



ปฏิบัติการเคมีทั่วไป

2302113

2302163

2302178

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564

(ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ใช้เพื่อการเรียนการสอนของรายวิชาเท่านั้น
ห้ามนำไปพิมพ์เพื่อขายหรือจำหน่ายจ่ายแจก ก่อนได้รับอนุญาต)

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	ก
คำแนะนำในการเข้าห้องปฏิบัติการ	ค
เครื่องมือที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี	๑
การทดลองที่ 1 การหาความตันไอก และความร้อนแห่งของการเกิดไออกอน้ำ	1
การทดลองที่ 2 การวัดความร้อนด้วยแคลอริมิเตอร์	10
การทดลองที่ 3 อัตราเร็วปฏิกิริยา	23
การทดลองที่ 4 โครงสร้างผลึก	34
การทดลองที่ 5 กรด-เบส อินดิเคเตอร์ และกราฟของการไทยเหตุ	52
การทดลองที่ 6 ปริมาตรวิเคราะห์โดยการไทยเหตุกรด-เบส	63
การทดลองที่ 7 การไทยเหตุที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์เมงกานेट	69
การทดลองที่ 8 การไทยเหตุที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของไอโอดีน	76
การทดลองที่ 9 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแอนไฮดรออน	83
การทดลองที่ 10 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแคทไออ่อน	97
ภาคผนวก ก อุปกรณ์และเทคนิคการไทยเหตุ	112
ภาคผนวก ข อุปกรณ์และเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	118
ภาคผนวก ค เลขนัยสำคัญ	124

บทนำ

การเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีที่ร่วมปั่นผึ้งเน้นฝึกทักษะในการทดลองและรู้จักวิธีใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้มีประสบการณ์และได้เรียนรู้เทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองปฏิบัติการเคมีในชั้นสูงต่อไป เช่น การเตรียมสารละลาย การละลายตะกอน การไห้เกรต เป็นต้น และเพื่อเสริมความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีเคมีพื้นฐานให้ลึกซึ้งมากขึ้น เช่น ศึกษาสมบัติและพฤติกรรมของสารเคมีขณะเกิดปฏิกิริยา ศึกษาและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เป็นต้น นอกจากนั้นยังมุ่งหวังปลูกฝังทักษะกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ คือ สังเกตและรับรู้ข้อมูลที่ทำการทดลอง ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล อธิบายปรากฏการณ์ด้วยทฤษฎีและดำเนินการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของทฤษฎี

การทำงานของนักวิทยาศาสตร์ควรจะกระทำเป็นขั้นๆ คือ

1. รวบรวมข้อมูลต่างๆ
2. ประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ เพื่อหาเกณฑ์และแนวโน้มของสมบัติต่างๆ
3. ตั้งทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ตามเกณฑ์และแนวโน้มเหล่านั้น
4. ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ยืนยันความถูกต้องของทฤษฎี

การทดลองที่กำหนดให้ปฏิบัตินั้นล้วนได้เลือกสรรมาแล้วว่า จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและได้ทักษะการทดลองในระดับพื้นฐานอย่างครบถ้วน อีกทั้งปราศจากอันตรายถ้ามีสิ่ติปฏิกิริยาตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด ดังนั้นจึงควรศึกษาคู่มือปฏิบัติการในแต่ละบทอย่างละเอียดก่อนเข้าทำปฏิบัติการทุกครั้ง ผลการทดลองในแต่ละบทจะตรงตามที่คาดไว้หรือไม่ก็ตาม ผู้เรียนต้องรายงานตามผลที่ได้จริงโดยไม่บิดเบือน และไม่จำเป็นต้องแก้ไขให้เหมือนของผู้อื่น

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองล้วนมีอันตรายไม่มากก็น้อย อีกทั้งอุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอาจแตกหักและก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ได้ เพื่อลักเลี่ยงและป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นได้ ผู้เรียนควรปฏิบัติตามดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคู่มือปฏิบัติการอย่างละเอียดก่อนเข้าทำปฏิบัติการทุกครั้ง เพื่อจะได้ทราบข้อควรระวังหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ในแต่ละสัปดาห์
2. สวมแหนตานิรภัยและเสื้อคลุมปฏิบัติการในขณะเข้าทำปฏิบัติการทุกครั้ง
3. ห้ามใส่คอนแทคเลนส์ในห้องปฏิบัติการ เพราะอาจเกิดอันตรายกับดวงตา
4. แต่งกายตามระเบียบของมหาวิทยาลัยอย่างเคร่งครัด เช่น ใส่รองเท้าหุ้มส้นและไม่ปล่อยผมยาวรุ่งรัง เพื่อให้ดำเนินการทดลองได้อย่างคล่องตัว
5. ห้ามน้ำอาหาร เครื่องดื่ม เข้ามาวับประทานในห้องปฏิบัติการเด็ดขาด

6. ห้ามหยอกล้อ วิ่งไล่กันในห้องปฏิบัติการ หรือทิ้งการทดลองของตนเองไปพูดคุยกับเพื่อนๆ อื่นๆ เพราะอาจเกิดอุบัติเหตุจากการละเลยเล็กๆ น้อยๆ เหล่านี้ได้
7. การให้ความร้อนแก่สารในหลอดทดลอง ต้องใช้ช่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ทางห้องปฏิบัติการจัดเอาไว้
8. การทดลองที่เกี่ยวกับกรดแกร่หรือเกิดแก๊สที่เป็นพิษหรือมีกลิ่นระคายเคืองต้องทำในตู้ควัน
9. อุบัติเหตุในห้องปฏิบัติการมักเกิดจากเครื่องแก๊สที่แตกหัก ดังนั้นมีอุปกรณ์สำรองแก๊สไว้ในตู้ควัน
10. ศึกษาแผนผังของห้องปฏิบัติการ เพื่อให้รู้ตำแหน่งของอุปกรณ์สำหรับแก๊สปัญหาเฉพาะหน้าเมื่อเกิดอุบัติเหตุ เช่น อ่างล้างตาขุกเฉิน, ฝักบัวขุกเฉิน, เครื่องดับเพลิง และชุดปฐมพยาบาล รวมทั้งต้องรู้วัตถุประ升ค์และทำความเข้าใจวิธีการใช้อุปกรณ์เหล่านี้
11. ทิ้งสารเคมีและอุปกรณ์ที่แตกหักในแต่ละภาชนะที่ห้องปฏิบัติการจัดไว้ให้ เพื่อทางห้องปฏิบัติการจะได้จัดการกำจัดอย่างเหมาะสมต่อไป
12. ควรล้างมือให้สะอาดก่อนออกจากห้องปฏิบัติการเพื่อบังกันการปนเปื้อนของสารเคมีตามสิ่งของที่หยิบหรือจับ

ในวันแรกของการเข้าห้องปฏิบัติการ ผู้เรียนควรทำการตรวจเช็ค (Checklist) อุปกรณ์สำหรับความปลอดภัยต่อไปนี้ เพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อเกิดอุบัติเหตุจะสามารถแก้ไขสถานการณ์ได้ทันที

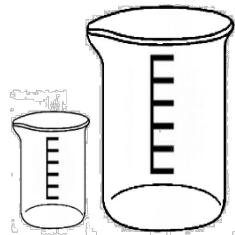
1. อ่างล้างตาขุกเฉิน (Eye Wash)
2. ชุดปฐมพยาบาล (First Aid Kit)
3. ฝักบัวขุกเฉิน (Safety Shower)
4. เครื่องดับเพลิง (Fire Extinguisher)
5. ทางหนีไฟ (Evacuation Route)

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการจะเป็นผู้ซึ่งพร้อมจะช่วยเหลือขัดความบกพร่อง และข้อสงสัยให้ท่านเสมอ ฉะนั้นหากท่านมีข้อสงสัยใดๆเกี่ยวกับการทดลอง จะเป็นข้อสงสัยในหนังสือคู่มือ การทดลองไม่ได้ผล หรือมีข้อสงสัยเล็กๆ น้อย ตลอดจนอุบัติเหตุอย่างใดก็ตาม ท่านควรปรึกษาอาจารย์ทันที คำแนะนำจากเพื่อนนิสิตอาจเป็นคำแนะนำที่ดีหรืออาจเป็นคำแนะนำที่ผิดพลาดโดยเกิดจากความหวังดีก็ได้ ในกรณีที่เป็นประการหลัง นิสิตก็อาจได้รับอันตรายไม่มากก็น้อย ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยและความถูกต้องแน่นอน ควรปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการเป็นดีที่สุด

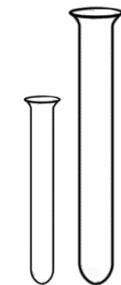
คำแนะนำในการเข้าห้องปฏิบัติการ

1. ผ่านประกาศในตู้ประกาศหน้าห้องปฏิบัติการล่วงหน้า 1 สัปดาห์เสมอ
2. ศึกษาเรื่องที่นิสิตจะต้องปฏิบัติตามล่วงหน้าให้เข้าใจ เพราะจะมีการอธิบายเพิ่มเติมอย่างย่อๆ เท่านั้น หากมีสิ่งใดสงสัยให้ถามอาจารย์จนเข้าใจก่อนเข้าห้องปฏิบัติการเสมอ
3. บันทึกผลการทดลองในสมุดรายงานผลการทดลองขณะปฏิบัติการทันที **ไม่ควรดินเดช** กระดาษเหล่านี้มาลอกใส่ภายหลัง ทำให้เสียเวลา และอาจบันทึกข้อมูลคลาดเคลื่อนได้
4. **ไม่ควรเคลื่อนย้ายสารเคมีที่ตั้งไว้ที่ชั้นของนิสิต** หรือที่วางให้เข้าส่วนรวมในกลุ่ม และขอให้ช่วยกันระวังความสะอาดของสารเหล่านี้ อย่าให้มีสารอื่นเจือปนลงไป โดยใช้ให้ถูกวิธีตามคำแนะนำของอาจารย์ ในกรณีที่สารละลายกรดเบสที่ชั้นหมดหรือพื้นๆ ให้นำขวดสารละลายนั้นไปข้อสารเพิ่มจากเจ้าหน้าที่ ห้ามมิให้ไปหยิบจากโต๊ะอื่นมาแทนเป็นอันขาด
5. เมื่อทำเครื่องแก้วหรือวัสดุใดแตกหักหรือชำรุด ให้แจ้งอาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการหรือเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทันที และเบิกคูปกรณ์นั้นๆ จากเจ้าหน้าที่มาทดแทนของเดิมในกรณีที่เป็นวัสดุราคาแพง ทางภาควิชาจำเป็นต้องคิดค่าของเสียหายจากนิสิต ดังนั้นควรระมัดระวังการใช้เครื่องมือเหล่านี้เป็นประจำทุกครั้ง
6. การรักษาผ้าตัวปฏิบัติการ
 - ก. ห้ามวางภาชนะร้อนจัดบนตัวปฏิบัติฯ ให้วางบนแผ่นกระเบื้อง
 - ข. ถ้ากรดหรือด่างหกบนพื้นตัวปฏิบัติฯ ให้ใช้ฟองน้ำเช็ดออกทันที แล้วใช้ฟองน้ำซุบน้ำเช็ดหลายๆ ครั้ง
 - ค. ผ้าตัวปฏิบัติศาสตร์และแห้งตลอดเวลา หลังนิสิตเสร็จปฏิบัติการแล้วควรเช็ดทำความสะอาดโดยก่ออุ่นจากห้องเสมอ
7. ในกรณีที่นิสิตป่วยจนกระทั้งไม่สามารถมาเข้าปฏิบัติการตามปกติได้ **ต้องติดต่อ** อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการทันที **หรือหลังจากหายป่วยโดยมีใบรับรองแพทย์มาแสดงด้วย**

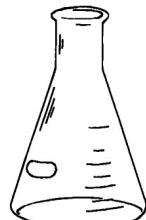
เครื่องมือที่ใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการ



บีกเกอร์
(Beaker)



หลอดทดลอง
(Test tube)



ขวดรูปกรวย
(Conical flask or Erlenmeyer flask)



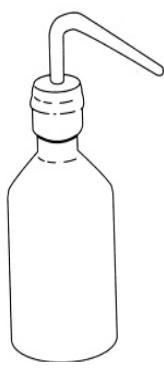
ชามกระเบื้อง
(Porcelain basin)



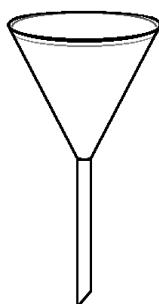
ครุชิเบลและฝา
(Crucible and Cover)



ขวดหยด



ขวดใส่น้ำกลั่น
(Wash Bottle)



กรวยแก้ว
(Funnel)



กระจกนาฬิกา
(Watch Glass)



เทอร์โมมิเตอร์
(Thermometer)



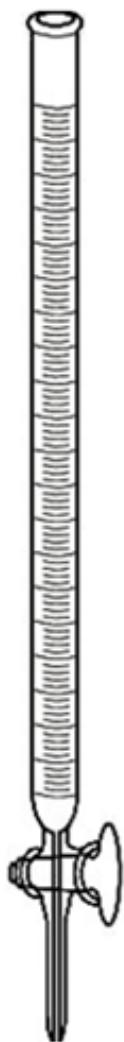
แท่งแก้วคน
(Stirring Rod)



หลอดหยด
(Medicine Dropper)



หลอดนำแก๊ส
(Delivery Tubes)



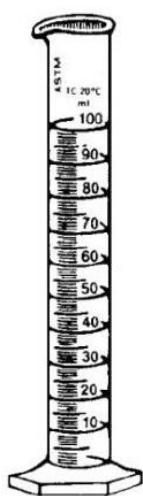
บูร์เรต
(Buret)



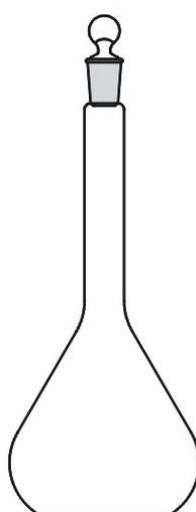
วอลุ่มเมติก ปิเปต
Volumetric pipet



แกรดูออดเดต ปิเปต
Graduated pipet



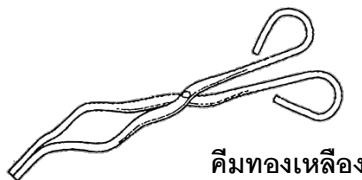
กระบอกตวง
(Graduated Cylinder)



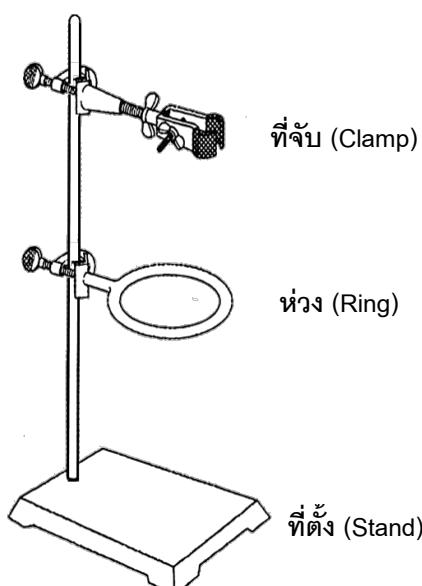
ขวดกำหนนคปริมาตร
(Volumetric Flask)



ที่จับหลอดทดลอง
(Test-tube Holder)



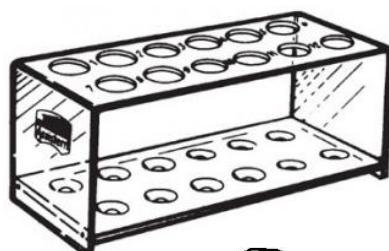
คิมทองเหลือง
(Brass Tongs)



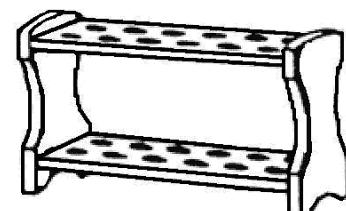
ที่จับ (Clamp)



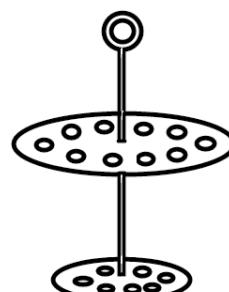
ห่วง (Ring)



ที่ตั้งหลอดทดลอง
(Test-tube Rack)



อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
(Water Bath)



ห่วงทองเหลือง
(Hot Bath Rack)



คลิป
(Clip)



แปรงล้างหลอดทดลอง
(Test-tube Brush)



เครื่องให้ความร้อน
(Hot Plate)



เครื่องเหวี่ยงตะกอน
(Centrifuge)

การทดลองที่ 1

การหาความดันไออกและความร้อนแห่งของการเกิดไอกของน้ำ

(Determination of Vapor Pressure and Latent Heat of Vaporization of Water)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- ให้รู้จักเครื่องมืออย่างง่ายในการวัดความดันไอกของน้ำ
- หาความดันไอกของน้ำในช่วงอุณหภูมิ $50\text{--}80^\circ\text{C}$
- หาความร้อนแห่งของการเกิดไอกของน้ำในช่วงอุณหภูมิ $50\text{--}80^\circ\text{C}$

สารเคมีและอุปกรณ์

- น้ำกลั่น น้ำแข็ง
- บารอมิเตอร์ เทอร์มอเมเตอร์ แผ่นทำความสะอาด
- หลอดทดลองที่มีขีดบากปริมาตร (6 mL)
- บีกเกอร์ บิวเรต หลอดหยด
- แท่งแก้วสำหรับคน

ทฤษฎี

ความดันหรือความดันไอกที่ภาวะสมดุล (equilibrium vapor pressure) หมายถึงความดันของไอกของของเหลวที่อยู่ในภาวะสมดุลกับของเหลว

ความร้อนแห่งของการเกิดไอก หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของเหลวให้กลายเป็นไอกที่ภาวะสมดุลนั้น

ความดันไอกของของเหลวสัมพันธ์กับอุณหภูมิตาม Clapeyron equation ดังนี้

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{T\Delta V} \quad (1)$$

T = อุณหภูมิในหน่วย Kelvin (K)

ΔV = $V_{\text{vap}} - V_{\text{liq}}$

V_{vap} = ปริมาตรของไอก

V_{liq} = ปริมาตรของของเหลว

ΔH_{vap} = ความร้อนแห่งของการเกิดไอก

P = ความดันไอก

เนื่องจาก $V_{\text{vap}} >> V_{\text{liq}}$ ทำให้สามารถประมาณได้ว่า $\Delta V \approx V_{\text{vap}}$

$$\text{เมื่อพิจารณาว่า ไอมีพฤติกรรมเป็นแก๊สอุดมคติ จะได้ } V_{\text{vap}} = \frac{nRT}{P} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dT} = \Delta \bar{H}_{\text{vap}} \cdot \frac{P}{RT^2} \text{ หรือ } \frac{dP}{P} = \Delta \bar{H}_{\text{vap}} \frac{dT}{RT^2} \quad (3)$$

ในกรณีที่พิจารณาว่า ΔH_{vap} มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดให้ จะได้

$$\log P = -\frac{\Delta \bar{H}_{\text{vap}}}{2.303RT} + C \quad (4)$$

เมื่อ C = ค่าคงที่

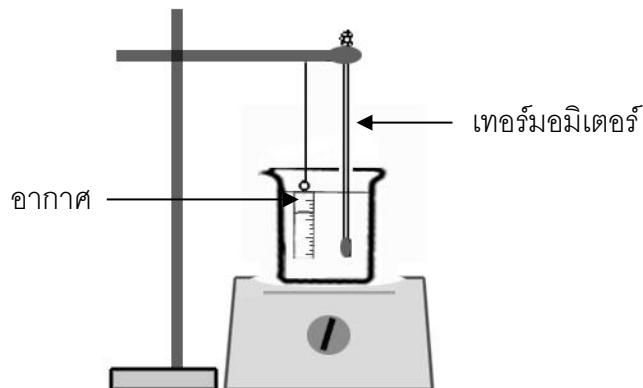
แทนค่า P_1, P_2 = ความดันไอที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ ได้ว่า

$$\log \frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta \bar{H}_{\text{vap}}}{2.303R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (5)$$

สมการ (4) และ (5) เป็นรูปหนึ่งของ Clausius-Clapeyron equation ใช้คำนวณความร้อนแผงของการเกิดไอของของเหลวได้

หลักการทดลอง

ถ้าค่าวั่นลดทดลองที่มีขีดบากปริมาตร (6 mL) ลงในน้ำที่บวบอุ่นในบีกเกอร์ จะมีอาการจำนวนหนึ่งค้างอยู่ในหลอด ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 เครื่องมือ測ความดันไอของของเหลว

เมื่อคุณน้ำในบีกเกอร์ให้ร้อน น้ำภายในหลอดทดลองจะกลายเป็นไอกาชที่อยู่ในหลอดทดลองจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำเกิดภาวะสมดุลระหว่างอากาศ ไอน้ำและน้ำ ความดันรวมภายในหลอดประกอบด้วยความดันของอากาศและความดันไอกาชของน้ำ บันทึกอุณหภูมิและปริมาตรของแก๊ส ผสมที่ $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงลดอุณหภูมิของน้ำลงครั้งละประมาณ 5°C จนอุณหภูมิลดลงถึง 50°C วัดอุณหภูมิและปริมาตรของแก๊สที่ $80\text{--}50^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หากค่าเฉลี่ยของปริมาตรของแก๊สที่วัดทั้งสองครั้งเพื่อนำไปใช้คำนวณความดันไอกาชของน้ำในช่วง $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$

จากข้อมูลที่ได้สามารถใช้กฎของแก๊สคำนวณหาความดันย่อยของอากาศและของไอน้ำที่แต่ละอุณหภูมิได้ และในการคำนวนนี้จำเป็นต้องใช้จำนวนโมลของอากาศ จึงต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อใช้คำนวนจำนวนโมลของอากาศ

จำนวนโมลของไอน้ำในแก๊สผสมจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ แต่จำนวนโมลของอากาศจะมีค่าคงที่ ที่อุณหภูมิสูงน้ำจะกลายเป็นไออกได้มาก และที่อุณหภูมิต่ำ น้ำจะกลายเป็นไออกได้น้อยโดยเฉพาะที่ใกล้ 0°C นั้น น้ำจะกลายเป็นไออกได้น้อยมาก (น้อยกว่า 1%) สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นที่อุณหภูมิใกล้ 0°C จึงถือว่ามีแต่อากาศอย่างเดียว ($P_{\text{air}} = P_{\text{atm}}$) เมื่อทราบปริมาตรที่อุณหภูมิคงกล่าวก็สามารถคำนวนจำนวนโมลของอากาศได้

เมื่อได้ข้อมูลเกี่ยวกับความดันไอกาชของน้ำ ($P_{\text{H}_2\text{O}}$) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันแล้ว จึงอาศัย Clausius-Clapeyron equation หาค่าความร้อนแห้งของการเกิดไอกาชของน้ำโดยการเขียนกราฟระหว่าง $\log P_{\text{H}_2\text{O}}$

$$\text{กับ } \frac{1}{T} \text{ จะได้กราฟเส้นตรงที่มี slope} = -\frac{\Delta \bar{H}_{\text{vap}}}{2.303R}$$

การคำนวน

- คำนวนจำนวนโมลของอากาศในหลอดทดลอง (จากข้อมูลเกี่ยวกับปริมาตร และ อุณหภูมิในช่วงต่างกว่า 5°C) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} n_{\text{air}} &= \frac{P_{\text{atm}} V_{\text{corr}}}{RT} \\ P_{\text{atm}} &= \text{ความดันบรรยากาศ (atm)} \\ V_{\text{corr}} &= \text{ปริมาตรที่ปรับแก้แล้ว (L)*} \\ n_{\text{air}} &= \text{จำนวนโมลของอากาศ (mol)} \\ R &= \text{ค่าคงที่ของแก๊ส (0.0821 L atm K $^{-1}$ mol $^{-1}$ หรือ 8.314 J K $^{-1}$ mol $^{-1}$)} \\ T &= \text{อุณหภูมิ (K)} = 273.15 + {}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ความดันไอกาชของน้ำที่อุณหภูมิต่างกว่า 5°C มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ จึงสามารถตัดทิ้งได้

หมายเหตุ *ดูรายละเอียดตามวิธีทดลองตอนที่ 1

2. คำนวณความดันย่ออยของอากาศ (P_{air}) ในแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่าง ๆ ($50\text{--}80^{\circ}\text{C}$) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_{\text{air}} = n_{\text{air}} \cdot \frac{RT}{V_{\text{corr}}}$$

n_{air} มีค่าคงที่จึงใช้จากข้อ 1 ได้ ส่วน T และ V_{corr} ได้จากการทดลอง
(ระวังหน่วยของ P , V และ T ที่ใช้ด้วย)

3. คำนวณความดันไอของน้ำในแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่าง ๆ ($50\text{--}80^{\circ}\text{C}$) โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{air}} + P_{\text{H}_2\text{O}} \quad \text{หรือ} \quad P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{air}}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \text{ความดันไอของน้ำในแก๊สผสม}$$

4. จากสมการ 4 เผยแพร่ว่า $\log P_{\text{H}_2\text{O}}$ กับ $\frac{1}{T}$ ได้ภาพเด่นตรง
คำนวณความร้อนแห้งของการเกิดไอของน้ำ (ΔH_{vap}) ได้จากความสัมพันธ์

$$\text{slope} = -\frac{\Delta \bar{H}_{\text{vap}}}{2.303R}$$

วิธีทดลอง

แบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ตรวจสอบความถูกต้องของหลอดทดลอง

เติมน้ำกลั่น 2.00 mL จากบิวเรตลงในหลอดทดลอง บันทึกปริมาตรที่วัดได้จากหลอดทดลอง
ถ้าปริมาตรที่วัดได้จากหลอดทดลองไม่เท่ากับ 2.00 mL ให้ปรับแก่ปริมาตรทุกครั้งก่อนนำไปคำนวณ
เช่น ปริมาตรที่วัดได้เท่ากับ 2.10 mL ปริมาตรที่ปรับแก้แล้วจะต้องหักออก 0.10 ทุกครั้ง

ตอนที่ 2 หาปริมาตรแก๊สผสมที่อุณหภูมิ $50\text{--}80^{\circ}\text{C}$

- บรรจุน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ประมาณ $\frac{3}{4}$ ของปริมาตรทั้งหมด (ใช้บีกเกอร์ขนาด 250 mL)
- บรรจุน้ำกลั่นให้เต็มหลอดทดลอง
- ใช้น้ำมือปิดปากหลอดทดลองแล้วกว่าลงในบีกเกอร์ ในกรณีที่ระดับน้ำในบีกเกอร์ไม่ท่วมหลอด
ทดลอง ให้เติมน้ำลงไปอีกให้ท่วมหลอดทดลองพอเดี๋ยวอากาศส่วนบนในหลอดทดลองน้อยกว่า
1.50 mL ให้ปรับอากาศในหลอดให้ได้ 1.50 mL โดยใช้หลอดหยดบีบอากาศเข้าแทนที่น้ำ
- จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในบีกเกอร์ (จัดเครื่องมือตามรูปที่ 1.1)
- ต้มน้ำในบีกเกอร์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 50°C ใช้แท่งแก้วคนน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อุณหภูมิ
เท่ากันทั้งหมด

6. บันทึกปริมาตรที่แน่นอนของแก๊ส(ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 50°C บันทึกปริมาตรและอุณหภูมิลงตารางผลการทดลองในตอนที่ 2
7. ต้มน้ำในบีกเกอร์ให้ร้อนขึ้น บันทึกปริมาตรที่แน่นอนของแก๊สในหลอดทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ $55 - 80^{\circ}\text{C}$ ตามตาราง
8. ทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยยกบีกเกอร์ลงจากเครื่องทำความร้อน และเริ่มต้นวัดปริมาตรแก๊สในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ $80-50^{\circ}\text{C}$ การลดอุณหภูมิของน้ำทำได้ด้วยการเติมน้ำเย็นหรือน้ำแข็งลงในบีกเกอร์ พร้อมกับดูดน้ำในบีกเกอร์ออกในปริมาตรที่เท่ากันซึ่งทำให้ระดับน้ำในบีกเกอร์ท่วงหลอดทดลองพอดี
9. วัดความดันของอากาศขณะทำการทดลอง(จากการออมิเตอร์)

ตอนที่ 3 หาจำนวนโมลของอากาศ

จากการทดลองตอนที่ 2 หลังจากอุณหภูมิลดลงถึง 50°C แล้ว ให้เติมน้ำแข็งลงในบีกเกอร์เพื่อให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 5°C พร้อมๆ กับดูดน้ำในบีกเกอร์ออกในปริมาตรที่เท่ากันโดยรักษาระดับน้ำในบีกเกอร์ให้ท่วงหลอดทดลองพอดี วัดและบันทึกปริมาตรของแก๊สที่ 5°C ในตารางผลการทดลองในตอนที่ 2

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากกราฟระหว่าง $\log P_{\text{H}_2\text{O}}$ กับ $\frac{1}{T}$ ที่อุณหภูมิ 54°C จะได้ความดันไอของน้ำเป็นเท่าใด
2. ที่ 5°C ในการคำนวน T_{air} ทำไมจึงใช้ P_{atm} แทน P_{air} ได้
3. ในการคำนวน T_{air} ใช้ข้อมูลที่ 50°C ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
4. ถ้าเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นอย่างอื่น จะสามารถใช้วิธีการนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
5. ข้อผิดพลาดจากการทดลองนี้ มีสาเหตุจากอะไรได้บ้าง
6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 1
การหาความดันไออกซิเจนร้อนแห้งของการเกิดไอกองน้ำ

ทำการทดลอง วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ..... เลขประจำตัว..... กลุ่มที่..... ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 ตรวจสอบความถูกต้องของหลอดทดลอง

ปริมาตรร้นไอกลั่นที่อ่านได้จากหลอดทดลอง..... mL

ค่าที่ต้องปั๊บแก๊สในภาชนะที่อ่านได้..... mL

(ระบุเครื่องหมาย + หรือ - ด้วย)

ความตันบารอยากาศ mm Hg

(ดูประกาศที่หน้าห้องปฏิบัติการ)

ตอนที่ 2 หาปริมาตรแก๊สสมที่อุณหภูมิ 50–80°C

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรแก๊สสม (mL)				V_{corr} เฉลี่ย	T* (K)	P_{air} (atm)	P_{H_2O} (atm)	$\log P_{H_2O}$	$\frac{1}{T}$ ($10^{-3} K^{-1}$)						
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2													
	$V_{\text{อ่านได้}}$	V_{corr}	$V_{\text{อ่านได้}}$	V_{corr}												
50																
55																
60																
65																
70																
75																
80																
5																

$$* T (K) \approx 273 + {}^{\circ}\text{C}$$

การคำนวณจำนวนโมลของอากาศ (แสดงวิธีทำโดยการแทนค่าตัวเลขและหน่วย)

$$n_{air} = \frac{PV_{corr}}{RT} \text{ (จาก } V_{corr} \text{ ที่ } 5^\circ\text{C) } = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 50°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 55°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 60°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 65°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 70°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 75°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

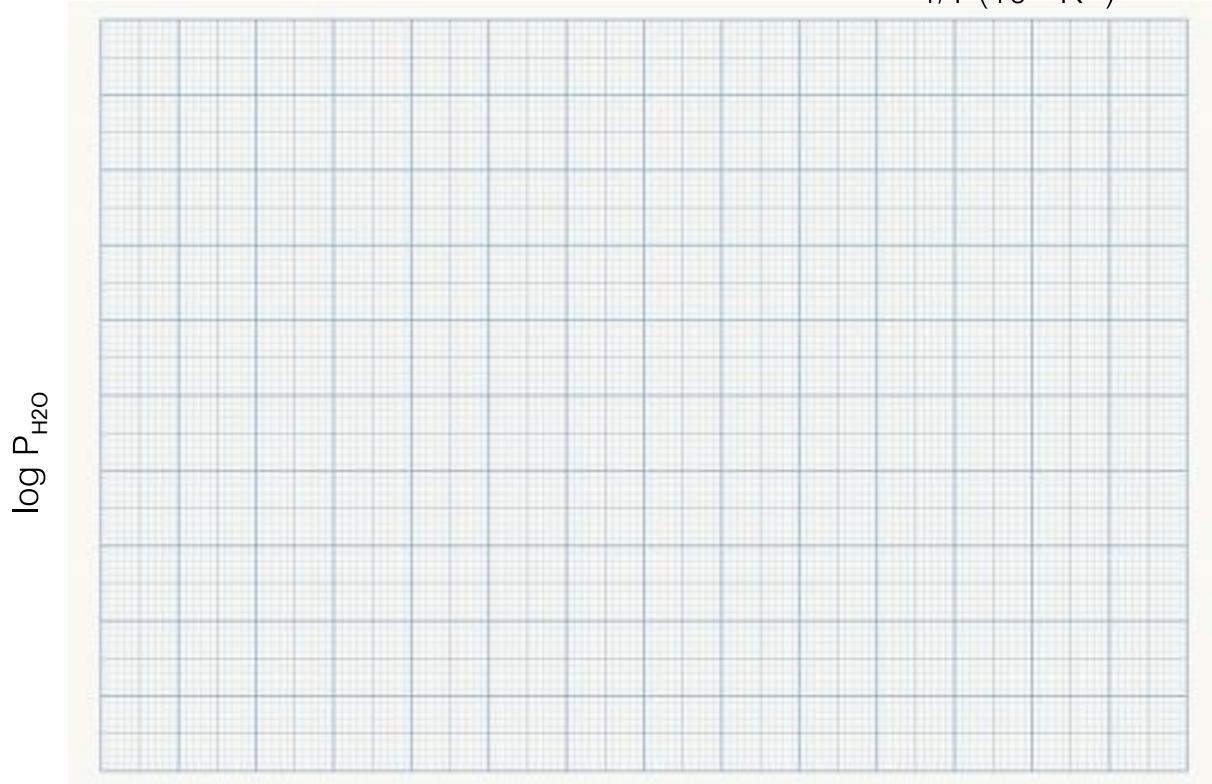
ความดันอากาศและความดันไออกซ์เจนที่ 80°C

$$P_{air} = n_{air} \frac{RT}{V_{corr}} = \dots$$

$$P_{H_2O} = P_{atm} - P_{air} = \dots$$

การคำนวณ $\Delta \bar{H}_{\text{vap}}$ จากกราฟ (ย่อระหว่างกราฟได้ตามความเหมาะสม)

$$1/T (10^{-3} \text{ K}^{-1})$$



$$\text{Slope จากกราฟ} = \dots$$

$$\begin{aligned}\Delta \bar{H}_{\text{vap}} &= -2.303 R \times \text{slope} \\ &= \dots \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$(\Delta \bar{H}_{\text{vap}} \text{ จาก Handbook} = 42.7 \text{ kJ/mol})$$

$$\therefore \% \text{ ความผิดพลาด} = \dots$$

คำถากมท้ายการทดลอง

- 1) จากกราฟระหว่าง $\log P_{H_2O}$ กับ $\frac{1}{T}$ ที่อุณหภูมิ $54^{\circ}C$ จะได้ความคันไอกของน้ำเป็นเท่าใด
-
.....
.....

- 2) ที่ $5^{\circ}C$ ในการคำนวน g_{air} ทำไมจึงใช้ P_{atm} แทน P_{air} ได้
-
.....
.....

- 3) ใน การคำนวน g_{air} ใช้ข้อมูลที่ $50^{\circ}C$ ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
-
.....
.....

- 4) ถ้าเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นอย่างอื่น จะสามารถใช้วิธีการนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
-
.....
.....

- 5) ข้อผิดพลาดจากการทดลองนี้ มีสาเหตุจากอะไรได้บ้าง
-
.....
.....

- 6) สรุปผลการทดลอง
-
.....
.....

ศึกษาปฏิบัติการนี้ด้วยตนเองใน BB และเลือกข้อมูลผลที่ให้ 1 ชุด
(ชุดที่ 1, ชุดที่ 2 หรือ ชุดที่ 3) เพื่อเขียนรายงานการทดลอง

การทดลองที่ 2

การวัดความร้อนด้วยแคลอริมิเตอร์

(Measurement of Heat using Calorimeter)

วัตถุประสงค์เชิงพุทธิกรรม

- ศึกษาวิธีวัดความร้อนโดยอาศัยเครื่องแคลอริมิเตอร์
- หาเอนทัลปีของการละลาย (Heat of solution) โดยใช้เครื่องแคลอริมิเตอร์
- อธิบายหลักการละลาย โดยใช้พลังงาน latent heat และพลังงานไสเดรชัน
- หาเอนทัลปีของปฏิกิริยาสัสนิ (Heat of neutralization)

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลายน้ำโซเดียมไฮド록ไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) 1.5 M
- สารละลายน้ำไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) 1.5 M
- สารละลายน้ำ酇ีติก (acetic acid, CH₃COOH) 1.5 M
- สารละลายน้ำแอมโมเนีย (ammonia, NH₃) 1.5 M
- โพแทสเซียมไนเตรต (potassium nitrate, KNO₃)
- โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na₂CO₃)
- แคลอริมิเตอร์
- เทอร์มومิเตอร์ ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 °C
- เทอร์มอมิเตอร์สเกล 1 °C
- บีกเกอร์ขนาด 50 และ 250 mL
- แท่งแก้วคน
- หลอดทดลองขนาด 10 mL
- เครื่องอั่งไอน้ำ
- บิวเรตขนาด 50 mL
- เครื่องซั่ง

ทฤษฎี

ตามหลักของอุณหพลศาสตร์ พลังงานสามารถถ่ายเทได้ในรูปความร้อนและงาน ในทางเคมี จะสนใจการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนซึ่งเป็นปริมาณที่วัดได้มีหน่วยเป็น Joule (J) หรือ Calorie (cal) และอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณความร้อนเรียกว่า “แคลอริมิเตอร์” (calorimeter) ซึ่งอาศัยหลัก

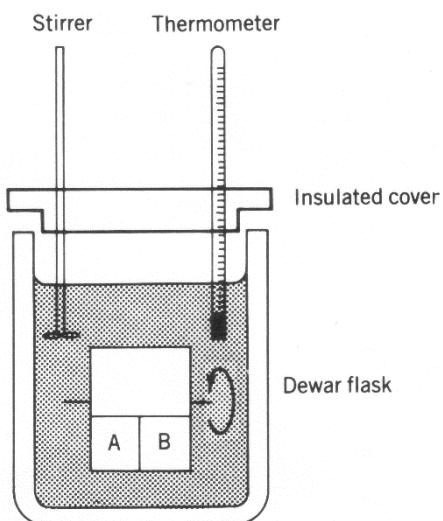
$$q = c \Delta T \quad (1)$$

โดยที่ q คือ ความร้อน

c คือ ความจุความร้อน (heat capacity) ของวัตถุ

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่อวัตถุได้รับหรือสูญเสียความร้อน

ดังนั้นถ้ารู้ค่าความจุความร้อนของวัตถุและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงก็จะสามารถวัดความร้อนได้ สำหรับเครื่องแคลอริมิเตอร์อย่างง่ายประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 2.1 เครื่องแคลอริมิเตอร์อย่างง่าย

เนื่องจากอุปกรณ์ประกอบด้วยชั้นวนกันความร้อน (กล่องไฟม) เครื่องแคลอริมิเตอร์จึงเป็นระบบโดดเดี่ยว (isolated system) และไม่มีการถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม (surroundings) หรือรับจากสิ่งแวดล้อม ความร้อนที่วัดได้จึงเป็นความร้อนที่มาจากการเปลี่ยนแปลงภายในระบบเท่านั้น โดยทั่วไปจะไม่วัดความร้อนที่ถ่ายเทเนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยตรง แต่จะวัดความร้อนที่กระบวนการนั้นมีการถ่ายเทกับตัวกลาง เช่น น้ำ และถ้ารู้ค่าความจุความร้อนน้ำและ

บันทึกอุณหภูมิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงก็จะคำนวณความร้อนของการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ได้ นอกจากน้ำแล้วสัดที่ใช้ทำแคลอริมิเตอร์ก็รับและให้ความร้อนได้ ดังนั้นความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ได้ ให้หรือรับ ดังแสดงได้ด้วยสมการ

$$\begin{aligned} -q_r &= q_{H_2O} + q_c \\ &= ms\Delta T + C_c \Delta T \end{aligned} \quad (2)$$

โดยที่ q_r = ความร้อนที่ระบบให้หรือได้รับจากการเปลี่ยนแปลง หน่วย cal

q_{H_2O} = ความร้อนที่น้ำได้รับหรือสูญเสียไป หน่วย cal

q_c = ความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ได้รับหรือสูญเสียไป หน่วย cal

m = มวลของน้ำในแคลอริมิเตอร์ หน่วย g

s = ความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของน้ำ ($1.00 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $4.1855 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

C_c = ความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์หรือค่าคงที่แคลอริมิเตอร์

ΔT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

หมายเหตุ กระบวนการเปลี่ยนแปลงชนิดความร้อน $q_r < 0$, q_{H_2O} และ $q_c > 0$

เนื่องจากแคลอริมิเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความสามารถในการรับและให้ความร้อนหรือที่เรียกว่า ค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ไม่เท่ากัน ดังนั้นก่อนที่จะนำแคลอริมิเตอร์มาทำการวัดความร้อนจำเป็นที่จะต้องหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ก่อน สำหรับการทดลองนี้จะหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ เอนทัลปีของการละลาย และเอนทัลปีของปฏิกิริยาสารเดิน

หลักการทดลอง

1. การหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์

เมื่อนำน้ำอุ่นและน้ำเย็นปริมาณเท่ากันมาผสมในแคลอริมิเตอร์ น้ำอุ่นจะถ่ายความร้อนให้แก่น้ำเย็น ถ้าหากแคลอริมิเตอร์ไม่ดูดความร้อน จะได้ว่า

$$\begin{aligned} -q_{hot} &= q_{cold} \\ -m_1 s \Delta T_1 &= m_2 s \Delta T_2 \end{aligned} \quad (3)$$

โดยที่ m_1 = น้ำหนักของน้ำอุ่น

m_2 = น้ำหนักของน้ำเย็น

s = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ

ΔT_1 = $T(\text{น้ำผสม}) - T(\text{น้ำอุ่น})$

ΔT_2 = $T(\text{น้ำผสม}) - T(\text{น้ำเย็น})$

ดังนั้น ΔT_1 จึงมีค่าเป็นลบเสมอ ในขณะที่ ΔT_2 มีค่าเป็นบวกเสมอ จากสมการ $|m_1 \Delta T_1|$ จะต้องเท่ากับ $|m_2 \Delta T_2|$ แต่ในทางปฏิบัติพบว่า $|m_1 \Delta T_1|$ มากกว่า $|m_2 \Delta T_2|$ เสมอ เนื่องจากแคลอริมิเตอร์ดูดความร้อนตัวอยู่ ดังนั้น

$$-m_1 s \Delta T_1 = m_2 s \Delta T_2 + C_c \Delta T_2$$

อาศัยความสัมพันธ์ดังกล่าว ค่าคงที่แคลอริมิเตอร์สามารถหาได้ดังนี้

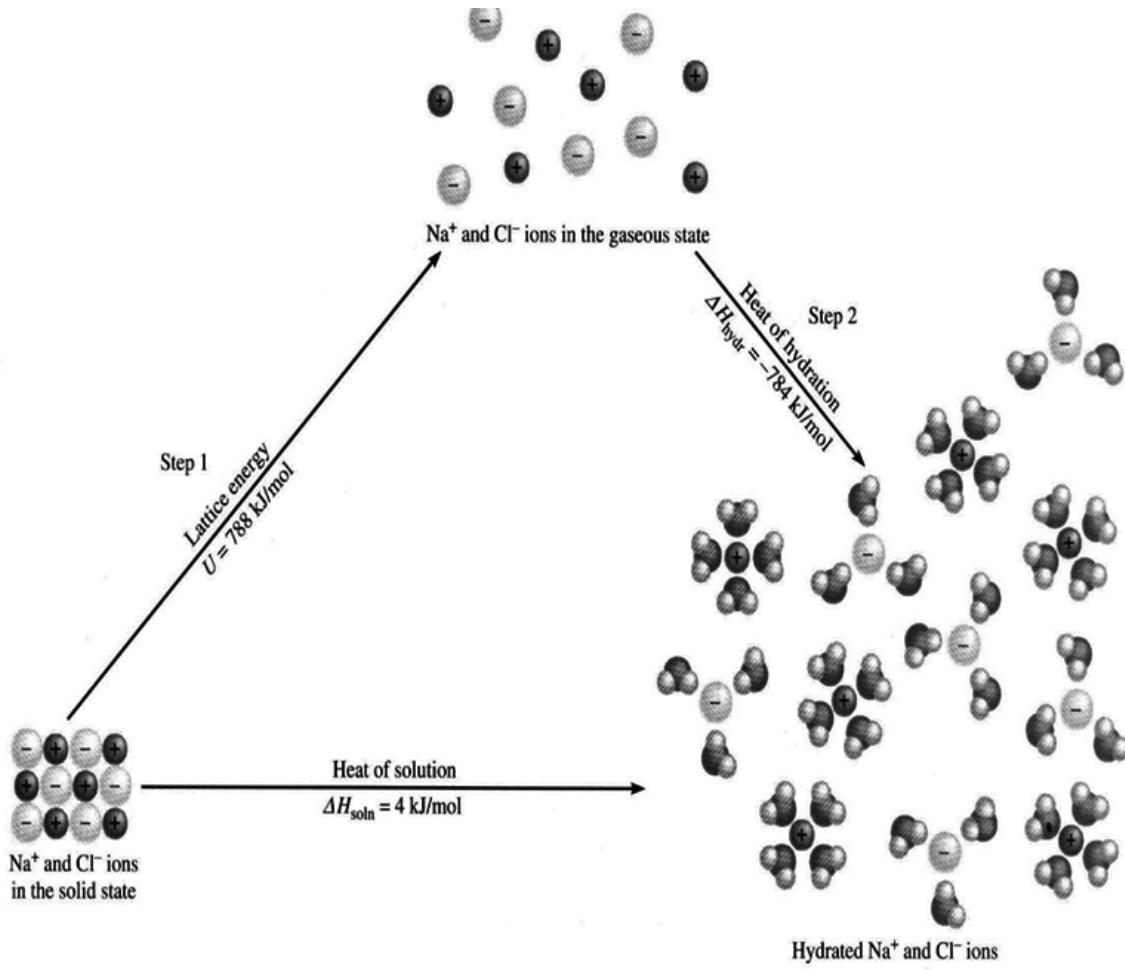
$$C_c = -(m_1 s \Delta T_1 + m_2 s \Delta T_2) / \Delta T_2 \quad (4)$$

2. การหาค่าเอนทัลปีของการละลายและพลังงานไฮเดรชัน

เมื่อละลายตัวกรุณละลาย (olute) ในตัวทำละลาย (solvent) จะพบว่าอุณหภูมิของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นไปได้ 2 กรณีคือสารละลายมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เป็นการละลายแบบบุคายความร้อน (exothermic) และสารละลายมีอุณหภูมิลดลง เป็นการละลายแบบดูดความร้อน (endothermic) แสดงให้เห็นว่ามีการถ่ายเทความร้อนจากการละลายที่เรียกว่า “ความร้อนของการละลายหรือเอนทัลปีของการละลาย” (heat of solution/enthalpy of solution; ΔH_{soln}) เอนทัลปีของการละลายสามารถวัดได้ด้วยเครื่องแคลอริมิเตอร์ และอาศัยสมการ (2) โดยที่

$$\begin{aligned} \Delta H_{soln} &= q_r \\ \Delta T &= T(\text{หลังละลาย}) - T(\text{ก่อนละลาย}) \\ m &= \text{มวลของสารละลาย} (\text{มวลของน้ำและสาร}) \\ s &= \text{ความร้อนจำเพาะของสารละลาย} \end{aligned}$$

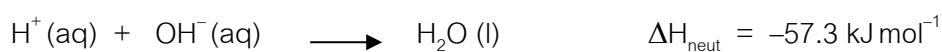
เนื่องจากสารละลายที่เตรียมเป็นสารละลายเจือจาง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำแทนของสารละลายได้ การละลายประกอบด้วย 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การแยกออกจากกันของโมเลกุลหรือไอโอนของตัวกรุณละลาย พลังงานที่ใช้เรียกว่าพลังงานแล็ตทิซ (lattice energy) เป็นกระบวนการดูดความร้อน และ ขั้นที่ 2 การล้อมรอบตัวกรุณละลายด้วยตัวทำละลาย เรียกว่า solvation ถ้าหากตัวทำละลายเป็นน้ำเรียกว่า hydration โดยพลังงานที่คายออกมานี้จากการละลายตัวกรุณละลายไอโอนิกในน้ำ เรียกว่าพลังงานไฮเดรชัน (hydration energy) ผลรวมของเอนทัลปีของสองขั้นตอน คือ เอนทัลปีของการละลาย แผนภาพข้างล่างในรูปที่ 2.2 แสดงการละลายของ NaCl ในน้ำ ดังนั้น ถ้ารู้ค่าเอนทัลปีของการละลายและพลังงานแล็ตทิซ ก็จะสามารถหาพลังงานไฮเดรชันได้



รูปที่ 2.2 การละลายของ NaCl ในน้ำ

3. การหาค่าเอนทัลปีของปฏิกิริยาสารเทิน

เอนทัลปีของปฏิกิริยาสารเทิน (enthalpy of neutralization; ΔH_{neut}) เป็นความร้อนที่ได้จากการเมื่อกรดและเบสชนิดละ 1 มोล รวมตัวกันได้น้ำหนึ่งมิล สำหรับกรดแก่และเบสแก่ในสภาพสารละลายเจือจางจะแตกตัวให้ H^+ และ OH^- ตามลำดับอย่างสมบูรณ์ สามารถเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ถ้าใช้กรดอ่อนหรือเบสอ่อนอย่างโดยย่างหนึ่งหรือใช้ทั้งกรดอ่อนและเบสอ่อน ค่าเอนทัลปีของปฏิกิริยาสารเทินจะน้อยกว่า $-57.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ ทั้งนี้ เพราะในสภาพละลายในน้ำ ทั้งกรดอ่อนและเบสอ่อนจะแตกตัวไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องใช้พลังงานเพิ่มเติมในการแตกตัวของโมเลกุลกรดอ่อนและเบสอ่อน



วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์

1. ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์พร้อมฝาและแท่นแก้วคน
2. ตวงน้ำกํลัน 25 mL ใส่กรอบอุบัติสีในแคลอริมิเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก เสียบเทอร์มอโนเตอร์ที่มีสเกลแบบละเอียดที่ไฟแคลอริมิเตอร์ โดยระวังอย่าให้ปลายกระปาของเทอร์มอโนเตอร์สัมผัสกับก้นของแคลอริมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 5 นาที หาอุณหภูมน้ำเย็น (ค่าคงที่)
3. ตวงน้ำกํลัน 25 mL ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ต้มจนน้ำกํลันมีอุณหภูมิประมาณ 60°C (หรืออาจสูงกว่าเล็กน้อย) วัดโดยใช้เทอร์มอโนเตอร์สเกลหยาบ จากนั้นยกบีกเกอร์น้ำอุ่นลงจากเครื่องให้ความร้อน บันทึกอุณหภูมน้ำอุ่นก่อนเทน้ำอุ่นทั้งหมดใส่ในแคลอริมิเตอร์ทันที คนน้ำให้ทั่วและเริ่มจับเวลา บันทึกอุณหภูมน้ำผสมที่ 15, 30, 45, 60 วินาที และทุกๆ 60 วินาทีจนถึง 300 วินาที หาอุณหภูมน้ำผสม (ค่าสูงสุด)
4. ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์และน้ำผสม นำไปหักลงกับน้ำหนักของแคลอริมิเตอร์และนำที่ซึ้งได้จากข้อ 2 จะได้น้ำหนักของน้ำอุ่น
5. คำนวณค่าคงที่แคลอริมิเตอร์
6. ทำข้อ 1–5 แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ทั้ง 2 ครั้ง

ตอนที่ 2 การหาค่าเอนทัลปีของการละลายและพลังงานไ媳เดรชัน

1. ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์
2. ตวงน้ำกํลัน 50 mL ด้วยกรอบอุบัติสีลงในแคลอริมิเตอร์ ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์และน้ำ บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 5 นาที เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ (แกน y) กับเวลา (แกน x) หาอุณหภูมิเริ่มต้น(ค่าคงที่) จากกราฟ
3. ตักสาร KNO_3 ประมาณ 4 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาดเล็ก ชั่งน้ำหนักແน่นอนทศนิยม 2 ตำแหน่ง เทสารลงในแคลอริมิเตอร์จากข้อ 2 คนให้ทั่วเพื่อให้สารละลายหมด บันทึกอุณหภูมิที่ 15, 30, 45, 60 วินาทีและทุกๆ 60 วินาทีจนถึง 300 วินาที เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ (แกน y) กับเวลา (แกน x) หาอุณหภูมิสารละลายจากการ ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิสูงสุด (การละลายแบบคายความร้อน) หรืออุณหภูมิต่ำสุด (การละลายแบบดูดความร้อน)
4. นำบีกเกอร์ขนาดเล็กที่มีสารเหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนัก และนำไปหักออกจากน้ำหนักที่ซึ้งได้ในข้อ 3 จะได้น้ำหนักของสารที่ใช้จริง
5. ทำข้อ 2–4 โดยเปลี่ยนสารจาก KNO_3 เป็น Na_2CO_3 ตามลำดับ
6. คำนวณค่าเอนทัลปีของการละลายสำหรับ KNO_3 และ Na_2CO_3

ตอนที่ 3 การหาค่าเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน

1. ขั้นตอนนี้หานักแคลอริมิเตอร์
2. ใช้สารละลาย NaOH 1.50 M 50 mL จากบิวเรตใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 5 นาที เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ (แกน y) กับเวลา (แกน x) หาอุณหภูมิเริ่มต้นของเบสในแคลอริมิเตอร์ (ค่าคงที่) จากกราฟ
3. ใช้สารละลาย HCl 1.50 M 50 mL จากบิวเรตใส่ลงในบีกเกอร์ หลังจากนั้นนำไปเทสู่ในแคลอริมิเตอร์พร้อมทั้งคนสารละลายผสมเบา ๆ บันทึกอุณหภูมิที่ 15, 30, 45, 60 วินาที และแล้วทุก ๆ 60 วินาทีจนถึง 300 วินาที เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิ (แกน y) กับเวลา (แกน x) ทำการหาอุณหภูมิสุดท้าย (ค่าสูงสุด, T_{max}) จากกราฟ
4. ขั้นตอนนี้หานักแคลอริมิเตอร์ที่มีสารละลายผสม (ข้อ 3) และคำนวนน้ำหนักของสารละลายที่ได้จากน้ำหนักของแคลอริมิเตอร์และสารละลายผสม (ข้อ 3) – น้ำหนักแคลอริมิเตอร์ (ข้อ 1)
5. คำนวนอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) ซึ่งเท่ากับ อุณหภูมิสุดท้าย (จากข้อ 3) ลบด้วยอุณหภูมิเริ่มต้น (จากข้อ 2)
6. คำนวนความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน (cal) = $m s \Delta T + C_c \Delta T$
7. คำนวนเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน (ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินต่อโมลของน้ำ, cal/mol)
8. ทำข้อ 1–7 โดยเปลี่ยนคุณนิคของกรดและเบสเป็น CH_3COOH กับ NaOH และ HCl กับ NH_3 ที่ความเข้มข้น 1.50 M ตามลำดับ

กำหนดมวลอะตอม C = 12 N = 14 O = 16 Na = 23 Cl = 35.5 K = 39

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในการทำค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ทั้ง 2 ครั้ง ได้ค่าคงที่แคลอริมิเตอร์เท่ากันหรือไม่ และเมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ที่ได้กับกลุ่มอื่น ได้ค่าเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ในการทำค่าเอนทัลปีของการละลายของ KNO_3 และ Na_2CO_3 จะสรุปผลการทดลองโดยนำทฤษฎีของการละลายมาใช้หรือไม่ ค่าความร้อนที่ได้รับของการละลาย KNO_3 (หรือ Na_2CO_3) จะเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
3. ถ้าใช้ KNO_3 (หรือ Na_2CO_3) ปริมาณไม่เท่ากัน ค่าความร้อนที่ได้รับของการละลาย KNO_3 (หรือ Na_2CO_3) จะเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
ในทำนองเดียวกัน ถ้าใช้ KNO_3 (หรือ Na_2CO_3) ปริมาณไม่เท่ากัน เออนทัลปีของการละลาย KNO_3 (หรือ Na_2CO_3) จะเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. จากผลการทดลองเรื่องเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน ถ้าเปลี่ยนระบบกรดเบสเป็นดังต่อไปนี้ เอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทินจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร เมื่อเทียบกับระบบ HCl 1.50 M กับ NaOH 1.50 M

- (i) HCl 1.00 M กับ NaOH 1.00 M
- (ii) HNO₃ 1.50 M กับ KOH 1.50 M
5. เมื่อเบริยบเทียบกับค่า ΔH จาก Handbook ถ้าต้องการให้ผลการทดลองถูกต้องมากขึ้น
ควรปรับปรุงการทดลองอย่างไรบ้าง

การทดลองที่ 2

การวัดความร้อนด้วยแคลอริมิเตอร์

ทำการทดลอง วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ..... เลขประจำตัว..... กลุ่มที่..... ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลลอริมิตเตอร์

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักแคลอวิมิเตอร์ (g)		
น้ำหนักแคลอวิมิเตอร์ + น้ำเย็น (g)		
น้ำหนักน้ำเย็นในแคลอวิมิเตอร์ (g)		
น้ำหนักแคลอวิมิเตอร์ + น้ำผึ้ง		
น้ำหนักน้ำผึ้งในแคลอวิมิเตอร์ (g)		
อุณหภูมิน้ำเย็นเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)		
อุณหภูมิน้ำอุ่นก่อนเทปส์ ($^{\circ}\text{C}$)		
อุณหภูมิน้ำผึ้ง ($^{\circ}\text{C}$)		
ค่าคงที่แคลอวิมิเตอร์ ($\text{cal}/^{\circ}\text{C}$)		เฉลี่ย =

วิธีคำนวนหาค่าคงที่เคลื่อนรัมมิเตอร์

ครั้งที่ 1

$$\Delta T_1 = T(\text{น้ำผึ้ง}) - T(\text{น้ำอุ่น}) = \dots$$

$$\Delta T_2 = T(\text{ນ້ຳຜສນ}) - T(\text{ນ້ຳເຢັນ}) = \dots$$

$$C_g = -(m_1 s \Delta T_1 + m_2 s \Delta T_2) / \Delta T_2$$

= cal/ $^{\circ}$ C

ຄົນທີ່ 2

$$\Delta T_1 = T(\text{น้ำผึ้ง}) - T(\text{น้ำอุ่น}) = \dots$$

$$\Delta T_2 = T(\text{น้ำผึ้ง}) - T(\text{น้ำเย็น}) = \dots$$

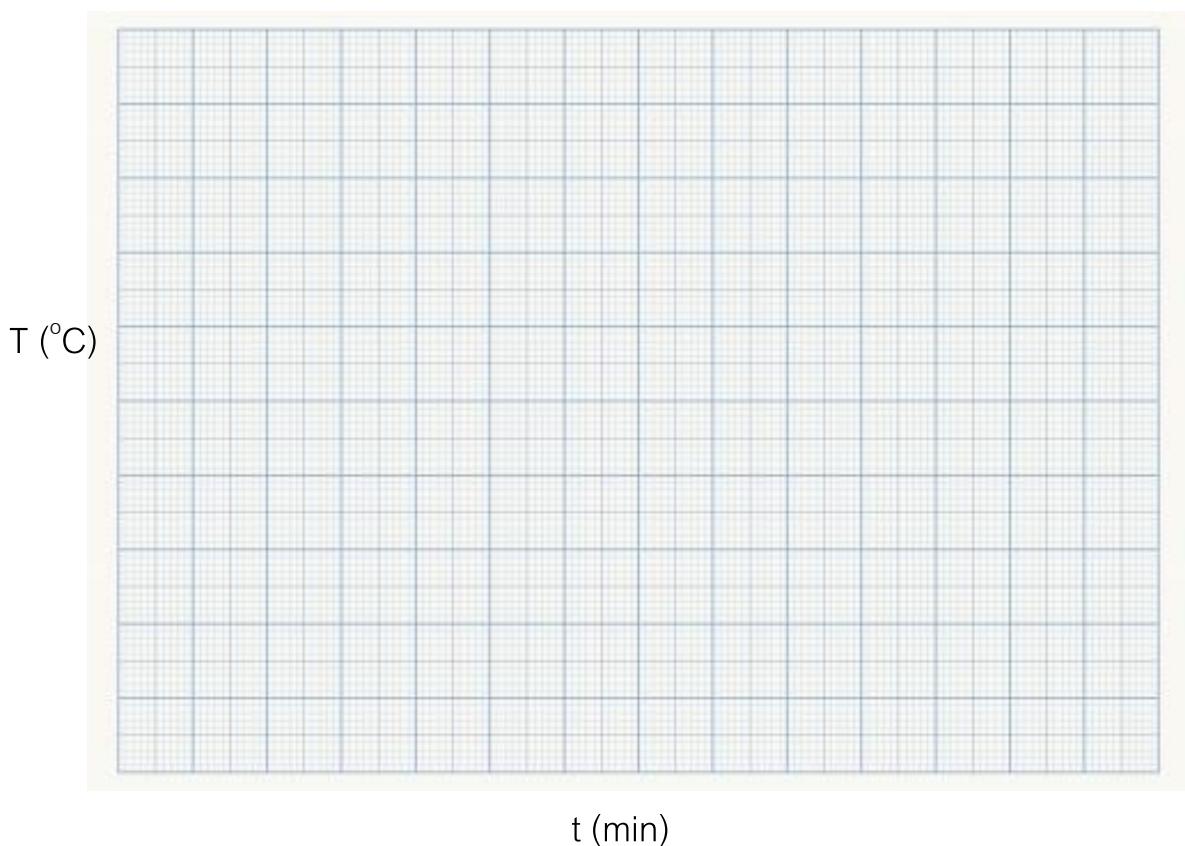
$$C_c = -(m_1 s \Delta T_1 + m_2 s \Delta T_2) / \Delta T_2$$

= cal/ $^{\circ}$ C

ตอนที่ 2 การหาเอนทัลปีของการละลาย

	KNO_3	Na_2CO_3
น้ำหนักแคดอร์มิเตอร์ (g)		
น้ำหนักแคดอร์มิเตอร์ + น้ำ (g)		
น้ำหนักน้ำในแคดอร์มิเตอร์ (g)		
น้ำหนักสาร (g)		
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)		
อุณหภูมิสารละลาย ($^{\circ}\text{C}$) จากกราฟ		
ความร้อนที่นำได้รับหรือสูญเสีย (cal)		
ความร้อนที่แคดอร์มิเตอร์ได้รับหรือสูญเสีย (cal)		
เอนทัลปีของการละลาย (cal/mol)		
ΔH_{soln} จาก Handbook (kcal/mol)	+8.35	-5.93
% ความผิดพลาด		

เวลา (วินาที)	15	30	45	60	120	180	240	300
อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)								
อุณหภูมิสารละลาย ($^{\circ}\text{C}$)								



วิธีคำนวณหาเอนทัลปีของการละลาย

$$-q_r = q_{sol} + q_c = ms\Delta T + C_c\Delta T$$

$$q_r = \dots$$

$$= \dots$$

$$\text{เอนทัลปีของการละลาย} = \dots \text{cal/mol}$$

ตอนที่ 3 การหาความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน

ค่าที่รัดได้	ชนิดของกรดและเบส	HCl + NaOH	CH ₃ COOH + NaOH	HCl + NH ₃
น้ำหนักแคลอริมิเตอร์ (g)				
น้ำหนักแคลอริมิเตอร์ + สารละลายผสม (g)				
น้ำหนักของสารละลายผสม (g)				
อุณหภูมิของเบสในแคลอริมิเตอร์ (°C)				
อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลายผสม (°C), T _{max}				
อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (ΔT) (°C)				
ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน (cal)				
เอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทินต่อโมลของน้ำที่เกิดขึ้น (cal/mol)				
ΔH _{neut} จาก Handbook (kcal/mol)		-13.8	-13.4	-12.8
% ความผิดพลาด				

เวลา (วินาที)	15	30	45	60	120	180	240	300
อุณหภูมิเบส ($^{\circ}\text{C}$)								
อุณหภูมิสารละลายน ($^{\circ}\text{C}$)								

 $T\ (^{\circ}\text{C})$ $t\ (\text{min})$

วิธีคำนวณหาเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทินต่อโมลของน้ำที่เกิดขึ้น

$$-q_r = ms\Delta T + C_c\Delta T$$

$$\begin{aligned} q_r &= \dots \\ &= \dots \end{aligned}$$

เอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน = kcal/mol

เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาสะเทินและคำนวณจำนวนโมลของน้ำที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

- ในการหาค่าคงที่แคลอวิมิเตอร์หั้ง 2 ครั้งได้ค่าคงที่แคลอวิมิเตอร์เท่ากันหรือไม่.....
และเปรียบเทียบค่าคงที่นี้กับกลุ่มอื่นได้ค่าเหมือนกันหรือไม่.....
 เพราะเหตุใด.....

- สรุปผลการทดลอง ในกรณีหาค่าเอนทัลปีของการละลายของสารทั้งสองชนิด และนำทฤษฎีของการละลายมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ดังนี้

KNO₃.....

Na₂CO₃.....

- ถ้าใช้ KNO₃ (หรือ Na₂CO₃) ปริมาณไม่เท่ากัน ค่าความร้อนที่น้ำได้รับของการละลาย KNO₃ (หรือ Na₂CO₃) จะเท่ากันหรือไม่..... เพราะเหตุใด.....

.....

ถ้าใช้ KNO₃ (หรือ Na₂CO₃) ปริมาณไม่เท่ากัน เอนทัลปีของการละลาย KNO₃ (หรือ Na₂CO₃) จะเท่ากันหรือไม่..... เพราะเหตุใด.....

.....

- จากผลการทดลองเรื่องเอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทิน ถ้าเปลี่ยนระบบกรดเบสเป็นดังต่อไปนี้
เอนทัลปีของปฏิกิริยาสะเทินจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เมื่อเทียบกับระบบ
HCl 1.50 M กับ NaOH 1.50 M
 - HCl 1.00 M กับ NaOH 1.00 M

.....
 - HNO₃ 1.50 M กับ KOH 1.50 M

.....

- เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ΔH จาก Handbook ถ้าต้องการให้ผลการทดลองถูกต้องมากขึ้น ควรปรับปรุงการทดลองอย่างไรบ้าง

.....

.....

.....

**ศึกษาปฏิบัติการนี้ด้วยตนเองใน BB และเลือกข้อมูลผลที่ให้ 1 ชุด
(ชุดที่ 1, ชุดที่ 2 หรือ ชุดที่ 3) เพื่อเขียนรายงานการทดลอง**

การทดลองที่ 3
อัตราการเกิดปฏิกิริยา
(Reaction Rate)

วัตถุประสงค์เชิงพัฒนารมณ์

- เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตรา และอันดับของปฏิกิริยา
- เพื่อหาผลของความเข้มข้นและผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
- เพื่อหาค่าพลังงานก่อภัยมันต์ (Activation energy) ของปฏิกิริยา

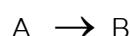
สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลายน้ำโซเดียมไอกไซด์ (potassium iodide, KI) 0.200 M
- สารละลายน้ำโซเดียมไทโธซัลเฟต (sodium thiosulfate, Na₂S₂O₃) 0.00500 M
- สารละลายน้ำแอมโมเนียม peroxydisulfate (ammonium peroxydisulfate, NH₄)₂S₂O₈ 0.100 M
- น้ำเปล่า
- ขวดรูปกรวยขนาด 100 mL
- บีกเกอร์ขนาด 50 mL
- บิวเรตขนาด 50 mL
- ปีเปตพลาสติก
- กรอบอกราฟิก
- นาฬิกาจับเวลา
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ

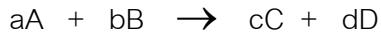
ทฤษฎี

การดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีมีความเร็วต่างกัน ซึ่งสามารถวัดได้จากอัตราการเกิดปฏิกิริยา เช่น การเกิดสนิมเหล็กในภาวะที่มีความเข้มข้นจะเกิดสนิมเหล็กได้อย่างรวดเร็ว

อัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น หรือ ผลิตภัณฑ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น mol L⁻¹s⁻¹ ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยา



อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ในรูปของการลดลงของสารตั้งต้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา ($-d[A]/dt$) หรือการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ($d[B]/dt$) และสำหรับปฏิกิริยา



อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเขียนได้เป็น

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

อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถคำนวณได้จากการทดลอง โดย a, b, c และ d ทราบจากสมการเคมี ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร A, B, C, D และ t หาได้จากการทดลองเท่านั้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารตั้งต้น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และ ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้น

อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายไบรมีนกับกรดฟอร์มิก $[\text{Br}_2 \text{ (aq)} + \text{HCOOH} \text{ (aq)} \rightarrow 2 \text{ Br}^- \text{ (aq)} + 2 \text{H}^+ \text{ (aq)} + \text{CO}_2 \text{ (g)}]$ ซึ่งสามารถวัดอัตราเร็วปฏิกิริยาจากการจางหายไปของสีน้ำตาลของ Br_2 และพบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของ HCOOH คงที่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของ Br_2 ดังสมการ

$$\text{Rate} = k [\text{Br}_2]$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยา กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น เรียกว่า กฎอัตราเร็ว (Rate Law)

สำหรับปฏิกิริยาทั่วไป



กฎอัตราเร็วจะเป็น

$$\text{Rate} = k [A]^m [B]^n$$

โดย k เป็นค่าคงที่อัตรา (rate constant) หาได้จากการทดลอง ซึ่งมีหน่วยขึ้นอยู่กับรูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้ m และ n เป็นอันดับของปฏิกิริยา (reaction order) เมื่อเทียบกับสาร A และ B ตามลำดับ โดย $m+n$ คือ อันดับรวมของปฏิกิริยา ค่าอันดับของปฏิกิริยาหาได้จากการทดลองเท่านั้น ถ้า $m+n = 1$ จะเรียกปฏิกิริยาว่า ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และ $m+n = 2$ เรียกว่า ปฏิกิริยาอันดับสอง

จะเขียนอัตราการเกิดปฏิกิริยาในรูปการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้ดังนี้

$$\text{Rate} = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = k [A]^m [B]^n$$

ผลของอุณหภูมิ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีการชน (collision theory) นั่นคือ ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เมื่อมีการชนของโมเลกุลในทิศทางที่เหมาะสม และโมเลกุลเหล่านั้นต้องมีพลังงานจากการชนมากกว่า หรือเท่ากับพลังงานค่าหนึ่งที่เรียกว่า พลังงานก่อ กัม มันต์ (activation energy, E_a) ซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีเริ่มต้นเกิดได้

พลังงานก่อ กัม มันต์ จึงเป็นเสน่ห์อนกำแห่งของพลังงาน สารตั้งต้นที่มีพลังงานสูงมากพอเท่านั้น ที่จะเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าค่า E_a มีจำนวนมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดเร็วขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าคงที่อัตราเร็วเป็นไปตาม Arrhenius equation

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (1)$$

หรือ

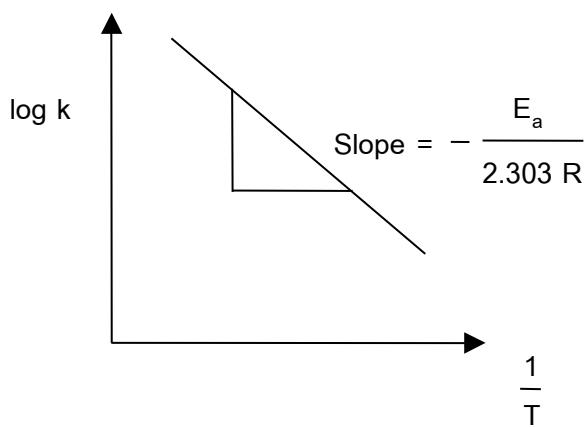
$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303RT} \quad (2)$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant) มีค่าเท่ากับ $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

A คือ ค่าคงที่

T คือ อุณหภูมิเคลวิน (K)

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ จะได้กราฟเส้นตรงโดยมีค่าความชัน (slope) เท่ากับ $-E_a/2.303R$ (รูปที่ 3.1) ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่า E_a ได้

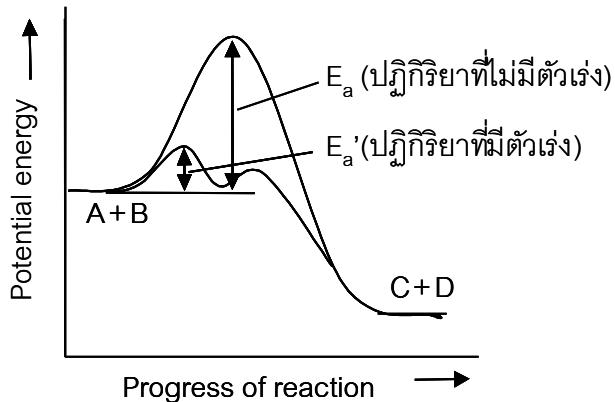


รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$

ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

อัตราเร็วปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาในทิศทางใหม่ที่มีค่า E_a ต่ำกว่าปฏิกิริยาที่เกิดตามปกติ (รูปที่ 3.2) เช่นในกรณีของการลดลงของโอโซน

(O_3) ในชั้นบรรยากาศ พบร่วมกับคลอรีน (Cl) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบประเภทคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้ O_3 ถลวยตัวเร็วขึ้น



รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

หลักการทดลอง

ในการทดลองนี้ จะศึกษาปฏิกิริยานาฬิกาไอกอเดิน (iodine-clock reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างไอกอไดด์ไอโอดิน (I^-) กับ เปอร์ออกไซด์โซเดียมเพตไอกอตอน ($S_2O_8^{2-}$) ดังสมการ



ซึ่งมีกฎอัตราเร็วเป็น

$$\text{Rate} = k [I^-]^m [S_2O_8^{2-}]^n = -\frac{d[S_2O_8^{2-}]}{dt} = \frac{d[I_2]}{dt} \quad (4)$$

ในการทดลองนี้จะเป็นการหาอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (initial rate) โดยจะทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ นั่นคือ จะวัดเวลาที่บางส่วนของ $S_2O_8^{2-}$ เกิดปฏิกิริยาไปแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็น I_2 โดยติดตามการเกิดปฏิกิริยาด้วยการเติมไอกอไดด์ไอโอดิน (I_3^-) ลงไปในสารละลายตั้งต้นในปริมาณที่เล็กน้อยและคงที่ รวมทั้งเติมน้ำแข็งลงไปด้วย ซึ่ง $S_2O_3^{2-}$ จะเข้าทำปฏิกิริยากับ I_2 ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ (3) อย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ (5) ดังนั้นจะไม่มี I_2 เหลืออยู่ในสารละลายจนกระทั่ง $S_2O_3^{2-}$ เกิดปฏิกิริยาจนหมด I_2 ที่เกิดขึ้นเพิ่มจากสมการที่ (3) ที่อาจจะอยู่ในรูปไอกอไดด์ไอโอดิน (I_3^-) ในสารละลายจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแบ่งได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนเดี่ยวกัน ซึ่งถือว่าเป็นจุดยุติของการทดลอง



เมื่อมีการเกิดขึ้นของสีน้ำเงิน จำนวนโมลทั้งหมดของ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ที่ทำปฏิกิริยาไปจะเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนโมลทั้งหมดของ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ที่เติมลงไป และเมื่อคิดเป็นความเข้มข้นของ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ที่เกิดปฏิกิริยาไปจะได้ว่า

$$\Delta [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] = \frac{1}{2} [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$$

และเมื่อจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นผสมสารจนเกิดสีน้ำเงิน (Δt) จะสามารถหาอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาตามสมการที่ (6)

$$\text{Rate} = k [\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n = \Delta [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] / \Delta t \quad (6)$$

ในการทดลองนี้ จะเติม I^- , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ และ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ในปริมาณที่แน่นอน โดยจะเติม $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ในปริมาณที่คงที่และน้อยที่สุด เพื่อทำให้เป็นตัวจำกัดการเกิดปฏิกิริยา (limiting reagent)

การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

$$\begin{aligned} \text{จากกฎอัตราเร็ว} \quad \text{rate} &= k [\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n \\ \text{หรือ} \quad \log \text{rate} &= \log k + m \log [\text{I}^-] + n \log [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] \end{aligned} \quad (7)$$

จากการทดลองที่ใช้ปริมาณ I^- คงที่ เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log \text{rate}$ (แกน Y) กับ $\log [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ n และจากการทดลองที่เติมปริมาณ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ คงที่ เขียนกราฟเส้นตรงระหว่าง $\log \text{rate}$ (แกน Y) และ $\log [\text{I}^-]$ (แกน X) จะได้ความชันเท่ากับ m

$$\text{จากกฎอัตราเร็วจะได้} \quad k = \frac{\text{rate}}{[\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n} \quad (8)$$

เมื่อหา m และ n ได้จากการสร้างกราฟ จะคำนวนหาค่า k ของปฏิกิริยาได้โดยใช้สมการ (8) ณ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งๆ จะหาค่า rate ได้จาก $\text{rate} = \Delta [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] / \Delta t$ และแทนค่า rate , $[\text{I}^-]$, $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$, m , n ของแต่ละการทดลองในสมการ (8) จะได้ค่า k ของการทดลองนั้นๆ และนำค่า k ที่ได้ของแต่ละการทดลองมาเฉลี่ยจะได้เป็นค่า k ของปฏิกิริยา

การหาค่าพลังงานงานก่อภัยมันต์ของปฏิกิริยา (E_a)

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิ เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ และคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่า k ที่อุณหภูมินั้นๆ เขียนกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ สามารถคำนวณหา E_a ได้จากความชันตามความสัมพันธ์ในสมการ (2)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตราเร็ว

- เติมสารละลายแต่ละชนิดจากบิวเรตลงในขวดรูปกรวยและบีกเกอร์ตามสัดส่วนดังแสดงในตาราง

การทดลอง ครั้งที่	ขวดรูปกรวยขนาด 100 mL			บีกเกอร์ขนาด 100 mL	
	KI 0.200 M (mL)	Na ₂ S ₂ O ₃ (mL)	น้ำเปล่า (หยด)	น้ำ (mL)	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ 0.100 M (mL)
1	10	5	3-4	-	10
2	10	5	3-4	3	7
3	10	5	3-4	5	5
4	10	5	3-4	7	3
5	7	5	3-4	3	10
6	5	5	3-4	5	10
7	3	5	3-4	7	10

- เทสารละลายในบีกเกอร์ลงในขวดรูปกรวยอย่างรวดเร็ว พร้อมจับเวลาทันที เขย่าสารละลาย ผสมจนกระทั้งเห็นสีน้ำเงินป้ำกู้ขึ้น บันทึกช่วงเวลาของการเกิดปฏิกิริยาเป็นวินาที (Δt)
- คำนวณหาความเข้มข้นของ S₂O₈²⁻ ที่ทำปฏิกิริยาไปจากสมการ $\Delta[S_2O_8^{2-}] = \frac{1}{2} [S_2O_3^{2-}]$ และคำนวณหาอัตราเร็วปฏิกิริยาจาก $rate = \Delta[S_2O_8^{2-}]/\Delta t$ เมื่อสาหรั้งตั้งต้นมีความเข้มข้นต่างๆกัน และสร้างกราฟระหว่าง log rate และ log [S₂O₈²⁻] และสร้างกราฟเส้นตรงระหว่าง log rate และ log [I]
- คำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา และค่าคงที่อัตราเร็ว
- วัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง และถือว่าการทดลองนี้ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิท้องหมายเหตุ - เติมน้ำลงไปเพื่อทำให้ปริมาตรรวมของสารละลายเป็น 25 mL เพื่อกันทุกครั้งของการทดลอง

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่อัตราเร็วปฏิกิริยา และการหา E_a

1. ทำการทดลองเหมือนการทดลองครั้งที่ 2 ในตารางตอนที่ 1 แต่ทำที่อุณหภูมิ 10, 20, 30 และ 40°C (จะเป็นการทดลองครั้งที่ 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับ) จับเวลาเป็นวินาที (Δt)
2. เขียนกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ เพื่อหาค่า E_a

การทดลองที่ 3
อัตราเร็วปฏิกิริยา

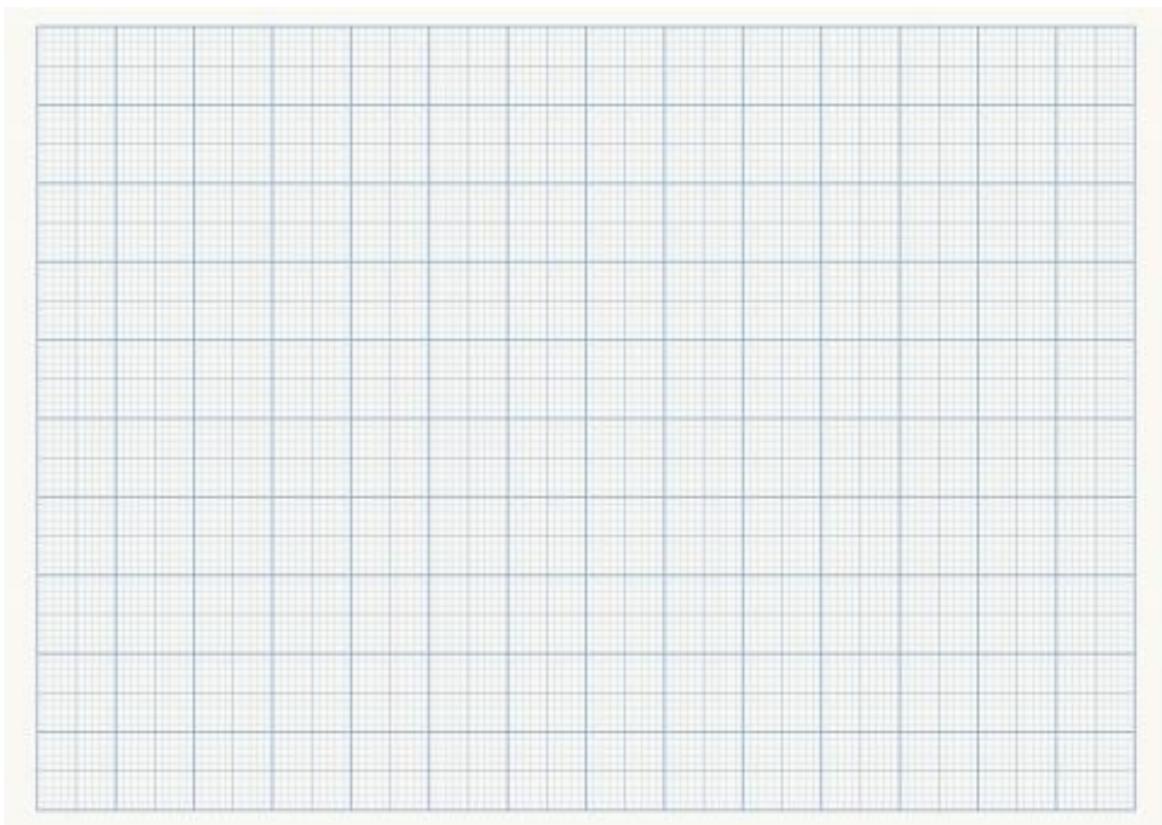
ทำการทดลอง วัน ที่ เดือน พ.ศ. เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ เลขประจำตัว กลุ่มที่ ลำดับที่

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตราเร็ว

การทดลอง ครั้งที่	ความเข้มข้นในสารละลายผสม (M)			Δt (s)	$\text{rate} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}{\Delta t} \right]$
	$[\text{I}^-]$	$[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$	$[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

การทดลองที่	$\log [\text{I}^-]$	$\log [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$	$\log \text{rate}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

เขียนกราฟระหว่าง log rate และ log [$S_2O_8^{2-}$] และกราฟระหว่าง log rate และ log [I^-]



กฎอัตราเร็วปฏิกิริยาคือ.....

อันดับของปฏิกิริยาของ I^-

อันดับของปฏิกิริยาของ $S_2O_8^{2-}$

อันดับของปฏิกิริยารวมเท่ากับ.....

การหาค่า k

แทนค่า Rate และ ค่าความเข้มข้นลงไปในกฎอัตราเร็วปฏิกิริยา คำนวนหาค่า k

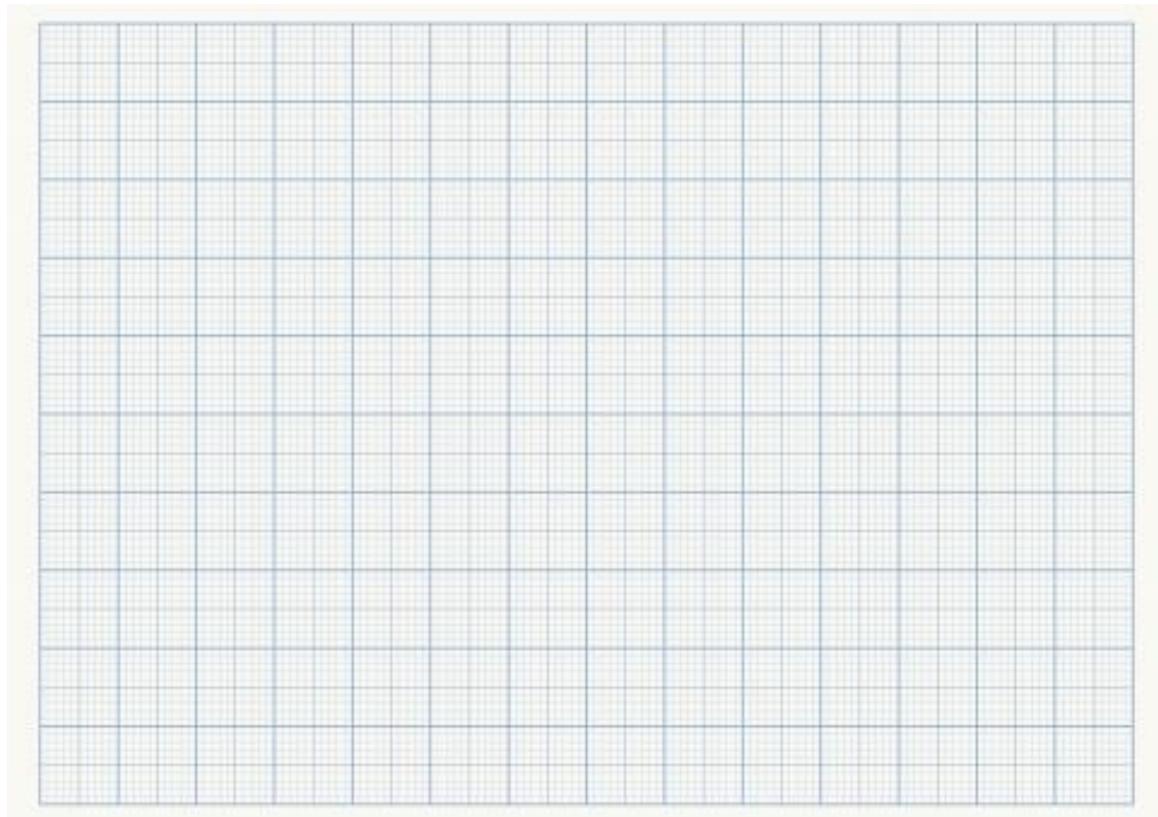
ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	เฉลี่ย
k								

อุณหภูมิ $^{\circ}C$ ค่า k เฉลี่ย = (ระบุหน่วย)

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราเร้าปฏิกิริยา

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ T (K)	1/T (K ⁻¹)	k	log k	Δt (s)
2						
8						
9						
10						
11						

เขียนกราฟระหว่าง log k กับ 1/T



$$\text{slope} = -\frac{E_a}{2.303R} = \dots \quad (R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$$

$$E_a = \dots$$

$$\dots \text{kJ/mol}$$

อภิปรายผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

ศึกษาผลการทดลองตอนที่ 1-3 ใน BB และเขียนรายงานการทดลอง

การทดลองที่ 4

โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)

วัตถุประสงค์เชิงพุทธิกรรม

- ศึกษาการจัดเรียงอะตอมขึ้นเดียวแบบ closest packing และแบบ simple cubic พร้อมทั้งคำนวน packing efficiency และ เปอร์เซ็นต์ของว่าง
- ศึกษานิดของซ่องว่างในการจัดเรียงโครงสร้างผลึกแบบ closest packing และแบบ simple cubic
- ศึกษาการจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึกแบบ hexagonal closest packing (hcp) และแบบ faced centred cubic (fcc) และจำนวนซ่องว่างที่เกิดขึ้น
- ศึกษาโครงสร้างและคำนวน packing efficiency เปอร์เซ็นต์ของว่าง และความหนาแน่นของโลหะที่มียูนิตเซลล์แบบ face-centred cubic และ body-centred cubic
- ศึกษาโครงสร้างของสารประกอบที่มียูนิตเซลล์แบบ Rock salt, Zinc blende, Fluorite และ Cesium chloride

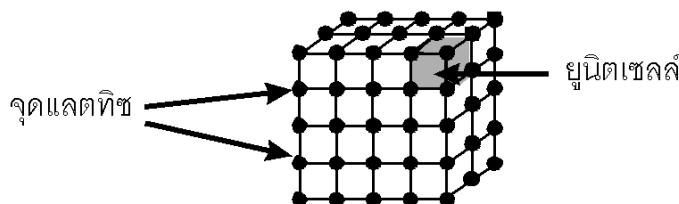
อุปกรณ์

- ลูกปิงปองและแพ็ปปิงปอง
- แบบจำลองโครงสร้างผลึกและยูนิตเซลล์รูปแบบต่างๆ

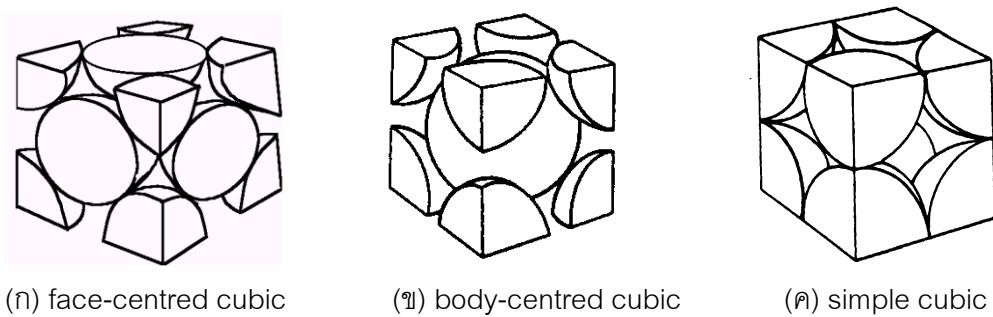
ทฤษฎี

ผลึกเป็นของแข็งที่ประกอบขึ้นจากการจัดเรียงตัวของอะตอม "ไอโอน ไมเลกุล หรือกลุ่มของไมเลกุลที่แทนด้วยจุดแลตทิซ (lattice point) อย่างเป็นระเบียบซ้ำๆ กันเป็นโครงข่าย 3 มิติ เรียกว่า แลตทิซ (lattice) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นหน่วยย่อยๆ ได้เรียกว่า ยูนิตเซลล์ (unit cell)

ยูนิตเซลล์ เป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดซึ่งมีรูปร่างลักษณะ และแบบแผนการจัดเรียงเชิงเรขาคณิตของอนุภาคเหมือนกับโครงสร้างของแลตทิซผลึก (crystal lattice) ทุกประการ หรือกล่าวว่า ยูนิตเซลล์เป็นตัวแทนของโครงสร้างของโครงสร้างผลึก (รูปที่ 4.1) ดังนั้นการศึกษา yunitecell จึงสมอ่อนเป็นการศึกษาโครงสร้างผลึกทั้งหมด ตัวอย่าง yunitecell แบบลูกบาศก์นิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.2



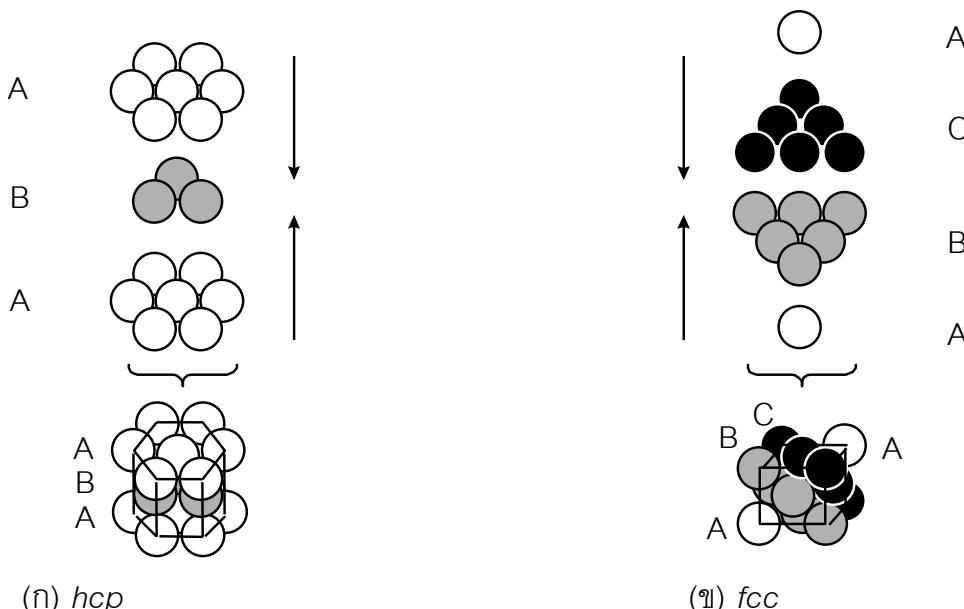
รูปที่ 4.1 ยูนิตเซลล์ในโครงสร้างสามมิติของแลตทิซผลึก



รูปที่ 4.2 ยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์ชนิดต่าง ๆ

1. โครงสร้างผลึกของโลหะ

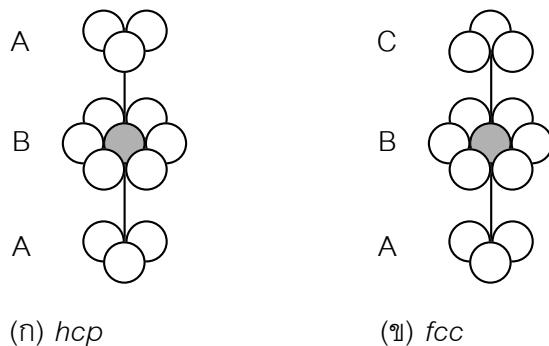
โดยทั่วไปผลึกของโลหะในครรภชาติเกือบทั้งหมดมีการจัดอะตอมแบบ closest packing ซึ่งสามารถจัดได้ 2 แบบคือ แบบ hexagonal closest packing (*hcp*) จะมีการบรรจุอะตอมในชั้นต่างๆ เป็นแบบ ABABAB... เช่น Mg, Zn และ Cd เป็นต้น (รูปที่ 4.3(ก)) และแบบ cubic closest packing (*ccp*) หรือ face-centred cubic packing (*fcc*) ที่มีการบรรจุอะตอมเป็นแบบ ABCABCABC... เช่น Ca, Sr, Ni และ Ag เป็นต้น (รูปที่ 4.3(ข))



รูปที่ 4.3 การจัดเรียงแบบ closest packing (ก) hexagonal closest packing (*hcp*)

และ (ข) แบบ face-centred cubic packing (*fcc*)

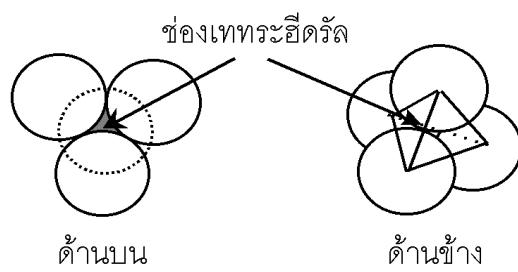
ในการจัดเรียงแบบ closest packing พบรากำนวนอะตอมที่อยู่ชิดกันที่สุดในโครงสร้างผลึกมี 12 อะตอม กล่าว คือมีอะตอมอื่นล้อมรอบอะตอมกลาง ในชั้นเดียวกัน 6 อะตอม ชั้นบน 3 อะตอม และชั้นล่างอีก 3 อะตอม ดังรูปที่ 4.4 จำนวนอะตอมทั้ง 12 ที่ล้อมอะตอมกลางนี้เรียกว่า เลขโคออร์ดิเนชัน (coordination number)



รูปที่ 4.4 รูปข่ายของการจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึก (ก) แบบ *hcp* และ (ข) แบบ *fcc*
ทรงกลมที่เรางานคืออะตอมจำนวนมาก

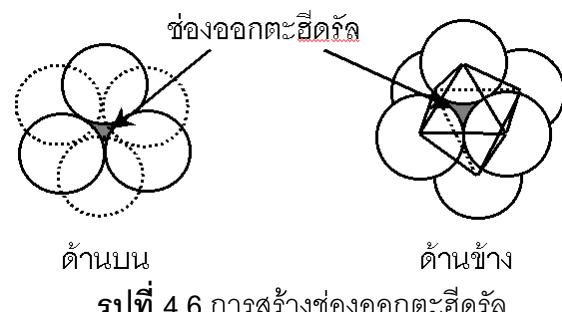
การจัดเรียงอะตอมแบบ closest packing นี้ทำให้เกิดซ่องว่างในโครงผลึกได้ 2 แบบ คือ

1. ช่องเทหะรัศมีรัล (Tetrahedral hole) เป็นช่องว่างระหว่างอะตอมหรือทรงกลม 4 ลูก ดัง
รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การสร้างช่องเทหระยีดวัล

2. ช่องออกตะเขิดรัล (Octahedral hole) เป็นช่องว่างระหว่างอะตอมหรือทรงกลม 6 ลูก ดังรูปที่ 4.6 ขนาดของช่องออกตะเขิดรัลจะใหญ่กว่าช่องเทหะยีดรัล

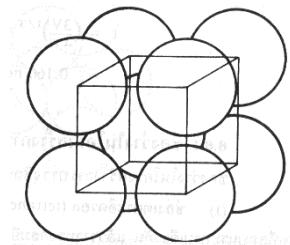


รูปที่ 4.6 การสร้างช่องออกตะฮีดวัล

ในแลตทิซผลึกของการจัดเรียงอะตอมแบบ closest packing แต่ละอะตอมถูกกล้อมรอบด้วยช่องเทวะยีดวัล 8 ช่อง และช่องออกตะยีดวัล 6 ช่อง

นอกจากการจัดเรียงอะตอมแบบ closest packing แล้ว โลหะบางชนิด ได้แก่ Li, Na, K, Ba เป็นต้น มีการจัดอะตอมในโครงสร้างผลึกเป็นแบบ body-centred cubic (bcc) ดังรูปที่ 4.7 โครงสร้าง

ผลึกแบบนี้จะมีอัตราการจัดเรียงสูงที่สุด ทำให้มีเบอร์เรนต์ที่กว้างมากขึ้น และความหนาแน่นจะอยู่กว่าการจัดแบบ closest packing โดยมีเลขคุณอร์ดิเนชันเท่ากับ 8



รูปที่ 4.7 การจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึกแบบ body-centred cubic (bcc)

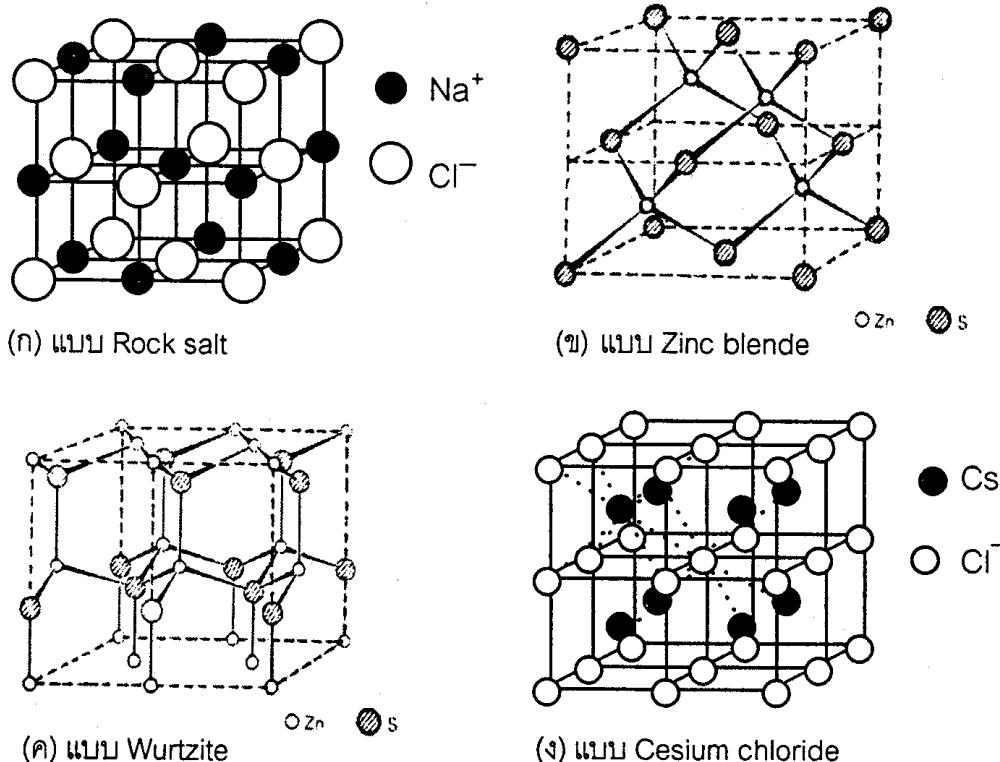
2. โครงสร้างผลึกของสารประกอบ

โครงสร้างผลึกของสารประกอบไออกอนิกมีหลายแบบ โดยทั่วไปแบ่งได้ดังต่อไปนี้

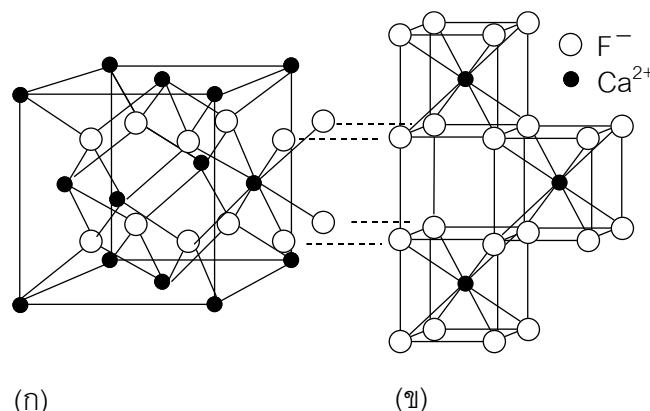
1. แบบ Rock salt เป็นสารประกอบแบบ 1:1 หรือมีสูตร AB โครงสร้างแบบนี้ไออกอนลับซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าไออกอนบวกมีการจัดอนุภาคแบบ face-centred cubic และไออกอนบวกจะบรรจุอยู่ในช่องของยีดวัลทุกช่อง (รูปที่ 4.8(ก)) ตัวอย่างเช่น โครงสร้างผลึก NaCl, KCl, CaO, AgCl, RbCl และ NiO เป็นต้น

2. แบบ Zinc blende เป็นสารประกอบแบบ 1:1 หรือมีสูตร AB เช่น ZnS ซึ่งไออกอนลับ S²⁻ จะมีการจัดอนุภาคแบบ face-centred cubic ส่วนไออกอนบวก Zn²⁺ จะอยู่ในช่องเทหะยีดวัลช่องเว้นช่อง ดังรูปที่ 4.8(ข) สารประกอบไออกอนิกที่มีโครงสร้างแบบนี้ได้แก่ CuF, CdS, AgI และ HgS เป็นต้น แต่ถ้า S²⁻ มีการจัดอนุภาคแบบ hexagonal closest packing และ Zn²⁺ บรรจุอยู่ในช่องเทหะยีดวัลช่องเว้นช่องเหมือนเดิม เรียกโครงสร้างแบบนี้ว่า Wurtzite (รูปที่ 4.8(ค)) ตัวอย่างเช่น โครงสร้างผลึก BeO, AlN และ GaN เป็นต้น

3. แบบ Cesium chloride เป็นสารประกอบแบบ 1:1 หรือมีสูตร AB เช่น CsCl, RbCl (ที่อุณหภูมิและความดันสูง), RbBr, NH₄Cl โครงสร้างแบบนี้ไออกอนบวกและไออกอนลับมีขนาดใกล้เคียงกัน การจัดแบบ closest packing จึงเป็นไปไม่ได้ ญูนิตเซลล์จะคล้ายโครงสร้างแบบ body-centred cubic ซึ่งแต่ละไออกอนถูกกลบด้วยไออกอนที่มีประจุตรงข้ามอีกแปดไออกอน ดังรูปที่ 4.8(ง)

รูปที่ 4.8 แลตทิซผลึกที่มีสูตร AB

4. แบบ Fluorite เป็นสารประกอบแบบ 1:2 หรือมีสูตร AB_2 เช่น CaF_2 โดยสร้างแบบนี้โดยอน บวกมีการจัดเรียงอนุภาคแบบ face-centred cubic และไอออนลบอยู่ในช่องเทหระยีดวัลทุกช่อง ดังรูปที่ 4.9 สารประกอบไออันิกที่มีโครงสร้างแบบ Fluorite ได้แก่ SrF_2 , BaCl_2 , CdF_2 และ ZrO_2 เป็น ต้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าไออันลบที่มีการจัดเรียงอนุภาคแบบ face-centred cubic และไออันลบ อยู่ในช่องเทหระยีดวัลทุกช่อง จะได้สารประกอบแบบ 2:1 และมีสูตรเป็น A_2B เช่น Na_2O สารประกอบ ไออันิกแบบนี้จะมีโครงสร้างที่เรียกว่า Antifluorite

รูปที่ 4.9 แลตทิซผลึกที่มีสูตร AB_2 แบบ Fluorite ของ CaF_2 (ก) แสดง face centred cubic ของ Ca^{2+} และ (ข) แสดงเลขโคลอร์ดในชั้นของ Ca^{2+} ซึ่งมีค่าเท่ากับแปด

หลักการทดลอง

การทดลองนี้ใช้ลูกปิงปองแทนอนุภาค (อะตอมของโลหะหรือไอโอดิน) และใช้แพเปิ่งปองเป็นส้านสร้างในการจัดเรียงแบบ closest packing เพื่อศึกษาลักษณะของซ่องว่างเบรียบเทียบขนาดของซ่องว่างและจำนวนซ่องว่าง พร้อมทั้งศึกษาตัวอย่างโครงสร้างผลึกของโลหะและสารประกอบ

1. การนับจำนวนอนุภาคในยูนิตเซลล์

ในแต่ละยูนิตเซลล์ มวลของแต่ละอนุภาคไม่ได้มีส่วนทั้งหมดในการประกอบให้เป็นมวลของยูนิตเซลล์ ทั้งนี้ เพราะอนุภาคที่อยู่ตามขอบ ตามมุม และตามผิวน้ำจะเป็นส่วนร่วมอยู่กับยูนิตเซลล์ ข้างเคียงด้วย ดังนั้นในการนับจำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์ทำได้ดังนี้

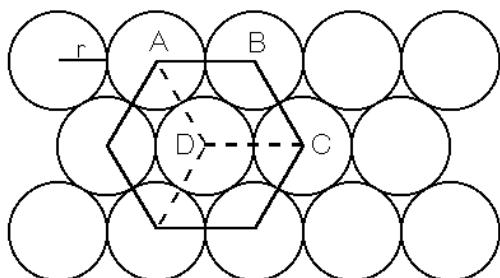
(1) อนุภาคซึ่งอยู่ที่มุม ให้นับ $1/8$ เพราะว่ามีการใช้วัrm กันแปดยูนิตเซลล์

(2) อนุภาคซึ่งอยู่พื้นผิว ให้นับ $1/2$ เพราะมีการใช้วัrm กันสองยูนิตเซลล์

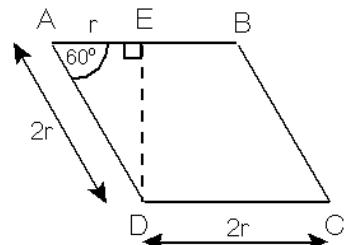
(3) อนุภาคซึ่งอยู่ตามขอบ ให้นับ $1/4$ เพราะมีการใช้วัrm กันสี่ยูนิตเซลล์

(4) อนุภาคซึ่งอยู่ตรงกลาง ให้นับเต็มคือ 1 เพราะไม่มีการใช้วัrm กันกับยูนิตเซลล์อื่น ตัวอย่างเช่น ในโครงสร้างแบบ body-centred cubic ดังรูปที่ 4.2(ข) และ 4.7 จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ $1 + (8 \times 1/8) = 2$ พึงสังเกตว่าในกรณีของโลหะบริสุทธิ์ จำนวนอนุภาคเป็นของอะตอมชนิดเดียวกัน แต่ถ้าเป็นสารไฮดราติก เช่น CsCl มี Cs^+ อยู่ตรงกลางเพียง 1 ไอโอดิน และตามมุมเป็นของ Cl^- $8 \times 1/8 = 1$ ไอโอดินเท่านั้น ดังในรูปที่ 4.8(ง) และในยูนิตเซลล์ของ NaCl ซึ่งมีโครงสร้างแบบ Rock salt จะมีจำนวน Na^+ และ Cl^- อย่างละ 4 ไอโอดิน ดังในรูปที่ 4.8(ก)

2. การหา packing efficiency และ porosity ซ่องว่างจากการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 (ก) การจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียวแบบ closest packing และ (ข) แบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณ

จากรูปสามเหลี่ยม AED จะได้ว่า

$$AD^2 = DE^2 + AE^2$$

$$(2r)^2 = DE^2 + r^2$$

$$DE = \sqrt{3} r$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรแท่งสี่เหลี่ยม } ABCD &= CD \times DE \times \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค} \\ &= 2r \times \sqrt{3} r \times 2r \\ &= 4\sqrt{3} r^3 \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนอนุภาคในแท่งสี่เหลี่ยม } ABCD = 1 \text{ อนุภาค คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ } \frac{4}{3} \pi r^3$$

ดังนั้น

$$\text{packing efficiency} = \frac{\text{ปริมาตรของอนุภาคในแท่งสี่เหลี่ยม } ABCD}{\text{ปริมาตรแท่งสี่เหลี่ยม } ABCD} \times 100 \%$$

$$\text{පෙරුර්සේන්ත්‍රෝ} = 100 - \text{packing efficiency}$$

3. การคำนวณความหนาแน่น

ถ้าให้ ρ เป็นความหนาแน่นของผลึกซึ่งเป็นมวลต่อหน่วยปริมาตร (g/cm^3) จะได้

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\text{มวลของอนุภาคในยูนิตเซลล์}}{\text{ปริมาตรยูนิตเซลล์}}$$

ซึ่งมวลของอนุภาคในยูนิตเซลล์หรือ m นี้จะหาได้จากสมการ

$$m = \frac{nM}{N_A}$$

เมื่อ n = จำนวนหน่วยสูตร(formula unit) ในหนึ่งยูนิตเซลล์

M = น้ำหนักตามสูตร(formula weight) ของธาตุหรือสารประกอบ (g/mol)

N_A = เลขอาโวගาโดโร (Avogadro's number) = $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

ในการหาจำนวน n นั้น

- ถ้าเป็นผลึกของโลหะที่มีการจัดอนุภาคแบบ body-centred cubic ได้ $n = 1 + (8 \times \frac{1}{8}) = 2$
- ถ้าเป็นผลึกของโลหะที่มีการจัดอนุภาคแบบ face-centred cubic ได้ $n = (6 \times \frac{1}{2}) + (8 \times \frac{1}{8}) = 4$
- ถ้าเป็นผลึกของสารประกอบไอโอดินิก เช่น CsCl ซึ่งมีการจัดแบบ body-centred cubic มีจำนวน Cs^+ 1 ไอโอดิน(ตรงกลางเซลล์) และ Cl^- 1 ไอโอดิน (มุมทั้งแปดของเซลล์) ได้ $n = 1$
- ถ้าเป็น NaCl ที่มีการจัดอนุภาคแบบ Rock salt มีจำนวน Na^+ และ Cl^- อย่างละ 4 ไอโอดิน ได้ $n = 4$

ตัวอย่าง โลหะทั้งสิบเอนมีญนิตเซลล์แบบ body-centred cubic ที่มีความยาวของญนิตเซลล์เท่ากับ 3.16 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) จงคำนวนหาความหนาแน่นของโลหะนี้ (มวลอะตอมทั้งสิบเอน 183.85) วิธีทำ ในญนิตเซลล์แบบ body-centred cubic มีจำนวนอะตอมโลหะหรือหน่วยสูตรเท่ากับ 2

$$\begin{aligned} m &= \frac{nM}{N_A} \\ &= 2 \text{ atom} \times 183.85 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1}{6.022 \times 10^{23} \text{ atom}} \frac{\text{mol}}{\text{g}} = 6.106 \times 10^{-22} \text{ g} \\ V &= a^3 = (3.16 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 = 3.156 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \\ \text{ดังนั้น } \rho &= \frac{m}{V} = \frac{6.106 \times 10^{-22} \text{ g}}{3.156 \times 10^{-23} \text{ cm}^3} = 19.35 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

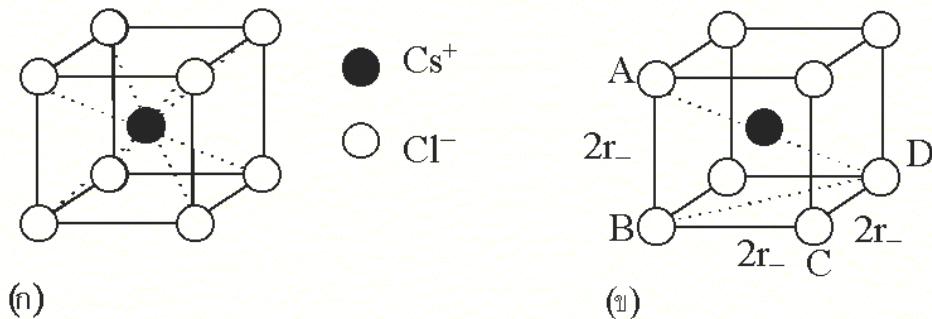
4. การหาอัตราส่วนรัศมี

อัตราส่วนรัศมี (r_+/r_-) คืออัตราส่วนของรัศมีของไออ่อนบวกต่อรัศมีของไออ่อนลบ อัตราส่วนนี้สามารถบอกเลขโคออร์ดิเนชัน หรือชนิดโครงสร้างของผลึกได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 Limiting radius ratio ของโครงสร้างที่มีสูตร AB

เลขโคออร์ดิเนชัน	โครงสร้าง	อัตราส่วนรัศมี (r_+/r_-)
2	Linear	≤ 0.154
3	Triangular	0.154–0.225
4	Zinc blende	0.225–0.414
4	Planar	0.414–0.732
6	Rock salt	0.414–0.732
8	Cesium chloride	> 0.732

โดยทั่วไปสามารถคำนวนหาขึ้นได้จำกัดของอัตราส่วนรัศมีจากกฎทรงเรขาคณิตที่ได้จากการโครงสร้างของผลึก ตัวอย่างเช่น โครงสร้างผลึกแบบ Cesium chloride ซึ่งมีญนิตเซลล์คล้ายแบบ body-centred cubic นั้น ไออ่อนลบจะมีการจัดเรียงอนุภาคแบบ simple cubic และไออ่อนบวกบรรจุอยู่ในช่องลูกบาศก์ (cubic hole) ถ้าให้ญนิตเซลล์มีความยาวด้านข้างเป็น $2r_-$ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 โครงสร้างแบบ CsCl (ก) ยูนิตเซลล์ และ (ข) แบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณ

จากกฎสามเหลี่ยม BCD

$$BD^2 = BC^2 + CD^2$$

ในการคำนวณหาขนาดของไอออนที่บรรจุในช่องลูกบาศก์พอดี

$$BC = CD = 2r_-$$

$$BD^2 = (2r_-)^2 + (2r_-)^2 = 8(r_-)^2$$

จากกฎสามเหลี่ยม ABD

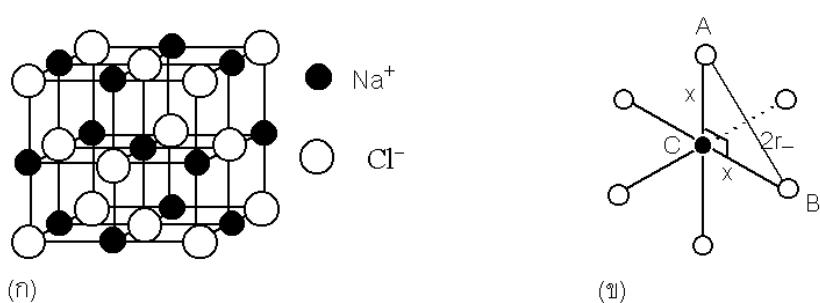
$$AD^2 = AB^2 + BD^2 = (2r_-)^2 + 8(r_-)^2 = 12(r_-)^2$$

$$AD = 2\sqrt{3} r_-$$

$$= 2r_+ + 2r_-$$

$$r_+/r_- = \sqrt{3} - 1 = 0.732$$

แสดงว่าสารประกอบไอออนิกที่มีอัตราส่วนรัศมีเกิน 0.732 จะมีโครงสร้างผลึกแบบ Cesium chloride และมีเลขໂគอร์ดine ซึ่งเท่ากับ 8 สำหรับโครงสร้างแบบ Rock salt เช่น NaCl (รูปที่ 4.12) Cl⁻ มีการจัดเรียงไอออนในโครงสร้างแบบ face-centred cubic และ Na⁺ อยู่ในช่องห้องห้องตัวชี้ด้วย ถ้าให้ AB เป็นระยะทางระหว่างสองไอออนlab



รูปที่ 4.12 โครงสร้างแบบ Rock salt (ก) ยูนิตเซลล์ของ NaCl และ (ข) แบบจำลองในการคำนวณ

$$\text{ดังนั้น } AB = 2r_-$$

$$AC = BC = X$$

ในสามเหลี่ยม ABC

$$(2r_-)^2 = X^2 + X^2$$

$$X = \sqrt{2} r_-$$

$$X = r_+ + r_-$$

$$r_+/r_- = \sqrt{2} - 1 = 0.414$$

แสดงว่าสารประกอบไฮโอนิกที่มีอัตราส่วนรัศมีอยู่ระหว่าง 0.414 ถึง 0.732 จะมีโครงสร้างผลึกแบบ Rock salt และมีเลขโคคอร์ดในชั้นเท่ากับ 6 แต่ถ้ามีอัตราส่วนต่ำกว่า 0.414 จะมีโครงสร้างแบบ Zinc blende

วิธีทดลอง

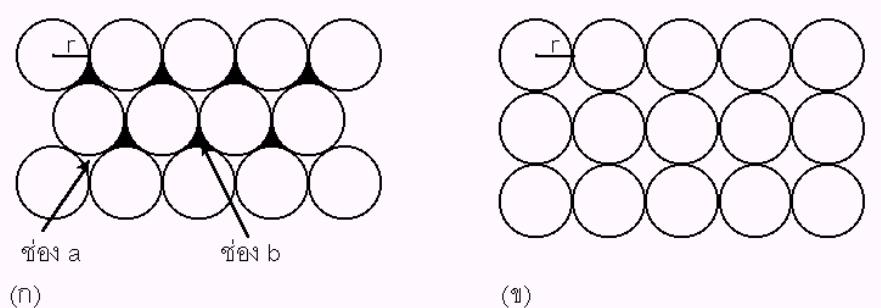
ตอนที่ 1 การจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึก

ก. เปรียบเทียบการจัดเรียงอะตอมหนึ่งและสองชั้น

1. นำลูกปิงปอง 15 ลูกมาเรียงบนฝากล่องพลาสติก โดยให้ปิงปองແຕวแรกมีจำนวน 5 ลูกและเมื่อเรียงลูกปิงปองในແຕวที่ 2 พบร่วมกันที่ 2 พบว่าสามารถเรียงได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 การเรียงแบบ closest packing โดยเรียงลูกปิงปองสับหว่างกับແຕวแรกเรื่อยไป ทำให้เกิดช่อง a และช่อง b ดังรูปที่ 4.13(ก)

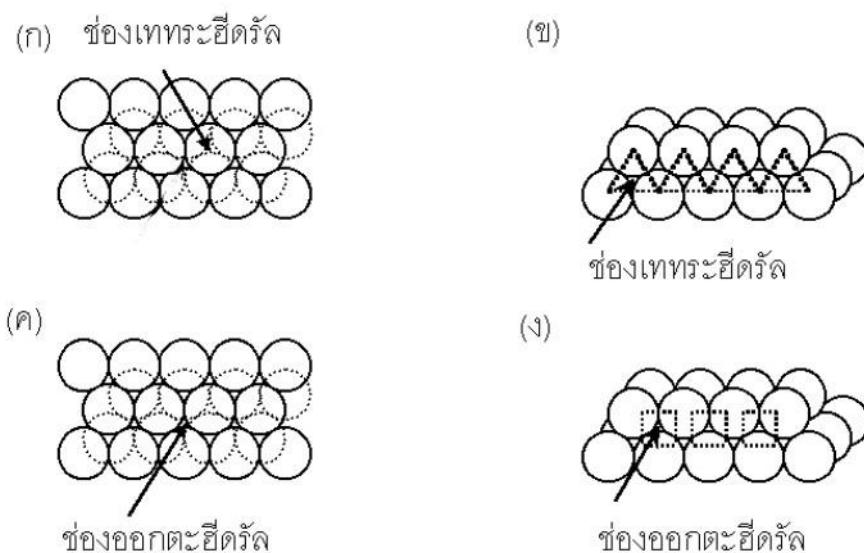
แบบที่ 2 การเรียงแบบ simple cubic เป็นการเรียงลูกปิงปองในແຕวต่อไปให้ตรงกับແຕวแรก (4.13(ข)) จากการเรียงลูกปิงปองทั้งสองแบบ หาเลขโคคอร์ดในชั้นโดยนับจำนวนอะตอมข้างเคียงซึ่งอยู่ล้อมรอบลูกปิงปองแต่ละลูก บันทึกผลในตาราง



รูปที่ 4.13 การจัดเรียงอะตอมชั้นเดียว (ก) แบบ closest packing และ (ข) แบบ simple cubic

2. คำนวณ packing efficiency และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว บันทึกผลลงในตาราง

3. เรียงลูกปิงปองในชั้นที่ 2 บนแพเพียงป่องที่มีการต่อกันแบบ closest packing ซึ่งในชั้นนี้สามารถใช้แพเพียงป่องสามเหลี่ยม 20 ลูกแทนแพเพียงป่องชั้นแรกได้ โดยวงลูกปิงปองปิดบนช่องของชั้นที่ 1 ซึ่งเกิดจากฐาน 3 ลูก จะได้ช่องระหว่างลูกหงส์ เรียกว่า ช่องเทหาระดีดวัด ช่องนี้จะอยู่ใต้และด้านข้างลูกที่วางลงในชั้นที่ 2 ดังรูปที่ 4.14(ก) และ (ข) ในขณะเดียวกันทางด้านข้างของลูกนี้จะเกิดช่องที่มีลูกปิงปองล้อมรอบอยู่ 6 ลูก เรียกว่า ช่องออกตะระดีดวัด ดังรูปที่ 4.14(ค) และ (ง) ซึ่งศูนย์กลางของลูกปิงปองในชั้นนี้จะไม่ตรงกับแก้วแรก

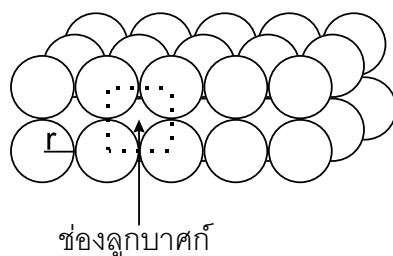


รูปที่ 4.14 ช่องเทหาระดีดวัดและออกตะระดีดวัดจากการเรียงลูกปิงปองแบบ closest packing ในชั้นที่ 2

(ก) ภาพด้านบน และ (ข) ภาพด้านข้างของช่องเทหาระดีดวัด

(ค) ภาพด้านบน และ (ง) ภาพด้านข้างของช่องออกตะระดีดวัด

4. เรียงแพเพียงป่อง 4 ลูกบนชั้นที่ 2 ของแพเพียงป่องที่มีการต่อกันแบบ simple cubic โดยให้ศูนย์กลางลูกปิงปองในชั้นที่ 2 นีต่องกับชั้นแรก ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งว่างที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าช่องลูกบาศก์ (cubic hole)



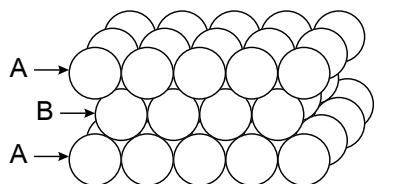
รูปที่ 4.15 ภาพด้านข้างของช่องลูกบาศก์ที่เกิดจากการจัดเรียงลูกปิงปองแบบ simple cubic

๙. เปรียบเทียบโครงสร้างผลึก closest packing

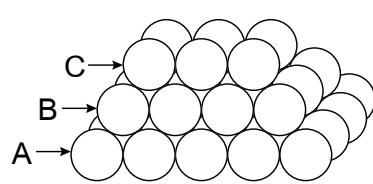
1. นำแพปิงปองสามเหลี่ยม 20 ลูกที่ต่อกันแบบ closest packing มาเรียงชั้นบนปิงปองในชั้นที่ 2 จะสังเกตได้ว่าสามารถเรียงลูกปิงปองได้ต่างกัน 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 ศูนย์กลางของลูกปิงปองในชั้นที่ 3 ตรงกับศูนย์กลางของลูกปิงปองในชั้นที่ 1 เป็นแบบ ABA... (ดูรูปที่ 4.16(ก))

แบบที่ 2 ศูนย์กลางของลูกปิงปองในชั้นที่ 3 จะไม่ตรงกับชั้นที่ 1 เป็นแบบ ABC... และเมื่อมองด้านข้าง จะได้รูปที่ 4.16(ข)



(ก) แบบที่ 1 ABA...



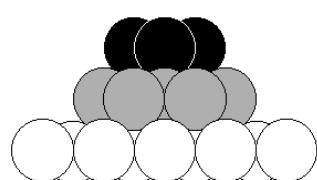
(ข) แบบที่ 2 ABC...

รูปที่ 4.16 การจัดเรียงอะตอม 3 ชั้นใน (ก) แบบ ABA... และ (ข) แบบ ABC...

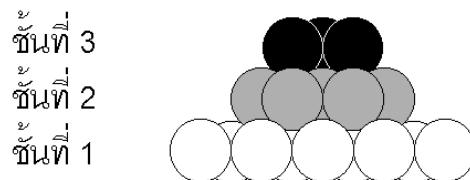
2. นับจำนวนช่องเทหระฮีดรัลและออกตะฮีดรัลรอบอะตอมกลาง

แบบที่ 1 ABAB... ใช้แพปิงปองสามเหลี่ยม 20 ลูกเป็นฐาน (ชั้นที่ 1) หลังจากนั้นวางแพปิงปองหกเหลี่ยม 7 ลูก และแพปิงปองสามเหลี่ยม 3 ลูกเป็นชั้นที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.17(ก) สังเกตว่า ในแต่ละชั้น อะตอมในชั้นที่ 1 อยู่ต่ำกว่าชั้นที่ 3, 5, ...

แบบที่ 2 ABCABC... ทำเช่นเดียวกับแบบที่ 1 โดยเปลี่ยนการจัดเรียงอะตอมชั้นที่ 3 ให้แพปิงปองสามเหลี่ยม 3 ลูกหันมุมยอดไปด้านตรงกันข้าม ดังรูปที่ 4.17(ข) สังเกตว่า ในแต่ละชั้น อะตอมในชั้นที่ 1 อยู่ต่ำกว่าชั้นที่ 4, 7, ...



(ก) แบบที่ 1 ABAB...



(ข) แบบที่ 2 ABCABC...

รูปที่ 4.17 การจัดเรียงอะตอม (ก) แบบที่ 1 ABAB... และ (ข) แบบที่ 2 ABCABC... ชี้งทั้ง 2 แบบ อะตอมชั้นที่ 1 (สีขาว) และชั้นที่ 2 (สีเทา) จัดเรียงเหมือนกัน แต่ชั้นที่ 3 (สีดำ) จัดเรียงแตกต่างกัน

พิจารณาปิงปองลูกกึ่งกลางแพปิงปองหกเหลี่ยมในชั้นที่ 2 เป็นตัวแทนอะตอมในโครงสร้างผลึก

นับจำนวนช่องเทหระฮีดรัลและออกตะฮีดรัลที่ล้อมรอบอะตอมกลาง

3. นับเลขโคลอตดิเนชันสำหรับการจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึกแบบ ABAB... ในขั้นนี้อาจใช้แพปิงปอง 7 ลูก และ 3 ลูก ช่วยประกอบในการพิจารณาดังรูป 4.3(ก) บันทึกผล
4. นับเลขโคลอตดิเนชันสำหรับการจัดเรียงอะตอมแบบ ABCABC... สามารถใช้แพปิงปอง 7 ลูก 2 แพมารายประกอบในการพิจารณาดังรูป 4.3(ข) บันทึกผล
5. วัดภาพการจัดเรียงของซ่องเทหะซึ่ดรัลและซ่องออกตะซึ่ดรัลรอบอะตอมมากถาง ใน 2 มิติเพื่อแสดงเปรียบเทียบซ่องว่างที่เกิดขึ้นในโครงสร้างผลึกทั้งสองแบบ

ตอนที่ 2 โครงสร้างผลึกของโลหะที่มียูนิตเซลล์แบบ face-centred cubic (fcc) และ body-centred cubic (bcc)

1. ศึกษา>yünitเซลล์แบบ fcc จากแพปิงปองสามเหลี่ยม 7 ลูก 2 แพ ดังรูปที่ 4.3(ข)
2. นับเลขโคลอตดิเนชันและจำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์
3. คำนวนหา packing efficiency และเปอร์เซ็นต์ซ่องว่างที่เกิดขึ้นในหนึ่งยูนิตเซลล์
4. ศึกษา>yünitเซลล์แบบ bcc โดยใช้ลูกปิงปอง 9 ลูกจัดเรียงตามรูปที่ 4.7 และ หาเลขโคลอตดิเนชันและอื่น ๆ เช่นเดียวกับโครงสร้างผลึกแบบ fcc ข้อ 2-3

ตอนที่ 3 โครงสร้างผลึกของสารประกอบ

ก. โครงสร้างแบบ Rock salt

1. ศึกษา>yünitเซลล์ของ NaCl กับแบบจำลองโครงสร้าง Rock salt ที่ให้ไว้ประจำกลุ่ม
2. หาเลขโคลอตดิเนชันของ NaCl โดยนับจำนวน Cl^- ที่ล้อมรอบ Na^+ และ จำนวน Na^+ ที่ล้อมรอบ Cl^-
3. นับจำนวน Na^+ และ Cl^- ในหนึ่งยูนิตเซลล์
4. ระบุสูตรอย่างง่ายของสารประกอบ และหาจำนวนหน่วยสูตร (n) ในหนึ่งยูนิตเซลล์

ข. โครงสร้างแบบ Zinc Blende

1. ศึกษา>yünitเซลล์ของ ZnS กับแบบจำลองโครงสร้าง Zinc blende ที่ให้ไว้ประจำกลุ่ม
2. หาเลขโคลอตดิเนชันของไอโอดินบวกและลบ โดยนับจำนวน S^{2-} ที่ล้อมรอบ Zn^{2+} และจำนวน Zn^{2+} ที่ล้อมรอบ S^{2-}
3. นับจำนวนไอโอดินของ Zn^{2+} และ S^{2-} ในหนึ่งยูนิตเซลล์
4. ระบุสูตรอย่างง่ายของสารประกอบ และหาจำนวนหน่วยสูตร (n) ในหนึ่งยูนิตเซลล์

ค. โครงสร้างแบบ Fluorite

1. ศึกษา>yünitเซลล์ของ CaF_2 กับแบบจำลองโครงสร้าง Fluorite ที่ให้ไว้ประจำกลุ่ม
2. หาเลขโคลอตดิเนชันของไอโอดินบวกและลบ โดยนับจำนวน F^- ที่ล้อมรอบ Ca^{2+} และ จำนวน Ca^{2+} ที่ล้อมรอบ F^-

3. นับจำนวนไอโอดิน Ca^{2+} และ F^- ในหนึ่งยูนิตเซลล์
 4. ระบุสูตรอย่างง่ายของสารประกอบและหาจำนวนหน่วยสูตร (n) ในหนึ่งยูนิตเซลล์
- ง. โครงสร้างแบบ CsCl**
1. ศึกษา_yunитเซลล์_ของ CsCl กับแบบจำลองโครงสร้าง CsCl ที่ให้ไว้ประจำกลุ่ม
 2. หาเลขคิออร์ดineชั้นของไอโอดินบวกและลบโดยนับจำนวน Cl^- ที่ล้อมรอบ Cs^+ และจำนวน Cs^+ ที่ล้อมรอบ Cl^-
 3. นับจำนวนอะตอมของไอโอดิน Cs^+ และ Cl^- ในหนึ่งยูนิตเซลล์
 4. ระบุสูตรอย่างง่ายของสารประกอบ และหาจำนวนหน่วยสูตร (n) ในหนึ่งยูนิตเซลล์

คำถามท้ายการทดลอง

1. คำนวณความหนาแน่นผลึกของสารประกอบ NaCl และ CsCl ที่มี_yunитเซลล์_แบบลูกบาศก์ยาว 5.64 และ 4.11 \AA ตามลำดับ (มวลอะตอม $\text{Na} = 22.99$, $\text{Cl} = 35.45$, $\text{Cs} = 132.90$)
- คำถามข้อ 2–4 นิสิตควรใช้การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตในการหาคำตอบ**
2. โลหะมีตระกูลและมีค่า (noble and precious metals) ซึ่งที่จะตกลงผลึกในแบบใด เพราะเหตุใด
 3. นอกจากผลึกของโลหะและสารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายที่ศึกษาในการทดลองนี้ ให้ยกตัวอย่างผลึกของสารประกอบอื่นๆ อีก 2 ชนิดพร้อมระบุแรงดึงเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในผลึก
 4. เทคนิคการทดลองอะไรที่ใช้ในการหาโครงสร้างผลึก อนิบาลโดยย่อ

การทดลองที่ 4

เรื่อง โครงสร้างผลึก

ทำการทดลอง วัน ที่ เดือน พ.ศ. เวลา เช้า / บ่าย
 ชื่อ เลขประจำตัว กลุ่มที่ ลำดับที่

ตอนที่ 1 การจัดเรียงอะตอมในโครงสร้างผลึก

ก. การเปรียบเทียบการจัดเรียงอะตอม

	Closest packing	Simple cubic
<ul style="list-style-type: none"> ● เลขโකออร์ดิเนชัน ● Packing efficiency ● เปอร์เซ็นต์ของว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว ● ชนิดของช่องว่างที่เกิดขึ้นจาก การจัดเรียงอนุภาค 2 ชั้น 		

แสดงวิธีการคำนวณ packing efficiency และเปอร์เซ็นต์ของว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว

● โครงสร้างแบบ closest packing

$$\text{ปริมาตรลูกปิงปอง } 1 \text{ ลูก }(X) = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรแท่งสี่เหลี่ยม ABCD }(Y) = \dots \text{ cm}^3$$

$$\text{Packing efficiency } \left(\frac{X}{Y} \times 100 \right) = \dots \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของว่าง} = \dots$$

ภาครูปประกอบ

● โครงสร้างแบบ simple cubic

$$\text{ปริมาตรลูกปิงปอง } 1 \text{ ลูก }(X) = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรแท่งสี่เหลี่ยม ABCD }(Y) = \dots \text{ cm}^3$$

$$\text{Packing efficiency } \left(\frac{X}{Y} \times 100 \right) = \dots \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของว่าง} = \dots$$

ภาครูปประกอบ

๑. การเปรียบเทียบโครงสร้างผลึกแบบ closest packing

	Hexagonal closest packing	Face-centred cubic packing
<ul style="list-style-type: none"> การเรียงลูกปิงปองตามลำดับชั้นแบบ... ลูกปิงปองในชั้นที่ 1 จะตรงกับชั้นที่... จำนวนช่องของอกระหว่างรัศมีครึ่งต่ออะตอมกลาง จำนวนช่องเท่าระหว่างรัศมีครึ่งต่ออะตอมกลาง เลขโකออร์ดินีชนัน วัดภาพการจัดเรียงของช่องเท่าระหว่างรัศมีครึ่งต่ออะตอมกลางใน 2 มิติ 		

ตอนที่ 2 โครงสร้างผลึกของโลหะที่มียูนิตเซลล์แบบ fcc และ bcc

	Face-centred cubic	Body-centred cubic
<ul style="list-style-type: none"> วัดแผนภาพยูนิตเซลล์และแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างด้านของยูนิต เซลล์ (a) กับรัศมีของอะตอม (r) เลขโโคออร์ดินีชนัน จำนวนอะตอมในหนึ่งยูนิตเซลล์ (n) Packing efficiency เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง 		

การคำนวณหา packing efficiency ของโลหะที่มีโครงสร้างแบบ fcc

$$\text{ปริมาตรของอะตอมในหนึ่งยูนิตเซลล์} = n \times \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ cm}^3$$

$$= \dots \text{cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรของยูนิตเซลล์ (a}^3) = \dots \text{cm}^3$$

$$\text{Packing efficiency} = \dots$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง} = \dots \%$$

การคำนวณหา packing efficiency ของโลหะที่มีโครงสร้างแบบ bcc

$$\text{ปริมาตรของยูนิตเซลล์} = \dots \text{cm}^3$$

$$\text{Packing efficiency} = \dots$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง} = \dots \%$$

ตอนที่ 3 โครงสร้างผลึกของสารประกอบ

	Rock salt NaCl	Zinc blende ZnS	Fluorite CaF ₂	Cesium chloride CsCl
<ul style="list-style-type: none"> ● แบบโครงสร้างของไฮอ่อนลับ ● แบบโครงสร้างของไฮอ่อนบวก ● เลขโකออร์ดิเนชันของไฮอ่อนบวก : ไฮอ่อนลับ ● จำนวนไฮอ่อนบวก : ● จำนวนไฮอ่อนลับในหนึ่งยูนิตเซลล์ ● อัตราส่วนอย่างจ่ายของไฮอ่อนบวก : ไฮอ่อนลับ ● จำนวนหน่วยสูตรในหนึ่งยูนิตเซลล์ (n) 				

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. คำนวณความหนาแน่นพลีกของสารประกอบ NaCl และ CsCl ที่มีญูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์ขาว 5.64 และ 4.11 Å ตามลำดับ (มวลอะตอม Na = 22.99, Cl = 35.45, Cs = 132.90)

● NaCl

● CsCl

คำถามข้อ 2–4 นิสิตควรใช้การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตในการหาคำตอบ

2. โลหะมีตรากุลและมีค่า (noble and precious metals) ขอบที่จะมีโครงสร้างพลีกแบบใด เพราะเหตุใด

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

3. นอกจากพลีกของโลหะและสารประกอบอนินทรีย์อย่างง่ายที่ศึกษาในการทดลองนี้ ให้ยกตัวอย่าง พลีกของสารประกอบอื่นๆ อีก 2 ชนิดพร้อมระบุแรงบิดเหนี่ยวยาวว่างไมเลกุลในพลีก

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

4. เทคนิคการทดลองอะไรที่ใช้ในการหาโครงสร้างพลีก อธิบายโดยย่อ

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

นิสิตเข้าทำปฏิบัติการจริงสับดาห์เว้นสับดาห์รอบที่ 1 หรือ 2 (สับดาห์แรกหรือที่สอง) จำนวน 5 ครั้ง
ครั้งที่ (1) การทดลองที่ 5, 6 (2) การทดลองที่ 7, 8 (3) สอบไทยเกรชัน (4) การทดลองที่ 9 และ (5) การทดลองที่ 10

การทดลองที่ 5

การเลือกใช้กรด–เบสอินดิเคเตอร์ และกราฟของการไทยเกรต (Acid–Base Indicator and Titration Curve)

วัตถุประสงค์เชิงพุติกรรม

- ศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของกรด–เบสอินดิเคเตอร์บางชนิด
- สามารถเลือกใช้กรด–เบสอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทยเกรตกรดกับเบสชนิดต่างๆ
- ฝึกทักษะการใช้อุปกรณ์ในการไทยเกรตและเทคนิคการไทยเกรต

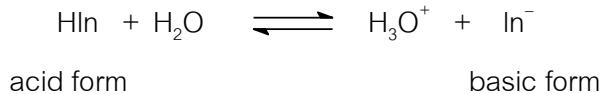
สารเคมีและอุปกรณ์

- กรด–เบสอินดิเคเตอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ เมทิลออเรนจ์ (methyl orange)
ฟีโนลฟทาลีน (phenolphthalein) และบرومโอลบลู (bromthymol blue)
- สารละลายน้ำ pH 1 – 12
- สารละลายน้ำ HCl 0.1000 M
- สารละลายน้ำ NaOH 0.1000 M
- สารละลายน้ำ CH₃COOH 0.1000 M
- สารละลายน้ำ NH₃ 0.1000 M
- สารละลายน้ำ Na₂CO₃ 0.0500 M
- บิวเตชนาด 50 mL
- บีเพตขนาด 10 mL
- ขวดตั้งเหล็กพร้อมที่ยึด และลูกลาย
- ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL
- ขวดน้ำกลั่น

ทฤษฎี

กรด–เบสอินดิเคเตอร์ (acid-base indicator) เป็นสารอินทรีย์ประเภทสีข้อม (dye) มีสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน เช่น เมทิลออเรนจ์ บرومโอลบลูและฟีโนลฟทาลีน เป็นต้น สารเหล่านี้เปลี่ยนสีจากสีหนึ่งไปเป็นอีกสีหนึ่งได้เมื่อ pH ของสารละลายน้ำเปลี่ยนไป จึงใช้เป็นอินดิเคเตอร์ระบุ pH ของสารละลายน้ำและบอกจุดมุตติ (end point) สำหรับการไทยเกรตกรดกับเบส (acid–base titration) ได้โดยการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม จะได้จุดมุตติตรงหรือใกล้เคียงกับจุดสมมูล (equivalence point) มากที่สุด

จุดยุติ หมายถึง จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี
จุดสมมูล หมายถึง จุดที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาพอดีกัน ถ้าเป็นการไฟเทรอว์ห่วงกรดกับเบส
จุดสมมูลจะหมายถึงจุดที่กรดกับเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน
ถ้ากำหนดให้ HIn เป็นอินดิเคเตอร์ชนิดที่เป็นกรดอ่อน ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย
ไม่เลกูลของ HIn จะแตกตัวดังสมการ



HIn และ In^- เป็นคู่กรด-เบสของอินดิเคเตอร์เมื่อออยู่ในสารละลายจะอยู่ในภาวะสมดุลและมีสีแตกต่างกัน สีของ HIn เรียกว่าสีของอินดิเคเตอร์ที่อยู่ในรูปกรด (acid form) สีของ In^- เรียกว่าสีของอินดิเคเตอร์ที่อยู่ในรูปเบส (basic form)

ถ้าให้ K_{In} เป็นค่าคงที่สมดุลของอินดิเคเตอร์ (equilibrium constant) จะเขียน
ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} K_{\text{In}} &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \\ [\text{H}_3\text{O}^+] &= \frac{K_{\text{In}}[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} \\ -\log [\text{H}_3\text{O}^+] &= -\log K_{\text{In}} - \log \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} \\ \text{หรือ } -\log [\text{H}_3\text{O}^+] &= -\log K_{\text{In}} + \log \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \\ \text{p}K_{\text{In}} &= -\log[K_{\text{In}}] \\ \text{เพรำณนั้น } \text{pH} &= \text{p}K_{\text{In}} + \log \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \end{aligned}$$

การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ $[\text{HIn}]$ และ $[\text{In}^-]$ ซึ่งจะถูกควบคุมโดย $[\text{H}_3\text{O}^+]$ เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ลงในสารละลาย บางส่วนจะเกิดการแตกตัว ดังนั้นสารละลายจึงมีทั้ง HIn และ In^- และโดยทั่วไปพบว่า

- ถ้า $[\text{In}^-] \geq 10$ เท่าของ $[\text{HIn}]$ สารละลายจะปรากฏเป็นสีของรูปเบส
- ถ้า $[\text{HIn}] \geq 10$ เท่าของ $[\text{In}^-]$ สารละลายจะปรากฏเป็นสีของรูปกรด
- ถ้า $[\text{In}^-]$ และ $[\text{HIn}]$ เท่ากันหรือใกล้เคียงกันหรือต่างกันไม่ถึงสิบเท่า สารละลายจะมีสีผสม
ระหว่างรูปกรดและรูปเบส

ช่วง pH ของสารละลายที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีของรูปกรดไปเป็นสีของรูปเบส เรียกว่า
ช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ (pH range หรือ transition range)

$$\text{ถ้า } [\text{HIn}] \geq 10 \text{ เท่าของ } [\text{In}^-] \text{ ในสารละลายจะมีสีเฉพาะของกรด} \\ \text{เพรำณะนั้น} \quad \text{pH} = \text{p}K_{\text{In}} + \log (1/10) = \text{p}K_{\text{In}} - 1$$

$$\text{ถ้า } [\text{In}^-] \geq 10 \text{ เท่าของ } [\text{HIn}] \text{ ในสารละลายนะมีสีเขียวพำนุ่งรูปเบส}\text{ เป็น }\text{pH} = \text{pK}_{\text{In}} + \log 10 = \text{pK}_{\text{In}} + 1$$

ดังนั้นช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ จึงเท่ากับ $pK_{in} \pm 1$ ซึ่งเป็นช่วง pH โดยประมาณและมีค่าต่างกับช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่แท้จริงเพียงเล็กน้อย (ช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่แท้จริงแสดงดังตารางที่ 1) สามารถหา pH โดยประมาณของสารละลายน้ำได้จากการเทียบสีของอินดิเคเตอร์ ถ้าต้องการวัด pH ของสารละลายน้ำที่ต้องให้ใช้เครื่องวัด pH (pH meter)

ตารางที่ 1 ช่วง pH ของกรด-เบสอินดิเคเตอร์บางชนิด

pH scale

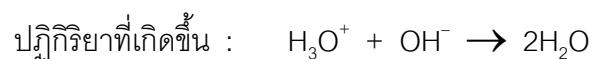
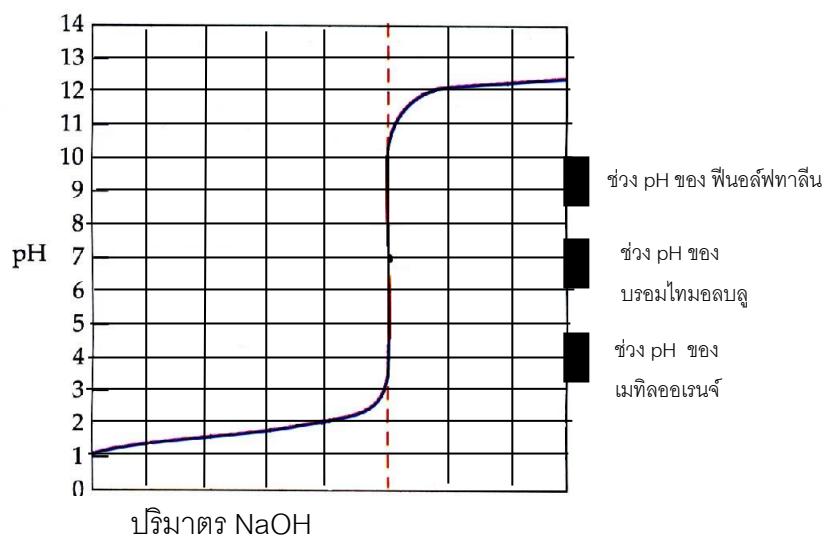
จุดสมมูลของกรดและเบสแต่ละคู่จะมีค่า pH ต่างกันหรืออาจกล่าวได้ว่า pH ของจุดสมมูลขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบส เมื่อศึกษาค่า pH ของสารละลายน้ำที่ค่อนข้างเปลี่ยนไปขณะไทเทเรต (โดยการคำนวณหรือการวัด pH โดยใช้เครื่องวัด pH) ระหว่างกรดกับเบสคู่ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนแล้วนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลง pH กับปริมาณของตัวไทเทเรตหรือไทแทรนต์เรียกว่า กราฟของการไทเทเรต (titration curve) จากกราฟของการไทเทเรตจะสามารถหา pH ที่จุดสมมูลได้และถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีช่วงการเปลี่ยนสีที่พอดีกับ pH ที่จุดสมมูลนั้น อินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีบวกจุดยุติได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด แต่ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่ไม่เหมาะสม อินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนสีบวกจุดยุติก่อนที่จะถึงจุดสมมูลหรือหลังจากที่เลยจุดสมมูลไปแล้ว ทำให้ผลการไทเทเรตผิดพลาดไป

หมายเหตุ ตัวไทเทเรตหรือ ไทแทรนต์ หมายถึงสารละลายน้ำที่บรรจุอยู่ในบิวเรต

กราฟของการไทเทเรตกรดเบสชนิดต่างๆ

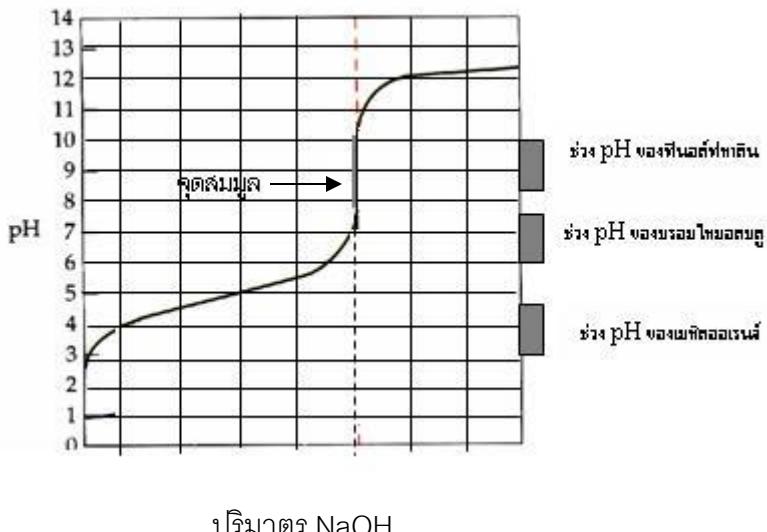
1. กราฟของการไทเทเรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่

เมื่อยดสารละลายน้ำ NaOH 0.1000 M จากบิวเรตใส่ลงในสารละลายน้ำ HCl 0.1000 M ที่จุดสมมูลสารละลายน้ำจะมี pH = 7

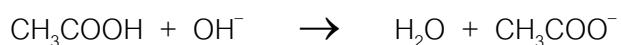


2. กราฟของการไฟเทเรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

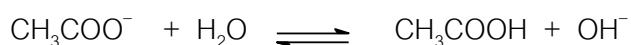
เมื่อหยดสารละลายนาโนไฮดราซีน NaOH 0.1000 M จากปิวเวตลงในสารละลายนีติก_acid CH₃COOH 0.1000 M ที่จุดสมมูลสารละลายนีติก_acid จะมี pH = 8.7



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น :



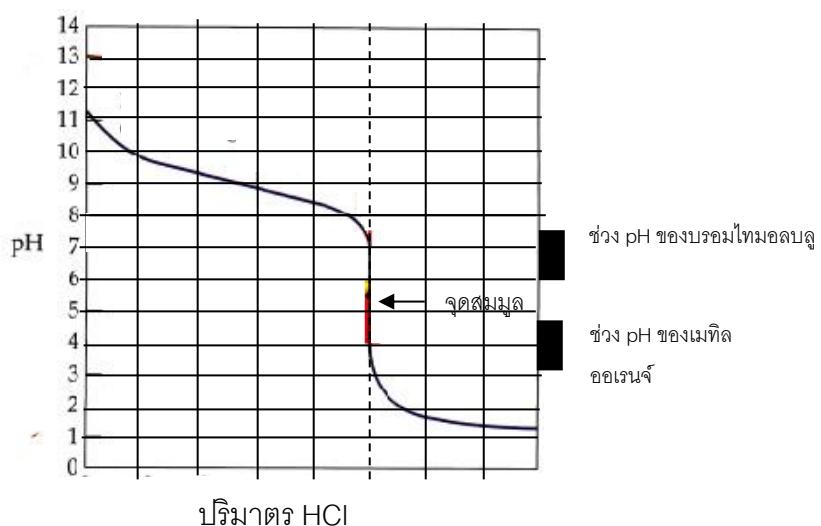
แล้ว CH₃COO⁻ ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดROLิซิส (hydrolysis) ดังสมการ



สารละลายนีติก_acid เป็นเบส

3. กราฟของการไฟเทเรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

เมื่อหยดสารละลายนีติก_acid HCl 0.1000 M จากปิวเวตลงในสารละลายนามีดีเมทิลอะเวนิล NH₃ 0.1000 M ที่จุดสมมูลสารละลายนีติก_acid จะมี pH = 5.3



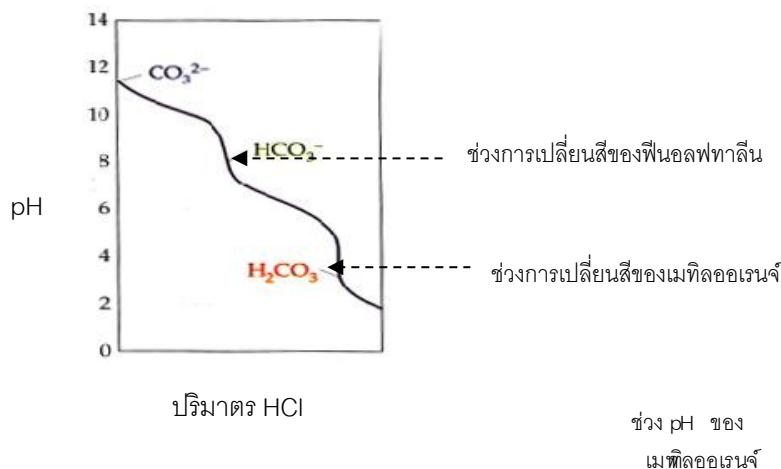


NH_4^+ ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ต่อไป ดังสมการ



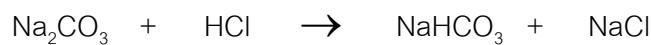
สารละลายจึงมีฤทธิ์เป็นกรด

4. กราฟของการไฟเทรอตระหง่านเกลือที่มีฤทธิ์เป็นเบส (คาร์บอเนต) กับกรดแก่เมื่อหยดสารละลาย HCl 0.1000 M จากปิวเรตลงในสารละลาย Na_2CO_3 0.0500 M

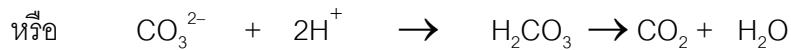
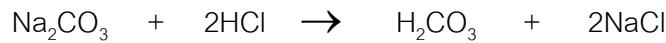


ปฏิกิริยาของเกลือคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริกเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน (จากราฟ) คือ

ขั้นที่ 1 จุดสมมูลสารละลายมี pH ประมาณ 8.3 เมื่อ Na_2CO_3 1 ม몰ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก 1 ม몰ได้ NaHCO_3 ดังสมการ

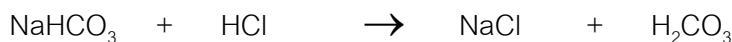


ขั้นที่ 2 จุดสมมูลสารละลายจะมี pH ประมาณ 3.8 เมื่อ Na_2CO_3 1 ม몰ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก 2 ม몰ได้กรดคาร์บอนิก (carbonic acid, H_2CO_3) ดังสมการ



หมายเหตุ H_2CO_3 ไม่อ่ายตัวละลายเป็น CO_2 และ H_2O ทันที

หรืออาจกล่าวได้ว่าขั้นที่ 2 มีจุดยุติเมื่อมีอนกับการไฟเทรอตระหง่านสารละลาย NaHCO_3 กับสารละลาย HCl ดังสมการ



หลักการทดลอง

ในการทดลองนี้ นิสิตจะได้ศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของกรด-เบสอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด ได้แก่ เมทิลออกเรนจ์ และฟีโนอลฟทาลีน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับช่วงการเปลี่ยนสีในทางทฤษฎี รวมทั้งการใช้อินดิเคเตอร์เหล่านี้เพื่อระบุ pH ของสารละลายตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยอาศัยการเปรียบเทียบสีกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่าง ๆ ที่ผสมอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดไว้แล้ว

นอกจากนี้จะได้ศึกษาการไฟเทรตระหว่างกรดกับเบส 4 ระบบ ได้แก่กรดแก่กับเบสแก่ กรดอ่อนกับเบสแก่ กรดแก่กับเบสอ่อน และเกลือที่มีฤทธิ์เป็นเบสกับกรดแก่ การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้ผลของการไฟเทรตถูกต้อง โดยอาศัยหลักการที่ว่าอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมต้องมีการเปลี่ยนสีใกล้เคียงจุดสมมูล(ทางทฤษฎี)มากที่สุด สร้างกราฟของการไฟเทรตระหว่างกรดกับเบสอย่างง่ายได้สำหรับทุกระบบ โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยดของตัวไฟเทรตในแนวแกน x กับ pH ของสารละลายในแนวแกน y ซึ่งหาได้จากการใช้อินดิเคเตอร์ผสมเป็นตัวบ่งชี้ pH ของสารละลาย

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของกรด-เบสอินดิเคเตอร์บางชนิด

บันทึกสีของกรด-เบสอินดิเคเตอร์ที่จัดเตรียมไว้ให้ ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH ตั้งแต่ 1 – 12 และบันทึกผลในตารางที่ 1

ตอนที่ 2 การเลือกใช้กรด-เบสอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฟเทรตกรดกับเบส

ศึกษาเทคนิคการไฟเทรตและการใช้อุปกรณ์ บิวเรต ปีเปตในภาคผนวก ก ก่อนทำการทดลองในแต่ละระบบ

2.1 การไฟเทรตกรดแก่กับเบสแก่ (HCl กับ NaOH)

- บรรจุสารละลาย NaOH 0.1000 M ในบิวเรตขนาด 50 mL (อย่าลืมชำระบิวเรตด้วยตัวไฟเทรต ก่อนบรรจุตัวไฟเทรตในบิวเรตเสมอ)
- ปีเปต HCl 0.1000 M 10.00 mL ลงในขวดรูปทรงขนาด 125 mL หยดเมทิลออกเรนจ์ 2 หยดลงในสารละลาย เขย่าให้เข้ากัน (อย่าลืมชำระปีเปตด้วย HCl 0.1000 M ก่อนใช้)
- ไฟเทรตสารละลาย HCl 0.1000 M ด้วยสารละลาย NaOH 0.1000 M จนกว่าทั้งสารละลายเปลี่ยนสี (แดงเป็นเหลือง) บันทึกปริมาณของสารละลาย NaOH ในตาราง 1.1
- ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง 3 โดยเปลี่ยนอินดิเคเตอร์ที่ใช้ฟีโนอลฟทาลีน (สารละลายเปลี่ยนสีจากไม่มีสีเป็นชมพูอ่อน) ตามลำดับ

5. จากปริมาณกรดเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดี จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี สรุปผลการทดลองว่าอินดิเคเตอร์ได้ใช้บวกกับจุดยติได้ตรงหรือใกล้เคียงกับจุดสมมูลและสามารถใช้เป็นอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไฮเทรสระหว่าง HCl กับ NaOH ได้
6. เปรียบเทียบผลการทดลองกับกราฟการไฮเทรสระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ตามทฤษฎี
7. สรุปผลการทดลอง

2.2 การไฮเทรสระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ (CH_3COOH กับ NaOH)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่ใช้ปีเปตดูด CH_3COOH 0.1000 M แทน HCl 0.1000 M บันทึกปริมาณสารละลายนาโนเมตร NaOH 0.1000 M ในตาราง 2.2 สรุปผลการทดลอง

2.3 การไฮเทรสระหว่างเบสอ่อนกับกรดแก่ (NH_3 กับ HCl)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 แต่ใช้ปีเปตดูดสารละลายนาโนเมตร NH_3 0.1000 M และบารจุ HCl 0.1000 M ในบิวเรต แทน NaOH 0.1000 M บันทึกปริมาณสารละลายนาโนเมตร HCl ในตาราง 2.3 สรุปผลการทดลอง

หมายเหตุ สารละลายนาโนเมตร HCl 0.1000 M เป็นตัวไฮเทรส

2.4 การไฮเทรสระหว่างเกลือคาร์บอนेटกับกรดแก่ (Na_2CO_3 กับ HCl)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 แต่ใช้ปีเปตดูดสารละลายนาโนเมตร Na_2CO_3 0.0500 M แทน NH_3 0.1000 M โดยใช้อินดิเคเตอร์เพียง 2 ชนิด คือ เมทิลอะเวนจ์ และฟีนอลฟ์ทาลีนเท่านั้น บันทึกปริมาณสารละลายนาโนเมตร HCl ในตาราง 2.4 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ 5

กรด–เบสอินดิเคเตอร์และการฟอกของการไทเทเรต

วิชา 2302.....ปฏิบัติการเคมีทั่วไป

ทำการทดลอง วัน ที่ เดือน พ.ศ. เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ เลขประจำตัว กลุ่มที่ ลำดับที่

ตอนที่ 1 การศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของกรด–เบสอินดิเคเตอร์

ตารางที่ 1 สีของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 1 – 12 เมื่อเติมอินดิเคเตอร์ชนิดต่างๆ

อินดิเคเตอร์	pH ของสารละลายบัฟเฟอร์											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
เมทิลออกเรนจ์												
ฟีโนอลฟทาลีน												

- สรุป**
- เมทิลออกเรนจ์ มีช่วงการเปลี่ยนสีประมาณ pH.....ถึง pH.....
โดยเปลี่ยนสีจาก.....เป็น.....
 - ฟีโนอลฟทาลีน มีช่วงการเปลี่ยนสีประมาณ pH.....ถึง pH.....
โดยเปลี่ยนสีจาก.....เป็น.....
 - มีช่วงการเปลี่ยนสีประมาณ pH.....ถึง pH.....
โดยเปลี่ยนสีจาก.....เป็น.....
 - มีช่วงการเปลี่ยนสีประมาณ pH.....ถึง pH.....
โดยเปลี่ยนสีจาก.....เป็น.....

ตอนที่ 2 การเลือกใช้กรด–เบสอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฮเทรอตระหง่านกรดกับเบสชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ระบบกรดแก่กับเบสแก่ (HCl กับ NaOH)

ปริมาณ NaOH (mL)	เมทิลออกเรนจ์		ฟีโนล์ฟทาลีน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สเกลบันบิวเรตก่อน ไฮเทรอต สเกลบันบิวเรตที่จุดยุติ ปริมาณ NaOH ที่ใช้				

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฮเทรอตระหง่าน HCl กับ NaOH คือ.....

ตารางที่ 2.2 ระบบกรดอ่อนกับเบสแก่ (CH_3COOH กับ NaOH)

ปริมาณ NaOH (mL)	เมทิลออกเรนจ์		ฟีโนล์ฟทาลีน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สเกลบันบิวเรตก่อน ไฮเทรอต สเกลบันบิวเรตที่จุดยุติ ปริมาณ NaOH ที่ใช้				

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฮเทรอตระหง่าน CH_3COOH กับ NaOH คือ.....

ตารางที่ 2.3 ระบบกรดแก่กับเบสอ่อน (HCl กับ NH_3)

ปริมาณ HCl (mL)	เมทิลออกเรนจ์		ฟีโนล์ฟทาลีน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สเกลบันบิวเรตก่อน ไฮเทรอต สเกลบันบิวเรตที่จุดยุติ ปริมาณ HCl ที่ใช้				

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฮเทรอตระหง่าน HCl กับ NH_3 คือ.....

ตารางที่ 2.4 ระบบเกลือที่มีฤทธิ์เป็นเบสกับกรดแก่ (Na_2CO_3 กับ HCl)

ปริมาตร HCl (mL)	พื้นอัลฟ์พาลีน		เมทิลอาโนเคน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
สเกลบนบิวเรตก่อนไฟเทวต				
สเกลบนบิวเรตที่จุดยุติ ปริมาตร HCl ที่ใช้				

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไฟเทวตระหว่าง Na_2CO_3 กับ HCl คือ.....

การทดลองที่ 6

ปริมาตรวิเคราะห์โดยการไทเทรตกรด-เบส

(Volumetric Analysis by Acid–Base Titrations)

วัตถุประสงค์เชิงพัฒนารูป

- ศึกษาวิธีเตรียมสารละลายน้ำโซเดียมและหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายน้ำโซเดียมโดยการไทเทรต
- หาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายน้ำโซเดียมโดยการไทเทรต

สารเคมีและอุปกรณ์

- Na_2CO_3 ชนิดปราศจากน้ำ (anhydrous)
- HCl 2 M
- สารละลายน้ำโซเดียม $\text{Ba}(\text{OH})_2$
- เมทิลออเรนจ์ (methyl orange, M.O.)
- ฟีโนฟทาเลิน (phenolphthalein, P.P.)
- ปีเปตขนาด 10 mL
- บิวเรตขนาด 50 mL
- กระบอกตวงขนาด 10 , 50 mL
- ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL
- กรวยแก้ว
- ขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 mL
- บีกเกอร์
- ขวดใส่น้ำกลั่น
- ขัตติ้งเหล็กพร้อมที่ยึด

ทฤษฎี

ปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric analysis) หรือ การวิเคราะห์โดยการไทเทรต (Titrimetric analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารโดยการวัดปริมาตรของสารละลายน้ำโซเดียมที่เข้าทำปฏิกิริยา พอดีกับสารละลายน้ำโซเดียม ซึ่งทราบปริมาตรและความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว กระบวนการนี้เรียกว่า การไทเทรต (titration) สารละลายน้ำโซเดียมที่บรรจุในบิวเรตเรียกว่า ตัวไทเทรต (titrating agent หรือ titrant) และอาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ณ จุดยุติเป็นเกณฑ์บอกให้ทราบว่าสารละลายน้ำโซเดียมที่

สองทำปฏิกิริยา กันพอดี

ปฏิกิริยาที่เกิดจากการไฟเทเรตกรด-เบส เรียกว่า ปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลาง (Neutralisation reaction) ปฏิกิริยานี้เกิดระหว่างกรดกับเบสโดยตรง เช่น HCl ไฟเทเรตกับ NaOH หรือ กรดกับเบส ที่เกิดจากการแยกลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) เช่น Na_2CO_3 ไฟเทเรตกับ HCl

สารละลายน้ำมาตรฐาน (Standard solution)

สารละลายน้ำมาตรฐานคือ สารละลายน้ำที่ทราบชนิดของตัวละลาย (solute) และความเข้มข้น แน่นอนโดยมีความผิดพลาดเพียงสองในพันส่วน (มีหน่วยเป็น M หรือ mol/L)

สารละลายน้ำมาตรฐานมี 2 ประเภทดังนี้

1. สารละลายน้ำมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard solution)

เป็นสารละลายน้ำมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากสารมาตรฐานปฐมภูมิซึ่งมีสมบัติดังนี้

- 1.1 มีความบริสุทธิ์สูง ไม่รวมสารเจือปนเกินร้อยละ 0.02 และถ้ามีสารเจือปนอยู่ควรตรวจสอบได้ง่าย
- 1.2 ไม่ดูดความชื้น หรือเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อถูกอากาศ
- 1.3 ในสภาพปกติไม่ละลายตัว ไม่ถูกออกซิไดร์ส ไม่ถูกกรีดิวาร์ ไม่ทำปฏิกิริยากับ CO_2
- 1.4 เป็นสารที่หาง่าย ทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย และทำให้แห้งได้ง่าย (ที่อุณหภูมิ $110\text{--}120^\circ\text{C}$) เมื่อทำให้แห้งแล้ว ต้องอยู่ในสภาพแห้งได้นานพอสมควร

- 1.5 ละลายได้ในภาวะที่จะใช้งาน

- 1.6 ทำปฏิกิริยากับสารที่เกี่ยวข้อง ตามหลักปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometry) และควรมีมวลโนเดกูลสูงพอสมควร เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเครื่องซั่งและการวัดปริมาตรให้น้อยลง

สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส สารมาตรฐานปฐมภูมิที่เลือกใช้ได้แก่ Na_2CO_3 (sodium carbonate), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (disodium tetraborate(III) หรือ borax), $\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$ (potassium hydrogen phthalate) และ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (oxalic acid dihydrate)

การเตรียมสารละลายน้ำมาตรฐานปฐมภูมนั้น เตรียมได้โดยการซั่งสารให้ทราบน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และนำสารนั้นมาละลายด้วยน้ำก่อนแล้วจึงดำเนินขวดกำหนดปริมาตรขนาดที่ต้องการ

2. สารละลายน้ำมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard solution)

หมายถึง สารละลายน้ำที่เตรียมขึ้นมาแล้วยังไม่สามารถใช้เป็นสารมาตรฐานได้ทันที เพราะไม่สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนจากน้ำหนักที่ซั่งได้ เช่นในกรณีสารที่ใช้เตรียมดูดความชื้นได้ดี หรือสารละลายตัวได้เมื่อถูกอากาศ ตัวอย่างเช่น NaOH (sodium hydroxide), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (sodium

thiosulfate) และ KMnO_4 (potassium permanganate) เป็นต้น ดังนั้นการเตรียมสารละลายมาตรฐานทุกตัวมีแบบเดียวกับสารละลายมาตรฐานปัจจุบัน จะได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นโดยประมาณเท่านั้น ก่อนใช้สารละลายนี้ต้องนำไปไหเทเรตกับสารละลายมาตรฐานปัจจุบันเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนเสียก่อน หรือวิธีการอ้างอิง (Standardization) แล้วจึงใช้เป็นสารละลายมาตรฐานต่อไปได้

หลักการทดลอง

การไหเทเรตกรด-เบส อาศัยการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ ซึ่งมีจุดที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยากันพอดี จุดสมมูล (equivalent point) ซึ่งเป็นจุดที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาได้

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานทุกตัว HCl และการแสดงผลการไหเทเรตกรด-เบส

ตวงน้ำกลั่น 133 mL โดยใช้กระบอกตวง แล้วเทน้ำลงในบีกเกอร์ 250 mL และตวงสารละลาย HCl 2 M 7 mL ใส่ลงในบีกเกอร์เดิม ใช้แท่งแก้วคนจนทั่ว นำสารละลายที่เตรียมได้ไปแสดงผลการไหเทเรตโดยดำเนินการ ดังนี้

1.1 ใช้บิวเรตด้วยสารละลาย HCl ที่เตรียมไว้ก่อนบรรจุลงในบิวเรต บันทึกระดับของสารละลายบนสเกลก่อนการไหเทเรต

1.2 ใช้ปีเปตด้วยสารละลายมาตรฐานปัจจุบัน Na_2CO_3 ที่กำหนดความเข้มข้น (จัดเตรียมไว้ให้) หลังจากนั้นทำการปีเปตมา 10 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวย และหยดเมทิลออกเรนจ์ 2-3 หยด เขย่าสารละลายที่ได้ และนำไปไหเทเรตกับสารละลาย HCl จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้ม บันทึกระดับของสารละลายบนสเกลของบิวเรตและหาปริมาณของสารละลาย HCl ที่ใช้

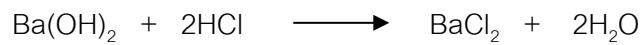
1.3 ทำซ้ำข้อ 1.2 โดยปริมาณของสารละลาย HCl ที่ไหเทเรตได้ต้องใกล้เคียงกัน (ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL) ถ้าเกินต้องทำการทดลองซ้ำอีก และใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารละลาย HCl ที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL มาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl และสารละลาย HCl ที่ทราบความเข้มข้นแล้วนี้ถือว่าเป็นสารละลายมาตรฐานและจัดเป็นสารละลายมาตรฐานทุกตัว

ดังปฏิกิริยา



ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำยาตัวอย่าง $\text{Ba}(\text{OH})_2$

จะปฏิปฏิกริยาด้วยสารละลายน้ำยาตัวอย่างแล้วปีเปปต์มา 10 mL ใส่ลงในขวดครูปกรวย หยดฟินอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เขย่า นำไปเทเทรต์กับสารละลายน้ำ HCl ที่อยู่ในบิวเตต (ที่ใช้ในตอนที่ 2) จนสีของสารละลายน้ำเปลี่ยนเป็นไม่มีสี บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ทำซ้ำจนได้ปริมาณกรดที่ใช้ใกล้เคียงกัน (ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL) ดังปฏิกริยา



การทดลองที่ 6
ปริมาตรริเคราะห์โดยการไหเทเรตกรด–เบส

ทำการทดลอง วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา เช้า / บ่าย
 ชั่วโมง..... เลขประจำตัว..... กลุ่มที่..... ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 การแสดงน้ำดีซ์ สารละลายน้ำ HCl

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำ Na_2CO_3 = M

ปริมาณของสารละลายน้ำ Na_2CO_3 = mL

การไหเทเรตครั้งที่	สเกลบนบิวเจต (mL)		ปริมาณของสารละลายน้ำ HCl ที่ใช้ในการไหเทเรต (mL)
	ก่อนการไหเทเรต	ที่จุดยุติ	
1			
2			
		เฉลี่ย	

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวณ

ตอนที่ 2 การหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำดือ Ba(OH)₂

ความเข้มข้นของสารละลาย HCl = M

ปริมาตรของสารละลายน้ำดือ = mL

การ์ไทร์ทเรตครั้งที่	สเกลบนบิวเวต (mL)		ปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ในการ์ไทร์ทเรต (mL)
	ก่อนการ์ไทร์ทเรต	ที่จุดยุติ	
1			
2			
		เฉลี่ย	

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวน

การทดลองที่ 7

การไทเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์เมганे�ต (Titration Involving Redox Reaction of Potassium permanganate)

วัสดุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- ศึกษาการไทเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของ $KMnO_4$ รวมทั้งการเขียนสมการและคำนวณตามหลักมูลสารสัมพันธ์
- หาความเข้มข้นของสารละลายน้ำ $KMnO_4$ แล้วหาปริมาณตัวเริดิวซ์ด้วยสารละลายน้ำตรุษาน $KMnO_4$

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลายน้ำตรุษานปั๊มน้ำมันโซเดียมออกไซด์ (sodium oxalate, $Na_2C_2O_4$) 0.0500 M
- สารละลายน้ำ $KMnO_4$
- สารละลายน้ำกรดฟิวริก (sulfuric acid, H_2SO_4) 3 M
- สารละลายน้ำตัวอย่าง Fe^{2+} [เฟอร์รัสซัลเฟต์ (ferrous sulfate, $FeSO_4$)]
- สารละลายน้ำตัวอย่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2)
- บิวเรตขนาด 50 mL
- ปีเพตขนาด 10 mL
- ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL
- ขวดใส่น้ำกลั่น
- ขวดตั้งเหล็กพร้อมที่ยืด

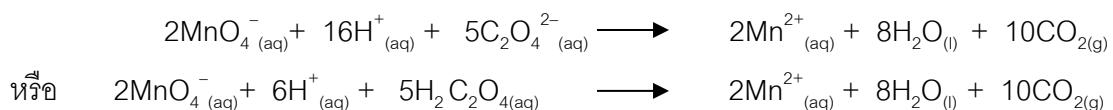
ทฤษฎี

การไทเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ มีลักษณะคล้ายกับการไทเทเรตโดยทั่วไป กล่าวคือ ประกอบด้วย ตัวไทเทเรต (สารละลายน้ำตัวอยู่ในบิวเรต) และสารละลายน้ำที่จะนำมาไทเทเรต และอินดิเคเตอร์ การไทเทเรตแบบนี้อาศัยการถ่ายอนิล็อกต่อนระหว่างตัวไทเทเรตและสารละลายน้ำที่จะนำมาไทเทเรตในขณะที่เกิดปฏิกิริยา ชนิดของตัวไทเทเรตที่ใช้ส่วนมากมักเป็นสารละลายน้ำตรุษานที่เป็นตัวออกซิไดส์ เนื่องจากสะดวกในการเก็บรักษา โดยตัวออกซิไดส์ที่นิยมใช้ได้แก่ $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ ในบางกรณีอาจใช้สารละลายน้ำตรุษานที่เป็นตัวเริดิวซ์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวไทเทเรตได้ เช่น กันยกตัวอย่าง เช่น $Na_2S_2O_3$ ในการไทเทเรตกับ I_2 อินดิเคเตอร์ที่ใช้สำหรับการไทเทเรตซึ่งเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์มักเป็นสารที่มีสี และสามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อมีการเปลี่ยนเลขออกซิเดชัน

หลักการทดลอง

การไทเกρตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของ KMnO_4 อาศัยสมบัติการเปลี่ยนสีของ KMnO_4 เมื่อเลือดออกซิเดชันเปลี่ยนไป กล่าวคือ KMnO_4^- เมื่อละลายนำจะได้สารละลายสีม่วงแดงของ MnO_4^- หลังจากทำปฏิกิริยากับตัววิดิวซ์ในกรดจะเปลี่ยนเป็น Mn^{2+} ซึ่งในสารละลายเจือจางที่ได้จะไม่มีสี ที่จุดยุติจะเห็นสีเข้มพูดอ่อนของ KMnO_4^- ที่มากเกินพอเล็กน้อยเป็นเวลาประมาณ 30 วินาที (สีของสารละลายยิ่งเข้มเท่าใด จุดยุติ ก็จะห่างจากจุดสมมูลมากขึ้นเท่านั้น)

เนื่องจาก KMnO_4^- นั้นไม่บริสุทธิ์มี MnO_2 ปน และสารละลายของ KMnO_4^- ไม่เสถียร สามารถถูกวิดิวซ์เป็น MnO_2 ได้เมื่อโดนแสงสว่าง จึงไม่สามารถใช้สารละลาย KMnO_4^- เป็นสารละลายมาตรฐานปัจจุบันได้ จำเป็นต้องหาความเข้มข้นที่แน่นอนก่อนใช้ทุกครั้ง โดยไทเกρตกับสารละลายมาตรฐานปัจจุบัน $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ หรือ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ดังปฏิกิริยา



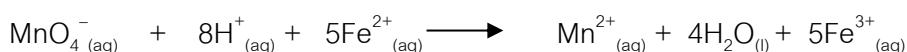
คำนวณความเข้มข้นของ MnO_4^- ได้จากการคำนวณสัมพันธ์

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^-}{\text{จำนวนโมลของ } \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \text{ (หรือ } \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{2}{5}$$

เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง KMnO_4 กับ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (หรือ $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) เกิดข้าวิเอนท์ที่อุณหภูมิห้อง จึงจำเป็นต้องคุ้นสารละลาย $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ในกรดก่อนทำการไทเกรต แต่เมื่อเริ่มไทเกรตจะเกิด Mn^{2+} ในสารละลายทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วที่อุณหภูมิห้อง

สารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว สามารถนำไปใช้หาปริมาณ Fe^{2+} และ H_2O_2 เป็นต้น

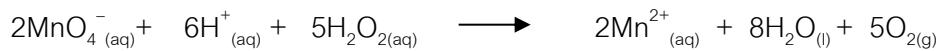
การไทเกรตหาปริมาณ Fe^{2+} ในสารละลาย เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการหาปริมาณเหล็กในและโดยเริ่มจากการละลายแล้วด้วยกรด จากนั้นจึงทำการวิดิวซ์ Fe^{3+} ที่อาจมีอยู่ให้เป็น Fe^{2+} ทั้งหมด แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปไทเกรตกับสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 ผลที่ได้จากการไทเกรตนามากำคำนวนหาปริมาณของ Fe^{2+} โดยอาศัยความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาข้างล่างต่อไปนี้



จากสมการจะได้ว่า

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{Fe}^{2+}}{\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^-} = \frac{5}{1}$$

สำหรับการหาปริมาณ H_2O_2 ในสารละลายนั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



จากสมการจะได้ว่า

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{H}_2\text{O}_2}{\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^-} = \frac{5}{2}$$

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การแสดง达尔ีเดช์สารละลายน้ำ KMnO₄

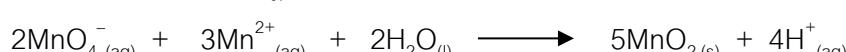
จะปีเปตตัวอย่างสารละลายน้ำ Na₂C₂O₄ 0.0500 M แล้วปีเปตมา 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวย เติมสารละลายน้ำ H₂SO₄ 3 M 5 mL (ตัวอย่างระบบอุ่น) เขย่าแล้วนำไปคุ่นให้อุ่นพอจับได้ (อุณหภูมิประมาณ 60–70°C)

ระหว่างอย่างให้เดือด เพราะถ้าสารละลายน้ำ H₂C₂O₄ จะสลายตัว

แล้วนำมาไหเทเรตทันทีกับสารละลายน้ำ KMnO₄ ที่บรรจุไว้ในบิวเรต โดยค่อยๆ ไหสารละลายน้ำลงในขวดรูปกรวย พร้อมทั้งเขย่าไปพร้อมๆ กันจนสีชมพูของ KMnO₄ หายไป หลังจากนั้นไหเทเรตต่อไป เมื่อใกล้จะถึงจุดสูตร (สังเกตจากสีของ KMnO₄ ที่อาจซ้ำแล้ว) ให้ค่อยๆ เติม KMnO₄ ที่ละหมัดและเขย่าจนสารละลายน้ำสีชมพูอ่อน (ประมาณ 30 วินาที) แสดงว่าถึงจุดสูตรแล้ว อ่านปริมาตรของ KMnO₄ ที่ใช้บันทึกผล จากนั้นทำการทดลองซ้ำๆ จนได้ผลใกล้เคียงกัน (ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL) นำปริมาตรเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายน้ำ KMnO₄

หมายเหตุ

- ในขณะที่ไหเทเรต ถ้าสารละลายน้ำหรือมีตะกอนสีน้ำตาลแสดงว่าใส่กรดน้อยไป ต้องเททิ้งแล้วทำใหม่โดยใส่กรดให้มากขึ้น
- สีของ MnO₄⁻ ที่จุดสูตรไม่ถาวرمีอิสระ ให้สักครู่สีชมพูจะหาย เนื่องมาจาก MnO₄⁻ ในสารละลายน้ำกรดที่เกินมาทำปฏิกิริยากับ Mn²⁺ ดังสมการ



- ถ้าต้มสารละลายน้ำเดือด H₂C₂O₄ จะสลายให้ CO₂ ดังสมการ



ทำให้ความเข้มข้นของ KMnO₄ ที่คำนวณได้ไม่ถูกต้อง

ตอนที่ 2 การหาปริมาณของ Fe^{2+} ในสารละลายตัวอย่าง

จะปีเปตด้วยสารละลายตัวอย่าง แล้วปีเปตมา 10.00 mL ใส่ลงในขวดรูปกรวย เติม H_2SO_4 3 M 5 mL เข่าแล้วนำไปปีเพทเรตกับสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 จากปีวาร์ต จนกระแท้ทั้งถึงจุดสีเข้มพูนเหลืองเล็กน้อย บันทึกปริมาตรที่ใช้ แล้วทำการทดลองซ้ำจนได้ผลใกล้เคียงกัน (ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL) นำปริมาตรเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของ Fe^{2+} ในสารละลายตัวอย่างเป็น mol/L และ g/L ของสารละลาย

ตอนที่ 3 การหาปริมาณ H_2O_2 ในสารละลายตัวอย่าง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2 แต่สารละลายตัวอย่างเป็น H_2O_2 และจุดสีเข้มพูนอยู่บน

การทดลองที่ 7

การไทยเทศาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาเรียดออกซ์ของโพแทสเซียมเปอร์เมงกานेट

ทำการทดลอง วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ..... เลขประจำตัว..... กลุ่มที่..... ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 การแสดงนิรดีษสารละลายน้ำ $KMnO_4$

ความเข้มข้นของสารละลายนาโนโซเดียมคาร์บอเนต $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ = M

$$\text{ปริมาตรของสารละลายน } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = \dots \text{ mL}$$

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวณ

ตอนที่ 2 การหาปริมาณของ Fe^{2+} ในสารละลายน้ำอ่อน

ความเข้มข้นสารละลาย KMnO_4 = M

ปริมาตรของสารละลายน้ำอ่อน = mL

การไหเทรตครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)		ปริมาตรของสารละลาย KMnO_4 ที่ใช้ในการไหเทรต (mL)
	ก่อนการไหเทรต	ที่จุดยุติ	
เฉลี่ย			

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 การหาปริมาณของ H_2O_2 ในสารละลายน้ำออย่าง

ความเข้มข้นสารละลาย $KMnO_4$ = M

ปริมาตรของสารละลายน้ำออย่าง = mL

การไหเทรตครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)		ปริมาตรของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ในการไหเทรต (mL)
	ก่อนการไหเทรต	ที่จุดยุติ	
		เฉลี่ย	

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

การทดลองที่ 8

เรื่อง การไหเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดอกซ์ของไอโอดีน (Titration Involving Redox Reaction of Iodine)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- เพื่อศึกษาการไหเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดอกซ์ของไอโอดีน
- หาปริมาณของคอปเปอร์(II) ไอโอนในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีไอโอดิเมทรี (Iodometry)
- หาปริมาณของไฮโปคลอไรต์ไอโอน (OCl^-) ด้วยวิธีไอโอดิเมทรี (Iodometry)

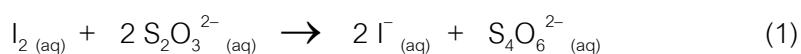
สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลาย โพแทสเซียมไอโอดีด (potassium iodide, KI) 10 %
- สารละลาย โซเดียมไทโซลฟेट (sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 M
- สารละลาย โพแทสเซียมไอโอดेट (potassium iodate, KIO_3) 0.0167 M
- สารละลาย Cu^{2+} [คอปเปอร์(II) ชัลเฟต (copper(II) sulfate, CuSO_4)]
- น้ำยาฟอกขาว โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite, NaOCl)
- กรดชัลฟิวเริก (sulfuric acid, H_2SO_4) 3 M
- น้ำแข็ง
- บิวเตตขนาด 50 mL
- ปีเปตขนาด 10 mL
- กระบอกตวงขนาด 10 mL
- ขวดรูปgravimeter ขนาด 125 mL
- ขวดตั้งเหล็กพร้อมที่ดับ

ทฤษฎี

หลักการของการไหเทเรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีนหรือ ไอโอดิเมทรี (Iodometric Titration) คือ สารที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณต้องสามารถออกซิไดส์ไอโอดีน (I^-) เป็นไอโอดีน (I_2) ได้แล้ว ไหเทเรตหาปริมาณไฮโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโซลฟेट ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)

ดังปฏิกิริยา



โดยมีน้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ น้ำแข็งจะให้สีดำเงินกับไอโอดีนที่เกิดขึ้น และที่จุดยุติสีน้ำเงินจะจากหายไป $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เป็นสารที่ไม่อxydative จึงไม่ใช้เป็นสารละลายมาตรวัดฐานปัจจุบัน กรณีใช้ต้องทำการแสดงนิวเคลียร์ด้วยสารละลายมาตรวัดฐานปัจจุบัน KIO_3 หรือ IO_3^- ดังสมการ



หลังจากนั้นจึงหาปริมาณ I_2 ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ อาศัยสมการ (1) และ (2) สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ได้ โดยที่

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{IO}_3^-}{\text{จำนวนโมลของ } \text{S}_2\text{O}_3^-} = \frac{1}{6}$$

ข้อผิดพลาดในการไหเทเรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีนที่สำคัญมีดังนี้ คือ

1. ไอโอดีนระเหยได้จึงควรไหเทเรตทันทีและรวดเร็ว (ถ้ามีไอโอดีดีออกอน (I^-) ผสมอยู่ด้วยมาก กินพอจะทำให้ไอโอดีนระเหยได้น้อยลง)
2. ในสารละลายที่มีฤทธิ์กรด ไอโอดีดีออกอนจะถูกออกซิเดสโดยอากาศได้ไอโอดีนดังนี้



3. ในสารละลายที่มีฤทธิ์กรด ไอโอดีดีออกอนจะรวมตัวกับ H_3O^+ เกิด HI ได้บ้าง เมื่อถูกแสงสว่างก็จะสลายให้ I_2 ดังนั้นเมื่อถึงจุดยุติของการไหเทเรตไอโอดีนกับสารละลายโซเดียมไหโอกซัลเฟตแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ สารละลายจะกลับมีสีน้ำเงินอีกเนื่องจากไอโอดีนที่เกิดขึ้นหลังจุดยุติรวมตัวกับน้ำแข็ง ไม่ต้องไหเทเรตต่อไป ให้ใช้จุดยุติครั้งแรกเท่านั้น

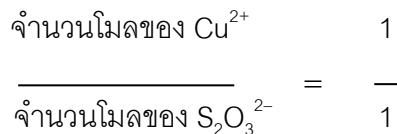
หลักการทดลอง

ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือแสดงนิวเคลียร์สารละลายโซเดียมไหโอกซัลเฟตด้วยสารละลายมาตรวัดฐานปัจจุบัน KIO_3 โพแทสเซียมไอโอดีต (KIO_3) หาปริมาณคงปะเปรอร์ (II) ไอโอดีนในสารละลายคงปะเปรอร์(II) ซัลเฟตและหาปริมาณของไฮโปคลอไรต์ไอโอดอน (OCl^-) ในน้ำยาฟอกขาวด้วยวิธีการไหเทเรตแบบไอโอดีเมทรี

หาปริมาณคงปะเปรอร์(II) ไอโอดีนโดยให้สารละลายคงปะเปรอร์(II) ซัลเฟตทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอดีดมากกินพอจะได้ไอโอดีนและคงปะเปรอร์ (I) ไอโอดีดเป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการ



สารละลายที่ได้มีสีน้ำตาลเข้มและมีตะกอนขุ่นขาวปนอยู่ แล้วนำมาไห้เทเรตทันทีกับสารละลายโซเดียมไฮโคลัฟเฟตซึ่งบรรจุอยู่ในบิวเรต ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ (1) จนสีน้ำตาลของไฮโอดีนจางลงเป็นสีเหลืองอ่อนจึงเติมน้ำเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินหรือม่วงดำ (ถ้าเติมน้ำเปลี่ยนแล้วสารละลายไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าไห้เทเรตเกินจุดยุติแล้ว ให้เริ่มต้นการทดลองใหม่) ไห้เทเรตต่อไปจนถึงหยดสุดท้ายของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ทำให้สีน้ำเงินจางหายไป แสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว คำนวนหาปริมาณของคอปเปอร์ (II) ไฮโอนได้จากการสัมพันธ์อัตราส่วนโดยโมลดังนี้

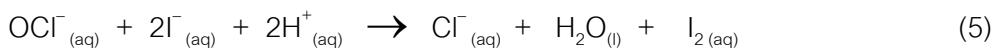


โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ใช้ทำเป็นสารฟอกขาว เป็นส่วนผสมในน้ำยาซักผ้าขาว น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาล้างท่อ และในน้ำยาล้างจาน

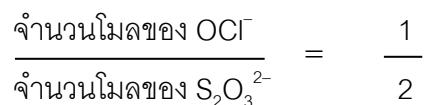
ข้อควรระวัง คือ ในภาวะที่เป็นกรด NaOCl จะทำปฏิกิริยากับกรดให้แก๊สคลอรีนซึ่งเป็นพิษดังสมการ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไห้เทเรตหาบปริมาณสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ คือ ไฮโปคลอไรต์ไฮโอนทำปฏิกิริยากับไฮโอดีดไฮโอนในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดให้ผลิตภัณฑ์ ดังสมการ



สารละลายที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม นำมามาไห้เทเรตทันทีกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโคลัฟเฟตซึ่งบรรจุอยู่ในบิวเรต ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ (1) จนสีน้ำตาลของไฮโอดีนจางลงเป็นสีเหลืองอ่อนจึงเติมน้ำเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินหรือม่วงดำ I_2 ที่เหลือจะรวมกับน้ำเปลี่ยนสารประกอบเชิงช้อนสีน้ำเงิน แล้วไห้เทเรตกับสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ต่อไป จนได้สารละลายไม่มีสี จึงเป็นจุดยุติ คำนวนหาปริมาณไฮโปคลอไรต์ไฮโอน (OCl^-) ของสารละลายตัวอย่างได้จากความสัมพันธ์อัตราส่วนโดยโมล ดังนี้



วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การแสดงสารได้ซ์สารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

1. ชงบิวเรตด้วยสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมไว้ก่อนบรรจุลงในบิวเรต ยึดติดกับขาก้าง บันทึกระดับของสารละลายน้ำสเกลก่อนการไฟเทรต
2. ชงปีเปตสารละลามาตรฐานปัญมภูมิ KIO_3 0.0167 M และปีเปตมาจำนวน 10 mL ใส่ลงในขวดรูป gravyขนาด 125 mL
3. เติมสารละลายน้ำ KI จำนวน 5 mL และสารละลายน้ำ H_2SO_4 จำนวน 5 mL (ใช้กรอบอกตัว) จะได้สารละลายน้ำสีน้ำตาลแดง นำไปไฟเทรตทันทีกับสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ จนสีน้ำตาลแดงค่อยๆ จางลงจนได้สารละลายน้ำสีเหลืองอ่อน เติมน้ำเปล่าจำนวน 2 mL จะได้สารละลายน้ำสีเงิน และไฟเทรตต่ออย่างช้าๆ จนกระหั้งหยดสุดท้ายของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ทำให้สารละลายน้ำสีเงินเปลี่ยนเป็นไม่มีสี (แสดงว่าถึงจุดยุติ) นำปริมาณของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ทั้งหมด บันทึกผลในตารางของตอนที่ 1
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2) และ 3) จนได้ปริมาณของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ต่างกันไม่เกิน ± 0.20 mL
5. นำปริมาณของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มาเฉลี่ย คำนวนความเข้มข้นของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

ตอนที่ 2 การหาปริมาณคอปเปอร์ (II) ไอโอน

1. ชงปีเปตด้วยสารละลายน้ำอย่าง แล้วปีเปตมา 10 mL ใส่ลงในขวดรูป gravyขนาด 125 mL
2. เติมสารละลายน้ำ KI 10 % จำนวน 5 mL (ใช้กรอบอกตัว) จะได้สารละลายน้ำสีน้ำตาลแดง นำไปไฟเทรตกับสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 บันทึกผลในตารางของตอนที่ 2
3. นำปริมาณของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มาเฉลี่ย คำนวนความเข้มข้นของ Cu^{2+} ในสารละลายน้ำอย่าง

ตอนที่ 3 การหาปริมาณไออกลอไรต์ไอโอน (OCl^-)

1. ชงปีเปตด้วยสารละลายน้ำอย่าง แล้วปีเปตมา 10 mL ใส่ลงในขวดรูป gravyขนาด 125 mL
2. เติมสารละลายน้ำ KI 10 % จำนวน 5 mL และสารละลายน้ำ H_2SO_4 3 M จำนวน 5 mL (ใช้กรอบอกตัว) จะได้สารละลายน้ำสีน้ำตาลแดง นำไปไฟเทรตกับสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 บันทึกผลในตารางของตอนที่ 3
3. นำปริมาณของสารละลายน้ำ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ มาเฉลี่ย คำนวนความเข้มข้นของ OCl^- ในสารละลายน้ำอย่าง

การทดลองที่ 8
การไทเทเรตที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเริดอกซ์ของไอโอดีน

ทำการทดลอง วัน ที่ เดือน พ.ศ. เวลา เช้า / บ่าย
 ชื่อ เลขประจำตัว กลุ่มที่ ลำดับที่

ตอนที่ 1 การแสดงဓาร์เดซสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

ความเข้มข้นของสารละลาย KIO_3 = M

ปริมาณของสารละลาย KIO_3 = mL

การไทเทเรตครั้งที่	สเกลบนบิวเวต (mL)		ปริมาณของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทเรต (mL)
	ก่อนการไทเทเรต	ที่จุดยุติ	
เฉลี่ย			

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวน

ตอนที่ 2 การนำปริมาณของคูลป์เปอร์ (II) ไอโอน

ความเข้มข้นสารละลายน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ = M

ปริมาตรของสารละลายน้ำอย่าง = mL

การ์ไทเทรตครั้งที่	สเกลบันปิวเรต (mL)		ปริมาณของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการ์ไทเทรต (mL)
	ก่อนการ์ไทเทรต	ที่จุดยุติ	

สมการของปฏิกิริยา

วิธีคำนวณ

ตอนที่ 3 การหาปริมาณของไฮโปคลอไรต์ไอโอดน (II)

ความเข้มข้นสารละลายนาโนโซเดียมไนเตรต =M

ปริมาตรของสารละลายน้ำอ่อน =mL

การไฟเทรตครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)		ปริมาตรของสารละลายนาโนโซเดียมไนเตรตที่ใช้ในการไฟเทรต (mL)
	ก่อนการไฟเทรต	ที่จุดดุ๊ติ	
เฉลี่ย			

สมการของปฏิกิริยา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

วิธีคำนวน

การทดลองที่ 9

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแอนิโอน

(Qualitative Analysis for Anions)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- เพื่อศึกษาปฏิกิริยาในการทดสอบแอนิโอนบางชนิด
- เพื่อฝึกทักษะเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแอนิโอน

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลายน้ำดีเมมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3) 1.5 M
- สารละลายน้ำดีซีติก (acetic acid, CH_3COOH) 6.0 M
- สารละลายน้ำเดด(II) แอซีเตต (lead(II) acetate, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) 0.1 M
- สารละลายน้ำไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) 2.0, 6.0 M
- สารละลายน้ำเบเรียมไฮดรอกไซด์ (saturated barium hydroxide, $\text{Ba}(\text{OH})_2$)
- สารละลายน้ำไนตริก (nitric acid, HNO_3) 6.0 M
- สารละลายน้ำซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate, AgNO_3) 0.1 M
- สารละลายน้ำซิลเวอร์ไนเตรตในแอมโมเนีย ($\text{AgNO}_3 \cdot \text{NH}_3$)
- สารละลายน้ำเบเรียมคลอไรด์ (barium chloride, BaCl_2) 0.1 M
- สารละลายน้ำแอมโมเนียมมอลบ戴特(VI) (ammonium molybdate(VI), $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$) 0.1 M
- สารละลายน้ำ KMnO_4 0.02 M
- คลอร์ฟอร์ม (chloroform, CHCl_3)
- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc H_2SO_4)
- สารละลายน้ำเฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate, FeSO_4) 0.1 M
- สารละลายน้ำซิลเวอร์ซัลเฟต (silver sulfate, Ag_2SO_4) 0.1 M
- หลอดทดลองขนาด 10 mL

ทฤษฎี

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เป็นการตรวจสอบคุณภาพของสาร โดยอาศัยสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของสารนั้นๆ เป็นหลัก และเรียกสารที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้สารนั้นเปลี่ยนไปเป็นสารอีกชนิดหนึ่งว่า รีเอเจนต์ (Reagent) โดยทั่วไปสารประกอบอนินทรีย์ประกอบด้วยแคทไอโอน (Cation) และแอนิโอน (Anion) ดังนั้นการวิเคราะห์สารอนินทรีย์จะเป็นการวิเคราะห์หาแคทไอโอน

และแคนไอโอนที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง เพื่อความสะดวกในการทดสอบไอกอนต่างๆ จึงได้แยกแคลห์ไอโอนและแคนไอโอนออกเป็นหมู่ๆ โดยอาศัยสมบัติทางเคมีที่คล้ายกัน วิธีที่ใช้ทดสอบไอกอนแต่ละชนิดอาจทำได้หลายวิธี สำหรับระดับนี้จะเลือกใช้เฉพาะวิธีที่เห็นว่าเหมาะสมและปลอดภัย และทำการวิเคราะห์เฉพาะบางไอโอนเท่านั้น โดยจะวิเคราะห์แคนไอโอนในบทนี้และแคห์ไอโอนในบทถัดไปตามลำดับ

หลักการทดลอง

การวิเคราะห์แคนไอโอนในบทนี้จะทดสอบแคนไอโอนเพียง 8 ชนิด คือ CO_3^{2-} , S^{2-} , Cl^- , Br^- , I^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- เท่านั้น ใช้สารตัวอย่าง (ของแข็งหรือของเหลว) ทดสอบได้ทันทีสำหรับแคนไอโอน CO_3^{2-} และ S^{2-} ส่วนแคนไอโอนที่เหลือ ต้องทำให้เป็นสารละลายเรียกว่า Soda-solution ก่อนนำไปทดสอบ

จุดมุ่งหมายในการทำ Soda-solution

- เปลี่ยนแคนไอโอนให้เป็นเกลือของโซเดียมซึ่งละลายในน้ำได้ดี
- กำจัดแคห์ไอโอนให้ตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนต

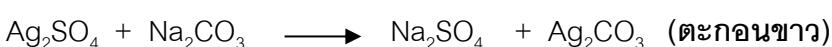
วิธีทำ Soda-solution

ผสมสารตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวประมาณ 0.1 กรัมหรือ 1 mL กับสารละลาย Na_2CO_3 1.5 M 3 mL ในชามกระเบื้อง ต้มสารละลายบนเครื่องให้ความร้อนจนเดือด ปล่อยให้เดือดนาน 3-4 นาทีคุณด้วยแท่งแก้วเป็นครั้งคราว จะ(ภายในภาชนะ) ด้วยน้ำกลันแล็บกันอย เทสในหลอดทดลองนำไปเซนติฟิวจ์ (ถ้าไม่มีตะกอนก็ไม่ต้องเซนติฟิวจ์) รินสารละลายใส (centrifugate) ใส่ในชามกระเบื้อง ทำให้เป็นกรดด้วย CH_3COOH 6 M ต้มจนเกือบแห้งเพื่อกำจัด CO_3^{2-} และ S^{2-} ในรูปของแก๊ส CO_2 และ H_2S^{**} สารละลายที่ได้เรียกว่า Soda-solution (สารละลายสุดท้ายควรมีปริมาณตราประ摹 6-7 mL โดยให้เติมน้ำกลันจนได้ปริมาณที่ต้องการ)

(** ใช้กระดาษกรองชุบ $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ไปองภาชนะที่สงสัยว่ามี H_2S ถ้ามีสีน้ำตาลหรือดำเนินเงาที่กระดาษกรอง แสดงว่ามี H_2S ไม่หมด ให้น้ำสารละลายไปต้มใหม่

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อทำ Soda-solution

ถ้าสารตัวอย่างมี Ag_2SO_4 หรือ PbCl_2 จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



หมายเหตุ

ถ้ากำจัด CO_3^{2-} ออกจาก Soda-solution ไม่หมด

- เมื่อทดสอบ Cl^- จะได้ตะกอนขาว Ag_2CO_3 เมื่อونกับตะกอน AgCl
- เมื่อทดสอบ SO_4^{2-} จะได้ตะกอน BaCO_3 สีขาว เช่นเดียวกับ BaSO_4
- เมื่อทดสอบ NO_3^- วงแหวนจะแตกเพราะเกิด CO_2 เมื่อเติม conc. H_2SO_4

ถ้ากำจัด S^{2-} ไม่หมด

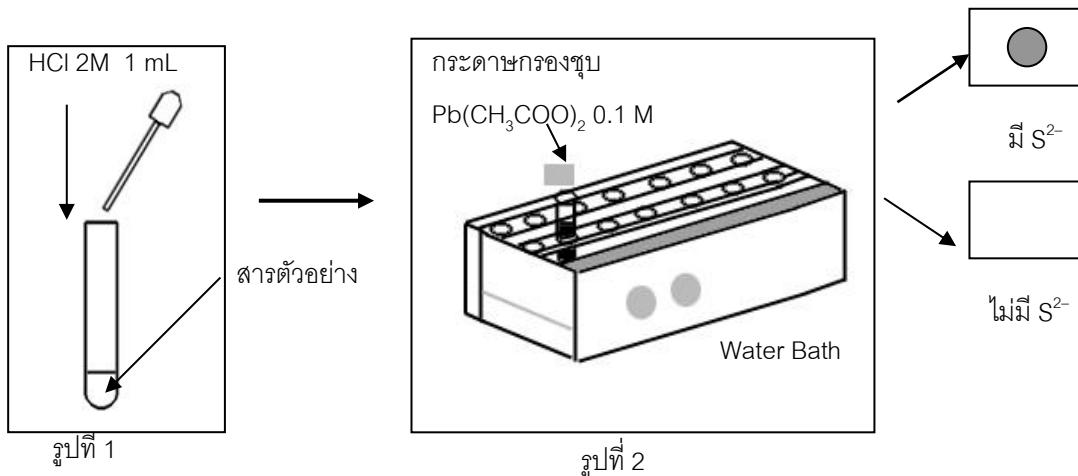
- เมื่อทดสอบ Cl^- จะได้ตะกอน Ag_2S สีดำ
- ถ้าสารตัวอย่างมี Cl^- ก็จะได้ตะกอนขาวปนกับตะกอนดำทำให้มีความสามารถเห็นผลการทดสอบได้ชัดเจน

วิธีทดลอง

1. การทดสอบ S^{2-}

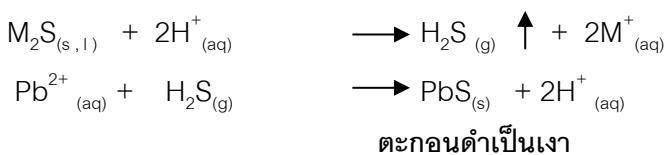
นำสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองประมาณ 0.1 กรัม (ถ้าเป็นสารละลายน้ำให้ใช้ 1 mL) ดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

- หยด HCl 2 M 1 mL (ประมาณ 20 หยด) ลงในสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 1
- อุ่นสารละลายน้ำข้อ 1 แล้วนำกระดาษกรองซุบ $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 0.1 M มาอังหนีอหลอดทดลองทันที ดังรูปที่ 2 ถ้ากระดาษกรองมีวงศีดำ แสดงว่า สารตัวอย่างมี S^{2-}



หมายเหตุ การหยดสารละลายน้ำ ต้องให้ปลายหลอดหยดอยู่เหนือหลอดทดลองเล็กน้อย อย่าจุ่มหลอดหยดในสารละลายน้ำ อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนบนหลอดหยด

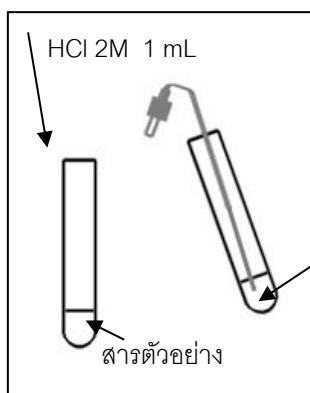
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



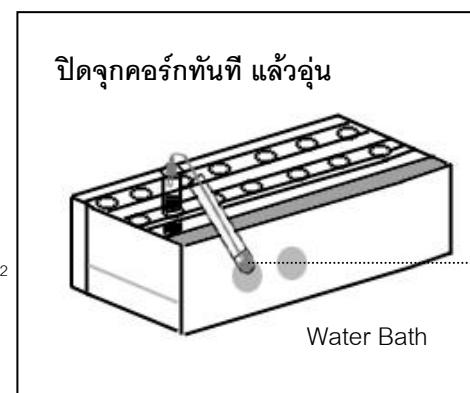
2. การทดสอบ CO_3^{2-}

นำสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองประมาณ 0.1 กรัม (ถ้าเป็นสารละลายให้ใช้ 1 mL) ดำเนินการทดสอบดังต่อไปนี้

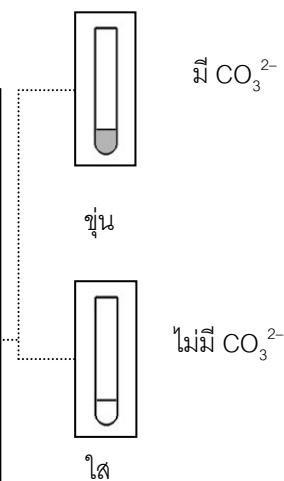
- ใส่ $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 2 mL ลงในหลอดทดลองเปล่า และวางหลอดน้ำแก๊สที่มีจุกคอร์กเลี่ยบอยู่ในหลอดทดลอง ดังรูปที่ 3 หลังจากนั้นจึงหยด HCl 2 M 1 mL ลงในสารตัวอย่าง ปิดจุกคอร์กแล้วนำไปคุณบน water bath ทันที ดังรูปที่ 4
- สังเกตสารละลาย $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ในหลอดทดลองที่มีปลายหลอดน้ำแก๊สจุ่มอยู่ ถ้าสารละลายขุ่นแสดงว่ามี CO_3^{2-}



รูปที่ 3

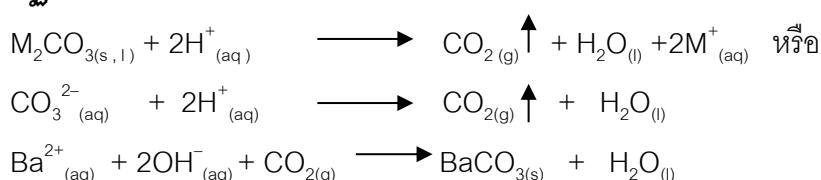


รูปที่ 4



คำถาม สารละลายที่ขุ่นมีต特กอนของสารประกอบได้เขวนลดอยอยู่

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



3. การทดสอบ Cl^- , Br^- และ I^-

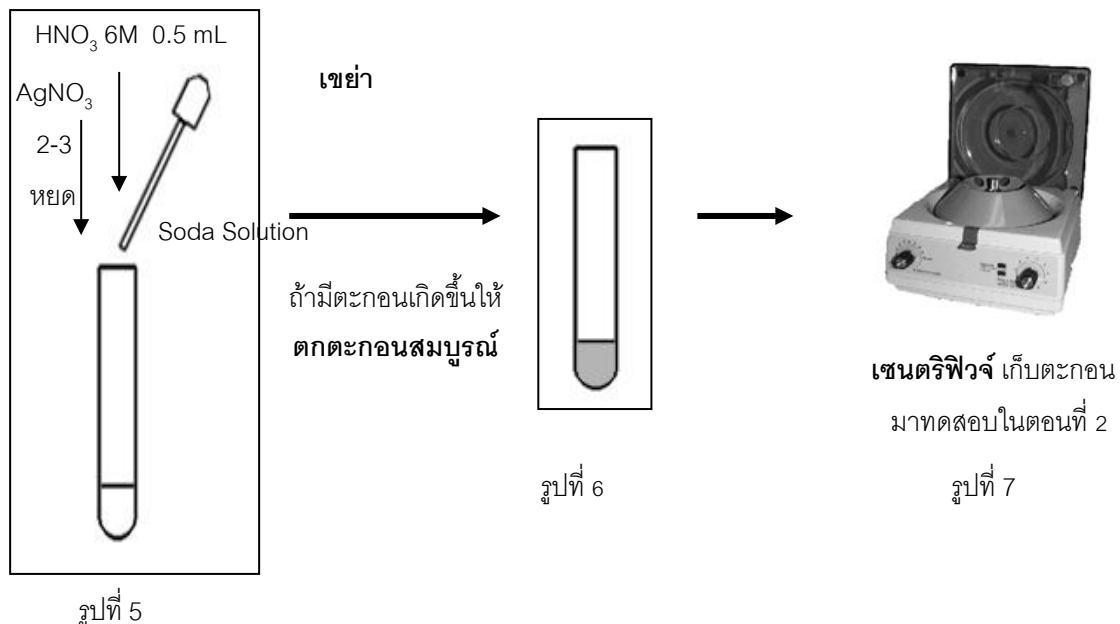
ตอนที่ 1 การทดสอบรวม

นำ Soda-solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง ดำเนินการทดสอบเป็นขั้นตอนดังนี้

- หยด HNO_3 6 M 0.5 mL (ประมาณ 10 หยด) แล้วตามด้วย AgNO_3 0.1 M 2-3 หยด ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5

- ถ้ามีต特กอนเกิดขึ้นให้ตกลงตอกอนสมบูรณ์แล้วนำสารละลายทั้งหมดมา เช่นติวิจเพื่อแยกต特กอนไว้ทดสอบต่อไป

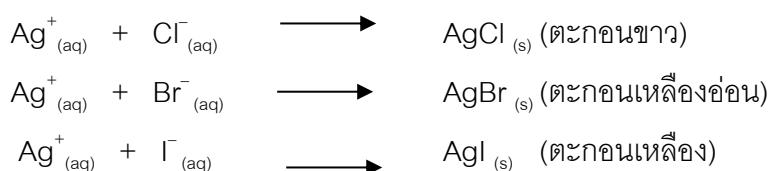


รูปที่ 5

หมายเหตุ (1) การตักตะกอนสมบูรณ์ นำสารละลายที่มีตะกอนแขวนลอยไปเซนต์ริฟิวจ์ หยดวีโอล์ฟท์ที่เป็นตัวทำให้ตักตะกอนลงบนสารละลายใส่หนึ่งอัตราของในหลอดทดลอง 1-2 หยด ถ้าสารละลายไม่ผ่านหมายถึงการตักตะกอนเกิดขึ้นสมบูรณ์แล้ว แต่ถ้าสารละลายชั่น ต้องเติมวีโอล์ฟท์เพิ่มเติมจนกว่าทั้งเมื่อทดสอบตามวิธีข้างต้นแล้ว สารละลายใส่ไม่ผ่าน

(2) การเซนต์ริฟิวจ์ (ดังภาคผนวก ๑) นำหลอดทดลองซึ่งบรรจุสารละลายที่มีตะกอนแขวนลอยใส่ในช่องบรรจุหลอดในเครื่องเซนต์ริฟิวจ์ สิ่งที่สำคัญ คือ ต้องบรรจุหลอด 2 หลอด ที่มีขนาดเดียวกันและมีของเหลวระดับเท่ากัน (ไม่เกินครึ่งหลอด) ในตำแหน่งตรงกันข้ามในเครื่องเซนต์ริฟิวจ์ เสมอ

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

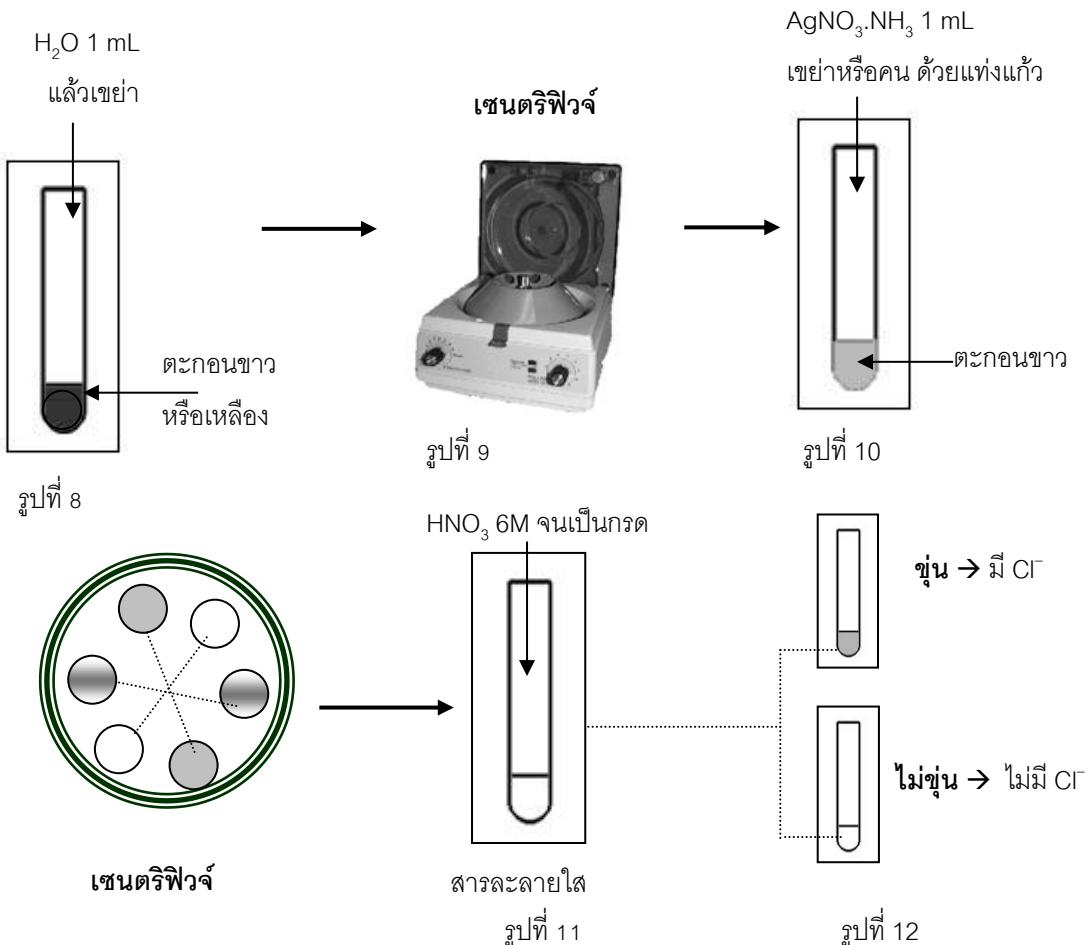


ตอนที่ 2 การทดสอบเฉพาะของ Cl^{-}

นำตะกอนที่ได้จากการเซนต์ริฟิวจ์ของตอนที่ 1 มาดำเนินการทดสอบเฉพาะดังต่อไปนี้

- นำสารละลายทั้งหมดไปเซนต์ริฟิวจ์ วินสารละลายใส่ทิ้ง นำเฉพาะตะกอนมาทดสอบโดยหยด AgNO_3 , NH_3 1 mL เขย่าหรือคนด้วยแท่งแก้วดังรูปที่ 10 หลังจากนั้นจึงเอาสารละลายทั้งหมดไปเซนต์ริฟิวจ์

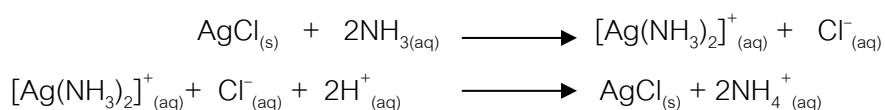
๗. นำเฉพาะสารละลายใส่ ดังรูปที่ 11 มาหยด HNO_3 6 M จนมีฤทธิ์เป็นกรด ถ้ามีตะกอนขุ่นขาวแสดงว่ามี Cl^-



หมายเหตุ (1) การล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น ทำโดยเติมน้ำกลั่นจำนวนพอเหมาะสมในตะกอน เขย่า แล้วนำไปเป็นเซนติฟิวจ์ ค่อยๆ รินสารละลายใส่ทึ้งหรือใช้หลอดหยดที่สะอาดดูดสารละลายใส่ทึ้งไป นำตะกอนที่เหลือไปทดสอบต่อไป

(2) การทดสอบว่าสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด ทำโดยใช้แห้งแก้วคนสารละลายแล้วนำมาแตะกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินที่วางอยู่บนกระจากนาฬิกา ถ้าลิตมัสเปลี่ยนเป็นสีแดงแสดงว่าสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดแล้ว

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

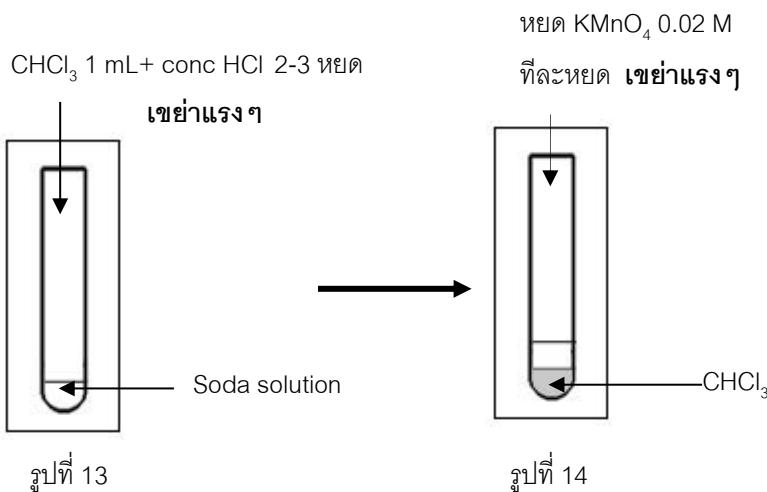


ตอนที่ 3 การทดสอบเฉพาะของ Br^- และ I^-

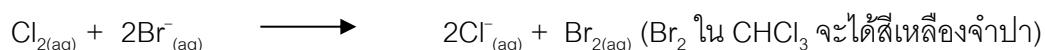
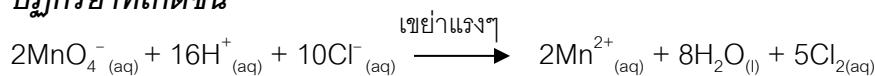
นำ Soda-solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วนำมาดำเนินการทดสอบดังนี้

ก. เติม CHCl_3 1 mL และ conc HCl 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน

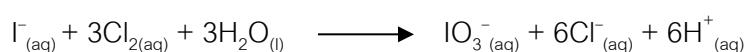
ข. เติม KMnO_4 0.02 M 1-2 หยด เขย่าแรงๆ ถ้าสังเกตเห็นสีม่วงแดงในชั้น CHCl_3 แสดงว่า มี I^- เต็มถ้วยได้สีเหลืองจำปา แสดงว่ามี Br^- ดังรูปที่ 14 ถ้าสังเกตเห็นสีม่วงแดงก่ออนในตอนแรกแล้วกล้ายเป็นสีเหลืองจำปาในตอนหลัง แสดงว่ามีทั้ง I^- และ Br^-



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



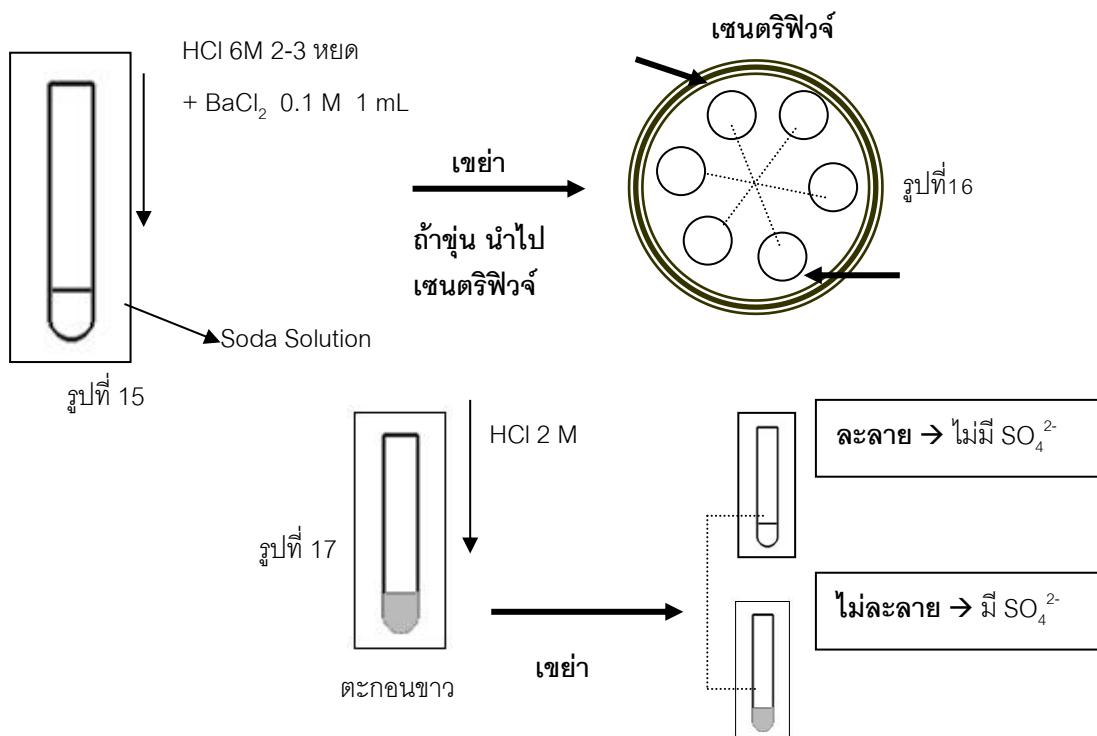
ข้อควรระวัง ในกรณีที่เติมสารละลาย KMnO_4 0.02 M ลงไปครึ่งลิตรมากๆ เกินพอก ถึงแม้จะมี I^- และ Br^- ก็ตาม จะทดสอบไม่พบสีม่วงแดงหรือสีจำปาในชั้น CHCl_3 เพราะ I^- และ Br^- ถูกออกซิได้เป็น IO_3^- และ BrO_3^- ซึ่งไม่มีสี ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



4. การทดสอบ SO_4^{2-}

นำ Soda-Solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง และวน้ำมาทดสอบเป็นขั้นตอนดังนี้

ก. หยด HCl 6 M 2-3 หยด และ BaCl_2 0.1 M 1 mL (รูปที่ 15) เขย่าสารละลาย ถ้าเกิดตะกอนขาวให้นำไป เช่นติพิวจ์ (รูปที่ 16)



ข. นำเฉพาะตะกอนขาวมาทดสอบต่อไป โดยหยด HCl 2 M ประมาณ 5 หยด เขย่า ถ้าตะกอนไม่ละลาย แสดงว่ามี SO_4^{2-}

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



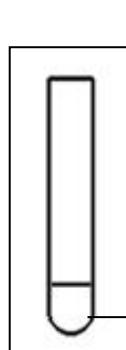
หมายเหตุ	การทดสอบว่าตะกอนละลายหรือไม่	ให้ เช่นติพิวจ์สารละลายขุ่น
ค่อยๆ รินสารละลายใส่ทิ้ง นำเฉพาะตะกอนมาทดสอบการละลาย โดยหยดตัวทำละลายที่ต้องการทดสอบลงในตะกอน สังเกตการเปลี่ยนแปลง ถ้าตะกอนละลายหมด หรือหายไปบางส่วน แสดงว่าตะกอนละลาย ถ้าปริมาณตะกอนไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่า ตะกอนไม่ละลาย	โดยหยดตัวทำละลาย	ให้ เช่นติพิวจ์สารละลายขุ่น

5. การทดสอบ PO_4^{3-}

นำ Soda-solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วนำมารำเนินการทดสอบดังนี้

ก. ใส่ HNO_3 6 M 1 mL และสารละลายน้ำ $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 5-6 หยด (ดังรูปที่ 18) เขย่าให้เข้ากัน

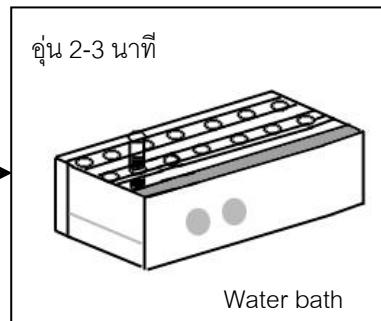
นำไปคุณบัน water bath 2-3 นาที ถ้าเกิดตะกอนสีเหลืองเข้ม แสดงว่ามี PO_4^{3-}



รูปที่ 18

HNO_3 6M 1 mL
 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 5-6 หยด

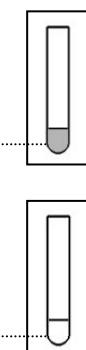
เขย่า



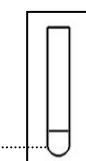
รูปที่ 19

อุ่น 2-3 นาที

Water bath

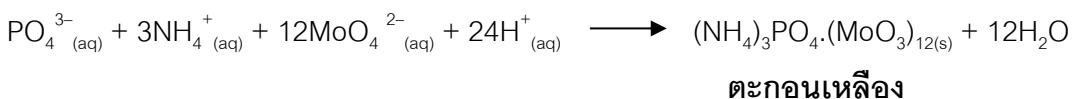


ตะกอนเหลือง
มี PO_4^{3-}



ไม่มีตะกอน
หรือ ตะกอนขาว
ไม่มี PO_4^{3-}

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น คือ



6. การทดสอบ NO_3^- (ต้องดำเนินการหลังการทดสอบ Br^- , Γ^- เสมอ)

ก. ถ้าไม่พบ Γ^- และ/หรือ Br^- ในข้อ 3 ตอนที่ 3

นำ Soda solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง นำมาดำเนินการทดสอบดังนี้

1. โดยเติม H_2SO_4 1 M 2-3 หยด และ FeSO_4 0.1 M 1 mL เขย่าแรงๆดังรูปที่ 20

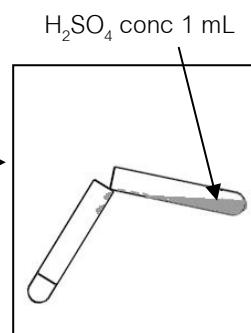
2. เอียงหลอดสารตัวอย่างไป 45° แล้วค่อยๆเท H_2SO_4 conc 1 mL ลงไปข้างๆ หลอด
ดังรูปที่ 21 สารละลายนี้จะแยกเป็นสองชั้น ถ้าเกิดวงแหวนสีน้ำตาลระหว่างชั้นของ
ของเหลวทั้งสอง ดังรูปที่ 22 แสดงว่ามี NO_3^-



รูปที่ 20

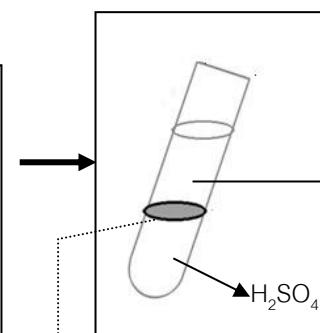
H_2SO_4 1 M 2-3 หยด
+ FeSO_4 0.1 M

เขย่า



รูปที่ 21

H_2SO_4 conc 1 mL



วงแหวนสีน้ำตาล แสดงว่า มี NO_3^-

รูปที่ 22

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



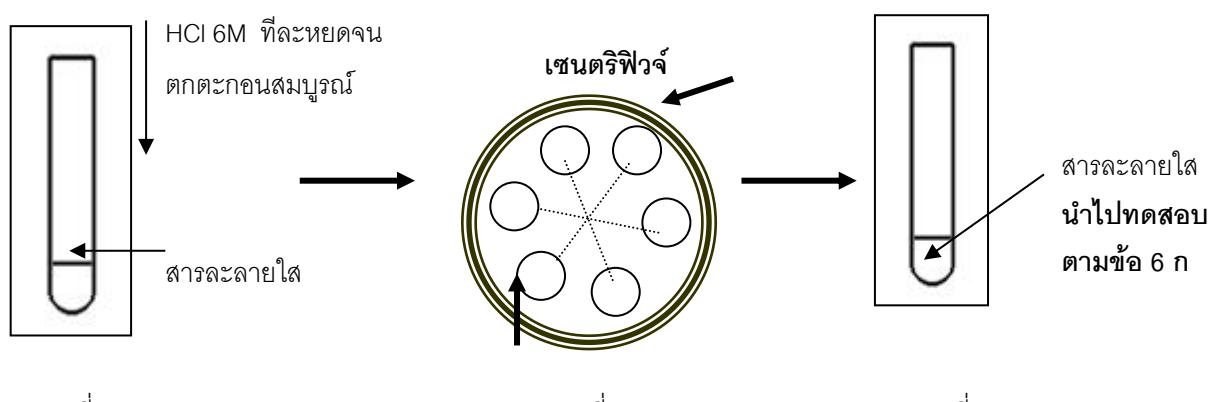
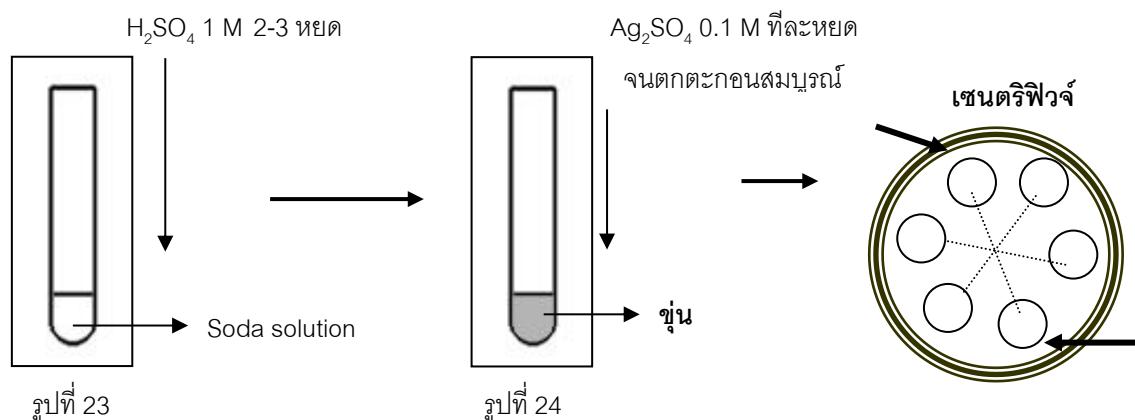
ข. ถ้าพบ Γ^- และ/หรือ Br^- ในข้อ 3 ตอนที่ 3

ต้องกำจัด Γ^- หรือ Br^- ออกก่อน เพราะหากนำไปทดสอบตามวิธีในข้อ 6a ไอออนทั้งสองนี้จะให้วงแหวนคล้ายกับ NO_3^- ทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจผิดว่าเป็น NO_3^-

วิธีกำจัด Γ^- หรือ Br^-

นำ Soda-solution 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วดำเนินการดังนี้

- เติม H_2SO_4 1 M 2-3 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติม Ag_2SO_4 0.1 M ทีละหยด จนแตกตะกรอนสมบูรณ์ ดังรูปที่ 23-24
- หลังเซนทริฟิวจ์ นำเฉพาะสารละลายใส่มาหยด HCl 6M ทีละหยดเพื่อกำจัด Ag^+ ที่เหลืออยู่ จนกว่าทั้งหมดจะแตกตะกรอนสมบูรณ์
- นำไปเซนทริฟิวจ์ และนำสารละลายใส่ไปทดสอบตามข้อ 6a ต่อไป



ปฏิกิริยาสำหรับการกำจัด I^- และ Br^-



และกำจัด Ag_2SO_4 ที่เหลือโดยเติม HCl



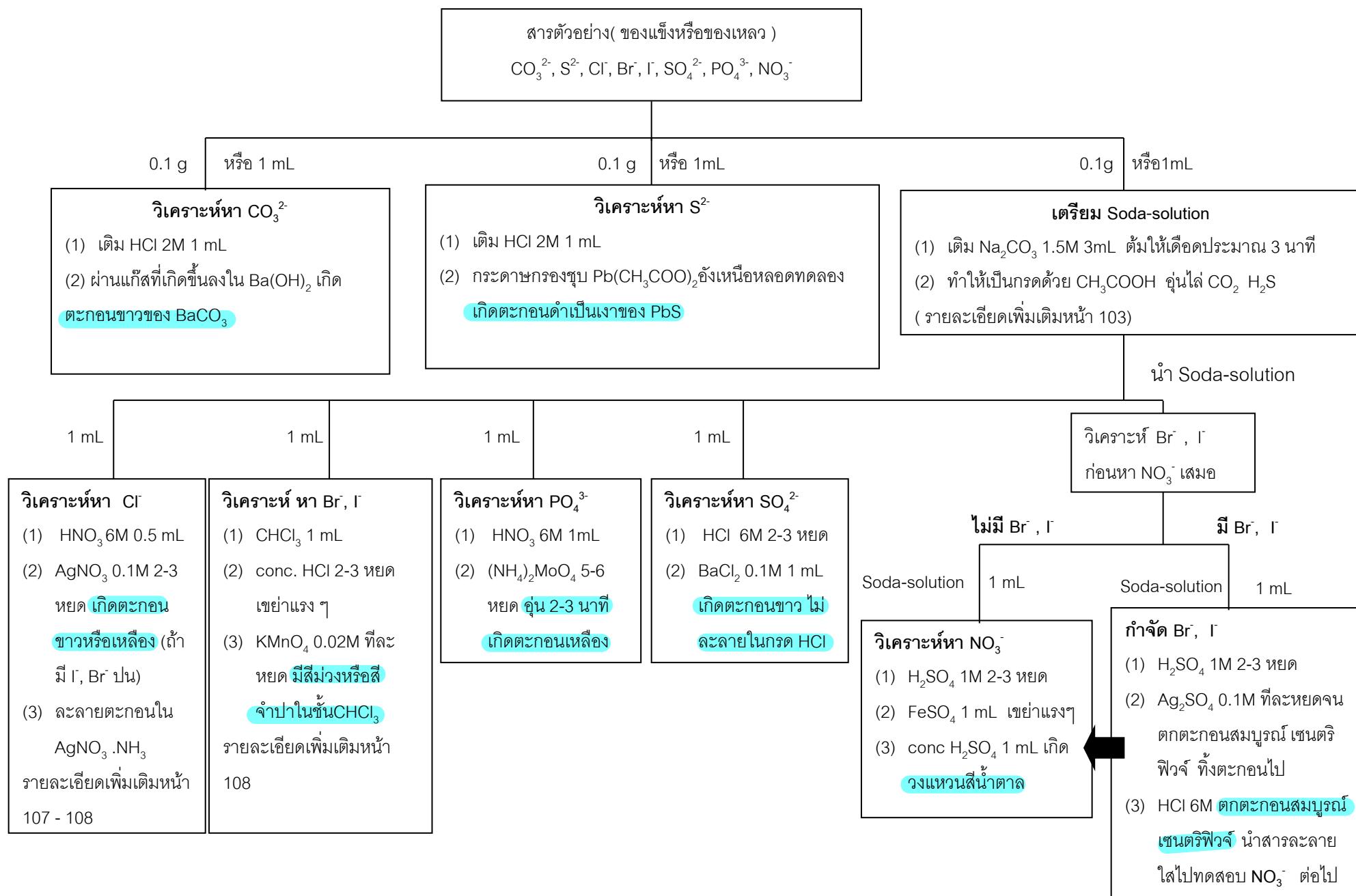
ชื่อสารเคมีสำหรับบทที่ 9 และ 10 (เพิ่มเติม)

สูตรเคมี	ภาษาอังกฤษ	ภาษาไทย
PbS	lead(II) sulfide	เดด(II) ซัลไฟด์
BaCO_3	barium carbonate	แบบเรียมคาร์บอนเนต
BaSO_4	barium sulfate	แบบเรียมซัลเฟต
$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot (\text{MoO}_3)_{12}$	ammonium phosphomolybdate	แอมโมเนียมฟอสฟومอลิบเดท
$[\text{FeNO}]^{2+}$	iron(II) nitrosyl complex	สารประกอบเชิงชั้นอนออกอวน(II) ในตัวชิล
PbCrO_4	lead(II) chromate	เดด(II) โครเมต
$[\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-}$	tetrahydroxoplumbate(II)	เททระไยดรอกโซฟลัมเบท(II)
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	diamminesilver(I)	ไดแอมมีนซิลเวอร์(I)
Hg_2Cl_2	mercurous chloride, mercury(I) chloride	เมโควาร์ส คลอไรด์, เมโควาร์(I) คลอไรด์
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$	aluminate, tetrahydroxylaluminate	อะลูมิเนต, เททระไยดรอกโซอะลูมิเนต
$\text{Al}(\text{OH})_3$	aluminum hydroxide	อะลูมิเนียมไไฮดรอกไซด์
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	zinc(II) tetraammine	ชิงค์(II) เททระแอมมีน
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	zincate, zinc(II) tetrahydroxide	ชิงเคท, ชิงค์(II) เททระไยดรอกโซช์ด
$\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	trizinc-dipotassium hexacyanoferrate(II)	ไตรชิงค์ไดโพแทสเซียม เอ็กซ์ไซยาโนเฟอร์เรต(II)
BaCrO_4	barium chromate	แบบเรียมโครเมต
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	dichromate	ไดโครเมต
$\text{Ni}(\text{OH})_2$	nickel(II) hydroxide	นิเกิล(II) ไไฮดรอกไซด์
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	hexaamminenickel(II)	เอ็กซ์แอมมีนนิเกิล(II)
$\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2\text{N}_2)_2$	nickel bis(dimethylglyoximate)	นิเกิล บิส(ไดเมทธิลไกลออกซิเมท)
$\text{Ni}(\text{DMG})_2$		
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	ferric hydroxide	เฟอร์วิกไไฮดรอกไซด์
$[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$	Iron(III) thiocyanate	ไอโรม(III) ไทดิโอไไซยาเนต
$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	potassium iron(III) hexacyanoferrate(II)	โพแทสเซียม ไอโรม(III) เอ็กซ์ไซยาโนเฟอร์เรต(II)

หมายเหตุ

- ตารางข้างบนนี้เป็นเพียงตัวอย่างการอ่านชื่อสารแบบหนึ่ง
- สามารถดูค้นเพิ่มเติมทางอินเทอร์เน็ตได้ เช่น pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

แผนผังแสดงการวิเคราะห์แอนิโอดอน



การทดลองที่ 9
การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแอนไฮดรออน

ทำการทดลอง วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ..... เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ.....เลขประจำตัว.....กลุ่มที่.....ลำดับที่.....

ตอนที่ 1 ผลการทดลองของ Control Test

บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเขียนสมการของปฏิกิริยาในช่องที่กำหนด

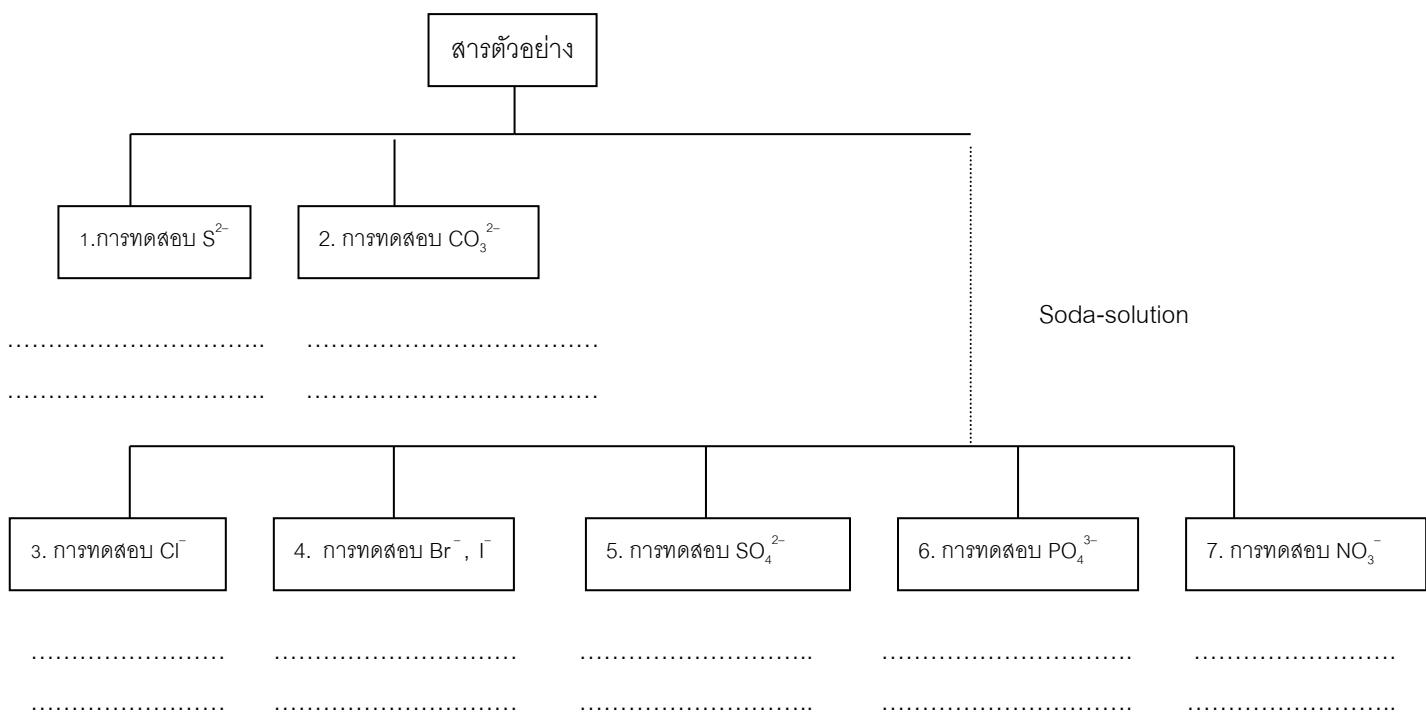
การทดสอบ	ผลการทดลอง	
	สีที่สังเกตเห็น	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
1. ไอโอน S^{2-} (1) เติม HCl 2.0 M 1 mL (2) กระดาษกรองซุบ $Pb(CH_3COO)_2$ จังเห็นออก หลอดทดลอง		
2. ไอโอน CO_3^{2-} (1) เติม HCl 2.0 M 1 mL (2) ผ่านแก๊สที่เกิดขึ้นลงใน $Ba(OH)_2$		
3. ไอโอน Cl^- , Br^- , I^- <u>ตอนที่ 1</u> (1) HNO_3 6.0 M 0.5 mL + $AgNO_3$ 0.1 M 2-3 หยด		
<u>ตอนที่ 2</u> (1) ละลายตะกอนใน $AgNO_3 \cdot NH_3$ (2) หยด HNO_3 6.0 M ลงในสาร ละลายใส่จากข้อ 1		
<u>ตอนที่ 3</u> (1) $CHCl_3$ 1 mL + conc. HCl 2-3 หยด เขย่าแรง ๆ (2) $KMnO_4$ 0.02M ที่ละหยด		
4. ไอโอน SO_4^{2-} (1) HCl 6M 2-3 หยด (2) $BaCl_2$ 0.1M 1 mL (3) หยดกรด HCl 2 M ลงในตะกอน		

5. ไอโอดิน PO_4^{3-} (1) HNO_3 6M 1mL (2) $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 5-6 หยด อุ่น 2-3 นาที		
6. ไอโอดิน NO_3^- (1) H_2SO_4 1M 2-3 หยด (2) FeSO_4 1 mL เขียวแลงก์ conc H_2SO_4 1 mL		

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบสารตัวอย่าง

บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นในช่องว่างใต้หัวข้อการทดสอบ

สารตัวอย่างเลขที่



สรุป แอนไฮเดรตในสารตัวอย่าง คือ

การทดลองที่ 10

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแคนท์ไอโอน

(Qualitative Analysis for Cations)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- ศึกษาปฏิกิริยาการตกตะกอน การเกิดสารเขิงข้อของแคนท์ไอโอนบางชนิด
- ศึกษาปฏิกิริยาสำหรับการทดสอบเฉพาะของแคนท์ไอโอนบางชนิด
- ฝึกทักษะเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแคนท์ไอโอน

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารละลายนեตรดของ Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} และ Al^{3+} ความเข้มข้น 0.1 M
- สารละลายน HCl 6.0 M
- สารละลายน HNO_3 6.0 M
- สารละลายน CH_3COOH 6.0 M
- สารละลายน NaOH 6.0 M
- สารละลายน NH_3 6.0 M
- สารละลายนโพแทสเซียมโครเมต (potassium chromate, K_2CrO_4) 0.1 M
- สารละลายนแบเรียมคลอไรด์ (barium chloride, BaCl_2) 1.0 M
- สารละลายนโพแทสเซียม เอกซ์ไซยาโนเฟอร์เรต(II)
(potassium hexacyanoferrate(II), $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$) 0.2 M
- สารละลายนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) 3% v/v
- สารละลายนอมโมเนียมคลอไรด์ (ammonium chloride, NH_4Cl) 4.0 M
- สารละลายนโพแทสเซียมไทโอลไซยาเนต (potassium thiocyanate, KSCN) 1.0 M
- สารละลายนไดเมทธิลไกลอออกซีม (dimethylglyoxime, DMG)
- สารละลายน catechol violet (catechol violet)
- หลอดทดลองขนาด 10 mL
- โซเดียมบิสมัทเทต (sodium bismuthate, NaBiO_3)

ทฤษฎี

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการตรวจชนิดของสาร สำหรับการวิเคราะห์ชนิดของแคนท์ไอโอนนั้นเริ่มต้นด้วยการแยกไอโอนออกเป็นกลุ่มตามสมบัติของ

สารประกอบที่คล้ายคลึงกัน เช่น กลุ่ม 1 มี Ag^+ , Hg_2^{2+} และ Pb^{2+} แคทไอโอนหั้งสามชนิดรวมกับคลอไรด์ไอโอนได้ตະกອນของสารประกอบคลอไรด์จึงสามารถแยกแคลท์ไอโอนกลุ่มนี้ออกจากไอโอนอื่นๆ ได้โดยการเติมวีเอเจนต์สำหรับตະกອນ ได้แก่สารละลาย HCl

สารที่ละลายได้	ข้อยกเว้น	
	ไม่ละลาย	ละลายได้เล็กน้อย
1. เกลือของ Na^+ , K^+ และ NH_4^+	ไม่มี	ไม่มี
2. เกลือไนเตรต (NO_3^-)	ไม่มี	ไม่มี
3. เกลือเปอร์คลอเรต (ClO_4^-)	ไม่มี	ไม่มี
4. เกลือฟลูออไรด์ (F^-)	Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+}	ไม่มี
5. เกลือคลอไรด์ บرومายด์ และไอโอดีด (Cl^- , Br^- , I^-)	AgX , Hg_2X_2 , PbI_2 , CuI , HgI_2	PbCl_2 , PbBr_2
6. เกลือซัลเฟต (SO_4^{2-})	Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+}	Ca^{2+} , Ag^+ , Hg_2^{2+}
7. เกลือแอซีเตต (CH_3CO_2^-)	ไม่มี	Ag^+ , Hg_2^{2+}

สารที่ไม่ละลาย	ข้อยกเว้น	
	ละลายได้	ละลายได้เล็กน้อย
1. คาร์บอเนต (CO_3^{2-})	Na^+ , K^+ และ NH_4^+	ไม่มี
2. ฟอสเฟต (PO_4^{3-})	Na^+ , K^+ และ NH_4^+	ไม่มี
3. ชัลไฟด์ (S^{2-})	Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} และ NH_4^+	ไม่มี
4. ไฮdroอกไซด์ (OH^-)	Na^+ , K^+ , Ba^{2+} และ NH_4^+	Ca^{2+} , Sr^{2+}

หมายเหตุ สารที่ละลายได้ หมายถึงสารที่มีสภาพการละลายต่อโมลมากกว่า 0.1 M ส่วนสารที่ไม่ละลาย หมายถึงสภาพการละลายต่อโมลน้อยกว่า 0.01 M

ประเภทของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องในกราวิเคราฟ์เชิงคุณภาพได้แก่ปฏิกิริยาการตกละกອນ การเกิดสารเชิงซ้อน ปฏิกิริยาเริดอกซ์ และปฏิกิริยาระหว่างกรดเบส สำหรับวิธีการที่ใช้ปั๊บชี้ชนิดของไอโอนในกราวิเคราฟ์เชิงคุณภาพ คือการสังเกตการเปลี่ยนสี การเกิดแก๊ส การตกตะกอน หรือการละลาย ตะกอนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้น

ปฏิกิริยา	ตัวอย่าง	สิ่งที่สังเกตได้
1. การตกตะกอน	$\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \rightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})}$	เกิดตะกอนขาวของ $\text{AgCl}_{(\text{s})}$
2. การเกิดสารเชิงช้อน	$\text{Cr(OH)}_{3(\text{s})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})} \rightarrow [\text{Cr(OH)}_4]^-_{(\text{aq})}$	ตะกอนเขียวละลาย
3. ปฏิกิริยาเริดอกซ์	$5\text{BiO}_3^-_{(\text{aq})} + 14\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})} \rightarrow 5\text{Bi}^{3+}_{(\text{aq})} + 2\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})} + 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	สารละลายเปลี่ยนสีจากไม่มีสีเป็นม่วงแดง
4. ปฏิกิริยากรด-เบส	$\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{OH}^-_{(\text{aq})} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	กระดาษคลิมัสไม่เปลี่ยนสี

หลักการทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยแคทไอโอน 9 ชนิด คือ Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} และ Al^{3+} โดยการแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามสมบัติของสารประกอบที่คล้ายคลึงกันได้ดังนี้

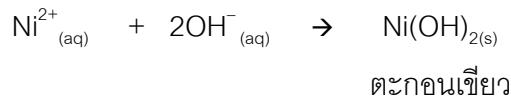
- เกลือคลอไรด์ ได้แก่ AgCl , Hg_2Cl_2 , PbCl_2
- สารประกอบไฮดรอกไซด์และออกไซด์ Fe(OH)_3 , Ni(OH)_2 , $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
- ไอโอนเชิงช้อนไฮดรอกโซ (hydroxo complex ion) $[\text{Cr(OH)}_4]^-$, $[\text{Pb(OH)}_4]^{2-}$, $[\text{Al(OH)}_4]^-$, $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$
- ไอโอนเชิงช้อนแอมมีน (ammine complex ion) ได้แก่ $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$

แยกแคทไอโอนแต่ละชนิดออกเป็นกลุ่มๆ ได้ด้วยการเติมวีเอเจนต์สำหรับการตกตะกอน หรือวีเอเจนต์สำหรับการเกิดสารเชิงช้อนดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 ใช้ HCl 6M เป็นวีเอเจนต์สำหรับตกตะกอนคลอไรด์ จะได้ตะกอนขาวของ Ag^+ , Pb^{2+} และ Hg_2^{2+} ดังสมการ



กลุ่มที่ 2 ใช้ NaOH 6M เป็นวีเอเจนต์สำหรับตกตะกอนไฮดรอกไซด์ของ Ni^{2+} , Mn^{2+} และ Fe^{3+} ดังสมการ



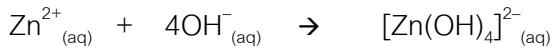
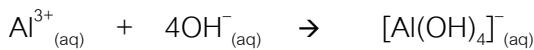


ตะกอนสีครีม ตะกอนดำ

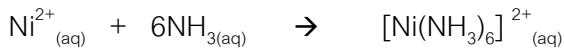


ตะกอนน้ำตาลแดง

กลุ่มที่ 3 ใช้ NaOH 6M เป็นวีโโเจนต์สำหรับการเกิดสารเชิงชั้นไฮดรอกซิของ Al^{3+} , Zn^{2+} สำหรับ Cr^{3+} เมื่อเติม H_2O_2 ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี Cr(OH)_3 จะถูกออกซิไดส์เป็น CrO_4^{2-} (สารละลายสีเหลือง) ดังสมการ

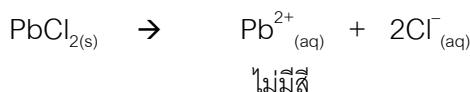


กลุ่มที่ 4 ใช้ NH_3 เป็นวีโโเจนต์สำหรับการเกิดสารเชิงชั้นแอมมีนของ Ni^{2+}

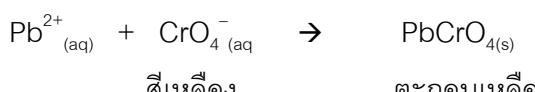


การทดสอบเฉพาะของแคทไอออน Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}

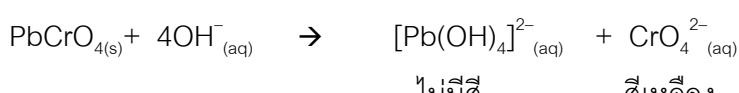
1. $\text{PbCl}_{2(\text{s})}$ ละลายได้ในน้ำร้อน และจะรวมตัวกับ CrO_4^{2-} ได้ตะกอนเหลืองของ PbCrO_4 ซึ่งจะละลายได้ในสารละลาย NaOH ดังสมการ



ไม่มีสี



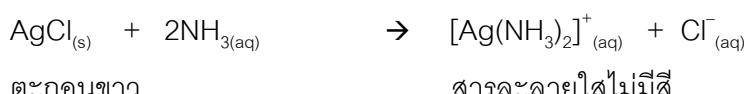
สีเหลือง ตะกอนเหลือง



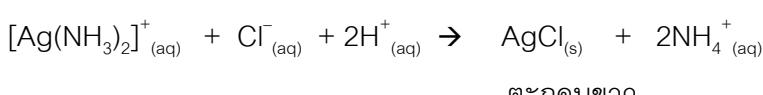
ไม่มีสี

สีเหลือง

2. $\text{AgCl}_{(\text{s})}$ ละลายได้ในสารละลาย NH_3 ที่มากเกินพอ ได้สารละลายไม่มีสีของ $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ เมื่อเติม HNO_3 จนมีฤทธิ์เป็นกรดจะได้ตะกอนขาวของ $\text{AgCl}_{(\text{s})}$ กลับคืนมาดังสมการ

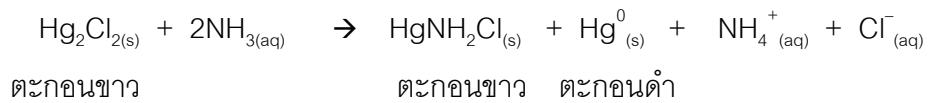


ตะกอนขาว สารละลายใส่ไม่มีสี



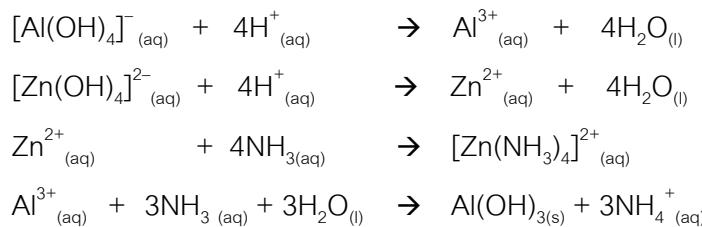
ตะกอนขาว

3. Hg_2Cl_2 ไม่ละลายในสารละลาย NH_3 แต่ Hg_2^{2+} เกิดปฏิกิริยา disproportionation ให้ Hg^0 และ HgNH_2Cl ทำให้สังเกตเห็นตะกอนสีเทาดำ



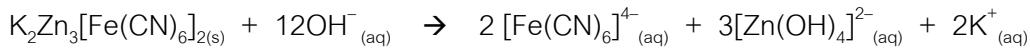
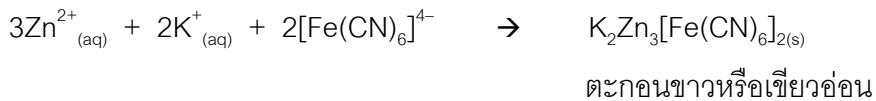
การทดสอบเฉพาะของแคนท์ไอออน Al^{3+} , Cr^{3+} และ Zn^{2+}

1. ทำสารละลายให้มีฤทธิ์เป็นกรดด้วย CH_3COOH 6M ซึ่ง $[\text{Al(OH)}_4]^-$ และ $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$ จะเปลี่ยนเป็น $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ และ $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ และเมื่อเติม NH_3 6 M มากเกินพอ เนพาะ $\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ เท่านั้นที่จะรวมตัวกับ NH_3 เกิดไอโอนเขิงข้อน $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}_{(\text{aq})}$ ส่วน Al^{3+} จะรวมตัวกับ OH^- ที่มาจากการแตกตัวของสารละลายของ NH_3 ได้ตากอนวุ้นขาวของ Al(OH)_3 สำหรับ CrO_4^{2-} ไม่เปลี่ยนแปลง



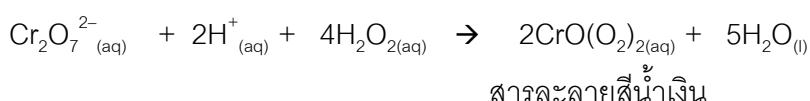
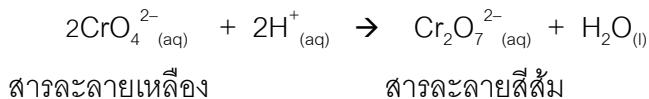
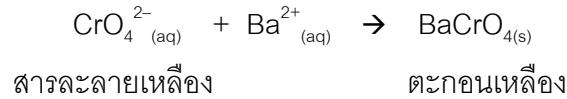
2. ทดสอบ Zn^{2+} ด้วย $K_4[Fe(CN)_6]$ จะได้ตัวกอนขาวหรือเขียวอ่อนของ $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ ซึ่งละลายได้ใน

NaOH 6 M



3. ส่วน Al^{3+} ทดสอบได้โดยละลายตะกอน Al(OH)_3 พอดีใน CH_3COOH 6 M ลดความเป็นกรดของสารละลายน้ำแข็ง และเติม catechol violet จะได้สารละลายน้ำเงิน

4. การทดสอบ CrO_4^{2-} ทำได้โดยการเติม BaCl_2 จะได้ตากอนเหลืองของ BaCrO_4 หรือหยดกรด HNO_3 ลงในสารละลายนี้จะได้ CrO_4^{2-} จะได้ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (สีส้ม) ซึ่งทำปฏิกิริยากับสารละลายน้ำออกไซด์ H_2O_2 ในกรดจะได้สารละลายสีน้ำเงินของ $\text{CrO}(\text{O}_2)_2$ (chromium pentoxide) (จากน้ำยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์)

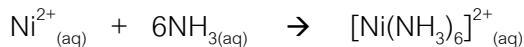


การทดสอบเบตาของแคนท์ไอโอน Mn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+}

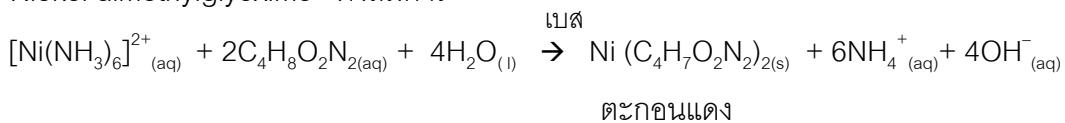
1. ตະกອນໄයดรอกไชด์ของไอโอนทั้งสามชนิดละลายใน HNO_3 6 M และ HCl 6M ได้สารละลายของ Mn^{2+} , Fe^{3+} และ Ni^{2+} ดังสมการ



2. เติม NH_4Cl 4 M และ NH_3 15 M Ni^{2+} จะรวมตัวกับ NH_3 เป็นสารเชิงช้อน $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ ส่วน Fe^{3+} และ Mn^{2+} รวมตัวกับ OH^- (สารละลาย NH_3 แตกตัว) ได้ตະกອนໄයดรอกไชด์เหมือนเดิม

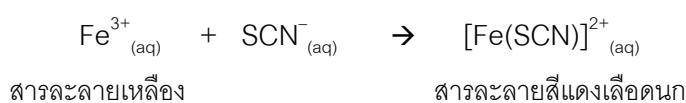


3. ทดสอบ Ni^{2+} ด้วย DMG (dimethyl glyoxime, $C_4H_8O_2N_2$) จะได้ตະกອนสีแดงของ Nickel dimethylglyoxime ดังสมการ

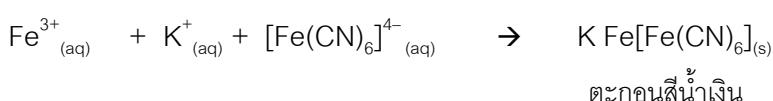


4. ทดสอบ Fe^{3+} และ Mn^{2+} โดยละลาย ตະกອนของ $Fe(OH)_3$ และ $MnO_2 \cdot xH_2O$ ใน HCl 6 M และ HNO_3 6 M แบ่งสารละลายเป็น 3 ส่วน ในส่วนที่ 1,2 ใช้ทดสอบ Fe^{3+} โดยส่วนที่ 1 เติม $KSCN$ 1 M และส่วนที่ 2 เติม $K_4[Fe(CN)_6]$ 0.1 M จะได้สารละลายสีแดงเลือดนก ของ $[Fe(SCN)]^{2+}$ และตະกອนสีน้ำเงินของ $KFe[Fe(CN)_6]$ ตามลำดับ และในส่วนที่ 3 ทดสอบ Mn^{2+} โดยเติม HNO_3 6 M คุณแล้วเติม $NaBiO_3$ (ของแข็ง) จะได้สารละลายสีม่วงแดงของ MnO_4^-

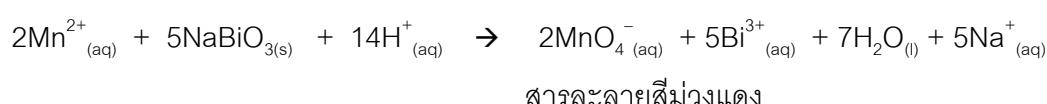
ส่วนที่ 1



ส่วนที่ 2



ส่วนที่ 3



การทดลอง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบกับสารจริง (control test) โดยใช้สารละลายในเทเรตของ Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} และ Al^{3+} ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์สารตัวอย่างในสภาพของแข็ง หากสารละลายของสารตัวอย่างแล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบ การ

ทดลองนี้ได้ดัดแปลงการเลือกตัวทำละลายของสารเพื่อความเหมาะสมดังวิธีเลือกในตอนล่าง
หลังจากนั้นให้ดำเนินการวิเคราะห์สารตัวอย่างเป็น 4 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การแยกแคลห์ออกอน Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} และ Al^{3+}

ออกเป็นกลุ่ม ๆ

ตอนที่ 2 การทดสอบเฉพาะของแคลห์ออกอน Ag^+ , Hg_2^{2+} และ Pb^{2+}

ตอนที่ 3 การทดสอบเฉพาะของ Ni^{2+} , Fe^{3+} และ Mn^{2+}

ตอนที่ 4 การทดสอบเฉพาะของ Zn^{2+} , Cr^{3+} และ Al^{3+}

วิธีเลือกตัวทำละลาย

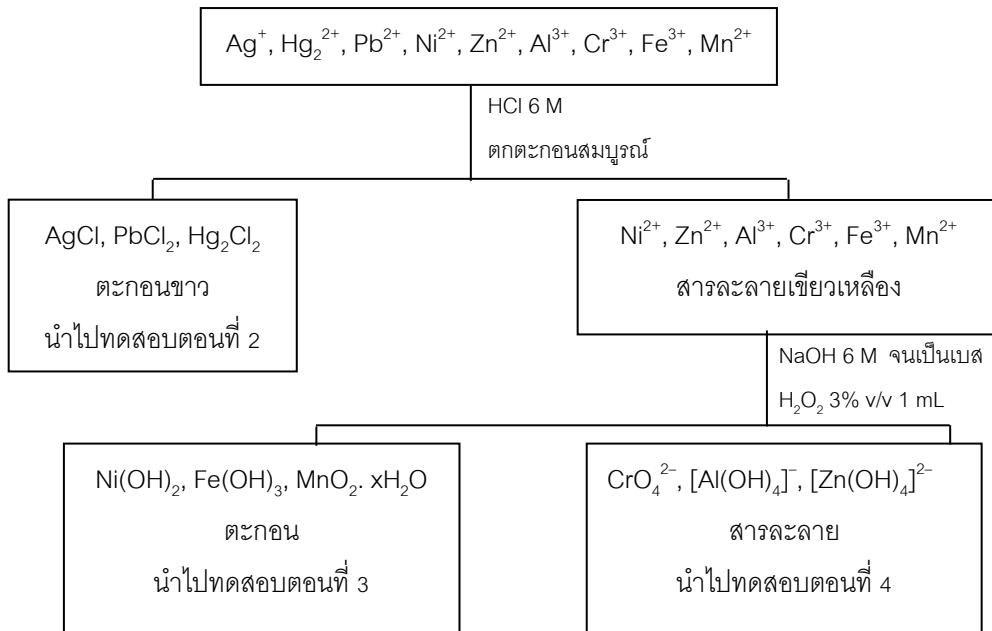
นำสารตัวอย่างประมาณ 10 mg (เม็ดถ้วนเยียว) ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำเป็นตัวทำละลาย
ประมาณ 1 mL เขย่าหรือใช้แท่งแก้วคนสักครู่ ถ้าไม่ละลายให้นำไปคุนในถ้วยน้ำเดือด ประมาณ 2 –
3 นาที พร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราว ถ้าสารตัวอย่างไม่ละลายหรือละลายไม่หมดให้นำสารตัวอย่างมา
ใหม่ แล้วเปลี่ยนตัวทำละลายตามลำดับต่อไปนี้

1. น้ำ
2. HCl 2.0 M
3. HNO_3 2.0 M

ตอนที่ 1 การแยกแคลห์ไอโอน Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} และ Al^{3+} ออกเป็นกสุ่มๆ

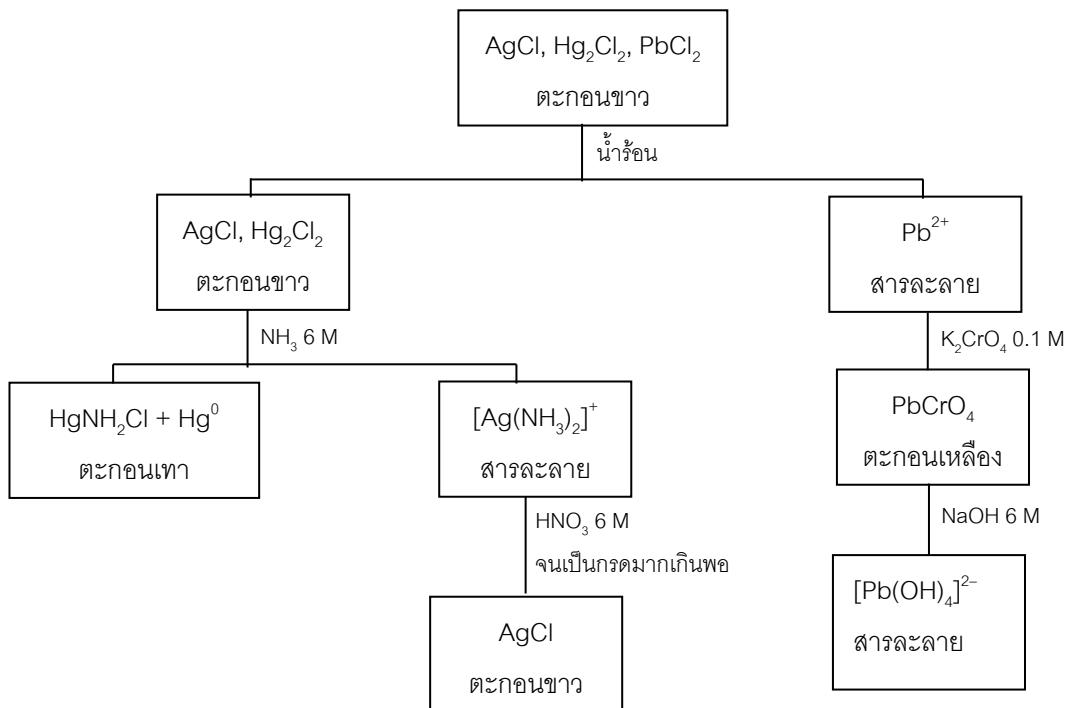
หยด 6 M HCl 1-2 หยดลงในสารละลายตัวอย่าง 1 mL ถ้ามีตะกอนขาวเกิดขึ้น ให้เติม HCl จนตกตะกอนสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำไป เช่น ตัวพิวจ์แล้วแยกตะกอนขาวออกจากสารละลาย

ตะกอนขาว	สารละลาย	
$\text{AgCl}_{(s)}$, $\text{PbCl}_{2(s)}$ และ $\text{Hg}_2\text{Cl}_{2(s)}$ นำไปทดสอบในตอนที่ 2	หยด 6 M NaOH ทีละหยดจนสารละลายมีฤทธิ์เป็นเบส (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสสีแดง) และเติม NaOH ให้มากเกินพออีก 0.5 mL นำสารละลายไปอุ่นประมาณ 2 นาที หลังจากนั้นเติม 3% H_2O_2 1 mL เทสารละลายใส่ในชามกระเบื้องแล้วนำไปอุ่นจนปริมาณคราลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง หลังจากนั้นนำไป เช่น ตัวพิวจ์เพื่อยกตะกอนและสารละลาย	
ตะกอน Ni(OH)_2 (เขียว), Fe(OH)_3 (น้ำตาลแดง), $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ (ดำ) นำไปทดสอบตอนที่ 3	CrO_4^{2-} (เหลือง), $[\text{Al(OH)}_4]^-$ (ไม่มีสี), $[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$ (ไม่มีสี)	สารละลาย นำไปทดสอบตอนที่ 4



ตอนที่ 2 การทดสอบเฉพาะของแคทไออ่อน Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}

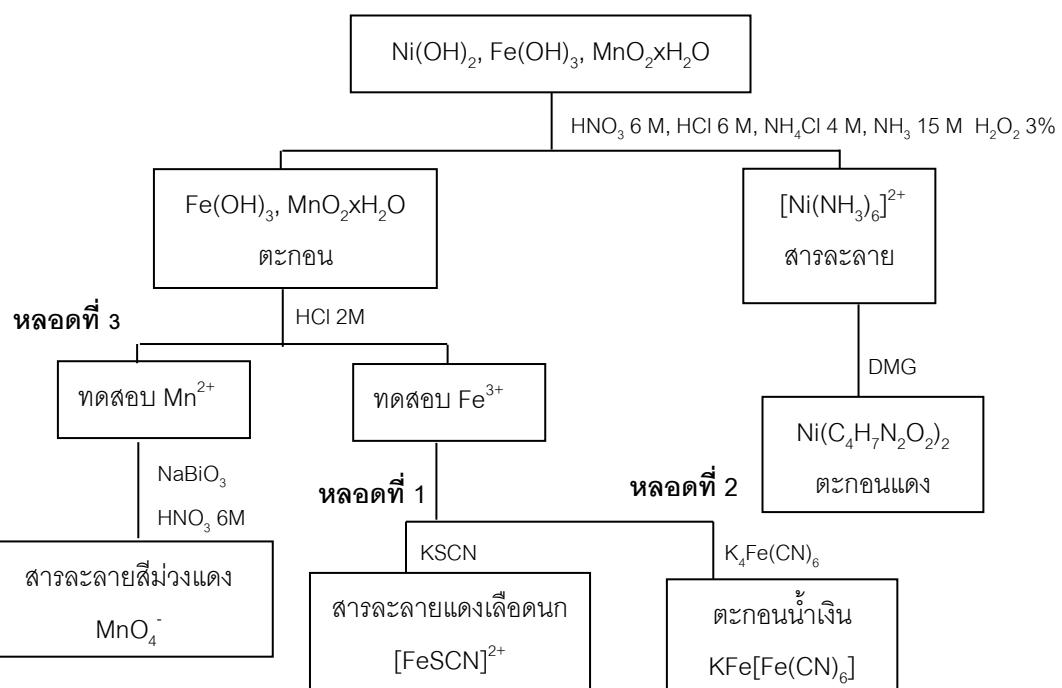
ตะกอนขาว AgCl , Hg_2Cl_2 , PbCl_2	
นำตะกอนขาวจากกราฟดลงตอนที่ 1 มาละลายด้วยน้ำร้อน โดยเติมน้ำกลัน 1 mL ลงในตะกอนแล้วนำไปคุ่นบ่นอย่างน้ำร้อนพร้อมคนด้วยแท่งแก้วแรงๆ ถ้ามีตะกอนให้นำไป เช่น ตริฟิวจ์ ขณะร้อนแล้วทำการแยกตะกอนกับสารละลาย	
ตะกอนขาว AgCl , Hg_2Cl_2 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 2 mL อีก 1 ครั้ง แล้ว หยด 6M NH_3 1 mL ที่ละหมัดลงบนตะกอน ใช้ แท่งแก้วคนสารละลาย ถ้ามีตะกอนให้นำไป เช่น ตริฟิวจ์	สารละลาย Pb^{2+} หยด 0.1 M K_2CrO_4 2-3 หยด ลงในสารละลาย ถ้ามีตะกอนเหลืองเกิดขึ้นให้นำไป เช่น ตริฟิวจ์ ทำการแยกตะกอนออกจากสารละลาย นำ เฉพาะตะกอนมาละลายใน 6 M NaOH มาก เกินพอก ถ้าตะกอนละลายใน NaOH แสดงว่ามี Pb^{2+}
ตะกอนเทา $\text{HgNH}_2\text{Cl} + \text{Hg}^0$ ถ้าได้ตะกอนเทา แสดงว่ามี Hg_2^{2+}	สารละลาย $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ หยด 6 M HNO_3 ที่ละ หยดจนสารละลายมี ถูกเป็นกรด ถ้าเกิด ตะกอนขาวแสดงว่ามี Ag^+



ตอนที่ 3 การทดสอบเบพาะของ Ni^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}

นำตะกอนที่ได้จากตอนที่ 1 มาล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2 mL นำไปเขนติฟิวร์ แยกเบพะตะกอนมาเติม 6 M HNO_3 10 หยด และ 6 M HCl 5-6 หยด นำไปคุณและคนจนตะกอนละลายหมด จากนั้นเติม 4 M NH_4Cl 4 หยด แล้วทำให้สารละลายเป็นเบสด้วย 15 M NH_3 และเติม 3% H_2O_2 1 mL ลงในสารละลาย คนให้ท้วงแล้วนำไปเขนติฟิวร์ ทำการแยกตะกอนกับสารละลาย

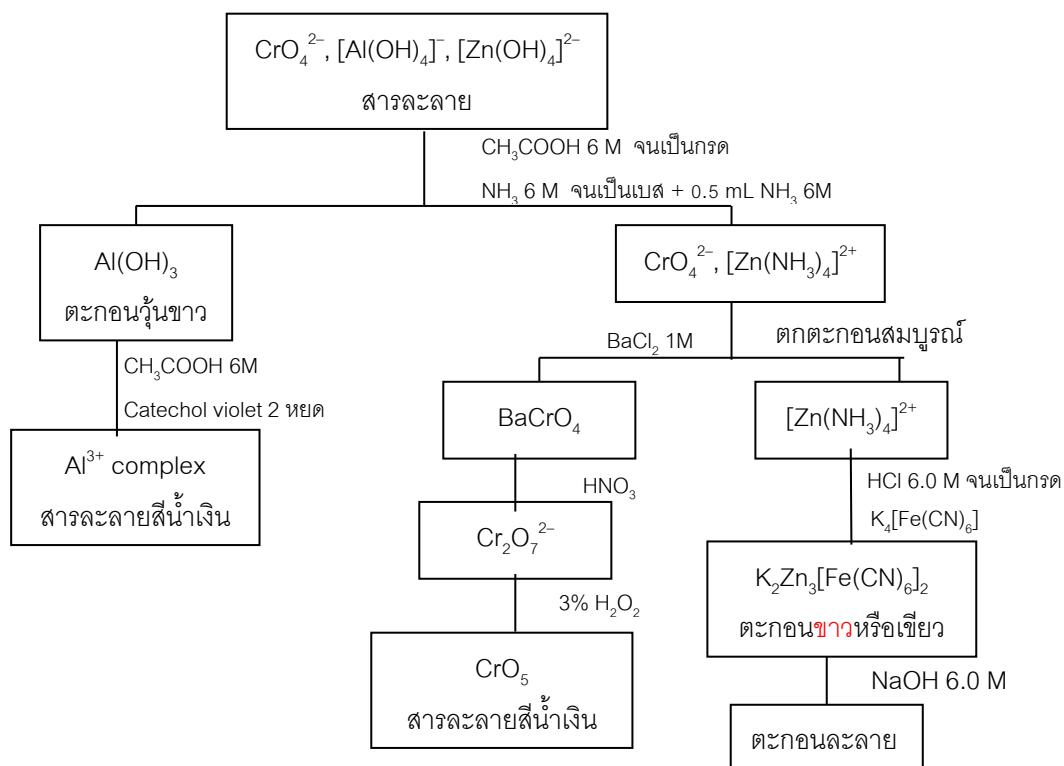
ตะกอน Fe(OH)_3, $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 1 mL แล้วนำไปเขนติฟิวร์เพื่อแยกເອງ เบพະตะกอนมาละลายใน 6M HCl 1 mL กับ 6M HNO_3 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน นำไปคุณและคนจนตะกอนละลายหมด (ถ้าไม่หมดให้ เนนติฟิวร์ แล้วทิ้งตะกอนไป) แบ่งสารละลายออกเป็น 3 หลอด ทดลอง	สารละลาย $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ เติม dimethyl glyoxime 2-3 หยด เขย่าແວງๆ ถ้า เกิดตะกอนสีแดง แสดงว่า มี Ni^{2+}
หลอดทดลองที่ 1 เติม 1 M KSCN 4-5 หยด ถ้าได้สารละลายสีแดงเลือดเนื้ แสดงว่ามี Fe^{3+} หลอดทดลองที่ 2 เติม 0.1 M $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2-3 หยด ถ้าได้ตะกอนน้ำเงินแสดงว่ามี Fe^{3+} หลอดทดลองที่ 3 เติม 6M HNO_3 2 หยด แล้วนำไปคุณ หลังจากนั้นเติม NaBiO_3 1 ช้อน เขย่า ถ้าได้สารละลายสีม่วงแดง (สีของสารละลายจะหายอย่าง รวดเร็ว) แสดงว่ามี Mn^{2+}	



ตอนที่ 4 การทดสอบเฉพาะของ Cr^{3+} , Al^{3+} และ Zn^{2+}

นำสารละลายที่ได้จากตอนที่ 1 มาหยด 6 M CH_3COOH ทีละหยดจนสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรด และค่อยๆ หยด 6 M NH_3 ทีละหยดเข่นกัน จนสารละลายมีฤทธิ์เป็นเบส แล้วเติม 6 M NH_3 ให้มากเกินพออีก 0.5 mL คนสารละลายประมาณ 1 นาที จะได้ตะกอนวุ้นขาวของ Al(OH)_3 นำไป เช่น ตริฟิวจ์

ตะกอนวุ้น Al(OH)_3 ล้างตะกอนวุ้นด้วยน้ำกลั่น 1 mL แล้วนำไป เช่น ตริฟิวจ์ แยกເຂາເພາະຕະກອນวุ้น มาทดสอบ โดยหยด 6 M CH_3COOH ทีละหยดเพื่อ ละลายตะกอนพอดี หลังจากนั้น เติมน้ำกลั่น 1 mL เพื่อลดความเป็นกรด และเติม catechol violet 2 หยด ถ้าสารละลายเปลี่ยน เป็นสีน้ำเงินแสดงว่ามี Al^{3+} แสดงว่ามี Zn^{2+}	สารละลาย CrO_4^{2-} , $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ให้สังเกตสีของสารละลาย หากสารละลายมีสีเหลืองให้ปฏิบัติตามข้อ ก. หากสารละลายไม่มีสี ให้ปฏิบัติตามข้อ ข.	
ข้อ ก. ถ้าสารละลายมีสีเหลือง ให้หยด 1 M BaCl_2 0.5 mL ถ้าได้ ตะกอนเหลืองเกิดขึ้นให้ตักตะกอนให้สมบูรณ์ แล้วทำการ เช่น ตริฟิวจ์ แยกตะกอนจากสารละลาย นำสารละลายนำไปทดสอบตามข้อ ข. และ นำตะกอนไปทดสอบหา Cr^{3+}	ข้อ ข. ถ้าสารละลายไม่มีสี ให้หยด 6 M HCl จนสารละลายมีฤทธิ์เป็น กรด แล้วเติม 0.2 M $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 3 หยด เขย่า ถ้าได้ตะกอนขาวหรือ เขียวอ่อน ที่ละลายใน 6 M NaOH แสดงว่ามี Zn^{2+}	ตะกอนเหลือง BaCrO_4 ละลายตะกอนด้วย 6 M HNO_3 0.5 mL เขย่า แล้วเติม H_2O_2 0.5 mL และ 3% H_2O_2 2-3 หยด ถ้าได้ สารละลายสีน้ำเงินที่จางหายไป อย่างรวดเร็ว แสดงว่ามี Cr^{3+}



การทดลองที่ 10

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับแคทไออ่อน

วิชา 2302.....ปฏิบัติการเคมีทั่วไป

ทำการทดลอง วัน ที่ เดือน พ.ศ เวลา เช้า / บ่าย
ชื่อ เลขประจำตัว กลุ่มที่ ลำดับที่

ส่วนที่ 1 ผลการทดลองของ Control Test

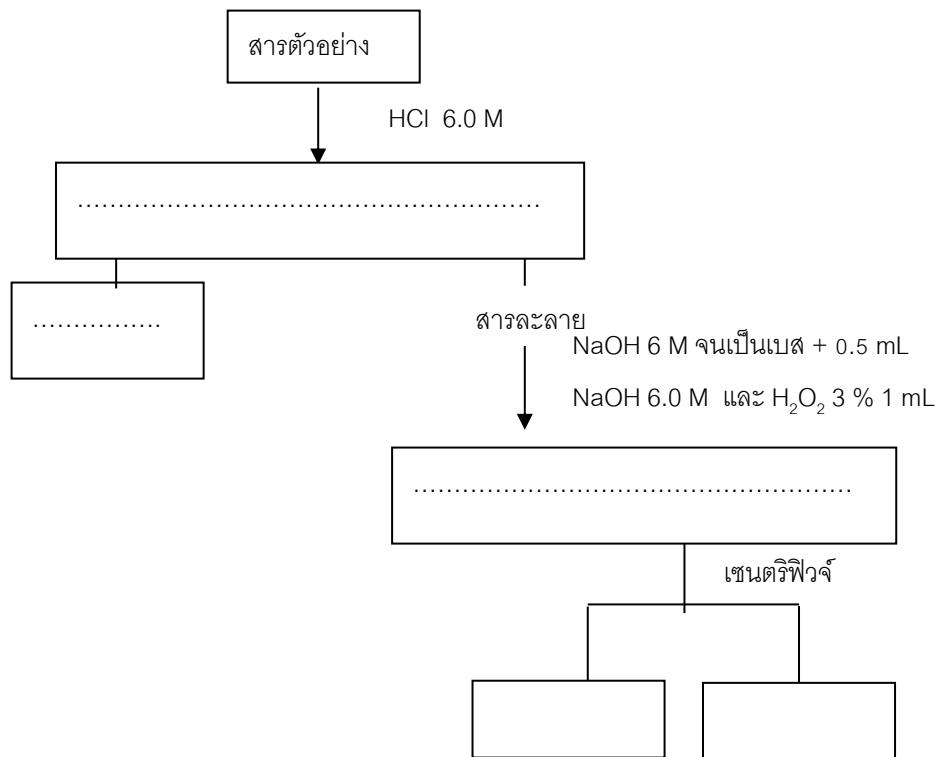
บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและเขียนสมการของปฏิกิริยาในช่องที่กำหนด

การทดสอบ	สิ่งที่สังเกตได้	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
1. ไออ่อน Ag^+ (i) หยด HCl 2 M 1-2 หยด (ii) ละลายน้ำใน NH_3 (iii) หยด HNO_3 6 M จนเป็นกรด		
2. ไออ่อน Hg_2^{2+} (i) หยด HCl 6 M 1-2 หยด (ii) หยด NH_3 ในตะกอนขาว		
3. ไออ่อน Pb^{2+} (i) หยด HCl 6.0 M 1-2 หยด (ii) ละลายน้ำในน้ำร้อน (iii) หยด K_2CrO_4 0.1 M 2-3 หยด (iv) ละลายน้ำเหลืองใน NaOH		
4. ไออ่อน Cr^{3+} (i) หยด NaOH 6.0 M จนเป็นเบส (ii) หยด NaOH 6.0M 0.5 mL + H_2O_2 3% v/v ต้มให้ H_2O_2 (iii) หยด BaCl_2 1 M 0.5 mL (iv) ละลายน้ำเหลืองด้วย HNO_3 6.0 M + H_2O_2 3% 2-3 หยด		
5. ไออ่อน Al^{3+} (i) หยด NH_3 6.0M จนเป็นเบส + 0.5 mL NH_3 6.0 M (ii) ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 1 mL และ ละลายน้ำใน CH_3COOH 6.0M (iii) หยด catechol violet 2 หยด		

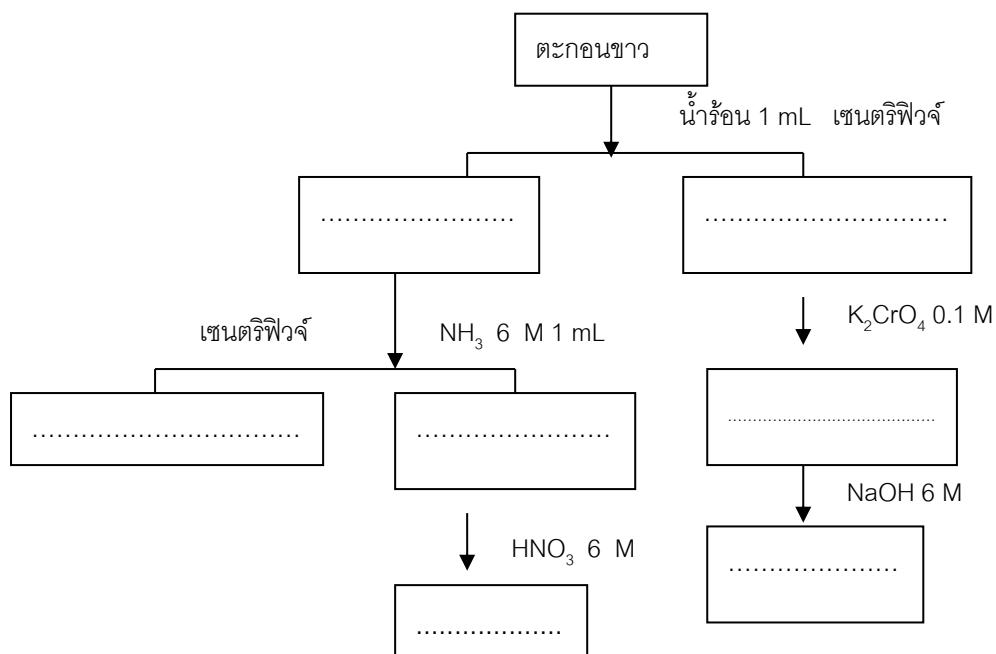
การทดสอบ	สิ่งที่สังเกตได้	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
6. ไออ่อน Zn^{2+} (i) NH_3 6.0 M จนเป็นเบส + 0.5 mL NH_3 6.0 M (ii) HCl 6.0 M จนเป็นกรด + $K_4Fe(CN)_6$ 0.2 M 3 หยด (iii) ละลายน้ำกอนใน NaOH 6.0 M		
7. ไออ่อน Ni^{2+} (i) NaOH 6.0 M จนเป็นเบส (ii) ละลายน้ำกอนใน HNO_3 6.0 M 10 หยด + HCl 6.0 M 5-6 หยด (iii) NH_4Cl 4.0 M 4 หยด + NH_3 15.0 M จนเป็นเบส (iv) หยด dimethyl glyoxime 2-3หยด		
8. ไออ่อน Mn^{2+} (i) NaOH 6.0 M จนเป็นเบส + H_2O_2 3% v/v 1 mL (ii) ละลายน้ำกอนใน HNO_3 6.0 M 2 หยด + HCl 6.0 M 1 mL (iii) HNO_3 6.0 M 2 หยด + $NaBiO_3$ 1 ช้อนเล็ก		
9. ไออ่อน Fe^{3+} (i) หยด NaOH 6.0 M จนเป็นเบส (ii) ละลายน้ำกอนใน HNO_3 6.0M 2 หยด + HCl 6.0 M 1 mL แบ่งสารละลายน้ำเป็น 2 หลอด หลอดที่ 1 KSCN 1.0 M 4-5 หยด หลอดที่ 2 $K_4Fe(CN)_6$ 0.1 M 2-3 หยด		

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง
บันทึกการเปลี่ยนแปลงในช่องสีเหลี่ยมที่เว้นไว้ให้
สารตัวอย่างเลขที่.....

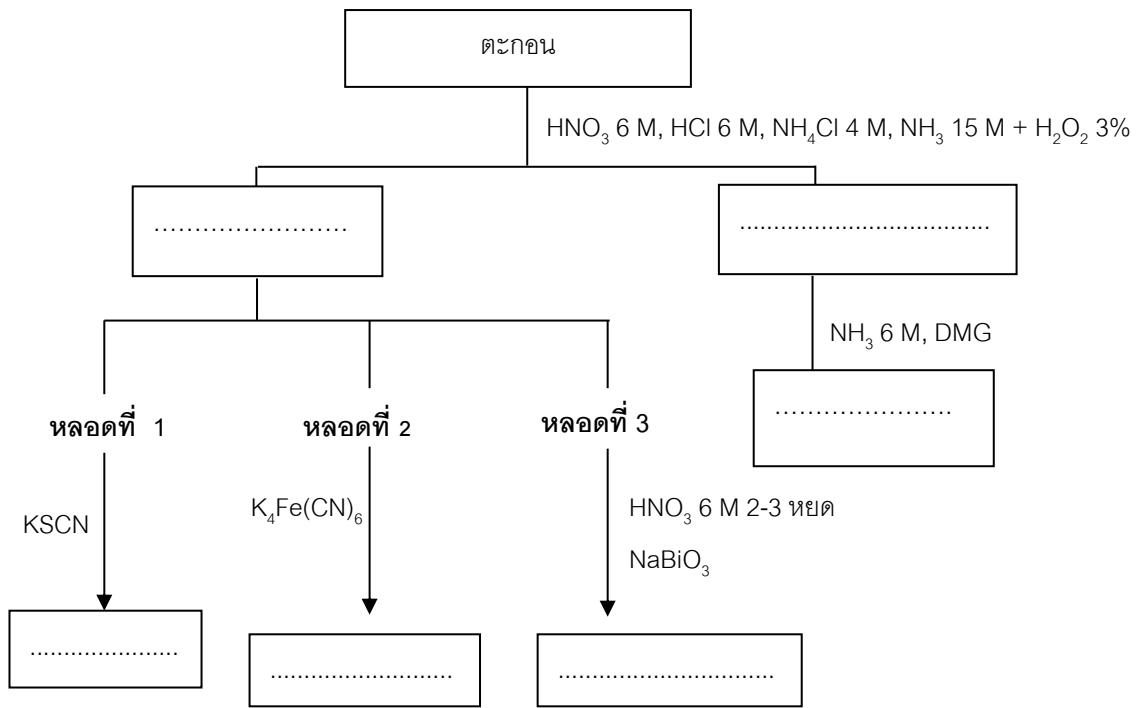
ตอนที่ 1 การแยกแคร์ไอโอดินออกเป็นกลุ่มๆ



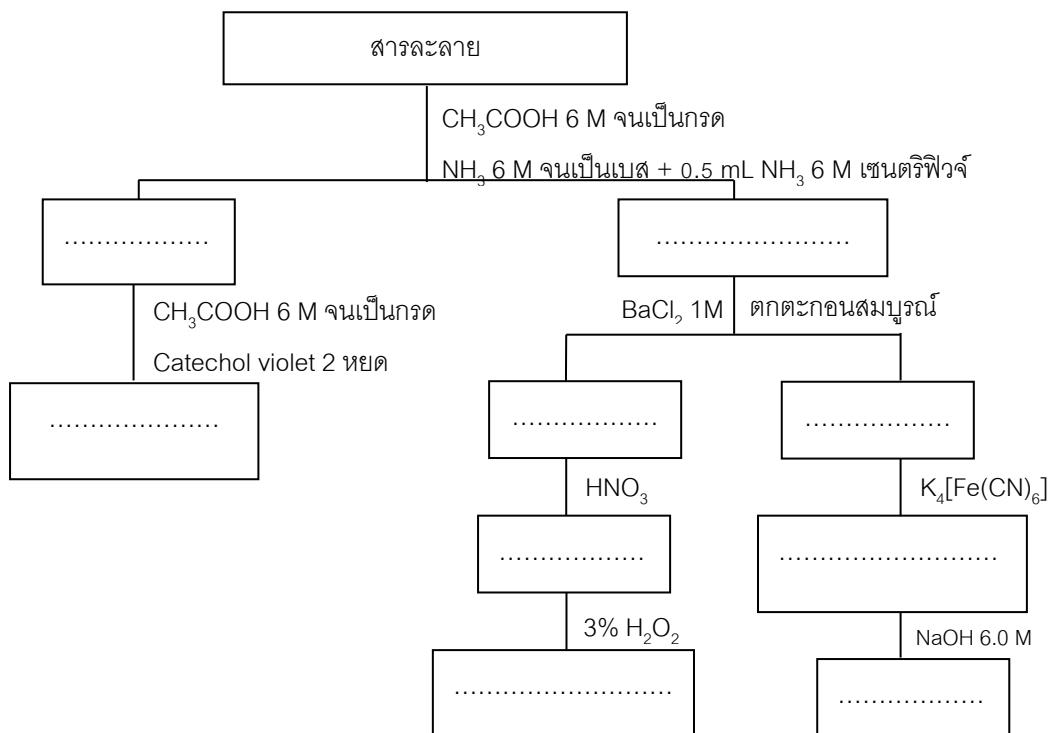
ตอนที่ 2 การทดสอบเฉพาะของแคร์ไอโอดิน Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}



ตอนที่ 3 การทดสอบเฉพาะของ Ni^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}



ตอนที่ 4 การทดสอบเฉพาะของ Cr^{3+} , Al^{3+} และ Zn^{2+}



สรุป แคทไอ้อนในสารตัวอย่าง คือ.....

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์และเทคนิคการไทยเกรต

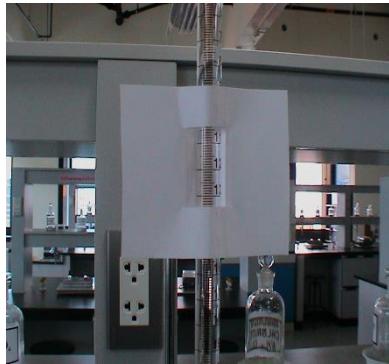
บิวเรต (buret) และปีเปต (pipet) เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วัดปริมาตรที่แน่นอนของสารละลายโดยบิวเรตมีขีดบอกปริมาตรเป็น mL และมี stopcock สำหรับเปิดให้สารละลายไหลออกได้ บิวเรตที่ใช้กันส่วนใหญ่ในห้องปฏิบัติการมีขนาด 50 mL ส่วนปีเปตใช้ดูดสารละลายในปริมาตรจำกัด เช่น 1 mL, 10 mL, 25 mL บิวเรตและปีเปตที่ใช้ต้องสะอาด ซึ่งสังเกตได้จากการทดลองใส่น้ำลงในบิวเรตหรือดูดน้ำเข้าไปในปีเปตแล้วปล่อยให้น้ำไหลออกเอง น้ำจะติดอยู่ที่ผิวแก้วภายในบิวเรตหรือปีเปตเป็นฟิล์มบางๆ เท่านั้น แต่ถ้าที่ได้สกปรกจะมีหยดน้ำเกาะอยู่ ก่อนใช้ต้องล้างอุปกรณ์ให้สะอาดด้วยสารละลายของผงซักฟอก และถูด้วยแอลกอฮอล์ล้างบิวเรต หรือใช้ cleaning solution (สารละลายอิมตัวของ $K_2Cr_2O_7$ ใน conc. H_2SO_4) ในการนี้ที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่เป็นเวลานานและไม่สามารถเอาออกได้ด้วยวิธีดังกล่าว แล้วล้างด้วยน้ำประปาจนสะอาด จากนั้nl ล้างด้วยน้ำก่อนอีกครั้งหนึ่ง บิวเรตและปีเปตที่สะอาดแล้วก่อนใช้ต้องชำระด้วยสารละลายที่จะบรรจุ (สารละลายตัวไทยเกรต) เพื่อไม่ให้สารละลายที่บรรจุเจือจากเนื้องจากน้ำที่ติดอยู่ที่ผิวแก้วภายใน

วิธีใช้บิวเรต

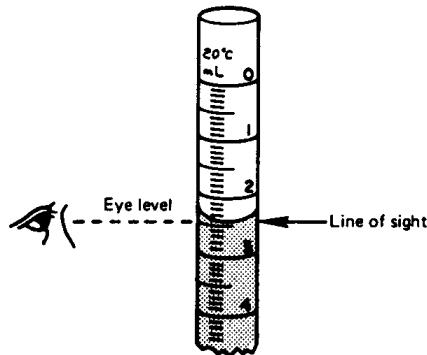
ก่อนอื่นตรวจ stopcock ว่าหมุนได้คล่อง และไม่รั่ว แล้วจึงเหลาสารละลายของตัวไทยเกรตประมาณ 5 mL ลงในบิวเรตที่สะอาด เอียงบิวเรตให้สารละลายเปลี่ยนผิวแก้วให้ทั่ว ไขสารละลายทิ้งทางปลายล่างจนหมด ยืดบิวเรตกับขาตั้งเหล็ก แล้วเติมสารละลายลงในบิวเรต* จนถึงระดับเหนือขีดศูนย์ หรือถึงปริมาตรที่ต้องการ เวลาเติมระดับปากบิวเรตไม่ควรสูงกว่าระดับตา เพราะสารอาจหลอกน้ำหน้าหรือกระเด็นเข้าตาได้ ไข stopcock ให้สารละลายไหลลงมาจนเต็มปลายบิวเรต ตรวจสอบให้ดีว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ในส่วนใดส่วนหนึ่งในบิวเรต หากมีฟองอากาศเหลืออยู่ให้ปล่อยสารละลายไหลลงมาทางปลายบิวเรตและทำการปิด-เปิด stopcock สลับกันอย่างรวดเร็วสองถึงสามครั้งจนอากาศที่ปลายบิวเรตด้านล่างออกไปหมด หลังจากนั้นปรับระดับของสารละลายในบิวเรตให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ข่านระดับนั้นไว้ เมื่อทำการทดลองเสร็จให้อ่านระดับของสารละลายอีกครั้งหนึ่ง ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลองจะเท่ากับผลต่างของระดับทั้งสอง

การอ่านปริมาตรของสารละลายในบิวเรตควรให้ระดับของสารละลายอยู่ในระดับเดียวกับสายตาโดยถือส่วนโค้งที่ต่ำสุด (menicus) ของสารละลายเป็นเกณฑ์ และอ่านถึงศูนย์ตำแหน่งที่ 2 เช่น 2.40 mL เป็นต้น

* หมายเหตุ การบรรจุสารละลายลงในบิวเรต ควรเหลาสารละลายผ่านกรวยซึ่งวางอยู่บนปากบิวเรต โดยเผยแพร่กรวยเล็กน้อยเพื่อให้อากาศในบิวเรตถ่ายเทออกมาก (โดยเมื่อเติมเสร็จแล้วให้ยกกรวยออกจากบิวเรต หรือให้ยกขาตั้งเหล็กพร้อมทั้งบิวเรตลงมาตั้งกับพื้นแล้วจึงเติมสารละลาย)

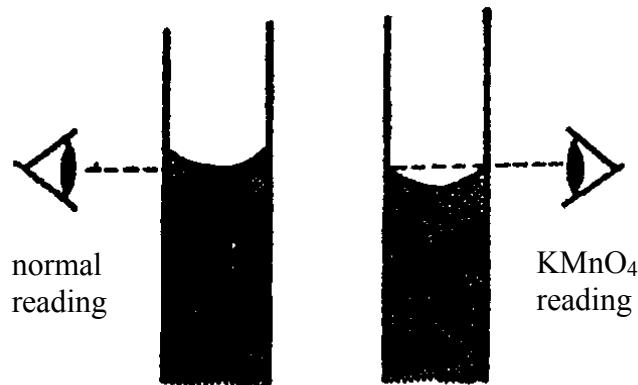


การอ่านปริมาตรสารละลายนี้ใช้
กระดาษขาวเสียบด้านบนบัวเรต
เพื่อให้สามารถอ่านปริมาตรได้
ชัดเจนยิ่งขึ้น



อ่านส่วนโค้งที่ต่ำสุด (menicus) ของ
สารละลายนี้

ถ้าเป็นสารละลายนี้มีสีทึบ เช่น สารละลายนี้ KMnO₄ ให้อ่านระดับที่เห็นชัดที่สุด ดังรูป



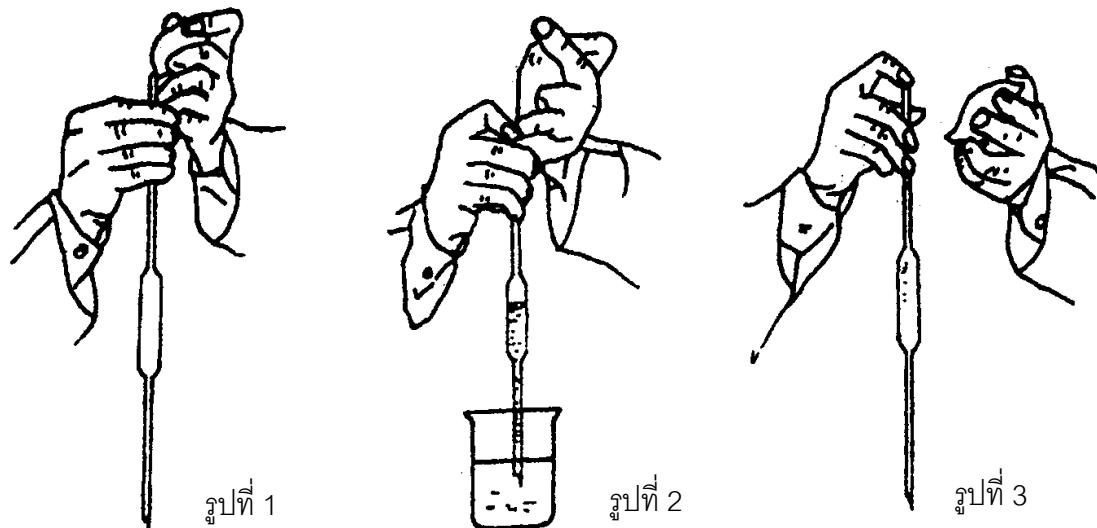
ชนิดของบัวเรต

บัวเรตที่ใช้ในปฏิบัติการนี้จะมี 2 ประเภทกล่าวคือ

- บัวเรตที่มีขีดบอกปริมาตรสีน้ำตาล จะใช้สำหรับสารละลายนี้ และอ่านปริมาตรจากส่วนโค้งที่ต่ำสุดของสารละลายนี้ (meniscus)
- บัวเรตที่มีขีดบอกปริมาตรสีขาว จะใช้สำหรับสารละลายนี้มีสีทึบ และอ่านปริมาตรจากระดับที่เห็นชัดที่สุด

วิธีใช้ปีเปต

เข็มด้านนอกของปีเปตให้แห้ง ใช้มือที่ถนัดจับปีเปต และมืออีกข้างถือลูกยาง บีบลูกยางให้แบบ สวยงามบนปลายเบ็ดของปีเปตด้านบน (รูปที่ 1) จุ่มปลายปีเปตลงในสารละลาย ค่อยๆ ผ่อนแรงบีบลูกยางเพื่อให้สารละลายเข้าไปในปีเปต (รูปที่ 2) ถ้าปีเปตที่ใช้ยังไม่แห้ง ควรดูดของเหลวขึ้นไปจนกระทั่งระดับของเหลวสูงถึงหนึ่งในสามของกระเบากางของปีเปต เอาลูกยางออก แล้ว ใช้นิ้วชี้ปิดปลายปีเปต (รูปที่ 3) เอียงปีเปตให้สารละลายเปียกทั่วผิวแก้วภายใน ปล่อยสารละลายทิ้งทางปลายล่างโดยตั้งปีเปตในแนวตั้ง

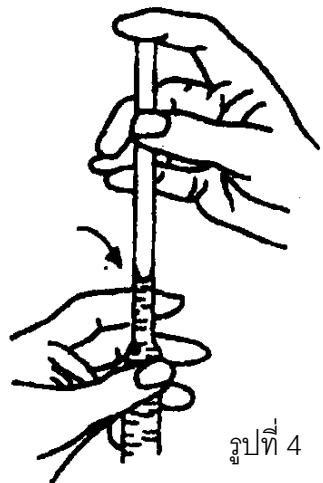


บีบลูกยางให้อากาศออก แล้ว
สวยงามบนปีเปต

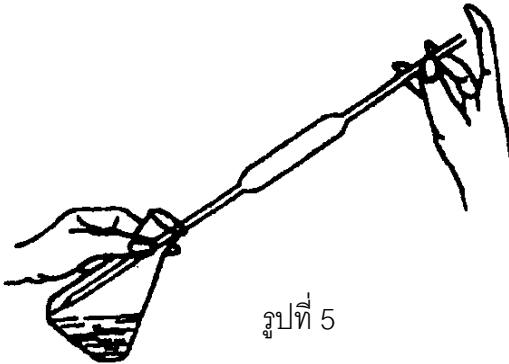
จุ่มปลายปีเปตลงในสารละลาย
ค่อยๆ ผ่อนแรงบีบลูกยาง เพื่อให้
สารละลายเข้าไปในปีเปต

เอาลูกยางออก ใช้นิ้วชี้ปิด
ปลายปีเปตทันที

นำปีเปตไปดูดสารละลายโดยวิธีการเดียวกับข้างต้นจนระดับของสารละลายอยู่เหนือขีดบอกปริมาตร เอาลูกยางออกแล้ว ใช้นิ้วชี้ปิดปลายปีเปตส่วนบนทันที ที่ปลายปีเปตส่วนล่างจะมีของเหลวติดอยู่ด้านนอก ใช้กระดาษทิชชูซับของเหลวออกจากกำんันปีเปตส่วนล่างจนแห้ง ขยับนิ้วชี้ให้สารละลายในปีเปตให้หลอกออก เพื่อปรับระดับสารละลายให้ส่วนโคนที่ต่ำสุดของสารละลายอยู่ตรงขีดบอกปริมาตรพอดี (ดูในระดับเดียวกับสายตา) (รูปที่ 4) ปล่อยสารละลายจากปีเปตซึ่งจับตั้งในแนวตั้งลงในขวดรูปกรวยหรือภาชนะที่ต้องการ โดยให้สารละลายไหลออกเอง เมื่อระดับของเหลวหยุดนิ่งที่ปลายปีเปตราบประมาณ 30 วินาที เอียงภาชนะแล้ว แตะปลายปีเปตกับก้นภาชนะ หรือข้างภาชนะรองรับ (รูปที่ 5) **อย่าเป่าสารละลายออกจากปีเปต** ถึงแม่ว่าจะมีสารละลายเหลือติดอยู่ที่ปลายปีเปตเล็กน้อยก็ตาม ปริมาตรของสารละลายที่หลอกออกเองลงสู่ภาชนะจะเท่ากับปริมาตรที่ระบุไว้ที่ปีเปต



รูปที่ 4

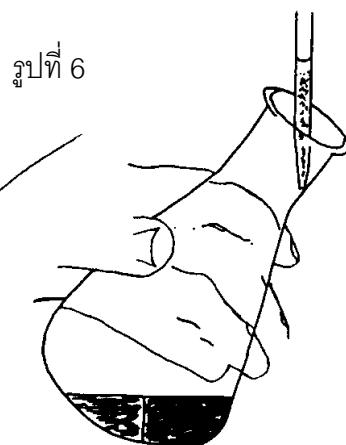


รูปที่ 5

ปล่อยสารละลายลงในขวดรูปกรวยจน
หมดแล้วแต่ปลายปีเปตกับผนังแก้วที่กัน
ภาชนะหรือข้างภาชนะรองรับ

ขยับนิ้วชี้ปรับระดับสารละลายให้
เว้าล่างของสารละลายอยู่ตรงขีด
บอกปริมาตร

การถ่ายของเหลวออกจากปีเปต อาจใช้วิธีปล่อยให้ไหลออกจากปีเปตโดยปลายปีเปตแตะผนังภาชนะ
รองรับ (ดูรูปที่ 6) เมื่อของเหลวหยุดนิ่ง ปล่อยให้ปลายปีเปตสัมผัสถอยกับผนังภาชนะ 3 วินาที แล้วยกปี
เปตออกจากภาชนะ



รูปที่ 6

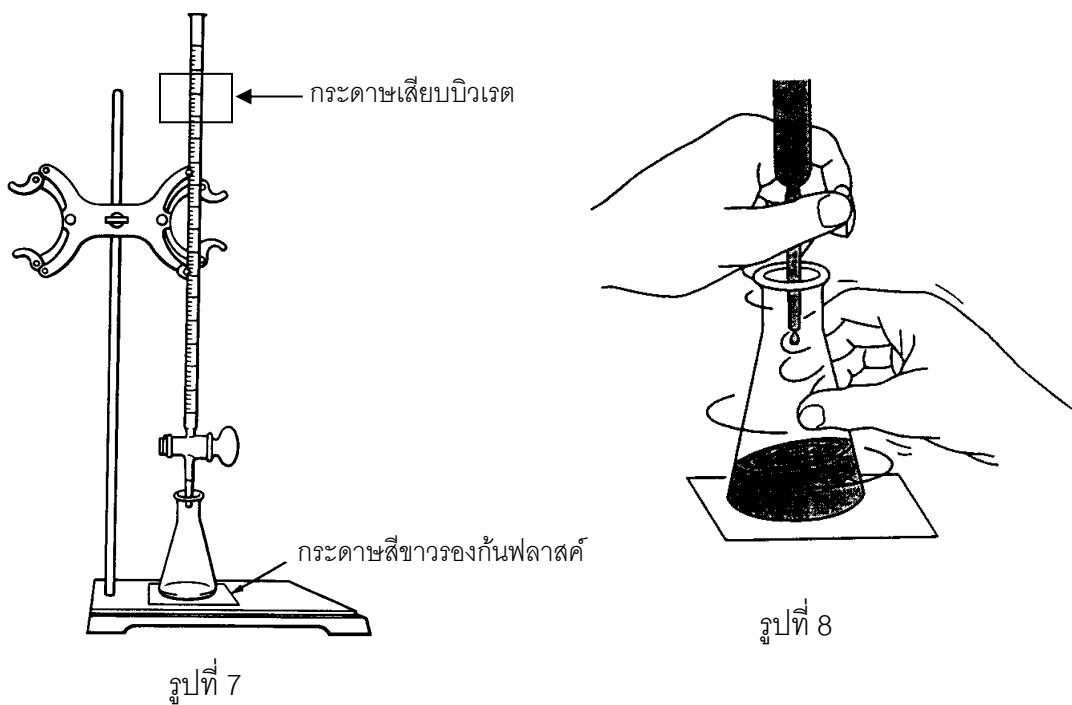
การถ่ายของเหลวออกจากปีเปต
ปลายปีเปตแตะที่ผนังภาชนะ

หมายเหตุ

- ไม่ควรดูดสารละลายด้วยปาก ควรใช้ถุงยาง
- ขณะที่ดูดสารละลายต้องให้ปลายปีเปตอยู่ต่ำกว่าระดับสารละลายเสมอ ถ้าปลายปีเปตไม่จุ่มอยู่
ในสารละลาย อากาศจะเข้าไปในปีเปตอย่างรวดเร็ว และดันสารละลายที่อยู่ในปีเปตขึ้นไปในถุง
ยาง ทำให้สารละลายและถุงยางแตกบวบ

เทคนิคการไหเทเรต

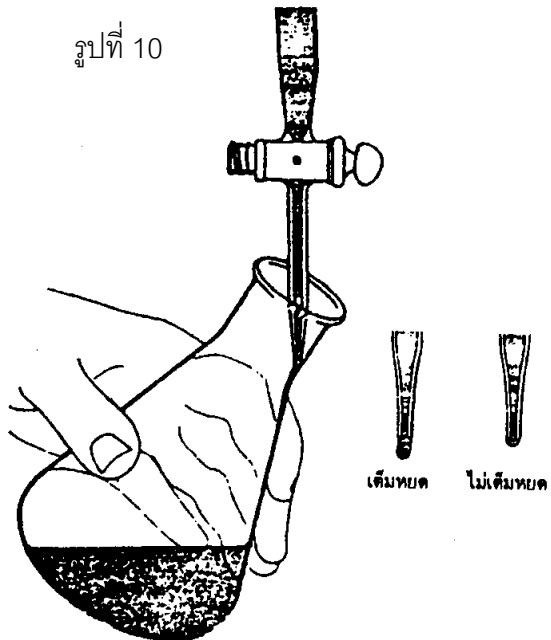
- จัดตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 7 ขณะไหเทเรตควรนั่งทำโดยปรับระยะให้นั่งไหเทเรตได้ถนัด ไม่ใกล้หรือไกลตัวเกินไป จับบิวเตตด้วยมือซ้าย โดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วสีบังคับ stopcock หรือที่ปิดเปิดบิวเตตให้สารละลายในหลักเร็วหรือข้าตามต้องการ ขณะเดียวกันให้จับขวดรูปกรวยด้วยมือขวา และเขย่าสารละลายในขวดรูปกรวยในลักษณะที่หมุนวนเป็นวงกลมทุกครั้งที่หยดสารละลายจากบิวเตตลงไป (ดูรูปที่ 8)



- ขณะไหเทเรต ถ้ามีสารละลายติดอยู่ที่ปากหรือข้าง ๆ ขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั้นชะล้างสารละลายนั้นลงไป เพื่อให้ทำปฏิกิริยา กันจนหมด (รูปที่ 9)



3. ปริมาตรของสารละลายนี้ให้ลอกออกจากบิวเรต 1 หยด ประมาณ 0.05 mL ถ้าต้องการสารละลายนี้ถึง 1 หยด เช่น ขณะไกล์ถึงจุดยุติ อาจทำได้โดยการไขบิวเรตให้ข่องเหลวในลอกออกมาที่ปลายบิวเรตขนาดตามต้องการ แล้วแตะกับผนังภาชนะ จากนั้นจึงดึงน้ำกลับคืนลักษณะไปในขวด (รูปที่ 10)



4. การไทเทเรต โดยทัวไปต้องทำอย่างน้อย 2 ครั้ง ถ้าปริมาตร 2 ครั้งนั้นใกล้เคียงกัน (ห่างกันไม่เกิน 0.20 mL) นำมาเฉลี่ยแล้วใช้ปริมาตรเฉลี่ยในการคำนวณ ถ้าต่างกันมาก (ตั้งแต่ 0.21 mL) ให้ไทเทเรตครั้งที่ 3 และนำปริมาตรของตัวไทเทเรตที่ต่างกันไม่เกิน 0.20 mL มาเฉลี่ย แล้วนำปริมาตรเฉลี่ยไปใช้ในการคำนวณ

ตัวอย่างการบันทึกผลในตารางบันทึกผลการทดลอง

การไทเทเรตครั้งที่	สเกลบนบิวเรต (mL)		ปริมาตรของตัวไทเทเรตที่ใช้ในการ ไทเทเรต (mL)
	ก่อนการไทเทเรต	ที่จุดยุติ	
1	0.10	10.20	10.10
2	10.20	20.75	10.55
3	20.75	30.90	10.15
		เฉลี่ยครั้งที่ 1, 3	$\frac{10.10 + 10.15}{2} = 10.12^*$

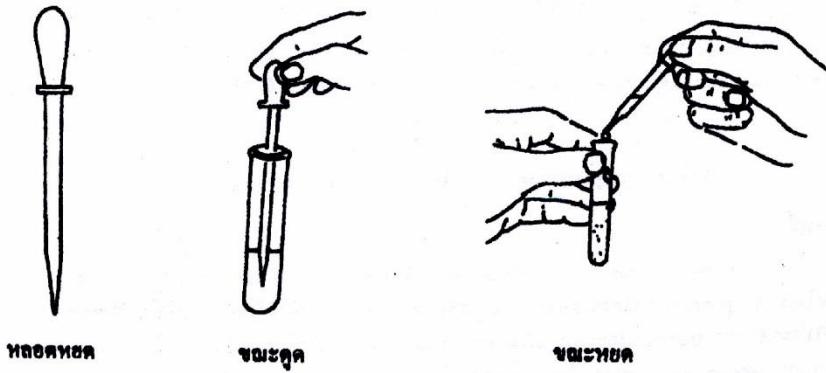
* ดูหัวข้อกฎการบัดเดชนี่องตัวเลขนัยสำคัญ

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์และเทคนิคในการวิเคราะห์แบบเชมิไมโคร

อุปกรณ์ในการวิเคราะห์แบบเชมิไมโคร

1. หลอดทดลอง (test tube) ใช้หลอดขนาด 10 mL และมีความสูงประมาณ 10 cm จึงสามารถหาปริมาณของสารละลายโดยประมาณได้จากการความสูงของสารละลายในหลอด
2. แท่งแก้วคน (stirring rod) เป็นแท่งแก้วตัน ปลายข้างหนึ่งมักจะทำให้แบนหรือโค้งงอเล็กน้อย ใช้สำหรับคนสารละลายและเขยี่หือบดสารที่เป็นของแข็ง
3. หลอดหยด (dropper) ทำด้วยหลอดแก้วเล็ก ๆ ปลายข้างหนึ่งเรียวเล็ก อีกข้างหนึ่งมีลูกยางสวมอยู่ การใช้หลอดหยดควรปฏิบัติตามนี้
 - ก. การดูดสารละลาย ให้บีบลูกยางเพื่อไม่ถูกอากาศในหลอดออกก่อนจึงจุ่มปลายหลอดหยดลงไปใต้ระดับของสารละลายที่ต้องการ แล้วค่อยๆ ผ่อนการบีบลูกยางเพื่อให้สารละลายไหลขึ้นมาในหลอด แต่อย่าให้ถังลูกยาง เมื่อยกขึ้นมาแล้วต้องให้ปลายหลอดหยดอยู่ในแนวเดิมเสมอ



- ข. การหยด ให้ปลายหลอดหยดอยู่เหนือปากหลอดทดลองเล็กน้อย ค่อยๆ บีบลูกยางจนสารละลายหยดลงไปตามต้องการ ควรทดสอบดูว่าหลอดหยดที่ใช้นั้น 1 mL มีกี่หยดเพื่อให้สามารถหยดสารละลายตามปริมาณที่ต้องการได้เร็วขึ้น

ค. ข้อควรระวังในการใช้หลอดหยด

1. ขณะดูดสารละลายต้องระวังอย่าให้สารละลายขึ้นสูงถึงลูกยาง เพราะจะทำให้ลูกยางเบื่องและสารละลายอาจเกิดปฏิกิริยากับลูกยางได้
2. อย่าใช้หลอดหยดส่วนตัวดูดสารละลายจากขวดรีโอลูต์ เพราะอาจทำให้มีสารอื่นเจือปนในสารละลายในขวด วิธีที่ถูกต้องควรินสารละลายที่จะใช้จากขวด

ลงในหลอดทดลอง แล้วจึงใช้หลอดหยดดูดสารละลายในหลอดนี้ไปใช้

3. เมื่อวินสารละลายออกจากขวดแล้ว ถ้าใช้เม่หมดห้ามเทกลับคืนขวด ให้เทลงในภาชนะที่จัดเตรียมไว้ให้ดังนั้นจึงควรวินสารละลายมาใช้ครั้งละปริมาณพอใช้เท่านั้น
4. ถ้าขวดสารละลายได้มีหลอดหยดประจำขวด ให้ใช้หลอดหยดนี้ได้เลย ระวังอย่าให้หลอดหยดสัมผัสกับขวดกัน และอย่าให้หลอดหยดแตะที่ปากหลอดทดลองเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายในขวดริบเเจนต์เกิดปนเปื้อนด้วยสารอื่น
5. หลอดหยดที่ใช้แล้วต้องล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกําลั่นอีกครั้งหนึ่ง
อย่าวางหลอดหยดที่ล้างสะอาดแล้วบนโต๊ะ ควรใส่ไว้ในหลอดทดลองที่สะอาดหรือพอดไฉบวนรองปากของบีกเกอร์เพื่อกันการกลิ้งตก
4. เครื่องเซนทริฟิวจ์ (centrifuge) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับแยกตะกอนออกจากสารละลายโดยทำให้ตะกอนที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายนอนกันอย่างรวดเร็วโดยอาศัยแรงเหวี่ยง องค์ประกอบที่สำคัญ คือ ส่วนที่สามารถหมุนได้ด้วยความเร็วสูง การจัดน้ำหนักให้ดุลทั้งสองข้างเป็นเรื่องสำคัญที่สุดสำหรับการใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์



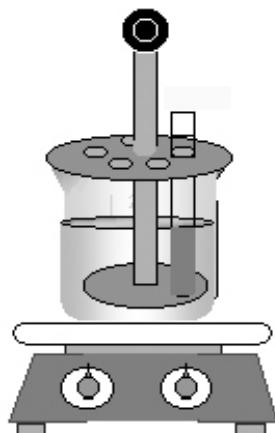
เครื่องเซนทริฟิวจ์

วิธีปฏิบัติ การใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ทำได้โดยใส่หลอดทดลองที่มีสารละลายที่ต้องการแยกตะกอนในที่บรรจุหลอดของเครื่องเซนทริฟิวจ์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีที่บรรจุหลอด 4 , 6 หรือ 8 หลอด โดยจะมีหมายเลขอกำกับเพื่อให้ทราบตำแหน่งของหลอดที่แต่ละคนกำลังทดลองอยู่ในกรณีที่ใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ร่วมกัน สิ่งสำคัญที่สุดในการใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ คือ การดูดโดยใช้หลอดทดลองขนาดเดียวกันอีก 1 หลอด บรรจุน้ำหรือสารละลายปริมาณเท่ากันใส่ใน

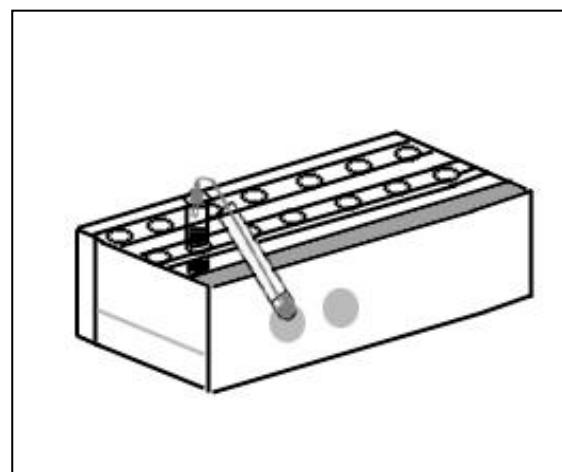
ที่บรรจุหลอดตรงกันข้าม สามารถ เช่น ทริฟิวจ์ รังสี 4 หลอด ก็ได้ โดยสารละลายทั้ง 4 หลอดไม่จำเป็นต้องหนักเท่ากัน แต่หลอดที่อยู่ตรงข้ามกันจะต้องหนักเท่ากันเสมอ เมื่อบรรจุหลอดเข้าที่เรียบร้อยแล้ว ปิดฝาเครื่อง เช่น ทริฟิวจ์ กดสวิตซ์ให้เครื่องหมุนนาน ประมาณ 1-2 นาที ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตะกอน ห้ามเปิดฝาในขณะที่ เครื่องกำลังหมุนอยู่ เพราะอาจเกิดอันตรายได้ เมื่อเปิดเครื่องนานพอกควรแล้วจึงปิดสวิตซ์ เครื่องจะหมุนข้างๆ จนหยุด เปิดฝานำหลอดทดลองไปแยกสารละลายออก แต่ถ้าตะกอนยังไม่นอนกัน แสดงว่าเปิดเครื่องไม่นานพอกต้อง เช่น ทริฟิวจ์ ต่ออีก

ข้อควรปฏิบัติ

- สารละลายที่นำไป เช่น ทริฟิวจ์ ควรมีปริมาณไม่เกินครึ่งหลอด ถ้าเกินครึ่งหลอดควรแบ่งสารละลายออกเป็นสองหลอดเท่าๆ กันแล้วจึงนำไป เช่น ทริฟิวจ์
- ขณะที่เครื่องกำลังหมุนอยู่ ถ้ามีเสียงผิดปกติให้รีบหยุดเครื่องทันทีแล้วเปิดฝาตรวจสอบ ถ้ามีหลอดแตกให้เก็บเศษแก้วออกจนหมด และใช้ฟองน้ำที่สะอาดขับสารละลายที่หัก จนแห้ง บางครั้งเวลาเปิดเครื่องแล้วเครื่องสะเทือนมีเสียงครีดคราดแสดงว่า น้ำหนักของหลอดทั้งสองข้างไม่สมดุลกัน กรณีต้องหยุดเครื่องและปรับปริมาณใหม่
- อ่างน้ำร้อน (water bath) ใช้สำหรับให้ความร้อนสารละลายในหลอดทดลองเมื่อต้องการ เร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น อาจใช้อ่างน้ำร้อนที่ทางห้องปฏิบัติการจัดไว้ให้ หรือใช้บีกเกอร์ขนาด 250 mL ใส่ห่วงทองเหลืองสำหรับวางหลอดทดลอง บรรจุน้ำประมาณ 2/3 ของบีกเกอร์ ตั้งอยู่บนเครื่องให้ความร้อน ดังรูป



อ่างน้ำร้อน



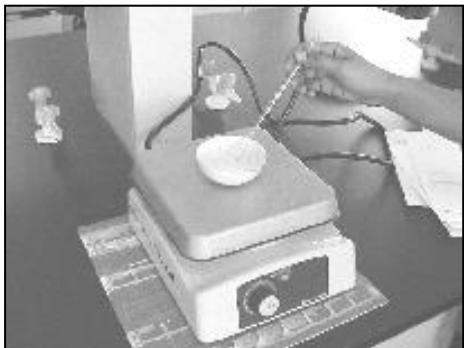
เทคนิคในการวิเคราะห์แบบเซมิไมโคร

1. **การตกรตะกอนสมบูรณ์** หมายถึง การตกรตะกอนไอก้อนที่ต้องการออกจากสารละลาย จนหมด จะทราบว่า ตะกอนตกสมบูรณ์หรือยังได้ โดยนำหลอดทดลองบรรจุสารละลายที่เติมรีโฉนเดอร์สำหรับตกรตะกอนแล้วไปเข็นทริฟิวจ์ จนตะกอนนอนกันแล้วหยดรีโฉนเดอร์ที่เป็นตัวทำให้ตกรตะกอนลงบนน้ำใส (centifuge) 1-2 หยด ถ้าสารละลายในน้ำใสไม่浑浊 แสดงว่าตะกอนตกสมบูรณ์แล้ว แต่ถ้าสารละลายในน้ำ浑浊แสดงว่ายังตกรตะกอนไม่สมบูรณ์ ต้องเติมรีโฉนเดอร์เดิมลงไปอีกและทดสอบโดยวิธีการซึ่งเดิมจนได้ตกรตะกอนตกสมบูรณ์
2. **การล้างตะกอน** เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ออกไป โดยเติมน้ำกลั่นจำนวนพอเหมาะสมบนตะกอน เขย่าหรือคนด้วยแท่งแก้วให้ทั่ว เช่นทริฟิวจ์ รินน้ำใสทิ้ง (การล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนก็ปฏิบัติเช่นเดียวกัน แต่คุณสารละลายก่อนนำไปเช่นทริฟิวจ์)
3. **การแบ่งตะกอน** ถ้ามีตะกอนปนอยู่กับสารละลาย คนสารละลายแล้วแบ่งสารละลายออกเป็นส่วน ๆ นำไปเช่นทริฟิวจ์และรินน้ำใสทิ้ง ในกรณีที่มีแต่ตะกอน ให้เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย คนให้ทั่ว แบ่งของผสมออกเป็นส่วน ๆ ตามที่ต้องการ
4. **การละลายตะกอนหรือสาร** ใช้ตัวทำละลายให้พอเหมาะสมกับปริมาณตะกอนหรือสาร เขย่าแรง ๆ หรือใช้แท่งแก้วคน ในบางครั้งอาจต้องคุณให้ร้อนเพื่อให้ละลายดีขึ้น (คำว่า ละลายนั้นจะต้องได้สารละลายใส อาจจะมีสีหรือไม่มีก็ได้)
5. **การผสมสารละลาย** คนสารละลายด้วยแท่งแก้ว หรือเทสารละลายที่ผสมกันแล้วน้ำกลับไปมาในหลอดสองหลอด
6. **การต้มสารละลาย** เป็นการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น โดยวางหลอดทดลองในที่รองรับหลอดทดลองที่อยู่ในอ่างน้ำร้อนตามข้อควรปฏิบัติ ดังนี้

ข้อควรปฏิบัติ

1. ขณะที่ต้มสารละลายนั้น ควรใช้แท่งแก้วคนสารละลายเป็นครั้งคราว เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์
2. ระดับสารละลายในหลอดควรอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ และรักษาระดับน้ำในบีกเกอร์ให้สูงประมาณ 2/3 ของบีกเกอร์เสมอ ถ้าสารละลายในหลอดมีปริมาณมากควรแบ่งเป็นสองหลอด
3. ในขณะที่ไม่มีการอุ่นหรือต้มสารละลายให้ลดระดับความร้อนของเครื่องให้ความร้อนเพื่อประหยัดและไม่ให้น้ำแห้งเร็ว

7. การเคี่ยวสารละลาย เป็นการลดปริมาณสารละลายหรือทำให้แห้ง โดยต้มสารละลายในชามกระเบื้องบนเครื่องให้ความร้อนจนเดือดดังรูป



ถ้าสิ่งที่ระเหยออกมามีกลิ่นเหม็นหรือเป็นอันตราย ต้องเคี่ยวในตู้ดูดควัน

การต้มหรือเคี่ยวสารละลาย

8. การทดสอบความเป็นกรดและเบส ใช้แห้งแก้วคนสารละลายให้แห้ง นำปลายแห้งแก้วที่เปียกสารละลายแตะกระดาษดิบมัส ดูสีที่เปลี่ยนไป
- ข้อควรปฏิบัติ**
1. ขณะทดสอบควรดึงกระดาษดิบมัส หรือวางกระดาษดิบมัสบนแผ่นกระดาษที่สะอาด (อย่าวางซ้ำรอยเดิม และห้ามวางบนพื้นโต๊ะ)
 2. อย่าทดสอบโดยจุ่มกระดาษดิบมัสลงในสารละลายที่จะทดสอบ
9. ผลทดสอบบวกและผลทดสอบลบ (positive test and negative test)) ผลทดสอบบวก คือ การทดลองที่ได้ผลตรงตามปฏิกิริยาที่เป็นจริง ผลทดสอบลบ คือ การทดลองที่ไม่ได้ผลตามปฏิกิริยาที่เป็นจริง เช่น ในการทดสอบ CO_3^{2-} ถ้าเติมกรดเกลือเจือจากลงในสารตัวอย่างแล้วผ่านแก๊สที่เกิดขึ้นลงในสารละลาย $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ได้ตะกอนขาวของ BaCO_3 แสดงว่าการทดลองนี้ได้ผลทดสอบบวก แต่ถ้าไม่มีตะกอนขาวเกิดขึ้น แสดงว่าได้ผลทดสอบลบ
10. การทดสอบแบลนค์ (Blank test) เป็นการทดสอบรีเอเจนต์ที่ใช้ว่ามีสารที่กำลังทดสอบเจือปนหรือไม่ โดยทดสอบ นำกลั่นพร้อมกับสารตัวอย่าง ปริมาณของรีเอเจนต์และสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ทดสอบทั้งสองหลอดต้องเหมือนกันทุกประการ ถ้าในหลอดน้ำกลั่นได้ผลทดสอบลบ แสดงว่ารีเอเจนต์ที่ใช้ ไม่มีสารที่กำลังทดสอบเจือปนอยู่ ใช้ทดสอบต่อไปไม่ได้ ต้องเปลี่ยนรีเอเจนต์ขวดนั้นใหม่

ตัวอย่าง

ถ้าต้องการตรวจสอบวีเอเจนต์ (FeSO_4 และ H_2SO_4) ที่ใช้ทดสอบ NO_3^- นำหลอดทดลองมาใส่น้ำกลั่น 1 mL เติมสารละลายน้ำ FeSO_4 1 mL และค่อยๆ วิน conc. H_2SO_4 ลงในหลอดทดลอง ถ้าในสารละลายนี้เกิดวงแหวนสีน้ำตาล แสดงว่ามีวีเอเจนต์ที่ใช้คือสารละลายน้ำ FeSO_4 หรือ H_2SO_4 มี NO_3^- ปนอยู่ ต้องเปลี่ยนวีเอเจนต์ใหม่

11. การทดสอบควบคุม (Control test) เป็นการทดสอบเพื่อคุ้มครองผลทดสอบบวก หรือเปรียบเทียบผลทดสอบบวกในหลอดที่มีสารตัวอย่างกับหลอดที่มีสารจริง โดยใช้สารหรือไอโอดินจริงที่ต้องการทดสอบแทนสารตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการทำ control test ของการทดสอบ NO_3^- ให้ใช้สารละลายน้ำ NO_3^- โดยใช้ปริมาณของวีเอเจนต์ และสภาวะต่างๆ เมื่อกันกับสารตัวอย่างทุกประการ
12. ความสะอาดของเครื่องมือ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง เครื่องมือทุกชิ้นที่ใช้ต้องสะอาดเมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วต้องล้างเครื่องมือให้สะอาดแล้วควรล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อย อีกครั้งหนึ่งและครั้งที่สองให้แห้ง

ภาคผนวก ค เลขนัยสำคัญ

การอ่านค่าจากเครื่องมือ

ในวิชาปฏิบัติการเคมีจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้น เช่น กระบวนการ ปีเปต บิบ เรต เป็นต้น เพื่อนำตัวเลขมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เครื่องมือที่สร้างขึ้นเหล่านี้มีความแม่นยำ ในระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการรายงานค่าตัวเลขที่อ่านได้จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถของ เครื่องมือที่ใช้ด้วย เป็นต้นว่า การอ่านค่าความยาวจากไม้บรรทัดทั่วไปสามารถอ่านได้แม่นยำเท่าใด นิลลิเมตรเท่านั้น สำหรับหลักการอ่านค่าจากเครื่องมือมีดังต่อไปนี้

1. อ่านค่าที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่องมือชนิดนั้น ๆ ตามความสามารถของเครื่องมือ
2. การบันทึกผลและการรายงานค่าที่ได้จากการตรวจด้วยประมาณค่าเพิ่มจากความสามารถของ เครื่องมืออีกหนึ่งตำแหน่ง เช่น การวัดความยาวด้วยไม้บรรทัดทั่วไปสามารถอ่านค่าได้ถึงหน่วย มิลลิเมตร แต่การบันทึกผลและการรายงานผลการวัดความยาวต้องประมาณค่าในหน่วย $\frac{1}{10}$ ของ มิลลิเมตร
3. การอ่านปริมาณของเหลวในบิวเรตแบ่งออกเป็น 2 กรณี
 - 3.1 ของเหลวใส ให้อ่านค่าจากจุดต่ำสุดของของเหลว
 - 3.2 ของเหลวที่มีสีเข้ม ได้แก่ สารละลาย $KMnO_4$ ซึ่งมีสีม่วง ให้อ่านปริมาตรจากขอบนอก สารละลาย

ตัวเลขเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific notation)

วิชาเคมีเกี่ยวข้องกับตัวเลขที่มีค่ามากและค่าน้อยซึ่งตัวเลขส่วนใหญ่จะเป็นเลขศูนย์ จึงไม่ สะดวกในการเขียนตัวเลขทั้งหมดเพื่อให้ใน การคำนวณ นักวิทยาศาสตร์จึงทดลองใช้สัญลักษณ์เพื่อ เก็บตัวเลขที่มีจำนวนศูนย์มาก เช่นนี้ในรูปแบบเลขยกกำลัง โดยมีกฎดังนี้

1. ใช้แสดงจำนวนบวกเท่านั้น
2. รูปแบบการเขียนคือ $1 < N < 10 \times 10^n$ โดย n เป็นจำนวนเต็มบวก หรือจำนวนเต็มลบ ตัวอย่าง

$$0.00087 = 8.7 \times 10^{-4}$$

$$602,000,000,000,000,000,000,000 = 6.02 \times 10^{23}$$

$$0.000000809 = 8.09 \times 10^{-7}$$

เลขนัยสำคัญ (significant figure)

การพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญของตัวเลขมีกฎดังต่อไปนี้

1. ตัวเลขที่ไม่ใช่ศูนย์ทุกตัว นับเป็นเลขนัยสำคัญ
2. เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขที่เป็นเลขนัยสำคัญ จะเป็นเลขนัยสำคัญด้วย
3. เลขศูนย์ท้ายจำนวนในตำแหน่งหลังจุดทศนิยมเท่านั้นที่จัดเป็นเลขนัยสำคัญ

สิ่งที่ต้องคำนึงเสมอในการแสดงตัวเลขในทางวิทยาศาสตร์ คือ ตัวเลขที่ได้จากการทดลองมาจากการวัดด้วยเครื่องมือ ทำให้ค่าที่วัดได้มีความไม่แน่นอน ดังนั้นการรายงานค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือ เช่น การวัดความยาวด้วยไม้บรรทัดหรือรวมด้ามสามารถอ่านค่าได้ละเอียด เช่น 16.412054 เซนติเมตร นอกจานนี้ตัวเลขบางตัวมีความหมาย (มีนัยสำคัญ) ในขณะที่บางตัวไม่มีความหมาย ซึ่งไม่ควรเขียนไว้เพื่อแสดงค่า แต่ในทางวิทยาศาสตร์การแสดงค่าจะแสดงเฉพาะตัวเลขที่มีนัยสำคัญเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น เลขต่อไปนี้ แสดงเลขศูนย์ที่มีความหมาย (มีนัยสำคัญ) ด้วยตัวเข้ม 0.00500 0.03040 , 2.30×10^{-5} และ 4.500×10^{12} จะเป็นตามกฎที่กล่าวมา ซึ่งจะพิจารณาแบ่งชนิดของเลขศูนย์ออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 เลขศูนย์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของเลขทศนิยมของจำนวนที่มีค่าน้อยกว่า 1

โดยแสดงเลขศูนย์ที่ไม่มีความหมาย (ไม่มีนัยสำคัญ) ด้วยตัวเขียง และเลขที่มีความหมาย (มีนัยสำคัญ) ด้วยตัวหนา 0.00500 (3 นัยสำคัญ) 0.03040 (4 นัยสำคัญ) เป็นต้น เลขศูนย์หน้าตัวเลขที่เป็นเลขนัยสำคัญของจำนวนที่มีค่าน้อยกว่า 1 เหล่านี้กำหนดให้ระบุตำแหน่งของจุดทศนิยมเท่านั้น ดังนั้นการเขียนจำนวนเหล่านี้ด้วยตัวเลขเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific notation) สามารถจัดความสับสนได้เนื่องจาก การเขียนตัวเลขเชิงวิทยาศาสตร์ไม่มีเลขศูนย์ที่ไม่มีความหมายปรากฏอยู่ เช่น $0.00500 = 5.00 \times 10^{-3}$ (3 นัยสำคัญ) และ $0.03040 = 3.040 \times 10^{-2}$ (4 นัยสำคัญ) ตามลำดับ

ประเภทที่ 2 เลขศูนย์ที่อยู่ทางซ้ายมือของจุดทศนิยมของจำนวนที่มีค่าน้อยกว่า 1

จำนวนที่มีค่าน้อยกว่า 1 เช่น 0.00150 เป็นต้น เลขศูนย์ที่อยู่ในตำแหน่งหน้าจุดทศนิยมจะต้องเขียนตามเงื่อนไขทางวิทยาศาสตร์ ไม่ควรละไว้ในฐานเข้าใจโดยเขียนเป็น $.00150$ เมื่อว่าเลขศูนย์ดังกล่าวไม่มีความหมาย (ไม่มีนัยสำคัญ) ก็ตาม

ประเภทที่ 3 เลขศูนย์ที่อยู่หลังจำนวนเต็ม

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงเลขศูนย์ที่ไม่มีความหมายด้วยตัวเขียง เช่น 500 (1 นัยสำคัญ) และ 160000 (2 นัยสำคัญ) หากต้องการเขียนเลขจำนวนเต็มที่มีศูนย์ตามหลังเหล่านี้ให้มีจำนวนเลข

นัยสำคัญตามต้องการสามารถทำได้โดยอาศัย การเขียนตัวเลขเชิงวิทยาศาสตร์ เช่น หากต้องการแสดงจำนวนที่มีค่าเท่ากับ 200 (1 นัยสำคัญ) ให้เป็น 2 นัยสำคัญได้โดยเขียนเป็น 2.0×10^2 สามารถเขียนให้มี 3 นัยสำคัญได้โดยเขียนเป็น 2.00×10^2 และสามารถเขียนให้มี 4 นัยสำคัญได้โดยเขียนเป็น 200.0 เป็นต้น

ประเภทที่ 4 เลขศูนย์ในตำแหน่งหน้าเลขจำนวนเต็ม

เลขศูนย์ในตำแหน่งนี้ไม่จัดเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น กัน เช่น 001500 (2 นัยสำคัญ)
 001.12×10^{-4} (3 นัยสำคัญ) เป็นต้น

กฎการปัดเลข (rules for rounding off)

การปัดเลขทำให้ค่าของจำนวนเปลี่ยนแปลงไป สำหรับเลขศูนย์นั้นการปัดทิ้งไม่มีผลกระทบต่อค่าของจำนวน นิสิตเคยศึกษาการปัดเลขผ่านมาแล้วในชั้นเรียนระดับต้น โดยมีหลักการปัดเลขคือ ปัดทิ้งเมื่อเลขที่ต้องการปัดมีค่าน้อยกว่า 5 และปัดเลขนำหน้าขึ้น 1 ค่า เมื่อเลขที่ต้องการปัดมีค่าตั้งแต่ 5 ขึ้นไป สำหรับหลักการในการปัดเลขในทางวิทยาศาสตร์มีความแตกต่างจากความรู้ที่ผ่านมาเนื่องจากในทางวิทยาศาสตร์ข้อมูลที่เป็นตัวเลขจะนำไปใช้ในกราฟิเคราะห์ เป็นต้นว่า การหาค่าเฉลี่ยการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งต้องนำค่าของจำนวนมารวมกัน ดังนั้นการปัดตัวเลขตามที่นิสิตได้ศึกษามานั้นจึงไม่ถูกต้อง เนื่องจากสัดส่วนในการเปลี่ยนแปลงค่าไม่เท่ากัน

กล่าวคือ ตัวเลขที่ใช้ในการปัดเลขที่มีผลต่อค่าของจำนวนมีทั้งหมด 9 ตัว ซึ่งทำการปัดลง 4 ตัว (1 2 3 และ 4) คิดเป็น $\frac{4}{9}$

และทำการปัดขึ้น 5 ตัว (5 6 7 8 และ 9) คิดเป็น $\frac{5}{9}$ ด้วยสัดส่วนที่ไม่เท่ากันนี้เป็นผลให้การรวมค่า

จำนวนที่ทำการปัดค่าแล้วเกิดความคาดเคลื่อน

ดังนั้นในทางวิทยาศาสตร์จึงพิจารณาการปัดค่าลง และขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากันโดยแยกเลข 5 ไว้ ทำให้สัดส่วนในการปัดเลขเป็น $\frac{4}{9}$ เท่ากัน

สำหรับในกรณีที่จะมีการปัดเลข 5 นั้นให้เป็นไปตามกฎการปัดเลขต่อไปนี้

1. ถ้ามีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดลงรวมถึงเลขทั้งหมดหลังเลขดังกล่าว
2. ถ้ามีค่ามากกว่า 5 ให้ปัดเลขนำหน้าขึ้น 1 ค่า
3. ถ้ามีค่าเท่ากับ 5 ให้ปัดเลขนำหน้าให้เป็นเลขคู่ ในกรณีพิจารณาเลขศูนย์เป็นเลขคู่

ตัวอย่างเช่น

ต้องการปัด 62.5467 (6 นัยสำคัญ) ให้มี 3 นัยสำคัญได้เป็น 62.5 (4 มีค่าน้อยกว่า 5 จึงปัดทิ้งตั้งแต่เลข 4)

ต้องการปัด 3.85 (3 นัยสำคัญ) ให้มี 2 นัยสำคัญได้เป็น 3.8 (8 เป็นเลขคู่จึงปัด 5 ทิ้งไป)

ต้องการปัด 22.73541 (7 นัยสำคัญ) ให้มี 4 นัยสำคัญได้เป็น 22.74 (3 เป็นเลขคี่จึงปัดขึ้นให้เป็นเลขคู่)

ต้องการปัด 2.0495 (5 นัยสำคัญ) ให้มี 4 นัยสำคัญได้เป็น 2.050 (9 เป็นเลขคี่จึงปัดขึ้นเป็นเลขคู่ และต้องเขียนเลขศูนย์ตัวสุดท้ายเพื่อให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญดังต้องการ)

การคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเลขนัยสำคัญ

การรายงานผลการทดลอง จำเป็นต้องนำค่าที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์มาคำนวณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน ได้แก่ การบวก การลบ การคูณ และการหาร ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณย่อมมีความถูกต้องแม่นยำเทียบเท่ากับความแม่นยำต่ำที่สุดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การบวกและการลบเลขนัยสำคัญ

1. นับจำนวนเลขนัยสำคัญในตัวหนึ่งหลังจุดทศนิยมของแต่ละจำนวนที่นำมาบวกหรือลบเท่านั้น
2. ทำการบวกหรือลบตามวิธีพื้นฐาน
3. ปัดตัวเลขคำตอบเพื่อให้มีจำนวนตัวเลขหลังจุดทศนิยมเท่ากับตัวตั้งที่มีจำนวนเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุด

ตัวอย่างเช่น

- 1) $3.461728 + 14.91 + 0.980001 + 5.2631 = 24.614829$ (ต้องปัดเลขให้เหลือทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีค่าเป็น 24.61
- 2) $23.1 + 4.77 + 125.39 + 3.581 = 156.841$ (ต้องปัดเลขให้เหลือทศนิยม 1 ตำแหน่ง) ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีค่าเป็น 156.8
- 3) $22.101 - 0.9307 = 21.1703$ (ต้องปัดเลขให้เหลือทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีค่าเป็น 21.170
- 4) $0.04216 - 0.0004134 = 0.0417466$ (ต้องปัดเลขให้เหลือทศนิยม 5 ตำแหน่ง) ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีค่าเป็น 0.04175
- 5) $564321 - 264321 = 300000$ (เป็นการลบเลขจำนวนเต็มจึงไม่มีทศนิยม)

การคูณและการหารเลขนัยสำคัญ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคูณและการหารเลขนัยสำคัญ มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังนั้นการคูณและการหารเลขนัยสำคัญจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจการนับจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างชัดเจน เช่น $2.5 \times 3.42 = 8.55$ จำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดคือ 2.5 ซึ่งมี 2 นัยสำคัญ จึงต้องปัดค่าของคำตอบเพื่อให้มีจำนวน 2 นัยสำคัญเท่ากัน ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีค่าเป็น 8.6 เป็นต้น

ตัวอย่าง

- 1) $(3.4671 \times 10^7) \div (5.61 \times 10^{-4}) = 0.61802 \times 10^{11}$ จำนวนเลขนัยสำคัญต่ำสุดเป็น 3 นัยสำคัญ ดังนั้นคำตอบจึงมีค่าเป็น 6.18×10^{10}
- 2) $(4.7620 \times 10^{-15}) \div [(3.8529 \times 10^{12})(2.813 \times 10^{-7})(9.50)] = 0.04624 \times 10^{-20}$ จำนวนเลขนัยสำคัญต่ำสุดเป็น 3 นัยสำคัญ ดังนั้นคำตอบจึงมีค่าเป็น 4.62×10^{-22}
- 3) $[(561.0)(34908)(23.0)] \div [(21.888)(75.2)(120.00)] = 2280.397$ จำนวนเลขนัยสำคัญต่ำสุดเป็น 3 นัยสำคัญ ดังนั้นคำตอบจึงมีค่าเป็น 2.28×10^3

ปฏิบัติการเคมีทั่วไป

ឧប័ប្រុងកេវិត

ก 2558

គណនៈជុំតុំ

ที่ปรึกษา: วศ. ดร. สมใจ เพ็งปรีชา
 วศ. ดร. อุมาภรณ์ ჟิตาภิวัฒนกุล
 อ. ดร. ณัฐพงศ์ ไพบูลย์วราหาติ

ประธานาธิการ: วศ. อินทิรา หาญพงษ์พันธ์
ผศ. ดร. สมาวดี ไชยอนันต์สุจิต

ผู้เรียบเรียง	วงศ. เทพจันรงค์	แสงสุนทร
	วงศ. ดร. วุฒิชัย	พาราสุข
	ผศ. ดร. เพื่องฟ้า	อุ่นอบ
	ผศ. ดร. 似侔ดี	ไชยอนันต์สุจิต
วงศ. ดร. ธรรมรัตน์		อาเรีย
ผศ. ดร. วัลภา		ເອົ້າໂນຕະວິໄລມີ
วงศ. วัลยพรวณ		เหลืองดีลก
อ. ดร. อมราภรณ์		อินทศริ
ผศ. กันยรัตน์		กลัมพาก
ผศ. ดร. อภิชาติ		อิมมิม
ผศ. วีไลวรรณ		ถิราวนิชญ์

ผู้ประสนานงาน: วศ. ดร. สมใจ เพ็งปิริชา