฟกเตอร์แห่งความถี่มีหน่วยเช่นเดียวกับค่า  $k$

$E_a$  = พลังงานกระตุ้นมีหน่วยเป็น  $\text{J mol}^{-1}$

$R$  = ค่าคงที่ของแก๊สมีค่า  $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$T$  = อุณหภูมิ (K)

เขียนสมการ (8) ในรูปลอการิทึมดังสมการที่ (9)

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303RT} \quad (9)$$

ถ้าค่า  $k$  ที่อุณหภูมิ  $T_1$  และ  $T_2$  มีค่าเป็น  $k_1$  และ  $k_2$  ตามลำดับ จากสมการ (9) จะเขียนได้เป็นสมการที่ (10) และ (11)

$$\log k_1 = \log A - \frac{E_a}{2.303RT_1} \quad (10)$$

$$\log k_2 = \log A - \frac{E_a}{2.303RT_2} \quad (11)$$

นำสมการ (10) ไปลบออกจากสมการ (11) จะได้สมการที่ (12)

$$\log \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{2.303R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (12)$$

หรือ

$$\log \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{2.303R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \quad (13)$$

จากสมการที่ (13) เมื่อจัดเรียงความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปสำหรับหาค่า  $E_a$  จะได้สมการที่ (14)

$$E_a = 2.303R \left( \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \right) \log \frac{k_2}{k_1} \quad (14)$$

### อุปกรณ์

บีกเกอร์ขนาด 50 mL

เทอร์มอมิเตอร์

แท่งแก้วคน

นาฬิกาจับเวลา

### สารเคมี

0.3 M KI                      potassium iodide

0.02M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$            sodium thiosulfate

0.1 M  $\text{H}_2\text{O}_2$                 hydrogen peroxide

0.5 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ 0.5 M  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (buffer)

2% น้ำแป้ง                    starch

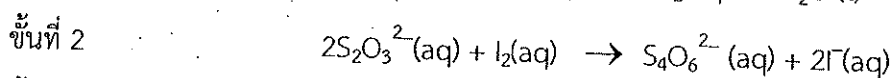
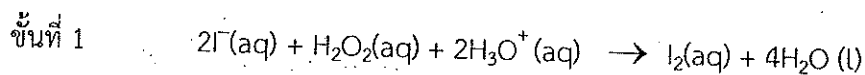
### การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

#### ตอนที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพื่อกำหนดอันดับของปฏิกิริยา

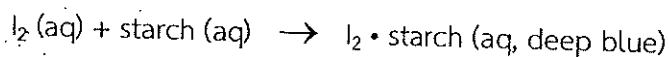
ในการทดลองนี้จะศึกษาปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นประกอบด้วย  $\text{I}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$  และผลผลิตที่เกิดขึ้นเมื่อสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากัน คือ  $\text{I}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ในตอนแรกเมื่อผสมสารตั้งต้น ( $\text{I}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  และ  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) พร้อมกับเติม  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  (thiosulfate ion) และน้ำแป้งลงไปด้วย  $\text{I}_2$  ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  ที่ใส่ลงไป ในปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย แต่ทราบปริมาณแน่นอนเกิดเป็น  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$  (tetrathionate ion) และ  $\text{I}^-$  เมื่อจำนวน

$S_2O_3^{2-}$  ในสารละลายทำปฏิกิริยาหมดไป  $I_2$  ที่เหลืออยู่จะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งทันที ได้สีน้ำเงินของสารเชิงซ้อนของน้ำแป้งไอโอดีน

สรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้



ขั้นที่ 3 เมื่อจำนวนที่แน่นอนของ  $S_2O_3^{2-}$  หมดไป  $I_2$  ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งทันที



ในการทดลองนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะวัดในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินและจะวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากการเกิด  $I_2$  (ผลิตภัณฑ์)

การคำนวณค่าต่าง ๆ ในกฎอัตรา

$$r = k' [I^-]^x [H_2O_2]^y \quad \text{เมื่อ} \quad k' = k [H_3O^+]^z$$

• จำนวนโมลของ  $I_2$  ที่เกิดขึ้น ( $\Delta \text{mol } I_2$ ) จากขั้นที่ 2 ของการเกิดปฏิกิริยา พบว่าจำนวนโมล ของ  $I_2$  ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับครึ่งโมลของ  $S_2O_3^{2-}$  ซึ่งจำนวนโมลของ  $S_2O_3^{2-}$  นี้จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงจำนวนโมลของ  $I_2$  ตั้งแต่เริ่มทำปฏิกิริยาที่เวลาเท่ากับศูนย์จนกระทั่งถึงเวลาที่สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ( $\Delta t$ )

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ } I_2 &= \frac{1}{2} \text{ จำนวนโมลของ } S_2O_3^{2-} \\ &= \frac{1}{2} \frac{([S_2O_3^{2-}][\text{volume of } S_2O_3^{2-}])}{1000} \end{aligned}$$

• อัตราการเกิดปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยานี้คำนวณจากอัตราส่วนของความเข้มข้นของ  $I_2$  ที่เกิดขึ้นกับช่วงเวลา ( $\Delta t$ ) เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

$$r = \frac{[I_2]}{\Delta t}$$



• ความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $\Gamma$  ( $[\Gamma]_0$ ) และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $[\text{H}_2\text{O}_2]_0$ ) เนื่องจากปริมาณของ  $\Gamma$  และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่ถูกใช้ไปในปฏิกิริยามีจำนวนเล็กน้อย ดังนั้นความเข้มข้นของ  $\Gamma$  และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  ที่เหลืออยู่ตลอดเวลาเมื่อเริ่มเกิดสีน้ำเงินจึงเกือบเท่ากับค่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นก่อนทำปฏิกิริยา ดังนั้นความเข้มข้นที่ใช้ในการคำนวณจึงอนุมานว่ามีค่าเท่ากับตอนเริ่มต้น และเรียกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น (initial concentration)

### วิธีการทดลอง

#### 1. เตรียมสารละลายดังตารางที่ 1

1.1 เตรียมสารละลาย A ตามตารางที่ 1 ของการทดลองที่ 1 2 และ 3 ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ที่แห้งและสะอาด พร้อมทั้งคนสารละลาย

1.2 เตรียมสารละลาย B ตามตารางที่ 1 ของการทดลองที่ 1 2 และ 3 ลงในบีกเกอร์ขนาด 10 mL หรือหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด

โดยสารละลาย A และ สารละลาย B จะถูกบรรจุอยู่ในบิวเรต

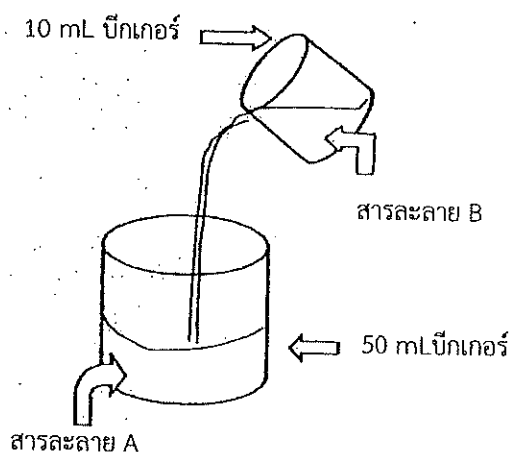
ตารางที่ 1 ปริมาตรของสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

| การทดลองที่ | สารละลาย A                    |                               |                               |                                                               |                  | สารละลาย B                                        |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|
|             | น้ำกลั่น<br>( $\text{cm}^3$ ) | บัฟเฟอร์<br>( $\text{cm}^3$ ) | 0.3 M KI<br>( $\text{cm}^3$ ) | 0.02 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$<br>( $\text{cm}^3$ ) | น้ำแป้ง<br>(หยด) | 0.1 M $\text{H}_2\text{O}_2$<br>( $\text{cm}^3$ ) |
| 1           | 4.0                           | 1.0                           | 1.0                           | 1.0                                                           | 5                | 3.0                                               |
| 2           | 3.0                           | 1.0                           | 2.0                           | 1.0                                                           | 5                | 3.0                                               |
| 3           | 0.0                           | 1.0                           | 1.0                           | 1.0                                                           | 5                | 7.0                                               |
| 4**         | 4.0                           | 1.0                           | 1.0                           | 1.0                                                           | 5                | 3.0                                               |

\*\*นำสารละลาย A ไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C

2. เติม  $\text{H}_2\text{O}_2$  (สารละลาย B) ลงในสารละลาย A ในแต่ละการทดลอง ดังรูปด้านล่าง พร้อมคนสารละลาย พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาเมื่อเริ่มเทสารละลาย B บันทึกเวลาที่สารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

3. บันทึกอุณหภูมิของสารละลายผสมในแต่ละการทดลอง



ตอนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้น

ในการทดลองตอนที่ 2 จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง (การทดลองที่ 1) และอุณหภูมิประมาณ  $50^{\circ}\text{C}$  (การทดลองที่ 4) โดยให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นทุกสารคงที่ ซึ่งจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไปเร็วขึ้น ดังนั้นจากการเปลี่ยนอุณหภูมิจะทำให้สามารถหาค่า  $k$  ที่อุณหภูมิใหม่ได้ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาได้

วิธีการทดลอง (ให้ทำการทดลองที่ 4)

การทดลองที่อุณหภูมิประมาณ  $50^{\circ}\text{C}$  นั้นจะแตกต่างจากการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือก่อนที่จะเทสารละลาย B ลงในสารละลาย A นั้น ต้องนำบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลาย A (การทดลองที่ 4) ไปอุ่นให้สารละลายมีอุณหภูมิประมาณ  $50^{\circ}\text{C}$  ก่อนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วจึงเทสารละลาย B ลงไป



# รายงานผลการทดลอง วิชา 01403 \_\_\_\_\_

หมู่เรียน \_\_\_\_\_

ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

กลุ่มที่ \_\_\_\_\_

ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

ห้องเรียน \_\_\_\_\_

ชื่อ-สกุล \_\_\_\_\_ รหัส \_\_\_\_\_

อาจารย์ผู้สอน \_\_\_\_\_

วันที่ \_\_\_\_\_

## บทที่ 13 เรื่องผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

### ผลการทดลอง

#### ตารางที่ 1 ปริมาตรสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

| การทดลองที่ | สารละลาย A       |                  |                  |                                                              |                  | สารละลาย B                                  |
|-------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------|
|             | น้ำกลั่น<br>(mL) | บัฟเฟอร์<br>(mL) | 0.3 M KI<br>(mL) | 0.02 M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(mL) | น้ำแป้ง<br>(หยด) | 0.1 M H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>(mL) |
| 1           | 4.0              | 1.0              | 1.0              | 1.0                                                          | 5                | 3.0                                         |
| 2           | 3.0              | 1.0              | 2.0              | 1.0                                                          | 5                | 3.0                                         |
| 3           | 0.0              | 1.0              | 1.0              | 1.0                                                          | 5                | 7.0                                         |
| 4**         | 4.0              | 1.0              | 1.0              | 1.0                                                          | 5                | 3.0                                         |

\*\*นำสารละลาย A ไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 °C

#### ตารางที่ 2 ผลการทดลองและการคำนวณ

| การทดลองที่                                                | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------------------------------------------|---|---|---|---|
| [I <sup>-</sup> ] <sub>0</sub> (M)                         |   |   |   |   |
| [H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] <sub>0</sub> (M)          |   |   |   |   |
| Δt (s)                                                     |   |   |   |   |
| T (°C) *                                                   |   |   |   |   |
| n <sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup></sub> (mol) |   |   |   |   |
| n <sub>I<sub>2</sub></sub> (mol)                           |   |   |   |   |
| [I <sub>2</sub> ] (M)                                      |   |   |   |   |
| [I <sub>2</sub> ] / Δt (M·s <sup>-1</sup> )                |   |   |   |   |

\* อุณหภูมิของการทดลองที่ 1-3 ควรมีความเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน อุณหภูมิของการทดลองที่ 4 ควรมีความใกล้เคียง 50 °C (ให้บันทึกอุณหภูมิจริงที่วัดได้)

การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับผลในตารางที่ 2 (แสดงเฉพาะการทดลองที่ 1)

1.  $[I^-]_0$

---

---

---

---

2.  $[H_2O_2]_0$

---

---

---

---

3.  $n_{SrO_3^{2-}}$

---

---

---

4.  $n_b$

---

---

---

---

5.  $[I_2]$

---

---

---

---

6.  $[I_2]/\Delta t$

---

---

---

---

การคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา  $x$ ,  $y$ ,  $k'$  และ  $E_a$

1. หาอันดับของปฏิกิริยา  $x$

.....

.....

.....

.....

.....

2. หาอันดับของปฏิกิริยา  $y$

.....

.....

.....

.....

.....

3. กฎอัตราของปฏิกิริยา คือ.....อันดับรวมของปฏิกิริยา คือ.....

4. หาค่าคงที่ปฏิกิริยา ( $k'$ )

.....

.....

.....

.....

.....

5. หาค่าคงที่ปฏิกิริยาที่  $50^\circ\text{C}$  ( $k''$ )

.....

.....

.....

.....

.....

6. หาค่าพลังงานก่อกัมมันต์  $E_a$

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

การทิ้งสารเคมี สารที่เหลือทุกขั้นตอนให้ ทิ้งลงในอ่างน้ำ

## บทที่ 16

### คุณภาพวิเคราะห์

#### คุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis)

คุณภาพวิเคราะห์ เป็นแขนงหนึ่งของเคมีวิเคราะห์ เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของสารต่าง ๆ การตรวจสอบโลหะซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบ รวมไปถึงการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของโลหะในโลหะเจือ สารละลายของเกลือในน้ำจะให้องค์ประกอบของธาตุออกมาในรูปของแคตไอออน (ไอออนบวก) และแอนไอออน (ไอออนลบ) โลหะหรือโลหะเจือมักจะละลายในกรดให้สารละลายซึ่งประกอบด้วยไอออนของโลหะ (แคตไอออน) ดังนั้นคุณภาพวิเคราะห์จึงเป็นการวิเคราะห์ไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย

ความยุ่งยากของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ของเหลวในเซลล์หรือในบรรยากาศเหนือเมืองอุตสาหกรรมอาจจะต้องใช้เทคนิคที่ยุ่งยากมาก ในขณะที่การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำทะเลสามารถทำได้ง่ายกว่า สำหรับการวิเคราะห์ในบทต่อไปนี้เป็น การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ทำให้สะดวกไม่ยุ่งยากจนเกินไปคือการวิเคราะห์สารละลายของเกลือ ซึ่งธาตุองค์ประกอบจะอยู่ในรูปของไอออนบวกและไอออนลบในสารละลาย

#### วิธีการวิเคราะห์แบบเซมิไมโคร (Semimicro-method analysis)

คุณภาพวิเคราะห์มีหลายวิธี แตกต่างกันตามปริมาณตัวอย่างที่ใช้

| วิธีการวิเคราะห์    | ปริมาณของสารตัวอย่าง |                               |
|---------------------|----------------------|-------------------------------|
|                     | น้ำหนัก              | ปริมาตร                       |
| Macro analysis      | 0.1 - 10.0 กรัม      | 10 - 100 cm <sup>3</sup>      |
| Semimicro analysis  | 0.01 - 0.1 กรัม      | 0.1 - 5 cm <sup>3</sup>       |
| Micro analysis      | 0.001 - 0.01 กรัม    | 0.01 - 0.1 cm <sup>3</sup>    |
| Ultramicro analysis | น้อยกว่า 0.001 กรัม  | น้อยกว่า 0.01 cm <sup>3</sup> |





คุณภาพวิเคราะห์แบบเคมีไมโครเป็นวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับผู้เริ่มเรียน เพราะสามารถนำเทคนิคที่เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์มาศึกษาได้ เช่น สามารถทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็วเพราะปริมาณสารไม่มากนัก สามารถนำเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น เครื่องเหวี่ยงมาใช้ในการแยกตะกอนออกจากสารละลาย ทำให้การวิเคราะห์ใช้เวลาน้อย และไม่สิ้นเปลืองเคมีภัณฑ์ ในการวิเคราะห์ให้ได้ผลดี ผู้วิเคราะห์จะต้องมีความละเอียดรอบคอบ ต้องจดจำ และควรระมัดระวัง และลักษณะของตะกอน หรือสีของสารละลายที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการวิเคราะห์ไว้ให้ละเอียดทุกครั้ง เพราะสีของตะกอนหรือสารละลายที่เกิดขึ้นมักจะบอกให้ทราบได้เสมอว่ามีแคตไอออนอะไรในสารละลาย

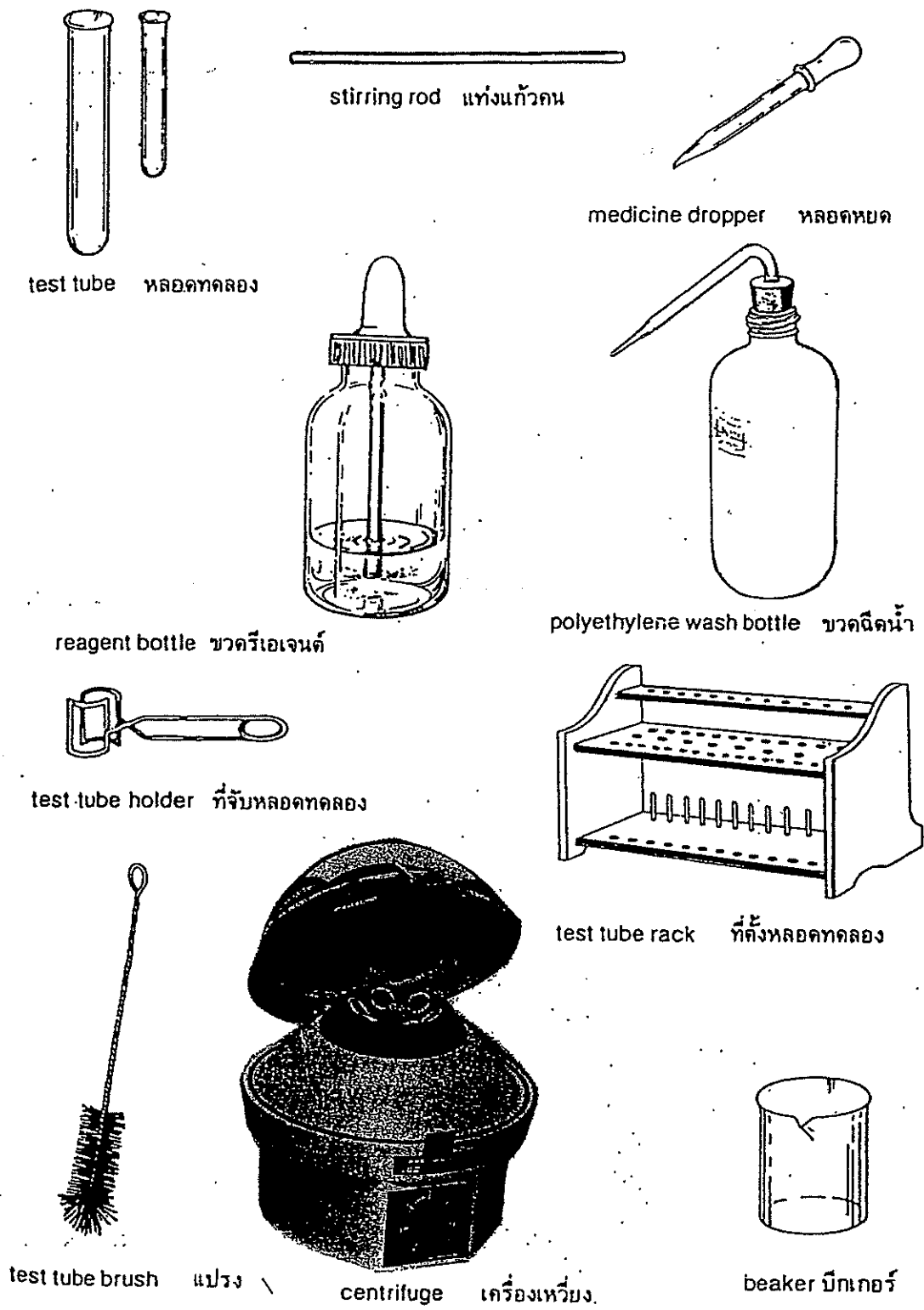
### อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

|                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| หลอดทดลอง ขนาด $10 \times 75$ mm | แท่งแก้วคน      |
| หลอดหยด                          | ขวดรีเอเจนต์    |
| ขวดฉีบน้ำ                        | ที่จับหลอดทดลอง |
| ที่ตั้งหลอดทดลอง                 | แปรง            |
| เครื่องเหวี่ยง                   | บีกเกอร์        |

**เครื่องเหวี่ยง (centrifuge)** การแยกตะกอนออกจากน้ำใสในคุณภาพวิเคราะห์แบบเคมีไมโครใช้เครื่องเหวี่ยง โดยอาศัยแรงเหวี่ยง (centrifugal force) ซึ่งมากกว่าแรงดึงดูดของโลก (gravity) หลายเท่า เครื่องเหวี่ยงจะหมุนด้วยความเร็วสูง 2-3000 รอบต่อนาที จะทำให้ของแข็งแยกตัวออกจากของเหลวตกอยู่ที่ก้นหลอดทดลอง ตะกอนที่มีอนุภาคเล็กมาก เช่น ตะกอนชนิดคอลลอยด์จะแขวนลอยอยู่ในสารละลาย ต้องใช้เวลาในการเหวี่ยงนานกว่าตะกอนชนิดผลึก ซึ่งมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า การแยกตะกอนออกจากสารละลายโดยใช้เครื่องเหวี่ยงนี้ ใช้แทนการกรองในคุณภาพ วิเคราะห์แบบมาโคร น้ำใสที่อยู่เหนือตะกอนหลังจากเข้าเครื่องเหวี่ยงแล้ว สามารถแยกออกจากตะกอนได้ โดยการรินออกมาหรือใช้หลอดหยดดูดออกก็ได้ น้ำใสนี้เรียกว่า เซนทริฟูเกต (centrifugate)

### ข้อปฏิบัติในการใช้เครื่องเหวี่ยง

1. ก่อนที่จะนำหลอดที่มีตะกอนใส่ลงในเครื่อง ให้เตรียมหลอดอีกหลอดหนึ่งที่มีน้ำหนักเท่าๆ กันใส่น้ำลงในหลอดเปล่าจนกระทั่งมีระดับเท่ากับหลอดที่มีตะกอน
2. ใส่หลอดทั้งสองลงในบล็อกของเครื่องเหวี่ยงที่อยู่ตรงข้ามกันหลอดละข้าง
3. ของเหลวในหลอดจะต้องต่ำกว่าปากหลอดอย่างน้อย 1 cm เพราะถ้าของเหลวถึงหลอดจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดสนิมและอาจทำให้น้ำหนักของบล็อกต่างกัน (ถ้าน้ำหนักสองข้างไม่สมดุลกันเครื่องเหวี่ยงจะมีการสั่นสะเทือนมากและมีเสียงดัง)



รูป 16.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในคุณภาพวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร

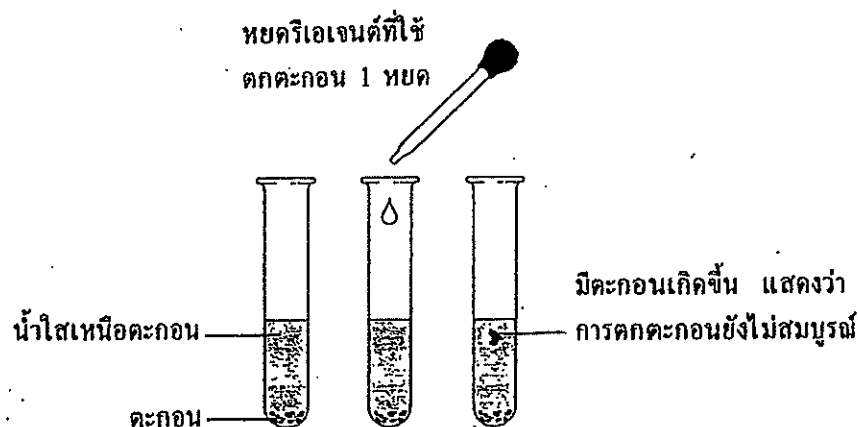
4. ปิดฝาเครื่องเหวี่ยง เปิดสวิทซ์ให้เครื่องเหวี่ยงหมุนนาน 30-40 วินาที จึงปิดสวิทซ์ ทิ้งไว้ 30 วินาที รอให้เครื่องเหวี่ยงหยุดนิ่งจึงเปิดฝา ไม่จำเป็นต้องทำให้เครื่องเหวี่ยงหยุดนิ่งโดยกระทันหัน เช่น กดปุ่มเบรคบนฝาเครื่องเหวี่ยง เพราะจะทำให้ตะกอนฟุ้งกระจายขึ้นมาอีก

5. ถ้ามีเสียงดังเกิดขึ้นและสั่นสะเทือนมากผิดปกติ หรือมีควันเกิดขึ้น ให้ปิดสวิทซ์ทันที และแจ้งอาจารย์ผู้ควบคุม

### เทคนิคในคุณภาพวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร

การวิเคราะห์จะได้ผลดีต้องอาศัยเทคนิคในการปฏิบัติในหลาย ๆ สิ่งด้วยกัน เช่น การตกตะกอน การแยกตะกอนออกจากสารละลาย การล้างตะกอน การละลายตะกอนในตัวทำละลายต่าง ๆ การระเหย หรือ แม้แต่การทำความสะอาดอุปกรณ์

**การตกตะกอน** การตกตะกอนเกิดขึ้นเมื่อใส่รีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดตะกอน (precipitating reagent) ลงไปในสารละลาย ควรหยดลงไปทีละหยด ช้าๆ และใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว ตะกอนจะตกออกมาดีขึ้น เมื่อนำสารละลายไปอุ่น โดยนำหลอดทดลองที่เกิดตะกอนแช่ในน้ำร้อน ในการตกตะกอนทุกครั้ง ต้องทำให้ตะกอนตกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำการทดสอบได้ว่า การตกตะกอนนั้นสมบูรณ์หรือไม่ โดยนำหลอดทดลองที่มีตะกอนเข้าเครื่องเหวี่ยง เมื่อตะกอนนอนก้นและมีน้ำใสอยู่ด้านบน ให้หยดรีเอเจนต์ที่ใช้ตกตะกอนลงบนน้ำใสตอนบนอีก 1-2 หยด (รูป 16.2) ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นอีก แสดงว่าการตกตะกอนยังไม่สมบูรณ์ ให้เติมรีเอเจนต์ต่อไปอีกหลาย ๆ หยด คน นำเข้าเครื่องเหวี่ยง แต่ถ้ามีน้ำใสตอนบนนั้นไม่ขึ้น หรือตกตะกอนออกมาอีกก็แสดงว่า การตกตะกอนนั้นสมบูรณ์แล้ว



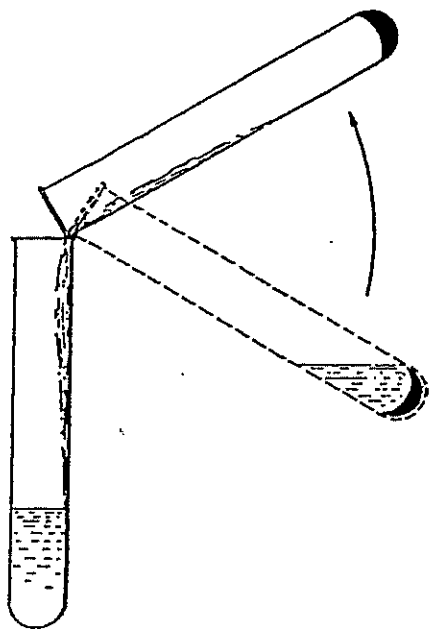
รูป 16.2 แสดงการทดสอบการตกตะกอน

ตามปกติ ให้ใส่รีเอเจนต์ที่ทำให้ตกตะกอนมากเกินไปที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การใส่รีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดตะกอนให้มากเกินไปมากๆ จะมีผลเสียเกิดขึ้นมากกว่าจะเป็นผลดี เพราะบางกรณีจะทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วนั้นละลายไป เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน เช่น ในการตกตะกอน  $\text{AgCl}$  ถ้ามี  $\text{Cl}^-$  มากเกินไป จะทำให้เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนของ  $[\text{AgCl}_2]^-$  ทำให้ตะกอน  $\text{AgCl}$  ละลาย มีตะกอนมากมายหลายชนิด นอกเหนือจากตัวอย่างนี้ ที่ละลายเมื่อมีรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดตะกอนมากเกินไป ควรเนื่องจากตะกอนเหล่านี้กลายเป็นไอออนเชิงซ้อน

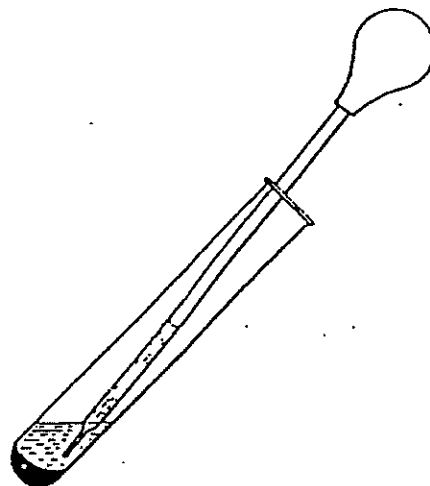
ในบางกรณี การควบคุมสภาพที่ตะกอนเกิดขึ้นมีความสำคัญมาก เช่นในการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์ ในหมู่ 2 อาจเกิดตะกอนชนิดคลอไรด์ ทำให้ไม่สามารถแยกตะกอนออกจากสารละลายได้ ทั้งนี้เพราะการจัดสภาพกรดของสารละลายไม่เหมาะสม ดังนั้นนอกจากการใส่ไฮโดรเจนคลอไรด์ให้พอเหมาะแล้ว อุณหภูมิและสภาพกรด-เบสของสารละลายยังเป็นเรื่องสำคัญที่จะช่วยให้การตกตะกอนเกิดขึ้นได้สมบูรณ์อีกด้วย

**การแยกตะกอนออกจากสารละลาย** หลังจากที่น่าหล่อดทดลองที่มีตะกอนเข้าเครื่องเหวี่ยงแล้ว ตะกอนจะจับแน่นอยู่ที่ก้นหลอด น้ำใสคอนบนหรือเซนตริฟิวเกดสามารถแยกออกมาได้ โดยเอียงหลอดเป็นมุม  $30^{\circ}\text{C}$  แล้วใช้หลอดหยดดูดออกมา โดยบีบกระเปาะยางใส่อากาศออก แล้วจุ่มลงในสารละลาย ให้ปลายหลอดต่ำกว่าระดับน้ำเล็กน้อย ค่อย ๆ ผ่อนกระเปาะยาง ของเหลวจะไหลเข้าไปในหลอดช้า ๆ แล้วค่อย ๆ ลดปลายหลอดหยดให้ต่ำลงตามระดับของของเหลว จนของเหลวหมด ต้องระวังอย่าให้ปลายหลอดหยดแตะกับตะกอน เพราะจะทำให้ตะกอนถูกดูดเข้าไปในหลอดหยดด้วย

อีกวิธีหนึ่ง อาจทำได้โดยใช้การรินหรือเทออกจากหลอดทดลอง วิธีนี้สามารถทำได้ถ้าตะกอนติดแน่นที่ก้นหลอดดีแล้ว ค่อย ๆ เอียงหลอดและรินเอาเซนตริฟิวเกดออกมาช้า ๆ อย่าทำรุนแรง ให้ตะกอนกระทบกระเทือน ซึ่งจะทำให้ตะกอนไหลตามออกมาด้วย



รูป 16.3 แสดงการรินของเหลว



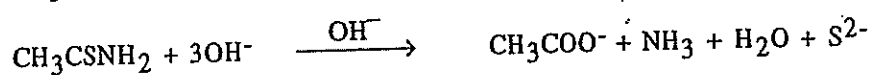
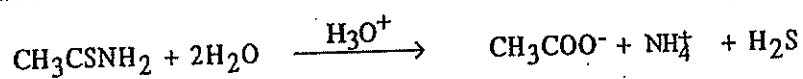
รูป 16.4 แสดงการดูดเอาน้ำใสออกจากหลอดหยด

**การล้างตะกอน** หลังจากแยกเอาเซนทรีฟิวเกดออกไปแล้ว จะต้องล้างตะกอนให้สะอาดเพื่อจัดไอออนอื่นๆ ที่อาจจะติดอยู่กับตะกอนและไปแทรกสอดการทดสอบ ไอออนที่มีอยู่ในตะกอนทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์ไม่ควรติดประหยัดเวลาโดยไม่ยอมล้างตะกอน การล้างตะกอนอาจจะล้างด้วยน้ำหรือของเหลวอย่างอื่นที่ไม่ละลายตะกอน เมื่อหยดย่น้ำที่จะล้างตะกอนลงไปบนตะกอนในหลอดทดลองแล้ว ให้ใช้แท่งแก้วคนให้ทั่ว นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทั้งเซนทรีฟิวเกด หรือเก็บไว้ตามแต่ขั้นตอนของการวิเคราะห์ การล้างตะกอนควรจะทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

**การระเหย** ในบางครั้งจำเป็นต้องทำให้สารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำได้โดยการระเหย คือต้มให้เดือด เป็นเวลานานๆ หรือบางครั้งมีการต้มได้กรดหรือเบสบางชนิด หรือการระเหยจนสารละลายแห้ง วิธีการเหล่านี้ต้องทำโดยใช้ความระเหย ไม่นิยมทำในหลอดทดลองเล็กๆ เพราะจะทำให้ของเหลวพุ่งออกมานอกหลอดได้

**การตกตะกอนด้วยแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์** แก๊ส  $H_2S$  เป็นรีเอเจนต์ที่ใช้กันทั่วไปในการตกตะกอนซัลไฟด์ แก๊สนี้มีกลิ่นเหม็นเหมือนไข่เน่าและมีพิษมาก จึงไม่ควรจะหายใจเอาแก๊สนี้เข้าไปเป็นเวลานาน ๆ

แก๊ส  $H_2S$  ที่นำมาใช้อาจจะได้มาจากแหล่งต่าง ๆ หลายวิธีด้วยกัน แต่ในที่นี้จะแนะนำการใช้  $H_2S$  จากสารละลายไทโออะเซตตามิด (thioacetamide) สารละลายไทโออะเซตตามิดในน้ำค่อนข้างอยู่ตัว และไฮโดรไลซ์ได้ช้ามากที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บไว้ในขวดที่มีจุกปิดได้หลายเดือน โดยไม่เกิด  $H_2S$  แต่จะมีกัมมันต์เกิดขึ้นเล็กน้อยสารละลายไทโออะเซตตามิดนี้จะไฮโดรไลซ์ได้ดีขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิสูงประมาณ  $70 - 90^{\circ}C$  ดังนั้นเมื่อต้องการให้เกิดแก๊ส  $H_2S$  จะต้องต้มสารละลายไทโออะเซตตามิดให้เดือดไม่ต่ำกว่า 5 นาทีเสมอ การไฮโดรไลซ์ในสารละลายเบสจะเกิดได้เร็วกว่าในสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นเท่ากัน



เมื่อต้องการตกตะกอนซัลไฟด์ ให้ใส่สารละลายไทโออะเซตตามิดลงในสารละลายที่จะตกตะกอนโดยตรง แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดไม่ต่ำกว่า 5 นาที

### ข้อแนะนำเกี่ยวกับการปฏิบัติการ

1. เมื่อเริ่มปฏิบัติการ ให้จัดอุปกรณ์ที่ต้องใช้วางไว้บนโต๊ะให้ครบ อุปกรณ์ทุกชิ้นต้องสะอาด ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วให้จัดหาคกระดามิดัมสและกระดามิดามว้างไว้บนกระจานาฬิกา เมื่อจะทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย ให้ใช้แท่งแก้วคน และสารละลายในหลอดทดลอง แล้วนำมาแตะที่กระดามิดัมสบนกระจานาฬิกา อย่าเอากกระดามิดัมสใส่ลงในหลอดทดลอง และอย่าวางกระดามิดัมสลงบนโต๊ะปฏิบัติการ กระดามิดามให้ใช้ติดหลอดทดลองเพื่อเขียนตัวหนังสือแสดงไว้ว่า หลอดที่กำลังจะทำนั้น คือสารอะไร แท่งแก้วคนให้จุ่มไว้ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่น เมื่อจะใช้คนสารละลายในหลอดใดแท่งแก้วคนจะต้องสะอาดเสมอ

2. อ่านวิธีทดลองและวิธีทดสอบด้วยความระมัดระวัง การใส่ริเอเจนต์แต่ละครั้งควรตรวจสอบป้ายติดขวดริเอเจนต์ว่าเป็นสารที่ต้องการใช้จริง ๆ เพราะการใส่ริเอเจนต์ผิด ในบางครั้งแก้ไขไม่ได้ นิสิตจะต้องเริ่มการทดลองตั้งแต่ต้นใหม่ทำให้เสียเวลา

3. เมื่อจะหยดของเหลวจากขวดริเอเจนต์โดยใช้หลอดหยด ต้องให้หลอดหยดสูงกว่าปากหลอดทดลองเล็กน้อยเสมอ อย่าเอาหลอดหยดจุ่มลงในหลอดทดลองเป็นอันขาด เพราะจะทำให้ริเอเจนต์ในขวดสกปรกหรือมีสารอื่นเจือปนได้ (รูป 16.5)

4. การทดลองที่เกิดควันหรือแก๊สที่เป็นอันตราย คือนำไปทำในตู้ควัน



รูป 16.5 แสดงการหยดสารละลายโดยใช้หลอดหยด

## บทที่ 17

### การวิเคราะห์แคตไอออน

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาของแคตไอออน
2. เพื่อทำการแยกและพิสูจน์ทดสอบแคตไอออนต่างๆ ในสารละลาย

#### บทนำ

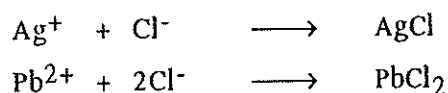
ในสารละลายที่มีแคตไอออนหลายชนิดปนกัน เราจะทำการแยกไอออนเหล่านั้นออกจากกันได้โดยอาศัยปริมาณการละลายได้ของสารที่แตกต่างกัน เช่น  $\text{AgCl}$  ละลายน้ำได้น้อยมาก ส่วน  $\text{NaCl}$  ละลายน้ำได้ดีในสารละลายที่มี  $\text{Ag}^+$  และ  $\text{Na}^+$  เมื่อเติม  $\text{Cl}^-$  ลงไปจะทำให้  $\text{AgCl}$  ตกตะกอนออกมาหมด ส่วน  $\text{NaCl}$  ยังคงละลายอยู่ในสารละลายนั้น หรือ  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  ที่อยู่ปนกันแยกออกจากกันได้โดยอาศัยค่า  $K_{sp}$  ที่แตกต่างกันของ  $\text{BaCrO}_4$  และ  $\text{CaCrO}_4$   $\text{BaCrO}_4$  มีค่า  $K_{sp}$  น้อยกว่า  $\text{CaCrO}_4$  เมื่อเติม  $\text{CrO}_4^{2-}$  ในปริมาณที่พอเหมาะลงไปในสารละลายที่มี  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  จะทำให้  $\text{BaCrO}_4$  ตกตะกอนแยกออกจาก  $\text{Ca}^{2+}$  ได้ เมื่อแยกไอออนต่าง ๆ ออกจากกันแล้ว ก็สามารถพิสูจน์ทดสอบไอออนแต่ละตัวได้โดยอาศัยการทดสอบเฉพาะของไอออนแต่ละตัว (specific test)

ตัวอย่างของแคตไอออนที่จะนำมาแยกและทดสอบ ได้แก่  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  เมื่อมีไอออนเหล่านี้อยู่ปนกัน เราจะแยกออกจากกันตามลำดับดังนี้

1. แยก  $\text{Ag}^+$  และ  $\text{Pb}^{2+}$  ออกก่อนโดยเติม  $\text{Cl}^-$  จะตกตะกอนเป็น  $\text{AgCl}$  และ  $\text{PbCl}_2$  ส่วนไอออนอื่นๆ ไม่ตกตะกอนยังคงอยู่ในสารละลาย
2. แยก  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Fe}^{3+}$  ออกจากสารละลายด้วยการตกตะกอนเป็น  $\text{CuS}$  และ  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  โดยการเติม  $\text{NH}_4\text{OH}$  และ thioacetamide (ไทโออะเซตตามิด)
3. แยก  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  ออกจากสารละลายที่เหลือ ด้วยการเติม  $\text{CO}_3^{2-}$  จะตกตะกอน  $\text{BaCO}_3$  และ  $\text{CaCO}_3$  (ซึ่งเป็นตะกอนขาว)

#### การแยกและพิสูจน์ทดสอบ $\text{Ag}^+$ และ $\text{Pb}^{2+}$

$\text{Ag}^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  ตกตะกอนเป็นเกลือคลอไรด์กับ  $\text{Cl}^-$  (ปกติจะใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก)  $\text{AgCl}$  และ  $\text{PbCl}_2$  เป็นตะกอนสีขาว

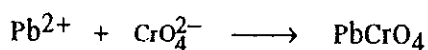


ถ้ามี  $\text{Cl}^-$  มากๆ ตะกอน  $\text{AgCl}$ ,  $\text{PbCl}_2$  จะทำปฏิกิริยาต่อไปกับ  $\text{Cl}^-$  ได้เป็นเกลือ chlorocomplex ที่ละลายน้ำได้

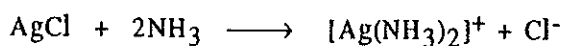


ดังนั้น จึงไม่ควรใช้  $\text{HCl}$  มากเกินไปหลายๆ ในการตกตะกอน  $\text{Ag}^+$  และ  $\text{Pb}^{2+}$   $\text{AgCl}$  และ  $\text{PbCl}_2$  แยกออกจากกันได้เนื่องจาก  $\text{PbCl}_2$  ละลายได้ดีในน้ำร้อน เมื่อเอาตะกอนทั้งสองไปละลายในน้ำร้อน  $\text{PbCl}_2$  จะละลาย น้ำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกเอาตะกอน  $\text{AgCl}$  ออกไปได้

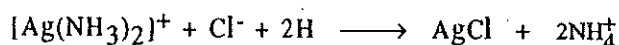
ส่วนเซนตริฟิวเกดที่มี  $\text{Pb}^{2+}$  สามารถพิสูจน์ยืนยันได้โดยนำมาทำปฏิกิริยากับ  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  จะเกิดตะกอนสีเหลืองของ  $\text{PbCrO}_4$



ตะกอน  $\text{AgCl}$  สามารถพิสูจน์ยืนยันได้ โดยการเติม  $\text{NH}_4\text{OH}$  ลงไปบนตะกอน ซึ่งตะกอน  $\text{AgCl}$  ละลายได้ดีใน  $\text{NH}_4\text{OH}$  เกิดเป็นเกลือ diammine silver (I) chloride ที่ละลายน้ำได้



เมื่อเติม  $\text{HNO}_3$  ลงไปในสารละลาย diammine silver (I) complex ion จะทำให้  $\text{AgCl}$  ตกตะกอนกลับคืน มาอีกครั้งหนึ่ง



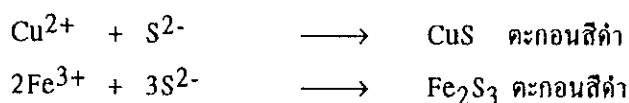
### การแยกและพิสูจน์ทดสอบ $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$

$\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Fe}^{3+}$  ตกตะกอนเป็น  $\text{CuS}$  และ  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  ด้วยไทโออะเซตตามิด ( $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ ) ในสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$

สารละลายไทโออะเซตตามิด เมื่อเติมเบส และทำให้ร้อน จะไฮโดรไลซิสให้  $\text{S}^{2-}$  ดังนี้

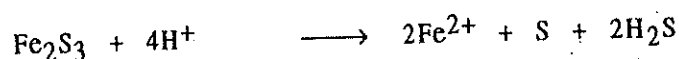


ดังนั้น ปฏิกิริยาในการเกิดเป็นเกลือซัลไฟด์ของ  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Fe}^{3+}$  กับไทโออะเซตตามิดในเบส จึงเขียนง่าย ๆ ดังนี้

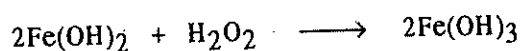




CuS และ  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  แยกออกจากกันได้ เนื่องจาก  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  ละลายได้ดีในกรด HCl ส่วน CuS ไม่ละลาย



เมื่อ  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  ละลาย  $\text{Fe}^{3+}$  จะถูกรีดิวซ์เป็น  $\text{Fe}^{2+}$  เมื่อทำสารละลายให้เป็นเบสด้วย NaOH แล้วเติม  $\text{H}_2\text{O}_2$  จะได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$

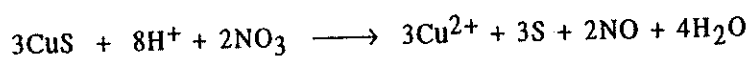


ตะกอน  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ละลายได้ดีใน  $\text{HNO}_3$



สารละลาย  $\text{Fe}^{3+}$  สามารถพิสูจน์ยืนยันได้ โดยการเติม  $\text{NH}_4\text{SCN}$  จะเกิดสารละลายสีแดงเข้มของไอออนเชิงซ้อน  $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$  (สูตรของไอออนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นได้หลายสูตร โดยมี  $\text{SCN}^-$  ตั้งแต่ 1 ถึง 6 ไอออนก็ได้)

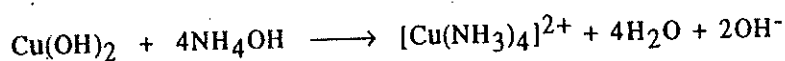
ตะกอน CuS ที่ไม่ละลายใน HCl แต่จะละลายได้ดีใน  $\text{HNO}_3$



สารละลาย  $\text{Cu}^{2+}$  พิสูจน์ยืนยันโดยทำให้ตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$

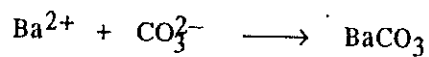


เมื่อเติม  $\text{NH}_4\text{OH}$  ลงไปมาก ๆ ตะกอนสีฟ้าจะละลายได้สารละลายสีสีน้ำเงินเข้มของ  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$

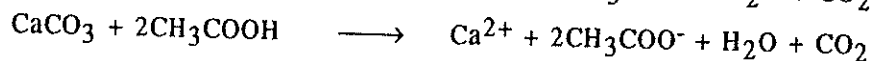
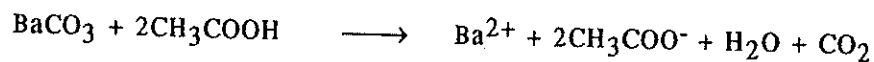


### การแยกและพิสูจน์ทดสอบ $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$

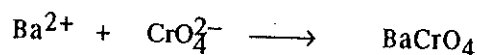
$\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  แยกออกจาก  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  ได้โดยตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนตด้วย แอมโมเนียมคาร์บอเนต



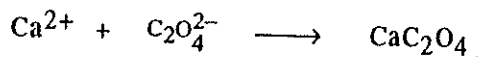
ตะกอนคาร์บอเนตละลายได้ดีใน  $\text{CH}_3\text{COOH}$



แยก  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  ออกจากกัน โดยอาศัยหลักที่ว่า  $\text{BaCrO}_4$  ละลายน้ำได้น้อยกว่า  $\text{CaCrO}_4$  มาก ดังนั้นถ้านำสารละลายที่มี  $\text{Ca}^{2+}$  และ  $\text{Ba}^{2+}$  ไปทำปฏิกิริยากับ  $\text{CrO}_4^{2-}$  ในปริมาณจำกัดจำนวนหนึ่ง จะพบว่า  $\text{Ba}^{2+}$  เท่านั้นที่ตกตะกอนเป็น  $\text{BaCrO}_4$  ซึ่งมีสีเหลือง ส่วน  $\text{Ca}^{2+}$  ไม่ตกตะกอน

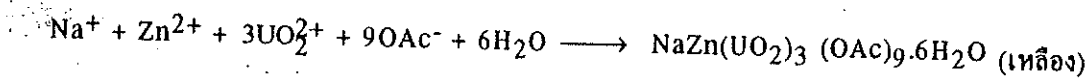


ส่วน  $\text{Ca}^{2+}$  สามารถทดสอบได้โดยตกตะกอนกับ  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  จะได้ตะกอนสีขาวของ  $\text{CaC}_2\text{O}_4$

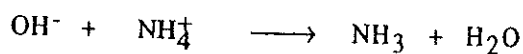


### การพิสูจน์ทดสอบ $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$

เนื่องจากเกลือของ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  เป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี จึงไม่ตกตะกอนกับรีเอเจนต์ที่ใช้ตกตะกอนไอออนต่างๆ ที่ได้แยกออกไปแล้ว สำหรับ  $\text{Na}^+$  นี้จะตกตะกอนกับ zinc-uranyl acetate เกิดเป็น triple salt คือ sodium zinc-uranyl acetate hexahydrate มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลือง การตกตะกอนจะเกิดได้ดีขึ้นถ้าสารละลายที่มีแอลกอฮอล์อยู่ด้วย



การพิสูจน์ทดสอบ  $\text{NH}_4^+$  เนื่องจากมีการเติม  $\text{NH}_4\text{OH}$  ลงไปในสารละลาย ระหว่างทำการตกตะกอนไอออนต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องทดสอบ  $\text{NH}_4^+$  จากสารละลายตัวอย่างที่ได้มาในตอนแรก โดยเติม  $\text{NaOH}$  ลงไปในสารละลายเป็นเบส แล้วนำไปอุ่นจะเกิดแก๊ส  $\text{NH}_3$  แก๊สนี้จะเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นสีน้ำเงิน



## การทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

ใช้อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีไมโคร ดังที่กล่าวไว้ในเรื่องคุณภาพวิเคราะห์

#### สารเคมีที่ใช้

|                                                                     |                                 |                      |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| $\text{AgNO}_3$                                                     | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | silver nitrate       |
| $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$                                          | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | lead nitrate         |
| $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$                                          | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | copper nitrate       |
| $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$                                          | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | ferric nitrate       |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$                                          | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | calcium nitrate      |
| $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$                                          | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | barium nitrate       |
| $\text{NaNO}_3$                                                     | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | sodium nitrate       |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$                                            | (10 mg cation/cm <sup>3</sup> ) | ammonium nitrate     |
| 1 M $\text{NH}_4\text{SCN}$                                         |                                 | ammonium thiocyanate |
| 6 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$                                     |                                 | ammonium acetate     |
| 3 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$                                    |                                 | ammonium carbonate   |
| 0.5 M $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$                         |                                 | ammonium oxalate     |
| 0.5 M $\text{K}_2\text{CrO}_4$                                      |                                 | potassium chromate   |
| 3 % $\text{H}_2\text{O}_2$                                          |                                 | hydrogen peroxide    |
| 6 M $\text{CH}_3\text{COOH}$ หรือ $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ |                                 | acetic acid          |
| 6 M $\text{HCl}$                                                    |                                 | hydrochloric acid    |
| 6 M $\text{HNO}_3$                                                  |                                 | nitric acid          |
| 6 M $\text{NaOH}$                                                   |                                 | sodium hydroxide     |
| 6 M $\text{NH}_4\text{OH}$                                          |                                 | ammonium hydroxide   |
| conc. $\text{NH}_4\text{OH}$                                        |                                 | ammonium hydroxide   |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$                                     |                                 | ethyl alcohol        |
| Zinc uranyl acetate                                                 |                                 |                      |
| 8 % thioacetamide                                                   |                                 |                      |
| litmus paper                                                        |                                 |                      |

## วิธีทดลอง

### 1. การตกตะกอนของแคตไอออนกับรีเอเจนต์ต่าง ๆ

1.1 นำหลอดทดลองมา 8 หลอด หยดสารละลาย  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Pb(NO}_3)_2$ ,  $\text{Cu(NO}_3)_2$ ,  $\text{Fe(NO}_3)_3$ ,  $\text{Ca(NO}_3)_2$ ,  $\text{Ba(NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$  และ  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  อย่างละ 5 หยด ในหลอดทดลอง (ในแต่ละหลอดจะมีสารละลายเพียงอย่างเดียว) แล้วหยด 6 M  $\text{HCl}$  ลงไปอีกหลอดละ 2 หยด คน สังเกตหลอดที่มีตะกอนเกิดขึ้น หลอดที่มีตะกอนนำเข้าเครื่องเหวี่ยง เก็บตะกอนไว้ทดลองในข้อ 2

1.2 หลอดที่ไม่มีตะกอน นำมาใส่ conc. $\text{NH}_4\text{OH}$  จนสารละลายเป็นเบส เดิมไทโออะเซตตามิด หลอดละ 8 หยด คน นำไปต้มในน้ำเดือด 5 นาที สังเกตหลอดที่มีตะกอนเกิดขึ้น นำหลอดที่มีตะกอนเข้าเครื่องเหวี่ยงเก็บตะกอนไว้ ทดลองในข้อ 3

1.3 หลอดที่ไม่มีตะกอนในข้อ 1.2 นำมาเติม  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  ทุกหลอด หลอดละ 5 หยด สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น เหวี่ยงเอาตะกอนเก็บไว้ทดลองในข้อ 4

### 2. การทดสอบแคตไอออนที่ตกตะกอนเป็นเกลือคลอไรด์

เติมน้ำลงไปในหลอดที่มีตะกอนจากข้อ 1.1 หลอดละ 20 หยด ต้มให้เดือด 2 นาที หลอดที่ตะกอนละลาย คือ หลอดที่เป็น  $\text{PbCl}_2$  นำมาเติม  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  3 หยด สังเกตสีของตะกอน หลอดที่ตะกอนไม่ละลาย คือ หลอดที่เป็น  $\text{AgCl}$  นำมาเติม 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ทีละหยด คน สังเกตการละลายของตะกอน เมื่อตะกอนละลายหมดแล้ว หยด 6 M  $\text{HNO}_3$  ลงไปอีกจนสารละลายเป็นกรด (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส) สังเกตตะกอนสีขาวที่เกิดขึ้น

### 3. การทดสอบแคตไอออนที่ตกตะกอนเป็นเกลือซัลไฟด์

นำหลอดทดลองที่มีตะกอนจากข้อ 1.2 มาเติม 6 M  $\text{HCl}$  หลอดละ 5 หยด คน 2 นาที หลอดที่ตะกอนละลายคือ หลอดที่เป็น  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  นำมาเติม 6 M  $\text{NaOH}$  จนสารละลายเป็นเบส แล้วหยด 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  ลงไป 5 หยด (เดิมทีละลายพร้อมทั้งคน) นำไปต้มจนหมดแก๊ส  $\text{O}_2$  สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น นำเข้าเครื่องเหวี่ยง เก็บตะกอนไว้ หยด 6 M  $\text{HNO}_3$  ลงบนตะกอน 3 หยด คน สังเกตการละลายของตะกอน เติมน้ำ 10 หยด และ  $\text{NH}_4\text{SCN}$  3 หยด สังเกตสีของสารละลายที่เกิดขึ้น หลอดที่ตะกอนไม่ละลายคือ หลอดที่เป็น  $\text{CuS}$  นำมาเติม 6 M  $\text{HNO}_3$  6 หยด ต้มในน้ำเดือด 2 นาที สังเกตการละลายของตะกอนสีดำ (หลังจากตะกอนสีดำส่วนใหญ่ละลายแล้วจะมีกากสีดำเล็กน้อยเหลืออยู่ ใช้แท่งแก้วเขี่ยทิ้งไป) เติม 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ลงไปทีละหยด สังเกตตะกอนสีฟ้าที่เกิดขึ้น เติม 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ต่อไปอีก 4-5 หยด สังเกตการละลายของตะกอน พร้อมกับได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม (ถ้าเติม 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  เร็วเกินไปจะไม่เห็นตะกอนสีฟ้า แต่จะได้สารละลายสีน้ำเงินเข้มในขั้นสุดท้าย)

#### 4. ทดสอบแคตไอออนที่ตกตะกอนเป็นเกลือคาร์โบเนต

หยด 6 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ลงบนตะกอนจากข้อ 1.3 หลอดละ 3 หยด สังเกตการละลายของตะกอนทั้ง 2 หลอด แล้วหยด  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  5 หยด และ  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  2-3 หยด ลงในสารละลายทั้ง 2 หลอด หลอดที่มี  $\text{Ba}^{2+}$  จะเกิดตะกอน ส่วนหลอดที่มี  $\text{Ca}^{2+}$  ไม่เกิดตะกอน นำหลอดที่มี  $\text{Ca}^{2+}$  มาหยด 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  จนสารละลายเป็นเบส แล้วเติม  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  4 หยด สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

#### × 5. การทดสอบ $\text{Na}^+$ ด้วยการตกตะกอนกับ zinc-uranyl acetate

หยด  $\text{NaNO}_3$  5 หยด ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำ 3 หยด และสารละลาย zinc-uranyl acetate 5 หยด และ เอทิลแอลกอฮอล์ 2 หยด คนแรง ๆ ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น

#### 6. การทดสอบ $\text{NH}_4^+$

หยดสารละลาย  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  5 หยด ใส่หลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 5 หยด และ 6 M  $\text{NaOH}$  5 หยด คน นำไปอุ่นในน้ำเดือด ริมเอากระดาบลิทมัสสีแดงที่ขึ้นด้วยน้ำกลั่นติดไว้ที่ปลายแท่งแก้วไปอังที่ปากหลอด สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษลิทมัส

## แผนผังการวิเคราะห์แยกไอออน

### แผนผังที่ 1

นำสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 7 หยด ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติม 6 M HCl 3 หยด คนให้ทั่ว นำเข้าเครื่องเหวี่ยง

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ตะกอน</b> AgCl (ขาว) PbCl <sub>2</sub> (ขาว)<br>เติมน้ำ 10 หยด คั้นน้ำเดือด พร้อมทั้งคน 2 นาที รินน้ำเข้าเครื่องเหวี่ยงขณะทำการละลาย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                         | <b>เรณศรีสีเทาด</b> เติม conc. NH <sub>4</sub> OH ทีละหยด จนสารละลายเป็นเบส เติมโซ่ไออะเซตตามิด 10 หยด คน นำไปคั้นน้ำเดือด 5 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยง                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                            |
| <b>ตะกอน</b> AgCl (ขาว)<br>เติม 6 M NH <sub>4</sub> OH ทีละหยด จนตะกอน ละลายหมด แล้วเติม 6 M HNO <sub>3</sub> ทีละหยด จนสารละลาย เป็นกรด ถ้าได้ ตะกอนสีขาวของ AgCl กลับคั้นน้ำ แสดงว่ามี Ag <sup>+</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>เรณศรีสีเทาด</b><br>เติม K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 3 หยด ถ้าได้ตะกอนสีเหลือง ของ PbCrO <sub>4</sub> แสดงว่ามี Pb <sup>2+</sup> | <b>ตะกอน</b> CuS (ดำ) Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (ดำ)<br>ล้างตะกอนด้วยน้ำ 15 หยด นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทั้งน้ำล้าง หยด 6 M HCl 8 หยด ลงบน ตะกอน คน 2 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยง                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                            |
| <b>ตะกอน</b> CuS (ดำ)<br>ล้างตะกอนโดยเติม 6 M HCl 10 หยด และ น้ำ 10 หยด คน นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทั้งน้ำล้าง เติม 6 M HNO <sub>3</sub> 3 หยด ลงบนตะกอน คั้นน้ำเดือด 2 นาที พร้อมทั้งคน ทั้งให้เย็น เติม conc. NH <sub>4</sub> OH จนสารละลายเป็นเบส แล้วเติมให้มาก เกินพออีก 4 หยด เข้าเครื่องเหวี่ยง สารละลายใสคั้นน้ำเงินค่อนบน แสดงว่ามี Cu <sup>2+</sup><br><b>หมายเหตุ</b> ถ้าตัวอย่างมี Pb <sup>2+</sup> จะตกตะกอนเป็น PbS สีดำ พร้อมกับ CuS เนื่องจาก PbCl <sub>2</sub> ละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย แต่จะไม่รบกวนในการทดสอบ Cu <sup>2+</sup> |                                                                                                                                         | <b>เรณศรีสีเทาด</b><br>เติม 6 M NaOH จนสารละลาย เป็นเบส เติม 3% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 5 หยด (เติมทีละหยด พร้อมทั้งคน) จะได้ ตะกอนสีฟ้าคลาดแกง นำไปคั้นจนหมด ฟองแก๊ส O <sub>2</sub> เข้าเครื่องเหวี่ยง เก็บ ตะกอนไว้ เติม 6 M HNO <sub>3</sub> ลงบน ตะกอน 3 หยด คนจนตะกอนละลาย เติมน้ำ 10 หยด และ NH <sub>4</sub> SCN 3 หยด ถ้าได้สารละลายสีแดงเข้ม แสดงว่ามี Fe <sup>3+</sup> | <b>เรณศรีสีเทาด</b><br>นำไปวิเคราะห์หา Ba <sup>2+</sup> Ca <sup>2+</sup> และ Na <sup>+</sup> ในแผนผังที่ 2 |

## แผนผังที่ 2

เช่นครีสิวเกิดกึ่งวิเคราะห์  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , และ  $Na^+$  นำไปต้มให้  $H_2S$  (ใช้เวลา 10 นาทีขึ้นไป) ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้น นำเข้าเครื่องเหวี่ยง, ทั้งตะกอน, นำสารละลายมาเป็น  $(NH_4)_2CO_3$  10 หยด คน นำหลอดทดลองไปแช่น้ำร้อน (อย่าให้เดือด) 2-3 นาที คน นำเข้าเครื่องเหวี่ยง

| ตะกอน $BaCO_3$ (ขาว) . $CaCO_3$ (ขาว)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | เช่นครีสิวเกิด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>หยด 6 M <math>CH_3COOH</math> ลงบนตะกอน 3 หยด คนจนตะกอนละลายหมด เติมน้ำ 5 หยด และ <math>CH_3COONH_4</math> 5 หยด แล้วจึงหยด <math>K_2CrO_4</math> 3 หยด คน นำเข้าเครื่องเหวี่ยง</p> <p>หมายเหตุ ถ้ามีตะกอนซัลไฟด์สีดำ (<math>CuS</math>, <math>Fe_2S_3</math>) คนนำตัวในขั้นตอนนี้ ตะกอนที่ติดจะมีสีเทาหรือดำ เมื่อเติม 6 M <math>CH_3COOH</math> จะละลายเฉพาะตะกอนคาร์บอนเนตและคาร์บอเนตละลายตะกอนซัลไฟด์ หลังจากเติมน้ำและ <math>CH_3COONH_4</math> แล้วจึงนำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทั้งตะกอนสีดำ นำเฉพาะ เช่นครีสิวเกิดมาเติม <math>K_2CrO_4</math></p> | <p>เช่นครีสิวเกิด</p> <p>เทใส่ปิเปตกรวยขนาด 10 <math>cm^3</math> นำไปวางบนตะแกรงลวด ระบายให้เหลือ 0.5 <math>cm^3</math> ทั้งให้เย็น หยด 6 M <math>CH_3COOH</math> ลงไปจนเป็นกรด ใส่สารละลาย zinc-amyl acetate 6 หยด และ ethyl alcohol 3 หยด เทสารละลายใส่หลอดทดลอง คนแรง ๆ ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ถ้ามีตะกอนผลึกสีเหลืองแสดงว่ามี <math>Na^+</math></p> |
| ตะกอน $BaCrO_4$ (เหลือง)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | เช่นครีสิวเกิด                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <p>ถ้าได้ตะกอนสีเหลือง แสดงว่ามี <math>Ba^{2+}</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>หยด 6 M <math>NH_4OH</math> จนสารละลายเป็นเบส เติมน้ำเล็กน้อย <math>(NH_4)_2C_2O_4</math> 4 หยด ถ้ามี <math>Ca^{2+}</math> จะได้ตะกอนขาวของ <math>CaC_2O_4</math> (เกิดขึ้นในสารละลายสีเหลือง)</p>                                                                                                                                                |

ทดสอบ  $NH_4^+$ 

นำสารละลายตัวอย่างที่ผสมในคอนแบร 10 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่น 5 หยด และ 6 M  $NaOH$  10 หยด นำไปอุ่น ริมอ่างกระดาษ ลึกมีสีสีแดงที่ชั้นค้ำน้ำกลั่นคลำไว้ที่ปลายแท่งแก้วปิ้งที่ปากหลอด ถ้ามี  $NH_4^+$  กระดาษลึกลับจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน (ระวังอย่าให้กระดาษลึกลับแตะปากหลอด)

## บทที่ 18

### การวิเคราะห์แอนไอออน

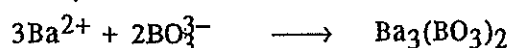
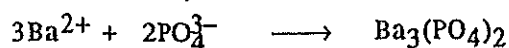
#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาของแอนไอออน
2. เพื่อศึกษาวิธีตรวจสอบแอนไอออนอย่างคร่าว ๆ ด้วยการแบ่งหมู่
3. เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์หาแอนไอออนด้วยกัณฑ์ทดสอบเฉพาะ (specific test)

#### บทนำ

แอนไอออน หมายถึง ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าลบ มีทั้งที่เป็นอะตอมเดี่ยว เช่น แฮไลด์ไอออน หรือกลุ่มอะตอม เช่น ไนเตรตไอออน ซัลเฟตไอออน มีผู้จัดแบ่งหมู่แอนไอออนออกไปได้หลายแบบด้วยกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างการแบ่งหมู่ของแอนไอออนออกเป็น 3 หมู่ คือ

หมู่ที่ 1 หมู่ซัลเฟต (Sulfate group) แอนไอออนในหมู่นี้จะตกตะกอนโดย  $\text{BaCl}_2$  ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นเบสเล็กน้อยด้วย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ได้แก่  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{BO}_3^{3-}$  ตะกอนที่ได้ทุกตัวมีสีขาว



อนุมูลบอเรตอาจอยู่ในรูปของอโทบอเรต  $\text{BO}_3^{3-}$  หรือเมตาบอเรต  $\text{BO}_2^-$  หรือเตตราบอเรต  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$  ก็ได้

หมู่ที่ 2 หมู่แฮไลด์ (Halide group) แอนไอออนในหมู่นี้จะตกตะกอนโดย  $\text{AgNO}_3$  ในสารละลายของกรดไนตริกเจือจาง ได้แก่  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$





หมู่ที่ 3 หมู่ไนเตรด (Nitrate group) แอนไอออนในหมู่นี้ คือ แอนไอออนพวกที่ไม่ตกตะกอนกับ  $\text{BaCl}_2$  หรือ  $\text{AgNO}_3$  ได้แก่  $\text{NO}_3^-$

| หมู่ที่ | คุณสมบัติของหมู่                                                   | แอนไอออน                                                                                                | รีเอเจนต์สำหรับหมู่                                       |
|---------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1       | เกลือแบริยมที่ไม่ละลายในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นเบส                  | $\text{SO}_4^{2-}$ (ซัลเฟตไอออน)<br>$\text{PO}_4^{3-}$ (ฟอสเฟตไอออน)<br>$\text{BO}_3^{3-}$ (บอเรตไอออน) | $\text{BaCl}_2$ ในสารละลาย<br>dil. $\text{NH}_4\text{OH}$ |
| 2       | เกลือเงินที่ไม่ละลายในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดด้วย $\text{HNO}_3$ | $\text{Cl}^-$ (คลอไรด์ไอออน)<br>$\text{Br}^-$ (โบรมได์ไอออน)<br>$\text{I}^-$ (ไอโอดได์ไอออน)            | $\text{AgNO}_3$ ในสารละลาย<br>dil. $\text{HNO}_3$         |
| 3       | เกลือแบริยมและเกลือเงินที่ละลายน้ำได้ดี                            | $\text{NO}_3^-$ (ไนเตรดไอออน)                                                                           | ไม่มี                                                     |

### วิธีการวิเคราะห์แอนไอออน (Method of Anion Analysis)

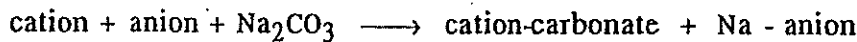
แม้ว่าแอนไอออนจะมีการแบ่งออกเป็นหมู่ ๆ ได้ 3 หมู่ ดังกล่าวแล้ว แต่การใส่รีเอเจนต์สำหรับหมู่ (group reagent) เพื่อแบ่งหมู่นั้น จะแสดงให้เห็นเพียงว่ามีหรือไม่มีแอนไอออนในหมู่นั้น เช่น ถ้าสารละลายตัวอย่างชนิดหนึ่งนำมาใส่  $\text{BaCl}_2$  และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  แล้วไม่มีตะกอนเกิดขึ้น ก็เพียงแต่แสดงให้เห็นว่าไม่ควรมีแอนไอออนในหมู่ซัลเฟตเท่านั้น ซึ่งสามารถที่จะคัดเอา  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{BO}_3^{3-}$  ออกไปโดยไม่ต้องทำการทดสอบเฉพาะ (specific test) สำหรับแต่ละไอออนอีก หรือในกรณีที่มีตะกอนเกิดขึ้นเมื่อใส่  $\text{BaCl}_2$  และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ก็เพียงแต่บอกให้ทราบว่า มีแอนไอออนในหมู่ซัลเฟต แต่จะเป็นไอออนใดยังไม่ทราบได้

ในการวิเคราะห์เพื่อจะทราบว่า มีแอนไอออนอะไรบ้างนั้น สามารถทำได้โดยใช้การทดสอบเฉพาะสำหรับไอออนแต่ละไอออนโดยตรง

### สารละลายสำหรับวิเคราะห์แอนไอออน

สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ อาจจะเป็นของแข็งหรืออยู่ในสภาพสารละลายก็ได้ การทดสอบแอนไอออน ส่วนมากมักจะทดสอบในสภาพสารละลาย มีวิธีการทดสอบสำหรับแอนไอออนเพียง 2-3 ไอออนเท่านั้นที่ต้องการใช้สารที่เป็นของแข็งมาทดสอบ ความยุ่งยากของการวิเคราะห์แอนไอออนก็คือ แคลด์ไอออน

ที่มีอยู่ในสารละลายยกเว้น  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  จะจัดวางและทำความสะอาดเกี่ยวกับการวิเคราะห์แอนไอออน ดังนั้นจำเป็นต้องแยกแคะไอออนออกไป โดยนำสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือสารละลายไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ที่อิ่มตัว เมื่อต้มให้เดือดแคะไอออนทุกไอออนจะตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนตที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนแอนไอออนจะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมแอนไอออนที่ละลายน้ำได้



เมื่อแยกเอาตะกอนแคะไอออนคาร์บอเนตออกไป จะได้สารละลายโซเดียมแอนไอออน เรียกว่า Soda solution เมื่อนำมาทำให้เป็นกรดด้วย 6 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  แล้วต้มไล่  $\text{CO}_2$  ออกไปให้หมดก็นำไปทดสอบหาแอนไอออนได้ทุกไอออน

## การทดลอง

### อุปกรณ์การทดลอง

ใช้อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ทางเคมีไมโคร ดังที่กล่าวไว้ในเรื่องคุณภาพวิเคราะห์

### สารเคมีที่ใช้

|                                     |                                |                             |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| $\text{H}_3\text{PO}_3$             |                                |                             |
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$            | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | sodium sulfate              |
| $\text{Na}_2\text{HPO}_4$           | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | disodium hydrogen phosphate |
| $\text{NaCl}$                       | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | sodium chloride             |
| $\text{NaBr}$                       | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | sodium bromide              |
| $\text{NaI}$                        | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | sodium iodide               |
| $\text{NaNO}_3$                     | (10 mg anion/cm <sup>3</sup> ) | sodium nitrate              |
| 0.1 M $\text{KMnO}_4$               |                                | potassium permanganate      |
| 1 M $\text{BaCl}_2$                 |                                | barium chloride             |
| 1 M $\text{FeSO}_4$                 |                                | ferrous sulfate             |
| 0.5 M $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ |                                | ammonium molybdate          |
| $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ (ของแข็ง)  |                                | silver sulfate              |
| 0.04 M $\text{Ag}_2\text{SO}_4$     |                                | silver sulfate              |
| 0.1 M $\text{AgNO}_3$               |                                | silver nitrate              |

สารละลายอิ่มตัว  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$   
 $\text{CCl}_4$   
 $\text{CH}_3\text{OH}$   
 $\checkmark 6 \text{ M HCl}$   
 conc.  $\text{HCl}$   
 $\checkmark 3 \text{ M H}_2\text{SO}_4$   
 conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
 $\checkmark 6 \text{ M HNO}_3$   
 $\checkmark \text{conc. HNO}_3$   
 $\checkmark 6 \text{ M NH}_4\text{OH}$

sodium tetraborate (borax)  
 carbontetrachloride  
 methyl alcohol  
 hydrochloric acid  
 hydrochloric acid  
 sulfuric acid  
 sulfuric acid  
 nitric acid  
 nitric acid  
 ammonium hydroxide

## วิธีทดลอง

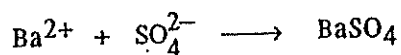
### ตอนที่ 1 ศึกษาปฏิกิริยาของแอนไอออนแต่ละไอออน

#### 1.1 ปฏิกิริยาของแอนไอออนหมู่ 1 ( $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{BO}_3^{3-}$ )

##### ซัลเฟตไอออน $\text{SO}_4^{2-}$

นำสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง แล้วใส่  $1 \text{ M BaCl}_2$  2 หยด จน สังเกตตะกอนสีขาวของ  $\text{BaSO}_4$  ที่เกิดขึ้น นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ตั้งเซนตริฟิวเกด หยด  $6 \text{ M HCl}$  5 หยด ลงบนตะกอน สังเกตตะกอนซึ่งไม่ละลายใน  $\text{HCl}$

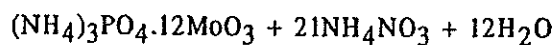
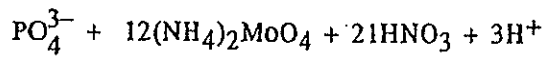
อธิบาย เกลือ  $\text{BaSO}_4$  เป็นเกลือที่ไม่ละลายในกรด  $\text{HCl}$  ในขณะที่เกลือแบเรียมของฟอสเฟตและโบเรตละลายได้ ดังนั้นเมื่อใส่  $\text{BaCl}_2$  และ  $\text{HCl}$  ลงในสารละลายใดก็ตาม ถ้าเกิดตะกอนเป็นผงละเอียดสีขาวของ  $\text{BaSO}_4$  ซึ่งไม่ละลายใน  $\text{HCl}$  แสดงว่ามี  $\text{SO}_4^{2-}$



##### ฟอสเฟตไอออน $\text{PO}_4^{3-}$

นำสารละลาย  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติม conc.  $\text{HNO}_3$  3 หยด และ  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  5 หยด ตั้งใน water bath 2-3 นาที สังเกตตะกอนเหลืองของ  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$

**อธิบาย**  $\text{PO}_4^{3-}$  จะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมโมลิบเดตและกรดไนตริก ได้ตะกอนละเอียดสีเหลืองของแอมโมเนียมฟอสโฟโมลิบเดต (ammonium phosphomolybdate)



**บอเรตไอออน**  $\text{BO}_3^{3-}$

นำสารละลาย  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (บอแรกซ์) 10 หยด ใส่ในขามระเหย ระเหยจนแห้ง ตั้งให้เป็นหยด conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2-3 หยด คน ใส่  $\text{CH}_3\text{OH}$  2-3  $\text{cm}^3$  คนให้ทั่ว จุดไฟ สังเกตเปลวไฟสีเขียวของ  $\text{B}_2\text{O}_3$

**อธิบาย**  $\text{BO}_3^{3-}$  จะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกอย่างเข้มข้น และเมทิลแอลกอฮอล์ เกิดเป็น เมทิลบอเรต  $(\text{CH}_3)_3\text{BO}_3$  ซึ่งเมื่อคิดไฟจะได้เปลวไฟสีเขียวของ  $\text{B}_2\text{O}_3$  เกิดขึ้นชั่วขณะหนึ่ง



## 1.2 ปฏิกิริยาของแอนไอออนหมู่ 2 ( $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ )

**ปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์ ไบรไมด์ และ ไอโอดิไออนกับซิลเวอร์ไนเตรด**

นำสารละลาย  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{NaI}$  ใส่ในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 5 หยด แล้วใส่สารละลาย  $\text{AgNO}_3$  หลอดละ 2 หยด และ 6 M  $\text{HNO}_3$  หลอดละ 2 หยด คน สังเกตตะกอนสีขาวของ  $\text{AgCl}$  ในหลอดที่ใส่  $\text{NaCl}$  ตะกอนสีเหลืองอ่อนของ  $\text{AgBr}$  ในหลอดที่ใส่  $\text{NaBr}$  และตะกอนสีเหลืองของ  $\text{AgI}$  ในหลอดที่ใส่  $\text{NaI}$

นำหลอดทั้งสามเข้าเครื่องเหวี่ยง ตั้งเซนตริฟิวเกด แล้วหยด 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  5 หยด ลงบนตะกอนทุกหลอด คน สังเกตการละลายของตะกอนดังนี้

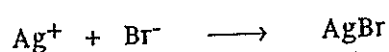
หลอดที่ 1 ตะกอน AgCl ละลายหมด ได้สารละลายใส

หลอดที่ 2 ตะกอน AgBr ละลายได้บ้างเล็กน้อย

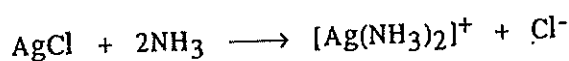
หลอดที่ 3 ตะกอน AgI ไม่ละลาย

นำหลอดที่ 2 และ 3 ไปเข้าเครื่องเหวี่ยง เก็บเซตริฟเวเกดไว้ ทั้งตะกอนไป แล้วเติม 6 M HNO<sub>3</sub> ลงไป ทิละหยดในสารละลายทั้ง 3 หลอด (รวมหลอดที่ 1 ด้วย) จนกระทั่งสารละลายเป็นกรด (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส) สังเกตตะกอนขาวของ AgCl ในหลอดที่ 1 และ ตะกอนเหลืองอ่อนของ AgBr ในเซตริฟเวเกดของหลอดที่ 2 ส่วนเซตริฟเวเกดของหลอดที่ 3 ไม่มี ตะกอนเกิดขึ้น

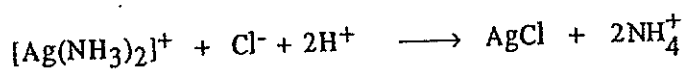
**อธิบาย** แอนไอออนทั้งสามตัวนี้จะทำปฏิกิริยากับ AgNO<sub>3</sub> เกิดเป็นเกลือซิลเวอร์แฮไลด์ที่ไม่ละลายน้ำ-



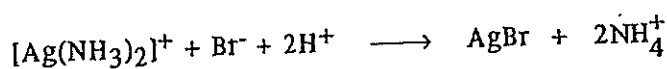
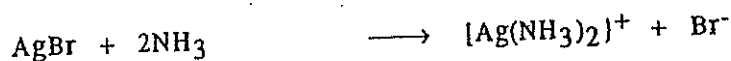
เกลือซิลเวอร์แฮไลด์ทั้งสามตัวนี้มีปฏิกิริยากับ NH<sub>4</sub>OH ต่างกันคือ AgCl ละลายหมดใน 6 M NH<sub>4</sub>OH เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีสีของ diammine silver (I) ion [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>



สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นสามารถตกตะกอนกลับคืนเป็น AgCl ได้อีก เมื่อทำให้สารละลายเป็นกรดด้วย HNO<sub>3</sub>



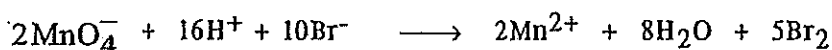
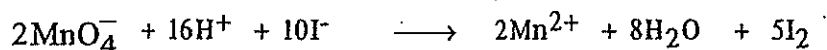
ตะกอนขาวของ AgCl เมื่อทิ้งไว้นานจะมีสีคล้ำลง ส่วน AgBr ละลายได้เล็กน้อยใน 6 M NH<sub>4</sub>OH เกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับ AgCl ดังนี้



### ปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและโบรมีนกับออกซิไดซิงเอเจนต์

นำสารละลาย NaI และ NaBr ใส่ในหลอดทดลอง 2 หลอด หลอดละ 10 หยด ใส่ conc.HCl หลอดละ 8 หยด และใส่ CCl<sub>4</sub> หลอดละ 10 หยด ค่อย ๆ หยดสารละลาย 0.1 M KMnO<sub>4</sub> ลงในหลอดทั้งสองทีละหยด เขย่าหลอดแรง ๆ ทุกครั้งที่หยด KMnO<sub>4</sub> ลงไป สังเกตสีม่วงที่เกิดขึ้นในชั้นของ CCl<sub>4</sub> ในหลอดที่ 1 แสดงว่ามี I<sup>-</sup> และสีเหลืองจาง ๆ ในชั้นของ CCl<sub>4</sub> ในหลอดที่ 2 แสดงว่ามี Br<sup>-</sup>

**อธิบาย** เปอร์แมงกาเนตไอออนเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ที่ตีมากในสารละลายกรด จะออกซิไดส์ I<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> และ Cl<sup>-</sup> เป็น I<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> และ Cl<sub>2</sub> ดังสมการ

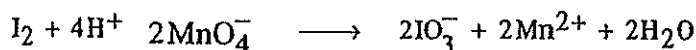


I<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> และ Cl<sub>2</sub> ให้สีม่วงแดง เหลือง และไม่มีสี ในชั้นของ CCl<sub>4</sub> ตามลำดับ

**ในกรณีที่มีทั้ง Br<sup>-</sup> และ I<sup>-</sup> อยู่รวมกัน**

ผสมสารละลาย NaBr และ NaI อย่างละ 5 หยด ในหลอดทดลอง ใส่ conc. HCl 8 หยด และ CCl<sub>4</sub> 10 หยด ค่อย ๆ หยดสารละลาย KMnO<sub>4</sub> ลงไปทีละหยด เขย่าหลอดทุกครั้ง หลังจากเติม KMnO<sub>4</sub> แต่ละหยด สังเกตสีม่วงที่เกิดขึ้นในชั้น CCl<sub>4</sub> เมื่อหยด KMnO<sub>4</sub> ต่อไปเรื่อย ๆ สีม่วงจะหายไป แต่จะปรากฏสีเหลืองจาง ๆ ในชั้น CCl<sub>4</sub> แทน

**อธิบาย** เมื่อเติมสารละลาย KMnO<sub>4</sub> ในสภาวะที่เป็นกรด I<sub>2</sub> จะเกิดขึ้นก่อน ถ้าหยด KMnO<sub>4</sub> ลงไปอีก I<sub>2</sub> ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์กลายเป็นไอโอดีนไอออน ซึ่งไม่มีสี ดังสมการ



หลังจากนั้น Br<sup>-</sup> จึงถูกออกซิไดส์กลายเป็น Br<sub>2</sub> และจะปรากฏเป็นสีเหลืองจาง ๆ ในชั้นของ CCl<sub>4</sub>

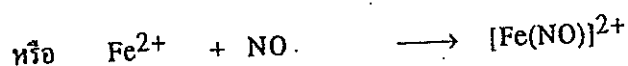
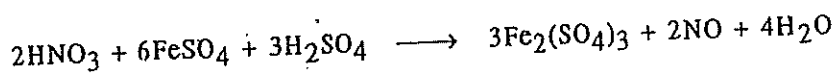
### 1.3 ปฏิกิริยาของแอนไอออนหมู่ 3 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

#### ไนเตรตไอออน (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

นำสารละลาย NaNO<sub>3</sub> มา 5 หยด ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติม 3 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 หยด เพื่อให้สารละลายเป็นกรด แล้วใส่สารละลาย FeSO<sub>4</sub> 5 หยด เขย่าให้สารละลายผสมกัน เขย่าหลอด

ทำมุม  $30^\circ$  กับพื้นโต๊ะ ก่อ ๆ หยด conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ให้ไหลลงข้างๆ หลอดอย่างช้าๆ ประมาณ 6-8 หยด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  จะไหลลงไปก้นหลอดชา ๆ เกิดเป็นชั้นได้ผิวของสารละลาย ยกหลอดให้ตั้งตรงชั่วขณะหนึ่งจะเกิดวงแหวนสีน้ำตาลของ  $[\text{Fe}(\text{NO})]^{2+}$  ขึ้นที่รอยต่อระหว่างของเหลวทั้งสอง

**อธิบาย** กรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยากับไนเตรดไอออน กลายเป็นกรดไนตริก ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ด้วย  $\text{FeSO}_4$  เกิดเป็น NO แล้วรวมตัวกับ  $\text{FeSO}_4$  ต่อไป กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาลที่ไม่อยู่ตัว คือ  $[\text{Fe}(\text{NO})]^{2+}$  เรียกว่าเฟอร์รัสไนโตรโซไอออน (ferrous nitroso ion) หรือเขียนสูตรเป็น  $\text{FeNO} \cdot \text{SO}_4$  ก็ได้



## ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาแอนไอออนในสารตัวอย่าง

เนื่องจากสารตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของเกลือโซเดียมแอนไอออนทั้งหมดคือนั้น จึงนำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาแอนไอออนต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องเตรียม Soda solution

### 2.1 การทดสอบหมู่ซัลเฟต

นำสารตัวอย่างมา 5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง หยด 6 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  ทีละหยด พร้อมทั้งคนจนสารละลายเป็นเบส ใส่ 1 M  $\text{BaCl}_2$  5 หยด ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้น แสดงว่ามีแอนไอออนในหมู่ซัลเฟต

### 2.2 การทดสอบหมู่แฮไลด์

นำสารตัวอย่างมา 5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติม 6 M  $\text{HNO}_3$  5 หยด และ  $\text{AgNO}_3$  2 หยด ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นแสดงว่ามีแอนไอออนในหมู่แฮไลด์

### 2.3 การทดสอบหมู่ไนเตรด

แอนไอออนในหมู่นี้ไม่มีรีเอเจนต์ประจำหมู่ จึงต้องทดสอบหาไอออนในหมู่นี้โดยวิธีการทดสอบเฉพาะ

### 2.4 การทดสอบเฉพาะสำหรับแอนไอออนแต่ละไอออน

### ซัลเฟตไอออน

นำสารตัวอย่าง 5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติม 6 M HCl 2 หยด และ 1 M BaCl<sub>2</sub> 2-3 หยด ถ้ามีตะกอนขาวเกิดขึ้น แสดงว่ามี SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

### ฟอสเฟตไอออน

นำสารตัวอย่าง 5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติม conc. HNO<sub>3</sub> 3 หยด และสารละลาย (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> 5 หยด ค้ม 2-3 นาที ถ้าได้ตะกอนเหลืองเกิดขึ้น แสดงว่ามี PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

### บอแรกซ์ไอออน

นำสารตัวอย่าง 20 หยด (1 cm<sup>3</sup>) ใส่ในขามระเหย นำไประเหยจนแห้ง ทิ้งให้เป็นใส่ conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3-4 หยด คนให้รวมกัน เติม CH<sub>3</sub>OH 2-3 cm<sup>3</sup> คนให้ทั่ว แล้วจุดไฟในขามระเหย ถ้าได้เปลวไฟสีเขียว แสดงว่ามี BO<sub>3</sub><sup>3-</sup>

### โบรไมด์และไอโอด์ไอออน

นำสารตัวอย่าง 10 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติม conc. HCl 8 หยด และ CCl<sub>4</sub> 10 หยด ค่อย ๆ หยดสารละลาย KMnO<sub>4</sub> ลงในหลอดทีละหยด เขย่าแรง ๆ ถ้ามีสีม่วงแดงในชั้นของ CCl<sub>4</sub> แสดงว่ามี I<sup>-</sup> แต่ถ้ามีสีเหลืองจางๆเกิดขึ้นในชั้นของ CCl<sub>4</sub> แสดงว่ามี Br<sup>-</sup>

### ในกรณีที่มี Br<sup>-</sup> และ I<sup>-</sup> อยู่รวมกัน

เมื่อทำการทดลองดังข้อข้างบนนี้แล้ว คือหยด KMnO<sub>4</sub> ลงไปที่หลอดจนมีสีม่วงแดงเกิดขึ้นในชั้นของ CCl<sub>4</sub> ให้หยด KMnO<sub>4</sub> ต่อไปอีกเรื่อยๆ พร้อมทั้งเขย่าทุกครั้ง ถ้าสีม่วงแดงจางไปเกิดเป็นสีเหลืองจางๆขึ้นมาแทน แสดงว่ามีทั้ง Br<sup>-</sup> และ I<sup>-</sup> อยู่รวมกัน แต่ถ้าหยด KMnO<sub>4</sub> ต่อไปจนสีม่วงแดงหายไปแล้วกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี (มองไม่เห็นสีเหลืองจางๆ) ก็แสดงว่ามีแต่ I<sup>-</sup> เพียงอย่างเดียว ไม่มี Br<sup>-</sup>

### คลอไรด์ไอออน

#### ก. ทดสอบ Cl<sup>-</sup> เมื่อไม่มี Br<sup>-</sup> และ/หรือ I<sup>-</sup>

นำสารตัวอย่างที่ไม่มี Br<sup>-</sup> และ I<sup>-</sup> มา 5 หยด ใส่ในหลอดทดลอง เติม 6 M HNO<sub>3</sub> 3 หยด และ AgNO<sub>3</sub> 2 หยด ถ้ามีตะกอนขาวเกิดขึ้น แสดงว่ามี Cl<sup>-</sup> อาจพิสูจน์ยืนยันได้โดยนำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทิ้งน้ำใส หยด 6 M NH<sub>4</sub>OH ลงไปบนตะกอน 5 หยด ถ้าตะกอนละลายหมด ให้นำไปหยด 6 M HNO<sub>3</sub> จนเป็นกรด จะเกิดตะกอนขาวกลับคืนมา แสดงว่ามี Cl<sup>-</sup>

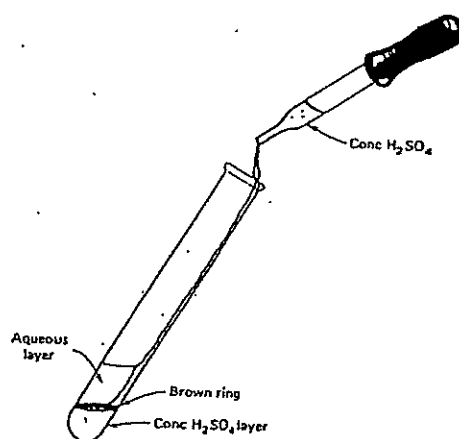


**หมายเหตุ**

ถ้าสารตัวอย่างมี  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  การวิเคราะห์หา  $\text{Cl}^-$  จะต้องทำการกำจัด  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  ออกไปก่อน ซึ่งวิธีการทำมีหลายขั้นตอนที่ยังยาก ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะไม่มี  $\text{Cl}^-$  อยู่ร่วมกับ  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  ดังนั้นถ้าพบ  $\text{Br}^-$  หรือ  $\text{I}^-$  ในสารตัวอย่างก็ไม่ต้องทดสอบหา  $\text{Cl}^-$ .

**ไนเตรตไอออน****ก. ทดสอบ  $\text{NO}_3^-$  เมื่อไม่มี  $\text{Br}^-$  และ/หรือ  $\text{I}^-$** 

นำสารตัวอย่างมา 5 หยด เติม 3 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 หยด แล้วใส่สารละลาย  $\text{FeSO}_4$  5 หยด เขย่าให้สารละลายผสมกัน เอียงหลอดเป็นมุม  $30^\circ$  กับพื้นโต๊ะ ทิ้ง 5-6 หยด conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ประมาณ 5-6 หยด ให้ไหลลงข้างๆ หลอดอย่างช้าๆ ถ้ามีวงแหวนสีน้ำตาลเกิดขึ้นระหว่างชั้นตรงรอยต่อของสารละลาย แสดงว่ามี  $\text{NO}_3^-$



รูป 18.1 การทดสอบ  $\text{NO}_3^-$

**ข. ทดสอบ  $\text{NO}_3^-$  เมื่อมี  $\text{Br}^-$  และ/หรือ  $\text{I}^-$** 

นำสารตัวอย่างมา 6 หยด เติม 3 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2-3 หยด ใส่ผง  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  เท่าหัวไม้จิ้มไฟ (80 mg) คนแรงๆ อุณหภูมิ 1-2 นาที นำเข้าเครื่องเหวี่ยง ทิ้งตะกอน นำเซนต์ริฟเวเกดมาหยด 0.04 M  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  อีก 1 หยด ถ้าไม่มีตะกอนเกิดขึ้นอีก แสดงว่า  $\text{Br}^-$  และ  $\text{I}^-$  ตกตะกอนเป็น  $\text{AgBr}$ ,  $\text{AgI}$  หมดแล้ว (ถ้ายังมีตะกอนเกิดขึ้นให้หยด 0.04 M  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ทีละหยดจนตกตะกอนสมบูรณ์) เซนต์ริฟเวเกดที่ได้ นำมาหยด 6 M  $\text{HCl}$  ทีละหยด เพื่อทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ที่มากเกินไปจะได้ตะกอนขาวของ  $\text{AgCl}$  เมื่อตะกอนตกสมบูรณ์แล้ว นำเข้าเครื่องเหวี่ยงทิ้งตะกอน เซนต์ริฟเวเกดที่ได้นำไปทดสอบไนเตรดตามวิธีใน ข้อ ก.

## เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาเคมี "ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์" ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2533

Ayres, G.H. "Quantitative Chemical Analysis", 2<sup>nd</sup> ed., Harper & Row, Publishers, (1967).

Gillespie, R.J., A.A. Humphreys, N.C. Baird and E.A. Robinson, "Explorations in Chemistry", 2<sup>nd</sup> ed., Allyn and Bacon (1989).

Gillespie, R.J., A.A. Humphreys, N.C. Baird and E.A. Robinson. "Chemistry", 2<sup>nd</sup> ed., Allyn and Bacon (1989).

Hered, G.R. et al., "Basic Laboratory : Studies in College Chemistry", 5<sup>th</sup> ed., D.C. Heath and Company, (1976).

King, G.B. et al., "Laboratory Experiments in College Chemistry", 4<sup>th</sup> ed., D. Van Nostrand Company, Inc., (1979).

Mortimer, C.E., "Chemistry", 6<sup>th</sup> ed., Wadsworth, Inc., (1986).

Nelson, J.H. & Kemp, K.C. "Laboratory Experiments for Brown and Lemay, Chemistry, the Central Science", Prentice-Hall, Inc., (1977).

Pierce, W.C. et al., "Quantitative Analysis", 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc. (1968).

Slovinski, E.J. et al. "Chemical Principles in the Laboratory", 4<sup>th</sup> ed., Saunders. (1985).

Slovinski, E.J. et al., "Chemical Principles in the Laboratory with Qualitative analysis", 4<sup>th</sup> ed., Saunders (1989).

Thomas, N.C. Saisuan, P., J. Chem. Ed., 1990, 971-972.

Weiner, E., "Experiments in General Chemistry", 5<sup>th</sup> ed., Harcourt Brace Jovanovich, Publishers and its subsidiary, Academic Press, (1988).

J.A. Beran 5<sup>th</sup> ed. "Laboratory Manual for Principles of General Chemistry" John Wiley & Sons, Inc., (1994).

Julian L. Roberts, Jr., J Leland Hollenberg, James M. Postman "General Chemistry in the Laboratory" 3<sup>rd</sup> ed., W.H. Freeman and Company, (1990).

J.J. Lagowski, C.H. Sorum "Introduction to Semimicro Qualitative Analysis" 7<sup>th</sup> ed., Prentice Hall (1991).

Weiner, S.A. & Peters, E.I., "Introduction to Chemical Principles, A Laboratory Approach", W.B.Saunders Company, (1974).

# IUPAC Periodic Table of the Elements

IUPAC Periodic Table of the Elements

|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|------------------------|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------|--|----------------|--------|--|
| 1                      |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                | 18     |  |
| 1                      |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                | 2      |  |
| H                      |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                | He     |  |
| hydrogen               |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                | helium |  |
| [1.007, 1.009]         |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                | 4.003  |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| Key:                   |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| atomic number          |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| Symbol                 |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| name                   |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| standard atomic weight |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 2                      |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 3                      | 4              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  | 10             |        |  |
| Li                     | Be             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  | F              |        |  |
| lithium                | beryllium      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  | fluorine       |        |  |
| [6.938, 6.997]         | 9.012          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  | [15.99, 16.00] |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 11                     | 12             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 17             |  |                |        |  |
| Na                     | Mg             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Cl             |  |                |        |  |
| sodium                 | magnesium      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | chlorine       |  |                |        |  |
| 22.99                  | [24.30, 24.31] |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | [35.45, 35.46] |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 3                      |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 19                     | 20             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 35             |  |                |        |  |
| K                      | Ca             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Br             |  |                |        |  |
| potassium              | calcium        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | bromine        |  |                |        |  |
| 39.10                  | 40.08          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | [79.90, 79.91] |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 37                     | 38             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 53             |  |                |        |  |
| Rb                     | Sr             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | I              |  |                |        |  |
| rubidium               | strontium      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | iodine         |  |                |        |  |
| 85.47                  | 87.62          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 126.9          |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 55                     | 56             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 85             |  |                |        |  |
| Cs                     | Ba             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | At             |  |                |        |  |
| caesium                | barium         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | astatine       |  |                |        |  |
| 132.9                  | 137.3          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 210            |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
| 87                     | 88             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 117            |  |                |        |  |
| Fr                     | Ra             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Uus            |  |                |        |  |
| francium               | radium         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | ununseptium    |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 116            |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |
|                        |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                |  |                |        |  |

Key:  
atomic number  
**Symbol**  
name  
standard atomic weight



INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 8 January 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.





