



๒7 พ.ค. 2546

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการปฏิบัติการเคมีบนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมี
และการลดมลพิษ

Chemistry Laboratory on the Basis of Chemical Safety and
Pollution Minimization

โดย รศ.ดร.ศุภวรรณ ตันตยานนท์ และคณะ

30 เมษายน 2546

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการปฏิบัติการเคมีบนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ
Chemistry Laboratory on the Basis of Chemical Safety and Pollution Minimization

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---|---|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ ตันตยานนท์ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.วาสนา จตุรนต์วีรัมย์ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 3. รองศาสตราจารย์ เกษร วีระชาติ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวง พุฒสุกร | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชนก กะวัลย์ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลีวัลย์ ราษฎร์วิรุฬห์กิจ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา ธีรมงคล | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 8. อาจารย์ พนอ อัครจวนนท์ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลวรรณ ธีรอนิษฐ์ | ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

10. รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วัฒนเนสก์	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรธนา อินนาจิตร	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
12. อาจารย์ กัณทิพย์ รัตนชาติชูชัย	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
13. อาจารย์ ดร.สุรศักดิ์ พูนสวัสดิ์	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. อาจารย์ พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. อาจารย์ งามจิต ไพรงาม	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ปฏิบัติการเคมีทั่วไป

บนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ

โครงการปฏิบัติการเคมีบนพื้นฐานของความปลอดภัยทางเคมีและการลดมลพิษ
Chemistry Laboratory on the Basis of Chemical Safety and Pollution Minimization

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ส่วนที่ 2 การทดลองแบบลดมลพิษ

การทดลองที่ 12	อันตรกิริยาของแสงและสารเคมี (Interaction of Light and Chemicals)	117
การทดลองที่ 13	สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย : การลดลงของจุดเยือกแข็ง (Colligative Properties of Solutions : Freezing Point Depression)	135
การทดลองที่ 14	อุณหพลศาสตร์เคมี (Chemical Thermodynamics)	150
การทดลองที่ 15	การหาความดันไอและความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Determination of Vapor Pressure and Latent Heat of Vaporization)	167
การทดลองที่ 16	โครงสร้างผลึก (Crystal Structure)	173
การทดลองที่ 17	การวิเคราะห์ชนิดของสารด้วยระบบเคมีไมโคร (Semimicro Qualitative Analysis)	191
การทดลองที่ 18	เทคโนโลยีพิมพ์เขียว (Blueprint Technology)	230
การทดลองที่ 19	สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติก (Physical and Chemical Properties of Plastics)	236
ภาคผนวก	ก	255
	ข	262

การทดลองที่ 1

การละลาย การตกตะกอนและสมบัติตามตารางธาตุ (Solubility, Precipitation and Periodicity)

วัตถุประสงค์

1. ฝึกการสังเกต การรวบรวมข้อมูล และการประมวลผล
2. ศึกษาสมบัติการละลายโดยสัมพันธ์กับตารางธาตุ
3. ฝึกกระบวนการความคิดวิเคราะห์

บทนำ

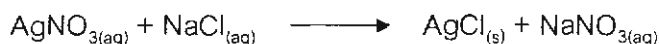
การทดลองนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางเคมีของสารประกอบ โดยเฉพาะสภาพปฏิกิริยาของไอออน (reactivity of ions) ความแตกต่างของสภาพปฏิกิริยาจะมีผลต่อเนื่องตามมาอย่างมาก ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดฟอสฟอริกเจือจางปลอดภัยต่อคน แต่สารละลายอาร์ซีเนต (arsenate, AsO_4^{3-}) (ซึ่งอยู่ต่ำลงมาหนึ่งแถวในตารางธาตุ) มีพิษอย่างมาก แคดเมียม (Cd) มีพิษมาก ขณะที่สังกะสี (Zn) เป็นโลหะ (ในปริมาณน้อย) ที่จำเป็นต่อร่างกาย น้ำที่มีแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ในปริมาณมากจัดว่าเป็นน้ำกระด้างและทำให้สบู่ไม่เกิดฟอง ไอออนบางชนิด เช่น อะลูมิเนียม (Al^{3+}) เมื่อละลายน้ำแล้ว จะให้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

การทดลอง

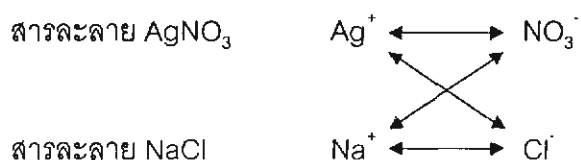
- ตอนที่ 1 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ KI เมื่อไอออนแต่ละคู่เข้าทำปฏิกิริยากัน
- ตอนที่ 2 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของแคตไอออน (ไอออนบวก) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตารางธาตุกับแอนไอออน (ไอออนลบ) ที่กำหนดให้
- ตอนที่ 3 การศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อปฏิกิริยาการเกิดตะกอน
- ตอนที่ 4 การวิเคราะห์แคตไอออนในสารละลายตัวอย่าง

หลักการและทฤษฎี

เมื่อนำสารละลาย AgNO_3 ผสมกับสารละลาย NaCl จะเกิด AgCl เป็นของแข็ง (ตะกอน) แยกออกมา เพราะ AgCl ไม่ละลายน้ำ ส่วน NaNO_3 ยังคงละลายอยู่ในสารละลาย ปฏิริยาการตกตะกอน AgCl เขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ปฏิกิริยาแบบนี้มีการแลกเปลี่ยนคู่กันระหว่างแคตไอออนและแอนไอออน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน** (ion exchange reaction) หรือ **ปฏิกิริยาการแทนที่สองต่อ** (double replacement reaction หรือ metathesis reaction) ตัวอย่างเช่น สารประกอบไอออนิก AgNO_3 และ NaCl เมื่อละลายในน้ำจะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ กล่าวคือ จะอยู่ในรูปของไอออน และเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนกัน Ag^+ แลกเปลี่ยนไอออนลบกับ Na^+ โดยเปลี่ยนจาก NO_3^- ไปเป็น Cl^- ในทำนองเดียวกัน Na^+ ก็เปลี่ยนไอออนลบจาก Cl^- ไปเป็น NO_3^- ดังนี้



สามารถเขียนสมการไอออนิก (ionic equation) ได้ดังนี้



หรือสมการไอออนิกสุทธิ (net ionic equation) ดังนี้



ในการทำนายว่า เมื่อนำสารละลายสองชนิดมาผสมกันแล้วจะเกิดตะกอนหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยความรู้เรื่องสภาพการละลายได้ของสาร สารใดสามารถละลายได้น้อยกว่า 0.01 M ที่ 25 °C จัดว่าไม่ละลาย สารใดสามารถละลายได้ 0.01 ถึง 0.1 M ที่ 25 °C จัดว่าละลายได้ปานกลาง และสารใดสามารถละลายได้มากกว่า 0.1 M ที่ 25 °C จัดว่าละลายได้ดี

วัสดุอุปกรณ์

1. ปิเปตพลาสติก ชนิดหยดเล็ก
2. แผ่นผังการทดลองสอดของพลาสติกปฏิบัติการ
3. ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1X8 หรือ 1X12 หลุม

สารเคมี

1. สารละลายเกลือไนเตรตของคอปเปอร์, โพแทสเซียม, โซเดียม, แมกนีเซียม, แคลเซียม, คลอไรด์, โคโรเนียม (III), แมงกานีส (II), นิกเกิล (II), ไอร์รอน (III), โคบอลต์ (II), สังกะสี, แคดเมียม, อะลูมิเนียม, ตะกั่ว, ดีบุก และเงิน เข้มข้น 0.10 M
2. สารละลายเกลือคลอไรด์, ไครเมต, ไฮโอไดด์, ออกซาลเลต, ซัลไฟด์และซัลเฟตของโซเดียม เข้มข้น 0.10 M
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.10 M
4. สารละลายโพแทสเซียมไฮโอไดด์ เข้มข้น 0.10 M

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ KI เมื่อไอออนแต่ละคู่เข้าทำปฏิกิริยากัน

1. บันทึกลักษณะของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 และ KI เช่น สีหรือขุ่น มีสีหรือไม่ และสีอะไร
2. หยดสารละลายต่าง ๆ ด้วยปิเปตพลาสติก ตามที่กำหนดในตารางที่ 1 ของแผนผังการทดลอง ระวังอย่าให้ปลายปิเปตแตะกับสารละลายต่างชนิดที่ได้หยดไว้แล้วในแต่ละช่องในตารางเพื่อมิให้เกิดการปนเปื้อน ใช้ไม้จิ้มฟันคนสารละลายเข้าด้วยกัน ระวังการปนเปื้อนเมื่อใช้ปลายด้านหนึ่งคนแล้วให้ใช้ปลายอีกด้านสำหรับคนสารละลายอื่นต่อไปหรือเช็ดให้สะอาดและแห้งก่อนการใช้ซ้ำ
3. สังเกตการเกิดตะกอนว่าเกิดในกรณีใดบ้าง ตะกอนสีอะไร มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้นอีก ควรหยดให้สารละลายอยู่ในช่องบนทั้งส่วนที่เป็นสีขาวและสีดำ เมื่อเกิดตะกอนขาวจะเห็นได้ชัดบนพื้นดำ และเมื่อเกิดตะกอนสีจะเห็นได้ชัดบนพื้นขาว
4. ไอออนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยานี้มี 4 ชนิด คือ Cu^{2+} , NO_3^- , K^+ และ I^- สรุปว่าไอออนคู่ใดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังสังเกตเห็น เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ KI
5. ทำความสะอาดของพลาสติกปฏิบัติการโดยเช็ดด้วยกระดาษทิชชู ฉีดน้ำกลั่นล้างเล็กน้อยแล้วเช็ดให้แห้ง ทิ้งกระดาษเช็ดในภาชนะที่จัดไว้

คำถามหลังการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ KI จากอย่างละ 1 หยด เป็น 2 หยด จะมีผลต่อปริมาณของตะกอนที่เกิดขึ้นหรือไม่

ตอนที่ 2 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของแคตไอออน (ไอออนบวก) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตารางธาตุกับแอนไอออน (ไอออนลบ) ที่กำหนดให้

1. หยดสารละลายของ Na^+ 1 หยด ลงในแต่ละช่องของแถวแรกในตารางที่ 2 ของแผนผังการทดลอง แล้วหยดรีเอเจนต์สำหรับตกตะกอนแต่ละชนิดลงไป 1 หยด ในคอลัมน์ 2-7 ส่วนคอลัมน์แรกใช้สำหรับเปรียบเทียบ ไม่ต้องหยดรีเอเจนต์สำหรับตกตะกอน คนสารละลายให้เข้ากัน
2. บันทึกผลการทดลองที่เกิดในทุกคอลัมน์ลงในรายงานผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น มีสีหรือไม่ มีตะกอนเกิดขึ้นหรือไม่ (ตัวอย่างการบันทึก ตะกอนสีขาว เกิดช้า เกิดน้อย ตะกอนสีเหลือง เกิดเร็วและมาก) ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นให้ระบุด้วยว่าตะกอนนั้นควรจะเป็นอะไร และมีสูตรเป็นอย่างไร
3. ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับแคตไอออนอื่น ๆ ในแถวถัด ๆ ไป
4. สรุปผลการทดลองเป็นหมวดหมู่ โดยให้สัมพันธ์กับหมู่ของแคตไอออนตามตารางธาตุ (เท่าที่ข้อมูลจะบอกได้)
5. ทำความสะอาดของพลาสติกปฏิบัติการโดยเช็ดด้วยกระดาษทิชชู ช็ดน้ำกลั่นล้างเล็กน้อยแล้วเช็ดให้แห้ง ทั้งกระดาษเช็ดในภาชนะที่จัดไว้

หมายเหตุ สารละลายของแคตไอออน คือ สารละลาย 0.10 M ของเกลือไนเตรตของแคตไอออนรีเอเจนต์สำหรับตกตะกอน คือ สารละลาย 0.10 M ของเกลือโซเดียมของแอนไอออน

คำถามหลังการทดลอง

1. สีของแคตไอออนมีความสัมพันธ์กับหมู่ของแคตไอออนตามตารางธาตุหรือไม่ อย่างไร
2. สีของแคตไอออนมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างอิเล็กตรอนของไอออนนั้นหรือไม่ อย่างไร
3. จงเปรียบเทียบหรือสรุปความสามารถในการละลาย (solubility) ของตะกอนในเชิงชนิดของแอนไอออน ตัวอย่างเช่น เกลือซัลเฟตทุกชนิดละลายน้ำได้ ยกเว้นเกลือซัลเฟตของแคตไอออนใดรีเอเจนต์ใดบ้างที่ใช้พิสูจน์ชนิดของแคตไอออนได้
4. จงเปรียบเทียบสภาพการมีสีหรือไม่มีสีของแคตไอออนที่มีผลต่อการเกิดตะกอน
5. จงระบุ (ถ้าทำได้) ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการละลายได้ของแคตไอออนกับประจุของแคตไอออนนั้น

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อปฏิกิริยาการเกิดตะกอน

1. ใช้ถาดหลุมแบบ 1x8 หลุม หยดสารละลาย ก. และสารละลาย ข. อย่างละ 5 หยดผสมกัน คนให้เข้ากันดีด้วยไม้จิ้มฟัน ระวังกการปนเปื้อนระหว่างการคน สังเกตและบันทึกผล เช่น สารละลายใสหรือมีตะกอน เก็บของผสมนี้ไว้เปรียบเทียบกับถาดที่สอง

หลุมที่	ปฏิกิริยา	สารละลาย ก.	สารละลาย ข.
1	I	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	NaI
2	II	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	NaOH
3	III	AgNO_3	NaI
4	IV	AgNO_3	NaCl
5	V	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	NaOH
6	VI	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

2. เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำนายว่าตะกอนคือสารใด และมีสีอะไร
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่มีต่อการตกตะกอน ใช้ถาดหลุมแบบ 1x8 ถาดที่สอง หยดสารละลาย ก. จำนวน 1 หยด และเติมน้ำกลั่น 4 หยด หลังจากนั้นหยดสารละลาย ข. จำนวน 1 หยด และเติมน้ำกลั่น 4 หยด คนให้เข้ากันดี เปรียบเทียบปริมาณตะกอนของแต่ละปฏิกิริยากับถาดแรก สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของรีเอเจนต์กับการตกตะกอน

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์แคตไอออนในสารละลายตัวอย่าง

ให้ออกแบบการทดลองเพื่อทำการทดลองแล้วตรวจสอบว่าแคตไอออนในสารละลายตัวอย่างคืออะไรบ้าง โดยกำหนดให้แต่ละตัวอย่างมีแคตไอออน 2 ชนิดปนกันอยู่ รายงานผลการทดลอง พร้อมทั้งเขียนปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบ

คำถามท้ายบท

1. จงนำความรู้จากการทดลองนี้ไปประยุกต์ ในการกำจัดโครเมียมไอออนออกจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
2. ถ้าพบแบคทีเรียชนิดที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว และถูกทิ้งไว้ในที่สาธารณะ ควรจะแก้ไขอย่างไร

การกำจัดของเสีย

ของเสียที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้น้อยมาก อย่างไรก็ตามก็ควรเก็บรวบรวมตะกอนต่าง ๆ ที่ถูกเข็ดออกด้วยกระดาษหิซชุนำไปทิ้งในภาชนะที่เตรียมให้ เพื่อรอการนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. T. L. Brown, H. E. LeMay Jr. and B. E. Bursten, *CHEMISTRY The Central science*, 7th ed, Prentice-Hall, New York, 1997.
2. G. Svehla, *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis*, 7th ed, Longman, 1996.

รายงานผลการทดลองเรื่อง การละลาย การตกตะกอนและสมบัติตามตารางธาตุ

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

ตอนที่ 1 การศึกษาเชิงคุณภาพของปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ KI

1. ลักษณะของสารละลาย $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
2. ลักษณะของสารละลาย KNO_3
3. ลักษณะของสารละลาย KI
4. บันทึกการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ในตาราง

ชนิดของสาร (จำนวนหยด)	KNO_3	KI
	1 หยด	1 หยด
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1 หยด		
และ	2 หยด	2 หยด
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 2 หยด		

5. เขียนปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ KI ในรูปสมการไอออนิก

.....

คำถามหลังการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ และ KI จากอย่างละ 1 หยด เป็น 2 หยด จะมีผลต่อปริมาณของตะกอนที่เกิดขึ้นหรือไม่

.....

ตอนที่ 2 การเกิดตะกอนและความสัมพันธ์ตามตารางธาตุ

		รีเอเจนต์สำหรับตกตะกอน					
		Cl ⁻	CrO ₄ ²⁻	I ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	S ²⁻	SO ₄ ²⁻
หมู่ IA	Na ⁺						
	K ⁺						
หมู่ IIA	Mg ²⁺						
	Ba ²⁺						
	Ca ²⁺						
โลหะทรานซิชัน	Cr ³⁺						
	Mn ²⁺						
	Ni ²⁺						
	Fe ³⁺						
	Co ²⁺						
	Zn ²⁺						
	Cd ²⁺						
หมู่ที่อยู่ถัดจากโลหะทรานซิชัน	Al ³⁺						
	Pb ²⁺						
	Sn ²⁺						

สรุปผลการทดลองเป็นหมวดหมู่

แคตไอออนหมู่ IA

แคตไอออนหมู่ IIA

แคตไอออนของโลหะทรานซิชัน

แคตไอออนหมู่ที่อยู่ถัดจากโลหะทรานซิชัน

คำถามหลังการทดลอง

1. สีของแคตไอออนมีความสัมพันธ์กับหมู่ของแคตไอออนนั้นตามตารางธาตุหรือไม่ อย่างไร

2. สีของแคตไอออนมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างอิเล็กตรอนของไอออนนั้นหรือไม่ อย่างไร

3. จงเปรียบเทียบหรือสรุปสภาพการละลายได้ (solubility) ของตะกอนในเชิงชนิดของ แอนไอออน เช่น แคลเซียมฟอสเฟตทุกชนิดละลายน้ำได้ ยกเว้นแคลเซียมฟอสเฟตของแคตไอออนใด รีเอเจนต์ใดบ้างที่ใช้พิสูจน์ชนิดของแคตไอออนได้

4. จงเปรียบเทียบสภาพการมีสีหรือไม่มีสีของแคตไอออนที่มีผลต่อการเกิดตะกอน

.....

.....

.....

5. จงระบุ (ถ้าทำได้) ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพการละลายได้ของแคตไอออนกับประจุของแคตไอออนนั้น

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 ความเข้มข้นกับการตกตะกอน

เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น และระบุว่าตะกอนคือสารใด มีสีอะไรโดยขีดเส้นใต้ที่สารนั้นและระบุสีของตะกอนได้สูตรเคมี)

ปฏิกิริยา	สมการเคมี
I	
II	
III	
IV	
V	
VI	

สรุปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการตกตะกอน

.....

.....

.....

ตอนที่ 4 วิเคราะห์แคตไอออนในสารละลายตัวอย่าง

แคตไอออนในสารละลายตัวอย่างคือ 1. 2.

ปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แผนผังการทดลอง (สำหรับสอในช่องพลาสติกปฏิบัติการ)

ตารางที่ 1

ชนิดของสาร (จำนวนหยด)	KNO ₃		KI	
	1 หยด		1 หยด	
Cu(NO ₃) ₂ 1 หยด				
และ	2 หยด		2 หยด	
Cu(NO ₃) ₂ 2 หยด				

ตารางที่ 2

แคตไอออน		รีเอเจนต์สำหรับตกตะกอน					
		Cl ⁻	CrO ₄ ²⁻	I ⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	S ²⁻	SO ₄ ²⁻
หมู่ IA	Na ⁺						
	K ⁺						
หมู่ IIA	Mg ²⁺						
	Ba ²⁺						
	Ca ²⁺						
โลหะทรานซิชัน	Cr ³⁺						
	Mn ²⁺						
	Ni ²⁺						
	Fe ³⁺						
	Co ²⁺						
	Zn ²⁺						
	Cd ²⁺						
หมู่ที่อยู่ถัดจาก โลหะทรานซิชัน	Al ³⁺						
	Pb ²⁺						
	Sn ²⁺						

การทดลองที่ 2
กฎทรงมวลโดยปฏิกิริยาของคอปเปอร์
(Law of Mass Conservation by the Reactions of Copper)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิกิริยาเคมีของคอปเปอร์และสารประกอบคอปเปอร์
2. ศึกษากฎทรงมวลโดยอาศัยปริมาณของคอปเปอร์ก่อนและหลังการเกิดเป็นสารประกอบคอปเปอร์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ

บทนำ

กฎทรงมวล (Law of mass conservation) กล่าวว่า มวลของสารทั้งหมดก่อนทำปฏิกิริยาจะเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังทำปฏิกิริยา นับเป็นกฎพื้นฐานทางเคมีที่สามารถนำไปใช้อธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี

คอปเปอร์เป็นโลหะทรานซิชันธาตุที่ 9 ของกลุ่มโลหะทรานซิชันแถวแรก มีเลขอะตอมเท่ากับ 29 สารประกอบต่าง ๆ ของคอปเปอร์จะมีสีแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสมบัติที่เด่นชัดของโลหะทรานซิชัน เมื่อโลหะคอปเปอร์ผ่านการทำปฏิกิริยาหลายขั้นตอนเกิดเป็นสารประกอบคอปเปอร์ชนิดต่าง ๆ ปริมาณของโลหะคอปเปอร์ก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาสามารถใช้พิสูจน์กฎทรงมวลได้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปนั้น นอกจากจะแบ่งประเภทโดยอาศัยหลักเกณฑ์ของการถ่ายเทอิเล็กตรอน เพื่อจัดว่าเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) หรือไม่แล้ว ยังอาจแบ่งประเภทของปฏิกิริยาเคมีตามลักษณะการเปลี่ยนตำแหน่งอะตอมของธาตุในสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

ก. ปฏิกิริยาการรวมตัวอย่างง่าย (simple combination) เช่น



ข. ปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างง่าย (simple decomposition) เช่น



ค. ปฏิกิริยาการแทนที่อย่างง่าย (simple replacement) เช่น



ง. ปฏิกิริยาการแทนที่สองต่อ (double replacement) เช่น



การทดลองในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดังกล่าวเหล่านี้

การทดลอง

ตอนที่ 1 การเปลี่ยนโลหะคอปเปอร์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ไนเตรต

ตอนที่ 2 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ไนเตรตให้เป็นคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์

ตอนที่ 3 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

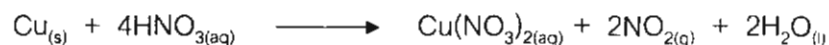
ตอนที่ 4 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

ตอนที่ 5 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตให้เป็นโลหะคอปเปอร์

หลักการและทฤษฎี

การทดลองนี้ จะเริ่มจากการนำโลหะคอปเปอร์จำนวนหนึ่งมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดเป็นสารประกอบคอปเปอร์ชนิดต่างๆ และจากสารประกอบเหล่านี้ก็จะถูกทำให้กลับมามีอยู่ในรูปของโลหะคอปเปอร์อีกครั้งหนึ่ง

การเริ่มต้นเตรียมสารประกอบของคอปเปอร์ โลหะคอปเปอร์ละลายได้ดีในกรดไนตริกเข้มข้น ขณะที่โลหะคอปเปอร์ละลาย โลหะคอปเปอร์จะถูกออกซิไดส์ด้วย จึงเรียกกระบวนการละลายเช่นนี้ว่า ออกซิเดทีฟดิซโซลูชัน(oxidative dissolution) ดังสมการ

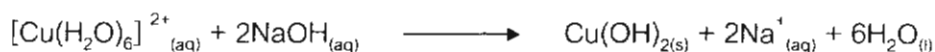


ขณะที่การละลายเกิดขึ้น จะมีแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งมีสีน้ำตาล และเป็นพิษเกิดขึ้นด้วย ส่วนสารละลายคอปเปอร์ (II) ไนเตรตจะมีสีเขียว

ระวัง! แก๊สพิษ NO_2 ต้องทำในตู้ดูดควัน

เมื่อเติมน้ำกลั่นลงในสารละลายข้างต้น สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า เนื่องจากการเกิดสารเชิงซ้อนของคอปเปอร์ (II) ไอออนกับน้ำ (aquo complex) ในรูป $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$

การเปลี่ยนสารประกอบที่เกิดขึ้นให้เป็นสารประกอบคอปเปอร์ชนิดอื่นๆ เมื่อเติม 6 M NaOH จำนวนหนึ่งลงในสารละลายของสารเชิงซ้อน จะมีตะกอนสีฟ้าของคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นดังปฏิกิริยา



การเปลี่ยนสารประกอบที่เกิดขึ้นโดยการให้ความร้อน เมื่อเติมน้ำพอประมาณลงไปผสมกับตะกอน แล้วต้มสารผสมให้ร้อน ตะกอนสีฟ้าจะเปลี่ยนเป็นตะกอนสีดำของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ดังปฏิกิริยา



เสถียรภาพของสารประกอบที่เกิดขึ้น ตะกอนของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์จะละลายได้ดีในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1 M ขึ้นไป ทำให้ได้สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต โดยที่คอปเปอร์จะอยู่ในรูป $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ อีกครั้งหนึ่ง ทำให้สารละลายเป็นสีฟ้า



การเปลี่ยนสารประกอบคอปเปอร์ให้กลับคืนเป็นโลหะคอปเปอร์ คอปเปอร์ที่ละลายอยู่ในสารละลายจะถูกรีดิวซ์กลับมาเป็นโลหะคอปเปอร์ได้ โดยใช้ผงสังกะสีเป็นตัวรีดิวซ์ ดังปฏิกิริยา



หากทำการทดลองอย่างระมัดระวังแล้ว จะได้โลหะคอปเปอร์กลับคืนมาเกือบหมดหรือได้ปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้น ซึ่งจะเป็นการยืนยันและพิสูจน์กฎทรงมวลได้เป็นอย่างดี

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (อ่านทศนิยมได้อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง)
2. หลอดทดลองขนาด 13x100 mm
3. ช่างน้ำร้อน
4. แท่งคน
5. กระจกนาฬิกา
6. ถ้วยกระเบื้องสำหรับการระเหย
7. เครื่องหมุนเหวี่ยง

สารเคมี

1. ลวดคอปเปอร์ (copper wire) หรือ แผ่นคอปเปอร์ (copper strip)
2. กรดไนตริกเข้มข้น (nitric acid, conc. HNO_3)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 M (sodium hydroxide, 6 M NaOH)
4. สารละลายกรดซัลฟิวริก 3 M (sulfuric acid, 3 M H_2SO_4)
5. แอมโมเนียเข้มข้น (ammonia, conc. NH_3)
6. ผงสังกะสี (zinc powder)
7. แอซีโตน (acetone, CH_3COCH_3)
8. กระดาษลิตมัสสีแดง

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การเปลี่ยนโลหะคอปเปอร์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ไนเตรต

1. ชั่งโลหะคอปเปอร์ (0.1-0.2 กรัม) ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บันทึกผล
2. ใส่โลหะคอปเปอร์ลงในหลอดทดลอง ทำเครื่องหมายบนหลอดทดลองให้ชัดเจนเพื่อป้องกัน การสลับหลอดทดลอง นำไปที่ตู้ดูดควัน เติม conc. HNO_3 ลงไป 1.5 mL ตั้งทิ้งไว้จน โลหะทองแดงละลายหมด สังเกตควันที่เกิดขึ้นขณะที่โลหะทองแดงละลาย และสีของสารละลาย บันทึกผล
3. นำสารละลายที่ได้มาเติมน้ำลงไป 1.5 mL บันทึกสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลง

ตอนที่ 2 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ไนเตรตให้เป็นคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์

1. หยด 6 M NaOH จำนวน 2.0 mL ทีละหยด ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายคอปเปอร์ ซึ่งแช่อยู่ในอ่างน้ำเย็น คนสารละลายตลอดเวลาและระวังอย่าให้สารละลายร้อนเกินไป บันทึกสีของตะกอนที่เกิดขึ้น
2. ทดสอบความเป็นเบสของสารละลายด้วยกระดาษลิตมัส การทดสอบนี้ทำเพื่อให้แน่ใจว่า คอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดได้ในสารละลายที่เป็นเบส

ตอนที่ 3 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

1. ฉีดล้างตะกอนคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ที่ติดข้างหลอดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำหลอดทดลอง ไปแช่ในอ่างน้ำร้อน ทิ้งไว้พร้อมทั้งสังเกตสีของตะกอนที่เปลี่ยนไปพร้อมกับบันทึกผล
2. นำหลอดทดลองไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน รินสารละลายสีทิ้งลงในภาชนะ ที่ทางห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ให้ แล้วล้างตะกอนให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง โดยทำซ้ำตามที่กล่าวข้างต้น

ตอนที่ 4 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

1. เติมสารละลาย 3 M H_2SO_4 1.5 mL เพื่อละลายตะกอนจากตอนที่ 3 คนสารละลายด้วย แท่งแก้วจนตะกอนละลายหมด สังเกตและบันทึกสีของสารละลาย
2. เทสารละลายลงในถ้วยกระเบื้อง ล้างภายในหลอดทดลองพร้อมแท่งแก้วให้สะอาดด้วย น้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เทน้ำล้างรวมลงในถ้วยกระเบื้อง

ตอนที่ 5 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตให้เป็นโลหะคอปเปอร์

1. เติมผงสังกะสี ลงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต อย่างช้า ๆ ทีละน้อย พร้อมทั้งใช้แท่งแก้วคนสารผสมตลอดเวลา สังเกตและบันทึกสีตะกอนที่เกิดขึ้น
2. หยุดเติมผงสังกะสี เมื่อสารละลายใสไม่มีสี อย่าเติมผงสังกะสีมากเกินไป ทดสอบให้แน่ชัดว่ามีคอปเปอร์ (II) เหลืออยู่ในสารละลายหรือไม่ โดยดูดสารละลายใสแล้วหยดลงบนกระดาษฟิคา 2 หยด หยดสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 2 หยดลงไปผสม ถ้าพบว่าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินของสารเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ แสดงว่า คอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ยังไม่หมด ให้รีดิวซ์ด้วยผงสังกะสีต่ออีกเล็กน้อย
3. เติม 3 M H_2SO_4 จำนวน 10 หยดลงไป เพื่อละลายสังกะสีที่เหลือ ต่อจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปอีก 20 หยด คอยจนฟองแก๊สไฮโดรเจนหมดไป
4. รินของเหลวใสลงในบีกเกอร์เปล่าอย่างช้า ๆ (เพื่อนำไปเทรวมในภาชนะที่จัดเตรียมไว้ภายหลัง) ระวังอย่าให้โลหะคอปเปอร์ไหลออก ล้างโลหะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ๆ ละ 1 mL รินน้ำล้างโลหะใสลงในบีกเกอร์ใบเดิม แล้วใช้ปิเปตพลาสติกดูดน้ำที่เหลือออกให้หมด
5. ล้างตะกอนอีกครั้งด้วยแอซีโตน 1 mL รินของเหลวลงในภาชนะที่ห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ แล้วนำตะกอนไปให้ความร้อนโดยใช้อ่างน้ำร้อนหรือใช้ไฟอ่อน ๆ และเมื่อเห็นว่าตะกอนค่อนข้างแห้งแล้ว ให้วางด้วยกระบือทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปชั่งหามวลของโลหะคอปเปอร์ที่ได้กลับคืนมา เพื่อหาค่าร้อยละของการกลับคืน

คำถามท้ายบท

1. ในการทดลองตอนที่ 2 ทำไมจึงต้องเติม 6 M NaOH ทีละหยด ลงในสารละลายคอปเปอร์หลังจากโลหะคอปเปอร์ละลายหมดแล้ว พร้อมทั้งแช่หลอดทดลองในอ่างน้ำเย็น
2. ถ้าสารละลายในขั้นที่ 2 ของตอนที่ 2 ยังมีสภาพเป็นเบสไม่มากพอ จะมีผลอย่างไรต่อปริมาณโลหะคอปเปอร์ในตอนที่ 5
3. ในตอนที่ 5 ถ้า H_2SO_4 ที่ใช้ละลายโลหะสังกะสีมีความเข้มข้นถึง 6 M นักศึกษาคิดว่าโลหะคอปเปอร์จะละลายพร้อมกับโลหะสังกะสีหรือไม่ เพราะเหตุใด

การกำจัดของเสีย

1. กำจัด Zn ในสารละลายโดยการตกตะกอนเป็นซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) และเก็บซิงค์ซัลไฟด์ไปใช้ในการทดลองอื่น
2. เมื่อรวบรวมแอซีโตนไว้ได้ปริมาณมากแล้วให้นำมากำจัดน้ำออก และกลั่นเพื่อนำกลับมาใช้อีก

เอกสารอ้างอิง

1. J. H. Nelson and K. C. Kemp, *Chemistry Laboratory*, Burgess Publishing, Minneapolis, 1975.
2. J. W. Hill and R. H. Petrucci, *General Chemistry: An Integrated Approach*, 2nd ed, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1999.

รายงานผลการทดลองเรื่อง กฎทรงมวลโดยปฏิกิริยาของคอปเปอร์

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....
 อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

1. ผลการทดลอง

	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	เติมคำตอบ
ตอนที่ 1	$\begin{array}{c} \text{Cu} \\ \downarrow \text{conc. HNO}_3 \\ \text{แก๊สพิษ} \\ \text{Cu(NO}_3)_2 \\ \downarrow \text{H}_2\text{O} \\ \text{สารละลาย X} \end{array}$	มวลของลวดคอปเปอร์ก่อนทำปฏิกิริยา.....กรัม กระบวนการเกิดปฏิกิริยานี้เรียกว่า..... สีของสารละลาย..... สูตรของแก๊สที่เกิดขึ้น..... สารละลาย X มีสี..... สูตรของไอออนที่เกิดสีในสารละลาย X คือ.....
ตอนที่ 2	$\begin{array}{c} \downarrow \text{NaOH} \\ \text{Cu(OH)}_2 \end{array}$	ตะกอนสี.....
ตอนที่ 3	$\begin{array}{c} \downarrow \text{heat} \\ \text{CuO} \end{array}$	ชนิดของปฏิกิริยาตามการเปลี่ยนตำแหน่งอะตอม..... ตะกอนสี.....
ตอนที่ 4	$\begin{array}{c} \downarrow 3 \text{ M H}_2\text{SO}_4 \\ \text{CuSO}_4 \end{array}$	เมื่ออยู่ในรูปสารละลาย สารสีฟ้ามีสูตรเป็น.....
ตอนที่ 5	$\begin{array}{c} \downarrow \text{Zn} \\ \text{Cu} \end{array}$	โลหะคอปเปอร์ที่ได้มีสี.....มวลที่ได้.....กรัม

2. การคำนวณร้อยละของโลหะคอปเปอร์ที่ได้คืนมา (แสดงวิธีคำนวณ)

.....

การทดลองที่ 3

เลขออกซิเดชันของแวนเดียม

(Oxidation Numbers of Vanadium)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ของแวนเดียมกับตัวรีดิวซ์ชนิดต่าง ๆ
2. ศึกษาเลขออกซิเดชันต่าง ๆ ของแวนเดียมโดยการสังเกตสีและการคำนวณ

บทนำ

เลขออกซิเดชันของธาตุ เป็นตัวเลขที่บอกประจุของไอออนของธาตุอะตอมเดี่ยว หรือประจุสมมติของธาตุในโมเลกุลโคเวเลนต์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะถูกอะตอมของธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่าดึงเข้าหาตัวเอง เลขออกซิเดชันของธาตุอาจจะมีค่าเป็น บวก ลบ หรือ ศูนย์

สำหรับสารประกอบไอออนิก เลขออกซิเดชันของไอออนของธาตุอะตอมเดี่ยว จะมีค่าเท่ากับประจุของไอออนนั้น เช่น K^+ และ S^{2-} จะมีเลขออกซิเดชันเป็น +1 และ -2 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มอะตอมที่รวมกันเป็นไอออนโดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (หรือโมเลกุลโคเวเลนต์) จะมีเลขออกซิเดชันของธาตุทั้งหมดเท่ากับประจุของไอออน การกำหนดเลขออกซิเดชันให้กับอะตอม จะมีขั้นตอนหลักดังนี้

สำหรับคู่อะตอมที่เกิดพันธะโคเวเลนต์กัน อะตอมที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูงกว่าจะมีเลขออกซิเดชันเป็นลบ และมีค่าเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนที่อะตอมนั้น ๆ จะได้รับเพิ่มขึ้นมา ทำให้อีกอะตอมหนึ่งมีเลขออกซิเดชันเป็นบวก และมีค่าเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนที่อะตอมนั้นจะสูญเสียไป เช่น H_2O อะตอมออกซิเจนจะดึงอิเล็กตรอนจากไฮโดรเจนทั้ง 2 อะตอมมาหาตัวเอง ทำให้ออกซิเจนมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 และไฮโดรเจนแต่ละอะตอมจะมีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1

การทดลอง

ตอนที่ 1 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (V) ด้วย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ตอนที่ 2 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (V) ด้วย โลหะสังกะสี

หลักการและทฤษฎี

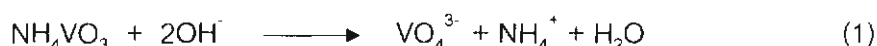
ธาตุแวนเดียมเป็นธาตุที่มีการบรรจุอิเล็กตรอนไม่เต็มใน d หรือ f ออร์บิทัล และแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ธาตุที่มีเลขอะตอม 21-30, 39-50, 57-80 และ 89-103 ธาตุแวนเดียมส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีแตกต่างกันออกไป

แวนเดียมเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 23 อยู่ในกลุ่มธาตุแวนเดียมแถวแรก ซึ่งอยู่ในคาบที่ 4 ของตารางธาตุ

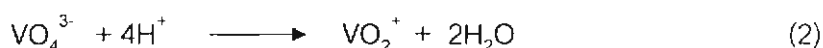
ธาตุแวนเดียมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$ ระดับพลังงานของ 3d ออร์บิทัล อยู่ต่ำกว่าระดับพลังงานของ 4s ออร์บิทัล ดังนั้นเมื่อแวนเดียมเกิดเป็นสารประกอบ V^{2+} อิเล็กตรอนทั้ง 2 ใน 4s ออร์บิทัลจะถูกดึงออกก่อน การจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$ และเมื่ออิเล็กตรอนทั้งสามใน 3d ออร์บิทัล ถูกดึงออกทีละตัว แวนเดียมจึงมีเลขออกซิเดชันได้ต่าง ๆ กันตั้งแต่ +3, +4 และ +5 ตามลำดับ

ในการทดลองนี้ จะใช้สารตั้งต้น คือ แอมโมเนียมเมตาแวนเดต (ammonium metavanadate, NH_4VO_3) ซึ่งแวนเดียมจะมีเลขออกซิเดชันเป็น +5 สารนี้จะมีสีต่างกันไปตามสภาพความเป็นกรดและเบสของสารละลาย ถ้าสารละลายเป็นกรดมาก ๆ ($pH < 2$) แวนเดียมจะอยู่ในรูป VO_2^+ ซึ่งมีสีเหลือง ถ้าสารละลายเป็นเบสมาก ๆ ($pH > 12$) จะอยู่ในรูป VO_4^{3-} ซึ่งไม่มีสี สำหรับช่วง pH ระหว่างนี้ แวนเดียมจะอยู่ในรูป พอลิเมอร์ออกซิแอนไอออน (polymeric oxyanion) เช่น $[VO_3(OH)]^{2-}$, $[V_2O_6(OH)]^{3-}$, $[VO_2(OH)_2]^-$ เป็นต้น

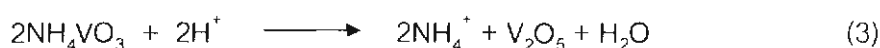
การเตรียมสารละลายของแวนเดียม (V) เพื่อให้เป็นสารละลายเริ่มต้นในการทดลองนี้ทำได้โดยละลาย NH_4VO_3 ในสารละลายที่เป็นเบสแก่ ($pH > 12$) ซึ่งจะทำให้แวนเดียมอยู่ในรูป VO_4^{3-} ดังสมการ



แล้วจึงทำสารละลายให้เป็นกรด ซึ่งจะทำให้ VO_4^{3-} เปลี่ยนไปอยู่ในรูป VO_2^+ ดังสมการ



แต่ถ้านำ NH_4VO_3 ไปทำปฏิกิริยากับกรดโดยตรงแล้ว จะเกิด vanadium pentoxide (V_2O_5) ซึ่งเป็นตะกอนสีส้มแดงที่ละลายน้ำได้น้อย ดังสมการ

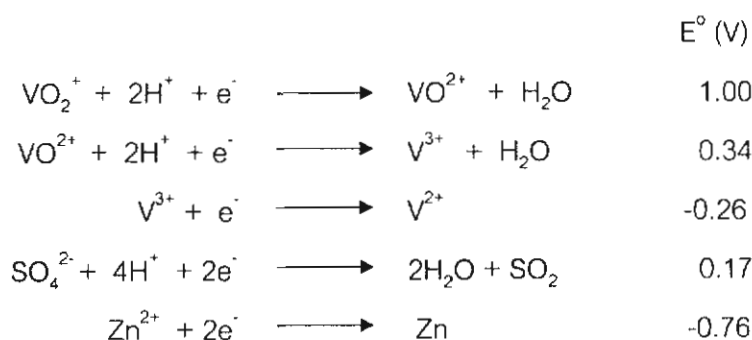


ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ธาตุแวนเดียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกันจะมีสีและอยู่ในรูปของไอออนต่างกันดังนี้ V^{4+} จะอยู่ในรูปของแวนเดิลไอออน (vanadyl ion, VO^{2+}) ส่วน V^{3+} และ V^{2+} จะอยู่ในรูปของไฮเดรตไอออน (hydrated ion) ที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ล้อมรอบ สีของสารละลายของแวนเดียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกัน แสดงในตารางต่อไปนี้

แวนเดียมไอออน	สีของสารละลาย
V^{2+}	ม่วง
V^{3+}	เขียว
V^{4+} (VO^{2+})	น้ำเงินฟ้า
V^{5+} (VO_2^+)	เหลือง
(VO_4^{3-})	ไม่มีสี

ดังนั้นการสังเกตสีของสารละลายระหว่างการทดลองจึงสามารถบอกเลขออกซิเดชันของธาตุแวนเดียมได้

การรีดิวซ์แวนเดียม (V) ให้มีเลขออกซิเดชันต่ำลง ทำได้โดยการเลือกตัวรีดิวซ์ที่มีกำลังการรีดิวซ์ (reducing power) ที่เหมาะสม ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ตัวรีดิวซ์ 2 ชนิด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเตรียมได้จากการละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ในกรด และโลหะสังกะสี (Zn) ความสามารถในการรีดิวซ์ของตัวรีดิวซ์ทั้งสองชนิดนี้ สามารถพิจารณาได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (E°) ของปฏิกิริยาต่อไปนี้



จากค่า E° เหล่านี้ สรุปได้ว่า SO_2 สามารถรีดิวซ์ VO_2^+ ไปเป็น V^{3+} ได้เท่านั้น และ Zn สามารถรีดิวซ์ VO_2^+ ให้เป็น V^{2+} ได้

อย่างไรก็ตาม การใช้ค่า E° ในการพิจารณาว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้หรือไม่นั้น ตัวแปรที่มีบทบาทต่อการรีดิวซ์ คือ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย (ควรเป็น 1.0 M) และความดันของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา (ควรเป็น 1 atm) ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ตัวแปรทั้งสองชนิดไม่ได้เป็นไปตามเงื่อนไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการใช้ SO_2 เป็นตัวรีดิวซ์ ค่าความดันของ SO_2 ที่เกิดขึ้นใน

ปฏิกิริยาจะน้อยกว่า 1 atm มาก จึงคาดคะเนกำลังการรีดิวซ์ได้ไม่ชัดเจน แต่พิจารณาได้จากผลการทดลองโดยตรง ซึ่งทำได้โดยสังเกตสีเป็นลำดับแรกและคำนวณเป็นลำดับต่อมา

จากเหตุผลของการที่ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนจากค่า E° ว่า ตัวรีดิวซ์แต่ละตัวจะรีดิวซ์แวนเดียมได้มากน้อยเพียงใด ในการทดลองนี้จึงต้องคำนวณหาเลขออกซิเดชันที่ถูกต้อง โดยหลังจากการรีดิวซ์ VO_2^+ ด้วยตัวรีดิวซ์แต่ละชนิดแล้ว ให้นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต (KMnO_4) เพื่อออกซิไดส์แวนเดียมให้กลับเป็น VO_2^+ อีกครั้งหนึ่ง โดย KMnO_4 เกิดปฏิกิริยารีดักชันดังนี้



เมื่อนำปริมาณของสารละลาย KMnO_4 ที่ใช้ในการไทเทรตแต่ละครั้งมาคำนวณ ทำให้ทราบเลขออกซิเดชันของแวนเดียมหลังจากถูกรีดิวซ์ได้ว่าเป็นเท่าใด

ดังนั้น การทดลองนี้จึงแบ่งออกเป็น 2 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 การรีดิวซ์ VO_2^+ ด้วย SO_2

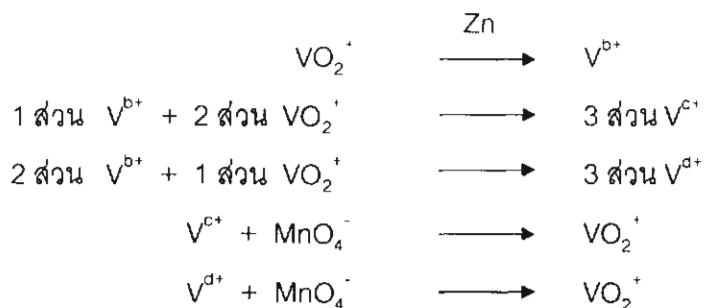
โดยถือว่าปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็น



แล้วไทเทรตสารละลาย V^{a+} ที่ได้จาก KMnO_4 โดยตรง

ตอนที่ 2 การรีดิวซ์ VO_2^+ ด้วย Zn

เนื่องจาก Zn มีกำลังการรีดิวซ์สูงกว่า SO_2 เป็นผลให้ VO_2^+ ถูกรีดิวซ์ได้เลขออกซิเดชันที่มีค่าต่ำลง (V^{b+}) ซึ่งเลขออกซิเดชันที่ได้นี้ไม่เสถียร ถูกออกซิไดส์ง่ายมากโดยออกซิเจนในอากาศ จึงไม่สามารถไทเทรตสารละลาย V^{b+} กับ KMnO_4 ได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้แวนเดียมมีเลขออกซิเดชันที่สูงขึ้นและเสถียรในอากาศ โดยให้ V^{b+} ทำปฏิกิริยากับ VO_2^+ ได้ V^{c+} หรือ V^{d+} (ขึ้นกับปริมาณของสารที่ทำปฏิกิริยากัน) แล้วจึงนำไปไทเทรตกับ KMnO_4 ดังปฏิกิริยา



จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง สามารถนำมาคำนวณหาค่า a, b, c, d ซึ่งเป็นเลขออกซิเดชันของแวนเดียมได้

วัสดุอุปกรณ์

1. กระบอกตวงขนาด 10 mL
2. ปิเปตพลาสติก
3. หลอดแก้วขนาด 13 x 100 mm พร้อมจุกยาง
4. อ่างน้ำร้อน
5. หลอดหยดสาร พร้อมจุกยาง
6. ล้าลิ

สารเคมี

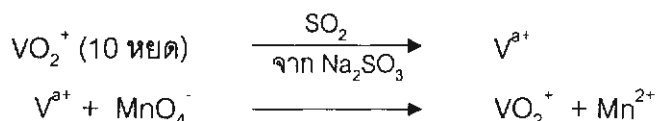
1. สารละลายแอมโมเนียมเมทาวานาเดต 0.07M (ammonium metavanadate, 0.07M NH_4VO_3)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 M (sodium hydroxide, 1 M NaOH)
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 M (sulfuric acid, 1 M H_2SO_4)
3. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.45 M (sodium sulfite, 0.45 M Na_2SO_3)
4. สารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต 0.02 M (potassium permanganate, 0.02 M KMnO_4)
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 M (hydrochloric acid, 1 M HCl)
6. คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต (copper(II) sulfate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
7. ผงสังกะสี (zinc powder)
8. กระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน

วิธีทดลอง

การเทียบปริมาตร (volume calibration) ของปิเปตพลาสติก

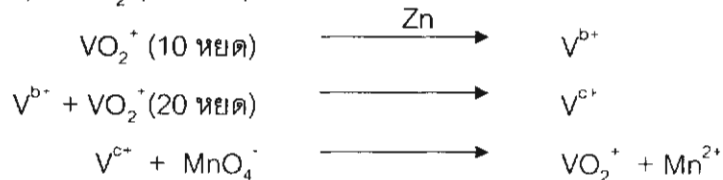
ใช้ปิเปตพลาสติกดูดน้ำกลั่นแล้วหยดน้ำกลั่นลงในกระบอกตวงขนาด 5 mL จำนวน 50 หยด อ่านปริมาตรทั้งหมดของน้ำกลั่นในกระบอกตวง แล้วคำนวณหาปริมาตรของน้ำกลั่น 1 หยด

ตอนที่ 1 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (V) ด้วย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์



1. หยดสารละลาย NH_4VO_3 (ที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน) ลงไปในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 10 หยด
2. เติม 1 M H_2SO_4 จำนวน 15 หยด และ 0.45 M Na_2SO_3 จำนวน 1 หยด ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เคาะกันหลอดทดลองกับฝ่ามือเพื่อผสมสารละลาย
3. ต้มสารละลายให้ร้อนในอ่างน้ำร้อน เพื่อไล่แก๊ส SO_2 ที่เหลือออกให้หมด (ทดสอบว่า SO_2 หมดแล้ว โดยการอังด้วยกระดาษลิทมัสสีน้ำเงินซึ่งที่ปากหลอด) แล้วเปรียบเทียบสีของสารละลาย NH_4VO_3 ก่อนและหลังการรีดิวซ์ หาเลขออกซิเดชันของแวนเดียมที่เตรียมได้
4. โทเทรตสารละลายในหลอดทดลองขณะร้อน ($>70^\circ\text{C}$) กับสารละลายมาตรฐาน KMnO_4 โดยใช้ปิเปตพลาสติก หยดสารละลาย KMnO_4 ลงไปที่ละหยด เขย่าสารละลายให้เข้ากัน หยดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้จุดยุติ ซึ่งเป็นสีส้ม
5. บันทึกจำนวนหยดของสารละลาย KMnO_4 ทั้งหมดที่ใช้ในแต่ละหลอด แล้วหาค่าเฉลี่ย

ตอนที่ 2 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (V) ด้วย Zinc

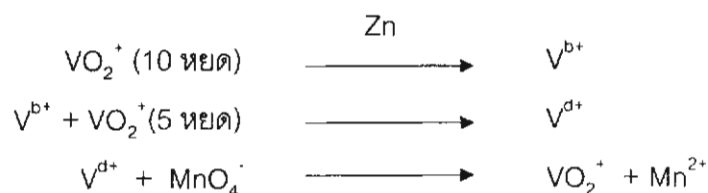
2.1 V^{b+} (1 ส่วน) + VO_2^+ (2 ส่วน)

1. หยดสารละลาย NH_4VO_3 ลงในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 10 หยด
2. เติม 1 M H_2SO_4 จำนวน 8 หยด ลงในแต่ละหลอด
3. เติม Zn ขนาดเท่าหัวไม้ขีดไฟหรือประมาณปลายช้อนตักสาร ปิดจุกให้แน่น เขย่าจนสารละลายมีสีม่วง (ใช้เวลาประมาณ 5 นาที)

สังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งได้สีม่วง

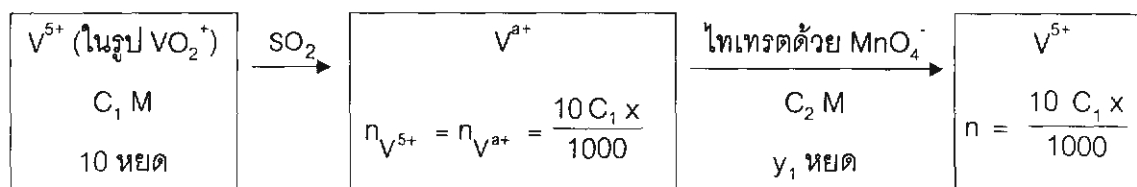
4. หยดสารละลาย NH_4VO_3 ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด หลอดละ 20 หยด
5. กรอง Zn ออก โดยเทสารละลายแวนเดียมที่ได้ ผ่านหลอดหยดสารที่อุดปลายด้วยสำลีสั่งหลอดทดลองเดิมด้วย 1 M H_2SO_4 ครั้งละ 5 หยด เทสารละลายผ่านหลอดกรองที่มี Zn อยู่ ทำ 2 ครั้ง แล้วใช้ลูกยางบีบไล่สารละลายที่ตกค้างในสำลีสั่งออกให้หมด เก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในหลอดทดลองเพื่อนำไปไทเทรตต่อไป
6. อุณหภูมิสารละลายให้ร้อนถึง $70^\circ C$ แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย $KMnO_4$ จนได้จุดยุติเป็นสีส้มบันทึกจำนวนหยดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้แต่ละครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

อย่าลืม! นำ Zn ที่กรองได้ไปใส่ลงในภาชนะที่ทางห้องปฏิบัติการเตรียมไว้ เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก

2.2 V^{b+} (2 ส่วน) + VO_2^+ (1 ส่วน)ดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับ 2.1 แต่ในข้อ 4 ให้เติม NH_4VO_3 หลอดละ 5 หยด

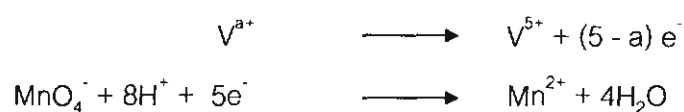
การคำนวณ

1. การหาค่าเลขออกซิเดชันของแวนเนเดียม หลังจากถูกรีดิวซ์ด้วย SO_2 (V^{a+})



ถ้า 1 หยดของสารละลายที่ได้จากปิเปตพลาสติก มีปริมาตรเท่ากับ $x \text{ mL}$

เนื่องจาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



$$\text{จำนวนโมลของ } \text{V}^{a+} \text{ ที่เกิดจากการรีดิวซ์ด้วย } \text{SO}_2 = \text{จำนวนโมลของ } \text{V}^{5+}$$

$$= \frac{10 C_1 x}{1000}$$

$$\text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } \text{V}^{a+} \text{ ให้แก่ } \text{MnO}_4^- = \frac{(5-a)10 C_1 x}{1000}$$

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^- \text{ ที่ใช้ในการออกซิไดส์ } \text{V}^{a+} = \frac{y_1 C_2 x}{1000}$$

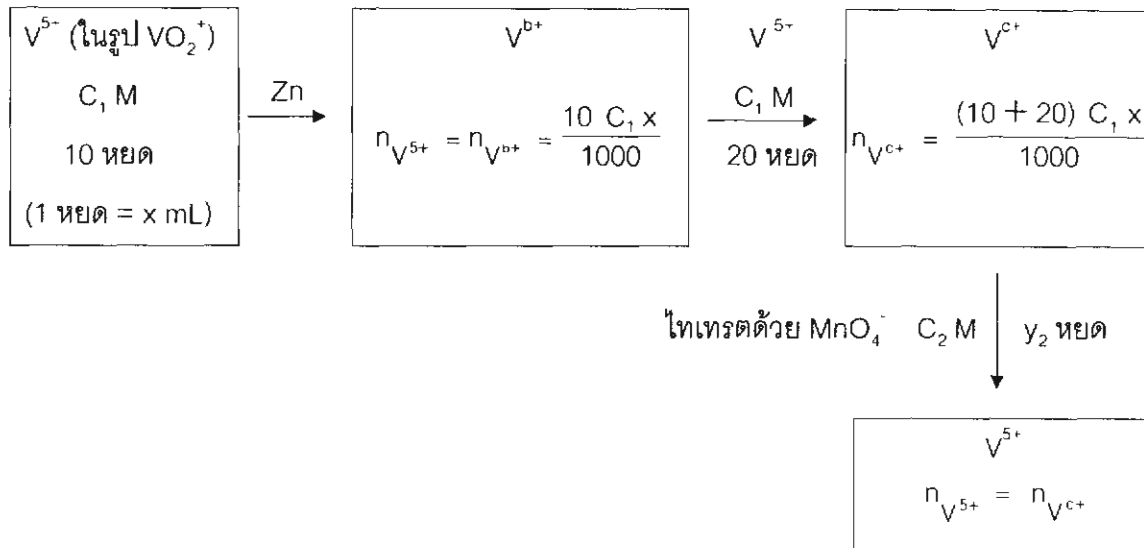
$$\text{ส่วน จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } \text{MnO}_4^- \text{ ได้รับจาก } \text{V}^{a+} = \frac{5 y_1 C_2 x}{1000}$$

$$\text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } \text{V}^{a+} \text{ ให้} = \text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } \text{MnO}_4^- \text{ ได้รับ}$$

ดังนั้น จึงสามารถหาค่า a ได้

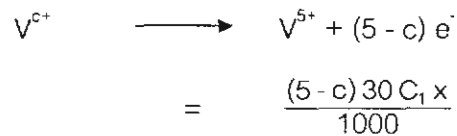
2. การหาค่าเลขออกซิเดชันของแวนเดียม หลังจากถูกรีดิวซ์ด้วย Zn (V^{b+} , V^{c+} และ V^{d+})

2.1 การหาค่าเลขออกซิเดชันของ V^{b+} และ V^{c+}



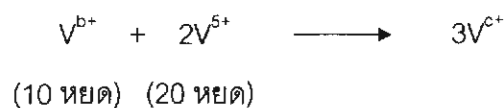
ในการทำงานเดียวกันกับการคำนวณในตอนที่ 1

V^{c+} จะถูกออกซิไดซ์ ดังปฏิกิริยา



ดังนั้น จึงสามารถหาค่า c ได้

ส่วนการหาค่าเลขออกซิเดชันของ V^{b+} สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

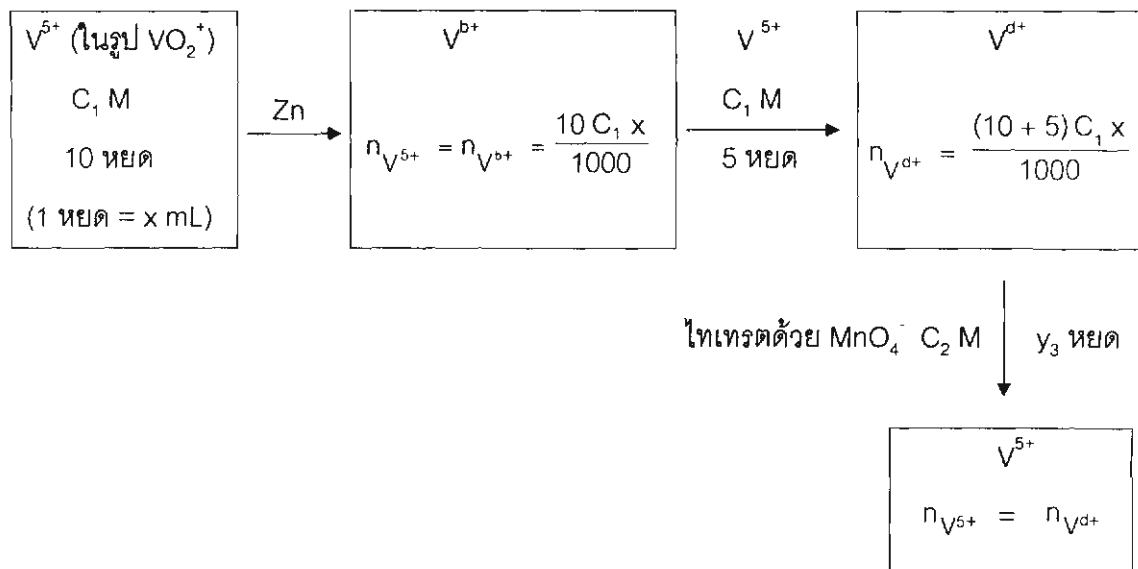


เนื่องจากประจุทั้งสองข้างของปฏิกิริยาต้องเท่ากัน เพราะฉะนั้น

$$b + 2(+5) = 3c$$

แทนค่า c ที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้ จะหาค่าของ b ได้

2.2 การหาค่าเลขออกซิเดชันของ V^{d+}



ในทำนองเดียวกันกับการคำนวณใน หัวข้อ 2. 1

เมื่อ V^{d+} ถูกออกซิไดซ์ด้วย MnO_4^- ดังปฏิกิริยา



$$\text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } V^{d+} \text{ ให้แก่ } MnO_4^- = \frac{(5 - d) 15 C_1 x}{1000}$$

$$\text{และ จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } MnO_4^- \text{ ได้รับจาก } V^{d+} = \frac{5 y_3 C_2 x}{1000}$$

$$\text{ในเมื่อ จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } V^{d+} \text{ ให้ แก่ } MnO_4^- = \text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } MnO_4^- \text{ ได้รับ จาก } V^{d+}$$

ดังนั้น จึงสามารถหาค่า d ได้

คำถามท้ายบท

1. สารละลายแวนเนเดียมตอนเริ่มต้นของการทดลองนี้ มีสีอะไร เกิดจากสารใด
2. เพราะเหตุใดจึงต้องต้มสารละลายหลังจากถูกรีดิวซ์ด้วย Na_2SO_3
3. ถ้าหากไทเทรตสารละลายแวนเนเดียมที่ถูกรีดิวซ์ด้วย Zn ทันทีโดยไม่กรอง Zn ออก ผลการทดลองที่ได้จะเป็นอย่างไร
4. ในการไทเทรตนี้ นอกจาก $KMnO_4$ จะทำหน้าที่เป็นไทเทรนต์แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นอะไรอีก

การกำจัดของเสีย

ของเสียส่วนใหญ่เป็นสารละลายผสมของโลหะแตรนซิชัน ให้เก็บรวบรวมเพื่อรอการกำจัดในภายหลัง

เอกสารอ้างอิง

1. D. C. Gregg and C. L. Brown, *Chemistry in the Laboratory*, Revised ed, Allyn and Bacon, Boston, 1968.
2. R. J. Gillespie, D. A. Humphreys, N. C. Baird and E. A. Robinson, *Explorations in Chemistry*, 2nd ed, Allyn and Bacon, Boston, 1989.
3. M. M. Singh, R. H. Pike and Z. Szafran, *Microscale and Selected Macroscale Experiments for General and Advanced General Chemistry: An Innovative Approach*, John Wiley and Sons, New York, 1995.

รายงานผลการทดลองเรื่อง เลขออกซิเดชันของแวนเนเดียม

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

การเทียบปริมาตร (volume calibration) ของปิเปตพลาสติก

น้ำกลั่น 50 หยด มีปริมาตร = mL

น้ำกลั่น 1 หยด มีปริมาตร = mL

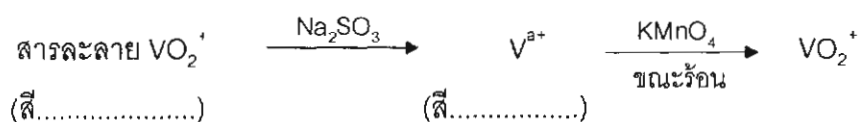
ดังนั้น 1 หยดของสารละลายที่ได้จากปิเปตพลาสติก มีปริมาตรเท่ากับ..... mL

ตอนที่ 1 การรีดิวซ์สารละลายแวนเนเดียม (VO_2^+) ด้วย Na_2SO_3 และการไทเทรตด้วย

สารละลาย KMnO_4

ความเข้มข้นของสารละลาย VO_2^+ = M

ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 = M



การทดลอง	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3
จำนวนหยดของสารละลาย VO_2^+ ที่ใช้ (หยด)	10	10	10
จำนวนหยดของ 1 M H_2SO_4 (หยด)	15	15	15
จำนวนหยดของ KMnO_4 ที่ใช้ (หยด)			
จำนวนหยดเฉลี่ยของ KMnO_4 ที่ใช้ (หยด)			

การคำนวณหาค่า a (แสดงวิธีคำนวณโดยใช้จำนวนหยดเฉลี่ยของ KMnO_4)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

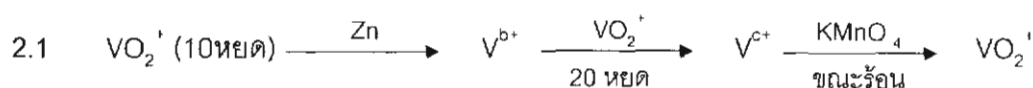
.....

.....

ค่า a ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ.....

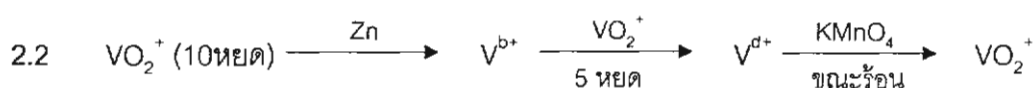
ตอนที่ 2 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (VO_2^+) ด้วย Zn และการไทเทรตด้วย
สารละลาย KMnO_4

การทดลอง	2.1			2.2		
	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3
จำนวนหยดของสารละลาย VO_2^+ ที่ใช้ (หยด)	10	10	10	10	10	10
จำนวนหยดของ 1 M H_2SO_4 (หยด)	8	8	8	8	8	8
จำนวนหยดของสารละลาย VO_2^+ ที่ใช้ผสม กับ V^{b+} หลังจากกรอง Zn ออก (หยด)	20	20	20	5	5	5
จำนวนหยดของ KMnO_4 ที่ใช้ (หยด)						
จำนวนหยดเฉลี่ยของ KMnO_4 ที่ใช้ (หยด)						



จากจำนวนหยดของ KMnO_4 ที่ใช้ คำนวณหาค่า c ได้ =

จากค่า c ที่คำนวณได้ หาค่า b ได้ =



จากจำนวนหยดของ KMnO_4 ที่ใช้ คำนวณหาค่า d ได้ =

และ จากค่า b ที่หาได้ใน 2.1 คำนวณค่า d ได้ =

การทดลองที่ 4

จลนพลศาสตร์เคมี

(Chemical kinetics)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโครเมียม (VI) กับเอทานอลในกรด โดยวิธีอัตราอินทิเกรต
2. หาอันดับของปฏิกิริยา
3. หาค่าคงที่อัตราจำเพาะของปฏิกิริยา (k)
4. หาค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา ($t_{1/2}$)
5. หาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a)

บทนำ

การศึกษาทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีที่มีสมบัติแบบหนึ่งไปเป็นสารเคมีชนิดอื่นที่มีสมบัติต่างกันออกไปโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และบางปฏิกิริยาต้องใช้เวลานานมากตั้งแต่เริ่มเกิดจนกระทั่งปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ถ้าทราบว่าปฏิกิริยาเคมีหนึ่ง ๆ จะเกิดได้เร็วเพียงใด และมีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จะทำให้สามารถนำความรู้ไปปรับปรุงภาวะของการเกิดปฏิกิริยาบางชนิดที่มีบทบาทสำคัญทางอุตสาหกรรมให้เหมาะสมได้ เช่น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่ควบคุมได้ การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาและกลไกของปฏิกิริยาดังกล่าวนี้นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาที่เรียกว่า จลนพลศาสตร์เคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยา สามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์จากปฏิกิริยาทั่วไป เช่น



$$\text{อัตราการลดลงของสาร A} = -\frac{d[A]}{dt}$$

$$\text{อัตราการลดลงของสาร B} = -\frac{d[B]}{dt}$$

$$\text{อัตราการเกิดของสาร C} = \frac{d[C]}{dt}$$

$$\text{อัตราการเกิดของสาร D} = \frac{d[D]}{dt}$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยา รวม จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ดังสมการ

$$\begin{aligned}\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} &= -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d} \frac{d[D]}{dt} \\ &= k[A]^m[B]^n\end{aligned}$$

เมื่อ k = ค่าคงที่อัตราจำเพาะของปฏิกิริยา (specific reaction rate constant) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จากค่า k บอกได้ว่าปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วหรือช้า โดย k มีค่ามาก ปฏิกิริยาจะเกิดเร็ว

นอกจากค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาแล้ว ค่าครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ของปฏิกิริยาก็สามารถบอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เช่นกัน เนื่องจากค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยา หมายถึง เวลาที่ผ่านไปจนความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นลดลงครึ่งหนึ่ง ยิ่งค่าครึ่งชีวิตมีค่าน้อยเท่าใด อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็ยิ่งเร็วเท่านั้น

m, n = อันดับของปฏิกิริยา (order of reaction) เมื่อเทียบกับ $[A]$ และ $[B]$ ตามลำดับ

อันดับของปฏิกิริยาเป็นเลขจำนวนเต็ม เศษส่วนหรือติดลบก็ได้ แต่ส่วนมากจะเป็นเลขจำนวนเต็ม (0, 1, 2 หรือ 3) อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารใดหมายถึงบทบาทของสารนั้นที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา อันดับของปฏิกิริยาจะสรุปได้จากผลการทดลองเท่านั้น ซึ่งนิยามจากวิธีการทดลอง 2 แบบ ดังนี้

วิธีแรกเรียกว่า วิธีอัตราเริ่มต้น (initial rate method) วิธีนี้เป็นการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นทีละชนิด โดยให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดอื่น ๆ คงที่ แล้วหาว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงอย่างไร ต่อจากนั้นจึงสลับให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เคยเปลี่ยนไปมีค่าคงที่บ้าง แล้วเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดอื่น หาอัตราการเกิดปฏิกิริยาว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

อีกวิธีหนึ่งเรียกว่าวิธีอัตราอินทิเกรต (integrated rate method) ซึ่งเป็นการติดตามความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เวลาต่าง ๆ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป จากนั้นสรุปอันดับของปฏิกิริยาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับเวลา

ในการทดลองศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เวลาต่าง ๆ จะหาอันดับของปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา และค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาได้จากกราฟเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในรูปแบบต่าง ๆ กับเวลา กราฟแบบใดที่ให้ผลเป็นเส้นตรง จะสามารถสรุปอันดับของปฏิกิริยาว่าจะเป็นอันดับ 0, 1 หรือ 2 ได้ดังตาราง

อันดับ	สมการเส้นตรง	กราฟเส้นตรง	ครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$)
0	$[A] = -kt + [A]_0$	$[A]$ กับ t	$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$
1	$\log[A] = -\frac{kt}{2.303} + \log[A]_0$	$\log[A]$ กับ t	$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$
2	$\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A]_0}$	$\frac{1}{[A]}$ กับ t	$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$

นอกจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นแล้ว อุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์มีจำนวนมากขึ้น อนุภาคมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น โอกาสที่อนุภาคชนกันแล้วเกิดปฏิกิริยาย่อมเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับแต่ละปฏิกิริยา ซึ่ง Arrhenius ได้แสดงสมการไว้ดังนี้

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

เมื่อ k ค่าคงที่อัตราจำเพาะของปฏิกิริยา

A แฟกเตอร์ความถี่ของการชน

E_a พลังงานก่อกัมมันต์

R ค่าคงที่ของแก๊ส = 8.314 J/mol K

T อุณหภูมิสัมบูรณ์

เขียนสมการในรูปของลอการิทึมธรรมชาติได้ดังนี้

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

หรือ
$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303RT}$$

จัดรูปให้เป็นสมการเส้นตรง

$$\begin{array}{ccccccc} \log k & = & -\frac{E_a}{2.303R} & \frac{1}{T} & + & \log A \\ \downarrow & & \downarrow & \downarrow & & \downarrow \\ y & = & m & x & + & c \end{array}$$

เทียบกับ

ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $\frac{1}{T}$ จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$ และมีจุดตัดที่แกน y เท่ากับ $\log A$

การทดลอง

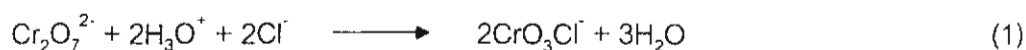
ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ ในสภาวะกรด

ตอนที่ 2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง $Cr(VI)$ กับ เอทานอล

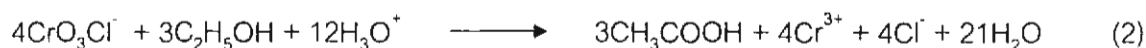
ตอนที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

หลักการและทฤษฎี

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโครเมียม (VI) กับเอทานอล สารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ คือ CrO_3Cl^- หรือ $Cr(VI)$ ซึ่งเตรียมได้จากการละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ในกรดไฮโดรคลอริก ดังสมการ (1)



และ $Cr(VI)$ ทำปฏิกิริยากับเอทานอลได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดแอซีติก ดังสมการ (2)



จากสมการที่ 2 เขียนกฎอัตราหรือสมการอัตรา ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = k' [Cr(VI)]^x [C_2H_5OH]^y [H_3O^+]^z \quad (3)$$

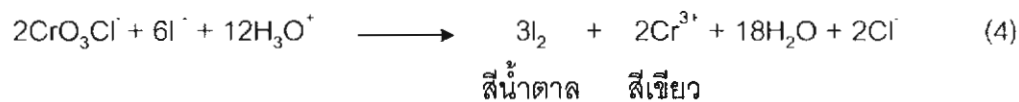
ในการทดลองนี้จะใช้ความเข้มข้นของ C_2H_5OH และ H_3O^+ ให้มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ $Cr(VI)$ มาก ๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลและกรดจึงเกิดน้อยมากตลอดปฏิกิริยาถือว่าเกือบคงที่ สมการ (3) จึงเขียนใหม่ในลักษณะที่ลดรูปได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = k [Cr(VI)]^x$$

$$\text{เมื่อ } k = k' [C_2H_5OH]^y [H_3O^+]^z$$

สมการอัตราที่ลดรูปลงมานี้จะมีอันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับเทียม (pseudo order) ที่มีค่าเท่ากับ x ทำให้การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ หาได้โดยการติดตามความเข้มข้นของ $Cr(VI)$ ที่ลดลงแต่เพียงอย่างเดียว

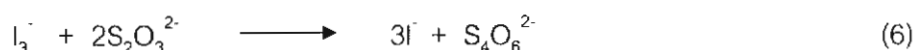
หาความเข้มข้นของ $Cr(VI)$ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านไป โดยการจับเวลาแล้วแบ่งสารละลายในแต่ละช่วงเวลาให้ทราบปริมาตรที่แน่นอน นำมาเติมสารละลาย KI สารละลาย KI จะทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยารีดอกซ์นั้น โดยจะทำปฏิกิริยาทันทีกับ $Cr(VI)$ ที่เหลือในปฏิกิริยา ดังสมการ



I_2 ทั้งหมดที่เกิดขึ้น จะรวมตัวกับ I^- ที่มีมากเกินไปในสารละลายดังสมการ (5)



จากนั้นจึงหาปริมาณของ I_3^- ที่เกิดขึ้นโดยทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ซึ่งใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ตามสมการ (6)



จากปริมาณของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไป สามารถคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณของ Cr(VI) ที่เหลืออยู่ในสารละลายที่เวลาต่าง ๆ จากสมการ 1, 2, 4, 5 และ 6 ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$2\text{CrO}_3\text{Cl}^- \equiv 3\text{I}_2 \equiv 6\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$$

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ Cr(VI)}}{\text{จำนวนโมลของ S}_2\text{O}_3^{2-}} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

วัสดุอุปกรณ์

1. ปิเปตพลาสติก
2. หลอดทดลองขนาด 10 mL
3. นาฬิกาจับเวลา
4. บิวเรตขนาด 25 mL
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

สารเคมี

1. เอทานอล (ethanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
2. กรดไฮโดรคลอริก 12 M (hydrochloric acid, 12 M HCl)
3. โพแทสเซียมไดโครเมต 0.0060 M (potassium dichromate, 0.0060 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
4. โพแทสเซียมไอโอไดด์ 3% w/v (potassium iodide, 3% w/v KI)
5. โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0021 M (sodium thiosulfate, 0.0021 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
6. น้ำแบ่ง 0.2%

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ ในสภาวะกรด

1. หยดสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ 5 หยด และ HCl 12 M 1 หยดลงในหลอดทดลอง
2. เติม 3% KI 3 หยด ลงในสารละลาย และเติมน้ำแบ่ง 1 หยด เขย่าให้ผสมกัน สารละลายที่ได้จะมีสีม่วงปนน้ำเงิน
3. นำไปไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ โดยการหยด $Na_2S_2O_3$ ทีละหยด เขย่าทุกครั้งที่ได้เติม $Na_2S_2O_3$ จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายจะมีสีเขียวอ่อนมาก บันทึกจำนวนหยดของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ทั้งหมด
4. ทำการทดลองข้อ 1-3 ซ้ำอีก 1 หรือ 2 ครั้ง นำค่าที่ได้ไปเฉลี่ยและคำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ตอนที่ 2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Cr(VI) กับเอทานอล

1. เติมสารละลาย Cr(VI) 3 mL จากบิวเรตใส่ในหลอดทดลอง บันทึกอุณหภูมิของสารละลาย แล้วหยดเอทานอล 10 หยด ลงในสารละลายเริ่มต้น จับเวลาทันทีเมื่อเริ่มเติมเอทานอล เขย่าสารละลายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเรียกสารละลายที่ได้นี้ว่า สารผสม ให้เวลาที่บันทึกครั้งแรกเป็นเวลาเริ่มต้น
2. ดูดสารผสมจากข้อ 1 ใส่ลงในหลอดทดลองที่สะอาด 5 หยด จับเวลา นับจากเวลาเริ่มต้นในข้อ 1 ให้ครบ 2 นาที จึงเติมสารละลาย 3% KI 3 หยด เพื่อหยุดปฏิกิริยา เติมน้ำแบ่ง 1 หยด เขย่าให้ผสมกัน
3. นำสารละลายจาก ข้อ 2 มาไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ โดยการนับหยด จนถึงจุดยุติ สารละลายจะมีสีเขียวอ่อนมาก บันทึกจำนวนหยดของ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้
4. ทำการทดลอง ข้อ 2-3 อีก 6 ครั้ง แต่แต่ละครั้งให้เพิ่มช่วงเวลาของปฏิกิริยาให้นานขึ้นอีก 2 นาที นับจากเวลาเริ่มต้น ดังนั้นการทดลองซ้ำครั้งที่ 6 จะต้องรอเวลาถึง 14 นาที จึงเติมสารละลาย 3% KI 3 หยด เพื่อหยุดปฏิกิริยา

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

1. เติมสารละลาย Cr(VI) 3 mL ลงในหลอดทดลอง นำไปจุ่มในอ่างน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำอุ่นเพื่อให้สารละลาย Cr(VI) มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ประมาณ 10°C (ต้องรู้อุณหภูมิที่แน่นอน)
2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2 ข้อ 1-4 ทุกประการ

หมายเหตุ ขณะทำการทดลองต้องแช่สารผสมไว้ในอ่างน้ำอุ่นตลอดเวลา และพยายามรักษาอุณหภูมิให้คงที่เสมอ

เทสารละลายหลังไทเทรตถึงจุดยุติแล้วลงในภาชนะที่ห้องปฏิบัติการจัดไว้

คำถามท้ายบท

1. ในการทดลองนี้ติดตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยวิธีใด
2. การหาความเข้มข้นของ Cr(VI) หลังเวลาผ่านไปในแต่ละช่วง ทำได้อย่างไร
3. สารใดเป็นตัวหยุดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่าง Cr(VI) กับ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
4. ถ้าเติม $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เกินไป 1-2 หยด จะทำให้สีที่จุดยุติเปลี่ยนแปลงหรือไม่

การกำจัดของเสีย

นำสารละลายที่รวบรวมทั้งหมด มาเติม 10% w/v NaOH โดยปรับค่า pH 7-7.5 จะได้ตะกอน Cr(OH)_3 กรองตะกอนเก็บเพื่อรอการนำไปกำจัดต่อไป ส่วนสารละลายรินทิ้งได้

เอกสารอ้างอิง

1. J. B. Russell, *General Chemistry*, 4th ed, McGraw-Hill, Tokyo, 1981.
2. R. Chang, *Chemistry*, 7th ed, McGraw-Hill, New York, 2002.

รายงานผลการทดลองเรื่อง จลนพลศาสตร์เคมี

ชื่อ..... รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.0060 Mจำนวนหยด Cr(VI) ที่ใช้แต่ละครั้งหยด

เติม 3% KI แต่ละครั้งหยด

เติมน้ำแป้ง แต่ละครั้งหยด

ข้อมูล	ไทเทรต ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
จำนวนหยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้				

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



การคำนวณ

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ Cr(VI)}}{\text{จำนวนโมลของ } \text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = \dots\dots\dots$$

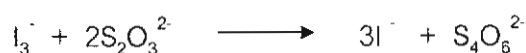
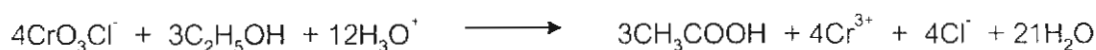
$$\text{ความเข้มข้นเฉลี่ยของ } \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \dots\dots\dots \text{ M}$$

ตอนที่ 2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Cr(VI) กับเอทานอล

ความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ M
 สารผสม ประกอบด้วย Cr(VI) mL
 เอทานอล หยด
 ในแต่ละครั้งใช้สารผสม จำนวน หยด
 3% KI เพื่อหยุดปฏิกิริยา หยด
 น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ หยด

ที่อุณหภูมิห้อง (T_1)°C						ที่อุณหภูมิห้อง + 10°C (T_2)°C				
ครั้งที่	เวลา (นาทีก)	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)			V เฉลี่ย	เวลา (นาทีก)	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)			V เฉลี่ย
1	2					2				
2	4					4				
3	6					6				
4	8					8				
5	10					10				
6	12					12				
7	14					14				

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



การคำนวณ

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ Cr(VI)}}{\text{จำนวนโมลของ } \text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = \dots\dots\dots$$

หาความเข้มข้น Cr(VI) ที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ

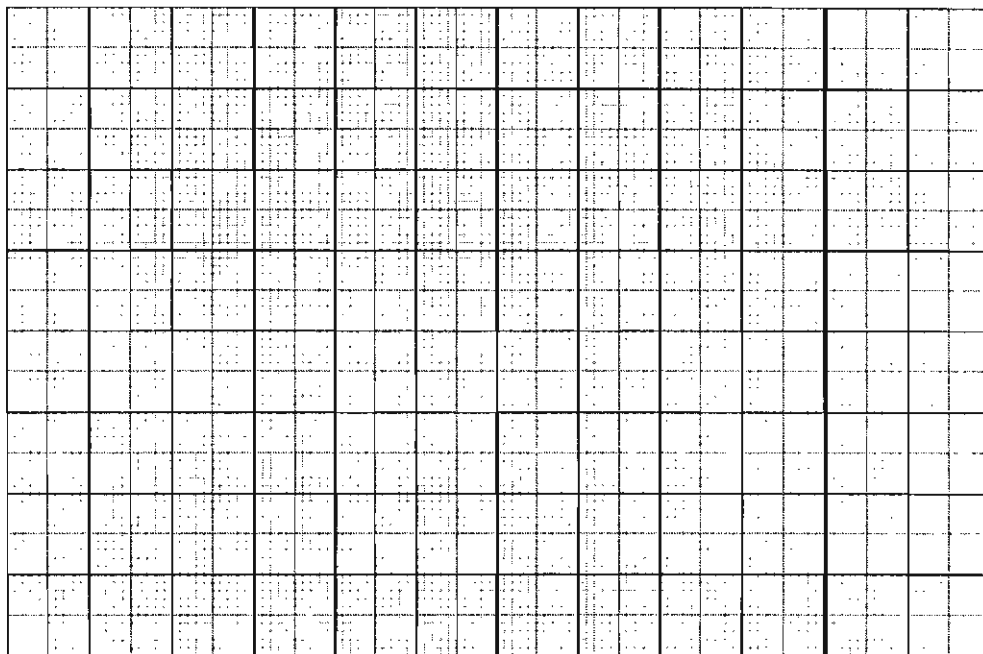
ที่อุณหภูมิห้อง (T_1)°C				ที่อุณหภูมิห้อง + 10°C (T_2)°C		
เวลา (วินาที)	จำนวนหยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)	จำนวนหยด Cr(VI) (หยด)	[Cr(VI)] (M)	จำนวนหยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)	จำนวนหยด Cr(VI) (หยด)	[Cr(VI)] (M)
120						
240						
360						
480						
600						
720						
840						

ที่อุณหภูมิห้อง (T_1)°C				ที่อุณหภูมิห้อง + 10°C (T_2)°C		
เวลา (วินาที)	[Cr(VI)]	$\log[\text{Cr(VI)}]$	$\frac{1}{[\text{Cr(VI)}]}$	[Cr(VI)]	$\log[\text{Cr(VI)}]$	$\frac{1}{[\text{Cr(VI)}]}$
120						
240						
360						
480						
600						
720						
840						

เขียนกราฟระหว่าง $[Cr(VI)]$ กับเวลา, $\log [Cr(VI)]$ กับเวลา และ $\frac{1}{[Cr(VI)]}$ กับเวลา ที่อุณหภูมิ
 ทั้งสอง

กราฟระหว่าง $[Cr(VI)]$ กับเวลา

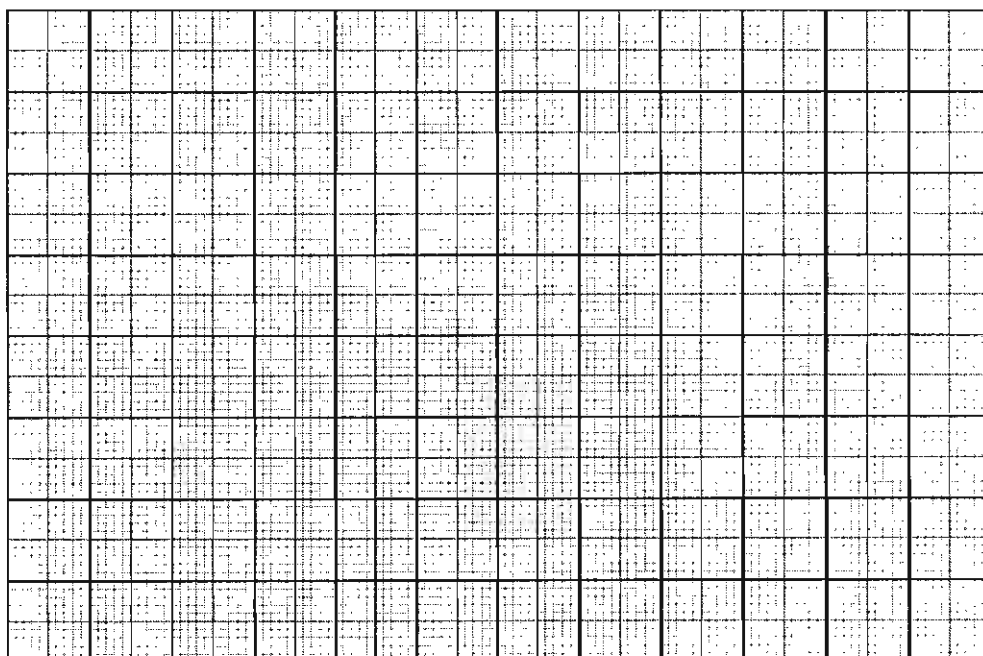
$[Cr(VI)]$



เวลา (วินาที)

กราฟระหว่าง $\log [Cr(VI)]$ กับเวลา

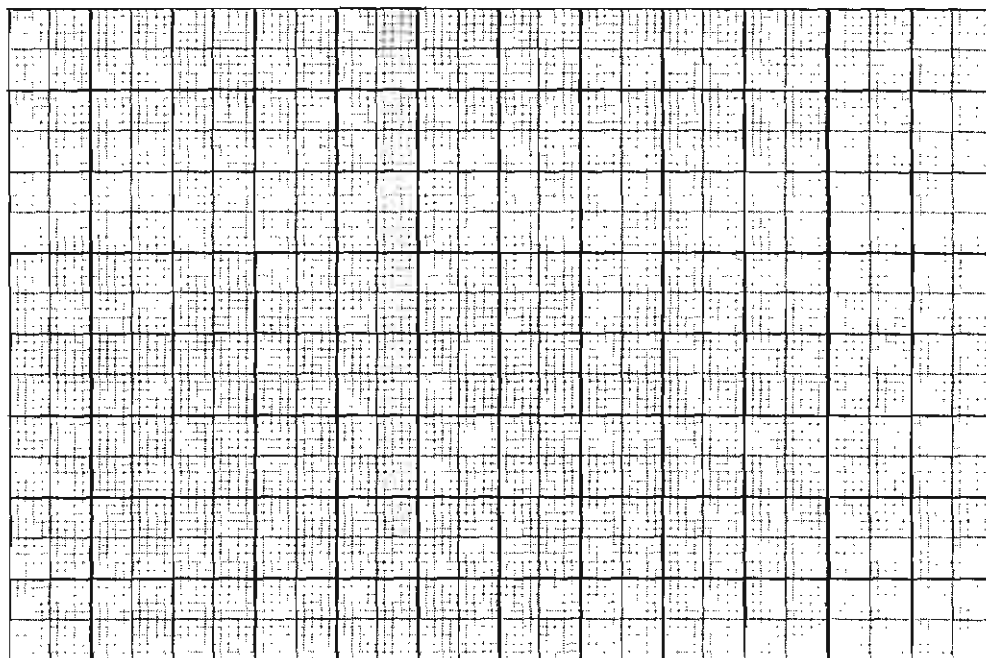
$\log [Cr(VI)]$



เวลา (วินาที)

กราฟระหว่าง $\frac{1}{[\text{Cr(VI)}]}$ กับเวลา

$\frac{1}{[\text{Cr(VI)}]}$



เวลา (วินาที)

จากกราฟดังกล่าว

1. กราฟที่เป็นเส้นตรง ได้จากการเขียนกราฟระหว่าง.....กับ.....
2. อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ $[\text{Cr(VI)}]$ มีค่าเท่ากับ.....
3. จงเขียนสมการกฎอัตรา.....
4. ค่าความชันของกราฟที่เป็นเส้นตรง (T_1) เท่ากับ
(T_2) เท่ากับ.....
5. ค่าคงที่อัตราจำเพาะ k_1 (T_1) เท่ากับ
 k_2 (T_2) เท่ากับ
6. คำนวณค่าครึ่งชีวิตของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องได้เท่ากับ.....
โดยหาจากสูตรเท่ากับ.....
7. คำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) มีค่าเท่ากับkJ/mol

การทดลองที่ 5

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

(Factors Affecting the Rate of a Chemical Reaction)

วัตถุประสงค์

1. หาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตราและอันดับของปฏิกิริยา
2. ศึกษาผลของความเข้มข้น และอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
3. หาพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา

บทนำ

เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกันไป บางปฏิกิริยาเกิดช้ามาก เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแก๊สไฮโดรเจน บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นทันที เช่น ปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไอออนกับคลอไรด์ไอออน ปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบสเป็นต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ธรรมชาติของสารตั้งต้น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา

การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยานอกจากจะใช้วิธีอัตราอินทิเกรต (integrated rate method) ซึ่งทำโดยการติดตามความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปแล้วยังสามารถใช้วิธีอัตราเริ่มต้น (initial rate method) ซึ่งจะใช้การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่ทำให้ปฏิกิริยากันโดยดูว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นสารหนึ่งแล้วให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นอื่น ๆ คงที่ ต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นอื่นสลับกันไป การกระทำเช่นนี้จะเป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วย

อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยามีผลอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โมเลกุลของสารตั้งต้นจะมีพลังงานต่างกันและมีเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่มีพลังงานมากพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการชนกันจนเกิดปฏิกิริยาได้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานมากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราจำเพาะกับอุณหภูมิเป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation)

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (1)$$

$$\log k = -\frac{E_a}{2.303R} \frac{1}{T} + \log A \quad (2)$$

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

E_a พลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ของปฏิกิริยาซึ่งเป็นพลังงานน้อยที่สุดที่จะทำให้สารตั้งต้นสามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้

A ค่าคงที่

T อุณหภูมิ (K)

ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log k$ กับ $\frac{1}{T}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$

และสามารถหา E_a ได้

ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความเร็วของปฏิกิริยาเคมีโดยตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวร ตัวอย่างเช่น H_2O_2 เมื่อละลายในน้ำจะสลายตัวอย่างช้า ๆ ให้แก๊สออกซิเจนและน้ำดังสมการ



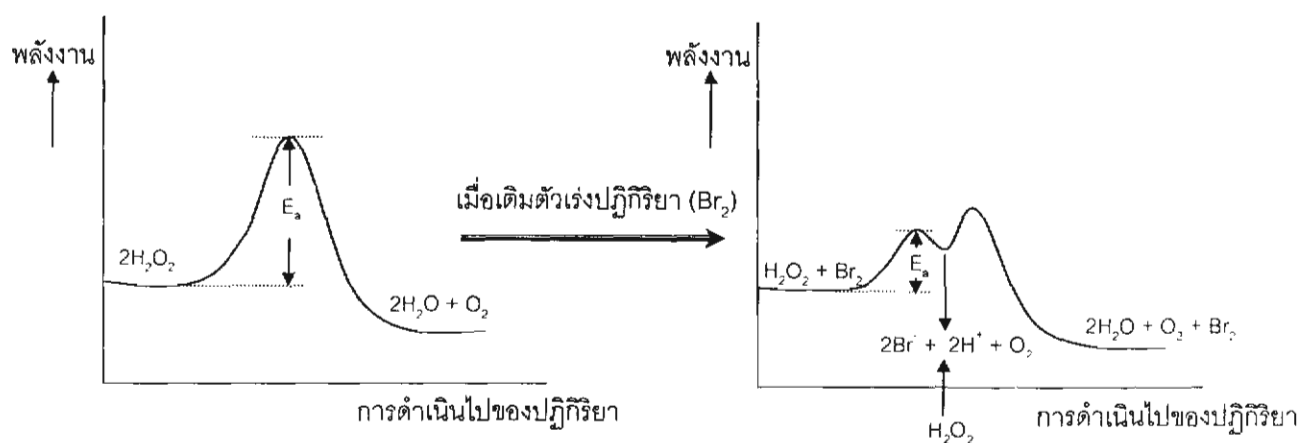
ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้ามากเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเติมน้ำโบรมีนลงในสารละลาย Br_2 ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลาย ให้โบรมไนด์และแก๊สออกซิเจน



หลังจากนั้น Br^- ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ในสภาวะกรดจะทำให้ได้ Br_2 กลับคืนมา ดังสมการ



แผนภาพระหว่างพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยามีลักษณะดังนี้



จะเห็นว่าเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะดำเนินไปแบบ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกันโดยพลังงานก่อกัมมันต์ลดลง

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และการหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ของปฏิกิริยา

หลักการและทฤษฎี

ในการทดลองนี้จะศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนไดออกไซด์ไอออนกับเปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟตไอออน

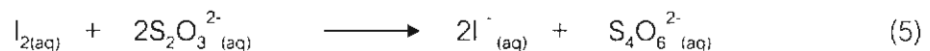


อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate) หาได้จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = -\frac{d[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]}{dt} = \frac{d[\text{I}_2]}{dt} = k[\text{I}^-]^m[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n \quad (4)$$

เมื่อ m และ n เรียกว่า อันดับของปฏิกิริยา (order of reaction) เมื่อเทียบกับ $[\text{I}^-]$ และ $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ ตามลำดับ ผลรวมของ $m+n$ เรียกว่า อันดับรวมของปฏิกิริยา

ในการทดลองนี้จะทำการติดตามระยะเวลาที่ใช้ในการเกิด I_2 จำนวนหนึ่ง เนื่องจาก I_2 ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับน้ำแป้งให้สารละลายสีน้ำเงินทันที ทำให้ไม่สามารถจับเวลาได้ จึงต้องทำให้ระยะเวลาให้นานขึ้นโดยให้ I_2 ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ที่มีปริมาณคงที่จำนวนหนึ่งก่อน เมื่อ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ถูกใช้หมดไป I_2 จึงจะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้สารละลายสีน้ำเงิน



$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = \frac{d[\text{I}_2]}{dt} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\Delta t}$$

$$k[\text{I}^-]^m[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\Delta t}$$

$$k'[\text{I}^-]^m[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n = \frac{1}{\Delta t} \quad (6)$$

เมื่อ Δt = ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมสารละลายจนปรากฏสีน้ำเงินขึ้นในสารละลาย

เมื่อดำเนินการทดลองโดยให้ $[\text{I}^-]$, $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ และ $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ คงที่ แล้วให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะอุณหภูมิเท่านั้นสมการ (6) จะเปลี่ยนรูปเป็น

$$k = \frac{c}{\Delta t} \quad ; c = \text{ค่าคงที่}$$

$$\log k = \log c - \log \Delta t$$

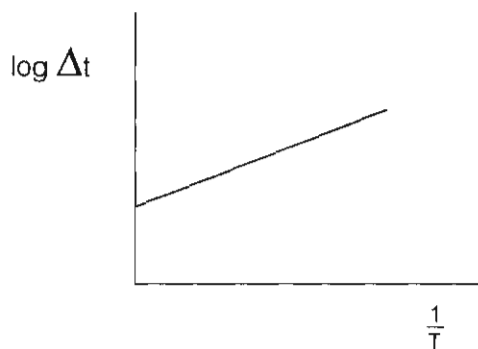
แทนค่า $\log k$ ในสมการ 2

$$\log c - \log \Delta t = -\frac{E_a}{2.303R} \frac{1}{T} + \log A$$

$$\log \Delta t = \frac{E_a}{2.303R} \frac{1}{T} + \log c - \log A$$

$$\log \Delta t = \frac{E_a}{2.303R} \frac{1}{T} + c' \quad ; c' = \text{ค่าคงที่ใหม่}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\log \Delta t$ กับ $\frac{1}{T}$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน $= \frac{E_a}{2.303R}$
 ดังนั้น $E_a = 2.303R \times \text{ความชัน}$



วัสดุอุปกรณ์

1. ปีเปตพลาสติก
2. นาฬิกาจับเวลา
3. อ่างน้ำ
4. หลอดทดลองขนาดเล็ก

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.20 M (potassium iodide, 0.20 M KI)
2. สารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.20 M (potassium chloride, 0.20 M KCl)
3. สารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต 0.20 M (potassium sulfate, 0.20 M K_2SO_4)
4. สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต 0.10 M (ammonium peroxydisulfate, 0.10 M $(NH_4)_2 S_2O_8$)
5. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0005 M (sodium thiosulfate, 0.0005 M $Na_2S_2O_3$)
6. น้ำแป้ง

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

1. เริ่มต้นการทดลองครั้งที่ 1 โดยหยดสารละลายแต่ละชนิดผสมกันในหลอดทดลอง ตามที่ระบุไว้ในตาราง โดยเริ่มต้นจากสารละลาย KI, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, น้ำแป้ง, KCl และ K_2SO_4 ตามลำดับ

การทดลอง ครั้งที่	จำนวนหยดของสารละลาย						
	0.20 M KI	0.005 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	น้ำแป้ง	0.20 M KCl	0.10 M K_2SO_4	เตรียมจับเวลา	0.10 M $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
1	4	1	1	-	2		2
2	2	1	1	2	2		2
3	4	1	1	-	-		4
4	2	1	1	2	-		4

ปริมาตรรวมทั้งหมด = 10 หยด

เขย่าสารละลายแล้วหยดสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ตามที่ระบุไว้ในตารางข้างต้นลงในหลอดทดลองพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา เขย่าให้เข้ากัน บันทึกช่วงเวลาของการเกิดปฏิกิริยา (Δt) เมื่อเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

2. ดำเนินการทดลองครั้งที่ 2, 3, 4 เช่นเดียวกับการทดลองครั้งที่ 1
3. คำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจาก $\text{Rate} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\Delta t}$ เมื่อสารตั้งต้นมีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยา และค่าคงที่อัตรา

หมายเหตุ คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย KI, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ โดยพิจารณาว่าจำนวนโมลของสารในสารละลายแต่ละชนิดจะแปรผันตรงกับจำนวนหยดของสารนั้น

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และการหาพลังงานก่อกัมมันต์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 โดยใช้ปริมาตรสารละลายตามที่ระบุไว้ในการทดลองครั้งที่ 1 แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 10° , 20° , 40°C ตามลำดับ

เริ่มทำการทดลองโดยแช่หลอดทดลองที่มีสารละลาย KI, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, น้ำแป้งและ KCl ผสมกันตามที่ระบุในการทดลองครั้งที่ 1 และปิเปตพลาสดิกที่บรรจุ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ในอ่างน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ตามที่กำหนดประมาณ 5 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายคงที่ก่อนหยดสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ลงในหลอดทดลอง หาค่าพลังงานก่อกัมมันต์จากกราฟระหว่าง $\log \Delta t$ กับ $\frac{1}{T}$

คำถามท้ายบท

ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในชั้นบรรยากาศโดยอะตอมของคลอรีนที่เกิดขึ้นจากฟรอน-12 (CF_2Cl_2) เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง (second-order reaction) และมีค่าคงที่อัตราเท่ากับ $7.2 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ที่ 298 K จงเขียนสมการอัตราของปฏิกิริยาดังกล่าว

การกำจัดของเสีย

การทดลองไม่มีของเสียอันตรายที่ต้องกำจัด

เอกสารอ้างอิง

S. Thompson and J Resseguie, *Echem* 1st ed, Rendall / Hunt, 1994.

รายงานผลการทดลอง เรื่องการหาอันดับของปฏิกิริยา

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

การทดลอง ครั้งที่	ความเข้มข้นในสารละลายผสม (M)			Δt (วินาที)	Rate = $\frac{d[I_2]}{dt}$
	$[I^-]$	$[S_2O_8^{2-}]$	$[S_2O_3^{2-}]$		
1					
2					
3					
4					

$$\text{Rate} = k[I^-]^m [S_2O_8^{2-}]^n = \dots\dots\dots$$

การคำนวณหา m เมื่อเทียบผลการทดลองระหว่างครั้งที่ 1 และ 2

$$\text{Rate}_1 = k[\quad]^m [\quad]^n = \dots\dots\dots$$

$$\text{Rate}_2 = k[\quad]^m [\quad]^n = \dots\dots\dots$$

$$\frac{\text{Rate}_1}{\text{Rate}_2} = [\quad]^m = \dots\dots\dots$$

$$m = \dots\dots\dots \approx \dots\dots\dots$$

การคำนวณหา n เมื่อเทียบผลการทดลองระหว่างครั้งที่ 1 และ 3 หรือครั้งที่ 2 และ 4

$$\text{Rate}_3 = k[\quad]^m [\quad]^n = \dots\dots\dots$$

$$\frac{\text{Rate}_3}{\text{Rate}_1} = [\quad]^n = \dots\dots\dots$$

$$n = \dots\dots\dots \approx \dots\dots\dots$$

$$\text{สมการอัตรา} = \dots\dots\dots$$

$$\text{อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ } I^- = \dots\dots\dots$$

$$\text{อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ } S_2O_8^{2-} = \dots\dots\dots$$

$$\text{อันดับของปฏิกิริยารวม} = \dots\dots\dots$$

การหาค่า k

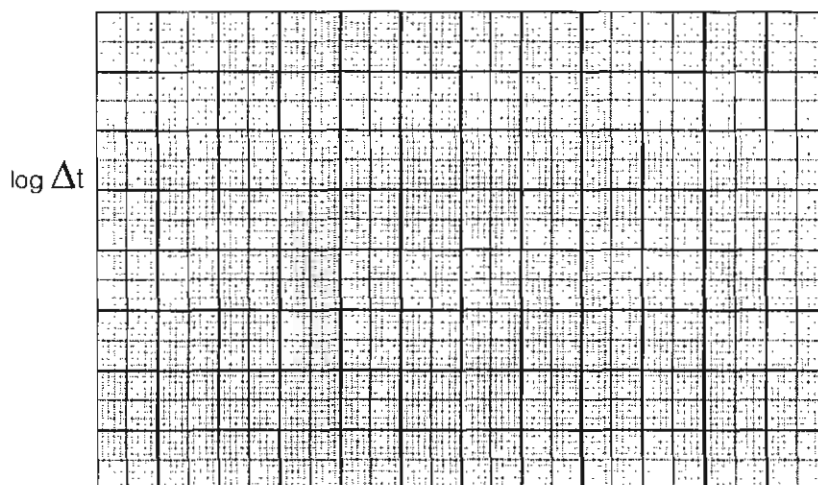
แทนค่า Rate ลงในกฎอัตราการเกิดปฏิกิริยา คำนวณหาค่า k และค่าเฉลี่ยของ k

การทดลองครั้งที่	1	2	3	4	เฉลี่ย
k					

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	T (K)	$\frac{1}{T}$ (K ⁻¹)	Δt (sec)	log Δt
1					
5					
6					
7					

เขียนกราฟระหว่าง log Δt กับ $\frac{1}{T}$ ในกระดาษกราฟ



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

$$E_a = \dots\dots\dots$$

การทดลองที่ 6

อินดิเคเตอร์กรด-เบส

(Acid-Base Indicators)

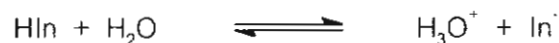
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์
2. ศึกษาการใช้อินดิเคเตอร์ผสมระบุ pH ของสารละลาย
3. เลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตกรด-เบส

บทนำ

อินดิเคเตอร์กรด-เบส เป็นสารเคมีอินทรีย์ประเภทสีย้อม (dye) ที่มีสมบัติเป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน เช่นเมทิลออเรนจ์ โบรโมไทมอลบลูและฟีนอล์ฟทาลีน สารเหล่านี้สามารถเปลี่ยนสีจากสีหนึ่งเป็นอีกสีหนึ่งเมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนไป

ถ้ากำหนดให้ HIn เป็นอินดิเคเตอร์ชนิดที่เป็นกรดอ่อน อยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของ HIn จะแตกตัวดังสมการ



HIn และ In^- เป็นคู่กรด-เบสของอินดิเคเตอร์ ในสารละลายจะอยู่ในภาวะสมดุล โดยมีสีแตกต่างกัน สีของ HIn จะแสดงสีของรูปกรด และ In^- แสดงสีของรูปเบส

$$\begin{aligned} \text{ให้ } K_{\text{In}} &= \text{ค่าคงที่สมดุลของอินดิเคเตอร์} \\ K_{\text{In}} &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \\ \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]} &= \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{K_{\text{In}}} \end{aligned}$$

สีของอินดิเคเตอร์ในสารละลายจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ $\frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]}$ ซึ่งถูกควบคุมด้วย $[\text{H}_3\text{O}^+]$ หรือ pH ของสารละลาย สำหรับอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีกลับไปมาด้วยอัตราที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อบอกจุดยุติของการไทเทรตระหว่างกรดกับเบส

เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ลงในสารละลาย อินดิเคเตอร์ส่วนหนึ่งจะแตกตัวในสารละลาย จึงมีทั้ง HIn และ In^-

เมื่อ $[HIn] \geq 10$ เท่าของ $[In^-]$ สารละลายจะมีสีของรูปกรด

เมื่อ $[In^-] \geq 10$ เท่าของ $[HIn]$ สารละลายจะมีสีของรูปเบส

แต่ถ้า $[HIn]$ และ $[In^-]$ ต่างกันไม่ถึงสิบเท่า สารละลายจะมีสีผสมของรูปกรดและรูปเบส

ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่อยู่ในสารละลายจะแสดงสีโดยขึ้นอยู่กับ $[H_3O^+]$ หรือ pH ของสารละลาย ค่า pH ของสารละลายที่อินดิเคเตอร์แสดงสีของรูปกรดจนถึงค่า pH ของสารละลายที่อินดิเคเตอร์แสดงสีเป็นรูปเบส เรียกว่า ช่วง pH หรือช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ (pH range หรือ transition range)

อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดจะแสดงสีและมีช่วงการเปลี่ยนสีเฉพาะ ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการบอก pH ของสารละลายได้

จาก

$$K_{in} = \frac{[H_3O^+][In^-]}{[HIn]}$$

$$[H_3O^+] = \frac{K_{in}[HIn]}{[In^-]}$$

$$-\log[H_3O^+] = -\log K_{in} - \log \frac{[HIn]}{[In^-]}$$

เพราะฉะนั้น

$$pH = pK_{in} - \log \frac{[HIn]}{[In^-]}$$

ถ้า $[HIn] \geq 10$ เท่าของ $[In^-]$ สารละลายจะแสดงสีของรูปกรด

เพราะฉะนั้น

$$pH = pK_{in} - \log(10)$$

$$= pK_{in} - 1$$

ถ้า $[In^-] \geq 10$ เท่าของ $[HIn]$ สารละลายจะแสดงสีของรูปเบส

เพราะฉะนั้น

$$pH = pK_{in} - \log\left(\frac{1}{10}\right)$$

$$= pK_{in} + 1$$

จึงทำให้ช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ มีค่าเท่ากับ $pK_{in} \pm 1$ ซึ่งเป็นช่วง pH โดยประมาณและแตกต่างจากช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่แท้จริงเพียงเล็กน้อย

ตารางแสดงช่วง pH ของอินดิเคเตอร์บางชนิด

อินดิเคเตอร์	pH													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ไทมอลบลู	<--แดง--> 1.2 - 2.8 <-----เหลือง-----> 8.0 - 9.6 <----- blue ----->													
เมทิลออเรนจ์	<-----แดง-----> 3.1 - 4.4 <-----เหลือง----->													
โบรโมฟีนอลบลู	<-----เหลือง-----> 3.0 - 4.6 <-----น้ำเงิน----->													
คองโกเรด	<-----น้ำเงิน-----> 3.0 - 5.0 <-----แดง----->													
โบรโมครีซอลกรีน	<-----เหลือง-----> 3.8 - 5.4 <-----น้ำเงิน----->													
เมทิลเรด	<-----แดง-----> 4.4 - 6.2 <-----เหลือง----->													
โบรโมครีซอลเพอร์เพิล	<-----เหลือง-----> 5.2 - 6.8 <-----ม่วง----->													
แอลิแซรินเรด	<-----เหลือง-----> 5.6 - 7.2 <-----แดง----->													
โบรโมไทมอลบลู	<-----เหลือง-----> 6.0 - 7.6 <-----น้ำเงิน----->													
ฟีนอลเรด	<-----เหลือง-----> 6.6 - 8.2 <-----แดง----->													
ฟีนอล์ฟทาลีน	<-----ไม่มีสี-----> 8.3 - 9.8 <-----แดง----->													
อินดิโกคาร์มิน	<-----น้ำเงิน-----> 11.4 - 13.0 <-----เหลือง----->													

การทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์

ตอนที่ 2 การระบุ pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม

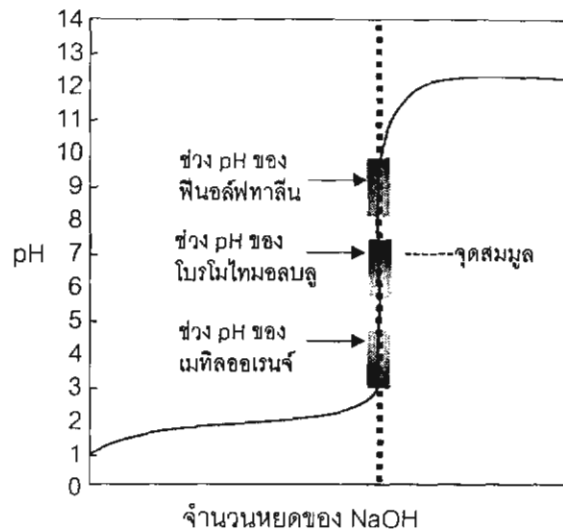
ตอนที่ 3 การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรต

หลักการและทฤษฎี

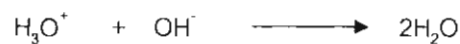
pH ที่จุดสมมูลของกรดและเบส (จุดสะเทิน) แต่ละคู่จะเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของกรดและเบส เมื่อศึกษาค่า pH ของสารละลายที่ค่อย ๆ เปลี่ยนไปขณะไทเทรตกรดกับเบสคู่ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (โดยการคำนวณหรือการวัด pH โดยใช้เครื่องวัด) แล้วนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ขณะไทเทรตซึ่งเรียกว่า กราฟการไทเทรต (titration curve) จากกราฟการไทเทรตจะหา pH ที่จุดสมมูลได้และถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีช่วงการเปลี่ยนสีที่ใกล้เคียงกับ pH ที่จุดสมมูล การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์บอกจุดยุติ (end point) ซึ่งใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากที่สุด แต่ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จะบอกจุดยุติก่อนถึงจุดสมมูลหรือเลยจุดสมมูลแล้วทำให้ผลการไทเทรตผิดพลาด อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรตศึกษาได้จากกราฟการไทเทรตกรดกับเบส และช่วง pH ของอินดิเคเตอร์

กราฟการไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่

หยดสารละลาย 0.10 M NaOH ลงในสารละลาย 0.10 M HCl ที่จุดสมมูลสารละลายจะมี pH เท่ากับ 7

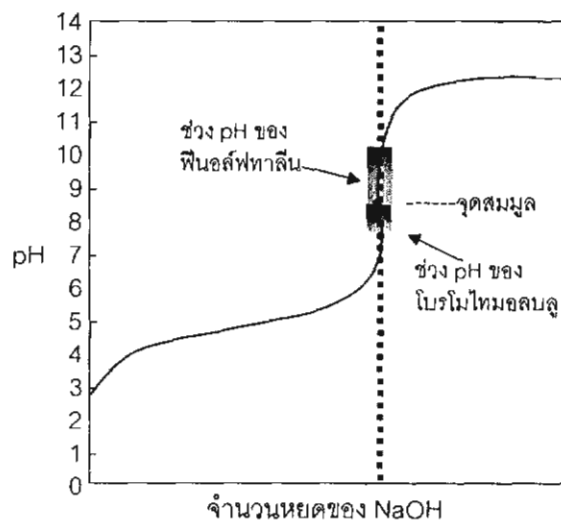


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

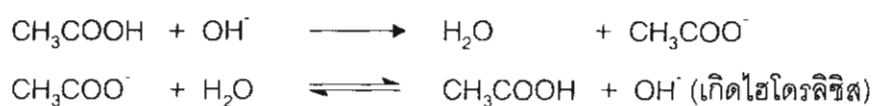


กราฟการไทเทรตกรดอ่อนกับเบสแก่

หยดสารละลาย 0.10 M NaOH ลงในสารละลาย 0.10 M CH_3COOH ที่จุดสมมูลสารละลายจะมี pH เท่ากับ 8.72

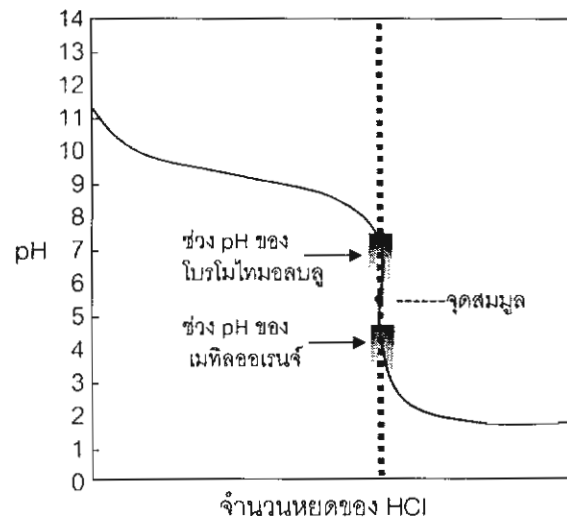


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

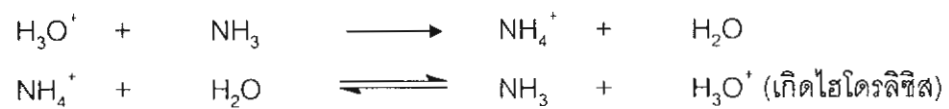


กราฟการไทเทรตเบสอ่อนกับกรดแก่

หยดสารละลาย 0.10M HCl ลงในสารละลาย 0.10 M NH_3 ที่จุดสมมูลสารละลายจะมี pH เท่ากับ 5.3

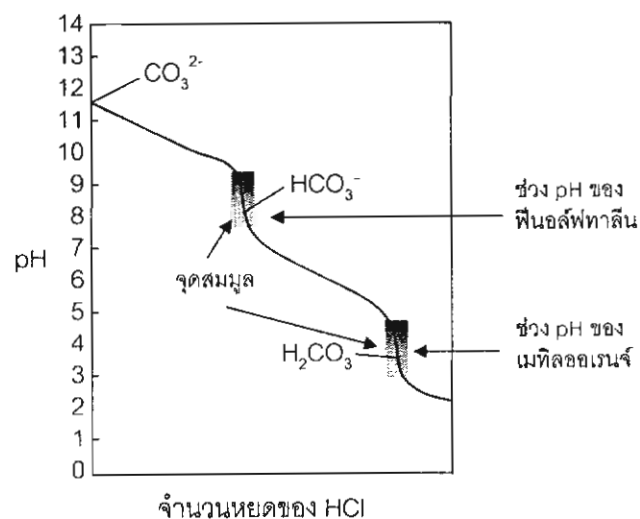


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

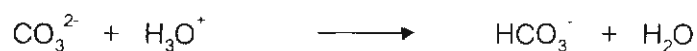


กราฟการไทเทรตเกลือคาร์บอเนตกับกรดแก่

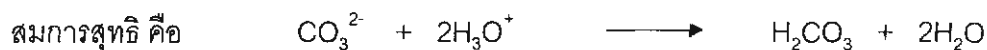
หยดสารละลาย 0.10 M HCl ลงในสารละลาย 0.05 M Na_2CO_3 ที่จุดสมมูลสารละลายจะมี pH เท่ากับ 8.3 และ 3.8



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูลแรก (pH เท่ากับ 8.3)



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูลที่สอง (pH เท่ากับ 3.8)



วัสดุอุปกรณ์

1. ถาดหลุมพลาสติก แบบ 8x12 หลุม
2. ขອງพลาสติกที่สอดแผ่นผังการทดลอง
3. ปิเปตพลาสติก

สารเคมี

1. สารละลาย pH 1-12 (สารละลาย 0.1, 0.01 และ 0.001 M HCl สำหรับ pH 1-3, สารละลายบัฟเฟอร์สำหรับ pH 4-10 และสารละลาย 0.001 M, 0.01 M NaOH สำหรับ pH 11-12)
2. เมทิลออเรนจ์ (methyl orange)
3. โบรโมไทมอลบลู (bromothymol blue)
4. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)
5. ไทมอลบลู (thymol blue)
6. เมทิลเรด (methyl red)
7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 M (sodium hydroxide, 0.10 M NaOH)
8. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 M (hydrochloric acid, 0.10 M HCl)
8. สารละลายกรดแอสติก 0.10 M (acetic acid, 0.10 M CH₃COOH)
9. สารละลายแอมโมเนีย 0.10 M (ammonia, 0.10 M NH₃)
10. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 M (sodium carbonate, 0.05 M Na₂CO₃)
11. สารละลายตัวอย่าง (น้ำโซดา น้ำปูนใส และน้ำส้มสายชู)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์

1. หยดสารละลายที่มี pH ตั้งแต่ 1-12 อย่างละ 8 หยด ด้วยปิเปตพลาสติก ลงในหลุมของถาดหลุมเรียงตามลำดับหมายเลข A1-12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

2. หยดเมทิลออเรนจ์ 1 หยด ลงในทุกหลุมของแถว A
3. บันทึกสีของสารละลายในแต่ละหลุม
4. ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง 3 ซ้ำ แต่เปลี่ยนอินดิเคเตอร์จากเมทิลออเรนจ์เป็นโบรโมไทมอลบลู ฟีนอล์ฟทาลีน ไทมอลบลู และเมทิลเรด ในแถว B, C, D, E ตามลำดับ
5. สรุปช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ทั้งห้าชนิดจากการทดลอง

ตอนที่ 2 การระบุ pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม

1. หยดสารละลายที่มี pH ตั้งแต่ 1-12 อย่างละ 8 หยด ลงในหลุมของถาดหลุมเรียงตามลำดับหมายเลข F1-12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

2. หยดไทมอลบลู เมทิลออเรนจ์ เมทิลเรด โบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาลีนอย่างละ 5 หยด ผสมกันบนช่องพลาสติก ใช้ปิเปตพลาสติกดูดสารละลายผสมทั้งหมดเข้าไปในกระเปาะ เขย่าให้เข้ากัน หยดอินดิเคเตอร์ผสม 1 หยด ลงในแต่ละช่องแถว F คนสารละลายแต่ละหลุมด้วยแท่งพลาสติกที่สะอาด
3. บันทึกสีของสารละลายในแต่ละหลุม หยดน้ำโซดา น้ำปูนใสและน้ำส้มสายชู อย่างละ 8 หยด แยกกันลงในหลุม G 1,2 และ 3 ตามลำดับ หยดอินดิเคเตอร์ผสม 1 หยด ลงในแต่ละหลุมทั้งสามหลุม คนสารละลายแต่ละหลุมด้วยแท่งพลาสติกที่สะอาด
4. ระบุ pH ของน้ำโซดา น้ำปูนใสและน้ำส้มสายชู โดยเปรียบเทียบกับสีของสารละลายที่มี pH 1-12 ในแถว F

ตอนที่ 3 การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรต

3.1 การไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่

1. หยด 0.10 M HCl 8 หยดบนวงกลม A1-12 บนของพลาสติกที่สอดฝังการทดลอง (แนบอยู่ท้ายการทดลองนี้)
2. หยดเมทิลออเรนจ์ 1 หยด ลงในสารละลายแต่ละส่วน
3. หยด 0.10 M NaOH ลงในสารละลายแต่ละส่วน ตามจำนวนหยดที่ระบุไว้ในตาราง

สารละลาย	จำนวนหยด											
0.10 M HCl	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.10 M NaOH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 ถึง 3 โดยเปลี่ยนอินดิเคเตอร์ที่ใช้เป็นโบรโมไทมอลบลู และฟีนอล์ฟทาไลน์โดยใช้ของหมายเลข B1-12 และ C1-12 ตามลำดับ
5. จากปริมาณกรดเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดี(จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี) สรุปผลการทดลองว่าอินดิเคเตอร์ใดใช้บอกจุดยุติได้ตรงหรือใกล้เคียงกับจุดสมมูล และสามารถใช้ในการไทเทรตระหว่าง HCl กับ NaOH ได้
6. เปรียบเทียบผลการทดลองกับกราฟการไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ตามทฤษฎี
7. สรุปผลการทดลอง
8. เข็ดสารละลายบนของพลาสติกด้วยกระดาษทิชชูและหยดน้ำกลั่นลงบนของพลาสติกเล็กน้อย หลังจากนั้นเข็ดของพลาสติกให้แห้ง นำไปทำการทดลองในหัวข้อต่อไป

3.2 การไทเทรตกรดอ่อนกับเบสแก่

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 แต่ใช้ 0.10 M CH_3COOH แทน 0.10 M HCl ดังนี้

สารละลาย	จำนวนหยด											
0.10 M CH_3COOH	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.10 M NaOH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2. สรุปผลการทดลอง

3.3 การไทเทรตเบสอ่อนกับกรดแก่

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 แต่ใช้ 0.10 M NH_3 แทน 0.10 M HCl และ 0.10 M HCl แทน 0.10 NaOH ดังตาราง

สารละลาย	จำนวนหยด											
0.10 M NH_3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.10 M HCl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2. สรุปผลการทดลอง

3.4 การไทเทรตเกลือคาร์บอเนตกับกรดแก่

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 แต่ใช้ 0.10 M Na_2CO_3 แทน 0.10 M HCl และ 0.10 M HCl แทน 0.10 NaOH โดยใช้อินดิเคเตอร์เพียง 2 ชนิด คือ เมทิลออเรนจ์ และฟีนอล์ฟทาลีนเท่านั้น

สารละลาย	จำนวนหยด											
0.10 M Na_2CO_3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0.10 M HCl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2. สรุปผลการทดลอง

คำถาม

1. จงระบุชนิดของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับการไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ กรดอ่อนกับเบสแก่ กรดแก่กับเบสอ่อน และเกลือโซเดียมคาร์บอเนตกับกรดแก่ ตามลำดับ

คำถามท้ายบท

เครื่องปริมาตรในครัวเรือนจำนวนมากเกี่ยวข้องกับสารละลายที่มีความเป็นกรด เบส และกลาง จงเปรียบเทียบ pH ของสารละลายแต่ละคู่ต่อไปนี้ และระบุชนิดของอินดิเคเตอร์ที่สามารถบอกความแตกต่างของสารละลายทั้งสองได้

- ก. น้ำส้มสายชูปลอมกับน้ำส้มสายชูแท้
- ข. น้ำแร่กับน้ำโซดา
- ค. น้ำเกลือกับน้ำมะนาว

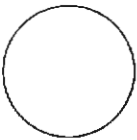
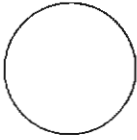
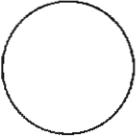
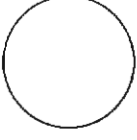
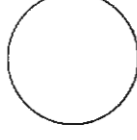
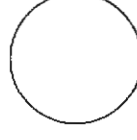
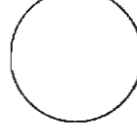
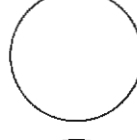
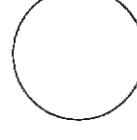
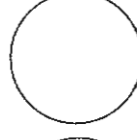
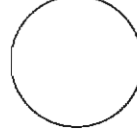
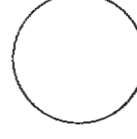
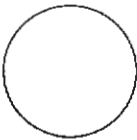
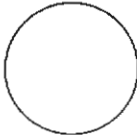
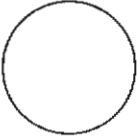
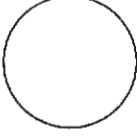
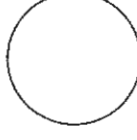
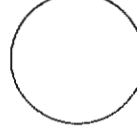
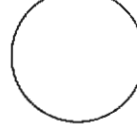
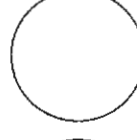
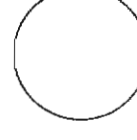
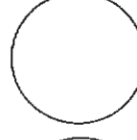
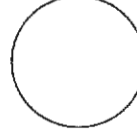
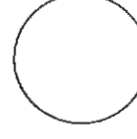
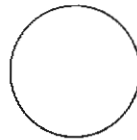
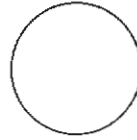
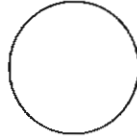
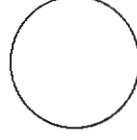
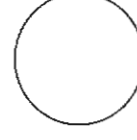
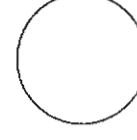
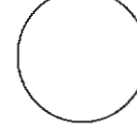
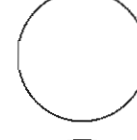
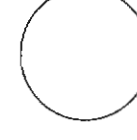
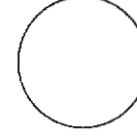
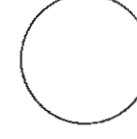
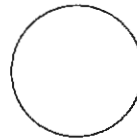
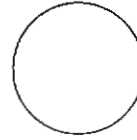
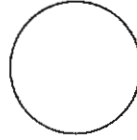
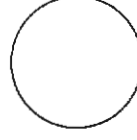
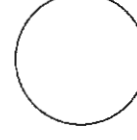
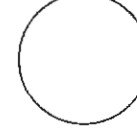
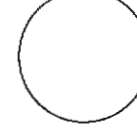
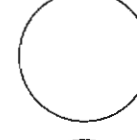
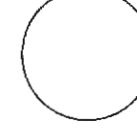
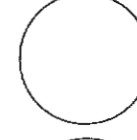
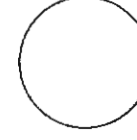
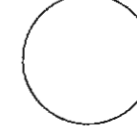
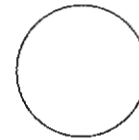
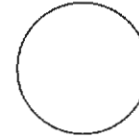
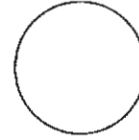
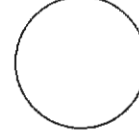
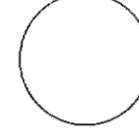
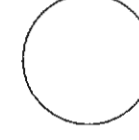
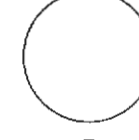
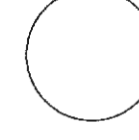
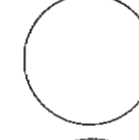
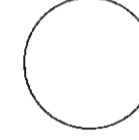
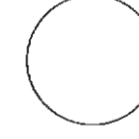
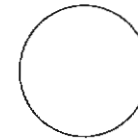
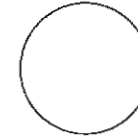
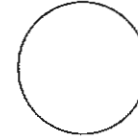
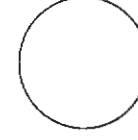
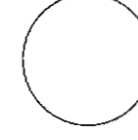
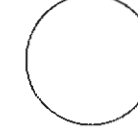
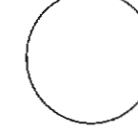
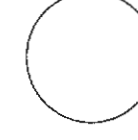
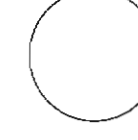
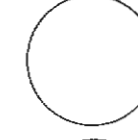
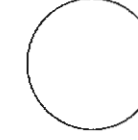
การกำจัดของเสีย

ไม่มีของเสียอันตรายที่ต้องกำจัด

เอกสารอ้างอิง

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หนังสือเคมีทั่วไป/เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2543.
2. T. L. Brown, H. E. Lemay and B. E. Bursten. *Chemistry, The Central Science*, 7th ed, Prentice-Hall, New York, 1997.

ผังการทดลอง

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A												
B												
C												
D												
E												
F												

รายงานผลการทดลอง เรื่องอินดิเคเตอร์กรด-เบส

ชื่อ..... รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

ตอนที่ 1 การศึกษาช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์

pH	สีของสารละลาย				
	เมทิลออเรนจ์	โบรโมไทมอลบลู	ฟีนอล์ฟทาลีน	ไทมอลบลู	เมทิลเรด
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

สรุป เมทิลออเรนจ์มีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH

โบรโมไทมอลบลูมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH

ฟีนอล์ฟทาลีนมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH

ไทมอลบลูมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH

เมทิลเรดมีช่วงการเปลี่ยนสีที่ pH

ตอนที่ 2 การระบุ pH ของสารละลายโดยใช้อินดิเคเตอร์ผสม

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สีของอินดิเคเตอร์ผสม												

สารตัวอย่าง	สีของอินดิเคเตอร์	pH สารละลาย
1. น้ำโซดา		
2. น้ำส้มสายชู		
3. น้ำปูนใส		

ตอนที่ 3 การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรต

3.1 กรดแก่กับเบสแก่

จำนวนหยด HCl		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
จำนวนหยด NaOH		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สีของ สารละลาย	เมทิลออเรนจ์												
	โบรโมไทมอลบลู												
	ฟีนอล์ฟทาลีน												

3.2 กรดอ่อนกับเบสแก่

จำนวนหยด CH ₃ COOH		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
จำนวนหยด NaOH		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สีของ สารละลาย	เมทิลออเรนจ์												
	โบรโมไทมอลบลู												
	ฟีนอล์ฟทาลีน												

3.3 เบสอ่อนกับกรดแก่

จำนวนหยด NH ₃		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
จำนวนหยด HCl		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สีของ สารละลาย	เมทิลออเรนจ์												
	โบรโมไทมอลบลู												
	ฟีนอล์ฟทาลีน												

3.4 เกลือเบสกับกรดแก่

จำนวนหยด Na_2CO_3		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
จำนวนหยด HCl		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สีของ สารละลาย	เมทิลออเรนจ์												
	ฟีนอล์ฟทาลีน												

- สรุป
- เมื่อไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ
 - เมื่อไทเทรตกรดอ่อนกับเบสแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ
 - เมื่อไทเทรตกรดแก่กับเบสอ่อน อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ
 - เมื่อไทเทรตเกลือโซเดียมคาร์บอเนตกับกรดแก่ อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม คือ

การทดลองที่ 7

สมดุลกรด-เบส และสารละลายบัฟเฟอร์

(Acid-base Equilibrium and Buffer Solution)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติของสารละลายกรด-เบส และบัฟเฟอร์
2. หาค่า K_a ของกรดอ่อนโมโนโปรติก
3. ศึกษาสมดุลของกรดอ่อน และความเป็นบัฟเฟอร์จากกราฟการไทเทรต

บทนำ

กรดแก่ (strong acid) หรือ **เบสแก่** (strong base) คือ กรดหรือเบสที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัว 100% เช่น

0.1 M HCl ในน้ำจะมีการแตกตัว ดังนี้



หรือเขียนแบบง่าย



เริ่มต้น

0.1 M

— —

สุดท้าย

—

0.1 M 0.1 M

0.1 M $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ในน้ำจะมีการแตกตัว ดังนี้



เริ่มต้น

0.1 M

— —

สุดท้าย

—

0.1 M 0.2 M

กรดอ่อน (weak acid) หรือ **เบสอ่อน** (weak base) คือ กรดหรือเบสที่เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้น้อย เช่น



หรือเขียนแบบง่าย

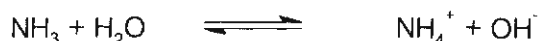


ค่า K_a ของ CH_3COOH มีค่าน้อย (1.8×10^{-5}) สารละลาย CH_3COOH จะมี H^+ และ CH_3COO^- อยู่ในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวของ CH_3COOH

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

K_a คือ ค่าคงที่การแตกตัวของกรดอ่อน

ในกรณีเบสอ่อน เช่น NH_3 เมื่อละลายน้ำมีการแตกตัวดังนี้



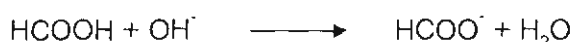
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

K_b คือ ค่าคงที่การแตกตัวของเบสอ่อน

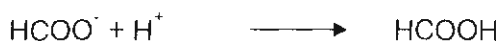
จะเห็นว่าในระบบที่มีกรดอ่อนหรือเบสอ่อนจะมีสมดุลเกิดขึ้น

สารละลายบัฟเฟอร์ (buffer solution) คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนอยู่กับเกลือของกรดอ่อน หรือเบสอ่อนอยู่กับเกลือของเบสอ่อน ซึ่งสารละลายบัฟเฟอร์สามารถควบคุม pH ให้คงที่ (ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก) ได้ในระดับหนึ่ง ความสามารถในการควบคุมหรือต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH คือ **ความจุของบัฟเฟอร์** (buffer capacity) ซึ่งระบุเป็นปริมาณของกรดหรือเบสที่เติมลงไปแล้วทำให้ pH เปลี่ยนไป 1 หน่วย

ตัวอย่างเช่น สารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากกรดอ่อน HCOOH และเกลือของกรดอ่อน HCOONa เมื่อมีการเติม OH^- จากภายนอกลงไป สารละลายบัฟเฟอร์จะกำจัด OH^- ที่เติมให้หมดไปด้วยกรดอ่อน HCOOH ที่มีอยู่ในบัฟเฟอร์ ทำให้ได้เกลือของกรดอ่อนและ H_2O ดังสมการ



ในกรณีที่เติม H^+ จากภายนอกลงไป H^+ จะถูกกำจัดโดย HCOO^- จากเกลือของกรดอ่อน



H^+ ถูกเปลี่ยนเป็น HCOOH ซึ่งเป็นกรดแต่เป็นกรดอ่อน pH จะเปลี่ยนไปแต่น้อยมาก

การทดลอง

ตอนที่ 1 การวัด pH ของสารละลายกรด เบส และบัฟเฟอร์

ตอนที่ 2 การหาค่า K_a ของกรด HCOOH

ตอนที่ 3 ศึกษาสมดุลของกรดอ่อนและความเป็นบัฟเฟอร์จากกราฟการไทเทรต

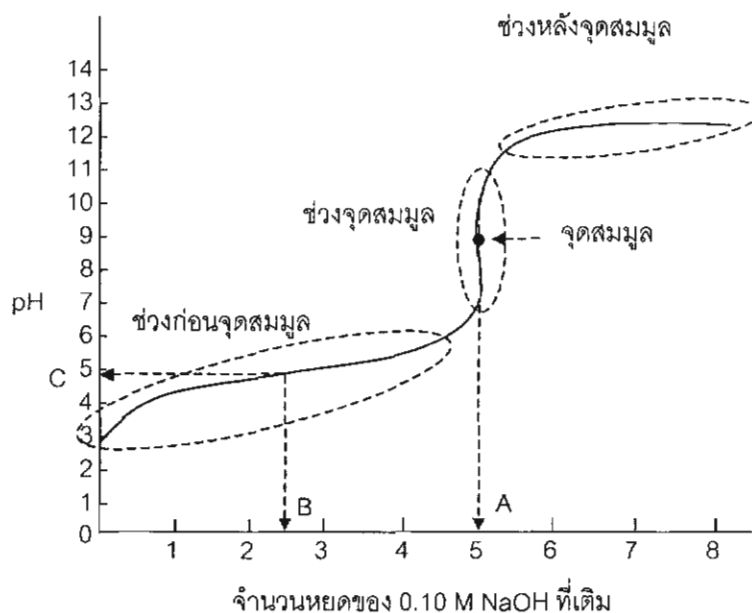
ตอนที่ 4 ศึกษาความจุของบัฟเฟอร์

หลักการและทฤษฎี

การศึกษาสมดุลกรด-เบสสามารถทำได้โดยการไทเทรตและสร้างกราฟการไทเทรต (titration curve)

กราฟการไทเทรต เป็นการพล็อตระหว่างค่า pH ของสารละลาย ณ จุดต่าง ๆ บนแกน Y และปริมาณของไทเทรนต์ที่เติมลงไปบนแกน X

ตัวอย่างกราฟการไทเทรตของ 0.10 M CH_3COOH ด้วย 0.10 M NaOH



จุดสมมูล (equivalence point) คือ จุดที่ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสเกิดสมบูรณ์ และกรด-เบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน ดังสมการ



หรือเขียนแบบง่าย



ณ จุดสมมูล CH_3COOH ถูกสะเทินด้วย NaOH จนหมด

แต่ถ้าพิจารณาจุดที่ CH_3COOH ถูกสะเทินเพียงครึ่งเดียว นั่นคือ จะมี

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

จากสมการค่าคงที่สมดุลของกรด CH_3COOH

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า} \quad K_a &= [\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{หรือ} \quad -\log K_a &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{หรือ} \quad \text{p}K_a &= \text{pH} \end{aligned}$$

นั่นคือ pH ณ จุดครึ่งทางของจุดสมมูลเท่ากับ $\text{p}K_a$

$$\text{หรือ} \quad K_a = 10^{-\text{pH}}$$

จึงสามารถหาค่า K_a ของกรดอ่อนได้จากกราฟการไทเทรตของกรดอ่อนนั้น ในทำนองเดียวกัน ก็สามารถหาค่า K_b ของเบสอ่อนได้จากกราฟการไทเทรตของเบสอ่อน

เมื่อพิจารณากราฟการไทเทรต สามารถแบ่งกราฟออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงก่อนถึงจุดสมมูล ช่วงจุดสมมูล และช่วงหลังจุดสมมูล ในช่วงก่อนถึงจุดสมมูลจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของ pH หรือ ความชันของกราฟมีค่าน้อย และถ้าพิจารณาถึงชนิดของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ขณะนั้นในสารละลาย ได้แก่ CH_3COOH ที่เหลือ CH_3COONa ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์นั่นเอง

ช่วงจุดสมมูลมีการเปลี่ยนแปลงของ pH อย่างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟในส่วนที่มีความชันมาก เพราะสมบัติความเป็นบัฟเฟอร์หมดไป เนื่องจากไม่มี CH_3COOH เหลืออยู่ในสารละลาย การบอกจุดสมมูลที่แน่นอนคือหาจุดกึ่งกลางของกราฟในส่วนที่ชันที่สุดนี้

หลังจุดสมมูลนี้ สารละลายจะมีเกลือ CH_3COONa เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเกิดไฮโดรลิซิส จะทำให้ได้ CH_3COOH ขึ้นดังสมการ



ดังนั้น สารละลายในขณะนี้จะมีทั้งเกลือของกรดอ่อน (CH_3COONa) และกรดอ่อน (CH_3COOH) เมื่อมีการเติมเบสแก่ NaOH ลงไปมากเกินไป พบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นทีละน้อย ดูเสมือนว่าในสารละลายมีระบบบัฟเฟอร์คอยควบคุม pH จึงเรียกสภาวะแบบนี้ว่าบัฟเฟอร์เทียม (pseudobuffer) แต่ระบบบัฟเฟอร์นี้จะมีความจุน้อยมาก เพราะว่าดีกรีของการเกิดไฮโดรลิซิส (degree of hydrolysis) ของเกลือต่ำ ทำให้มีกรดอ่อนเกิดขึ้นน้อย อย่างไรก็ตาม การที่ pH เพิ่มขึ้นทีละน้อยเมื่อมีการเติม NaOH มากเกินไปลงไป เนื่องจาก NaOH จะไม่เกิดปฏิกิริยาอีกต่อไป จึงทำให้ความเข้มข้นของ OH^- ที่มีอยู่ในสารละลายขณะนี้ถูกควบคุมด้วยความเข้มข้นของ NaOH ที่เติมลงไป เป็นผลให้มีค่าเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนค่อนข้างจะคงที่ในที่สุด

วัสดุอุปกรณ์

1. ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1x12 หลุม หรือแบบ 96 หลุม
2. ไมโครบิวเรต (ปิเปตพลาสติกชนิดหยดเล็ก) ที่เทียบปริมาตรแล้ว
3. กระดาษฟีนอล์ฟทาลีน ชนิด pH 1-14

สารเคมี

1. สารละลายกรดแอซีติก) 0.20 M, 0.10 M (acetic acid, CH_3COOH)
2. สารละลายกรดฟอร์มิก 1.0 M, 0.50 M, 0.10 M, 0.01 M (formic acid, HCOOH)
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 M, 0.10 M, 0.01 M (hydrochloric acid, HCl)
3. สารละลายแอมโมเนีย 1.0 M, 0.10 M, 0.01 M (ammonia, NH_3)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 M, 0.10 M, 0.01M (sodium hydroxide, NaOH)
5. สารละลายโซเดียมแอซีเตต 0.20 M (sodium acetate, CH_3COONa)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การวัด pH ของสารละลายกรด เบส และบัฟเฟอร์

1. วัด pH ของสารละลาย 0.10 M HCl และเมื่อเจือจาง 10 เท่า
 หยด 0.10 M HCl 4 หยดลงในถาดหลุมพลาสติกหลุมใดหลุมหนึ่ง ตัดกระดาษฟีนอล์ฟทาลีนประมาณ 0.5 cm ใช้ปากคีบปลายแหลมคีบกระดาษฟีนอล์ฟทาลีนแล้วนำไปจุ่มในสารละลายในหลุม จากนั้นนำมาเทียบสีกับสีมาตรฐานที่ข้างกล่อง บันทึกค่า pH ที่วัดได้
 หยด 0.10 M HCl 1 หยดในหลุมใดหลุมหนึ่ง เติมน้ำ 9 หยด วัด pH ของสารละลายที่เจือจาง 10 เท่าแล้วโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับในตอนต้น บันทึกค่า pH ที่วัดได้
2. วัด pH ของเบสแก่ 0.10 M NaOH และเมื่อเจือจาง 10 เท่า โดยทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1
3. วัด pH ของกรดอ่อน 0.10 M CH_3COOH และเมื่อเจือจาง 10 เท่า โดยทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1
4. วัด pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี 0.10 M CH_3COOH กับ 0.10 M CH_3COONa โดยใช้ 0.20 M CH_3COOH 10 หยด ผสมกับ 0.20 M CH_3COONa 10 หยด และวัด pH ของสารละลายบัฟเฟอร์นี้เมื่อเจือจาง 10 เท่า
5. หยดสารละลายบัฟเฟอร์ในข้อ 4 ลงในถาดหลุมพลาสติก 4 หลุมๆละ 4 หยด และหยด 0.10 M HCl 1 หยด , 0.10 M HCl 10 หยด , 0.10 M NaOH 1 หยด และ 0.10 M NaOH 10 หยดลงในหลุมที่ 1 , 2, 3 และ 4 ตามลำดับ คนสารละลายให้ทั่ว วัด pH ของสารละลายในแต่ละหลุม

คำถาม

1. กรดแก่ HCl และกรดอ่อน CH_3COOH มีความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.10 M แต่ pH ที่วัดได้แตกต่างกัน จงให้เหตุผล
2. จงนำค่า pH ของสารละลาย 0.01 M CH_3COOH (เมื่อเจือจาง 0.10 M CH_3COOH 10 เท่า) ที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของ 0.01 M CH_3COOH
3. สรุปค่านิยามของสารละลายบัฟเฟอร์ จากผลการทดลองในข้อ 5

ตอนที่ 2 การหาค่า K_a ของกรด HCOOH

ทำการไทเทรตแบบลำดับขั้น 0.50 M HCOOH ด้วย 0.10 M NaOH แล้วสร้างกราฟการไทเทรต เพื่อหาค่า pH ณ จุดครึ่งทางของจุดสมมูล

1. ใช้ไมโครบิวเรตบรรจุ 0.50 M HCOOH นำมาหยดลงในภาดหลุมพลาสติก หลุมละ 1 หยด จนครบ 12 หลุม อย่าลืมใช้เทคนิคการหยดที่สม่ำเสมอ
2. ใช้ไมโครบิวเรตอีกอันหนึ่งซึ่งเทียบปริมาตรเรียบร้อยแล้ว บรรจุ 0.10 M NaOH หยดสารละลาย NaOH ในหลุมที่หนึ่ง 1 หยด หลุมที่สอง 2 หยด และหลุมที่สาม 3 หยด เป็นลำดับเช่นนี้จนครบ 12 หลุม

ระวัง! กรดและเบสเป็นสารกัดกร่อน ถ้ากระเด็นถูกผิวหนังให้ล้างด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ และแจ้งให้อาจารย์ทราบถ้ามีอาการมาก

3. ในแต่ละหลุม ใช้ไม้จิ้มฟันคนให้เข้ากัน ระวังการปนเปื้อนเมื่อใช้ปลายด้านหนึ่งคนแล้ว ให้ใช้ปลายอีกด้านสำหรับคนสารละลายอื่นต่อไปหรือเช็ดให้สะอาดและแห้งก่อนการใช้ ใช้ปากคีบปลายแหลมคีบกระดาษฟิเชส แล้วนำไปจุ่มในสารละลายแต่ละหลุม เทียบสีที่ปรากฏบนกระดาษฟิเชสกับสีมาตรฐานข้างกล่องเพื่อบอก pH ของ สารละลาย ความแน่นอนของ pH ที่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเทียบสี ทำเช่นนี้เพื่อหา pH ของสารละลายในทุกหลุม บันทึกผล
4. นำไปสร้างกราฟการไทเทรต โดยพล็อตค่า pH ของสารละลายในแต่ละหลุมบนแกน Y และจำนวนหยดของ 0.10 M NaOH บนแกน X
5. จากกราฟการไทเทรต บอกจุดสมมูลซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของกราฟส่วนที่ชันที่สุด จากจุดสมมูลลากเส้นในแนวตั้งให้ขนานกับแกน Y พบกับแกน X จุดที่พบกับแกน X คือ ปริมาณของ 0.10 M NaOH ที่ทำปฏิกิริยาสะเทินพอดีกับ 0.50 M HCOOH ปริมาณ 1 หยด เรียกจุดนี้ว่า จุด A แบ่งครึ่งระยะจากจุด X = 0 ถึงจุด A เรียกจุดนี้ว่า จุด B จากจุด B ลากเส้นขนานกับแกน Y ขึ้นไปหากราฟการไทเทรต และจากจุดนี้ลากเส้นขนานกับ

แกน X ไปตัดแกน Y เรียกจุดนี้ว่าจุด C ซึ่งเป็น pH ณ จุดครึ่งทางของช่วงจุดสมมูล จากค่า pH นี้นำไปหาค่า K_a

คำถาม

1. จากกราฟการไทเทรตจะเห็นได้ว่า กราฟมี 3 ช่วงคือ ช่วงก่อนจุดสมมูล ช่วงจุดสมมูล และช่วงหลังจุดสมมูล แต่ละช่วงมีความชันแตกต่างกัน จงอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการไทเทรตในเชิงสมดุลกรด-เบสที่เกี่ยวข้อง
2. สมมติว่าไม่ทราบความเข้มข้นของสารละลาย HCOOH จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCOOH จากกราฟการไทเทรตนี้
3. ถ้านำ 0.50 M HCOOH มา 4 หยด และเติม 0.10 M NaOH ลงไป 10 หยด แล้ววัด pH ด้วยกระดาษพีเอช ค่า pH ที่ทราบนี้จะเท่ากับ $\text{p}K_a$ ของกรด HCOOH หรือไม่ จงอธิบายและทดลองปฏิบัติ แล้วเปรียบเทียบค่า K_a กับค่าที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2

ตอนที่ 3 การศึกษาสมดุลของกรดอ่อนและความเป็นบัฟเฟอร์จากกราฟการไทเทรต

1. ทำการไทเทรตในแบบเดียวกับการทดลองตอนที่ 2 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ HCOOH และ NaOH เป็นดังนี้
 - ก. 5 หยด 1.0 M HCOOH ด้วย 1.0 M NaOH
 - ข. 5 หยด 0.10 M HCOOH ด้วย 0.10 M NaOH
 - ค. 5 หยด 0.01 M HCOOH ด้วย 0.01 M NaOH
2. สร้างกราฟการไทเทรตทั้งสามบนกระดาษกราฟเดียวกัน
3. อธิบายเหตุผลว่าทำไมกราฟในช่วงก่อนจุดสมมูลของกราฟ ก ข ค จึงมีความชันน้อย
4. อธิบายเหตุผลว่าทำไมกราฟในช่วงจุดสมมูลของกราฟ ก ข ค จึงมีความชันมาก และจำนวนหยดของ NaOH ที่จุดสมมูลเป็นจุดเดียวกัน
5. อธิบายเหตุผลว่าทำไมกราฟช่วงหลังจุดสมมูลของกราฟ ก ข ค จึงมีความชันน้อย
6. อธิบายเหตุผลว่าทำไมกราฟในช่วงก่อนจุดสมมูลของกรณี ก ข ค จึงไม่แตกต่างกันมาก แต่กราฟช่วงหลังจุดสมมูลของกรณี ก ข ค มีความแตกต่างกันชัดเจน

ตอนที่ 4 ความจุของบัฟเฟอร์

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ของ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ ให้มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้
 - ก. 10 หยด 1.0 M NH_3 และ 5 หยด 1.0 M HCl
 - ข. 10 หยด 0.10 M NH_3 และ 5 หยด 0.10 M HCl
 - ค. 10 หยด 0.01 M NH_3 และ 5 หยด 0.01 M HCl

วัด pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ก ข และ ค บันทึกค่า pH

- นำสารละลายบัฟเฟอร์ ก ข และ ค มาไทเทรตในแบบเดียวกับการทดลองตอนที่ 2 ด้วย 0.10 M NaOH วัด pH ของสารละลายในแต่ละหลุมด้วยกระดาษพีเอช บันทึกค่า pH (ไม่ต้องสร้างกราฟการไทเทรต)
- ตรวจสอบว่าหลุมใดที่หยดสารละลาย 0.10 M NaOH ลงไปแล้วทำให้ pH ของสารละลายในหลุมเปลี่ยนไปจาก pH เริ่มต้น 1 หน่วย pH (เช่นจาก pH = 9 จนเปลี่ยนเป็น 10 ในหลุมใด) เปรียบเทียบและอธิบายผลการทดลองที่ได้ว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ NH_3 และ NH_4^+ ในสารละลาย ก ข และ ค อย่างไร สำหรับการทดลองนี้ ในการเปรียบเทียบความจุของสารละลายบัฟเฟอร์ (สามารถใช้จำนวนหยดของสารละลาย NaOH มาเป็นตัวแทนจำนวนโมลของ NaOH ได้)

คำถามท้ายบท

ในร่างกายมนุษย์มี pH ของเลือดประมาณ 7.4 และสามารถควบคุม pH นี้ไว้ได้ด้วยระบบบัฟเฟอร์หลายระบบ ระบบที่สำคัญคือ ระบบบัฟเฟอร์ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ ภายหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนัก ร่างกายจะมีกรดแลคติก (lactic acid) เกิดขึ้นมากในกล้ามเนื้อ เมื่อกรดแลคติกถูกถ่ายเข้ามาในกระแสเลือดจะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดลดลง ซึ่งจะทำให้ pH ของเลือดเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และเลือดจะควบคุม pH ไว้ที่ประมาณ 7.4 ได้อย่างไร

การกำจัดของเสีย

กรดและเบสที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนัก สามารถทิ้งลงอ่างน้ำทิ้งและเปิดน้ำตามมาก ๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

- S. Thompson, *Chemtrek : Small Scale Experiments for General Chemistry*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1989.
- A. Langsjoen, G. W. Everett, P. Lieder and A. J. Lata, *Experiments in General, Organic and Biological Chemistry*, Harcourt Brace Javanovich, 1988.

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมดุลกรด-เบส และสารละลายบัฟเฟอร์

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

ตอนที่ 1 การวัด pH ของสารละลายกรด เบส และบัฟเฟอร์

สารละลาย	pH
0.10 M HCl	
0.01 M HCl	

สารละลาย	pH
0.10 M NaOH	
0.01 M NaOH	

สารละลาย	pH
0.10 M CH_3COOH	
0.01 M CH_3COOH	

สารละลาย	pH
บัฟเฟอร์ (0.10 M CH_3COOH + 0.10 M CH_3COONa)	
บัฟเฟอร์ (0.01 M CH_3COOH + 0.01 M CH_3COONa)	

สารละลาย	pH
บัฟเฟอร์ (0.10 M CH_3COOH + 0.10 M CH_3COONa)	
บัฟเฟอร์ + 1 หยด 0.10 M HCl	
บัฟเฟอร์ + 10 หยด 0.10 M HCl	
บัฟเฟอร์ + 1 หยด 0.10 M NaOH	
บัฟเฟอร์ + 10 หยด 0.10 M NaOH	

คำถามหลังการทดลอง

- กรดแก่ HCl และกรดอ่อน CH_3COOH มีความเข้มข้นเท่ากันคือ 0.10 M แต่ pH ที่วัดได้แตกต่างกัน จงให้เหตุผล

.....

.....

.....

.....

2. จงนำค่า pH ของสารละลาย 0.01 M CH_3COOH (เมื่อเจือจาง 0.10 M CH_3COOH 10 เท่า) ที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแตกตัวของ 0.01 M CH_3COOH

.....

.....

.....

3. คำนิยามของสารละลายบัฟเฟอร์

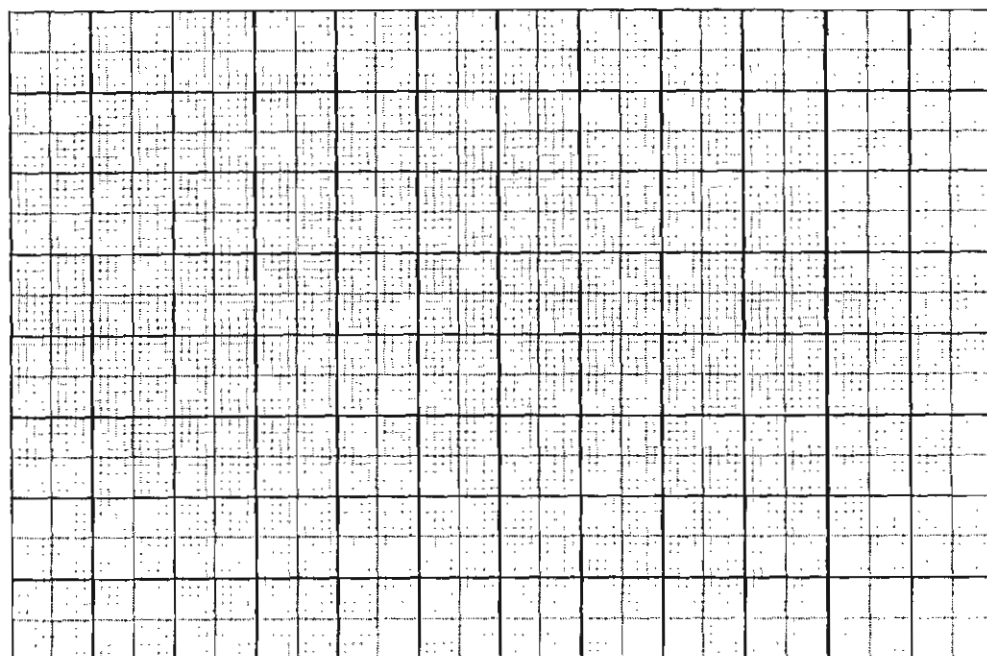
.....

.....

.....

ตอนที่ 2 การหาค่า K_a ของกรด HCOOH

กราฟการไทเทรตระหว่าง 0.50 M HCOOH ด้วย 0.10 M NaOH

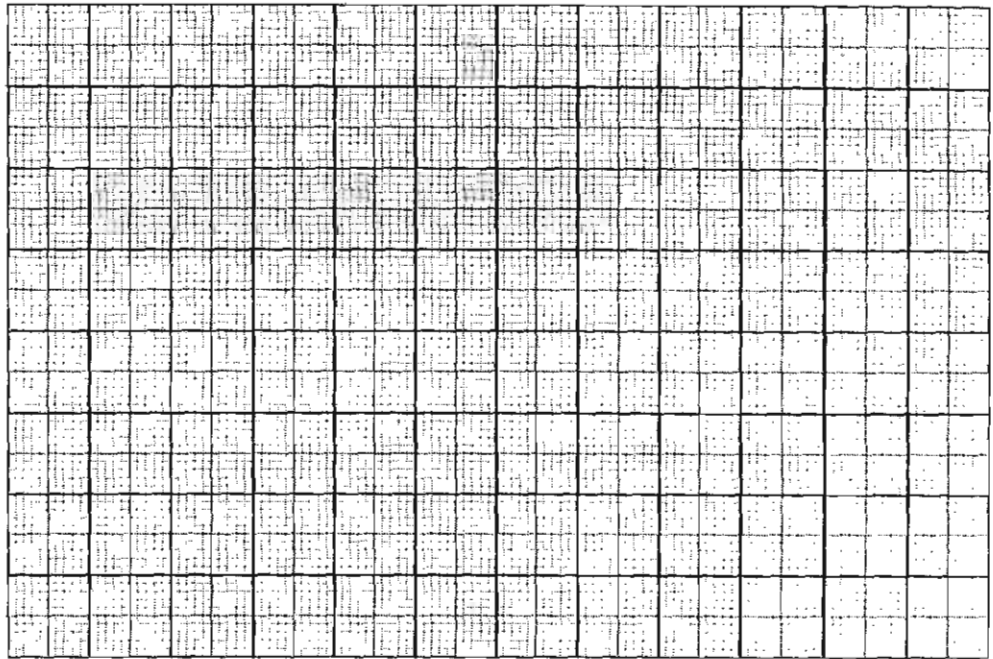


K_a ของกรด HCOOH =

คำถามหลังการทดลอง

1. จากกราฟการไทเทรตจะเห็นได้ว่า กราฟมี 3 ช่วง คือ ช่วงก่อนจุดสมมูล ช่วงจุดสมมูล และช่วงหลังจุดสมมูล แต่ละช่วงมีความชันแตกต่างกัน จงอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการไทเทรตในเชิงสมดุลกรด-เบสที่เกี่ยวข้อง
.....
.....
.....
2. สมมติว่าไม่ทราบความเข้มข้นของสารละลาย HCOOH จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCOOH จากกราฟการไทเทรตนี้
.....
.....
.....
3. ถ้านำ 0.50 M HCOOH มา 4 หยด และเติม 0.10 M NaOH ลงไป 10 หยด แล้ววัด pH ด้วยกระดาษพีเอช ค่า pH ที่ทราบนี้จะเท่ากับ pK_a ของกรด HCOOH หรือไม่ จงอธิบาย และทดลองปฏิบัติ แล้วเปรียบเทียบค่า K_a กับค่าที่ได้จากการทดลองตอนที่ 2
.....
.....
.....

ตอนที่ 3 การศึกษาสมดุลของกรดอ่อนและความเป็นบัฟเฟอร์จากกราฟการไทเทรต
กราฟการไทเทรตระหว่าง HCOOH และ NaOH ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



อธิบายกราฟในช่วงก่อนจุดสมมูล

.....

.....

.....

อธิบายกราฟช่วงจุดสมมูล

.....

.....

.....

อธิบายกราฟช่วงหลังจุดสมมูล

.....

.....

.....

อธิบายความแตกต่างของกราฟช่วงหลังจุดสมมูล

.....

ตอนที่ 4 ความจุของบัฟเฟอร์

สารละลาย	pH ของสารละลายในหลุมที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บัฟเฟอร์ ก												
บัฟเฟอร์ ข												
บัฟเฟอร์ ค												

ความจุของบัฟเฟอร์ ก = หยดของ 0.10 M NaOH /1 หน่วย pH

ความจุของบัฟเฟอร์ ข = หยดของ 0.10 M NaOH /1 หน่วย pH

ความจุของบัฟเฟอร์ ค = หยดของ 0.10 M NaOH /1 หน่วย pH

เปรียบเทียบความจุของบัฟเฟอร์ทั้งสาม และอธิบายผลการทดลองที่ได้ว่ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ NH_3 และ NH_4^+ ในสารละลาย ก ข และ ค อย่างไร

การทดลองที่ 8

การดุลสมการเคมี

(Balancing of Chemical Equations)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการทำปริมาณวิเคราะห์โดยวิธีไทเทรต
2. ศึกษาการดุลสมการเคมี

บทนำ

ผู้เรียนมักคุ้นเคยการดุลสมการเคมีในภาคบรรยาย ซึ่งสมการเคมีทั้งหลายเหล่านั้นเป็นผลอันเนื่องมาจากการทดลองทั้งสิ้น สำหรับการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการที่จะดุลสมการให้สอดคล้องกับผลการทดลอง โดยอาศัยการไทเทรตเพื่อหาปริมาณสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน เช่น ในปฏิกิริยาสมมติ



ให้ a และ b เป็นจำนวนโมลของสาร A และ B ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยทราบจากการไทเทรตด้วยการใช้อินดิเคเตอร์ในการบอกจุดยุติ

การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณสาร เรียกว่า ปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetric analysis) ซึ่งอาศัยการชั่งน้ำหนักของสารที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ การวิเคราะห์โดยปริมาตร (volumetric analysis) ซึ่งอาศัยการวัดปริมาตรของสารละลายสองชนิดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน โดยใช้อินดิเคเตอร์เป็นในการบอกจุดยุติ นอกจากนี้อาจวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัด การดูดกลืนหรือการคายแสงที่อยู่ในช่วงยูวีหรือวิสิเบิล

การทำปริมาณวิเคราะห์โดยวิธีไทเทรตสำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดสะเทินของปฏิกิริยา สารละลายกรดกับเบสส่วนใหญ่เป็นสารละลายที่ไม่มีสี ดังนั้นจึงไม่ทราบว่าเป็นเมื่อใดกรดกับเบสทำปฏิกิริยากันพอดี ซึ่งคือ จุดสมมูลหรือจุดสะเทิน บริเวณจุดสมมูลจะมีการเปลี่ยน pH ของสารละลายอย่างรวดเร็ว จุดยุติที่หาได้จากการไทเทรตจะใกล้เคียงกับจุดสมมูลมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ การเลือกอินดิเคเตอร์และความเข้มข้นของกรดและเบสที่ทำปฏิกิริยากันดังการทดลองที่ 6

การเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรต จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยต้องเลือกอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH หรือช่วงการเปลี่ยนสี ใกล้เคียงกับ pH ของจุดสมมูลมากที่สุด

การทดลอง

การหาปริมาณของกรดกับเบสที่ทำปฏิกิริยากันพอดี ด้วยการไทเทรต เมื่อใช้

ก. โบรโมครีซอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์

ข. ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

หลักการและทฤษฎี

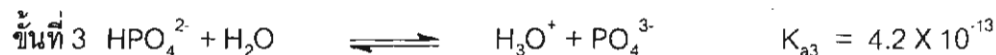
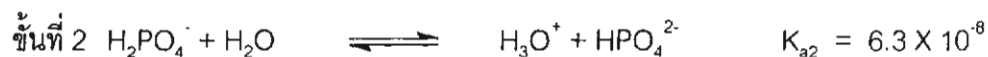
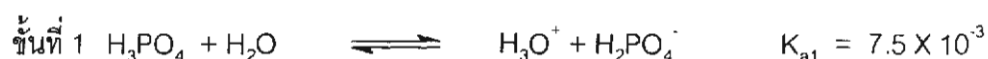
การดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส สำหรับการทดลองนี้ใช้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH ไทเทรตกับกรดฟอสฟอริก, H_3PO_4 ซึ่งเป็นกรดโพลีโปรติก โดยเลือกใช้อินดิเคเตอร์สองชนิด

กรดโพลีโปรติก (polyprotic acid) หมายถึง กรดที่สามารถแตกตัวให้โปรตอนได้มากกว่าหนึ่งโปรตอนต่อหนึ่งโมเลกุล เช่น

H_2S และ H_2CO_3 จัดเป็น diprotic acid

H_3PO_4 จัดเป็น triprotic acid

H_3PO_4 เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะแตกตัวเป็นลำดับขั้น ดังนี้



K_a เป็นค่าคงที่การแตกตัวของกรด

ถ้านำสารละลาย 0.1 M NaOH ไทเทรตกับสารละลาย 0.1 M H_3PO_4 จะปรากฏช่วงการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างชัดเจน เพียงสองขั้นเท่านั้น จะไม่เห็นขั้นที่สาม ทั้งนี้เนื่องจากการแตกตัวของกรดในขั้นที่สามมีค่าน้อยมาก ๆ ฉะนั้นจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในขั้นที่สาม ในทางปฏิบัติการไทเทรตกรดอ่อนนั้น ค่า K_a กรดอ่อนควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10^{-8} - 10^{-4} เพื่อจะได้เห็นการเปลี่ยนค่า pH อย่างชัดเจน ณ จุดสะเทิน หรืออัตราส่วน K_{a1} ต่อ K_{a2} ควรมีค่ามากกว่า 10^4 จึงจะเห็นการเปลี่ยนค่า pH อย่างชัดเจนทั้งสองขั้น

ปฏิกิริยาระหว่าง H_3PO_4 กับ NaOH เขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้



อาศัยหลักการเบื้องต้นของการดุลสมการเคมีที่ว่า จำนวนอะตอมของธาตุแต่ละธาตุทางซ้ายมือ จะเท่ากับทางขวามือ เช่น ถ้าพิจารณาธาตุ P จะได้ $b = c$ ธาตุอื่น ๆ ก็พิจารณาในทำนองเดียวกัน ฉะนั้น ค่า c, d, e และ f ทางขวามือของสมการ สามารถเขียนในรูปของ a และ b ทางซ้ายมือได้

ค่า a และ b หาได้จากผลการไทเทรต โดยที่

$$\frac{a}{b} = \frac{\text{ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ (mol)}}{\text{ปริมาณของ H}_3\text{PO}_4 \text{ ที่ใช้ (mol)}}$$

ดังนั้น อัตราส่วน $\frac{a}{b}$ จะหาได้สองค่า เนื่องจากเราใช้อินดิเคเตอร์สองตัว โดยปิดให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม

อินดิเคเตอร์ที่ใช้ คือ โบรโมครีซอลกรีนและฟีนอล์ฟทาลีน

ผู้เรียนคิดว่าจุดยุติของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิดจะเป็นสีอะไร

อินดิเคเตอร์กรด-เบสที่เปลี่ยนสี ณ ช่วง pH ต่าง ๆ กัน

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	สีที่เปลี่ยนไป
ไทมอลบลู	1.2 - 2.8	แดง - เหลือง
เมทิลออเรนจ์	3.1 - 4.4	แดง - เหลือง
โบรโมครีซอลกรีน	3.8 - 5.4	เหลือง - น้ำเงิน
โบรโมไทมอลบลู	6.0 - 7.8	เหลือง - น้ำเงิน
ฟีนอล์ฟทาลีน	8.0 - 9.8	ไม่มีสี - แดง

วัสดุอุปกรณ์

1. ปิเปตพลาสติก
2. ถาดหลุมพลาสติกแบบ 4x6 หลุม

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) 8.00 g/L
2. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H₃PO₄) 18.42 g/L
3. โบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green)
4. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)

วิธีทดลอง

การหาปริมาณของกรดกับเบสที่ทำปฏิกิริยากันพอดีด้วยการไทเทรต เมื่อใช้

ก. โบรโมคริสคอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์

1. หยดสารละลาย H_3PO_4 10 หยด ลงในหลุมของภาดหลุมพลาสติก ด้วยปิเปตพลาสติก
2. หยดอินดิเคเตอร์ลงไปในสารละลายกรด 1 หยด เขย่าภาดหลุมในแนวราบ
3. ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH จนกระทั่งถึงจุดยุติ สารละลายจะมีสีเขียวอ่อนมาก
4. ทดลองซ้ำ โดยนำผลการทดลองที่จำนวนหยดของ NaOH ที่ใช้ต่างกันไม่เกินกว่า 2 หยด มาเฉลี่ย
5. คำนวณหาค่าอัตราส่วน $\frac{a}{b}$ โดยปัดให้เป็นเลขจำนวนเต็ม

ข. ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนอินดิเคเตอร์จากโบรโมคริสคอลกรีนเป็นฟีนอล์ฟทาลีนแทน จุดยุติจะมีสีชมพูอ่อน

การกำจัดของเสีย

กรดและเบสที่ใช้มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำสามารถทิ้งลงอ่างน้ำได้ และเปิดน้ำตามมาก ๆ

คำถามท้ายบท

1. เหตุใดจึงต้องเลือกใช้อินดิเคเตอร์ถึงสองชนิด
2. การดุลสมการเคมีโดยวิธีนี้ น่าเชื่อถือเพียงใด
3. จำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของทั้งกรดและเบสตอนเริ่มต้นหรือไม่ ทราบเพียงตัวใดตัวหนึ่งได้หรือไม่

เอกสารอ้างอิง

1. J.C. Kotz and K.F. Purcell, *Chemistry & Chemical Reactivity*, 2nd ed, Saunders College, London 1991.
2. R.C. Smoot, *Laboratory Chemistry*, Teacher's Annotated ed, Charles D. Merrill, Sydney, 1983.
3. แม้น อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม, *หลักการและเทคนิค การวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2539.

รายงานผลการทดลองเรื่อง การดุลสมการเคมี

ชื่อผู้ทำการทดลอง.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

ความเข้มข้นของสารละลาย H_3PO_4 =

ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH =

(MW H_3PO_4 = 98; NaOH = 40)

บันทึกสีของสารละลายก่อนและหลังการไทเทรต

อินดิเคเตอร์	สีก่อนไทเทรต	สีหลังไทเทรต
Bromocresol green		
Phenolphthalein		



อินดิเคเตอร์	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (หยด)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Bromocresol green				
Phenolphthalein				

ปริมาตร H_3PO_4 ที่ใช้แต่ละครั้ง.....หยด

อินดิเคเตอร์	จำนวนโมล NaOH (a)	จำนวนโมล H_3PO_4 (b)	$\frac{a}{b}$
Bromocresol green			
Phenolphthalein			

จากอัตราส่วน $\frac{a}{b}$ ที่ได้จากการไทเทรต จงแสดงวิธีการหาค่า c, d, e และ f



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เขียนสมการเคมีที่ดุลแล้วสอดคล้องกับการทดลอง

เมื่อใช้โบรโมครีซอลกรีนเป็นอินดิเคเตอร์

.....

.....

เมื่อใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

.....

.....

การทดลองที่ 9
สิ่งเจือปนและความกระด้างของน้ำ
(Soluble Contents and Total Hardness of Water)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการละลายในน้ำ
2. ตรวจวิเคราะห์สิ่งเจือปนในน้ำ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ คลอไรด์ ไอออน ความกระด้างของน้ำ
3. การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน

บทนำ

น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีอยู่มากในธรรมชาติ จึงเป็นที่น่าสนใจว่าน้ำรอบตัวเราละลายอะไรออกมาบ้าง ในการทดลองนี้จะลองเอาน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาระเหยให้แห้ง เพื่อดูว่ามีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) มากน้อยเพียงใด และวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ แคลเซียม ไอออน และแมกนีเซียม ไอออน ซึ่งเป็นสาเหตุของความกระด้างของน้ำ โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA

น้ำทะเลโดยทั่วไปมีองค์ประกอบดังนี้

ชนิดของสาร	ความเข้มข้น (mg/L)
Cl ⁻	19000
Na ⁺	10500
SO ₄ ²⁻	2700
Mg ²⁺	1350
Ca ²⁺	410
K ⁺	390
HCO ₃ ⁻	142
Br ⁻	67
Sr ²⁺	8
SiO ₂	6.4

น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์อยู่มาก ถ้ามีมากเกินไปจะบริโภคไม่ได้ หรืออาจจะใช้ไม่ได้ในอุตสาหกรรม

นอกจากมีโซเดียมคลอไรด์ปริมาณมากแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ คือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} เนื่องจากน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่จะมีความเป็นกรดเล็กน้อย เมื่อไหลชะหินปูน ดินและทรายจะละลาย CaCO_3 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ได้ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำเป็นสาเหตุของความกระด้างของน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาในการซักล้างด้วยสบู่หรือผงซักฟอก ทำให้สิ้นเปลืองมากและเกิดเป็นคราบสบู่ และยังทำให้เกิดตะกอน (scale) ของ CaCO_3 ในหม้อต้มน้ำ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้มหรือเกิดการอุดตันจนอาจเกิดการระเบิดได้

ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของพืชน้ำและสัตว์น้ำ ถ้าทิ้งของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ลงน้ำ จะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจนในที่สุดออกซิเจนในน้ำจะหมดไป

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาปริมาณ TDS

ตอนที่ 2 การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

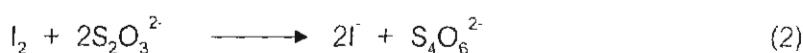
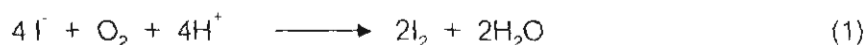
ตอนที่ 3 การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำ

ตอนที่ 4 การหาความกระด้างของน้ำ

ตอนที่ 5 การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน

หลักการและทฤษฎี

การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถทำได้โดยเติมไอโอดีนไอออนเพื่อรีดิวซ์ตัวออกซิไดซ์ที่มีอยู่ในน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่คือ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ส่วนไอโอดีนไอออนเองจะถูกออกซิไดซ์เป็นไอโอดีน (I_2) ทำให้เห็นสารละลายเป็นสีน้ำตาล จากนั้นไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วย สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ปฏิกริยาทั้งหมดเป็นดังนี้

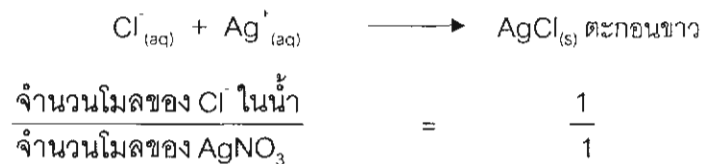


จากสมการ (1) และ (2) ได้ว่า

$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{O}_2 \text{ ในน้ำ}}{\text{จำนวนโมลของ } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{1}{4}$$

การบอกจุดยุติในการไทเทรตทำได้โดยใช้น้ำแบ่ง ซึ่งน้ำแบ่งจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไฮโอตินได้สีน้ำเงินดำ และเมื่อไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับไฮโอตินจนไฮโอตินหมดที่จุดยุติ สีน้ำเงินจะหายไป

การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำทำได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรต มีสารละลายไฮเดียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



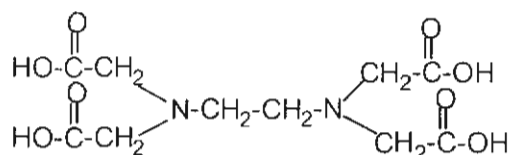
เมื่อ Ag^+ ทำปฏิกิริยากับ Cl^- จน Cl^- หมดแล้ว Ag^+ จะทำปฏิกิริยากับโครเมตไฮออนเกิดตะกอนสีแดงอิฐของซิลเวอร์โครเมต ดังสมการ



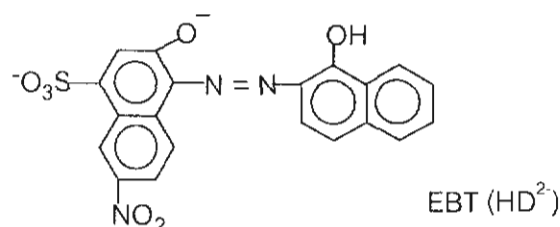
จุดยุติ คือ จุดที่เริ่มเห็นตะกอนสีแดงอิฐของ Ag_2CrO_4 ซึ่งสังเกตเห็นได้ยากเพราะจะแทรกอยู่ในตะกอนขาวของ AgCl แต่เนื่องจากตะกอน Ag_2CrO_4 ละลายในน้ำได้บ้างจึงอนุโลมให้ใช้จุดที่สารละลายซึ่งเดิมเป็นสีเหลืองเนื่องจากสีของไฮเดียมโครเมตเริ่มมีสีแดงปน

การหาความกระด้างของน้ำหรือปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำสามารถทำได้โดยการไทเทรตกับสารละลาย Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ซึ่งเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ได้ดีโดยมี Eriochrome black T เป็นอินดิเคเตอร์

สูตรโครงสร้างของ EDTA



สูตรโครงสร้างของ Eriochrome black T (EBT)

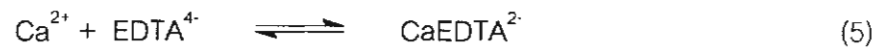


สีของ EBT ที่ pH 10 มีสีน้ำเงิน และเมื่อ EBT เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะจะมีสีแดง



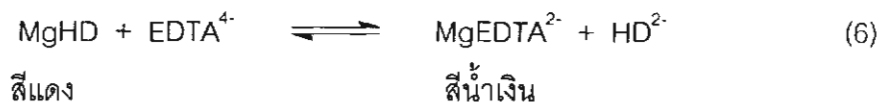
ในการวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำหรือปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำด้วยการไทเทรตกับ EDTA จะกระทำที่ pH 10 เนื่องจาก EDTA เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ได้ดีที่ pH ประมาณ 10 โดยใช้ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ บัฟเฟอร์

เมื่อเติม EBT ลงในน้ำ EBT จะจับตัวกับ Mg^{2+} (EBT เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Mg^{2+} ได้ดีกว่า Ca^{2+} มาก) จึงเห็นอยู่ในรูปสีแดง และเมื่อเติม EDTA ลงไปโดยการไทเทรต EDTA จะทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนก่อนที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปกับ Mg^{2+} เพราะ EDTA เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ca^{2+} ได้ดีกว่า Mg^{2+} ดังสมการ



$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{Ca}^{2+} \text{ ในน้ำ}}{\text{จำนวนโมลของ EDTA}} = \frac{1}{1}$$

เมื่อ Ca^{2+} ในสารละลายทำปฏิกิริยาหมดแล้ว EDTA จะทำปฏิกิริยากับ Mg^{2+} ในสารละลาย และในที่สุดกับ Mg^{2+} ที่จับตัวอยู่กับ EBT



$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{Mg}^{2+} \text{ ในน้ำ}}{\text{จำนวนโมลของ EDTA}} = \frac{1}{1}$$

ดังนั้นจุดยุติในการไทเทรต คือ การเปลี่ยนสีของ EBT จากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงินที่ไม่มีแดงปน

การมี Mg^{2+} เล็กน้อยจะทำให้การทำงานของ EBT เพื่อบอกจุดยุตินั้นถูกต้อง แต่ถ้าไม่แน่ใจว่ามี Mg^{2+} ในน้ำตัวอย่างหรือไม่ ให้เติม Mg^{2+} ปริมาณเล็กน้อยลงไปในสารละลาย EDTA ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



การวิเคราะห์ปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ที่มีอยู่ในน้ำเป็นเครื่องบ่งบอกถึงความกระด้างของน้ำ การรายงานค่าความกระด้างของน้ำอยู่ในรูป parts per million หรือ ppm ของ CaCO_3 ในน้ำ (ppm คือ mg/L หรือ $\mu\text{g/mL}$) ดังสมการ

$$\text{ความกระด้างของน้ำ} = \frac{\text{mg ของ } \text{CaCO}_3}{\text{L ของน้ำ}}$$

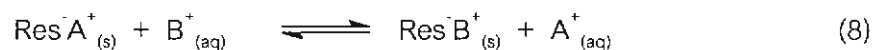
ความกระด้างของน้ำแบ่งออกเป็นระดับดังนี้

ชนิดของน้ำ	ความกระด้างของน้ำ
1. น้ำอ่อน (soft water)	0 - 60 ppm
2. น้ำกระด้างปานกลาง	61 - 120 ppm
3. น้ำกระด้าง	121 - 180 ppm
4. น้ำกระด้างมาก	มากกว่า 180 ppm

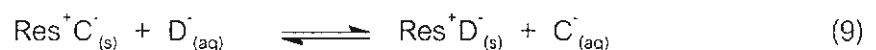
เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนในสารละลายได้ เรซินแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ เรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange resin) และเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange resin)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้ของไอออนที่อยู่ในเรซินซึ่งมีวัฏภาคเป็นของแข็ง กับไอออนที่อยู่ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว คือ ไอออนที่อยู่ในสารละลาย

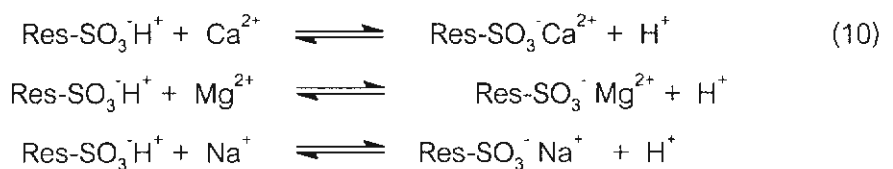
ถ้าให้ Res^+A^- เป็นเรซินที่มีหมู่ที่แลกเปลี่ยนได้เป็น A^- เมื่อเรซินนี้จุ่มอยู่ในสารละลายที่มี B^+ ละลายอยู่ จะเกิดการแลกเปลี่ยนดังนี้



ในทำนองเดียวกัน ถ้าเรซินมีหมู่ที่แลกเปลี่ยนได้เป็น D^- เมื่อจุ่มอยู่ในสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนดังนี้



ในการทดลองนี้ จะใช้เรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออนที่อยู่ในรูปของกรด ได้แก่ $\text{Res-SO}_3\text{H}^+$ เมื่อนำเรซินนี้ไปจุ่มในน้ำที่มีแคตไอออนอยู่ เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ จะเกิดการแลกเปลี่ยนดังนี้



นั่นคือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ซึ่งเป็นต้นเหตุของความกระด้างของน้ำจะถูกกำจัดออกไป ทำให้ความกระด้างของน้ำลดลง

วัสดุอุปกรณ์

1. ถาดหลุมพลาสติกแบบ 4x6 หลุม
2. ไมโครบิวเรต คือ ปิเปตพลาสติกแบบหยดใหญ่ ตัดก้านให้เหลือประมาณ 1 นิ้ว
3. ขวดทรงกระบอกขนาดเล็ก (ความจุประมาณ 5 mL) พร้อมฝาเกลียว หรือ หลอดทดลองขนาด 10 mL พร้อมจุกปิด
4. เครื่องให้ความร้อนหรือเตาให้ความร้อนที่ทำจากกระป๋องน้ำอัดลมและเทียนไข
5. กระดาษฟิเชซ อะลูมิเนียมฟอล์ย ปากคีบปลายแหลม ไม้จิ้มฟัน

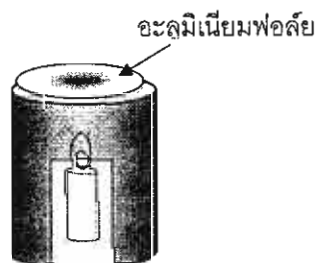
สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0500 M (sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
2. สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรด 0.0500 M (silver nitrate, AgNO_3)
3. สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ (EDTA) 0.0050 M
4. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide, KI)
5. กรดซัลฟิวริก 6 M (sulfuric acid, 6 M H_2SO_4)
6. น้ำแบ่ง
7. สารละลายโซเดียมโครเมต 0.02 M (sodium chromate, 0.02 M Na_2CrO_4)
8. สารละลายบัฟเฟอร์ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ pH 10
9. อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบล็คที (eriochrome black T)
10. เรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออนในรูปกรด (strongly acidic cation exchange resin)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาปริมาณ TDS

1. ตีตั้งเตาให้ความร้อน (hot plate) ด้วยกระป๋องน้ำอัดลมและเทียนไข ปรับความสูงของเทียนไขโดยตัดปลายล่างของเทียนไข เพื่อปรับระดับเปลวเทียนให้เหมาะสม
2. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นแผ่นกลมหรือสี่เหลี่ยมรัศมีประมาณ 3 cm วางลงบนเตา ให้ด้านวาวหงายขึ้น กดให้แนบตามรูปกระป๋อง ระวังเตาร้อน ควรจุดเทียนไขภายหลังจากวางอะลูมิเนียมฟอยล์แล้ว
3. นำไมโครบิวเรต (ปิเปตพลาสติกแบบหยดใหญ่ตัดก้านสั้น) ไปดูดน้ำตัวอย่าง (น้ำประปาและน้ำคลอง) จากถ้วยที่จัดหาไว้ให้ ปริมาณประมาณครึ่งกระเปาะ นำมาหยดลงในแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ 20 หยด โดยจับไมโครบิวเรตให้ตั้งจาก บีบกระเปาะเบา ๆ ด้วยน้ำหนักเท่าๆกันเพื่อให้ได้หยดน้ำขนาดสม่ำเสมอ
4. จุดเทียนไขและปล่อยให้ไอน้ำระเหยจนหมด ถ้าไฟแรงเกินไปจะทำให้น้ำเดือดรุนแรงและมีการกระเด็นของน้ำที่เดือด ควรลดเปลวไฟให้ต่ำลง สังเกตปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ ส่วนนี้ คือ TDS บันทึกลักษณะของ TDS เปรียบเทียบระหว่างน้ำตัวอย่างต่างชนิด ส่งอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มี TDS พร้อมกับการรายงานการทดลอง



ตอนที่ 2 การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

1. นำภาชนะหลุมพลาสติกแบบ 4x6 หลุมมา 1 ถาด ใช้ไมโครบิวเรตหยดน้ำตัวอย่าง 20 หยดลงในหลุมใดหลุมหนึ่ง เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (ของแข็ง) ปริมาณเท่ากับขนาดของหัวไม้ขีดไฟ และ 6 M H_2SO_4 8 หยด คนให้เข้ากันดีด้วยไม้จิ้มฟัน จะเห็นสีน้ำตาลของ I_2 เกิดขึ้น
2. นำไทเทรตด้วยสารละลาย 0.0500 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ซึ่งบรรจุอยู่ในไมโครบิวเรตอีกอันหนึ่ง ค่อย ๆ หยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ละลาย คนให้เข้ากันด้วยไม้จิ้มฟัน สีของ I_2 จะค่อย ๆ จางลงเนื่องจาก I_2 ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ไทเทรตจนสีน้ำตาลเปลี่ยนเป็นสีชาอ่อนจึงเติมน้ำแบ่ง 1 หยด จะเห็นสีน้ำเงินดำเกิดขึ้นทันที ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไปหมด บันทึก

จำนวนหยดของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ทั้งหมด ทำซ้ำกับน้ำตัวอย่างเดิมอีก 2 ครั้ง นำจำนวนหยดของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรตแต่ละครั้งและต่างกันไม่เกิน 1 หยดมาเฉลี่ย แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

$6\text{ M H}_2\text{SO}_4$ เป็นอันตรายต่อผิวหนัง เมื่อสัมผัสให้ล้างด้วยน้ำทันทีในปริมาณมาก

คำแนะนำ ไมโครบิวเรตหรือปิเปตพลาสติกชนิดหยดใหญ่ไม่จำเป็นต้องปรับเทียบปริมาตรเพราะแต่ละหยดจะมีปริมาตรเท่ากัน และในการคำนวณผลการไทเทรตจะตัดกันหมดไป

ตอนที่ 3 การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำ

1. ใช้ไมโครบิวเรตหยดน้ำตัวอย่าง 20 หยดลงในภาดหลุมพลาสติกหลุมใดหลุมหนึ่ง เติมอินดิเคเตอร์โซเดียมโครเมต 1 หยดลงไป คนให้เข้ากันด้วยไม้จิ้มฟัน
2. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.0500 M AgNO_3 โดยหยด AgNO_3 ที่ละหยด จะเกิดตะกอนสีขาวของ AgCl จน Cl^- หมดจากน้ำตัวอย่าง หลังจากนั้นจะเกิดตะกอนสีแดงอิฐของ Ag_2CrO_4 เล็กน้อยซึ่งสังเกตยาก และสารละลายซึ่งเดิมมีสีเหลืองของ Na_2CrO_4 จะมีสีแดงเข้ามาเจือปน จึงหยุดการไทเทรต บันทึกจำนวนหยดของสารละลาย AgNO_3 ที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำกับน้ำตัวอย่างเดิมอีก 2 ครั้ง นำจำนวนหยดของสารละลาย AgNO_3 ที่ใช้ในการไทเทรตแต่ละครั้งและแตกต่างกันไม่เกิน 1 หยดมาเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยไปคำนวณหาปริมาณ Cl^- ในน้ำตัวอย่าง

เมื่อสัมผัส Ag^+ และ I_2 จะเกิดเป็นรอยเปื้อนที่ผิวหนังหรือเสื้อผ้าและล้างไม่ออกเป็นเวลานาน แต่ไม่มีอันตรายใด ๆ
 AgNO_3 มีราคาแพงมาก ให้เทตะกอนของ Ag^+ ที่ได้จากการไทเทรต ลงใน ภาชนะ ที่จัดไว้ให้

ตอนที่ 4 การหาความกระด้างของน้ำ

1. ใช้ไมโครบิวเรตหยดน้ำตัวอย่าง 20 หยดลงในภาดหลุมพลาสติกหลุมใดหลุมหนึ่ง เติมบัฟเฟอร์ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ 1 หยด หยด EBT อินดิเคเตอร์ 1 หยด คนให้เข้ากันด้วยไม้จิ้มฟัน จะเห็นสีแดง

แอมโมเนียทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและกระตุ้นหัวใจ จึงควรระมัดระวังในการเท หรือใช้ในปริมาณมาก ควรทำในตู้ดูดควัน

2. ไทเทรตด้วยสารละลาย 0.0050 M EDTA นับจำนวนหยดของสารละลาย EDTA จนกระทั่งได้สีน้ำเงินที่ไม่มีสีแดงปน บันทึกจำนวนหยดสารละลาย EDTA ทำการไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้งกับน้ำตัวอย่างเดิม นำจำนวนหยดของสารละลาย EDTA ที่ใช้ในการไทเทรตแต่ละครั้งและแตกต่างกันไม่เกิน 1 หยดมาเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยไปคำนวณหาความกระด้างของน้ำตัวอย่าง

ตอนที่ 5 การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

1. ล้างขวดทรงกระบอกขนาดเล็กพร้อมฝาเกลียวด้วยน้ำกลั่น เติมเรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออนลงไปประมาณ 1 mL
2. นำน้ำตัวอย่างที่ได้วิเคราะห์หาความกระด้างไว้แล้วจากการทดลองตอนที่ 4 มาวัด pH ด้วยกระดาษพีเอช ใช้ไมโครบิวเรตหยดน้ำตัวอย่าง 50 หยด ลงในขวดที่บรรจุเรซิน ปิดฝาหรือจุก เขย่าเบา ๆ เป็นเวลาประมาณ 1 นาที ตั้งขวดทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้เรซินนอนก้น
3. ใช้ปิเปตพลาสติกที่สะอาดอีกอันหนึ่งดูดเอาน้ำออกไป ระวังอย่าให้เรซินถูกดูดติดมาด้วย นำน้ำส่วนนี้ไปวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 4 และวัดค่า pH ด้วยกระดาษพีเอช
4. สรุปผลการทดลองที่ได้ว่า การแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออนช่วยลดความกระด้างของน้ำได้หรือไม่ อย่างไร

คำแนะนำ ในการไทเทรตหาความกระด้างของน้ำภายหลังจากเขย่ากับเรซินแล้ว จะมีค่าความกระด้างของน้ำน้อยมากหรือไม่กระด้างเลย ดังนั้นเมื่อเติมบัฟเฟอร์ pH 10 และอินดิเคเตอร์ลงไป อาจเห็นสีน้ำเงินทันทีโดยไม่ต้องไทเทรตด้วย EDTA หรือใช้ EDTA น้อยมากในการไทเทรต

เรซินที่ใช้แล้วให้นำไปเทรวมไว้ในภาชนะที่จัดไว้ให้ เพราะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำไปแช่ใน 1 M HCl แล้วล้างกรดให้หมด ผึ่งให้แห้ง

คำถาม

1. ปริมาณ TDS และความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร
2. ค่า pH ของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่ากับเรซิน สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินได้อย่างไร จงอธิบาย

คำถามท้ายบท

1. คำกล่าวที่ว่า น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งหรือเลี้ยงปลาเริ่มเน่าเสีย หมายความว่าอย่างไร และควรแก้ไขเบื้องต้นโดยรีบด่วนได้อย่างไร
2. น้ำกร่อย หมายถึง น้ำประปาที่ใด และอะไรคือสาเหตุ

การกำจัดของเสีย

ตะกอนของซิลเวอร์สามารถนำกลับมาทำให้บริสุทธิ์ขึ้นและนำไปใช้ได้ เเรซินก็สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารอ้างอิง

1. S. Thompson, J. Resseguie, *ECHEM*, Kendall/Hunt, Englewood Cliffs, 1989.
2. J. F. Hall, *Experimental Chemistry*, D.C. Heath, 1986.
3. ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์, *ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์*, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

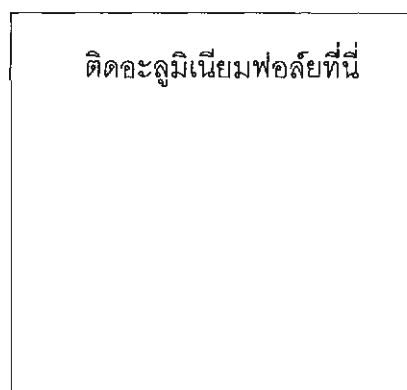
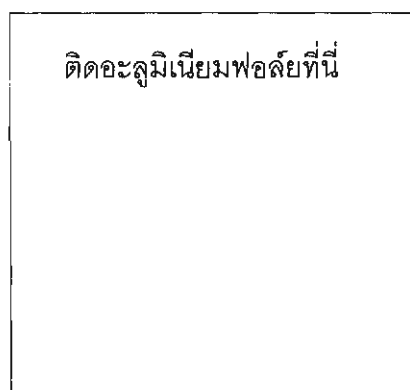
รายงานผลการทดลองเรื่อง สิ่งเจือปนและความกระด้างของน้ำ

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....
 อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

ตอนที่ 1 การหาปริมาณ TDS

ชนิดของน้ำตัวอย่าง.....

ชนิดของน้ำตัวอย่าง.....



ปริมาณ TDS (มาก/น้อย).....

ปริมาณ TDS (มาก/น้อย).....

ตอนที่ 2 การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

ผลการไทเทรต

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

ชนิดของ น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยดของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้				ปริมาณออกซิเจน ที่ละลายในน้ำ (mg O_2 / L น้ำ)
	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3	จำนวนหยด เฉลี่ย	

แสดงการคำนวณ สำหรับน้ำตัวอย่างชนิดใดชนิดหนึ่ง (มวลโมเลกุลของ $O_2 = 32.0$)

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำ

ผลการไทเทรต

ความเข้มข้นของสารละลาย $AgNO_3$ ที่ใช้ =M

ชนิดของ น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยดของสารละลาย $AgNO_3$ ที่ใช้				ปริมาณคลอไรด์ ในน้ำ (mg Cl^- / L น้ำ)
	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3	จำนวนหยด เฉลี่ย	

แสดงการคำนวณ สำหรับน้ำตัวอย่างชนิดใดชนิดหนึ่ง (มวลอะตอมของ $Cl = 35.45$)

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 4 การหาความกระด้างของน้ำ

ผลการไทเทรต

ความเข้มข้นของสารละลาย EDTA ที่ใช้ =M

ชนิดของ น้ำตัวอย่าง	จำนวนหยดของสารละลาย EDTA ที่ใช้				ความกระด้างของน้ำ (mg CaCO ₃ / L น้ำ)
	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3	จำนวนหยด เฉลี่ย	

แสดงการคำนวณ สำหรับน้ำตัวอย่างชนิดใดชนิดหนึ่ง (มวลโมเลกุลของ CaCO₃ = 100.0)

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 5 การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน

ชนิดของน้ำตัวอย่าง.....

ก่อนการแลกเปลี่ยนไอออน: pH เท่ากับ

ความกระด้างของน้ำ (จากตอนที่ 4) เท่ากับ mg CaCO₃ / L น้ำ

หลังการแลกเปลี่ยนไอออน: pH เท่ากับ

ความกระด้างของน้ำ (จากตอนที่ 4) เท่ากับ mg CaCO₃ / L น้ำ

สรุปผลการลดความกระด้างของน้ำ

.....

.....

คำถามหลังการทดลอง

1. ปริมาณ TDS และความกระด้างของน้ำมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

2. ค่า pH ของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการเขย่ากับเรซินสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินได้อย่างไร จงอธิบาย

.....

.....

.....

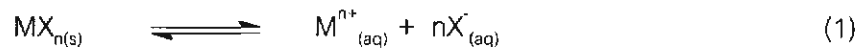
การทดลองที่ 10
สมดุลการละลาย
(Solubility Equilibrium)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าคงที่ผลคูณการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์
2. ศึกษาอิทธิพลของไอออนที่มีต่อสมดุลการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์

บทนำ

ในสารละลายอิ่มตัวของสารประกอบไอออนิกใด ๆ ที่ละลายน้ำได้น้อย จะมีสมดุลระหว่างสารประกอบที่อยู่ในรูปของแข็งกับไอออนของสารประกอบไอออนิกนั้น ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ สำหรับสารประกอบที่มีสูตรเป็น MX_n สมดุลการละลายแสดงได้ดังสมการ



ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาข้างต้นเขียนได้เป็น

$$K = \frac{[M^{n+}][X^{-}]^n}{[MX_n]} \quad (2)$$

เนื่องจากปริมาณของแข็งที่อยู่ในสมดุลกับสารละลายมีค่าคงที่ ดังนั้นผลคูณของ K กับ $[MX_n]$ จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ตัวใหม่ เรียกว่า **ค่าคงที่ผลคูณการละลาย** (Solubility product constant, K_{sp}) ซึ่งคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังนั้นจากสมดุลข้างต้นสามารถเขียนค่าคงที่ผลคูณการละลายได้ดังนี้

$$K_{sp} = K[MX_n] = [M^{n+}][X^{-}]^n \quad (3)$$

เนื่องจากผลคูณการละลายมีค่าคงที่ ดังนั้นการรบกวนสมดุลโดยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของไอออนบวกหรือไอออนลบ โดยการเติมไอออนตัวใดตัวหนึ่งที่อยู่ในรูปเกลือที่ละลายน้ำได้ลงไป จะทำให้ระบบปรับตัวเพื่อการเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง ซึ่งเป็นไปตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier's Principle)

การทดลอง

ตอนที่ 1 หาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ

ตอนที่ 2 หาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายแคลเซียมไนเตรต

ตอนที่ 3 หาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

หลักการและทฤษฎี

เมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายน้ำจนได้สารละลายอิ่มตัว สมดุลที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้



การหาค่าคงที่ผลคูณการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการทดลองนี้จะกระทำที่อุณหภูมิห้อง โดยค่าคงที่ผลคูณการละลายของสารนี้เขียนได้เป็น

$$K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \quad (4)$$

การเตรียมสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำได้โดยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณหนึ่งลงในน้ำที่มีปริมาตรพอสมควร เขย่าสารผสมสักพักหนึ่งแล้วตั้งทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้แน่ใจว่าได้สารละลายอิ่มตัว จากนั้นกรองเอาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายออก แล้วหาความเข้มข้นของ OH^- ในสารละลายอิ่มตัวนี้ ค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้นี้จะบอกถึงค่าการละลายของ Ca(OH)_2 ซึ่งเป็นความเข้มข้นของ Ca(OH)_2 ที่ละลาย โดยบอกได้จากความสัมพันธ์ $[\text{Ca(OH)}_2]_{\text{ที่ละลาย}} = [\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2}[\text{OH}^-]$ และสามารถนำไปคำนวณค่า K_{sp} ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ตามสมการ (4)

เพื่อศึกษาอิทธิพลของไอออนอื่นที่มีผลต่อสมดุลการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จึงทำการทดลองเพื่อหาค่าการละลายที่เกิดขึ้นในสารละลายแคลเซียมไนเตรต ($\text{Ca(NO}_3)_2$) ที่มี Ca^{2+} เป็นไอออนร่วม (common ion) สมดุลการละลายทุกชนิดจะมีค่าการละลายลดลงเสมอเมื่อมีไอออนร่วมตามหลักของเลอชาเตอลิเยร์ ในที่นี้การละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะลดลง และในกรณีที่ไอออนที่มีอยู่ในสารละลายทำให้เกิดการตกตะกอนของไอออนที่มาจากสารที่อยู่ในสมดุลของการละลาย ย่อมส่งผลให้การละลายเกิดได้มากขึ้น จึงนำเอาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปละลายในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่ง SO_4^{2-} จะตกตะกอน Ca^{2+} ได้ในระดับหนึ่ง และค่าการละลายที่เพิ่มขึ้นนั้น จะบอกได้จากความเข้มข้นของ OH^- ที่มีค่าสูงขึ้นนั่นเอง

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดทดลอง ขนาดเล็ก
2. บีเปตพลาสติก
3. กระบอกตวงขนาด 5 หรือ 10 mL

สารเคมี

1. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, Ca(OH)_2)
2. แคลเซียมไนเตรต (calcium nitrate, $\text{Ca(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
3. โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate, Na_2SO_4)
4. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.0100 M (standard hydrochloric acid solution, 0.0100 M HCl)
5. โบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์ (bromothymol blue indicator)

วิธีทดลอง**ตอนที่ 1 การหาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ**

1. ตวงสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำด้วยกระบอกตวง 5 mL แล้วใช้ปิเปตพลาสติกดูดสารละลายใส่ลงในหลอดทดลอง 3 หลอด ๆ ละ 10 หยด
2. หยดโบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์เล็กน้อยลงในหลอดทดลอง จากนั้นไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl โดยหยดด้วยปิเปตพลาสติก นับจำนวนหยดที่เติมจนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีจากฟ้าเป็นเหลือง บันทึกข้อมูล
3. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง นำจำนวนหยดของสารละลายมาตรฐาน HCl ที่ใช้ในการไทเทรตและแตกต่างกันไม่เกิน 2 หยดมาเฉลี่ย เพื่อหาค่าความเข้มข้นของ OH^-

ตอนที่ 2 การหาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายแคลเซียมไนเตรต

ทำการทดลองเหมือนตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำเป็นสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใน 0.1 M ของ $\text{Ca(NO}_3)_2$

ตอนที่ 3 การหาค่าการละลายของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

ทำการทดลองเหมือนตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำเป็นสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใน 0.1 M ของ Na_2SO_4

การคำนวณ

1. คำนวณหาความเข้มข้นของ OH^- ที่มีอยู่ในสารละลายอิ่มตัวทั้งสามชนิด โดยคำนวณจากจำนวนหยดของ HCl ที่ใช้
2. คำนวณหาค่า K_{sp} ของ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ จากความเข้มข้นของ OH^- ที่มีอยู่ในสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ
3. เปรียบเทียบความเข้มข้นของ OH^- ที่มีอยู่ในสารละลายอิ่มตัวทั้งสามชนิด แล้วหาค่าการละลายที่เปลี่ยนแปลงไปว่ามีค่าการละลายเพิ่มขึ้นหรือลดลงกี่เปอร์เซ็นต์

วิธีคำนวณ สำหรับสารละลายอิ่มตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ

ให้ สารละลายจากปิเปตพลาสติก 1 หยด มีปริมาตร V mL

จำนวนหยดของสารละลายอิ่มตัวที่ใช้ = 10 หยด

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl = M_{HCl} mol/L

จำนวนหยดของ HCl ที่ใช้ = d_{HCl} หยด

$$\begin{aligned} \therefore \text{จำนวนโมลของ } \text{OH}^- \text{ ที่มีในสารละลายอิ่มตัว} &= \text{จำนวนโมลของ } \text{HCl} \text{ ที่ใช้} \\ &= \frac{M_{\text{HCl}} d_{\text{HCl}} V}{1000} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } [\text{OH}^-] \text{ ในสารละลายอิ่มตัว} = \left[\frac{M_{\text{HCl}} d_{\text{HCl}} V}{1000} \right] \left(\frac{1000}{10 V} \right) = \frac{M_{\text{HCl}} d_{\text{HCl}}}{10}$$

$$\text{แต่ } [\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2} [\text{OH}^-]$$

$$\begin{aligned} \therefore K_{sp} &= [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2 \\ &= \frac{1}{2} [\text{OH}^-]^3 \end{aligned}$$

ส่วนการหา $[\text{OH}^-]$ ในสารละลายอิ่มตัวในสถานะอื่น ก็จะได้ในทำนองเดียวกัน เมื่อนำมาหาค่าการละลายที่เปลี่ยนแปลงไป จะคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ การละลายที่เปลี่ยนแปลง} = \left(\frac{[\text{OH}]_2 - [\text{OH}]_1}{[\text{OH}]_1} \right) \times 100$$

เมื่อ $[\text{OH}]_1$ เป็นความเข้มข้นของ OH^- ในสารละลายอิ่มตัวในน้ำ

$[\text{OH}]_2$ เป็นความเข้มข้นของ OH^- ในสารละลายอิ่มตัวในสารละลายเกลือ

เครื่องหมาย + และ - ที่ได้จากผลต่างของ $[\text{OH}^-]$ จะบอกถึงการละลายที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ

คำถามท้ายบท

1. ค่า K_{sp} ที่ได้จากการทดลองทั้งสามควรจะมีค่าเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ถ้าใช้ $BaSO_4$ แทน Na_2SO_4 จำนวนโมลเท่ากัน เกลือชนิดใดจะมีผลต่อการละลายของ $Ca(OH)_2$ มากกว่า เพราะเหตุใด

การกำจัดของเสีย

การทดลองนี้ไม่มีของเสียที่เป็นอันตราย

เอกสารอ้างอิง

1. R. G. Cavell and T. G. Davies, *Laboratory Experiments: Chem 200-202 The University of Alberta*, The University of Alberta Duplicating Department, Edmonton, 1976.
2. C. H. Sorum, *Laboratory Manual of General Chemistry*, 3rd ed, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1963.

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมดุลการละลาย

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

อุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัว Ca(OH)_2 $^{\circ}\text{C}$

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl M

ข้อมูล จากการศึกษาดุล $\text{Ca(OH)}_{2(s)} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$

ข้อมูล	สารละลาย Ca(OH)_2			สารละลาย Ca(OH)_2 + $\text{Ca(NO}_3)_2$			สารละลาย Ca(OH)_2 + Na_2SO_4		
	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3	ไทเทรต ครั้งที่ 1	ไทเทรต ครั้งที่ 2	ไทเทรต ครั้งที่ 3
จำนวนหยดของ สารละลายที่ใช้ (หยด)									
จำนวนหยดของ HCl ที่ใช้ (หยด)									
เฉลี่ยจำนวนหยด ของ HCl ที่ใช้ (หยด)									
ความเข้มข้นของ OH^- ในสารละลายที่นำมา ไทเทรต (M)									
ความเข้มข้นของ Ca^{2+} (M)									
เปอร์เซ็นต์การละลายที่ลดลง									
เปอร์เซ็นต์การละลายที่เพิ่มขึ้น									

ค่า K_{sp} ของ Ca(OH)_2 ในน้ำเท่ากับ

* K_{sp} ของ Ca(OH)_2 (จาก Handbook) = 4.68×10^{-6} ที่ 25°C

การทดลองที่ 11

เคมีไฟฟ้า

(Electrochemistry)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์
2. ศึกษาปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย ผลิตภัณฑ์จากอิเล็กโทรลิซิส ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้
3. สร้างเซลล์กัลวานิกชนิดเซลล์ไฟฟ้าเคมี และชนิดเซลล์ความเข้มข้น

บทนำ

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญมากมายเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและให้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้ามีความสำคัญมากต่อการดำเนินชีวิตของเราในปัจจุบัน เราจึงควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับปฏิกิริยาเคมี นั่นคือส่วนที่เป็น **เคมีไฟฟ้า** (Electrochemistry) กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เคมีไฟฟ้าจะเน้นไปที่ปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังอีกสารหนึ่ง ปฏิกิริยาเช่นนี้คือ **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน** หรือ **ปฏิกิริยารีดอกซ์** (oxidation-reduction, redox reaction)

การทดลองนี้ เป็นการศึกษาเคมีไฟฟ้า ได้แก่ ปฏิกิริยารีดอกซ์ อิเล็กโทรลิซิส เซลล์กัลวานิก และเซลล์ความเข้มข้น

การทดลอง

ตอนที่ 1 ปฏิกิริยารีดอกซ์

ตอนที่ 2 อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ของสารละลาย

ตอนที่ 3 เซลล์กัลวานิก (Galvanic cells)

วัสดุอุปกรณ์

1. ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1X12 หลุม
2. เข็มหมุดขนาดเล็ก ลวดทองแดง กระดาษกรอง
3. สายไฟตัวหนีบปากจิ้งหรีดดำ-แดง ถ่านไฟฉายชนิด 9 โวลต์
4. โวลต์มิเตอร์

สารเคมี

1. สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต 1.0 M และ 3.0 M (copper sulfate, CuSO_4)
2. สารละลายไอรอน (II) ซัลเฟต 1.0 M (iron sulfate, FeSO_4)
3. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต 1.0 M (potassium nitrate, KNO_3)

หลักการและทฤษฎี

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ ปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน

ปฏิกิริยารีดักชัน คือ ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน

ตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent, oxidant) คือ สารที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน

ตัวรีดิวซ์ (reducing agent, reductant) คือ สารที่ทำให้เกิดรีดักชัน

พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้

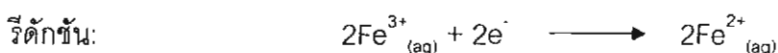
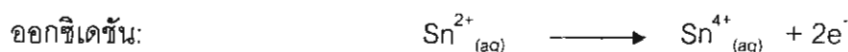


H^+ เป็นตัวออกซิไดซ์ เพราะทำให้ Fe เกิดออกซิเดชัน และ Fe เป็นตัวรีดิวซ์เพราะทำให้ H^+ เกิดรีดักชัน

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันจะเกิดควบคู่กันเสมอ แต่เป็นการสะดวกถ้าจะแยกเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันออกจากกัน แล้วจึงรวมเข้าด้วยกันเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยมีหลักในการรวมว่า อิเล็กตรอนที่ให้และรับต้องเท่ากัน ตัวอย่างเช่น



แยกออกได้เป็น 2 ปฏิกิริยาย่อยเพื่อแสดงให้เห็นถึงการให้และการรับอิเล็กตรอน



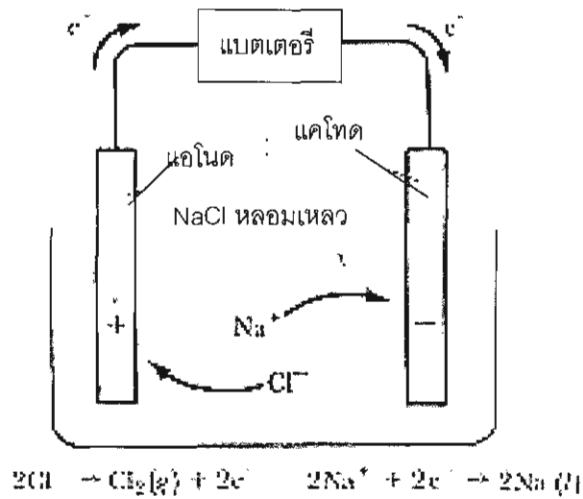
แต่ละปฏิกิริยาย่อยนี้ เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา (half-reaction)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic หรือ Voltaic cell) คือ เซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เซลล์อิเล็กโทรลิติก (electrolytic cell) คือ เซลล์ที่ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปบังคับให้เกิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

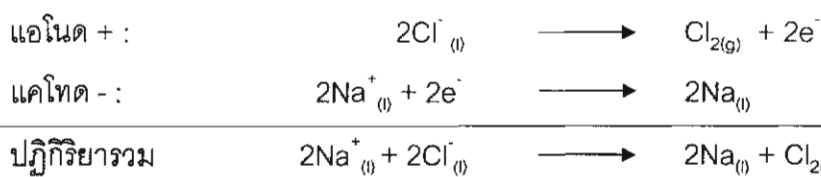
อิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) คือ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

เซลล์อิเล็กโทรลิติก ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วจุ่มอยู่ในเกลือหลอมเหลว หรือสารละลายของสารประกอบไอออนิกในน้ำ ดังแสดงในรูป

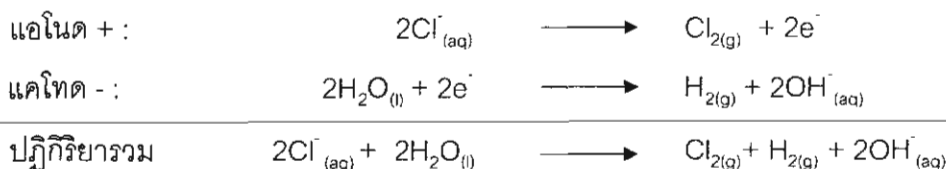


เซลล์ถูกขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่หรือต้นกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอื่น ๆ ปฏิกิริยาจะเกิดที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ขั้วที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่จะมีความเป็นลบหรืออีกนัยหนึ่งคือมีอิเล็กตรอนอยู่มาก ไอออนบวกในสารละลายเคลื่อนเข้ามาหาขั้วนี้และมารับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้วนี้จึงเรียกว่า แคโทด (cathode) ส่วนขั้วที่ต่อกับแบตเตอรี่ทางขั้วบวกจะมีความเป็นบวกหรือขาดอิเล็กตรอน ไอออนลบในสารละลายเคลื่อนที่เข้ามาถ่ายเทอิเล็กตรอนให้แก่ขั้วนี้ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขั้วนี้จึงเรียก แอโนด (anode)

สำหรับเซลล์อิเล็กโทรลิติกดังรูปข้างบนมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



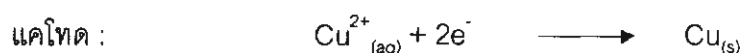
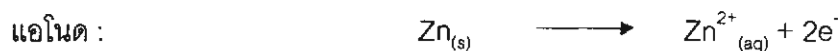
แต่ถ้าเป็นอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl ในน้ำจะไม่ได้ผลิตภัณฑ์ดังข้างต้น เพราะน้ำถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า Na^+ เนื่องจากค่า $E^\circ_{\text{reduction}}$ ของน้ำสูงกว่าของ Na^+ ปฏิกิริยาจะเกิดดังนี้



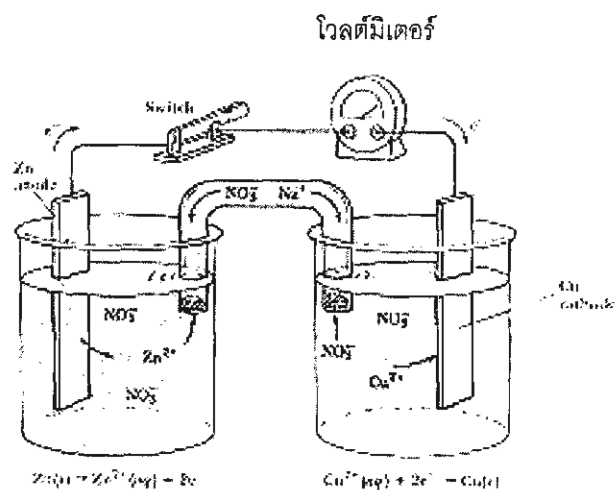
เซลล์กัลวานิก เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นได้เอง มีการให้และรับอิเล็กตรอน เมื่อจัดให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเกิดแยกส่วนกัน มีการไหลหรือเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำไฟฟ้า จะได้กระแสไฟฟ้า ตัวอย่างปฏิกิริยาเช่น



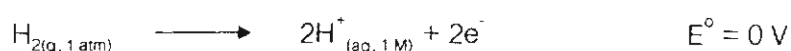
โดย $\text{Zn}_{(s)}$ เกิดออกซิเดชัน และ Cu^{2+} เกิดรีดักชัน



และเมื่อต่อลวดนำไฟฟ้าจะมีการไหลของอิเล็กตรอนจากแอโนดไปยังแคโทด เมื่อมี Zn^{2+} เกิดขึ้นมากจนทำให้การให้อิเล็กตรอนเกิดไม่สะดวกและหยุดไหลในที่สุด จึงจำเป็นต้องมี สะพานเกลือ (salt bridge) ซึ่งทำจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น NaNO_3 , KNO_3 เพื่อทำให้เกิดความเป็นกลางทางไฟฟ้า โดย NO_3^- เคลื่อนเข้าสะเทินประจุบวกของ Zn^{2+} และ Na^+ เคลื่อนเข้าเพิ่มประจุบวกให้แก่แคโทด ดังรูป



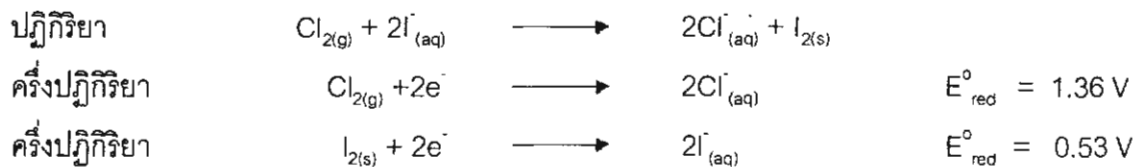
ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (standard potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยารีดอกซ์อยู่ที่สภาวะมาตรฐาน ได้แก่ ความดัน 1 บรรยากาศสำหรับแก๊ส ความเข้มข้น 1 M สำหรับสารละลาย และอุณหภูมิ 25°C เนื่องจากปฏิกิริยารวมของเซลล์มาจากการรวมกันของสองครึ่งปฏิกิริยา ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของครึ่งปฏิกิริยารวมกันเป็นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์วัดได้จากเซลล์ที่มีครึ่งปฏิกิริยาหนึ่งเป็นครึ่งปฏิกิริยาไฮโดรเจน โดยกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนเท่ากับ 0 V



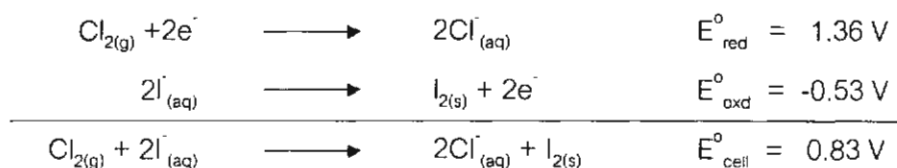
ตารางต่อไปนี้แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานในรูปของครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potential, E°_{red})

ครึ่งปฏิกิริยา	E° , โวลต์
$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3.05
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2.95
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ba}$	-2.90
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2.87
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.37
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.763
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0.744
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.440
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0.250
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0.136
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0.126
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0.000
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0.337
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+0.799
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Hg}$	+0.854
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Pt}$	+1.2
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+1.50
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.828
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$	+0.536
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1.065
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1.360
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^-$	+2.87

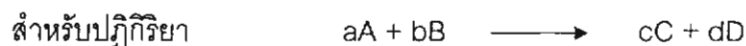
ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกความง่ายในการถูกรีดิวซ์ ถ้า E°_{red} มีค่ามากกว่าสารนั้นจะเกิดรีดักชันได้ง่ายกว่า และเมื่อรวมค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันแล้ว ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาของเซลล์นั้นเกิดขึ้นได้เอง แต่ถ้าเป็นลบ หมายความว่าปฏิกิริยาของเซลล์นั้นไม่สามารถเกิดได้เอง ตัวอย่างเช่น



ค่า E°_{red} ของ $\text{Cl}_{2(g)}$ มีค่ามากกว่าจึงเกิดรีดักชัน และ $\text{I}^-_{(aq)}$ เกิดออกซิเดชัน ปฏิกิริยาเป็นดังนี้



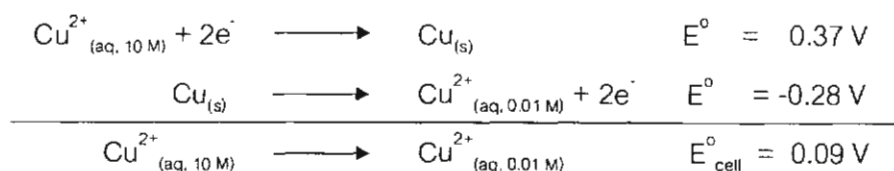
ค่า E° ของเซลล์มีค่าเป็นบวก ปฏิกิริยาของเซลล์จึงเกิดขึ้นเองได้ และสามารถใช้เป็นเซลล์กัลวานิกได้



ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ณ สภาวะใดๆเป็นไปตามสมการของเนิร์นสต์ (Nernst's Equation) คือ

$$E = E^\circ - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \quad \text{ที่ } 25^\circ\text{C}$$

เซลล์ความเข้มข้น (concentration cell) เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ขึ้นกับความเข้มข้น จึงสามารถสร้างเซลล์กัลวานิกจากสารชนิดเดียวกัน แต่ความเข้มข้นต่างกันได้ เรียกว่า เซลล์ความเข้มข้น ตัวอย่างเช่น เซลล์ที่มีขั้วทองแดงจุ่มอยู่ในสารละลาย $10 \text{ M Cu(NO}_3)_2$ และขั้วทองแดงอีกขั้วหนึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย $0.01 \text{ M Cu(NO}_3)_2$ โดยมีปฏิกิริยาดังนี้

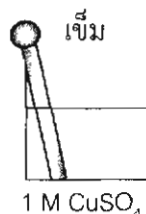


วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ปฏิกริยารีดอกซ์ (redox reaction)

การทดลองส่วนนี้เป็นการศึกษาว่า เมื่อนำเข็มหมุดซึ่งทำจากเหล็กจุ่มลงในสารละลาย CuSO_4 จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันอย่างไร ถ้า Cu^{2+} ในสารละลาย CuSO_4 เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะได้ผงทองแดง ($\text{Cu}_{(s)}$) โดยจะสังเกตเห็นโลหะทองแดงเกาะอยู่ที่เข็มหมุด หรืออยู่ที่ก้นหลอดและสีฟ้าของ Cu^{2+} ในสารละลายจะจางลง ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันเกิดควบคู่กันเสมอ และมีการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ให้ e^-) แก่ปฏิกิริยารีดักชัน (รับ e^-) รวมเรียกว่า **ปฏิกิริยารีดอกซ์**

1. หยด 1.0 M CuSO_4 ลงในภาดหลอดพลาสติกแบบ 1x12 หลุม หลุมใดหลุมหนึ่ง ให้มีปริมาณ 3 ใน 4 ของหลอด (ควรใช้หลอดทางขวาสุด เพราะต้องทิ้งไว้สักครู่ จะได้ใช้หลอดอื่นในการทดลองต่อไป)

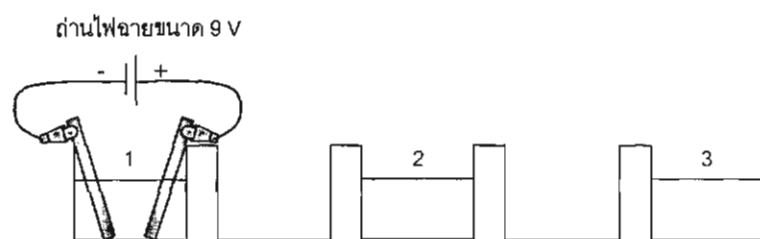


2. นำเข็มหมุดจุ่มลงในสารละลาย 1 M CuSO_4 ทิ้งไว้สัก 30 นาที
3. นำเข็มหมุดออกมาและสังเกตผล เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อธิบายเหตุผลทางเคมีไฟฟ้า ด้วยว่าทำไมจึงเกิดเช่นนั้น

ตอนที่ 2 อิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย CuSO_4

การทดลองส่วนนี้เป็นการทำอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย CuSO_4 ในน้ำ และสังเกตดูว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ใดบ้างจากการทำอิเล็กโทรลิซิส นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดอิเล็กโทรลิซิสกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้

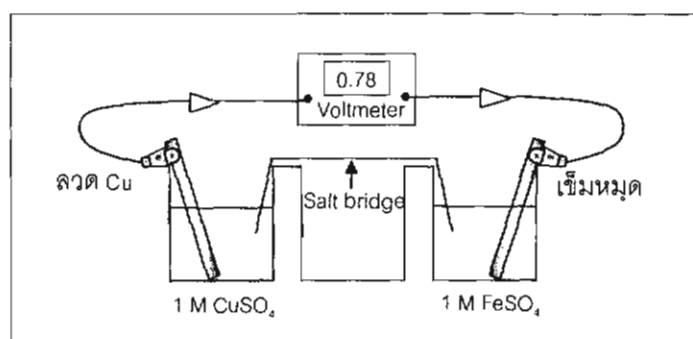
1. หยด 1 M CuSO_4 ลงในหลอด 3 หลุม ให้มีปริมาณ 3 ใน 4 ของหลอดดังรูป
2. ต่อสายไฟตั้วหนีบปากจระเข้กับถ่านไฟฉายขนาด 9 V และต่ออีกปลายหนึ่งกับเข็มหมุดซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า โดยขั้วลบใช้สายสีดำ และขั้วบวกใช้สายสีแดง ดังรูป
3. จุ่มเข็มหมุดทั้งคู่ลงในสารละลาย CuSO_4 ในหลอดที่ 1 ระวังอย่าให้เข็มหมุดแตะกัน ทิ้งไว้นาน $\frac{1}{2}$ นาที สังเกตผลที่เกิดขึ้นที่ขั้ว (เข็มหมุด) ทั้งสอง บันทึกผล นำแคโทด (เข็มหมุดที่ต่อด้วยสายสีดำ) ออกมาวางพักไว้บนกระดาษขาว เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



4. ทำอิเล็กโทรลีสตังข้างต้นกับสารละลาย CuSO_4 ในหลุมที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที และหลุมที่ 3 เป็นเวลา $1\frac{1}{2}$ นาที
5. นำแคโทดจากหลุมทั้งสามมาเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอิเล็กโทรลีส (ระยะเวลาที่ใช้) กับปริมาณของโลหะ Cu ที่เกาะอยู่ที่แคโทด

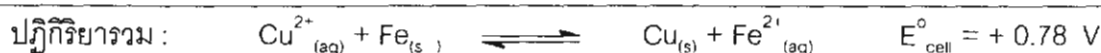
ตอนที่ 3 เซลล์กัลวานิก

3.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี



Salt bridge คือ กระดาษกรองตัดขนาด 0.5 ซม. x 2.5 ซม.

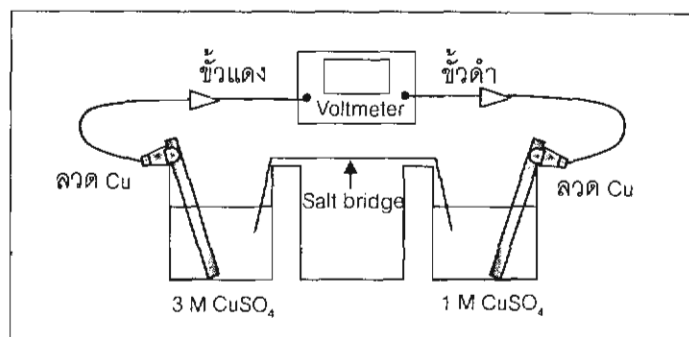
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



1. สร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีดังภาพ โดยต่อขั้วลวดทองแดงเข้ากับขั้วสีแดงของโวลต์มิเตอร์ และขั้วเข็มหมุดกับขั้วสีดำของโวลต์มิเตอร์
2. หยด 1.0 M KNO_3 ลงไปบนกระดาษกรอง อ่านค่า E_{cell} จากโวลต์มิเตอร์ อย่าปล่อยให้สะพานเกลือ (กระดาษกรอง) แห้ง
3. เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แอโนดและแคโทด และปฏิกิริยารวมของเซลล์ไฟฟ้า

4. เปรียบเทียบ E_{cell} ที่วัดได้กับ E°_{cell} และอธิบายเหตุผลของความแตกต่าง

3.2 เซลล์ความเข้มข้น



1. สร้างเซลล์ไฟฟ้างดภาพ
2. วัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เมื่อมีค่าคงที่ จับเวลาจนกระทั่งค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มีค่าใกล้ศูนย์ ตลอดเวลาการทดลองอย่าปล่อยให้สะพานเกลือแห้ง
3. อธิบายว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ที่อ่านได้เกิดจากอะไร และเมื่อเวลาผ่านไปเหตุใดความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงมีค่าใกล้ศูนย์ หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล

คำถามท้ายบท

1. จงเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แคโทด แอโนด และปฏิกิริยารวม ในกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสของน้ำทะเล เพื่อผลิตโซดาไฟใช้ในอุตสาหกรรม
2. กระบวนการอิเล็กโทรลิซิสจัดว่าเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษ ได้หรือไม่ ให้เหตุผลประกอบด้วย

การกำจัดของเสีย

ถ่านไฟฉายที่หมดประสิทธิภาพแล้วจัดเป็นขยะมีพิษ ต้องใช้วิธีการกำจัดแบบพิเศษโดยผู้เชี่ยวชาญ จึงควรรวบรวมถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วเพื่อส่งกำจัดอย่างถูกต้อง ไม่ควรทิ้งลงถังขยะรวมกับขยะจากครัวเรือน

เอกสารอ้างอิง

1. J. E. Brady and J. R. Holum, *CHEMISTRY The Study of Matter and Its Changes*, John Wiley, New York, 1993.
2. R. Chang, *CHEMISTRY*, 4th ed, McGraw-Hill, New York, 1994.

รายงานผลการทดลองเรื่อง เคมีไฟฟ้า

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....
อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

ตอนที่ 1 ปฏิกริยารีดอกซ์

1. ผลการทดลองที่สังเกตได้

.....
.....

2. เขียนปฏิกริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น แสดงเหตุผลทางเคมีไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเช่นนี้

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

ตอนที่ 2 อิเล็กโทรไลซิสของสารละลาย CuSO_4

1. ผลการทดลองที่สังเกตได้

.....
.....

2. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

ขั้วสีดำ แคโทด :

ขั้วสีแดง แอโนด :

ปฏิกิริยารวม :

3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอิเล็กโทรไลซิส กับปริมาณของโลหะ Cu ที่เกาะอยู่ที่แคโทด

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

ตอนที่ 3 เซลล์กัลวานิก

3.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

1. ค่า E_{cell} จากโวลต์มิเตอร์ =

2. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น

แคโทด : $E^\circ = \dots\dots\dots \text{V}$

แอโนด : $E^\circ = \dots\dots\dots \text{V}$

ปฏิกิริยารวม : $E^\circ_{\text{cell}} = \dots\dots\dots \text{V}$

3. จงเปรียบเทียบ E_{cell} ที่วัดได้กับ E°_{cell} และให้เหตุผลประกอบ

.....

3.2 เซลล์ความเข้มข้น

1. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่อ่านได้เมื่อมีค่าคงที่ เท่ากับ

2. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่อ่านได้มาจากอะไร อธิบายโดยอาศัยสมการของเนิร์นสต์ และเมื่อเวลาผ่านไป ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าใกล้ศูนย์ หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเพราะเหตุใด

.....

การทดลองที่ 12
อันตรกิริยาของแสงและสารเคมี
(Interaction of Light and Chemicals)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติของสเปกตรัมแบบต่อเนื่องและแบบเส้นด้วยกล้องสเปกโทรสโคปอย่างง่าย
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมเปล่งแสงของอะตอม กับระดับพลังงานภายในอะตอม

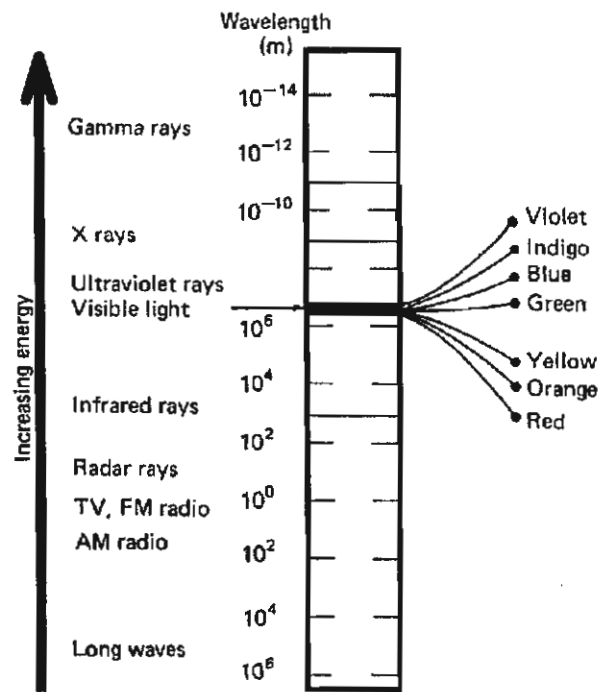
บทนำ

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง มีสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค สมบัติที่เป็นอนุภาค คือ การมีค่าพลังงาน (E) หนึ่ง ๆ สมบัติที่เป็นคลื่น คือ การมีความถี่ (ν) และความยาวคลื่น (λ) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = h\nu \quad \text{หรือ} \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

- เมื่อ E พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นจูล (J) หรือกิโลจูล (kJ)
 ν ความถี่ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (s^{-1}) หรือเฮิรตซ์ (Hz)
 λ ความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm)
h ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) มีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} Js
c ความเร็วของแสงในสุญญากาศ เท่ากับ 3×10^8 ms^{-1}

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าครอบคลุมพลังงานเป็นช่วงกว้าง และสามารถแบ่งออกเป็นช่วงพลังงานต่าง ๆ ตามอันตรกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนั้นกับสาร ดังรูป 1



รูป 1 ขอบเขตของช่วงต่างๆของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

การทดลองนี้ จะศึกษารังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงสเปกตรัมที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือ ช่วงแสงวิสิเบิล (visible light) หรือที่เรียกว่า แสงสว่างหรือแสง ซึ่งต่อไปนี้เมื่อกล่าวถึงรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงวิสิเบิล จะเรียกว่า แสง

แสงในช่วงวิสิเบิลที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ หรือมีพลังงานต่าง ๆ ถูกจัดให้อยู่ในขอบเขตเดียวกัน เพราะแสงในช่วงนี้เกิดอันตรกิริยาแบบเดียวกันเมื่อถูกดูดด้วยสสารหรือคายออกมาจากสสาร กล่าวคือ เมื่อสสารดูดกลืนแสงเข้าไป พลังงานที่ถูกดูดกลืนจะถูกนำไปใช้โดยอิเล็กตรอนชั้นนอกของโมเลกุลหรืออะตอม เพื่อการเคลื่อนที่จากระดับพลังงานต่ำไปสู่ระดับพลังงานสูง สสารมีระดับพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานปกติของโมเลกุลหรืออะตอมนั้น ระดับพลังงานสูงนี้เป็นสภาวะที่ไม่เสถียรและโมเลกุลหรืออะตอมจะกลับลงมาสู่สภาวะปกติโดยเปล่งแสงออกมา การทำให้สสารมีระดับพลังงานสูงขึ้นทำได้โดยการให้แสง ความร้อนหรือพลังงานรูปแบบอื่นก็ได้

การดูดกลืนแสงหรือเปล่งแสงของสารเคมี สามารถให้ข้อมูลมากมายเกี่ยวกับโครงสร้างและองค์ประกอบของสารเคมี ทำให้เข้าใจถึงการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนและโครงสร้างของนิวเคลียส รวมถึงให้ข้อมูลเกี่ยวกับพันธะเคมีในสารด้วย

การทดลอง

ตอนที่ 1 การสร้างกล้องสเปกโทรสโคป

ตอนที่ 2 การปรับเทียบกล้องสเปกโทรสโคป

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสเปกตรัมการเปล่งแสงแบบต่อเนื่อง

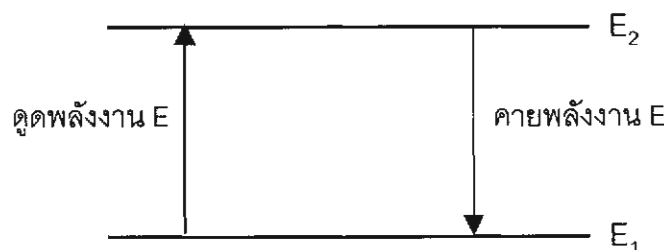
ตอนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสเปกตรัมของอะตอมกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

ตอนที่ 5 สเปกตรัมเปล่งแสงของอะตอมโลหะ

หลักการและทฤษฎี

ระดับพลังงานภายในอะตอม โมเลกุล และไอออนมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะ ค่าของพลังงานจะเป็นเท่าใดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประจุของนิวเคลียส ระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนกับนิวเคลียส จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ เป็นต้น การที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากระดับพลังงานหนึ่งไปยังอีกระดับพลังงานหนึ่งต้องมีการคายหรือดูดพลังงานค่าหนึ่ง ๆ ค่าพลังงานที่ดูดหรือคายนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนเคลื่อนย้าย

จากรูป 2 ถ้าให้ E_1 คือ ระดับพลังงานที่ต่ำกว่า E_2 คือ ระดับพลังงานที่สูงกว่า และ E คือ ค่าพลังงานที่ดูดหรือคาย ดังนั้น $E = E_2 - E_1 = \Delta E$

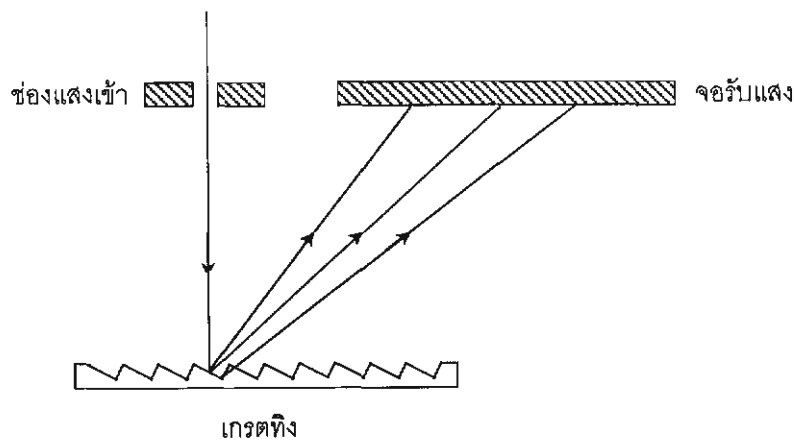


รูป 2 การดูดและคายพลังงาน

เนื่องจากอะตอมหรือโมเลกุลต่างชนิดกันจะมีระดับพลังงานภายในต่างกัน ดังนั้นอะตอมหรือโมเลกุลดังกล่าวจะดูดหรือคายพลังงานที่มีค่าเฉพาะ ถ้า ΔE ของอะตอมหรือโมเลกุลอยู่ในช่วงแสงวิสิเบิล จะสามารถมองเห็นการคายพลังงานได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นการเปล่งแสงที่มีสีออกมา ส่วนการมองเห็นสีของสารเป็นผลจากการดูดพลังงาน โดยสีของสารเป็นสีของแสงวิสิเบิลในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืน

กล้องสเปกโทรสโคปอย่างง่าย ๆ สามารถใช้ดูสเปกตรัมของแสงในช่วงวิสิเบิลที่เปล่งออกมาหรือสเปกตรัมช่วงใดที่ถูกกลืนไป กล้องสเปกโทรสโคปประกอบด้วย ช่องให้แสงเข้า เพื่อให้แสงส่องเข้ามาเป็นแถบแคบ ๆ และเป็นลำแสงขนาน แสงนี้จะตกกระทบบนปริซึมหรือเกรตติง(Diffraction

grating) ซึ่งทำหน้าที่กระจายแสงออกเป็นแถบสีต่าง ๆ ตามค่าพลังงานหรือความยาวคลื่นบนจอรับแสง ดังรูป 3



รูป 3 การกระจายแสงโดยดิฟแฟรคชันเกรตติง

เกรตติงจะกระจายแสงได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนร่องต่อนิ้วบนแผ่นเกรตติง จำนวนร่องต่อนิ้วยิ่งสูง ประสิทธิภาพก็จะสูงด้วย

ในการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของอะตอม นิยมศึกษาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งหาได้ง่าย หรือหลอดดิสชาร์จ์ของแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น หลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดดิสชาร์จ์ชนิดหนึ่ง ภายในหลอดบรรจุไอของปรอทปริมาณเล็กน้อย (ความดันต่ำ) ผงฉาบภายในของหลอดเคลือบด้วยสารเรืองแสง (phosphor) คือ แคลเซียมเฮไลฟอสเฟต ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}_{1-x}\text{Cl}_x$) ที่ถูกเติมด้วย Mn^{2+} และ Sb^{3+} เมื่อให้กระแสไฟฟ้าหรือเปิดไฟ อะตอมปรอทจะถูกกระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงและเปล่งแสงออกมาเมื่ออิเล็กตรอนกลับมาสู่ระดับพลังงานต่ำ สเปกตรัมการเปล่งแสงของอะตอมปรอทมีลักษณะเฉพาะตัว อยู่ในช่วงของแสงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงของแสงวิสิเบิล แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตถูกดูดกลืนโดย Sb^{3+} และส่งต่อไปให้ Mn^{2+} Sb^{3+} เปล่งแสงสีน้ำเงิน Mn^{2+} เปล่งแสงสีส้ม รวมกันแล้วเห็นแสงสีขาว (แสงสว่างปกติ) ส่วนการเปล่งแสงของอะตอมปรอทเมื่อส่องดูด้วยกล้องสเปกโทรสโคปจะเห็นเส้นสเปกตรัม สีน้ำเงินม่วง (436 nm) สีเขียว (546 nm) และสีเหลือง (580 nm)

หลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์มีแก๊สไฮโดรเจนบรรจุอยู่ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่หลอด อะตอมไฮโดรเจนในหลอดจะให้แสงสีน้ำเงิน ซึ่งประกอบด้วยเส้นสเปกตรัม 4 เส้น คือ สีม่วง (410 nm) สีน้ำเงินม่วง (434 nm) สีน้ำเงิน (486 nm) และสีแดง (656 nm) เส้นสเปกตรัมทั้งสี่ของอะตอมไฮโดรเจนนี้ค้นพบโดยบาลเมอร์ จึงเรียกว่า Balmer series และสัมพันธ์กับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมไฮโดรเจนตามสมการต่อไปนี้

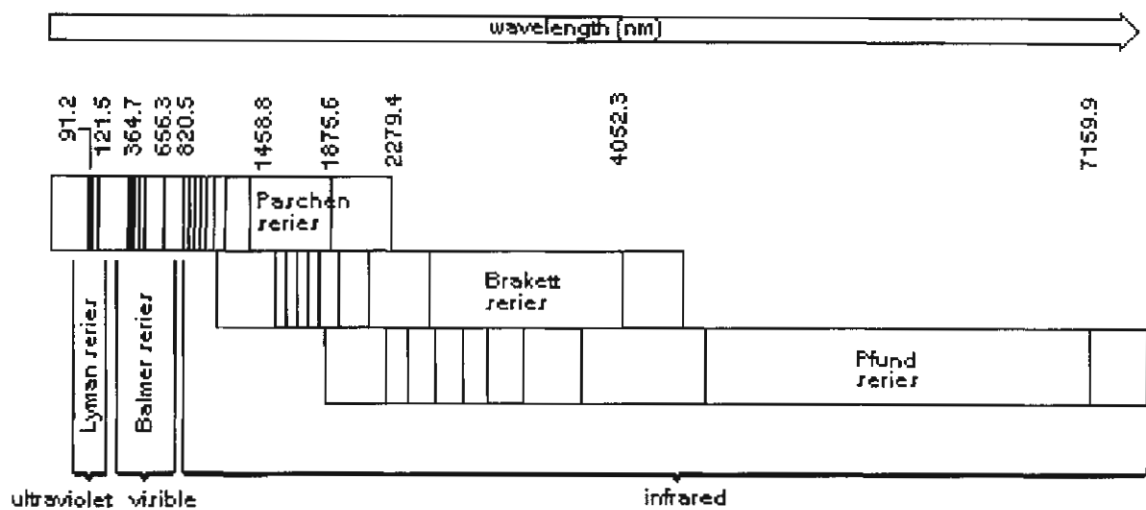
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

โดย n เลขจำนวนเต็ม บอกระดับพลังงานภายในอะตอม

R_H ค่าคงที่ของริดเบิร์ก (Rydberg constant) มีค่าเท่ากับ $1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$

λ ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา

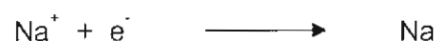
นอกจาก Balmer series แล้ว อะตอมไฮโดรเจนยังให้เส้นสเปกตรัมชุดอื่น ๆ อีกรวม 5 ชุด อีก 4 ชุดได้แก่ Lyman series, Paschen series, Brackett series และ Pfund series ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมไฮโดรเจนกับเส้นสเปกตรัมชุดต่าง ๆ และความยาวคลื่น แสดงในรูป 4



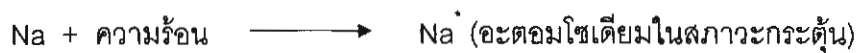
รูป 4 เส้นสเปกตรัมชุดต่างๆของอะตอมไฮโดรเจน

สารไอออนิกที่เป็นของแข็งหลายชนิดเมื่อถูกเผาจะสามารถเปล่งแสงออกมาในช่วงวิสิเบิล เช่น โซเดียมคลอไรด์

ผลึกโซเดียมคลอไรด์ประกอบด้วยโซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ความร้อนจากเปลวไฟในการเผาทำให้ไอออนแตกตัวออก และ Na^+ จะรวมตัวกับอิเล็กตรอนอิสระในเปลวไฟ เกิดเป็นอะตอมโซเดียมดังสมการ



และอิเล็กตรอนภายในอะตอมโซเดียมถูกกระตุ้นให้เคลื่อนไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงด้วยความร้อนจากเปลวไฟ เมื่ออิเล็กตรอนนี้กลับมาสู่ระดับพลังงานต่ำจะเปล่งแสงออกมา ดังสมการ



แสงที่คายออกมานี้เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละอะตอม

การเปล่งแสงที่มีหลายความยาวคลื่นจะให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง เช่น แสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ในส่วนที่เกิดจากสารเรืองแสงที่เคลือบผนังด้านในของหลอดไฟ แสงของหลอดทั้งสแตนด์และแสงจากโลหะที่ถูกเผาให้ร้อนแดง และแสงเทียน เป็นต้น

วัสดุอุปกรณ์

1. กระดาษโปสเตอร์ชนิดหนาสีดำ ขนาด 50 x 80 cm
2. กระดาษมีสเกล 0-8 cm ขนาด 1.5 x 10 cm
3. แผ่นดิฟแฟรคชันเกรตติง มีจำนวนร่อง 13,400 ร่องต่อนิ้ว หรือดีกว่า
4. ลวดนิโครมพร้อมจุกคอรัก
5. โคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์
6. หลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์
7. หลอดทั้งสแตนด์ 60 วัตต์
8. ตะเกียงเบนเสน
9. เทียนไข
10. กรรไกร เทปกาวใส เทปพันสายไฟ (เทปยาง) สีดำ

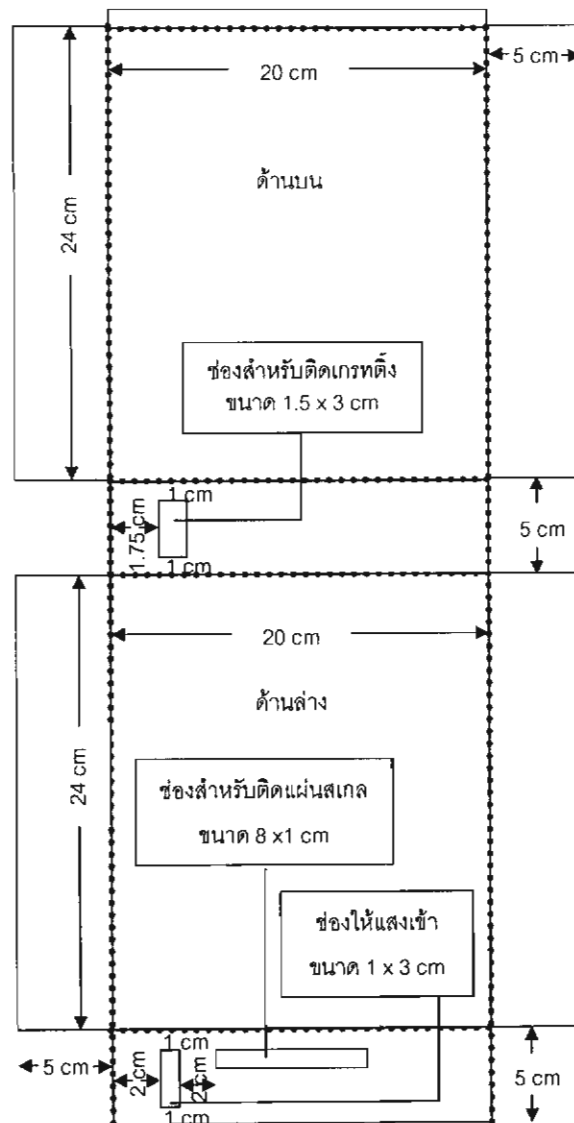
สารเคมี

1. ลิเทียมคลอไรด์ (lithium chloride, LiCl)
2. โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl)
3. สตรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride, SrCl₂)
4. คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (copper (II) chloride, CuCl₂)
5. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 M (hydrochloric acid, 6 M HCl)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การสร้างกล่องสเปกโทรสโคป

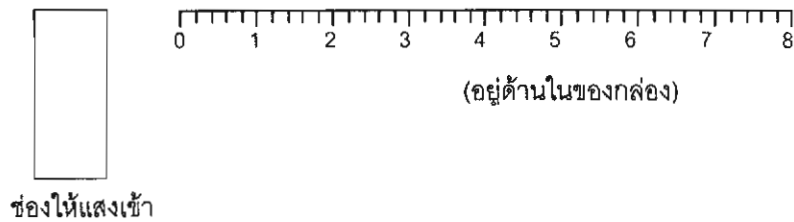
1. สร้างกล่องสเปกโทรสโคปด้วยกระดาษโปสเตอร์ชนิดหนาสีดำ วาดกระดาษโปสเตอร์ทางด้านสีดำลงกับพื้นโต๊ะ วาดแบบกล่องดังแบบที่กำหนดให้ (รูป 5) ลงบนกระดาษด้านไม่มีสี ตัดและเจาะตามเส้นทึบ แล้วพับเป็นกล่องตามเส้นประ โดยให้ด้านสีดำอยู่ด้านในกล่อง



รูป 5 แบบสำหรับสร้างกล่อง
สเปกโทรสโคป

ควรเพิ่มความระมัดระวังเพื่อให้ช่องสำหรับติดตั้งเกรตติงและช่องให้แสงเข้าอยู่ตรงกัน เมื่อมองไปในกล่องทางด้านเกรตติง จะเห็นช่องสำหรับติดตั้งกระดาษสเกลอยู่ทางด้านล่างขวามือ (ดังรูป 6) อย่าเพิ่งเอาเทปกาวยึดกล่องอย่างถาวรในตอนนี

2. แกะกล่องออก เอากระดาษสเกลซึ่งเป็นสเกลไม้บรรทัดในหน่วยเซนติเมตร สเกล 0-8 ซีดให้เห็นชัดเจนบนกระดาษเขียนหนังสือธรรมดา ตัดให้เป็นรูปคล้ายไม้บรรทัดขนาดเล็กกว้างประมาณ 1.5 cm ยาว 10 cm ติดกระดาษสเกลด้านในกล่อง (บนด้านสีดำ) บนช่องที่เจาะไว้สำหรับติดกระดาษสเกล ก่อนติดกระดาษสเกลวางกล่องให้ด้านสีดำหงายขึ้นและช่องให้แสงเข้าอยู่ทางซ้ายมือ ติดกระดาษสเกลด้วยเทปกาวใสโดยวางกระดาษสเกลให้ด้านที่วาดสเกลไว้หงายขึ้น เสร็จแล้วจะมีลักษณะดังนี้



รูป 6 ตำแหน่งติดกระดาษสเกล

3. หักกลับเป็นตัวกล่อง ปิดสันกล่องให้สนิทด้วยเทปกาวใส
4. ใช้เทปยางสีดำ 2 ชิ้น ยาวขึ้นละประมาณ 8 cm ปิดช่องให้แสงเข้าตามแนวยาวจากด้านบนกล่องสู่ด้านล่างกล่องให้เหลือช่องกว้าง 2 mm
5. นำแผ่นเกรตติงมาติด โดยจับที่ขอบของแผ่นเกรตติง ระวังอย่าจับถูกตัวแผ่นเกรตติงสังเกตร่องถี่ ๆ ขนานกันบนแผ่นเกรตติง วางเกรตติงทาบบนช่องเกรตติงทางด้านนอกของกล่อง โดยให้ร่องบนเกรตติงขนานกับแนวช่องให้แสงเข้า (ไม่ใช่ตั้งฉากกับแนวช่องให้แสงเข้า) และอยู่กึ่งกลางของช่องเกรตติง นำไปส่องกับแสงแดดหรือเปลวไฟทางด้านช่องให้แสงเข้า มองผ่านเกรตติงเข้าไปในกล่อง ถ้าสังเกตเห็นแถบสี (สเปกตรัม) ต่าง ๆ ทางด้านขวาและอยู่บนสเกล แสดงว่าแผ่นเกรตติงอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว ติดเทปกาวใสียึดแผ่นเกรตติงติดแน่นกับตัวกล่อง ถ้าไม่เห็นแถบสีอยู่ทางขวามือให้กลับหัวแผ่นเกรตติงลงจนได้แถบสีอยู่ทางขวามือ จะได้กล่องสเปกโทรสโคปที่พร้อมจะใช้งานแล้ว

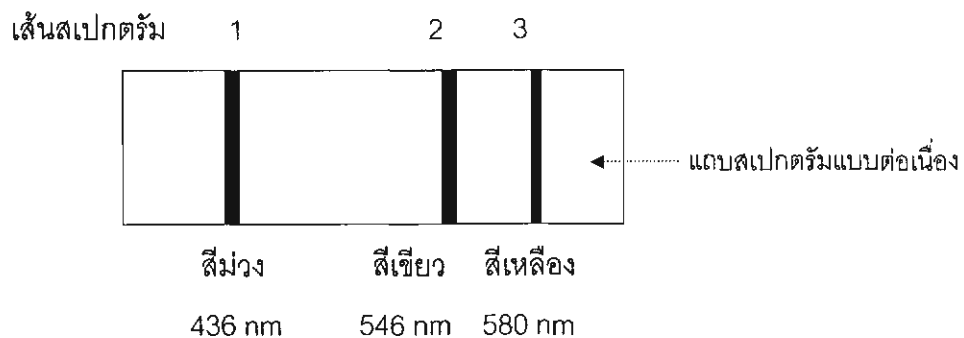
คำถามหลังการทดลอง

1. ถ้าติดแผ่นเกรตติงโดยร่องบนเกรตติงตั้งฉากกับแนวช่องให้แสงเข้า จะได้สเปกตรัมเป็นอย่างไร
2. ถ้ามองเห็นสเปกตรัมอยู่ทางด้านซ้ายมือ จะเห็นแถบสีตามลำดับเช่นเดียวกับทางขวามือหรือไม่

ตอนที่ 2 การปรับเทียบกล้องสเปกโทรสโคป

เครื่องมือวิทยาศาสตร์จะต้องถูกปรับเทียบเสียก่อน จึงสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง เครื่องมือที่มีขายกันอยู่นั้นต้องผ่านการปรับเทียบโดยผู้ผลิตก่อนนำออกจำหน่ายเสมอ ในการทดลองส่วนนี้จะทำการปรับเทียบกล้องสเปกโทรสโคปอย่างง่ายที่สร้างขึ้น โดยนำกล้องไปส่องดูเส้นสเปกตรัมของอะตอมปรอทที่ทราบความยาวคลื่นที่ส่งออกมาจากหลอดฟลูออเรสเซนต์

นำกล้องสเปกโทรสโคปไปส่องดูหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยดูตรงส่วนที่สว่างที่สุดและห่างประมาณ 1-2 ฟุต สเปกตรัมที่เห็นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เส้นสเปกตรัม 3 เส้น คือ สีม่วง สีเขียว และ สีเหลืองที่อยู่บนสเปกตรัมแบบต่อเนื่องซึ่งถูกแยกออกเป็นแถบสีต่าง ๆ ดังรูป 7



รูป 7 เส้นสเปกตรัมของอะตอมปรอท

เส้นสเปกตรัมทั้งสามนี้เป็นเส้นสเปกตรัมที่เกิดจากการเปล่งแสงของอะตอมปรอทซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ ความยาวคลื่นที่สังเกตเห็น คือ

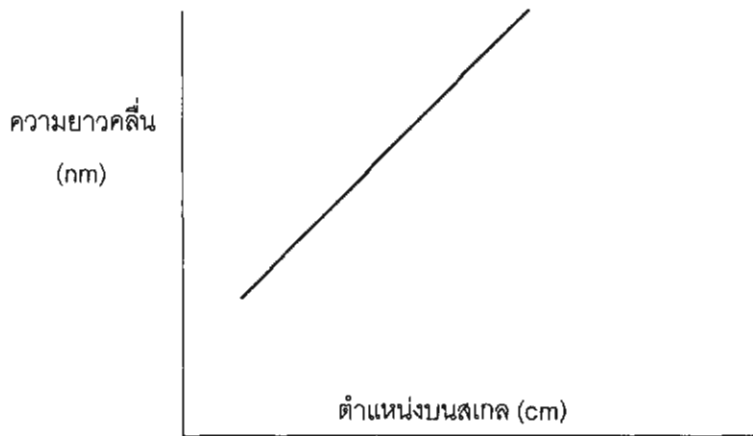
เส้นที่ 1 สีม่วง 436 nm

เส้นที่ 2 สีเขียว 546 nm

เส้นที่ 3 สีเหลือง 580 nm

ควรขยับกล้องไปมาเล็กน้อยเพื่อให้เห็นเส้นสเปกตรัมทั้งสามอย่างชัดเจนที่สุดเท่าที่จะทำได้ เส้นที่เห็นได้ค่อนข้างยาก คือ เส้นสีเหลือง แต่อย่างไรก็ตามถ้าเกรตติงที่ใช้มีประสิทธิภาพดี กล่าวคือมีจำนวนร่องต่อนิ้วสูงจะเห็นได้ชัดเจน และถ้ายังไม่สามารถมองเห็นได้ชัดอาจปรับให้แสงเข้ามากขึ้นโดยขยายช่องให้แสงเข้ากว้างขึ้น โดยดึงเทปยางสีดำที่ปิดช่องให้แสงเข้าออก แล้วปิดใหม่ให้มีช่องกว้างกว่าเดิม แต่การขยายช่องให้แสงเข้าจะทำให้เส้นสเปกตรัมกว้างขึ้นด้วย และรอยต่อระหว่างแถบสีไม่ชัดเจน

อ่านตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมทั้งสามบนกระดาษสเกล นำไปสร้างกราฟปรับเทียบโดยสร้างกราฟระหว่างตำแหน่งบนสเกลกับความยาวคลื่น ดังรูป 8



รูป 8 กราฟเปรียบเทียบ

ควรติดกราฟเปรียบเทียบนี้ไว้ด้านบนของกล่อง เมื่อนำกล่องสเปกโทรสโคปที่ปรับเทียบแล้วนี้ไปส่องดูสเปกตรัมได้จะสามารถบอกความยาวคลื่นของสเปกตรัมได้จากกราฟเปรียบเทียบนี้

คำถามหลังการทดลอง

กราฟเปรียบเทียบที่ได้นี้ สามารถใช้กับกล่องสเปกโทรสโคปอื่นที่สร้างในลักษณะเดียวกันได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสเปกตรัมการเปล่งแสงแบบต่อเนื่อง

หลอดไฟต่าง ๆ หรือต้นกำเนิดแสงสว่างชนิดอื่น ได้แก่ แสงแดด หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดทังสเตน (60 วัตต์) แสงเทียนไข สามารถให้แสงสว่างได้เหมือนกัน แต่เมื่อดูให้ละเอียดโดยอาศัยกล่องสเปกโทรสโคปแล้วจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งทดลองได้ดังนี้

1. นำกล่องสเปกโทรสโคปไปส่องดูแสงแดด โดยส่องไปในบริเวณที่มีแสงแดงสว่าง แต่อย่าส่องดูดวงอาทิตย์โดยตรง อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสายตา บันทึกตำแหน่งของขอบหรือรอยต่อระหว่างแถบสีที่อ่านได้จากกระดาษสเกล แปรเป็นช่วงความยาวคลื่นโดยอาศัยกราฟเปรียบเทียบ
2. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 กับต้นกำเนิดแสงอื่น ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดทังสเตน ขนาด 60 วัตต์ เปลวไฟของเทียนไขและตะเกียงเบนเสน แต่ส่องในระยะห่างประมาณ 10-20 cm ในกรณีของเปลวไฟจะสังเกตเห็นเมื่อเข้าใกล้เปลวไฟมากกล่องกระดาษอาจติดไฟได้ บันทึกตำแหน่งของรอยต่อระหว่างแถบสีที่อ่านได้จากกระดาษสเกล และแปรเป็นช่วงความยาวคลื่นโดยอาศัยกราฟเปรียบเทียบเช่นเดียวกับข้อ 1

คำแนะนำ การดูรอยต่อของแถบสีบางครั้งจะไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจน ให้ใช้วิจาร์ณญาณของผู้ทำการทดลองประมาณค่าให้ใกล้เคียงที่สุด

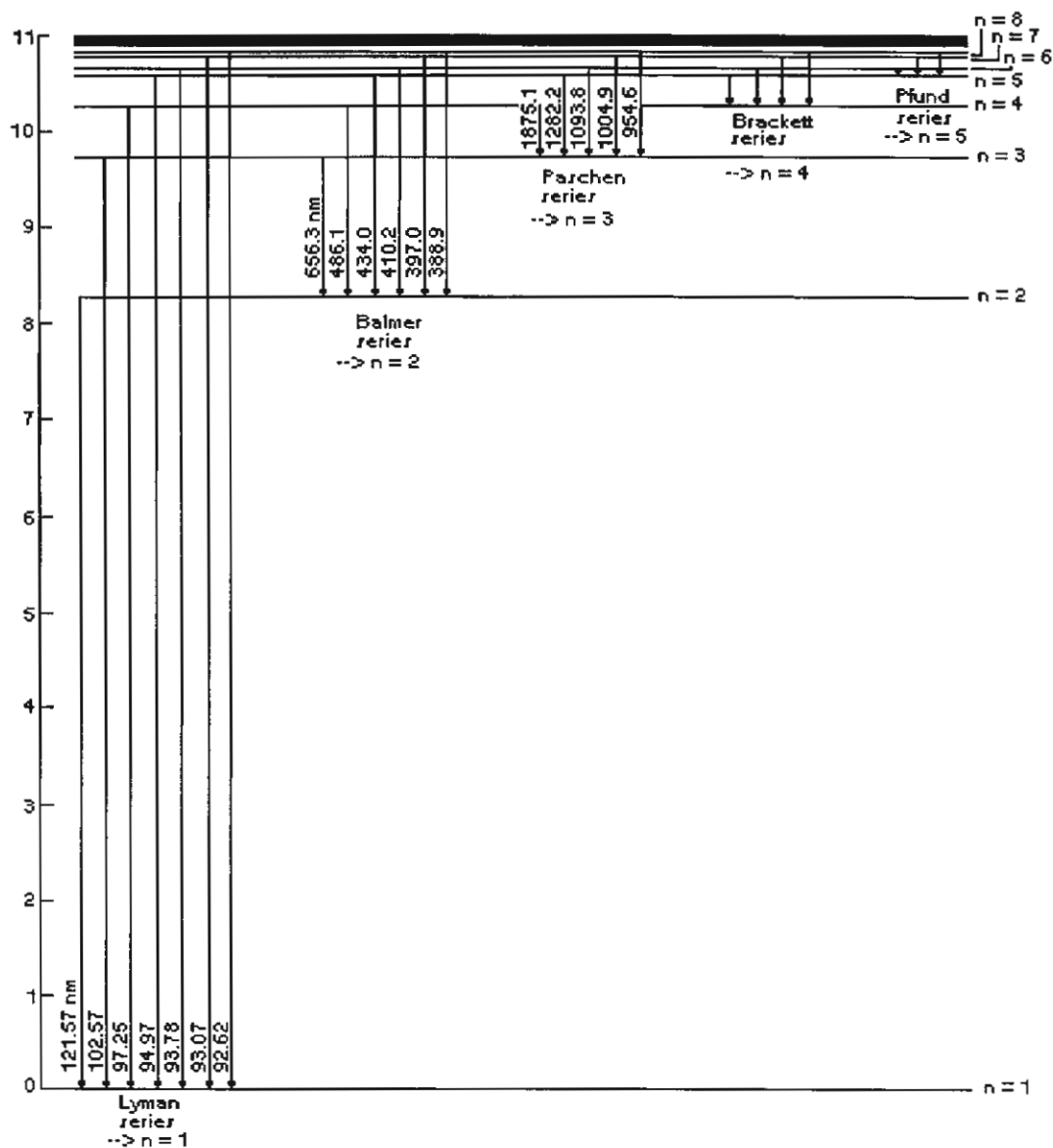
คำถาม

1. จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของแถบสีของสเปกตรัมที่ได้จากต้นกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ โดยใช้สเปกตรัมของแสงแดดเป็นฐานสำหรับเปรียบเทียบ และสรุปว่าระหว่างแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดทังสแตน อันไหนให้แสงที่มีพลังงานสูงกว่ากัน และระหว่างเปลวไฟจากเทียนไข กับเปลวไฟจากตะเกียงเบนเสน อันใดให้แสงที่มีพลังงานสูงกว่า
2. ในแต่ละสเปกตรัม แถบสีใดที่กว้างที่สุด
3. ทำไมสเปกตรัมของหลอดทังสแตนจึงไม่มีเส้นสเปกตรัม 3 เส้นเหมือนในสเปกตรัมของหลอดฟลูออเรสเซนต์

ตอนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสเปกตรัมของอะตอมกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

ในการทดลองส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน สังเกตสี กำหนดพลังงานของเส้นสเปกตรัมจากกราฟเปรียบเทียบ แล้วเปรียบเทียบกับแผนภูมิการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว ดังรูป 9

1. เียบหลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์เข้ากับเต้าเสียบเฉพาะของหลอดชนิดนี้ ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก อย่าให้มือสัมผัสกับบริเวณที่เป็นหลอดหรือโลหะ เพราะจะถูกไฟดูดได้ ควรเสียบหลอดดิสชาร์จ์เป็นระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อใช้เท่านั้น เพื่อยืดอายุหลอด
2. สังเกตหลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์ด้วยกล้องสเปกโทรสโคป ควรส่องให้ใกล้เพราะหลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์ไม่ค่อยสว่างนัก บันทึกสีและตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมที่อ่านได้จากกระดาษสเกล แปรเป็นความยาวคลื่นด้วยกราฟเปรียบเทียบ แล้วคำนวณค่าพลังงานของเส้นสเปกตรัม
3. นำเส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้มาเปรียบเทียบกับไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน (รูป 9) แล้วตอบคำถามหลังการทดลอง



รูป 9 ไดอะแกรมการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน

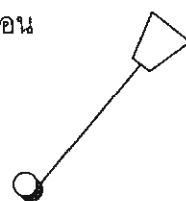
คำถาม

1. เส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้จากกล้องสเปกโทรสโคป เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนในแบบใดบ้าง
2. เส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้มีจำนวนครบทุกแบบของการเปลี่ยนแปลงในไดอะแกรมหรือไม่ แบบใดบ้างที่สังเกตไม่เห็น เป็นเพราะสาเหตุใด

ตอนที่ 5 สเปกตรัมเปล่งแสงของอะตอมโลหะ

เมื่อเผาอะตอมของโลหะแอลคาไล และแอลคาไลเอิร์ธ พลังงานความร้อนจากเปลวไฟทำให้แก๊สของโลหะสลายตัวออกเป็นอะตอมในสถานะกระตุ้น มีระดับพลังงานสูง เมื่ออะตอมในสถานะกระตุ้นกลับลงสู่ระดับพลังงานปกติจะคายพลังงานส่วนต่าง ๆ ออกมาในรูปของสเปกตรัมในช่วงวิสิเบิลซึ่งที่สังเกตได้ คือ เปลวไฟจะเปลี่ยนสีไป ส่วนจะเป็นสีใดขึ้นอยู่กับพลังงานที่อะตอมโลหะคายออกมา ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละอะตอม

1. การทดลองส่วนนี้ต้องการผู้ร่วมทดลองอีกหนึ่งคน เพื่อถือหลอดที่มีแก๊สของโลหะติดอยู่ที่ปลาย จี้ไปในเปลวไฟ
2. นำหลอดนิโครมยาวประมาณ 6 cm ตัดปลายด้านหนึ่งให้เป็นห่วงเล็ก ๆ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเสียบอยู่กับจุกคอร์กที่เป็นด้ามจับกันร้อน



3. จุดตะเกียงบนเลนส์ปรับเปลวไฟให้มีสีน้ำเงินนึ่ง จะได้เปลวไฟที่มีความร้อนสูงสุด
4. ทำความสะอาดหลอดนิโครมโดยจุ่มหลอดนิโครมใน 6 M HCl นำไปเผาในเปลวไฟ แล้วนำไปจุ่มใน 6 M HCl อีก ทำสลับกันเช่นนี้ 4-5 ครั้ง
5. นำหลอดนิโครมที่ร้อนและสะอาดจุ่มลงในแก๊สชนิดใดชนิดหนึ่ง (แก๊สของโลหะที่ใช้ได้แก่ LiCl, NaCl, SrCl₂, CuCl₂) แก๊สของโลหะจะติดอยู่ที่ห่วงปลายหลอดเล็กน้อยเอาไปเผาในเปลวไฟ สังเกตดูสีของเปลวไฟด้วยตาเปล่า และด้วยกล้องสเปกโทรสโคป
สำหรับโลหะบางชนิด อาจสังเกตเห็นเส้นสเปกตรัมในกล้องสเปกโทรสโคปได้ไม่ชัดเจน ให้พยายามปรับให้ชัดเจนขึ้นโดยส่องกล้องให้ใกล้เปลวไฟมากขึ้น ระวังกล้องไหม้ไฟ หรือปรับให้ช่องแสงเข้ากว้างขึ้นหรือลดแสงรบกวนภายนอกอื่น ๆ
6. สังเกตและบันทึกสีของเปลวไฟ ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัม (จากตำแหน่งบนสเกล และใช้กราฟเปรียบเทียบ ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นเส้นสเปกตรัมได้ ให้เทียบจากสีของเปลวไฟกับช่วงความยาวคลื่นของแถบสีนั้นในการทดลองตอนที่ 3)
6. ทำเช่นเดียวกันนี้กับแก๊สของโลหะตัวอื่น ๆ จนครบ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของแก๊ส จะต้องล้างหลอดให้สะอาดด้วย 6 M HCl ทุกครั้ง ระวังการปนเปื้อนของแก๊สของโลหะต่างชนิดกัน

คำถาม

1. อะตอมของโลหะเมื่อถูกเผาให้ร้อน ทำไมจึงเปล่งแสงสีต่างๆ ได้
2. สีของเปลวไฟที่เกิดจากอะตอมโลหะที่ถูกเผา มีความสัมพันธ์กับชนิดของโลหะและระดับพลังงานภายในอะตอมของโลหะอย่างไร
3. ถ้านำเอาเกลือของโลหะตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิดมาเผา จากสีของเปลวไฟสามารถบอกได้หรือไม่ว่าเป็นเกลือของโลหะอะไร และบอกได้อย่างไร

คำถามท้ายบท

1. ทำไมเมื่อเปิดไฟจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดทังสแตน (60 วัตต์) ทิ้งไว้ในระยะเวลาที่เท่ากันหลอดทังสแตนจึงร้อนกว่ามาก และหลอดชนิดใดสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่ากัน
2. จงระบุประโยชน์จากอันตรกิริยาระหว่างแสงกับสสารที่พบเห็นในชีวิตประจำวันมาสัก 1-2 รายการ

การกำจัดของเสีย

ในการทดลองนี้ไม่มีของเสียอันตรายที่ต้องกำจัด

เอกสารอ้างอิง

1. G. M. Bodner and H. L. Pardue, *Chemistry : An Experimental Science*, John Wiley, New York, 1995.
2. J. F. Hall, *Experimental Chemistry*, 2nd ed, D.C. Heath, Lexington, 1989.
3. S. Thompson, *CHEMTREK : Small-Scale Experiments for General Chemistry*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.
4. E. L. Waterman and S. Thompson, *Small-Scale Chemistry*, Addison-Wesley, Menlo Park, 1995.

รายงานผลการทดลองเรื่อง อันตรกิริยาของแสงและสารเคมี

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่
 อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

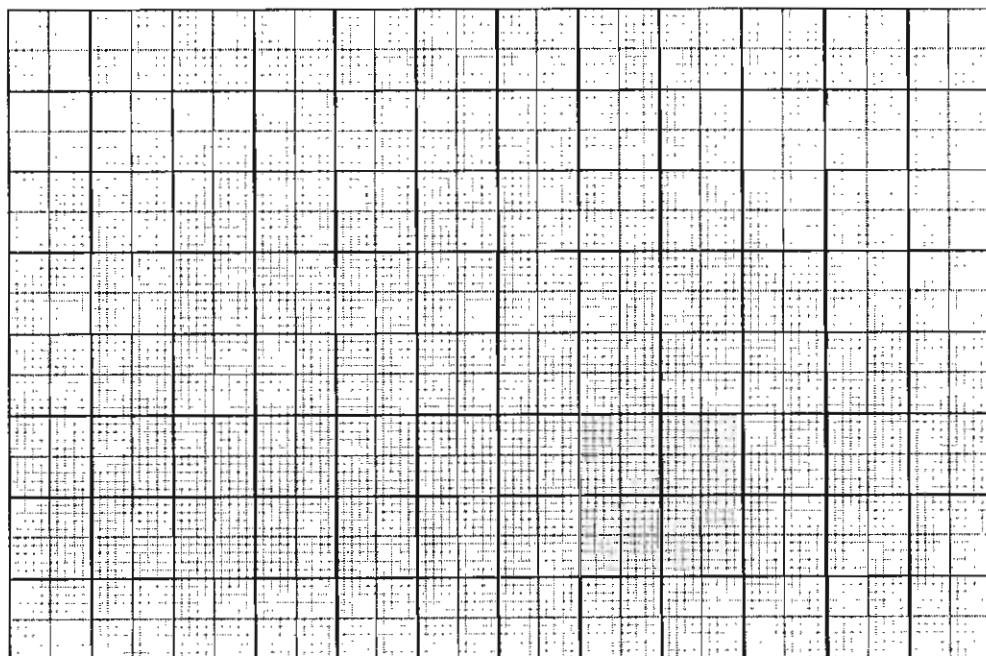
ตอนที่ 1 การสร้างกล้องสเปกโทรสโคป

1. ถ้าติดแผ่นเกรตติงโดยรองบนเกรตติงตั้งฉากกับแนวช่องให้แสงเข้า จะได้สเปกตรัมเป็นอย่างไร

2. ถ้ามองเห็นสเปกตรัมอยู่ทางด้านซ้ายมือ จะเห็นแถบสีตามลำดับเช่นเดียวกับทางขวามือหรือไม่

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบกล้องสเปกโทรสโคป

กราฟเปรียบเทียบของกล้องสเปกโทรสโคป



กราฟเปรียบเทียบที่ได้นี้ สามารถใช้กับกล้องสเปกโทรสโคปอื่นที่สร้างในลักษณะเดียวกัน ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสเปกตรัมการเปล่งแสงแบบต่อเนื่อง

ช่วงสีของ สเปกตรัม	ช่วงความยาวคลื่น (nm)				
	แสงแดด	หลอด ฟลูออเรสเซนต์	หลอด ทังสเตน	เปลวไฟของ เทียนไข	เปลวไฟของ ตะเกียงเบนเสน
ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง					

1. จงเปรียบเทียบความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ของแถบสีของสเปกตรัมที่ได้จากต้นกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ โดยใช้สเปกตรัมของแสงแดดเป็นฐานสำหรับเปรียบเทียบ และสรุปว่าระหว่างแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดทังสเตน ชนิดใดให้แสงที่มีพลังงานสูงกว่ากัน และระหว่างเปลวไฟจากเทียนไข กับเปลวไฟจากตะเกียงเบนเสน ชนิดใดให้แสงที่มีพลังงานสูงกว่า

.....

.....

.....

2. ในแต่ละสเปกตรัม แถบสีใดที่กว้างที่สุด

.....

3. ทำไมสเปกตรัมของหลอดทังสเตนจึงไม่มีเส้นสเปกตรัม 3 เส้นเหมือนในสเปกตรัมของหลอดฟลูออเรสเซนต์

.....

.....

ตอนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสเปกตรัมของอะตอมกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

เส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน			
สี	ตำแหน่งบนสเกล (cm)	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าพลังงาน (kJ)

1. เส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้จากกล้องสเปกโทรสโคป เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจนในแบบใดบ้าง

.....

.....

.....

2. เส้นสเปกตรัมที่สังเกตได้มีจำนวนครบทุกแบบของการเปลี่ยนแปลงในแผนภูมิหรือไม่ แบบใดบ้างที่สังเกตไม่เห็น เป็นเพราะสาเหตุใด

.....

.....

ตอนที่ 5 สเปกตรัมเปล่งแสงของอะตอมโลหะ

ชนิดของเกลือ	สีของเปลวไฟ	ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัม
LiCl		
NaCl		
SrCl ₂		
CuCl ₂		

1. อะตอมของโลหะเมื่อถูกเผาให้ร้อน ทำไมจึงเปล่งแสงสีต่างๆ ได้

.....

2. สีของเปลวไฟที่เกิดจากอะตอมโลหะที่ถูกเผามีความสัมพันธ์กับชนิดของโลหะ และระดับพลังงานภายในอะตอมของโลหะอย่างไร

.....

3. ถ้านำเอาเกลือของโลหะตัวอย่างมาเผา จากสีของเปลวไฟสามารถบอกชนิดของโลหะได้หรือไม่อย่างไร

.....

การทดลองที่ 13

สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย : การลดลงของจุดเยือกแข็ง (Colligative Properties of Solutions : Freezing Point Depression)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของตัวละลายที่มีต่อจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย
2. ศึกษาผลของประจุของไอออนในสารละลายที่มีต่อจุดเยือกแข็งของสารละลาย

บทนำ

สมบัติคอลลิเกทีฟ เป็นสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่ขึ้นกับจำนวนอนุภาคในสารละลายแต่ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย ได้แก่ การลดลงของความดันไอ (vapor pressure lowering) การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (boiling point elevation) การลดลงของจุดเยือกแข็ง (freezing point depression) และความดันออสโมติก (osmotic pressure)

จุดเยือกแข็งของของเหลว คือ อุณหภูมิที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะไปเป็นของแข็งที่ความดัน 1 บรรยากาศ จากการศึกษาการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลายเมื่อเติมตัวละลายที่ไม่ระเหย (non-volatile solute) ลงในตัวทำละลาย จะพบว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์

ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากการลดจุดเยือกแข็งของของเหลว เช่น ในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็นจำเป็นต้องเติมเอทิลีนไกลคอล (ethylene glycol) ซึ่งเป็นสารต้านการแข็งตัวในหม้อน้ำรถยนต์เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำ นอกจากนี้ยังมีการโรยเกลือโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ลงบนพื้นถนนและทางเดินก่อนที่จะหิมะจะตก เพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำแข็งบนพื้นถนนซึ่งก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ประโยชน์อีกประการหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจน คือ การทำไอศกรีม เมื่อเติมน้ำตาลลงในครีมจะได้ของผสมไอศกรีมที่สามารถแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ดังนั้นถ้าใช้น้ำของผสมไอศกรีมมาแช่ในถังที่บรรจุน้ำแข็งเพียงอย่างเดียวจะพบว่าไม่สามารถทำให้ของผสมไอศกรีมแข็งตัวได้ จะต้องเติมเกล็ดลงในน้ำแข็งด้วยเพื่อให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 0°C จึงจะทำให้ของผสมไอศกรีมแข็งตัวได้

เกลือที่ใช้โรยบนถนนเมื่อหิมะตกและที่เติมลงในน้ำแข็งมีบทบาท ดังนี้ เมื่อน้ำแข็งเริ่มละลายเกลือในน้ำแข็งจะละลายในน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำจะเข้าล้อมรอบโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนหรืออีกนัยหนึ่ง โมเลกุลของน้ำจะแยกตัวออกจากกันโดยมีไอออนมาขวางกั้นทำให้การรวมตัวกันเป็นของแข็งอีกครั้งเกิดได้ยากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย

หลักการและทฤษฎี

การลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลาย เมื่อเทียบกับจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ นั้น พบว่า จุดเยือกแข็งที่ลดลงจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณตัวถูกละลายที่ไม่แตกตัวหรือไม่รวมตัว ดังสมการ

$$\Delta T_f = K_f m \quad (1)$$

เมื่อ ΔT_f จุดเยือกแข็งที่ลดลง ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างของจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ (T_f°) กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย (T_f) มีหน่วยเป็น $^\circ\text{C}$

K_f ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง ($^\circ\text{C}/m$)

m ความเข้มข้นของสารละลาย (molal)

เนื่องจาก $m = \frac{\text{จำนวนโมลของตัวละลาย (mol)}}{\text{น้ำหนักตัวทำละลาย (kg)}}$

$$= \frac{(g_1 / M_1)}{(g_2 / 1000)}$$

$$= \frac{1000 g_1}{M_1 g_2} \quad (2)$$

เมื่อ $g_1 =$ น้ำหนักของตัวละลาย (g)

$g_2 =$ น้ำหนักของตัวทำละลาย (g)

$M_1 =$ มวลโมเลกุลของตัวละลาย (g/mol)

แทนค่าสมการ (2) ในสมการ (1)

$$\Delta T_f = K_f \frac{1000 g_1}{M_1 g_2} \quad (3)$$

$$M_1 = K_f \frac{1000 g_1}{\Delta T_f g_2} \quad (4)$$

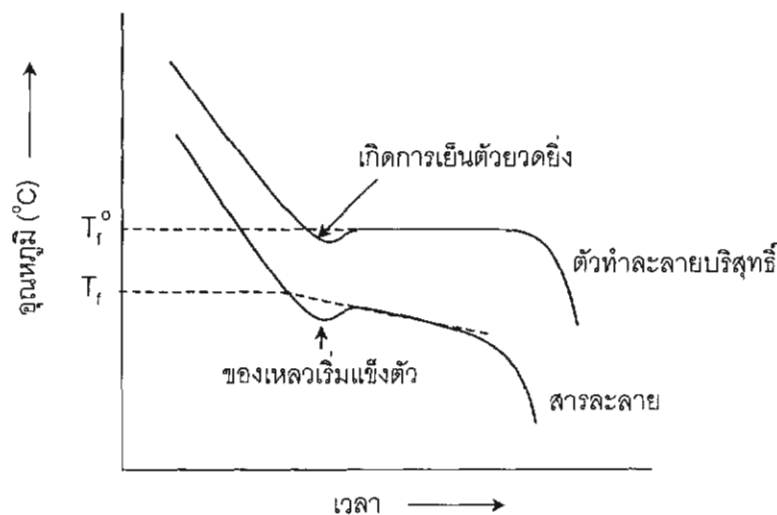
ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง (molal freezing point depression constant, K_f) เป็นค่าคงที่เฉพาะของตัวทำละลายแต่ละชนิดโดยไม่ขึ้นกับตัวละลาย ตัวอย่างเช่น ถ้าละลายน้ำตาลกลูโคสหรือยูเรียจำนวนหนึ่งโมลในน้ำหนึ่งกิโลกรัม สารละลายทั้งสองนี้จะมีจุดเยือกแข็งลดลงเท่ากัน คือ 1.86°C และถ้าเพิ่มปริมาณตัวละลายเป็นสองเท่า จุดเยือกแข็งจะลดลงเป็นสองเท่าด้วย

ตารางแสดงค่า K_f ของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย	จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}\text{C}$)	K_f ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)
น้ำ	0.0	1.86
เบนซีน	5.5	5.12
กรดแอสติก	17.0	3.90
2-เมทิล -2-โพรพานอล	25.5	9.10

ประโยชน์ที่สำคัญอย่างหนึ่งจากการหาจุดเยือกแข็งที่ลดลง คือ ใช้หามวลโมเลกุลของสาร โดยละลายสารตัวอย่างจำนวนหนึ่ง (g_1) ในตัวทำละลายที่ทราบน้ำหนัก (g_2) แล้วหาค่า ΔT_f จากการทดลอง สามารถคำนวณมวลโมเลกุลของสารตัวอย่างได้ ดังสมการ (4)

การหาจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์และสารละลาย ทำได้โดยการวัดอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ ขณะที่ทำให้ของเหลวเย็นตัวลง แล้วเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา จะได้กราฟที่เรียกว่ากราฟการเย็นตัว (cooling curve) ดังรูป 1 ซึ่งสามารถใช้หาจุดเยือกแข็งได้



รูป 1 กราฟการเย็นตัว

จากกราฟการเย็นตัว เมื่อทำให้ของเหลวเย็นลงและเริ่มแข็งตัว อุณหภูมิที่ของเหลวเริ่มแข็งตัวเรียกว่า จุดเยือกแข็ง ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดหลอมเหลว จากนั้นอุณหภูมิจะคงที่ระยะหนึ่งซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวไปเป็นของแข็งจนกระทั่งของเหลวแข็งตัวหมด ปริมาณความร้อนที่คายออกมาในช่วงที่อุณหภูมิกำลังมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนแฝงของการหลอมเหลว ซึ่งใช้ในการเปลี่ยนสถานะของแข็งให้เป็นของเหลว และเมื่อทำให้ของแข็งเย็นลงอีก อุณหภูมิก็จะลดลงต่อไป

ในบางครั้งเมื่อของเหลวเย็นตัวลงจนถึงจุดเยือกแข็งแต่ยังไม่มีการแข็งตัว เรียกสภาพเช่นนี้ว่า การเย็นตัวยวดยิ่ง (supercooling) ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า โมเลกุลของของเหลวยังมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบพอ เมื่ออุณหภูมิลดลงจนกระทั่งโมเลกุลของของเหลวเริ่มมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเหมือนการจัดเรียงตัวในของแข็งแล้ว ของเหลวจะเริ่มแข็งตัวอย่างรวดเร็วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงจุดเยือกแข็งแล้วจึงคงที่ (ในกรณีตัวทำละลายบริสุทธิ์) จนกระทั่งแข็งตัวหมด

การแข็งตัวเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างชิดกันเป็นระเบียบทำให้โมเลกุลดึงดูดกันได้ดีขึ้น จึงมีการคายพลังงานออกมาในรูปความร้อนแฝงซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของระบบสูงขึ้น เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลระหว่างของเหลวและของแข็งอุณหภูมิจะคงที่ ในกรณีของสารละลาย หลังจากเกิดการเย็นตัวยวดยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเยือกแข็งแล้ว อุณหภูมิจะไม่คงที่เหมือนกับในกรณีของตัวทำละลายบริสุทธิ์ เนื่องจากการแข็งตัวในช่วงแรกเป็นการแข็งตัวของตัวทำละลาย ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลให้อุณหภูมิของระบบค่อย ๆ ลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น การเย็นตัวยวดยิ่งจะไม่เกิดขึ้น ถ้าค่อย ๆ ลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ และคนของเหลวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งช่วยให้เกิดการกระจายตัวของตัวละลายรวมทั้งเกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในสารละลายเร็วขึ้น

ถ้าตัวละลายมีการแตกตัวหรือรวมตัว จำนวนอนุภาคในสารละลายจะเปลี่ยนไป เมื่อตัวละลายรวมตัว จำนวนอนุภาคในสารละลายจะลดลง ซึ่งทำให้จุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงมีค่าน้อยกว่าในกรณีของสารละลายที่ตัวละลายไม่รวมตัว ส่วนในกรณีที่ตัวละลายแตกตัวจำนวนอนุภาคในสารละลายจะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้จุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงมีค่ามากกว่าในกรณีของสารละลายที่ตัวละลายไม่แตกตัว ดังนั้น สมการ (1) จะเปลี่ยนไป เป็น

$$\Delta T_f = i K_f m \quad (5)$$

เมื่อ i = van't Hoff factor

เมื่อตัวละลายแตกตัวอย่างสมบูรณ์เป็นอิสระต่อกัน van't Hoff factor จะมีค่าเท่ากับจำนวนอนุภาคทั้งหมดในสารละลาย แต่โดยทั่วไป เมื่อสารละลายแตกตัวแล้ว ไอออนบวกและไอออนลบจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไม่เป็นอิสระ ค่า van't Hoff factor จึงมีค่าลดลงและจะลดลงอีกเมื่อประจุของไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้จุดเยือกแข็งที่ลดลง (ΔT_f) มีค่าลดลงด้วย ตัวอย่างเช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 m มีค่า van't Hoff factor เท่ากับ 1.87 และ 1.21 ตามลำดับ

ในการทดลองนี้ เป็นการศึกษาการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลาย โดยใช้น้ำและ 2-เมทิล-2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย ส่วนตัวละลายนั้นเป็นสารที่ใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวันและไม่เป็นพิษ เช่น น้ำตาล เกลือ เอทิลีนไกลคอลและกรดเบนโซอิก ในการทำให้ของเหลวเย็นตัวลงนั้นจะใช้ของผสมน้ำแข็งกับเกลือ

วัสดุอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 400 mL
2. หลอดทดลองขนาด 20x150 mm พร้อมจุกยางและสวดคนปลายชุดเป็นวงแหวน
3. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
4. เทอร์มิเตอร์อ่านได้ -10 ถึง 100°C
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ช้อนตักสาร
7. ตะเกียงเบนเสนหรือเตาให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า
8. กระบอกตวง

สารเคมี

1. กลูโคส (glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
2. โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride, NaCl)
3. แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate, MgSO_4)
4. 2-เมทิล-2-โพรพานอล (2- methyl-2-propanol, $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$)
5. กรดเบนโซอิก (benzoic acid, $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)

วิธีทดลอง

แบ่งเป็น 2 ระบบ

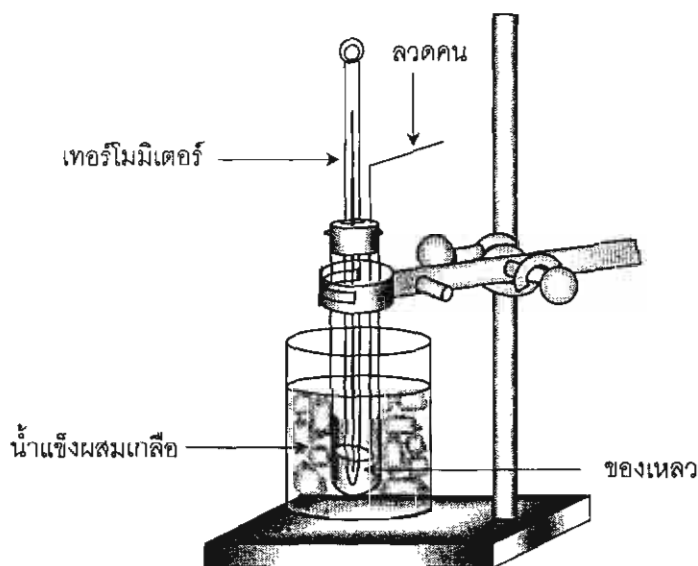
ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ระบบที่ 2 ใช้ 2- เมทิล-2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย

ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์

1. เตรียมบีกเกอร์น้ำแข็งผสมเกลือ โดยเติมน้ำแข็งประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของบีกเกอร์ ใส่เกลือเม็ดลงไป 3 ช้อนและให้แน่ใจว่าอุณหภูมิสามารถลดต่ำกว่า 0°C คนให้เข้ากัน
2. นำหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด พร้อมจุกยางที่มีเทอร์โมมิเตอร์และลวดคนเสียบอยู่มา ชั่งน้ำหนัก เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 10 mL ปิดหลอดทดลอง ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. จุ่มหลอดทดลองลงในบีกเกอร์น้ำแข็งผสมเกลือ แล้วจัดอุปกรณ์ ดังรูป 2



รูป 2 การจัดอุปกรณ์ในการหาจุดเยือกแข็งเมื่อน้ำเป็นตัวทำละลาย

4. เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 5°C เริ่มจับเวลาและบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาทีจนน้ำกลายเป็นน้ำแข็งจึงหยุดบันทึก (ขณะอ่านอุณหภูมิให้คนของเหลวโดยดึงลวดคนขึ้นลงช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอ และอย่าให้วงแหวนของลวดคนพันผิวของของเหลว)
5. ทิ้งให้ของแข็งในหลอดทดลองหลอมเป็นของเหลวจนหมด เก็บไว้ทำการทดลองตอนที่ 2
6. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาเช่นเดียวกับรูป 1 เพื่อหาจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย

2.1 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคส

1. ชั่งกลูโคสประมาณ 1.80 g ใส่ลงในหลอดทดลองตอนที่ 1 เวลาเทระวังอย่าให้กลูโคสติดข้างหลอด คนให้ละลายจนหมด ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ตรวจปิกเกอร์น้ำแข็งผสมเกลือ ถ้าน้ำแข็งละลายมากให้เทน้ำออกแล้วเติมน้ำแข็งและเกลือ
3. นำสารละลายไปหาจุดเยือกแข็งเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที่ 1 โดยบันทึกอุณหภูมิจนกระทั่งสารละลายแข็งตัว และบันทึกอุณหภูมิต่ออีกประมาณ 3 นาที
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เพื่อหาจุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคส

2.2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

1. ชั่งน้ำหนักหลอดทดลองที่แห้งและสะอาดพร้อมจุกยางที่มีเทอร์โมมิเตอร์และลวดคนเสียบบนอยู่ จากนั้นเติมน้ำกลั่น 10 mL ลงในหลอดทดลอง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติมโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 0.60 g ลงในหลอดทดลอง เวลาเทระวังอย่าให้โซเดียมคลอไรด์ติดข้างหลอด คนให้ละลายจนหมด ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. นำสารละลายไปหาจุดเยือกแข็งเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

2.3 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2 ข้อ 2.2 แต่เปลี่ยนสารที่ใช้จากโซเดียมคลอไรด์เป็นแมกนีเซียมซัลเฟตประมาณ 1.20 g บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. เปรียบเทียบ van's Hoff factor ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองชนิด
 เทสารละลายโซเดียมคลอไรด์และแมกนีเซียมซัลเฟตลงในภาชนะที่เตรียมไว้ให้ เพื่อนำกลับไปใช้ในการทดลองที่ 17 การวิเคราะห์แอนไอออนและแคตไอออนด้วยวิธีเคมีไมโคร

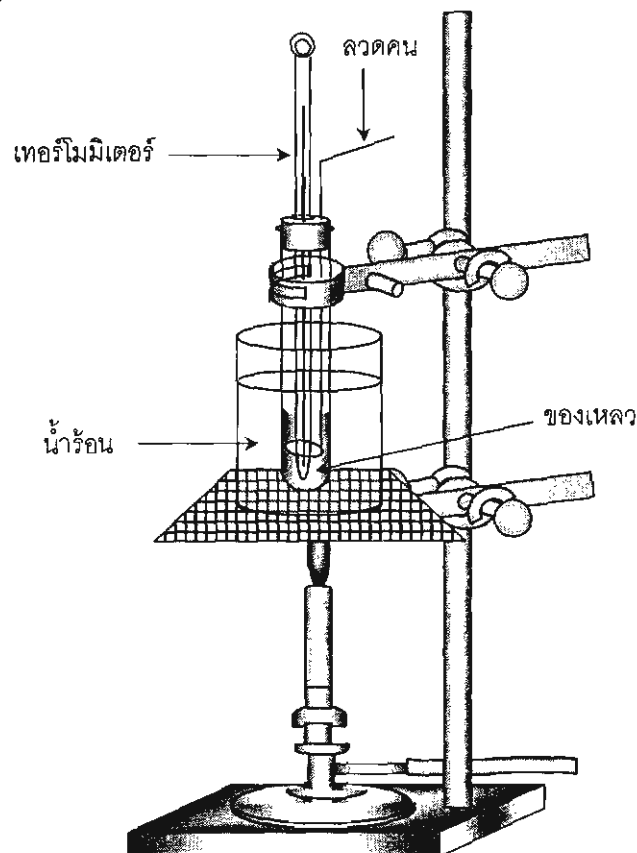
ระบบที่ 2 ใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล

1. นำหลอดทดลองที่แห้งและสะอาด พร้อมจุกยางที่มีเทอร์โมมิเตอร์และลวดคนเสียบบนอยู่ มาชั่งน้ำหนัก
2. เติม 2-เมทิล-2-โพรพานอล ประมาณ 25 mL เทลงในหลอดทดลอง ปิดหลอดทดลอง นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนัก 2-เมทิล-2-โพรพานอล บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. นำหลอดทดลองที่ใส่ 2-เมทิล-2-โพรพานอล ไปอุ่นในปิกเกอร์น้ำร้อน จัดอุปกรณ์ดังรูป 3 พร้อมกับคนโยดิ่งลวดคนขึ้นลงอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ จนอุณหภูมิของ 2-เมทิล-2-

โพรพานอล ร้อนประมาณ 50°C

- นำหลอดทดลองออกจากบีกเกอร์น้ำร้อนแล้วแช่ในบีกเกอร์น้ำเย็น พร้อมทั้งคนของเหลวในหลอดอย่างช้า ๆ ตลอดเวลา บันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาที จนอุณหภูมิของเหลวลดลงถึงประมาณ 40°C
- เติมน้ำแข็งลงในบีกเกอร์ที่ละน้อย ๆ พร้อมกับอ่านอุณหภูมิต่อเนื่องไปทุก ๆ 30 วินาที ให้สังเกตอุณหภูมิที่ของเหลวเริ่มแข็งตัว และอ่านอุณหภูมิต่อจนแข็งตัว อ่านต่อไปอีกประมาณ 3 นาที
- ทำให้ของแข็งในหลอดทดลองค่อย ๆ หลอมเป็นของเหลวจนหมด เก็บไว้ทำการทดลองตอนที่ 2 ต่อ
- เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา เช่นเดียวกับรูป 1 เพื่อหาจุดเยือกแข็งของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล



รูป 3 การจัดอุปกรณ์ในการหาจุดเยือกแข็งเมื่อใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายกรดเบนโซอิกใน 2-เมทิล-2-โพรพานอล

1. เติมกรดเบนโซอิกประมาณ 2.00 g ลงในหลอดทดลองตอนที่ 1 เวลาเทระวังอย่าให้สารติดข้างหลอด คนให้ละลายจนหมด ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำไปอุ่น ทำเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 3-5
3. ทำให้ของแข็งในหลอดทดลองค่อย ๆ หลอมเป็นของเหลวจนหมด แล้วเทลงในภาชนะที่ห้องปฏิบัติการจัดไว้ให้
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เพื่อหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย

คำถามท้ายบท

1. สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ในน้ำ 1 โมลแลล กำหนดให้มีการแตกตัวอย่างสมบูรณ์ จงคำนวณ van's Hoff factor และจุดเยือกแข็งของสารละลายนี้
2. ในการหามวลโมเลกุล ทำการทดลองโดยเพิ่มปริมาณตัวละลายให้มากเป็นสองเท่า แต่ใช้ตัวทำละลายเท่าเดิม จะทำให้มวลโมเลกุลที่หาได้ผิดพลาดหรือไม่ เพราะเหตุใด
3. เมื่อนำน้ำเกลือหรือน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเท่ากันไปแช่ของแข็งในตู้เย็น สารละลายใดจะแข็งตัวก่อนกัน เพราะเหตุใด
4. ขณะที่สารละลายเย็นตัวลงถ้าตัวทำละลายแข็งตัวแยกตัวออกจากสารละลาย ปรากฏการณ์เช่นนี้จะมีผลต่อความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายอย่างไร

การกำจัดของเสีย

สารละลายเกลือต่าง ๆ สามารถนำกลับไปใช้ในการทดลองที่ 1 หรือการทดลองที่ 17 การวิเคราะห์แอนไอออนและแคตไอออน เนื่องจากสารอื่น ๆ ที่ใช้ไม่เป็นพิษจึงสามารถจัดเก็บเพื่อรอการกำจัดในภายหลัง

เอกสารอ้างอิง

1. H.F.M Holtzclaw, W.R. Robinson and W.H. Nebergall, *College Chemistry with Quantitative Analysis*, D.C. Heath , Lexington, 1984.
2. ทบวงมหาวิทยาลัย, เคมี 1, อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ, 2540.

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย :
การลดลงของจุดเยือกแข็ง

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....
อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตาราง 1 ข้อมูลการทดลอง

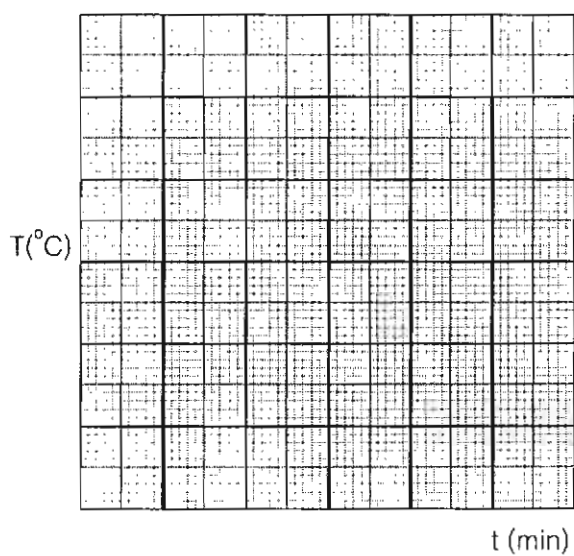
รายการ	น้ำหนัก (g)
หลอด+อุปกรณ์	
หลอด+อุปกรณ์+น้ำ	
หลอด+อุปกรณ์+กลูโคส	
หลอด+อุปกรณ์+NaCl	
หลอด+อุปกรณ์+MgSO ₄	

ตาราง 2 ผลการทดลอง

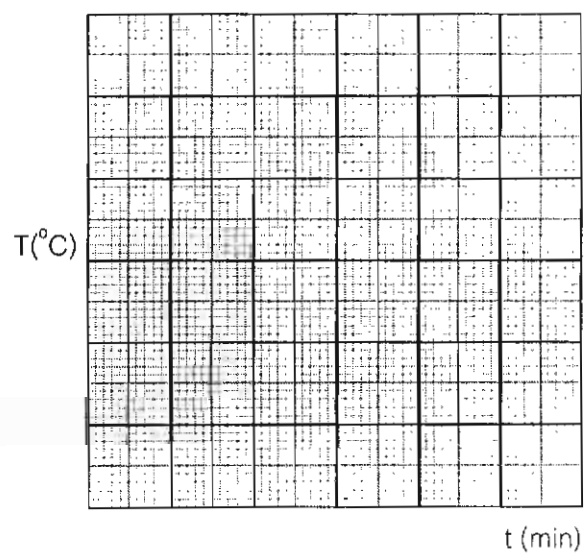
สาร	น้ำหนัก (g)	จำนวนโมลของ ตัวละลาย (mol)	ความเข้มข้นของ สารละลาย (m)
น้ำ			
กลูโคส (M = 180)			
NaCl (M = 58.5)			
MgSO ₄ (M = 120)			

ตาราง 3 อุณหภูมิของของเหลวที่เวลาต่าง ๆ

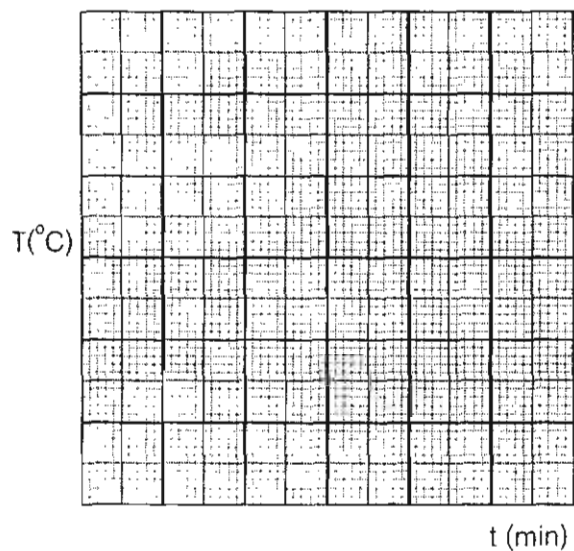
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำ	กลูโคส	NaCl	MgSO ₄		น้ำ	กลูโคส	NaCl	MgSO ₄
0.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5				
0.5					6.0				
1.0					6.5				
1.5					7.0				
2.0					7.5				
2.5					8.0				
3.0					8.5				
3.5					9.0				
4.0					9.5				
4.5					10.0				
5.0									



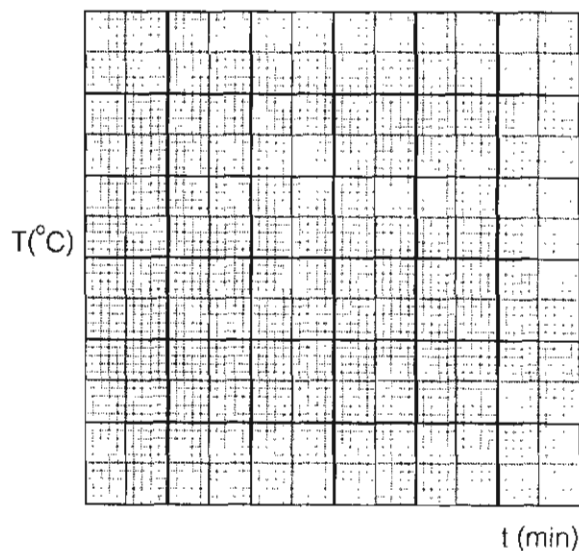
รูปกราฟการเย็นตัวของน้ำ



รูปกราฟการเย็นตัวของสารละลายกลูโคส



รูปกราฟการเยือกแข็งของสารละลาย NaCl



รูปกราฟการเยือกแข็งของสารละลาย $MgSO_4$

จากกราฟ จุดเยือกแข็งของน้ำ, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคส, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายโซเดียมคลอไรด์, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต, °C

ระบบที่ 2 ใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย

ตาราง 1 ข้อมูลการทดลอง

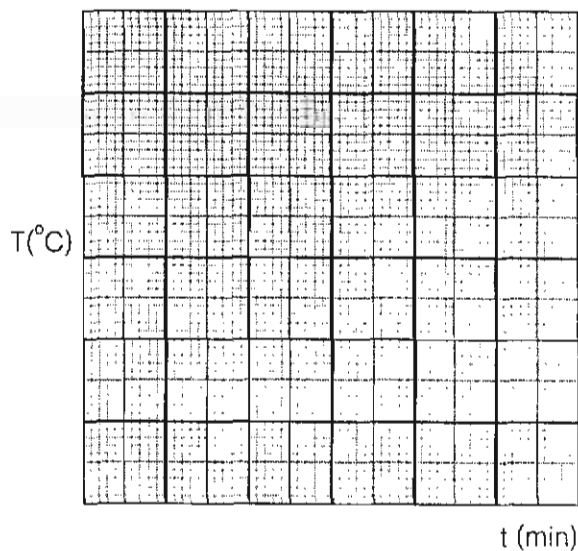
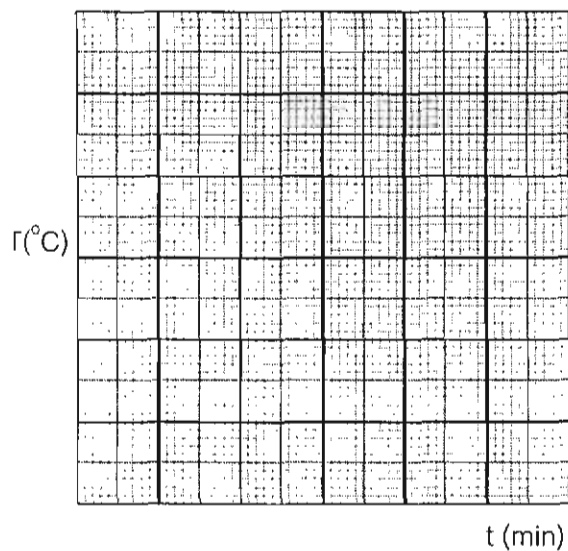
รายการ	น้ำหนัก (g)
หลอด+อุปกรณ์	
หลอด+อุปกรณ์+2-เมทิล-2-โพรพานอล	
หลอด+อุปกรณ์+กรดเบนโซอิก	

ตาราง 2 ผลการทดลอง

สาร	น้ำหนัก (g)	จำนวนโมลของ ตัวละลาย (mol)	ความเข้มข้นของ สารละลาย (m)
2-เมทิล-2-โพรพานอล			
กรดเบนโซอิก (M = 122)			

ตาราง 3 อุณหภูมิของของเหลวที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)		เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	
	2-เมทิล- 2-โพรพานอล	สารละลาย กรดเบนโซอิก		2-เมทิล- 2-โพรพานอล	สารละลาย กรดเบนโซอิก
0.0			5.5		
0.5			6.0		
1.0			6.5		
1.5			7.0		
2.0			7.5		
2.5			8.0		
3.0			8.5		
3.5			9.0		
4.0			9.5		
4.5			10.0		
5.0					



รูปกราฟการเย็นตัวของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล

รูปกราฟการเย็นตัวของสารละลายกรดเบนโซอิก

จากกราฟ จุดเยือกแข็งของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายกรดเบนโซอิก, °C

การคำนวณ

1. จุดเยือกแข็งที่ลดลงของสารละลายกลูโคส, °C
2. จุดเยือกแข็งที่ลดลงของสารละลายโซเดียมคลอไรด์, °C
3. จุดเยือกแข็งที่ลดลงของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต, °C
4. จุดเยือกแข็งที่ลดลงของสารละลายกรดเบนโซอิกใน 2-เมทิล-2-โพรพานอล, °C.....

van's Hoff factor

$$\Delta T_f = i K_f m$$

$$i = K_f \frac{1000 g_1}{M_1 g_2} \Delta T_f$$

คำถามหลังการทดลอง

จงอธิบายค่า van's Hoff factor ที่คำนวณได้ว่าสัมพันธ์กับพฤติกรรมของตัวทำละลายในสารละลายแต่ละชนิดอย่างไร

กลูโคส

.....

.....

NaCl

.....

.....

MgSO₄

.....

.....

กรดเบนโซอิก

.....

.....

การทดลองที่ 14

อุณหพลศาสตร์เคมี

(Chemical Thermodynamics)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเอนทัลปีและเอนโทรปี
2. หาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์
3. หาค่าความร้อนของการละลายและปฏิกิริยาสะเทิน
4. ศึกษากฎของเฮสส์

บทนำ

ในชีวิตประจำวัน ปฏิกิริยาเคมีที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานอย่างชัดเจน คือ ปฏิกิริยาเผาไหม้ที่ทำให้เกิดความร้อน พลังงานที่คายออกจากระบบเป็นพลังงานที่สารตั้งต้นในปฏิกิริยาสะสมไว้ ปริมาณความร้อนที่ถูกสะสมไว้นี้ คือ เอนทัลปีของสาร (enthalpy, ΔH) โดยทั่วไปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองมักจะเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ระบบมีพลังงานต่ำลง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม แต่ปฏิกิริยาดูดความร้อนหลายปฏิกิริยาก็สามารถเกิดได้เองโดยดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบจึงไม่ขึ้นอยู่กับการกำหนดทิศทางของปฏิกิริยาว่าสามารถเกิดได้เองหรือไม่เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง คือ ความไม่เป็นระเบียบหรือเอนโทรปีของระบบ (entropy, ΔS) ซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนสถานะของสาร

วัตถุที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนจะมีเอนโทรปีสูง เพราะความเป็นระเบียบของโมเลกุลลดลงเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น เช่น ของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์มีหลักการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของของเหลวในเทอร์โมมิเตอร์ได้รับพลังงานเพิ่มขึ้น โมเลกุลจะเกิดการเคลื่อนที่และชนกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงผลักดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ขึ้นไปทางขีดที่แสดงอุณหภูมิสูงขึ้น พฤติกรรมนี้เหมือนกับหลอดที่ทำจากโลหะเช่น หลอดทองแดงจะยาวขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งการขยายตัวของโลหะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็นหลักการการทำงานของเทอร์โมสแตต (thermostat)

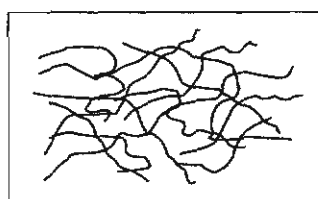
การทดลอง

ตอนที่ 1 ฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

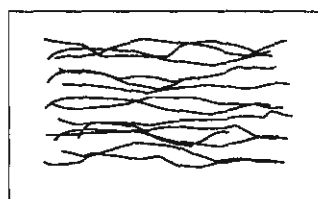
ตอนที่ 2 ความร้อนของปฏิกิริยา

หลักการและทฤษฎี

การศึกษาฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์สามารถศึกษาได้จากพฤติกรรมของแถบยางที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อน เมื่อให้ความร้อนกับแถบยางจะพบว่าแถบยางหดตัวซึ่งต่างจากวัตถุอื่น ๆ ที่มักจะขยายตัว เนื่องจากการยึดหดของแถบยางสัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลซึ่งสามารถอธิบายถึงสมบัติเอนโทรปีได้ โครงสร้างโมเลกุลของแถบยางจะมีความไม่เป็นระเบียบสูง (ΔS สูง) ดังรูป (ก) และเมื่อถูกดึงให้ยืดออก โมเลกุลจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น (ΔS ต่ำ) ดังรูป (ข)



(ก)



(ข)

การดึงให้แถบยางยืดออกหรือการทำให้แถบยางหดตัวจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองไม่ได้ นั่นคือ ΔG จะมีค่าเป็นลบ และถ้าการยืดหดทำให้แถบยางเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งก็คือ การคายพลังงานของแถบยาง (ΔH เป็นลบ) หรือการดูดพลังงานของแถบยาง (ΔH เป็นบวก) การตรวจวัดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าหรือออกจากแถบยางอย่างง่าย ๆ ทำได้โดยนำไปแนบกับผิวหนังส่วนที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ หน้าผากหรือริมฝีปาก

ที่อุณหภูมิคงที่ (T) ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG) ดังสมการ

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

เครื่องหมายของฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ใช้บอกทิศทางของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

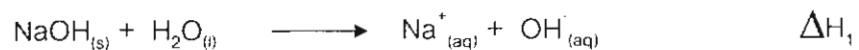
ΔG	ΔH	ΔS
- (เกิดเองได้)	+ (ดูดพลังงาน)	+ (ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น)
+ (เกิดเองไม่ได้)	+ (ดูดพลังงาน)	- (ความไม่เป็นระเบียบลดลง)
- (เกิดเองได้)	- (คายพลังงาน)	+ (ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น)
+ (เกิดเองไม่ได้)	- (คายพลังงาน)	- (ความไม่เป็นระเบียบลดลง)
0 (ระบบอยู่ในสมดุล)	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เมื่อสารทำปฏิกิริยากันจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน ซึ่งอาจเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) หรือปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) ปริมาณความร้อนของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างเอนทาลปีของสารผลิตภัณฑ์กับเอนทาลปีของสารตั้งต้นเท่านั้น ไม่ขึ้นกับวิธีการเปลี่ยนแปลง

กฎของเฮสส์ (Hess's law) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH) ของปฏิกิริยารวมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในปฏิกิริยาย่อยแต่ละขั้น

สำหรับการทดลองนี้จะศึกษาความร้อนของการละลาย ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน และกฎของเฮสส์ โดยศึกษาจากปฏิกิริยา 2 แบบ คือ

ก. ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

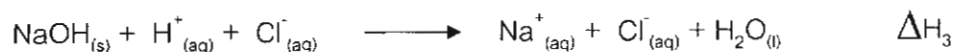


ΔH_1 เรียกว่า ความร้อนของการละลาย



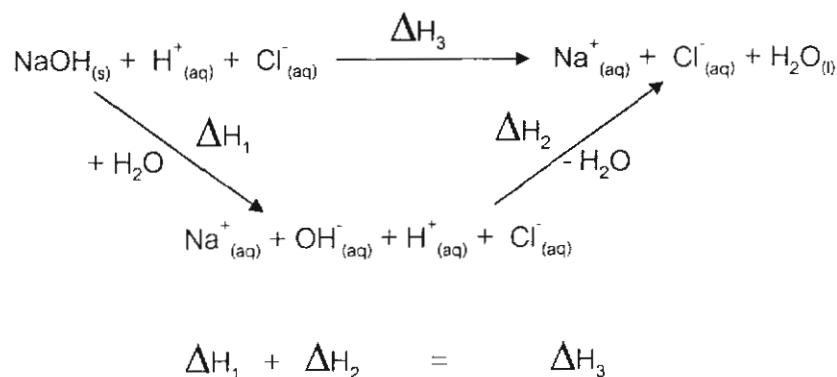
ΔH_2 เรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน

ข. ปฏิกิริยาขั้นตอนเดียว



ΔH_3 เรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยารวม

จากกฎของเฮสส์ จะได้ว่า



การวัดปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทำได้โดยวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง แล้วคำนวณความร้อนที่เปลี่ยนแปลง จากสมการ

$$q = ms\Delta t$$

เมื่อ q = ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลง (J)

m = น้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยา (g)

s = ความร้อนจำเพาะของสาร ($J/^{\circ}C\ g$)

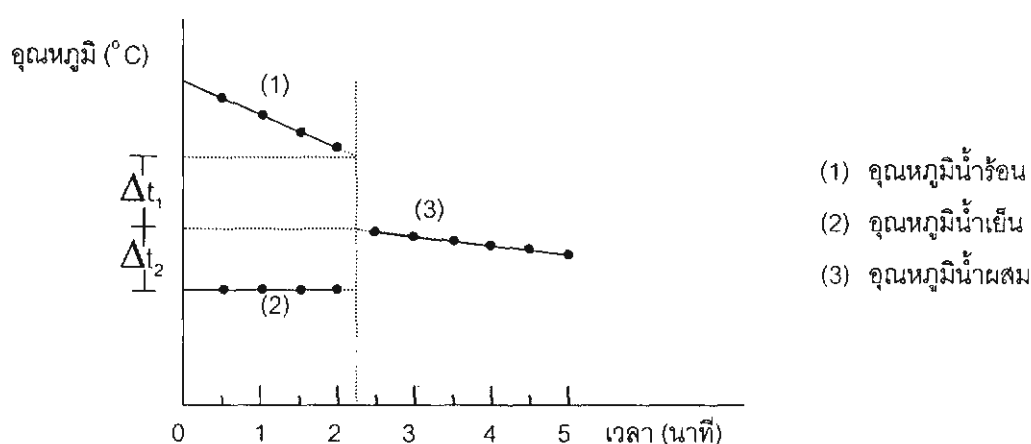
Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($^{\circ}C$)

เมื่อความดันคงที่ $q = \Delta H$ (J/mol ของน้ำ)

การวัดปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงจะทำการทดลองในภาชนะที่เป็นฉนวน เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งจะดูดความร้อนไว้ส่วนหนึ่ง ปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์สูงขึ้น $1^{\circ}C$ นั้นเรียกว่า ค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ ($C_{\text{แคลอรีมิเตอร์}}$) ค่านี้จะเป็นค่าเฉพาะของแคลอรีมิเตอร์แต่ละอัน และหาได้โดยการคำนวณปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องจากการผสมน้ำร้อนและน้ำเย็นในแคลอรีมิเตอร์

เนื่องจากน้ำร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้แคลอรีมิเตอร์และน้ำเย็น ถ้ากำหนดให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับ Δt_1 และน้ำเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับ Δt_2

หาค่า Δt_1 และ Δt_2 โดยการเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ดังรูป 14-1



รูป 14-1 การหาค่า Δt_1 และ Δt_2

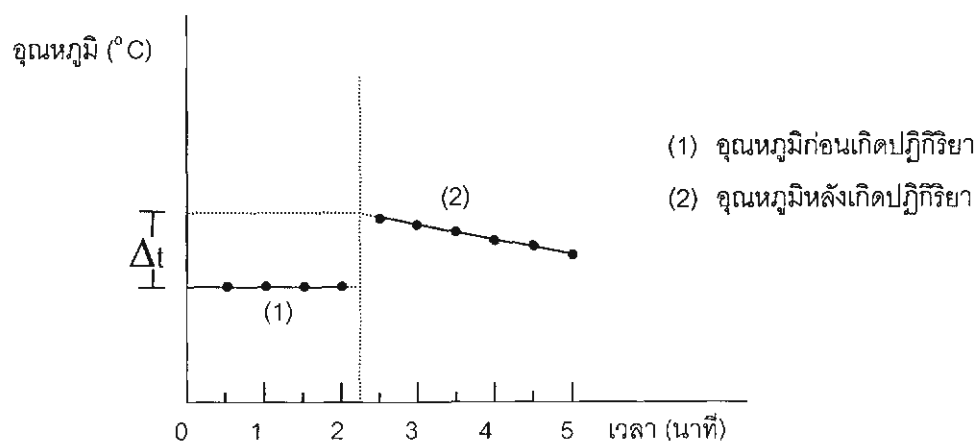
จาก Δt_1 และ Δt_2 สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญหายไปได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนสูญเสีย} &= m_1 s \Delta t_1 \\
 \text{ปริมาณความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ} &= m_2 s \Delta t_2 \\
 \text{ปริมาณความร้อนที่แคลอรีมิเตอร์ดูดไว้ (q_{\text{แคลอรีมิเตอร์}})} &= m_1 s \Delta t_1 - m_2 s \Delta t_2 \\
 \text{ค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ (C_{\text{แคลอรีมิเตอร์}})} &= \frac{m_1 s \Delta t_1 - m_2 s \Delta t_2}{\Delta t_2}
 \end{aligned}$$

ความร้อนของการละลายเป็นผลต่างของพลังงานแลตทิซ(lattice energy)ที่ใช้ทำลายแรงดึงดูดของไอออนบวกและไอออนลบในโครงผลึกกับพลังงานไฮเดรชัน ซึ่งเป็นพลังงานที่คายออกมาเมื่อไอออนบวกและไอออนลบถูกห้อมล้อมด้วยโมเลกุลของน้ำ

สำหรับปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินของกรดแก่กับเบสแก่ทุกชนิดจะมีค่าเท่ากัน เพราะกรดแก่และเบสแก่แตกตัวได้สมบูรณ์ในสารละลาย แต่ในกรณีของกรดแก่กับเบสอ่อนหรือกรดอ่อนกับเบสแก่ ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินบางส่วนถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งขึ้นกับชนิดของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนนั้น

เนื่องจากปฏิกิริยาสะเทินเกิดขึ้นเร็วมาก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีการถ่ายเทอย่างรวดเร็วจึงเป็นการยากที่จะวัดอุณหภูมิขณะนั้น เพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดขณะที่เกิดปฏิกิริยาโดยการต่อกราฟ (extrapolation) ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ดังรูป 14-2



รูป 14-2 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จาก Δt สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนของการละลายได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 q_{\text{การละลาย}} \text{ (J)} &= q_{\text{สารละลาย}} + q_{\text{แคลอรีมิเตอร์}} \\
 &= (m_{\text{สารละลาย}} S_{\text{น้ำ}} \Delta t) + (C_{\text{แคลอรีมิเตอร์}} \Delta t) \\
 &= [(m_{\text{สารละลาย}} S_{\text{น้ำ}}) + C_{\text{แคลอรีมิเตอร์}}] \Delta t \\
 \Delta H \text{ (kJ/mol)} &= \frac{[(m_{\text{สารละลาย}} S_{\text{น้ำ}}) + C_{\text{แคลอรีมิเตอร์}}] \Delta t \times \text{มวลโมเลกุล}}{m_{\text{สาร}} \times 1000}
 \end{aligned}$$

ในการทดลองนี้ จะหาความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ และกรดอ่อนกับเบสแก่ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของกรดอ่อนมีค่าเท่ากับผลต่างของความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินทั้งสอง

ในการทดลองจำเป็นต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์สองอันพร้อมกัน ซึ่งเทอร์โมมิเตอร์แต่ละอันอาจมีความถูกต้องไม่เท่ากัน จึงต้องมีการปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์ก่อนใช้เพื่อให้การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองมีค่าเทียบเท่ากัน

วัสดุอุปกรณ์

1. แกบยาง
2. ตุ่มน้ำหนัก
3. ถ้วยโฟมพร้อมฝาปิดขนาด 8 ออนซ์
4. กระบอกตวง ขนาด 25 mL
5. แท่งแก้วปลายชัดเป็นวงแหวน
6. กระจกนาฬิกา
7. เทอร์โมมิเตอร์ 0° ถึง 100°C
8. นาฬิกาจับเวลา
9. เครื่องนำความร้อน
10. ที่เป่าลมร้อน

สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M และ 1.0 M (hydrochloric acid, HCl)
2. สารละลายกรดแอสติก 1.0 M (acetic acid, 1.0 M CH_3COOH)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ชนิดเม็ดและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 M

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

ตอนที่ 1.1 ยืดแถบยางด้วยมือ

1. ใช้นิ้วจับยืดปลายแถบยางโดยไม่ได้ยืดออก แล้วนำมาวางบนหน้าผากหรือริมฝีปาก อุณหภูมิของแถบยางเป็นอย่างไร เย็น อุ่น หรือเท่ากับอุณหภูมิของผิวหนังที่สัมผัส ทำซ้ำหลายครั้งจนกระทั่งแน่ใจผลการทดสอบ
2. นำแถบยางมายืดออกให้สุด แล้วยืดไว้นำมาแตะที่หน้าผากหรือริมฝีปาก อุณหภูมิของแถบยาง เย็นกว่า หรืออุ่นกว่า หรือเท่ากับเมื่อไม่ยืดออก
3. ปลดปล่อยแถบยางให้กลับสู่สภาพเดิม นำมาแตะที่หน้าผากหรือริมฝีปาก อุณหภูมิของแถบยางเย็นหรืออุ่น ทำการทดสอบข้อ 2 และ 3 ซ้ำหลายครั้ง จนกระทั่งแน่ใจผลทดสอบ
4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบกับฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์
5. ผลของการทดสอบสอดคล้องกับกรณีใดต่อไปนี้

กรณีที่ 1	แถบยาง + ความร้อน	————→	แถบยางยืด
กรณีที่ 2	แถบยาง	————→	แถบยางยืด + ความร้อน
กรณีที่ 3	แถบยาง	————→	แถบยางยืด (ไม่มีถ่ายเทความร้อน)

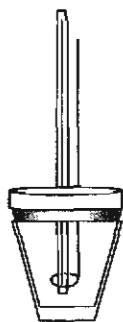
ตอนที่ 1.2 ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด

1. ยืดปลายแถบยางไว้กับที่แขวน ส่วนอีกปลายหนึ่งถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนัก โดยที่ตุ้มน้ำหนักควรมีน้ำหนักมากพอที่จะทำให้แถบยางยืดออก แต่ไม่ควรหนักมากเกินไปจนทำให้แถบยางขาด
2. จากนั้นนำที่เป่าลมร้อนมาให้ความร้อนกับแถบยาง โดยเปิดที่เป่าลมร้อนไว้จนร้อนแล้วค่อยนำไปเป่าแถบยางที่ยืดด้วยตุ้มน้ำหนัก แถบยางที่ยืดนั้นจะยาวขึ้นหรือหดสั้นลง
3. ทำการทดสอบซ้ำหลาย ๆ ครั้ง และตรวจสอบผลที่ได้ว่าสอดคล้องกับการทดสอบเมื่อยืดแถบยางด้วยมือหรือไม่

ตอนที่ 2 ความร้อนของการละลายและปฏิกิริยาสะเทิน

เตรียมแคลอริมิเตอร์

วัดยางหนาเส้นใหญ่รอบด้วยโฟมพร้อมฝาปิดต่ำลงมาจากขอบถ้วยประมาณ 1 cm นำไปสวมลงในถ้วยโฟมอีกใบกดให้แน่น ตัดฝาด้วยมีดเป็นเส้นกากบาทให้ได้ขนาดพอดีสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์และแท่งแก้วปลายชัดเป็นวงแหวน



ตอนที่ 2.1 การปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์

1. วัดอุณหภูมิห้องโดยอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์สองอัน บันทึกผล
2. เลือกเทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านค่าได้สูงกว่า (กำหนดให้เป็นเทอร์โมมิเตอร์ 1) สำหรับอ่านอุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์
3. นำเทอร์โมมิเตอร์อันที่อ่านค่าได้ต่ำกว่า (กำหนดให้เป็นเทอร์โมมิเตอร์ 2) สำหรับวัดอุณหภูมิสารละลาย เมื่ออ่านค่าอุณหภูมิแล้วให้นำค่าที่ต่างจากเทอร์โมมิเตอร์ 1 ไปบวกเพิ่ม แล้วจึงบันทึกค่าที่ปรับเทียบแล้ว

ตอนที่ 2.2 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

1. ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์เปล่า ตวงน้ำกลั่น 25 mL ลงในแคลอริมิเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และตวงน้ำกลั่นร้อนประมาณ 50°C มา 25 mL ใส่ในปิเกตอร์ อ่านอุณหภูมิของน้ำร้อนและเย็นพร้อมกันทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที
2. เทน้ำร้อนใส่ในแคลอริมิเตอร์อย่างรวดเร็ว ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ และบันทึกอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์อีกครั้ง
3. ล้างแคลอริมิเตอร์ กู้ด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของน้ำเย็น น้ำร้อน และน้ำผสม เพื่อหาอุณหภูมิขณะผสมทำนองเดียวกับรูป 14-1 และคำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ตอนที่ 2.3 การหาปริมาณความร้อนของการละลายของ $\text{NaOH}_{(s)}$

1. ชั่ง NaOH (ชนิดเม็ด) ประมาณ 4 กรัม บนกระจกนาฬิกา
ควรระวังอย่างรวดเร็วเพราะ NaOH ดูดน้ำจากอากาศได้ NaOH เป็นสารที่กัดกร่อน
อย่าให้ถูกผิวหนัง ห้ามใช้มือจับ
2. ตวงน้ำกลั่น 50 mL ลงในแคลอรีมิเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก อ่านอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที
3. รีบเท NaOH (ชนิดเม็ด) ลงในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อช่วยให้การละลายดีขึ้น และบันทึกอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที
เทสารละลายลงในภาชนะที่เตรียมไว้ให้ เพื่อนำกลับไปใช้ในการทดลองอื่น ๆ เช่น การหาแคลิอิกอนและแอนไฮอิกอน
4. ล้างแคลอรีมิเตอร์ ก้วด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
5. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาของน้ำกลั่นและสารละลาย NaOH ทำนองเดียวกับรูป 14- 2 และคำนวณหาค่าความร้อนของการละลาย (ΔH_f) (ดูหมายเหตุ)

ตอนที่ 2.4 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ
สารละลาย NaOH

1. ตวงสารละลาย 1.0 M HCl 25 mL ใส่ในแคลอรีมิเตอร์ ชั่งน้ำหนัก และตวงสารละลาย 1.0 M NaOH 25 mL ใส่ในบีกเกอร์
2. วัดอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองพร้อมกันทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที เทสารละลาย NaOH ลงในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ อ่านอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักแคลอรีมิเตอร์อีกครั้ง
3. ล้างแคลอรีมิเตอร์ ก้วด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาของสารละลายกรด เบส และสารละลายผสม และคำนวณหาค่าความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างต่อโมลของน้ำ (ΔH_2) (ดูหมายเหตุ)

ตอนที่ 2.5 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH_(s)

1. ชั่ง NaOH (ชนิดเม็ด) ประมาณ 4 กรัมบนกระชกนาฬิกา
ควรระวังอย่างรวดเร็วเพราะ NaOH ดูดน้ำจากอากาศได้ NaOH เป็นสารที่กัดกร่อน
อย่าให้ถูกผิวหนัง ห้ามใช้มือจับ
2. ตวงสารละลาย 0.5 M HCl 50 mL ใส่ในแคลอรีมิเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนัก อ่านอุณหภูมิ
ทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที
3. รีบเท NaOH (ชนิดเม็ด) ใส่ในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อช่วยให้
การละลายดีขึ้น และบันทึกอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนัก
แคลอรีมิเตอร์อีกครั้ง
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของกรดและสารละลาย และ คำนวณหาค่าความร้อน
ของปฏิกิริยาระหว่างต่อโมลของน้ำ (ΔH_3) (ดูหมายเหตุ)

ตอนที่ 2.6 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย CH₃COOH กับ
สารละลาย NaOH

ใช้ 1.0 M CH₃COOH แทน 1.0 M HCl ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 2.4 คำนวณหาค่า
ความร้อนของการสะเทินต่อโมลของน้ำ แล้วคำนวณหาปริมาณความร้อนในการแตกตัวของ
CH₃COOH

ในการทดลอง $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ เป็นไปตามกฎของเฮสส์ หรือไม่ ถ้าไม่ เพราะเหตุใด

หมายเหตุ

1. กำหนดให้น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 4.18 J/°C g
2. กำหนดให้สารละลายทุกชนิดมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 4.18 J/°C g
3. สมมติให้ปริมาตรของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดปฏิกิริยา
4. สารละลายของกรดและเบสอาจมีอุณหภูมิเริ่มต้นไม่เท่ากัน กรณีนี้ให้คิดอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ย
ระหว่างกรดและเบส

คำถามท้ายบท

1. ถ้าเปลี่ยนแคลอรีมิเตอร์ ปริมาณความร้อนที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ถ้าเปลี่ยนชนิดของกรดแก่หรือเบสแก่ในปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ จะมีผลต่อการทดลองหรือไม่ เพราะเหตุใด
3. ชนิดของเบสอ่อนมีผลต่อความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อนอย่างไร
4. เมื่อผสมของเหลวสองชนิดที่มีอุณหภูมิเท่ากันเข้าด้วยกัน ปรากฏว่าอุณหภูมิของสารละลายที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม แสดงว่าความร้อนของสารละลายเท่ากับศูนย์ ใช่หรือไม่ จงอธิบาย
5. เมื่อผสมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำเย็น 0°C และในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำแข็ง 0°C การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลังผสมของสารละลายในทั้งสองบีกเกอร์จะเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
6. ถ้ารู้ค่าพลังงานไฮเดรชันและความร้อนของการละลาย จะสามารถหาค่าพลังงานแลตทิซของสารตั้งต้นได้หรือไม่ เขียนสมการอธิบาย

เอกสารอ้างอิง

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, *ปฏิบัติการเคมีทั่วไป*, อักษรไทย, 2541.
2. ทบวงมหาวิทยาลัย, *เคมี 1*, พิมพ์ครั้งที่ 10, อักษรเจริญทัศน์, 2540.

การจัดการของเสีย

สารละลายกรดและเบสต่าง ๆ สามารถนำกลับไปใช้ในการทดลองอื่น ๆ ได้ เช่น การหาแคตไอออนและแอนไอออน ในกรณีที่ต้องการทดสอบสารละลายทิ้งหรือทำสารละลายหกควรทำให้เป็นกลางหรือทำให้เจือจางก่อน ถ้าสารละลายเป็นกรดควรทำให้เป็นกลางด้วย CH_3COOH และ ถ้าสารละลายเป็นเบส ทำให้เป็นกลางด้วย NaHCO_3 แล้วจึงเทลงท่อน้ำทิ้ง พร้อมเปิดน้ำตามปริมาณมาก

รายงานผลการทดลองเรื่อง ความร้อนของปฏิกิริยา

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....
 อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

ตอนที่ 1 พลังงานอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

ตอนที่ 1.1 ยืดแถบยางด้วยมือ

1. ผลการทดสอบ

การทดสอบ	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของแถบยาง	ΔG	ΔH	ΔS
ยืดแถบยาง				
ปล่อยแถบยางที่ยืดให้หดกลับ				

2. แสดงความสัมพันธ์ของเอนโทรปีกับโครงสร้างโมเลกุลของแถบยาง

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี
ยืดแถบยาง		
ปล่อยแถบยางที่ยืดให้หดกลับ		

3. เขียนสมการที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

.....

ตอนที่ 1.2 ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด

1. ผลการทดสอบ

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงของแถบยาง	ΔG	ΔH	ΔS
ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด				

2. แสดงความสัมพันธ์ของเอนโทรปีกับโครงสร้างโมเลกุลของแถบยาง

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี
ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด		

3. เปรียบเทียบผลการทดสอบกับตอนที่ 1.1

.....

ตอนที่ 2 ความร้อนของการละลายและปฏิกิริยาสะเทิน

ตอนที่ 2.1 การปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์

อุณหภูมิห้อง อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ 1 =°C

อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ 2 =°C

อุณหภูมิที่ใช้ปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์ 2 =°C

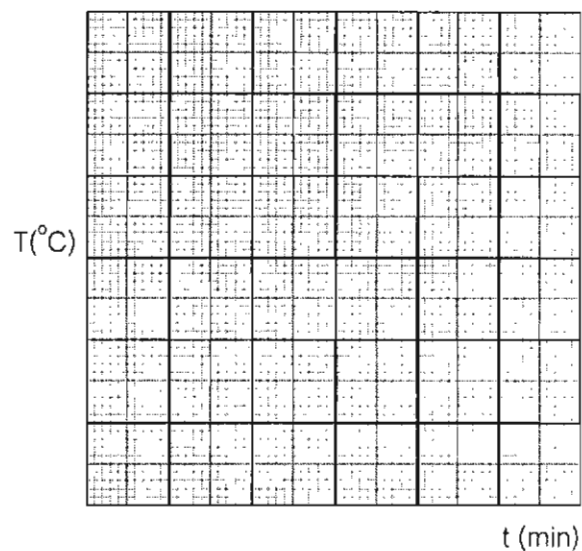
ตอนที่ 2.2 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอริมิเตอร์	
แคลอริมิเตอร์+น้ำเย็น	
แคลอริมิเตอร์+น้ำผสม	

รายการ	น้ำหนัก (g)	อุณหภูมิจากกราฟ (°C)
น้ำร้อน		
น้ำเย็น		
น้ำผสม		

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)		
	น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำผสม
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			



ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนสูญเสีย

..... J

ปริมาณความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ

..... J

ปริมาณความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ดูดไว้

..... J

อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง(จากกราฟ)

..... °C

ค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

..... kJ/°C

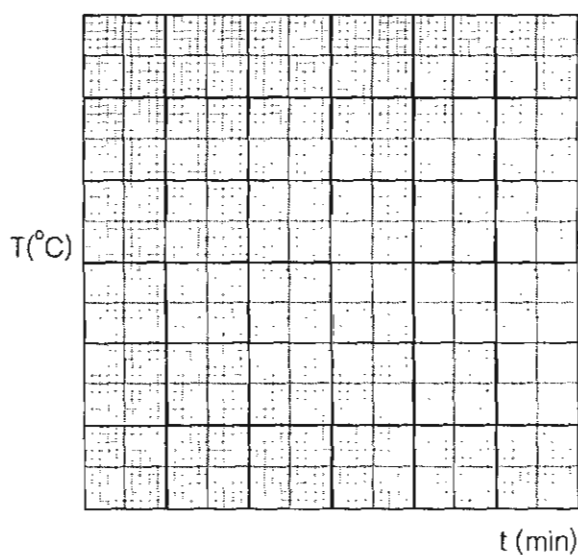
ตอนที่ 2.3 การหาปริมาณความร้อนของการละลายของ $\text{NaOH}_{(s)}$

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอริมิเตอร์+น้ำกลั่น	
แคลอริมิเตอร์+สารละลาย	

รายการ	น้ำหนัก (g)	อุณหภูมิจากกราฟ (°C)
NaOH		
น้ำกลั่น		
สารละลาย		

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	
	น้ำกลั่น	สารละลาย NaOH
0.5		
1.0		
1.5		
2.0		
2.5		
3.0		
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		



ความร้อนของการละลาย NaOH (q_r)

J

ความร้อนของการละลาย NaOH (ΔH_r)

kJ/ mol

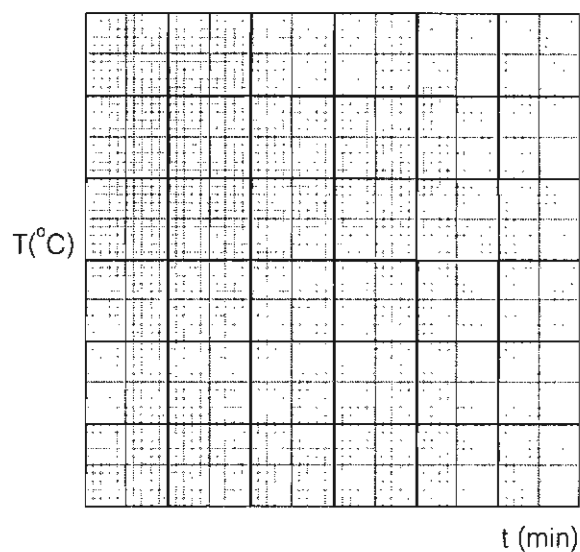
ตอนที่ 2.4 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับ
สารละลาย NaOH

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+HCl	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

รายการ	น้ำหนัก (g)	อุณหภูมิจาก กราฟ (°C)
HCl		
NaOH		
สารละลายผสม		

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)		
	HCl	NaOH	สารละลายผสม
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			



อุณหภูมิของสารละลาย HCl และสารละลาย NaOH (เฉลี่ย) °C

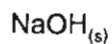
ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับสารละลาย NaOH (q_2)

..... J

ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับสารละลาย NaOH (ΔH_2)

..... kJ/mol

ตอนที่ 2.5 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ

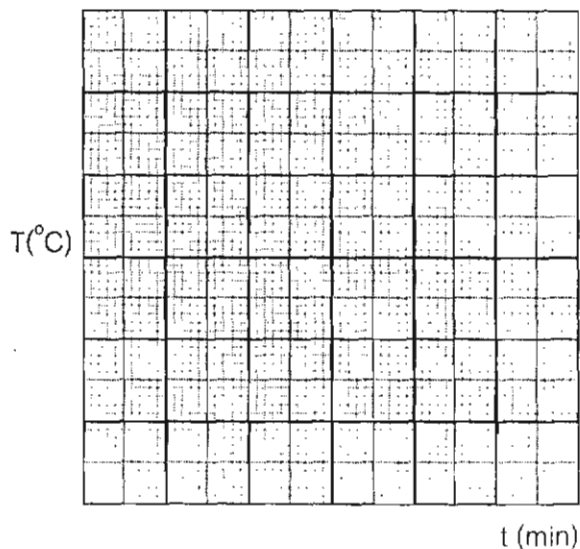


ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+HCl	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

รายการ	น้ำหนัก (g)	อุณหภูมิจาก กราฟ (°C)
NaOH		
HCl		
สารละลายผสม		

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	
	สารละลาย HCl	สารละลายผสม
0.5		
1.0		
1.5		
2.0		
2.5		
3.0		
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		



ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH (q_3) J

ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH (ΔH_3) kJ/ mol

จากการทดลอง $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

.....

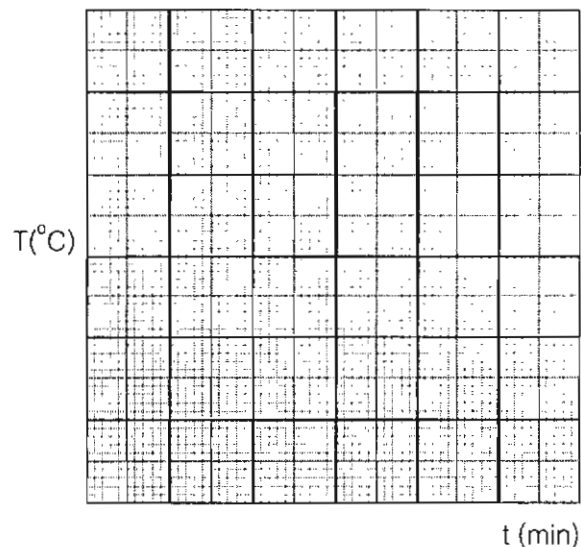
ตอนที่ 2.6 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย CH_3COOH กับ
สารละลาย NaOH

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+ CH_3COOH	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

รายการ	น้ำหนัก (g)	อุณหภูมิจาก กราฟ ($^{\circ}\text{C}$)
NaOH		
CH_3COOH		
สารละลายผสม		

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)		
	CH_3COOH	NaOH	สารละลายผสม
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			



ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย CH_3COOH และสารละลาย NaOH

.....J

ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย CH_3COOH และสารละลาย NaOH

.....kJ/mol

ความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของ CH_3COOH

.....kJ/mol

การทดลองที่ 15

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

วัตถุประสงค์

1. วัดความดันไอของน้ำในช่วงอุณหภูมิ 50 - 80 °C ด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย
2. หาคำความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในช่วงอุณหภูมิ 50 - 80 °C

บทนำ

ความดันไอ หรือ ความดันไอที่ภาวะสมดุล (Equilibrium vapor pressure) หมายถึง ความดันของไอของเหลวที่อยู่ในภาวะสมดุลกับของเหลว

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของของเหลว 1 โมล ให้กลายเป็นไอที่ภาวะสมดุลนั้น

ความดันไอของเหลวมีส่วนสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ตามสมการของคลาเปรอง (Clapeyron equation) ดังนี้

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

T = จุดเดือดของของเหลว (K)

V_{vap} = ปริมาตรของไอ

V_{liq} = ปริมาตรของของเหลว

ΔH_{vap} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

P = ความดันไอ

เนื่องจาก $V_{\text{vap}} \gg V_{\text{liq}}$ จึงประมาณได้ว่า $\Delta V = V_{\text{vap}}$

เมื่อพิจารณาว่าไอมีพฤติกรรมเป็นแก๊สอุดมคติ จะได้

$$V_{\text{vap}} = \frac{nRT}{P}$$

เมื่อ $n = 1$

$$V_{\text{vap}} = \frac{RT}{P}$$

แทนค่า ΔV ใน (1) จะได้

$$\frac{dP}{dT} = \Delta H_{\text{vap}} \frac{P}{RT^2} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{P} = \Delta H_{\text{vap}} \frac{dT}{RT^2} \quad (3)$$

ในกรณีที่พิจารณาว่า ΔH_{vap} มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดให้ จะได้

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

เมื่อ C = ค่าคงที่

แทนค่า P_1, P_2 = ความดันไอที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ ได้ว่า

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

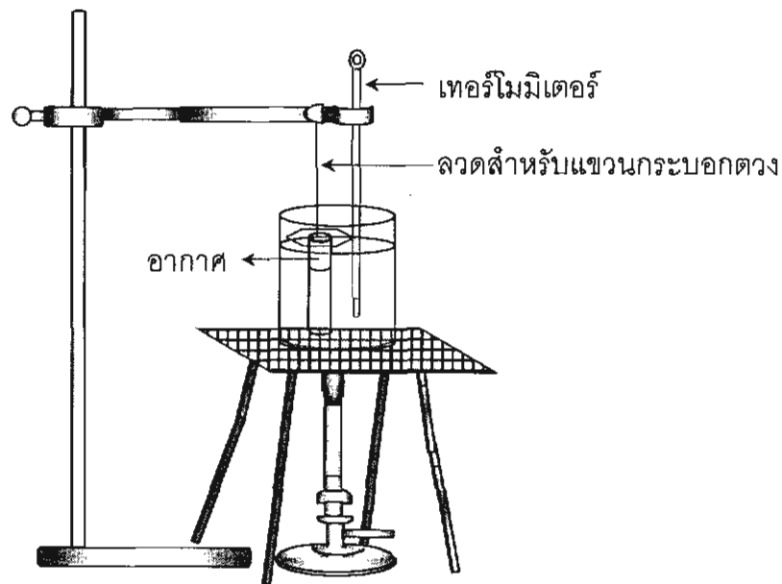
สามารถใช้สมการนี้คำนวณค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของของเหลวชนิดหนึ่ง ๆ ได้
เมื่อทราบความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การทดลอง

การวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50 – 80 °C

หลักการและทฤษฎี

เมื่อคว่ำกระบอกตวงที่มีน้ำบรรจุอยู่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำ โดยจัดให้มีช่องอากาศจำนวนหนึ่งอยู่ในกระบอกตวงดังรูป ภายในส่วนของช่องอากาศประกอบด้วยอากาศและไอน้ำจำนวนหนึ่ง ความดันของแก๊สผสมจะเท่ากับความดันของไอน้ำรวมกับความดันของอากาศ ($P_{\text{total}} = P_{\text{air}} + P_{\text{water}}$)



อุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่ออุ่นน้ำในปิกเกอร์ให้ร้อนขึ้น น้ำจะระเหยกลายเป็นไอน้ำได้มากขึ้น ปริมาณของไอน้ำในที่ว่างจะเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณอากาศจะคงที่ หรือกล่าวได้ว่าจำนวนโมลของไอน้ำในแก๊สผสมจะแปรตามอุณหภูมิ แต่จำนวนโมลของอากาศจะคงที่ สามารถหาจำนวนโมลของอากาศได้โดยทำการทดลองเพิ่มเติม จากการวัดปริมาตรของที่ว่างในกระบอกตวงที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ซึ่งน้ำจะกลายเป็นไอน้ำได้น้อย โดยเฉพาะที่อุณหภูมิใกล้ 0°C นั้นน้ำจะกลายเป็นไอน้ำได้น้อยมาก (น้อยกว่า 1%) สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นที่อุณหภูมิใกล้ 0°C จึงถือว่ามีแต่อากาศเพียงอย่างเดียว เมื่อวัดปริมาตรของที่ว่างที่อุณหภูมิดังกล่าวก็สามารถถือเป็นปริมาตรของอากาศที่อุณหภูมินั้น ๆ ได้ และความดันของแก๊สผสมก็จะเป็นความดันของอากาศเท่านั้นซึ่งเท่ากับความดันบรรยากาศขณะดำเนินการทดลอง ($P_{\text{air}} = P_{\text{atm}}$) การคำนวณจำนวนโมลของอากาศได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$n_{\text{air}} = \frac{P_{\text{atm}} V}{RT}$$

P_{atm}	=	ความดันของบรรยากาศ (atm)
V	=	ปริมาตรของอากาศ (L) ที่อุณหภูมิใกล้ 0°C
n_{air}	=	จำนวนโมลของอากาศ (mol)
R	=	ค่าคงที่ของแก๊ส ($0.082 \text{ L atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
T	=	อุณหภูมิเคลวิน (K)

เมื่อหาจำนวนโมลของอากาศได้แล้ว ก็จะสามารถคำนวณความดันย่อยของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้จาก

$$P_{\text{air}} = n_{\text{air}} \frac{RT}{V}$$

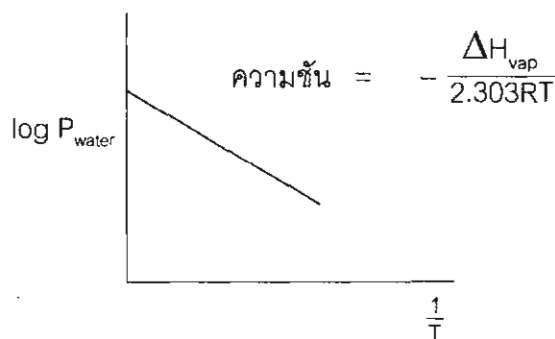
n_{air} = จำนวนโมลอากาศ (mol)
 T = อุณหภูมิ (K)
 V = ปริมาตรของแก๊สผสม (L)

คำนวณความดันไอของน้ำในแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{air}} + P_{\text{water}} \quad \text{หรือ} \quad P_{\text{water}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{air}}$$

จากจำนวนโมลของอากาศและผลการทดลองวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50-80°C

เขียนกราฟระหว่าง $\log P_{\text{water}}$ กับ $\frac{1}{T}$ ได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับ $-\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{2.303RT}$



จากค่าความชันของกราฟเส้นตรง สามารถใช้คำนวณค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำได้เท่ากับ $-2.303 R \times \text{ความชัน}$ ($R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

วัสดุอุปกรณ์

1. บารอมิเตอร์
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ตะเกียงเบนเซน
4. กระบอกตวงขนาด 5 mL
5. แท่งแก้ว
6. บีกเกอร์ขนาด 250 mL

วิธีทดลอง

การวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50-80°C

1. บรรจุน้ำลงในกระบอกตวงประมาณ 2/3 ของปริมาตรทั้งหมด
2. บรรจุน้ำลงในปิกลเกอร์ประมาณครึ่งหนึ่ง
3. ใช้มือปิดปากกระบอกตวงแล้วคว่ำลงในปิกลเกอร์ซึ่งจะทำให้มีอากาศค้างอยู่ในกระบอกตวง ในกรณีที่ระดับน้ำในปิกลเกอร์ไม่ท่วมกระบอกตวง ให้เติมน้ำลงไปจนท่วมกระบอกตวงพอดี
4. จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในปิกลเกอร์ โดยจัดอุปกรณ์ตามรูป
5. อุณหภูมิในปิกลเกอร์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 80°C ขณะทำการทดลองให้ใช้แท่งแก้วคนน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากันทั้งหมดเมื่อน้ำมีอุณหภูมิตามต้องการแล้ว จึงหยุดให้ความร้อน
6. อ่านอุณหภูมิของน้ำ และบันทึกปริมาตรของแก๊สผสมในกระบอกตวงและทุก ๆ 5°C ที่ลดลง จนถึงอุณหภูมิ 50°C
7. ปรับอุณหภูมิของน้ำในปิกลเกอร์ให้ลดลงจนถึงประมาณ 5°C โดยค่อย ๆ ตักน้ำร้อนออกแล้ว เติมน้ำเย็นหรือน้ำแข็งลงในปิกลเกอร์ และต้องรักษาระดับน้ำในปิกลเกอร์ให้ท่วมกระบอกตวงพอดี บันทึกปริมาตรของแก๊สผสมที่ 5°C
8. วัดความดันบรรยากาศขณะทำการทดลอง (จากบารอมิเตอร์)
9. ทดลองซ้ำข้อ 5-7 แล้วนำผลการทดลองทั้งสองครั้ง หาค่าเฉลี่ย

คำถามหลังการทดลอง

1. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log P_{\text{water}}$ กับ $\frac{1}{T}$ จงหาความดันไอของน้ำที่ 62°C
2. ถ้าเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นเอทานอล จะสามารถใช้วิธีการนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
3. ถ้าเติมของเหลวที่ไม่ระเหย แต่ละลายได้ดีในน้ำ ความดันไอของน้ำจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

คำถามท้ายบท

น้ำยากันสนิมที่เติมในหม้อน้ำรถยนต์นอกจากจะมีผลต่อการป้องกันการเกิดสนิมแล้ว จะมีผลต่อความดันไอของน้ำในหม้อน้ำรถยนต์อย่างไร

การกำจัดของเสีย

การทดลองนี้ไม่มีของเสียอันตรายต้องกำจัด

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หนังสือปฏิบัติการเคมีทั่วไป, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2542.

รายงานผลการทดลองเรื่อง การหาความดันไอและความร้อนแฝงของ การเกิดไอของน้ำ

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรแก๊สผสม จากการทดลอง (mL)			V (L)	T (K)	P _{air} (atm)	P _{water}	log P _{water}	$\frac{1}{T}$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย						
80									
75									
70									
65									
60									
55									
50									
5									

ความชันจากกราฟ =

ΔH_{vap} = - 2.303 R x ความชัน

ΔH_{vap} ของน้ำบริสุทธิ์จากคู่มือ = 10.2 kcal/mol หรือ 42.7 kJ/mol

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด =

คำถามหลังการทดลอง

1. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log P_{water} กับ $\frac{1}{T}$ จงหาความดันไอของน้ำที่ 62°C

.....

2. ถ้าเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นเอทานอล จะสามารถใช้วิธีการนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

3. ถ้าเติมของเหลวที่ไม่ระเหย แต่ละลายได้ดีในน้ำ ความดันไอของน้ำจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

.....

การทดลองที่ 16
โครงสร้างผลึก
(Crystal Structure)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค
2. ศึกษาหน่วยเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคในโครงสร้างผลึก
3. คำนวณความหนาแน่นของหน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ

บทนำ

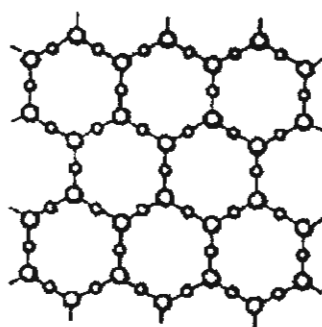
สมบัติของของแข็งจะสัมพันธ์กับโครงสร้างและพันธะเคมีของของแข็งนั้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

1. แบ่งตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคได้ 4 ชนิดดังในตาราง

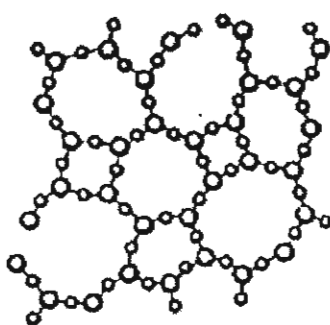
ชนิด	แรงยึดเหนี่ยว	สมบัติ	ตัวอย่าง
ผลึกโมเลกุล (molecular crystal)	แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงขั้วคู่ พันธะไฮโดรเจน	จุดหลอมเหลวต่ำ ระเหยได้	Ar , CH ₄ , CO ₂ SO ₂ H ₂ O
ผลึกไอออนิก (ionic crystal)	แรงดึงดูดแบบไฟฟ้า สถิต (electrostatic force)	จุดหลอมเหลวสูง จุดเดือดสูง นำไฟฟ้าได้เมื่อ หลอมเหลว	LiF NaCl ZnO
ผลึกโคเวเลนต์ (covalent crystal)	พันธะโคเวเลนต์	จุดหลอมเหลวสูง จุดเดือดสูง ไม่นำไฟฟ้า	เพชร กราไฟต์ SiO ₂
ผลึกโลหะ (metallic crystal)	พันธะโลหะ	จุดหลอมเหลวและ จุดเดือดสูงปาน กลาง นำไฟฟ้า	Li , Al , Fe , Zn

2. แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

- ก. ของแข็งอสัณฐาน (amorphous solid) ไม่มีรูปผลึก ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน สมบัติทางกายภาพจะเหมือนกันในทุกทิศทาง (isotropy) เช่น แก้ว ยาง และพลาสติก ไม่มีจุดหลอมเหลวที่ชัดเจน เมื่อให้ความร้อนจะค่อยๆ อ่อนตัวและไหลได้
- ข. ของแข็งผลึก (crystalline solid) มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน เกิดจากการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของอะตอมของธาตุ หรือ โมเลกุลของสารประกอบ สมบัติทางกายภาพอาจไม่เหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropy) มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน ตัวอย่างเช่น SiO_2 เป็นผลึกโคเวเลนต์ โดยมีลักษณะโครงสร้างผลึกดังรูป



ที่อุณหภูมิประมาณ 1600°C จะกลายเป็นของเหลวหนืด ถึงแม้ว่าร่างแหของ Si กับ O ยังคงต่อกันอยู่เป็นส่วนใหญ่ แต่พบว่าพันธะ Si-O จำนวนหนึ่งแตกออก และถ้าทำให้สารหลอมเหลวเย็นตัวอย่างรวดเร็ว อะตอมไม่สามารถจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบทำให้ได้ของแข็งอสัณฐาน ดังรูป



เนื่องจากของแข็งอสัณฐานมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงตามความแข็งแรงแต่ละส่วน จึงทำให้ของแข็งอสัณฐานไม่หลอมเหลวที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ แต่จะค่อย ๆ อ่อนตัวลงในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง

การทดลอง

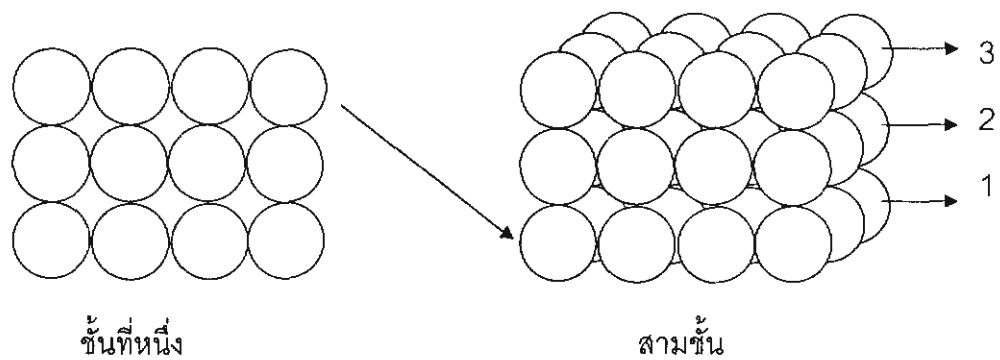
ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

ตอนที่ 2 การศึกษาหน่วยเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคในโครงสร้างผลึก

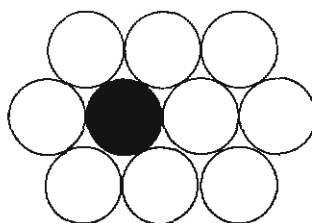
ตอนที่ 3 การคำนวณความหนาแน่นของหน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ

หลักการและทฤษฎี

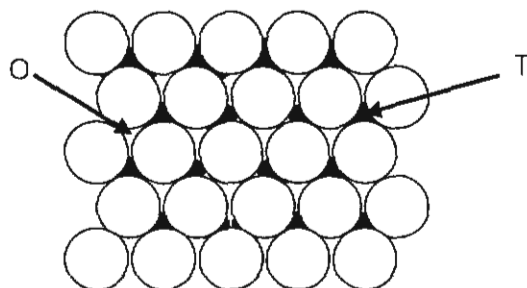
การจัดเรียงอนุภาคแบบ simple cubic จะเป็นการจัดเรียงที่ให้ศูนย์กลางของอนุภาคตรงกันทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังรูป เกิดช่องว่างแบบลูกบาศก์ซึ่งเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ จัดเป็นการจัดเรียงอนุภาคที่มีประสิทธิภาพต่ำ หน่วยเซลล์เป็นรูปลูกบาศก์ที่มีอะตอมอยู่เฉพาะที่มุมทั้งแปดของรูปลูกบาศก์เท่านั้น



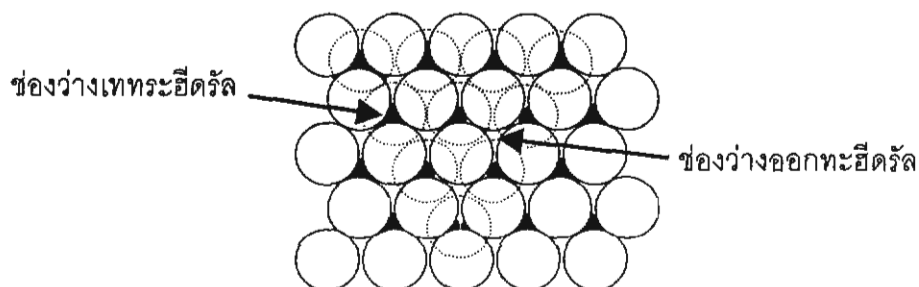
โดยทั่วไปแล้ว โลหะในธรรมชาติเกือบทั้งหมดมีการจัดอะตอมในโครงสร้างผลึกเป็นแบบชิดที่สุด การจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดจะมีปริมาตรของช่องว่างน้อย จัดได้ว่ามีประสิทธิภาพในการจัดเรียงอนุภาคสูง ลักษณะของการจัดเรียงจะให้ศูนย์กลางของอนุภาคอยู่สลับหว่างกัน ดังรูป ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะชั้นที่หนึ่ง เมื่อให้อนุภาคหนึ่งเป็นศูนย์กลาง (ดำ) จะมีอนุภาคข้างเคียงที่สัมผัสกับอนุภาคกลางนั้นเท่ากับ 6 เสมอ



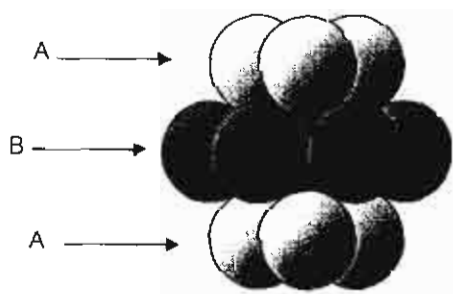
จะพบช่องว่างระหว่างอนุภาคซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมวางทิศทางแตกต่างกัน 2 แบบ เรียกช่องว่าง T (ดำ) และช่องว่าง O (ขาว) ดังรูป



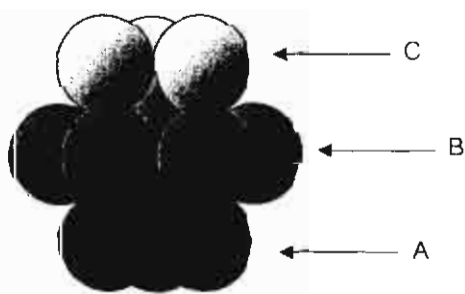
เมื่อวางอนุภาคในชั้นที่สอง โดยวางอนุภาคลงบนช่องว่าง T ทั้งหมด จะเกิดช่องว่างเพชรอีตรัล ตรงช่องว่าง T ทันที ส่วนช่องว่าง O จะเกิดช่องว่างออกทะอีตรัล ดังรูป



การจัดเรียงอนุภาคในชั้นที่ 3 กระทำได้สองแบบคือ วางอนุภาคซ้ำกับชั้นที่หนึ่งหรือวางบนช่องว่างเพชรอีตรัล การจัดเรียงเช่นนี้เป็นแบบ ABABAB... ดังรูป เรียกการจัดเรียงแบบนี้ตามรูปร่างของยูนิทเซลล์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบ hexagonal closest-packing (hcp) แบบที่สองเป็นการวางอนุภาคในชั้นที่สามลงบนช่องว่างออกทะอีตรัล ซึ่งไม่ซ้อนทับกับอนุภาคในชั้นที่หนึ่งและสอง ดังรูป การจัดเรียงเป็นแบบ ABCABC... เรียกการจัดเรียงแบบนี้ว่า การจัดเรียงแบบ face-centered cubic closest-packing (fcc หรือ ccp) ในการจัดเรียงแบบชิดที่สุดทั้งสองแบบ แต่ละอนุภาคทรงกลมจะมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 12 โดยอยู่ในระนาบเดียวกันเท่ากับ 6 อยู่เหนือระนาบและใต้ระนาบ เท่ากับ 3



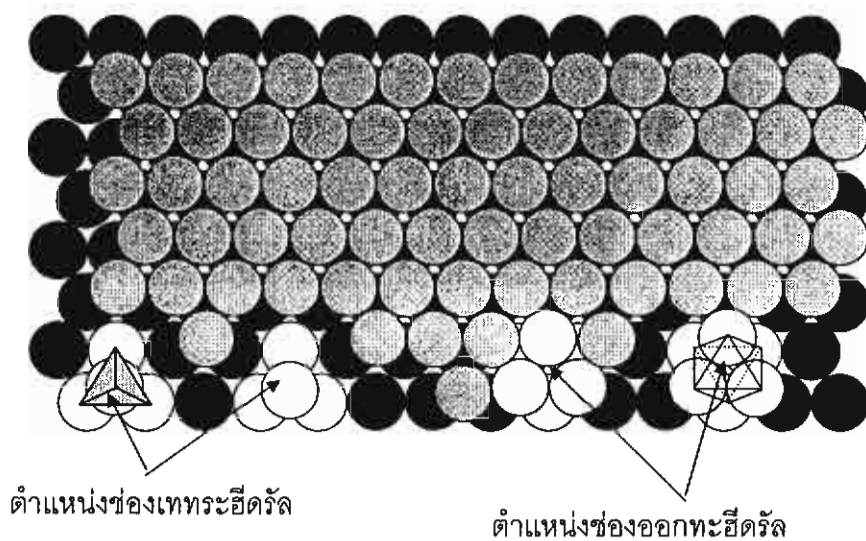
hexagonal closest-packing



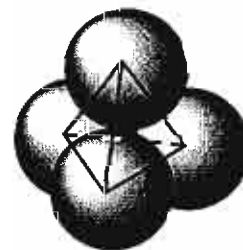
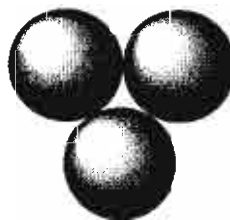
face-centered cubic closest-packing

การจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดเพียงสองชั้นทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นขึ้นสองชนิด คือ ช่องว่างเตตระฮีดรัลและช่องว่างออกตะฮีดรัล ช่องว่างเตตระฮีดรัลจะมีอนุภาคล้อมรอบสี่อนุภาค ส่วนช่องว่างออกตะฮีดรัลจะมีอนุภาคล้อมรอบหกอนุภาค

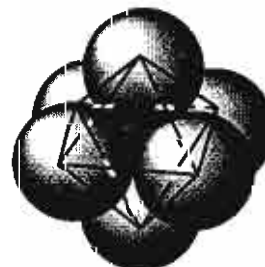
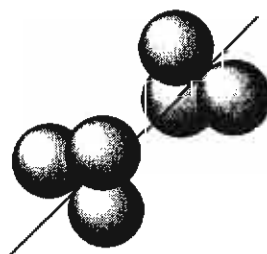
เมื่อวางอนุภาคลงบนช่องว่างแบบสามเหลี่ยมในชั้นที่หนึ่ง จะเกิดช่องว่างเตตระฮีดรัลทันที และจะเกิดช่องว่างออกตะฮีดรัลในตำแหน่งของช่องว่างสามเหลี่ยมที่ถูกเว้นไว้ซึ่งอยู่ติดกันดังรูป



ตำแหน่งของช่องว่างเตตระฮีดรัลและช่องว่างออกตะฮีดรัล



ช่องว่างเตตระฮีดรัล

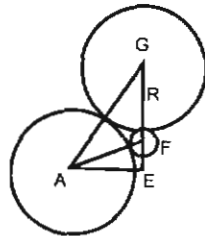
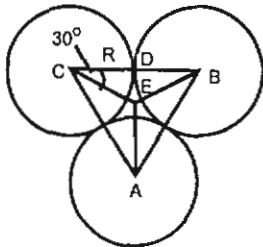
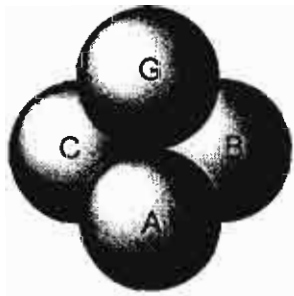


ช่องว่างออกตะฮีดรัล

อัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

1. ช่องว่างแบบเตตระฮีดรัล

เมื่อวางอนุภาคสี่ลูกดังรูป จะเกิดช่องว่างแบบเตตระฮีดรัล ถ้าบรรจุอนุภาคทรงกลมเล็กรัศมี r ลงในช่องว่างนี้ เพื่อเป็นตัวแทนให้เห็นสภาพรัศมีของช่องว่าง จะสามารถคำนวณ อัตราส่วนรัศมีของอนุภาคภายในช่องว่าง (r) กับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก (R) ได้ดังนี้



$$\cos 30^\circ = \frac{R}{CE}$$

$$AE = CE = \frac{R}{\cos 30^\circ} = 1.1547R$$

$$\sin \hat{AGE} = \frac{AE}{AG} = \frac{1.1547R}{2R}$$

$$\sin \hat{AGE} = 0.5773$$

$$\hat{AGE} = 35.25^\circ$$

$$\cos \hat{AGE} = 0.8165$$

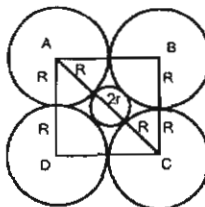
$$\frac{R}{R+r} = 0.8165$$

$$1 + \frac{r}{R} = \frac{1}{0.8165} = 1.225$$

$$\frac{r}{R} = 0.225$$

2. ช่องว่างแบบออกตะฮีดรัล

เมื่อวางอนุภาคหกลูกดังรูป จะเกิดช่องว่างแบบออกตะฮีดรัล คำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาค (r) ในช่องว่างกับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก (R) ได้ดังนี้



$$AB = 2R$$

$$AC = 2R + 2r$$

$$AB = AC \cos 45^\circ$$

$$2R = 2R \cos 45^\circ + 2r \cos 45^\circ$$

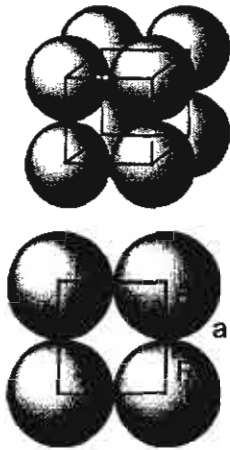
$$2R - 2R \cos 45^\circ = 2r \cos 45^\circ$$

$$\frac{2r}{2R} = \frac{1 - \cos 45^\circ}{\cos 45^\circ}$$

$$\frac{r}{R} = 0.414$$

ความสัมพันธ์ระหว่างด้านของยูนิตเซลล์กับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

ยูนิตเซลล์แบบ Simple Cubic



จากรูปด้านของยูนิตเซลล์เท่ากับสองเท่ารัศมีของอนุภาค

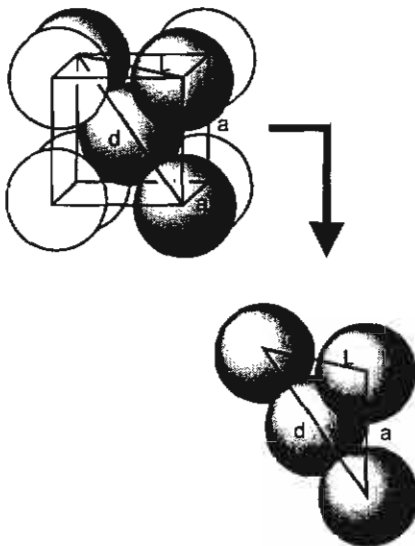
$$a = 2R$$

$$a = \text{ด้านของยูนิตเซลล์}$$

$$R = \text{รัศมีของอนุภาค}$$

$$\text{ปริมาตรของยูนิตเซลล์} = a \times a \times a = 8R^3$$

ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic



เส้นทแยงมุมที่หน้าของยูนิตเซลล์ (L) มีความสัมพันธ์กับด้านของยูนิตเซลล์ (a) ดังนี้

$$L^2 = a^2 + a^2$$

และเส้นทแยงมุมของรูปลูกบาศก์ (d) เท่ากับ 4R

และมีความสัมพันธ์กับ L และ a ดังนี้

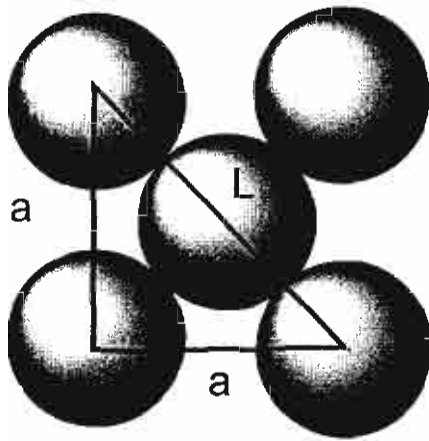
$$d^2 = L^2 + a^2$$

$$(4R)^2 = 3a^2$$

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

ปริมาตรของยูนิตเซลล์ เท่ากับ $\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3$

ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic



$$\text{จากรูป } L = 4R$$

$$L^2 = a^2 + a^2$$

$$(4R)^2 = 2a^2$$

$$8R^2 = a^2$$

$$a = 2\sqrt{2}R$$

ปริมาตรของยูนิตเซลล์ เท่ากับ $(2\sqrt{2}R)^3$

การนับจำนวนอนุภาคในยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์

ในแต่ละยูนิตเซลล์ อนุภาคที่ขอบ, มุมและหน้าจะเป็นส่วนร่วมกับยูนิตเซลล์ข้างเคียงที่ติดกัน ดังนั้นในการนับจำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์ จะกระทำดังนี้

- (1) อนุภาคที่มุม ให้นับ $1/8$ เพราะมีการใช้ร่วมกันแปดยูนิตเซลล์
- (2) อนุภาคที่ผิวหน้า ให้นับ $1/2$ เพราะมีการใช้ร่วมกันสองยูนิตเซลล์
- (3) อนุภาคตามขอบ ให้นับ $1/4$ เพราะมีการใช้ร่วมกันสี่ยูนิตเซลล์
- (4) อนุภาคตรงกลาง ให้นับเต็ม 1 ส่วน เพราะไม่ได้ใช้ร่วมกับยูนิตเซลล์อื่น ๆ

วัสดุอุปกรณ์

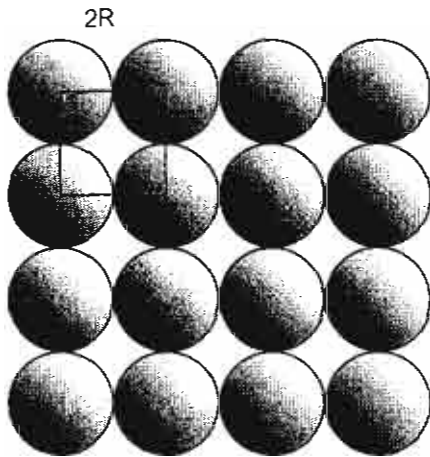
1. ลูกปิงปองเดี่ยว, ลูกปิงปองแพลงก์ตันเทียม 3 ลูก และ 6 ลูก
และลูกปิงปองแพทกเทียม 7 ลูก
2. เม็ดพลาสติกสีแดงและสีเขียว
3. ดินน้ำมัน
4. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
5. เวอร์เนียคาลิเปอร์

วิธีทดลอง

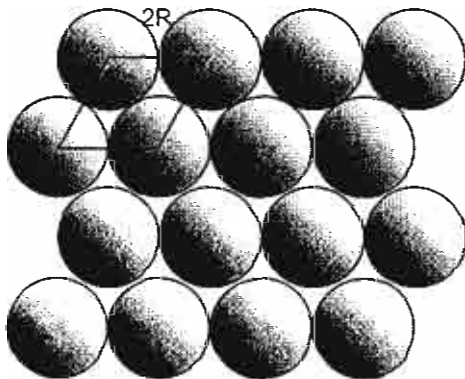
ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

1. การคำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว

วางลูกปิงปองชั้นเดียวตามแบบ (ก) และ (ข)



ก. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวตรงกัน



ข. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวสลับกัน

คำนวณปริมาตรช่องว่าง (V) ของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียวในแบบ ก. และ ข. ดังนี้

$$V = \text{ปริมาตรทั้งหมด (บริเวณที่ขีดเส้น) - ปริมาตรของลูกปิงปอง 1 ลูก}$$

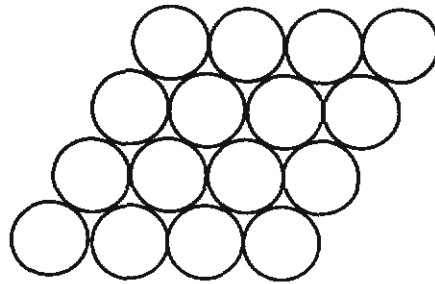
$$\% \text{ ช่องว่าง} = \frac{V}{\text{ปริมาตรทั้งหมด}} \times 100$$

คำถาม

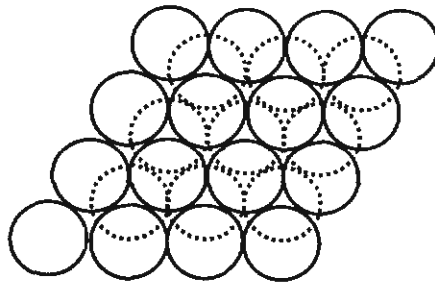
การจัดเรียงอนุภาคแบบใดเป็นพื้นฐานของการจัดเรียงแบบชิดที่สุด

2. ศึกษาชนิดของช่องว่างที่เกิดขึ้นในการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดและคำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

2.1 วางเม็ดพลาสติกลงบนแผ่นลูกปิงปอง โดยวางเม็ดพลาสติกสีแดงลงบนช่องแบบสามเหลี่ยมหัวตั้ง และเม็ดพลาสติกสีเขียวบนช่องแบบสามเหลี่ยมหัวกลับ ให้ครบทุกช่อง



2.2 วางลูกปิงปองเดี่ยวในชั้นที่สอง โดยให้ลูกปิงปองในชั้นที่สองทับเม็ดพลาสติกสีแดง



2.3 ระบุชนิดของช่องว่างที่มีเม็ดพลาสติกสีแดง และสีเขียวบรรจุอยู่ตามลำดับ

2.4 หาอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างที่บรรจุเม็ดพลาสติกแดงและเขียว โดยปั้นดินน้ำมันเป็นทรงกลมขนาดพอดี บรรจุลงในช่องว่างทั้งสอง สังเกตได้จากลูกปิงปองในชั้นที่สองต้องไม่กดดินน้ำมันจนเป็นรอย ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินน้ำมันและลูกปิงปอง

2.5 ทำซ้ำข้อ 2.2 โดยวางลูกปิงปองในชั้นที่สองทับเม็ดพลาสติกสีเขียว และพิจารณาชนิดของช่องว่างที่มีเม็ดพลาสติกสีแดงและสีเขียวบรรจุอยู่ว่าเหมือนเดิมหรือไม่

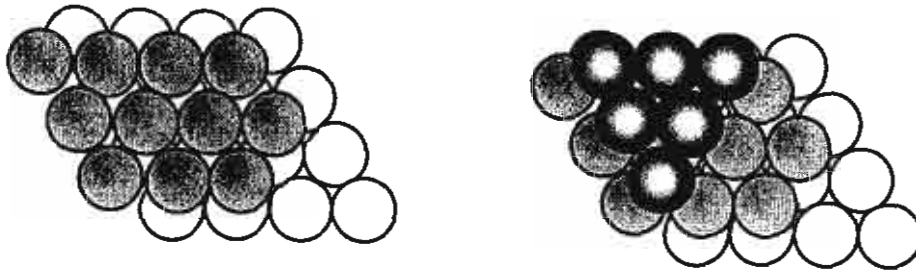
คำถาม

- วาดรูปแสดงช่องว่างชนิดเตตระฮีดรัล และ ออกตะฮีดรัล พร้อมทั้งระบุจำนวนอนุภาคที่ล้อมรอบช่องว่างแต่ละชนิด
- ในโครงสร้างผลึกหนึ่ง ๆ ช่องว่างชนิดใดมีขนาดใหญ่กว่า

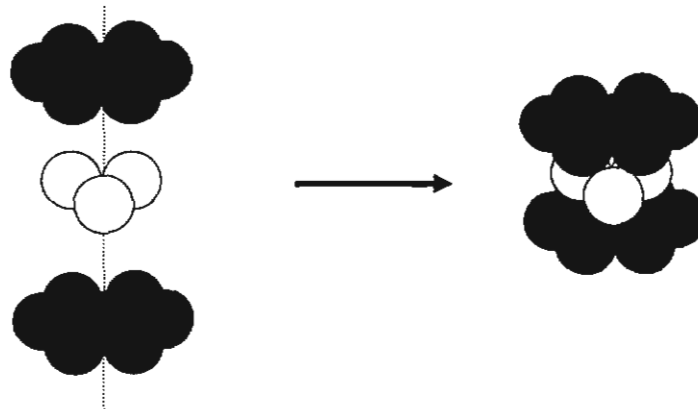
ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดในโครงสร้างผลึก

ศึกษาการจัดเรียงอนุภาคแบบ ABAB และ ABCABC

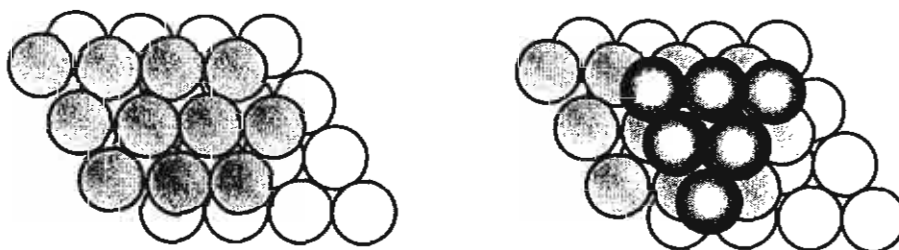
1. ใช้แฟล็กปักปองที่เรียงแบบชิดที่สุด 1 ชั้นเป็นฐาน วางลูกปักปองในชั้นที่สอง บนช่องว่างสามเหลี่ยมแบบใดแบบหนึ่ง แล้วจึงวางลูกปักปองในชั้นที่ 3 โดยวางให้ศูนย์กลางตรงกับชั้นที่ 1 นั่นคือวางบนช่องว่างแบบเทระฮีดรัล จะได้การจัดเรียงแบบ ABAB... ดังรูป



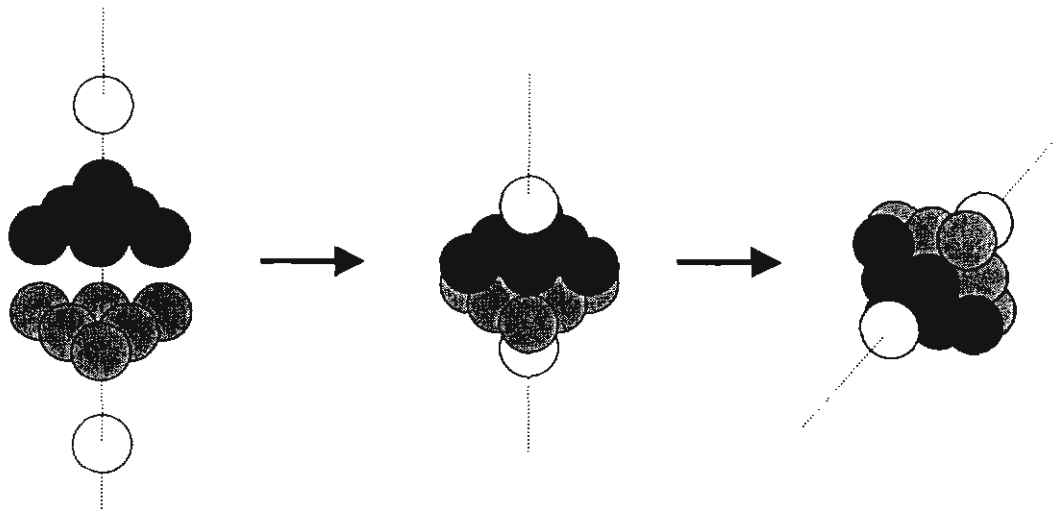
หรือใช้แฟล็กปักปองหกเหลี่ยมและสามเหลี่ยม จัดวางซ้อนกันแบบ ABAB... 3 ชั้นจะได้โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล ดังรูป



2. เรียงชั้นที่หนึ่งและสองแบบเดียวกับข้อ 1 แต่วางลูกปักปองในชั้นที่สามไม่ให้ตรงกับชั้นที่หนึ่ง นั่นคือ วางบนช่องว่างแบบออกทะฮีดรัลซึ่งเกิดขึ้นข้าง ๆ ช่องเทระฮีดรัล ได้การจัดเรียงแบบ ABCABC... ดังรูป



หรือใช้ลูกปิงปองเดี่ยวและแพลูกปิงปองสามเหลี่ยม วางซ้อนกันดังรูป เอียงแกนโครงสร้างไป 60° จะได้โครงสร้างผลึกแบบ face-centered cubic (fcc)



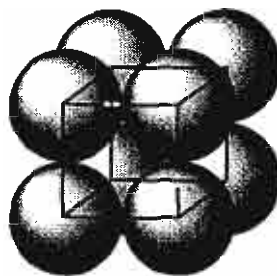
คำถาม

การจัดเรียงอนุภาคทั้งสองแบบ แต่ละอนุภาคจะมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่าไร

ตอนที่ 3 คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ simple cubic, body-centered cubic และ face-centered cubic

1. คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ simple cubic

1.1 จัดเรียงยูนิตเซลล์แบบ simple cubic ดังรูป นับจำนวนลูกปิงปองแทนอนุภาคของยูนิตเซลล์



ยูนิตเซลล์แบบ simple cubic

1.2 ชั่งน้ำหนักลูกปิงปอง 1 ลูก คำนวณมวลของลูกปิงปองทั้งหมดในหนึ่งยูนิตเซลล์แบบ simple cubic

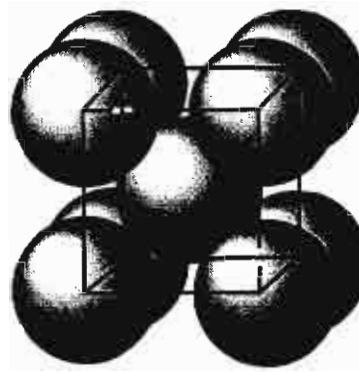
1.3 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปิงปองด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ คำนวณปริมาตรของยูนิตเซลล์ซึ่งเป็นรูปลูกบาศก์ โดยใช้ ด้าน $\times$ ด้าน $\times$ ด้าน

1.4 คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ simple cubic โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของยูนิตเซลล์} = \frac{\text{มวลของลูกปิงปองในหนึ่งยูนิตเซลล์}}{\text{ปริมาตรของหนึ่งยูนิตเซลล์}}$$

2. คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic

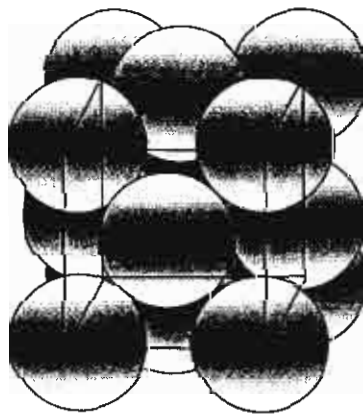
ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่จัดเรียงอนุภาคให้ได้ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic ดังรูป



ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic

3. คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่จัดเรียงอนุภาคให้ได้ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic ดังรูป



คำถาม

1. จงคำนวณความหนาแน่นของโลหะเงินที่มีรัศมีอะตอมเท่ากับ 144.5 pm และมีมวลอะตอมเท่ากับ 107.9 โครงสร้างผลึกมียูนิตเซลล์แบบ face centered cubic เลขอาโวกาโดรเท่ากับ 6.02×10^{23}
2. จากการทดลองโดยใช้ลูกปิงปอง จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่เกิดขึ้นในหนึ่งยูนิตเซลล์ของยูนิตเซลล์แบบ simple cubic, body-centered cubic, face-centered cubic

คำถามท้ายบท

ซิลิกาอสัณฐานมีความหนาแน่นเท่ากับ 2.2 g/cm^3 แต่ในรูปผลึกซิลิกามีความหนาแน่นเท่ากับ 2.65 g/cm^3 จงให้เหตุผลในเชิงการจัดเรียงอนุภาคซึ่งเป็นที่มาของความแตกต่างของความหนาแน่นของซิลิกาทั้งสองแบบ

การกำจัดของเสีย

การทดลองนี้ไม่มีสารหรือวัสดุใดที่เป็นปัญหาแกสิ่งแวดล้อม ควรเก็บลูกปิงปอง เม็ดพลาสติก และดินน้ำมันไว้ในเทอมถัดไป โดยเฉพาะดินน้ำมัน ถ้ามีหลายสี ควรเก็บแยกแต่ละสีให้เรียบร้อย จะสามารถนำมาใช้ต่อได้อีกหลายปี

เอกสารอ้างอิง

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หนังสือเคมีทั่วไปเล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2543.
2. T. L. Brown, H. E. Lemay, and B. E. Bursten. *Chemistry, The Central Science*, 7th ed, Prentice-Hall International, 1997.

รายงานผลการทดลองเรื่อง โครงสร้างผลึก

ชื่อ..... รหัส..... ตอนที่..... ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ..... รหัสผู้ร่วมทดลอง..... วันที่.....

ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

1. การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

คำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว

ก. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวตรงกัน

ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) = cm^3

ปริมาตรของลูกปิงปอง = cm^3

V = ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) - ปริมาตรของลูกปิงปอง 1 ลูก

= cm^3

%ช่องว่าง = $\frac{V}{\text{ปริมาตร}} \times 100$

= cm^3

ข. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวสลับกัน

ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) = cm^3

ปริมาตรของลูกปิงปอง = cm^3

V = ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) - ปริมาตรของลูกปิงปอง 1 ลูก

= cm^3

%ช่องว่าง = $\frac{V}{\text{ปริมาตร}} \times 100$

= cm^3

คำถามหลังการทดลอง

การจัดเรียงอนุภาคแบบใดเป็นพื้นฐานของการเรียงแบบชิดที่สุด

.....

2. การศึกษาชนิดของช่องว่างซึ่งเกิดขึ้นในการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดและคำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

อัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

ช่องว่างที่บรรจุเม็ดพลาสติกสีแดง, $\left(\frac{r}{R}\right)$ =

ช่องว่างที่บรรจุเม็ดพลาสติกสีเขียว, $\left(\frac{r}{R}\right)$ =

คำถาม

1. จำนวนอนุภาคล้อมรอบช่องว่างเพชรอีตรัลเท่ากับ.....
จำนวนอนุภาคล้อมรอบช่องว่างออกทะอีตรัลเท่ากับ.....
2. ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า คือ.....

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุด

1. การจัดเรียงอนุภาคแบบ ABAB... มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ.....
2. การจัดเรียงอนุภาคแบบ ABCABC... มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ.....

ตอนที่ 3 การคำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์

1. ยูนิตเซลล์แบบ simple cubic
จำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์เท่ากับ.....
น้ำหนักของลูกปิงปอง 1 ลูก เท่ากับ..... g
รัศมีของลูกปิงปองเท่ากับ..... cm
ความหนาแน่นของยูนิตเซลล์เท่ากับ..... g/cm³
2. ยูนิตเซลล์แบบ body centered cubic
จำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์เท่ากับ.....
น้ำหนักของลูกปิงปอง 1 ลูก เท่ากับ..... g
รัศมีของลูกปิงปองเท่ากับ..... cm
ความหนาแน่นของยูนิตเซลล์เท่ากับ..... g/cm³

3. ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic

จำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์เท่ากับ.....

น้ำหนักของลูกบิ๊งปอง 1 ลูก เท่ากับ..... g

รัศมีของลูกบิ๊งปองเท่ากับ..... cm

ความหนาแน่นของยูนิตเซลล์เท่ากับ..... g/cm³

คำถามหลังการทดลอง

1. โลหะเงินมียูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic มีรัศมีอะตอมเท่ากับ 144.5 pm และมวลอะตอมเท่ากับ 107.9 จงคำนวณความหนาแน่นของโลหะเงิน (เลขอาโวกาโดรเท่ากับ 6.02×10^{23})

.....

2. จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่เกิดขึ้นในหนึ่งยูนิตเซลล์ของยูนิตเซลล์แบบ simple cubic, body-centered cubic, face-centered cubic

.....

การทดลองที่ 17
การวิเคราะห์ชนิดของสารด้วยระบบเคมีไมโคร
(Semimicro Qualitative Analysis)

วัตถุประสงค์

1. เรียนรู้ปฏิกิริยาต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. ฝึกการสังเกตอย่างละเอียดถี่ถ้วน ประมวลข้อสังเกตอย่างมีระบบ และกระบวนการความคิดอย่างมีระบบ
3. ฝึกทักษะต่างๆในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

บทนำ

การวิเคราะห์ชนิดของสารด้วยระบบเคมีไมโคร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์แอนไอออน (Qualitative Analysis for Anions) และการวิเคราะห์แคตไอออน (Qualitative Analysis for Cations)

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์แอนไอออน (Qualitative Analysis for Anions)

หลักการและทฤษฎี

แอนไอออนที่จะวิเคราะห์ในการทดลองนี้เป็นแอนไอออนที่พบบ่อยโดยทั่วไป ได้แก่ ซัลเฟต (sulfate, SO_4^{2-}), คาร์บอเนต (carbonate, CO_3^{2-}), บอเรต (borate, BO_3^{3-} หรือ $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$), ฟอสเฟต (phosphate, PO_4^{3-}), คลอไรด์ (chloride, Cl^-), โบรไมด์ (bromide, Br^-), ไอโอดाइด์ (iodide, I^-), ซัลไฟด์ (sulfide, S^{2-}), ไนเตรต (nitrate, NO_3^-) และแอซีเตต (acetate, $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$)

การวิเคราะห์แอนไอออนต้องปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อสังเกต และเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2 : ทดสอบแบ่งกลุ่มตามการละลาย (solubility group tests) เพื่อจัดไอออนที่มีสมบัติคล้ายกันเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน และมีแนวทางวิเคราะห์ที่แคบเข้า

ขั้นตอนที่ 3 : ทดสอบจำเพาะ (specific tests) เพื่อยืนยันการพบไอออนนั้นด้วย ปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยาจำเพาะของไอออนนั้น

การทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

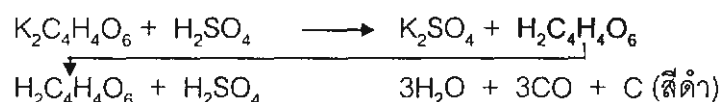
H_2SO_4 เป็นกรดที่ไม่ระเหยง่าย (nonvolatile) จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นกรดของสารประกอบนั้น ตัวอย่างเช่น



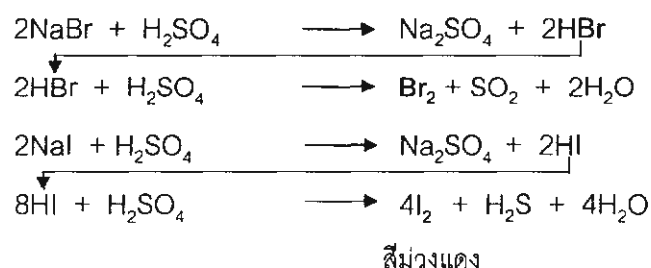
(M คือ โลหะที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 1)

ถ้ากรดที่เกิดขึ้นระเหยง่าย (volatile) เช่น HCl และ H_2S จะสามารถตรวจพบได้ง่ายด้วยการดมกลิ่น ส่วนพวกกรดที่ไม่ระเหย เช่น H_3PO_4 จะไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยการดมกลิ่น

นอกจากนี้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นอาจทำปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้อีก เช่น การดูดน้ำ (dehydration) หรือการออกซิไดซ์กรดที่เกิดขึ้น เช่น กรดอินทรีย์ เมื่อนำมาอุ่นกับ H_2SO_4 เข้มข้นจะถูกดูดน้ำและเกิดสีดำของคาร์บอน

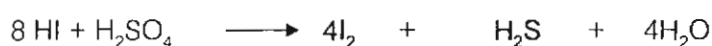
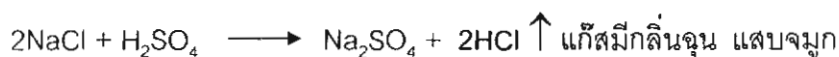
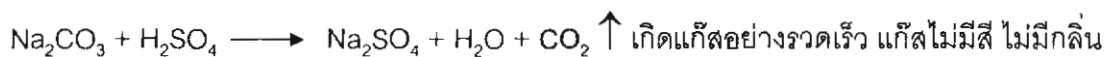


ตัวอย่างของการเกิดออกซิเดชัน เช่น



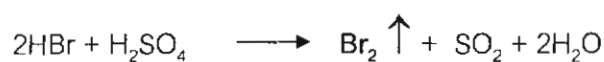
ผลการทดสอบกับ H_2SO_4 เข้มข้น	แอนไอออนที่อาจมี
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	SO_4^{2-} , BO_3^{3-} , PO_4^{3-} (อาจจะมี NO_3^- , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$)
- มีแก๊สเกิดอย่างรวดเร็ว เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	CO_3^{2-}
- มีกลิ่นของแก๊ส H_2S หรือ SO_2	S^{2-} (อาจจะมี Br^- , I^-)
- มีกลิ่นฉุน ขุนล้าหลักของแก๊ส HCl	Cl^-
- มีผลึกสีดำ หรือไอสีม่วงแดง และกลิ่นคล้าย H_2S	I^-
- มีแก๊สสีเหลืองน้ำตาล และ กลิ่น Br_2	Br^-
- มีกลิ่นน้ำส้มสายชู	$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับกรดซัลฟิวริก

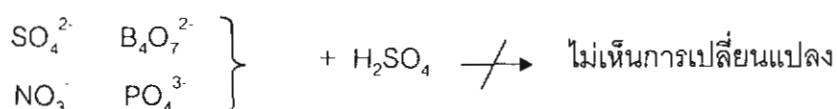
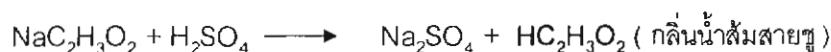


ของแข็งสีดำ แก๊สมีกลิ่นเหม็น

และแก๊สสีม่วงแดง



แก๊สสีเหลืองจนถึงน้ำตาล



การทดสอบแบ่งกลุ่ม

การแบ่งกลุ่มแอนไอออน สามารถจำแนกได้ดังนี้

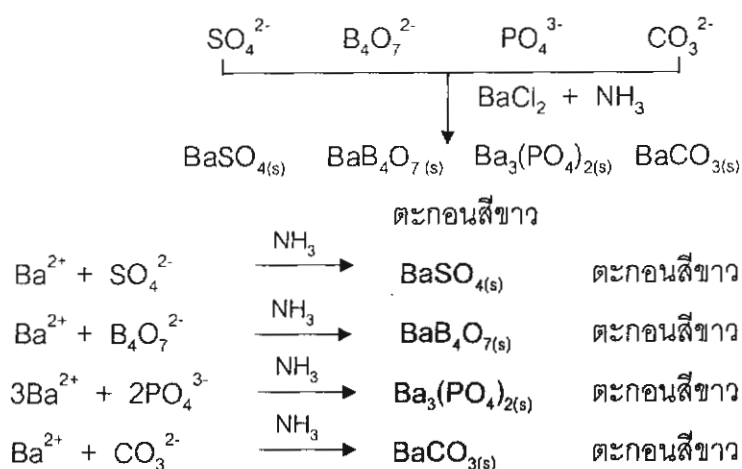
กลุ่ม I : กลุ่มซัลเฟต (sulfate group) ได้แก่ SO_4^{2-} , BO_3^{3-} หรือ $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, PO_4^{3-} และ CO_3^{2-}

กลุ่ม II : กลุ่มแฮไลด์ (halide group) ได้แก่ Cl^- , Br^- , I^- และ S^{2-}

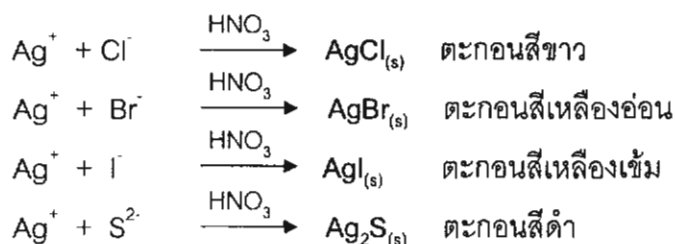
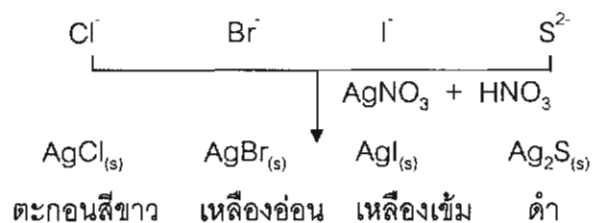
กลุ่ม III : กลุ่มไนเตรต (nitrate group) ได้แก่ NO_3^- และ $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$

ในการแบ่งกลุ่มแอนไอออนยึดหลักดังต่อไปนี้

1. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม I เมื่อเติมแอมโมเนียและสารละลาย BaCl_2 จะเกิดตะกอน



2. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม II เมื่อทำให้เป็นกรดด้วย dil. HNO_3 แล้วเติมสารละลาย AgNO_3 จะเกิดตะกอน



3. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม III จะไม่เกิดปฏิกิริยาในข้อ 1 และ 2

การทดสอบจำเพาะ

การทดสอบจำเพาะนี้ จะกระทำภายหลังเมื่อได้ทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับ conc. H_2SO_4 และการทดสอบแบ่งกลุ่มแล้ว โดยนำสารละลาย Soda-solution (เกล็ดโซเดียมของแอนไอออน) มาดำเนินการทดลองตามวิธีการทดสอบจำเพาะต่อไป ยกเว้นการทดสอบแอนไอออน CO_3^{2-} , S^{2-} , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ และ $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ให้ใช้สารตัวอย่างของแข็งในการทดสอบได้

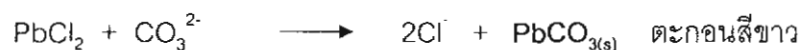
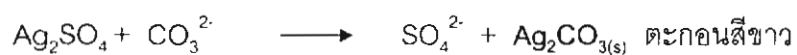
ในการวิเคราะห์หาชนิดของแอนไอออนในสารตัวอย่างนั้น แคตไอออนที่รวมตัวกับแอนไอออนเป็นสารประกอบอาจรบกวนปฏิกิริยาการทดสอบแอนไอออนได้ถ้าแคตไอออนไม่ใช่โซเดียมไอออน จึงต้องทำสารตัวอย่างให้เป็นสารละลายที่เรียกว่า Soda-solution เพื่อเปลี่ยนแอนไอออนให้เป็นเกล็ดของโซเดียมซึ่งละลายในน้ำได้ดี และกำจัดแคตไอออนโดยทำให้ตกตะกอนเป็นเกลือคาร์บอเนต

วิธีทำ Soda-solution

ผสมสารตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวประมาณ 0.1 g หรือ 1 mL กับสารละลาย 1.5 M Na_2CO_3 3 mL ในชามกระเบื้อง ต้มจนสารละลายเดือดสักครู่ คนด้วยแท่งแก้วเป็นครั้งคราว (ภายในภาชนะ) ด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เทใส่ในหลอดทดลอง นำไปเซนทรีฟิวจ์ (ถ้าไม่มีตะกอนก็ไม่ต้องเซนทรีฟิวจ์) รินสารละลายใสใส่ในชามกระเบื้อง ทำให้เป็นกรด ด้วย 6 M CH_3COOH ต้ม เพื่อกำจัด CO_3^{2-} และ H_2S (ถ้าสารตัวอย่างมี S^{2-}) ให้หมด โดยต้มจนเกือบแห้ง เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 6-7 mL สารละลายที่ได้เรียกว่า Soda-solution

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำ Soda-solution

ถ้าสารตัวอย่างมี Ag_2SO_4 หรือ PbCl_2 อยู่จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



วิธีการทดสอบจำเพาะ

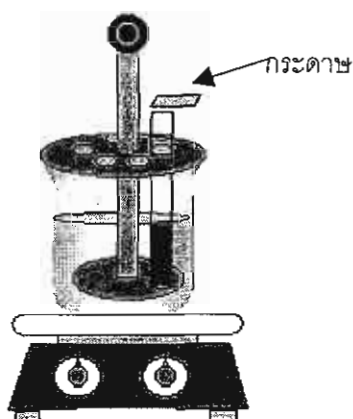
คาร์บอเนต, CO_3^{2-}

- นำสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งมาเล็กน้อย ใส่ในหลอดทดลอง
- เติม dil. HCl 2-3 หยด จะเกิดแก๊ส CO_2 อย่างรวดเร็ว
- ทดสอบให้แน่ใจว่าเป็น CO_2 โดยนำลวดที่ทำเป็นห่วงตรงปลาย หยดสารละลาย $\text{Ba}(\text{OH})_2$ หรือ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ให้ค้างอยู่บนห่วงนั้น นำห่วงไปอังเหนือแก๊สที่เกิดขึ้น ถ้าเป็นแก๊ส CO_2 จะเห็นสารละลายบนห่วงขุ่นด้วยตะกอนสีขาว

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



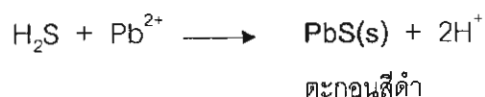
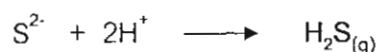
ซัลไฟด์, S^{2-}



- นำสารตัวอย่าง (ของแข็ง) มาประมาณเล็กน้อยใส่ในหลอดทดลอง เติม 6 M HCl 1 mL
- นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนโดยอังกระดางกรองซบสารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ หรือ $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เหนือหลอดทดลอง
- ถ้าปรากฏสีดำของ PbS บนกระดางกรอง แสดงว่ามี S^{2-}

หมายเหตุ ควรดำเนินการทดลองต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้น H_2S จะระเหยไปหมด

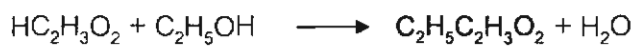
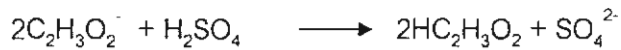
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



แอสซิเตต, $C_2H_3O_2^-$

- นำสารตัวอย่าง (ของแข็ง) ปริมาณเล็กน้อย ใส่ในหลอดทดลอง เติม conc. H_2SO_4 4-5 หยด
- เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 4-5 หยด ชวนในอ่างน้ำร้อน
- ถ้าได้กลิ่นหอมหวานเหมือนผลไม้ แสดงว่ามี $C_2H_3O_2^-$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



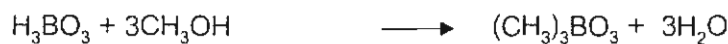
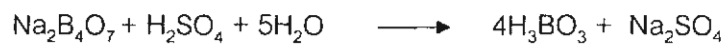
ethyl acetate

กลิ่นผลไม้

บอเรต, $B_4O_7^{2-}$

- นำสารตัวอย่างของแข็งมาเล็กน้อย ใส่ในชามกระเบื้อง
- เติม conc. H_2SO_4 2-3 หยด ผสมให้เข้ากัน
- เติมเมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH) 1-2 mL
- จุดไฟใส่ลงไปของผสมในชามกระเบื้อง
- ถ้าเกิดเปลวไฟสีเขียวทันที แสดงว่ามี BO_3^{3-} หรือ $B_4O_7^{2-}$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

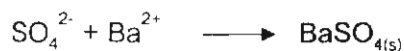


ให้เปลวไฟสีเขียว

ซัลเฟต, SO_4^{2-}

- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HCl จนเป็นกรด (ทดสอบกับกระดาษลิตมัส)
- เติมสารละลาย 0.1 M $BaCl_2$ 2-3 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีขาว นำสารละลายเทในหลอด
- นำตะกอนสีขาวมาละลายใน 2 M HCl ถ้าตะกอนไม่ละลาย แสดงว่ามี SO_4^{2-}

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

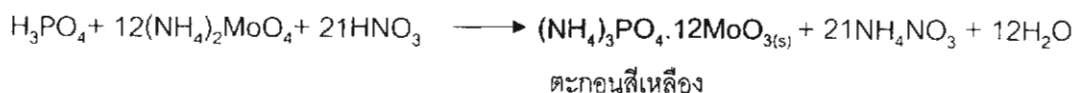


ตะกอนสีขาวไม่ละลายใน HCl

ฟอสเฟต, PO_4^{3-}

- นำสารละลายตัวอย่าง 1 mL เติม 6 M HNO_3 1 mL แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต $(NH_4)_2MoO_4$ 5-6 หยด เขย่า ชวน 2-3 นาที ถ้าได้ตะกอนสีเหลืองสด แสดงว่ามี PO_4^{3-}

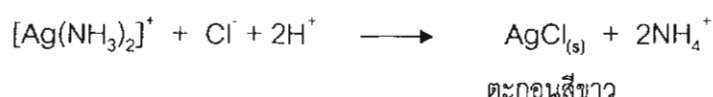
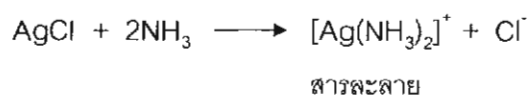
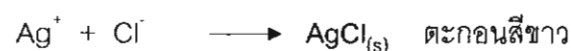
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



คลอไรด์ โบรไมด์และไอโอไดต์, Cl^- Br^- และ I^-

- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HNO_3 จนเป็นกรด (ถ้าสารตัวอย่างมี S^{2-} ให้ต้มไล่ H_2S จนหมดก่อน)
- เติมสารละลาย AgNO_3 2-3 หยด เขย่า
- ถ้าเกิดตะกอนสีขาว ให้เซนทริฟิวจ์ แล้วนำตะกอนสีขาวมาละลายใน dil. NH_3 คนให้ทั่วเพื่อให้ตะกอนละลาย เซนทริฟิวจ์แล้วนำสารละลายใสมาเติม 6 M HNO_3 จนเป็นกรด เขย่า ถ้ามีตะกอนสีขาวเกิดขึ้น แสดงว่ามี Cl^-
- ถ้าเกิดตะกอนสีเหลืองอ่อนหรือเหลืองสด อาจมี Br^- หรือ I^- ให้ทดสอบต่อไป

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ไอโอไดต์และโบรไมต์, I^- และ Br^-

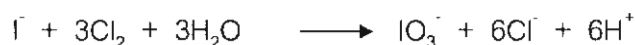
- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) 0.5 mL และ conc. HCl จนเป็นกรด เขย่าแรง ๆ ตูสีในชั้น CHCl_3 (ชั้นล่าง) แล้วหยดสารละลาย 0.01 M KMnO_4 ลงในหลอดที่ละหยด เขย่าแรง ๆ ถ้าปรากฏสีเหลืองจนถึงน้ำตาลในชั้นของคลอโรฟอร์ม (ชั้นล่าง) แสดงว่ามี Br^-
- ถ้าปรากฏสีม่วงในชั้นของคลอโรฟอร์มแสดงว่ามี I^-
- ถ้ามี I^- และ Br^- ปนกัน ในชั้นของ CHCl_3 จะมีสีม่วงแดงก่อน เมื่อหยด KMnO_4 ต่อไป เขย่าแรง ๆ สีในชั้นของ CHCl_3 จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจาง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ข้อควรระวัง ถ้าเติมสารละลาย 0.01 M KMnO_4 ลงไปครั้งละมาก ๆ เกินพอ ถึงแม้จะมี I^- หรือ Br^- ก็ตาม จะทดสอบไม่พบสีม่วงแดงหรือสีเหลืองจำปาในชั้น CHCl_3

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารละลาย KMnO_4 มากเกินไป

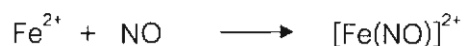


IO_3^- และ BrO_3^- ละลายใน CHCl_3 จะได้สารละลายใสไม่มีสี

ในเทรต, NO_3^-

- ก. ถ้าไม่มี I^- และ Br^- นำสารละลายตัวอย่าง 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง เติม 1 M H_2SO_4 2-3 หยด เติมสารละลาย FeSO_4 1 mL เขย่าให้เข้ากัน เอียงหลอดทำมุม 30° กับแนวราบ ค่อย ๆ ริน conc. H_2SO_4 ลงไปข้าง ๆ หลอดประมาณ 1 mL สารละลายจะแยกเป็น 2 ชั้น ถ้าเห็นวงแหวนสีน้ำตาลเกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของสารละลายทั้งสอง แสดงว่ามี NO_3^-

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



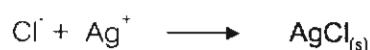
วงแหวนสีน้ำตาล

- ข. ถ้ามี I^- หรือ Br^- ไอออนทั้งสองนี้ให้วงแหวนสีคล้ายกับ NO_3^- ทำให้เข้าใจผิดว่าเป็น NO_3^- จึงต้องกำจัด I^- หรือ Br^- ออกไปให้หมด โดยนำสารละลายตัวอย่าง 1 mL ใส่ในหลอดทดลอง เติม 1 M H_2SO_4 2-3 หยด เติมสารละลาย 0.1 M Ag_2SO_4 ที่ละลายจนตะกอนตกสมบูรณ์ นำไปเซนทริฟิวจ์แยกตะกอนทิ้งไป นำสารละลายมาเติม 6 M HCl จนตกตะกอนสมบูรณ์ เซนทริฟิวจ์อีกครั้งหนึ่ง แยกตะกอนทิ้งไป นำสารละลายไปทดสอบ NO_3^- ตามข้อ ก.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเติม HCl เพื่อกำจัด Ag_2SO_4 ที่มากเกินไปออกให้หมด



วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 10 mL
2. ปีกเกอร์ขนาด 250 mL
3. ห่วงทองเหลือง
4. เครื่องให้ความร้อน
5. แท่งแก้วคน
6. ขามกระเบื้อง

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc H_2SO_4)
2. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.1 M (barium chloride , BaCl_2 0.1 M)
3. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.5 M (sodium carbonate ม Na_2CO_3 1.5 M)
4. สารละลายกรดแอซิก 6.0 M (acetic acid , CH_3COOH 6.0 M)
5. สารละลายเลดแอซิเตต 0.1 M (lead acetate , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 0.1 M)
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2.0 M , 6.0 M (hydrochloric acid , HCl 2.0, 6.0 M)
7. สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว (calcium hydroxide , $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
8. สารละลายกรดไนตริก 6.0 M (nitric acid , HNO_3 6.0 M)
9. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.1 M (silver nitrate , AgNO_3 0.1 M)
10. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate , $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$)
11. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.0 M (potassium permanganate , KMnO_4 1.0 M)
12. คลอโรฟอร์ม (chloroform , CHCl_3)
13. สารละลายไอร์ออน(II)ซัลเฟต 0.1 M (iron sulfate , FeSO_4 0.1 M)
14. สารละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 0.1 M (silver sulfate , Ag_2SO_4 0.1 M)
15. เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)
16. เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol)

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การฝึกกระบวนการความคิดวิเคราะห์

โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction, CAI) เรื่อง การวิเคราะห์แอนไอออน โดยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเข้าชมได้ที่ เว็บไซต์ <http://www.sc.chula.ac.th/courseware/quali/> นิสิต นักศึกษาต้องศึกษาโปรแกรมนี้ก่อน เข้าทำปฏิบัติการ ซึ่งโปรแกรมนี้นี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของทฤษฎีและแบบทดสอบ

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์แอนไอออน

วิธีวิเคราะห์แอนไอออน ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

การทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

- นำเกลือโซเดียมของแต่ละแอนไอออนหรือสารตัวอย่างซึ่งอยู่ในสภาพของแข็ง (เป็นผง) มา ขนาดเท่าหัวไม้ขีดไฟใส่ในหลอดทดลอง
- เติม conc. H_2SO_4 ลงไป 2-3 หยด นำไปอุ่นในอ่างน้ำ
- สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น สี การเกิดแก๊ส กลิ่น ความร้อน และอื่นๆ
- ในกรณีที่วิเคราะห์สารตัวอย่าง จากผลของการสังเกตให้ระบุแอนไอออนที่อาจจะมีใน สารตัวอย่าง

การทดสอบแบ่งกลุ่ม

- นำเกลือโซเดียมของแต่ละไอออนหรือสารตัวอย่างซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งมาประมาณ 2 เท่าของหัวไม้ขีดไฟใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำ 2 mL เพื่อละลายเป็นสารละลาย ในกรณีที่ สารตัวอย่างไม่ใช่เกลือของโซเดียมจะไม่ละลายน้ำ จึงต้องกำจัดแคตไอออนโดยทำเป็น soda-solution ก่อน แบ่งสารละลายหรือ soda-solution ออกเป็น 2 ส่วนในหลอดทดลอง
- ส่วนหนึ่งนำไปเติม 6 M NH_3 2-3 หยด จนสารละลายเป็นเบส แล้วเติมสารละลาย BaCl_2 2-3 หยด
- อีกส่วนหนึ่งนำไปเติม 6 M HNO_3 2-3 หยด อุ่นในอ่างน้ำร้อน แล้วเติมสารละลาย AgNO_3 2-3 หยด
- บันทึกผลเพื่อสรุปถึงแอนไอออนที่น่าจะมี

การทดสอบจำเพาะ

- ทำการทดสอบจำเพาะของแอนไอออนที่น่าจะมี

ข้อสังเกต : การทดสอบจำเพาะ ของ CO_3^{2-} , S^{2-} , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ และ $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$ ให้ทดสอบจากสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

คำถามท้ายบท

1. แอนไอออนใดบ้างที่มักเกิดเป็นสารประกอบที่มีพิษหรือก่อมลพิษ
2. แอนไอออนใดบ้างที่พบในกระเพาะอาหาร และที่พบในระบบเลือดของมนุษย์

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์แคตไอออน (Qualitative Analysis for Cations)

วิธีวิเคราะห์แคตไอออนมีมากมายหลากหลายวิธี แต่วิธีที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ เป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ คือ ไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพิษอย่างมากและมีกลิ่นเหม็น และเป็นวิธีที่ใช้แคตไอออนเป็นกรณีศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดวิเคราะห์ที่เป็นระบบ อันประกอบด้วย

1. การทดสอบเบื้องต้น (screening test) เพื่อรวบรวมข้อมูลและข้อสังเกต จัดหมู่ของแคตไอออน และวางแผนทางทดสอบต่อไปให้แคบเข้า
2. การทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) เพื่อกำจัดตัวเลือกให้น้อยลงและเน้นความเป็นไปได้ให้ชัดเจนขึ้น
3. การทดสอบจำเพาะ (specific test) เพื่อยืนยันการพบไอออนนั้น ด้วยปฏิกิริยาจำเพาะของไอออนนั้น

การวิเคราะห์แคตไอออน

สิ่งแรกที่ต้องปฏิบัติ คือ การทำสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งให้เป็นสารละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น แต่ถ้าสารตัวอย่างเป็นของเหลวก็นำไปวิเคราะห์แคตไอออนได้เลย

วิธีเลือกตัวทำละลาย

นำสารตัวอย่างมาประมาณ 15 mg ใส่ในหลอดทดลอง เติมตัวทำละลายประมาณ 1 mL เขย่าสักครู่ ถ้าไม่ละลายให้นำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนพร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราว ถ้าสารตัวอย่างไม่ละลายให้นำสารตัวอย่างมาใหม่ แล้วเปลี่ยนตัวทำละลายตามลำดับ ดังนี้

- | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|
| 1. น้ำ | 2. 2 M HCl | 3. 6 M HCl |
| 4. conc. HCl | 5. 2 M HNO ₃ | 6. 6 M HNO ₃ |
| 7. conc. HNO ₃ | | |
| 8. กรดกัดทอง (conc. HNO ₃ 1 ปริมาตร + conc. HCl 3 ปริมาตร) | | |

กรดต่างๆ เป็นอันตรายต้องใช้ความระมัดระวัง

เมื่อใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม จะได้สารละลายใส (อาจมีสีหรือไม่มีสีก็ได้ และปราศจากตะกอน)

วิธีเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แคตไอออน

นำสารตัวอย่างประมาณ 50 mg มาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมประมาณ 2 mL นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์แคตไอออนตั้งแต่หมู่ I ถึงหมู่ V

การจัดหมู่แคตไอออน

แคตไอออนทั้งหลายสามารถจัดจำแนกออกได้เป็น 5 หมู่ โดยแต่ละหมู่จะเกิดปฏิกิริยาตกตะกอน แยกตัวจากหมู่อื่นด้วยรีเอเจนต์เฉพาะได้แก่ 6 M HCl, 3 M H₂SO₄, 6 M NH₄OH และ 3 M NaOH ดังนี้

- หมู่ I : เกิดตะกอนคลอไรด์
- หมู่ II : เกิดตะกอนซัลเฟต
- หมู่ III : เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมโมเนีย
- หมู่ IV : เกิดตะกอนไฮดรอกไซด์
- หมู่ V : เกิดแอมโฟเทอริกไฮดรอกไซด์ (amphoteric hydroxide)

แคตไอออนที่วิเคราะห์

หมู่ I	Ag^+	Hg_2^{2+}	Pb^{2+}		
หมู่ II	Ba^{2+}	Ca^{2+}	Pb^{2+}	Sr^{2+}	
หมู่ III	Cd^{2+}	Co^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}	
หมู่ IV	Bi^{3+}	Hg^{2+}	Fe^{3+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}
หมู่ V	Al^{3+}	Cr^{3+}	Zn^{2+}	Sb^{5+}	Sn^{4+}

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 10 mL
2. ปีกเกอร์ขนาด 250 mL
3. ห่วงทองเหลือง
4. เครื่องให้ความร้อน
5. แท่งแก้วคน
6. ขามกระบือ

สารเคมี

1. สารละลายไนเตรตของ Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Sb^{5+} , Sn^{4+} และ Al^{3+}
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2.0 M, 6.0 M (hydrochloric acid, HCl 2.0, 6.0 M)
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก 3 M (sulfuric acid, H_2SO_4 3 M)
4. สารละลายกรดไนตริก (nitric acid, HNO_3 6.0 M)
5. สารละลายกรดแอสติค 6.0 M (acetic acid, CH_3COOH 6.0 M)
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0 M (sodium hydroxide, NaOH 3.0 M)
7. สารละลายแอมโมเนีย 6.0 M (ammonia, NH_4OH 6.0 M)
8. สารละลายโพแทสเซียมโครเมต 0.1 M (potassium chromate, K_2CrO_4 0.1 M)
9. สารละลายแอมโมเนียมออกซาเลต 0.1 M (ammonium oxalate, $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.1 M)
10. สารละลายแคลเซียมซัลเฟตอิ่มตัว (calcium sulfate, CaSO_4)

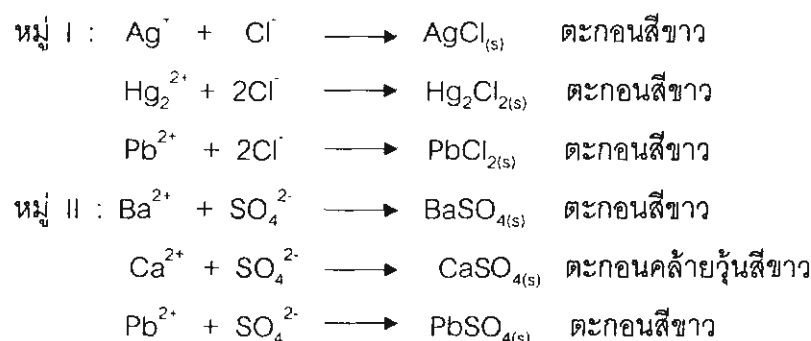
11. สารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(II) 0.2M (potassium hexacyanoferrate(II) , $K_4Fe(CN)_6$ 0.2 M)
12. สารละลายโซเดียมโรไดโซนเตต (sodium rhodizonate)
13. สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 1.0M (potassium thiocyanate ม KSCN 1.0 M)
14. สารละลายไดเมทิล ไกลออกซิม (dimethyl glyoxime , $C_4H_8O_2N_2$)
15. ฟอर्मัลดีไฮด์ 40 % (formaldehyde , HCHO 40 40%)
16. บิส(พารา-ไนโตรฟีนิล)คาร์บาไซด์ (bis(p-nitrophenyl) carbazide)
17. โซเดียมบิสมัทเทต (sodium bismuthate , $NaBiO_3$)
18. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 6 M (potassium iodide , KI 6 M)
19. สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 6 M (sodium hydrogenphosphate , Na_2HPO_4 6 M)
20. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate , CH_3COONH_4)
21. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 10 % (hydrogen peroxide , H_2O_2 10 %)
22. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.1 M (barium chloride 0.1 M)
23. สารละลายอะลูมินอน (aluminon)
24. สารละลายทิน (II) คลอไรด์ 0.1 M (tin (II) chloride $SnCl_2$ 0.1 M)

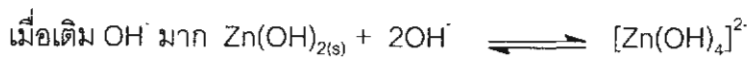
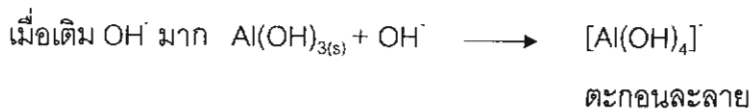
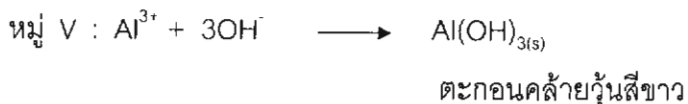
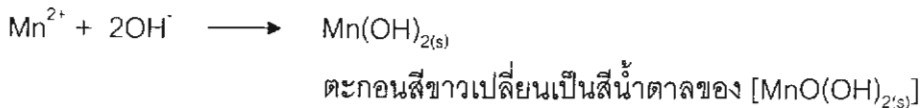
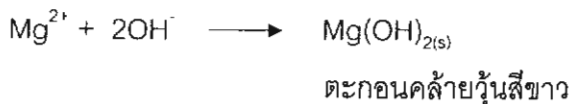
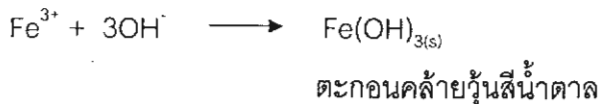
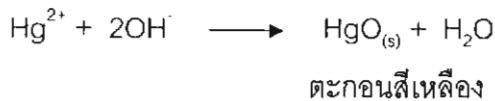
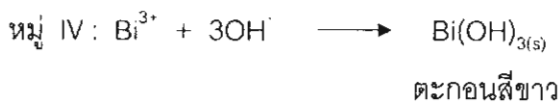
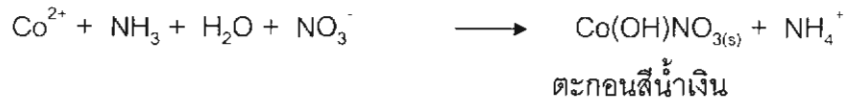
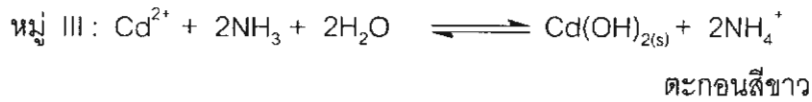
วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบเบื้องต้น (screening test)

นำสารละลายตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง 4 หลอด ๆ ละ 0.5 mL เติม 6M HCl, 3 M H_2SO_4 , 6 M NH_4OH และ 3 M NaOH อย่างละ 4-5 หยด ลงในหลอดทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สังเกตการเกิดตะกอนทุกครั้งที่ยดรีเอเจนต์ ในหลอดที่ 4 ถ้าเกิดตะกอนให้เติม 3M NaOH ต่อไปอีก 0.5 mL ถ้าตะกอนหายไปแสดงว่ามีแคตไอออนหมู่ V บันทึกการตกตะกอนในตารางบันทึกผล

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

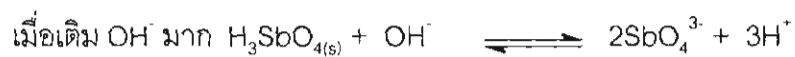




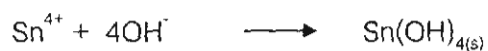
ตะกอนละลาย



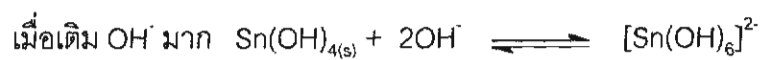
ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย



ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย

ตารางแสดงผลการทดสอบเบื้องต้น (screening test)

รีเอเจนต์ ไอออน	6 M HCl	3 M H ₂ SO ₄	6 M NH ₄ OH	3 M NaOH	
				น้อย	มาก
<u>หมู่ I</u> Ag ⁺	ตะกอนสีขาว ทิ้งไว้จะมี สีคล้ำ +	—	ตะกอนสีขาว เปลี่ยนเป็น สีน้ำตาล +	ตะกอนสีน้ำตาล ++	— -
Hg ₂ ²⁺	ตะกอนสีขาว ++	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีดำ ++	ตะกอนสีดำ ++	—
Pb ²⁺	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีขาว ++	ตะกอนสีขาว ++	ตะกอนสีขาว +	ตะกอน ละลาย
<u>หมู่ II</u> Ba ²⁺	—	ตะกอนสีขาว ++	—	ตะกอนสีขาว ++	—
Ca ²⁺	—	ตะกอนเป็น วุ้นสีขาว ++	—	ตะกอนสีขาว ++	—
Sr ²⁺	—	ตะกอนเป็น วุ้นสีขาว ++	—	ตะกอนสีขาว +	—

— แสดงว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

+ แสดงว่า เกิดตะกอนน้อย และ/หรือช้า

++ แสดงว่า เกิดตะกอนมาก และ/หรือเร็ว

รีเอเจนต์ ไอออน	6 M HCl	3 M H ₂ SO ₄	6 M NH ₄ OH	3 M NaOH	
				น้อย	มาก
หมู่ III Cd ²⁺	—	—	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีขาว +	—
Co ²⁺	—	—	ตะกอนสีน้ำเงิน +	ตะกอนสีน้ำเงิน แล้วเปลี่ยนเป็น สีชมพูและสีดำ อมน้ำตาล +	—
Cu ²⁺	—	—	ตะกอนสี น้ำเงิน +	ตะกอนสีน้ำเงิน เปลี่ยนเป็นสีดำ +	—
Ni ²⁺	—	—	ตะกอนสีเขียว +	ตะกอนสีเขียว +	—
หมู่ IV Bi ³⁺	—	—	ตะกอนสีขาว ++	ตะกอนสีขาว ++	—
Hg ²⁺	—	—	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีเหลือง +	—
Fe ³⁺	—	—	ตะกอนคล้ายวุ้น สีน้ำตาลแดง +	ตะกอนคล้ายวุ้น สีน้ำตาลแดง +	—
Mg ²⁺	—	—	ตะกอนคล้ายวุ้น สีขาว +	ตะกอนคล้ายวุ้น สีขาว +	—
Mn ²⁺	—	—	ตะกอนสีขาว เปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลแดง +	ตะกอนสีขาว เปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลแดง ++	—

รีเอเจนต์ ไอออน	6 M HCl	3 M H ₂ SO ₄	6 M NH ₄ OH	3 M NaOH	
				น้อย	มาก
หมู่ V Al ³⁺	—	—	ตะกอนคล้ายวุ้น สีขาว +	ตะกอนคล้ายวุ้น สีขาว +	ตะกอน ละลาย
Cr ³⁺	—	—	ตะกอนสีเขียว อมเทา ++	ตะกอนสีเขียว อมเทา +	ตะกอน ละลายได้ สารละลาย สีเขียว
Sb ⁵⁺	—	—	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีขาว +	ตะกอน ละลาย
Sn ⁴⁺	—	—	—	ตะกอนสีขาว +	ตะกอน ละลาย
Zn ²⁺	—	—	ตะกอนสีขาว +	ตะกอนสีขาว +	ตะกอน ละลาย

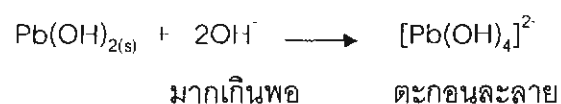
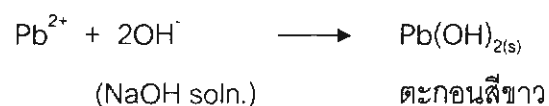
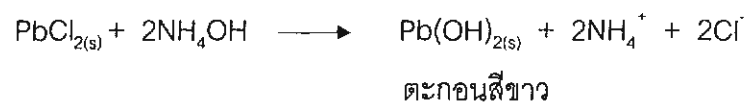
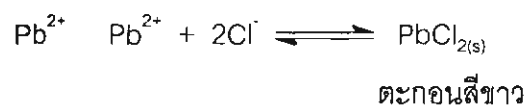
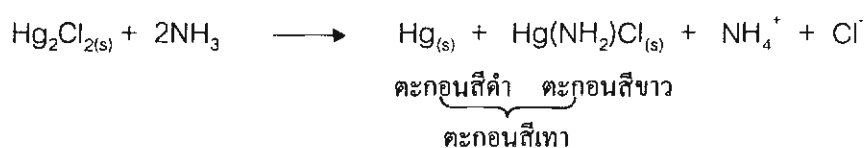
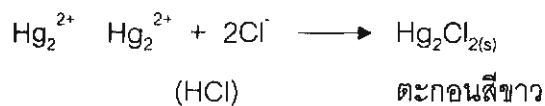
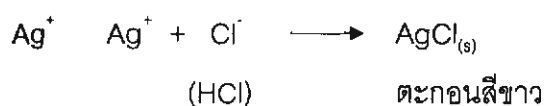
ตอนที่ 2 การทดสอบความน่าจะเป็น และการทดสอบจำเพาะของแคตไอออนหมู่ I-V

แคตไอออนหมู่ I Ag⁺ Hg₂²⁺ Pb²⁺

นำสารละลายตัวอย่างที่ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่า มีแคตไอออนหมู่ I (ตะกอนคลอไรด์) มา 1 mL เพื่อทดสอบความน่าจะเป็นของไอออนต่าง ๆ ในหมู่ 1 ดังนี้

- เติม 6 M HCl 4-5 หยด เมื่อเกิดตะกอนให้เติมต่อจนตกตะกอนสมบูรณ์ เช่นตริฟิวจ์ นำเฉพาะตะกอนสีขาวมาแบ่งเป็น 2 ส่วน
 - ส่วนหนึ่งนำมาเติม 6 M NH₄OH จนเป็นเบส บันทึกการเปลี่ยนแปลง
 - อีกส่วนหนึ่งนำมาเติมน้ำ แล้วนำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อน บันทึกการเปลี่ยนแปลง
- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M NH₄OH ที่ละลายจนถึงมากเกินไป บันทึกผล
- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 3 M NaOH ที่ละลายจนถึงมากเกินไป บันทึกผล

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



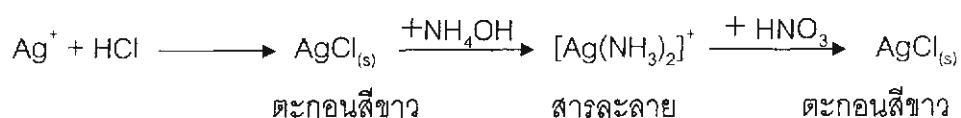
ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ I

ไอออน รีเอเจนต์	Ag^+	Hg_2^{2+}	Pb^{2+}
1. 6 M HCl	$\text{AgCl}_{(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Hg}_2\text{Cl}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{PbCl}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว
1.1 + NH_4OH	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ตะกอนละลาย	$\text{Hg}_{(s)} + \text{HgNH}_2\text{Cl}_{(s)}$ ตะกอนสีดำ + ตะกอนสีขาว (ขาว + ดำ = เทา)	ไม่เปลี่ยนแปลง
1.2 + H_2O , ช้อน	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ตะกอนละลาย
2. NH_4OH น้อย	$\text{Ag}_2\text{O}_{(s)}$ ตะกอนสีน้ำตาล	$\text{Hg}_{(s)} + \text{HgO} \cdot \text{HgNH}_2\text{NO}_3_{(s)}$ ตะกอนสีดำ + ตะกอนสีดำ	$\text{Pb}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว
NH_4OH มาก	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ตะกอนละลาย	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
3. NaOH น้อย	$\text{Ag}_2\text{O}_{(s)}$ ตะกอนสีน้ำตาล	$\text{Hg}_2\text{O}_{(s)}$ ตะกอนสีดำ	$\text{Pb}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว
NaOH มาก	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	$[\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-}$ ตะกอนละลาย

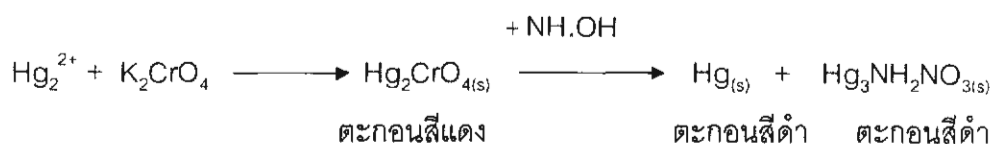
เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ (specific test) สำหรับไอออนนั้นๆ

การทดสอบจำเพาะ

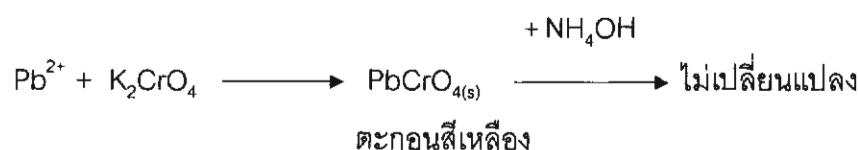
Ag^+ นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HCl จนเกิดตะกอนสีขาวอย่างสมบูรณ์ เซนตริฟิวจ์ นำตะกอนมาเติม 6 M NH_4OH 1 mL เพื่อละลายตะกอน และเมื่อตะกอนละลายจนหมด เติม 6 M HNO_3 จนมีฤทธิ์เป็นกรด ถ้าได้ตะกอนสีขาวกลับคืนมา แสดงว่ามี Ag^+



Hg_2^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย K_2CrO_4 ถ้าได้ตะกอนสีแดงของ Hg_2CrO_4 และเมื่อเติม NH_4OH มากเกินพอ ตะกอนจะกลายเป็นสีดำ แสดงว่ามี Hg_2^{2+}



Pb^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย K_2CrO_4 ถ้าได้ตะกอนสีเหลืองของ PbCrO_4 และเมื่อเติม NH_4OH มากเกินพอ จะไม่ละลาย แสดงว่ามี Pb^{2+}

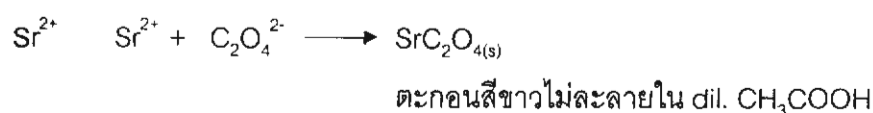
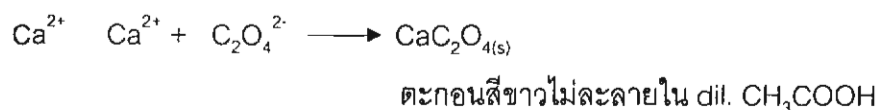
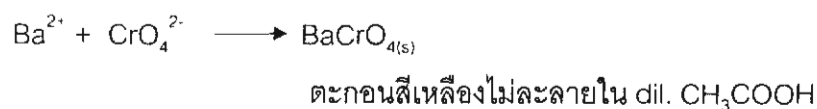
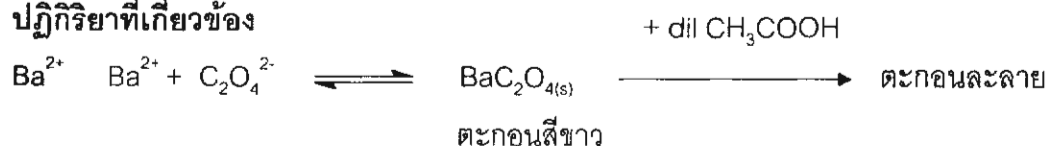


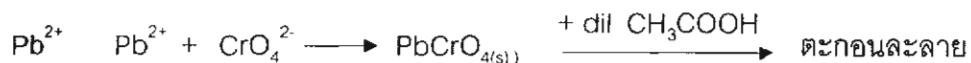
การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ II , Ba^{2+} Ca^{2+} Sr^{2+} Pb^{2+}

นำสารละลายตัวอย่างที่ผลการทดสอบเบื้องต้นแล้วว่ามีแคตไอออนหมู่ II (เกิดตะกอนซัลเฟต) มา 1 mL เพื่อทดสอบความน่าจะเป็นของไอออนต่าง ๆ ในหมู่ II ดังนี้

1. เติมสารละลายแอมโมเนียมออกซาลาเลต 0.5 mL จะเกิดตะกอนสีขาวของ BaC_2O_4 , CaC_2O_4 , SrC_2O_4 เซนตริฟิวจ์ นำแต่ตะกอนสีขาวมาเติม dil. CH_3COOH 1 mL นำไปอุ่น บันทึกการละลายของตะกอน
2. นำสารละลายตัวอย่างมาอีก 1 mL เติมสารละลาย K_2CrO_4 0.5 mL บันทึกการเกิดตะกอน ถ้ามีตะกอนเกิดขึ้นนำไปเซนตริฟิวจ์ นำแต่ตะกอนมาเติม dil. CH_3COOH 1 mL บันทึกการละลายของตะกอน

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





ตะกอนสีเหลือง

(Pb^{2+} จัดอยู่ในหมู่ I ด้วย)

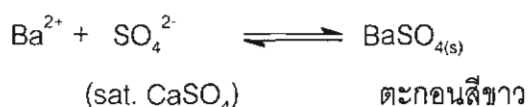
ตารางแสดงผลการตรวจสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ II

รีเอเจนต์ \ ไอออน	Ba^{2+}	Ca^{2+}	Sr^{2+}
1. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{BaC}_2\text{O}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{CaC}_2\text{O}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{SrC}_2\text{O}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว
+ dil. CH_3COOH	ตะกอนละลาย	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
2. K_2CrO_4	$\text{BaCrO}_{4(s)}$ ตะกอนสีเหลือง	ไม่มีตะกอน	$\text{SrCrO}_{4(s)}$ ตะกอนสีเหลือง
+ dil. CH_3COOH	ไม่เปลี่ยนแปลง		ตะกอนละลาย

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ สำหรับไอออนนั้นๆ

การทดสอบจำเพาะ

Ba^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลายอิมิตัวแคลเซียมซัลเฟต 0.5 mL จะเกิดตะกอนสีขาวของ BaSO_4 อย่างรวดเร็ว แสดงว่ามี Ba^{2+}



Ca^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย potassium hexacyanoferrate (II) ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 0.5 mL จะเกิดตะกอนสีขาวของ $(\text{K}_2\text{Ca}[\text{Fe}(\text{CN})_6])$ แสดงว่ามี Ca^{2+}



Sr^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมาหยดลงบนกระดาษฟิคา 1-2 หยด และหยด sodium rhodizonate reagent 1 หยด จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงขึ้นมาทันที แสดงว่ามี Sr^{2+}



การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ III Cd^{2+} Co^{2+} Cu^{2+} Ni^{2+}

นำสารละลายตัวอย่างที่ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่ามีแคตไอออนหมู่ III (เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ NH_3) มา 1 mL เพื่อทดสอบความน่าจะเป็นของไอออนต่าง ๆ ในหมู่ III ดังนี้

1. เติม 6 M NH_3 ที่ละลาย สกัดและบันทึกการเกิดตะกอน หลังจากเกิดตะกอนเต็มที่แล้ว ให้หยด 6 M NH_3 ลงไปอีกจนมากเกินไป (0.5–1 mL) สกัดและบันทึกการละลายของตะกอน
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละลาย สกัดและบันทึกการเกิดตะกอน หลังจากเกิดตะกอนเต็มที่แล้ว ให้หยด 3 M NaOH ลงไปอีกให้มากเกินไป (0.5–1 mL) สกัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของตะกอน ต่อจากนั้นนำไปต้มในอ่างน้ำร้อน สกัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลง

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



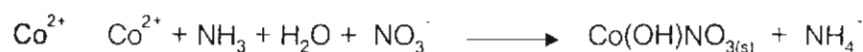
ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย, ไม่มีสี



ตะกอนสีขาว



(น้อย)

ตะกอนสีน้ำเงิน



(มาก)

ตะกอนละลาย



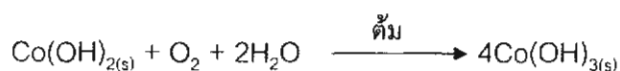
(น้อย)

ตะกอนสีน้ำเงิน

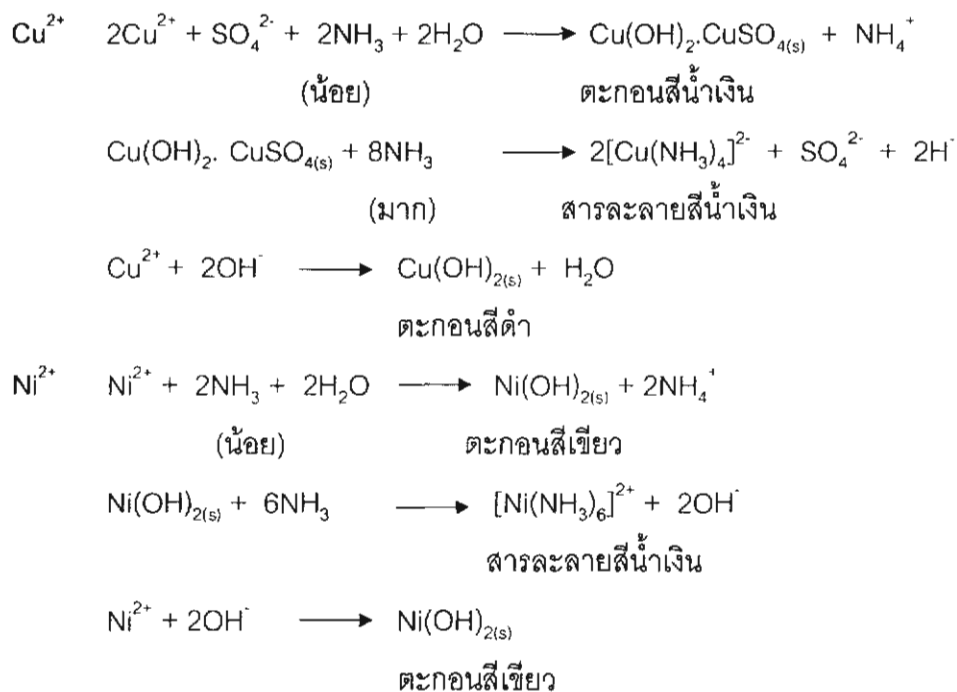


(มาก)

ตะกอนสีชมพู



ตะกอนสีน้ำตาลดำ



ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ III

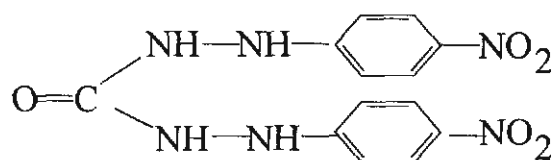
ไอออน รีเอเจนต์	Cd^{2+}	Co^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}
1. NH_4OH น้อย	$\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)}$	$\text{Co}(\text{OH})\text{NO}_{3(s)}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuSO}_{4(s)}$	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(s)}$
	ตะกอนสีขาว	ตะกอนสีน้ำเงิน	ตะกอนสีน้ำเงิน	ตะกอนสีเขียว
NH_4OH มาก	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$
	ตะกอน ละลาย	ตะกอนละลาย	ตะกอนละลายได้ สารละลายสีน้ำเงิน	ตะกอนละลายได้ สารละลายสีน้ำเงิน
2. NaOH น้อย	$\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)}$	$\text{Co}(\text{OH})\text{NO}_{3(s)}$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{Ni}(\text{OH})_2$
	ตะกอนสีขาว	ตะกอนสีน้ำเงิน	ตะกอนสีน้ำเงิน	ตะกอนสีเขียว
NaOH มาก	ตะกอนไม่ ละลาย	$\text{Co}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีชมพู	ตะกอนไม่ละลาย	ตะกอนไม่ละลาย
ต้ม	ตะกอนไม่ เปลี่ยนแปลง	$\text{Co}(\text{OH})_3$ ตะกอนสีน้ำตาล ดำ	$\text{CoO}_{(s)}$ ตะกอนสีดำ	ตะกอนไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะสำหรับไอออนนั้นๆ

Cd^{2+} นำสารละลายตัวอย่างหยดลงบนกระจกนาฬิกา 1 หยด เติม 2 M NaOH 1 หยด และสารละลาย 10% KCN 1 หยด (สารละลายนี้เป็นพิษ) และเติม bis (p-nitrophenyl) carbazide reagent 1 หยด กับสารละลาย 40% formaldehyde 2 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีน้ำตาลแล้วเปลี่ยนเป็นสีเขียว-น้ำเงินอย่างรวดเร็ว แสดงว่ามี Cd^{2+}

ข้อสังเกต : รีเอเจนต์เองมีสีแดงในสารละลายที่เป็นเบส และมีสีม่วงในสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

$\text{Cd}^{2+} + \text{bis (p-nitrophenyl) carbazide} \longrightarrow \text{ตะกอนสีน้ำตาลแล้วเปลี่ยนเป็นสีเขียวน้ำเงินเมื่อเติมฟอร์มาลดีไฮด์}$



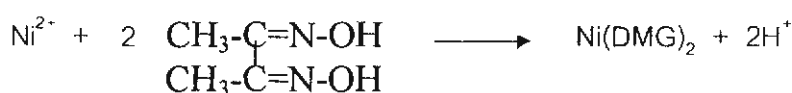
Co^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HNO_3 จนเป็นกรด แล้วเติม 6 M CH_3COOH 4-5 หยด คนให้เข้ากัน แล้วจึงเติมผลึก KNO_2 5-6 ผลึก คนแล้วตั้งทิ้งไว้ ถ้ามีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้น แสดงว่ามี Co^{2+}



Cu^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL ทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดด้วย 6 M CH_3COOH เติมสารละลาย $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ถ้าได้ตะกอนสีน้ำตาลแดง แสดงว่ามี Cu^{2+}



Ni^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL ทำให้เป็นเบสด้วย conc. NH_4OH เติมให้มากเกินไปอีก 10 หยด เติมสารละลาย dimethyl glyoxime 2-3 หยด แล้วเขย่าให้ผสมกัน ถ้าได้ตะกอนสีแดงชมพูเกิดขึ้น แสดงว่ามี Ni^{2+}



Dimethylglyoxime (DMG)

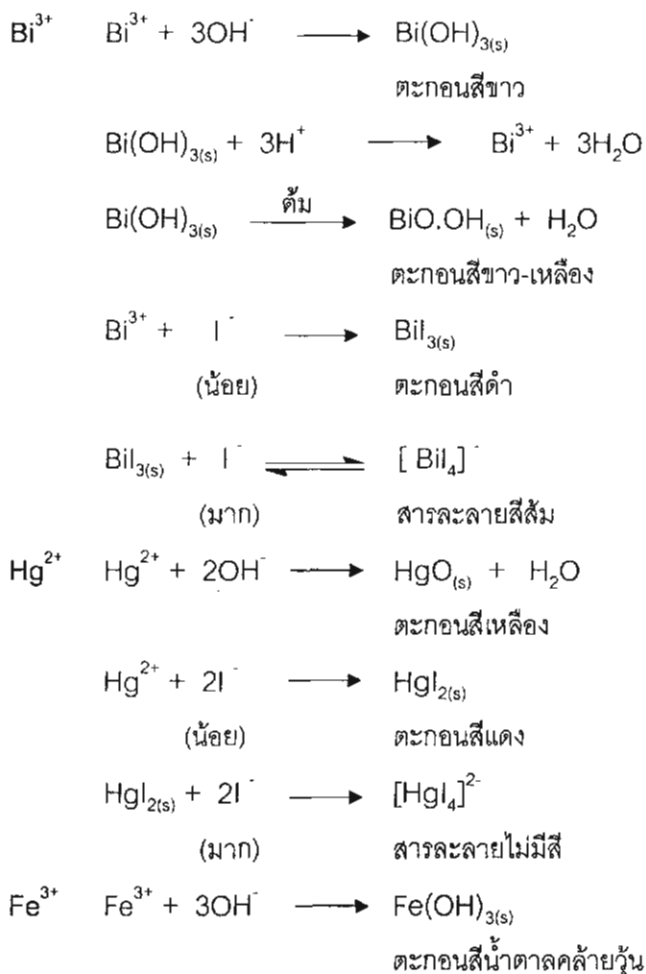
ตะกอนสีแดงชมพู

การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IV Bi^{3+} Hg^{2+} Fe^{3+} Mg^{2+} Mn^{2+}

นำสารละลายตัวอย่างที่ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่ามีแคตไอออนหมู่ IV (เกิดตะกอน ไฮดรอกไซด์) มา 1 mL เพื่อทดสอบความน่าจะเป็นของไอออนต่าง ๆ ในหมู่ IV ดังนี้

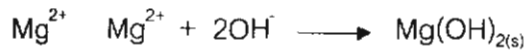
1. เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละลาย สังเกตและบันทึกผลการเกิดตะกอน แล้วเติม 3 M NaOH ต่อไปอีกให้มากเกินไป สังเกตการละลายของตะกอน หลังจากนั้น นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 6 M KI ลงไปที่ละลาย สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน หลังจากนั้นเติมสารละลาย 6 M KI ลงไปอีกจนมากเกินไป สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของตะกอน
3. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL ทำให้เป็นเบสด้วย 6 M NH_4OH แล้วเติมสารละลาย 6 M Na_2HPO_4 ลงไป 1 mL สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





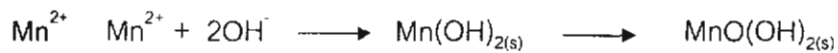
ตะกอนสีขาว-เหลือง



ตะกอนสีขาว



ตะกอนสีขาว



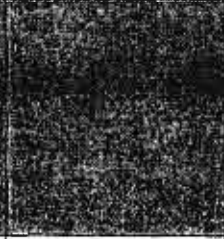
ตะกอนสีขาว

ตะกอนสีน้ำตาล



ตะกอนสีชมพู

ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ IV

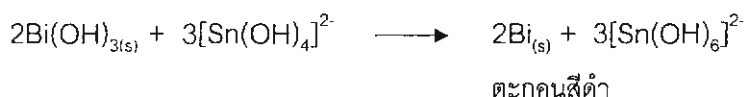
ไอออน รีเอเจนต์	Bi^{3+}	Hg^{2+}	Fe^{3+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}
1. NaOH น้อย	$\text{Bi(OH)}_{3(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{HgO}_{(s)}$ ตะกอนสี น้ำตาลแดง หรือเหลือง	$\text{Fe(OH)}_{3(s)}$ ตะกอน คล้ายวุ้นสี น้ำตาล	$\text{Mg(OH)}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Mn(OH)}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว แล้วกลายเป็น สีน้ำตาล
NaOH มาก	ตะกอนละลาย เล็กน้อย	ตะกอนไม่ ละลาย	ตะกอนไม่ ละลาย	ตะกอนไม่ ละลาย	ตะกอนไม่ ละลาย
ต้ม	$\text{BiO.OH}_{(s)}$ ตะกอนสีเหลือง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยน แปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
2. KI น้อย	$\text{BiI}_{3(s)}$ ตะกอนสีดำ	$\text{HgI}_{2(s)}$ ตะกอนสีแดง	ไม่เกิด ตะกอน	ไม่เกิดตะกอน	ไม่เกิดตะกอน
KI มาก	$[\text{BiI}_4]^-$ ตะกอนละลาย ได้สารละลาย สีส้ม	$[\text{HgI}_4]^-$ ตะกอนละลาย ได้สารละลาย ไม่มีสี			
3. Na_2HPO_4	ไม่เกิดตะกอน	ไม่เกิดตะกอน	$\text{FePO}_{4(s)}$ ตะกอนสี ขาวเหลือง	$\text{Mg(NH}_4\text{)PO}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Mn(NH}_4\text{)PO}_{4(s)}$ ตะกอนสีชมพู

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ (specific test) สำหรับไอออนนั้น ๆ

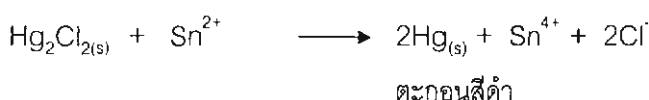
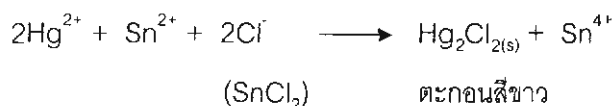
การทดสอบจำเพาะ

Bi^{3+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม conc. NH_4OH ที่ละลายจนมีฤทธิ์เป็นเบส จะเกิดตะกอนสีขาวของ $\text{Bi}(\text{OH})_3$ เซนตริฟิวจ์ นำเฉพาะตะกอนมาเติมสารละลาย 0.125 M sodium tetrahydroxystannate (II) ซึ่งเตรียมใหม่ ๆ 1 mL ถ้าได้ตะกอนสีดำของ Bi แสดงว่ามี Bi^{3+}

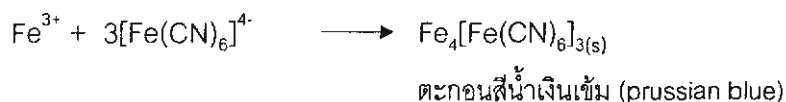
วิธีเตรียมสารละลาย sodium tetrahydroxystannate (II) : หยด 6 M NaOH ลงในสารละลาย SnCl_2 0.5 mL ที่ละลาย เขย่าจะเกิดตะกอน ให้เติม NaOH ต่อไปที่ละลาย เขย่าจนหยุดสุดท้ายทำให้ตะกอนละลายหมดพอดี



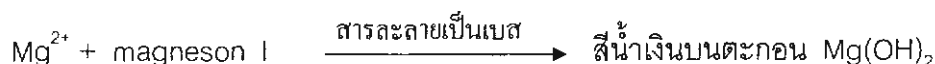
Hg^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย SnCl_2 ลงไปที่ละน้อย จะเกิดตะกอนสีขาวของ Hg_2Cl_2 และเมื่อเติมสารละลาย SnCl_2 ต่อไป จนได้ 1-2 mL ตะกอนสีขาวจะเปลี่ยนเป็นตะกอนสีดำของ Hg แสดงว่ามี Hg^{2+}



Fe^{3+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2-3 หยด ถ้าได้ตะกอนสีน้ำเงินเกิดขึ้น แสดงว่ามี Fe^{3+}



Mg^{2+} หยดสารละลายตัวอย่าง 1 หยด ลงบนกระดาษฟิคา เติมสารละลาย magneson I reagent (4-(4-Nitrophenylazo)-resorcinol) 0.5% 1-2 หยด ทำให้สารละลายมีฤทธิ์เป็นเบสด้วย 2 M NaOH 1 หยด ถ้าได้ตะกอนเบาสีน้ำเงิน แสดงว่ามี Mg^{2+}



Mn^{2+} นำสารละลายตัวอย่างหยดบนกระดาษฟิสิก้า 1 หยด เติม conc. HNO_3 1 หยด แล้วเติม $NaBiO_3$ (sodium bismuthate) เล็กน้อย ถ้าได้สารละลายสีม่วงแดง แสดงว่ามี Mn^{2+}



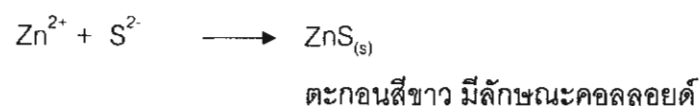
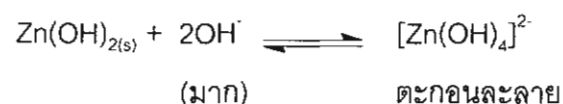
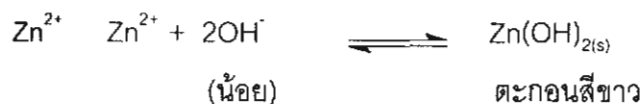
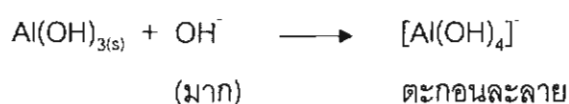
สารละลายสีม่วงแดง

การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ V Al^{3+} Cr^{3+} Zn^{2+} Sb^{5+} Sn^{4+}

นำสารละลายตัวอย่างที่ทดสอบเบื้องต้นแล้วว่ามีแคตไอออนหมู่ V (เกิดแอมโฟเทอริกไฮดรอกไซด์) มา 1 mL เพื่อทดสอบความน่าจะเป็นของไอออนต่าง ๆ ในหมู่ V ดังนี้

1. เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละลายแล้ว สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน เติมสารละลาย 3 M NaOH ต่อไปจนมากเกินไป บันทึกการละลายของตะกอน
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ $(NH_4)_2S$ 1 mL สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน
3. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 6 M KI ลงไปที่ละลายแล้ว สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นเติมสารละลาย 6 M KI ลงไปอีกจนมากเกินไป สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





(OH⁻ น้อย)

ตะกอนสีขาว



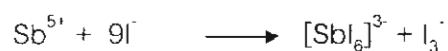
(มาก)

ตะกอนละลาย

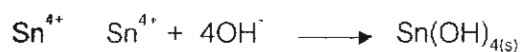


(น้อย)

ตะกอนสีม่วงแดง เมื่อเอาไปอุ่นจะให้ไอสีม่วงแดง



ไม่เกิดตะกอน



(น้อย)

ตะกอนละลาย



(มาก)

ตะกอนละลาย

ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ V

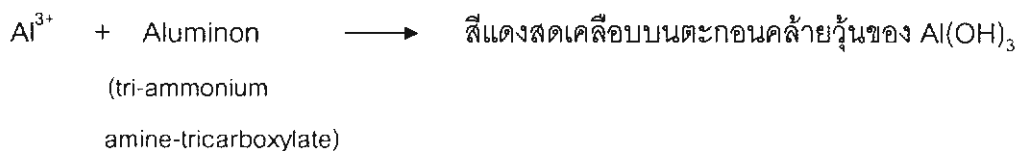
ไอออน รีเอเจนต์	Al^{3+}	Cr^{3+}	Zn^{2+}	Sb^{5+}	Sn^{4+}
1. NaOH น้อย	$\text{Al}(\text{OH})_3$ ตะกอนเป็น วุ้นสีขาว	$\text{Cr}(\text{OH})_{3(s)}$ ตะกอนสีเขียว อมเทา	$\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{H}_3\text{SbO}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Sn}(\text{OH})_4$ ตะกอนสีขาว
NaOH มาก	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ ตะกอน ละลาย	$[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$ ตะกอนละลาย ได้สารละลาย สีเขียว	$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ ตะกอน ละลาย	SbO_4^{3-} ตะกอนละลาย	$[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ ตะกอน ละลาย
2. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$	$\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Cr}(\text{OH})_{3(s)}$ ตะกอนสีเขียว อมเทา	$\text{ZnS}_{(s)}$ ตะกอนสีขาว	ไม่เกิดตะกอน	ไม่เกิดตะกอน
3. KI น้อย	ไม่เกิดตะกอน	ไม่เกิดตะกอน	ไม่เกิด ตะกอน	$\text{I}_{2(s)}$ ตะกอนสีม่วง แดง ต้มได้ไอ สีม่วงแดง	$\text{SbI}_{4(s)}$ ตะกอนสีส้ม ละลายได้สาร ละลายสีส้ม
KI มาก				I_3^- ตะกอนละลาย ได้สารละลาย สีน้ำตาล	สารละลาย สีส้ม

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออน
นั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะสำหรับไอออนนั้น ๆ

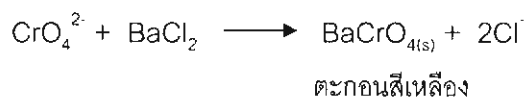
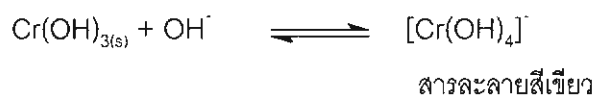
การทดสอบจำเพาะ

Al^{3+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M NH_4OH ที่ละลายจนมีฤทธิ์เป็นเบส คนและอุ่น นำไป
เซนตริฟิวจ์ เอาตะกอน $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่ได้ มาเติม 2 M HCl ที่ละลายจนตะกอนละลายหมด แล้ว
เติมสารละลายอิมตัว $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 3 หยด และสารละลาย aluminon 3 หยด เขย่า หยดสาร

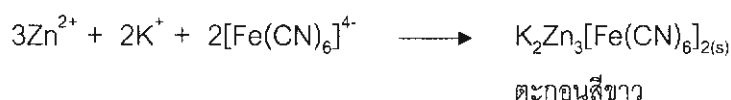
ละลาย 6 M NH_4OH ลงไปจนมีฤทธิ์เป็นเบส แล้วเติม $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1 mL ตั้งทิ้งไว้ สักครู่ นำไป
เซนตริฟิวจ์ ถ้าได้ตะกอนสีแดง แสดงว่ามี Al^{3+}



Cr^{3+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 3 M NaOH ที่ละหยดจนมีฤทธิ์เป็นเบส เซนตริฟิวจ์ นำ
ตะกอนสีแดงอมเทาของ Cr(OH)_3 ไปเติม 3 M NaOH จนตะกอนละลายหมด จะได้สารละลาย
สีเขียว เติมสารละลาย 10% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เติมสาร
ละลาย BaCl_2 0.5 mL จะได้ตะกอนสีเหลืองของ BaCrO_4 แสดงว่ามี Cr^{3+}



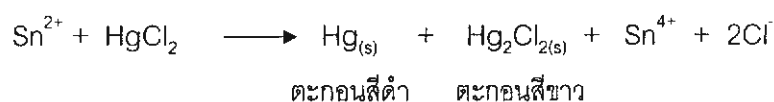
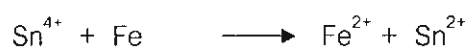
Zn^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย $\text{K}_4[\text{Fe(CN)}_6]$ 1 mL ถ้าเกิดตะกอนสีขาวของ
 $\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe(CN)}_6]_2$ แสดงว่ามี Zn^{2+}



Sb^{5+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HCl 1-2 หยด แล้วหย่อนโลหะสังกะสีลงไป ถ้าเกิด
ตะกอนสีดำของ Sb แสดงว่ามี Sb^{5+}



Sn^{4+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HCl 1-2 หยด ใส่ชิ้นโลหะเหล็กลงไปสักครู่ แล้วตัก
ออก นำสารละลายไปเติมสารละลาย HgCl_2 3 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีดำของ Hg หรือตะกอน สี
ขาวของ Hg_2Cl_2 หรือผสมกันเป็นสีเทา แสดงว่ามี Sn^{4+}



คำถามท้ายบท

1. แคตไอออนใดบ้างที่เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ทั้งในปริมาณน้อย และปริมาณมาก
2. จงทำนายหรือค้นคว้าข้อมูลว่า มีแคตไอออนใดบ้างในน้ำลาย
3. แคตไอออนใดที่เป็นสาเหตุแห่งความกระด้างของน้ำ

การกำจัดของเสีย

ของเสียอยู่ในรูปของตะกอนปนกับสารละลาย ควรรวบรวมไว้ในภาชนะที่จัดไว้ ทิ้งให้ตะกอนนอนก้น รินส่วนของสารละลายทิ้งพร้อมกับเปิดน้ำตามปริมาณมาก รวบรวมในส่วนที่เป็นตะกอนเพื่อรอการนำไปฝังกลบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. G. Svehla , *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis*, 7th ed , Longman, 1996.
2. G. B. King, W. E. Caldwell and M. B. Williams, *Laboratory Experiments in College Chemistry*, 4th ed, D. Van Nostrand, 1979.
3. B. L. Haendler, R. Cook and G. Siemiencow, *Journal of Chemical Education*, 1982, 59(4), 333-334.
4. F. L. Gaggero, V. M. Luaces, *Journal of Chemical Education*, 1992, 69(11), 934-935.

รายงานการทดลองเรื่อง การวิเคราะห์แอนไอออน

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

ผลการวิเคราะห์แอนไอออน

สารตัวอย่างหมายเลข

ผลการทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

สิ่งที่สังเกตได้

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนที่น่าจะมี

การทดสอบเพื่อแบ่งกลุ่ม

แอนไอออนในกลุ่มที่ 1 คือ

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนในกลุ่มที่ 2 คือ

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนในกลุ่มที่3 คือ

การทดสอบจำเพาะ

แอนไอออน	ผลการทดสอบ (positive/negative)

ข้อสรุป

แอนไอออนที่มีในสารตัวอย่างคือ

.....

รายงานผลการทดลองเรื่อง การวิเคราะห์แคตไอออน

ชื่อ.....รหัส.....ตอนที่.....ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ.....รหัสผู้ร่วมทดลอง.....วันที่.....

ผลการวิเคราะห์แคตไอออน

สารตัวอย่างหมายเลข

1. ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อจำแนกหมวดหมู่

6 M HCl	3 M H ₂ SO ₄	6 M NH ₄ OH	3 M NaOH	
			น้อย	มาก

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสรุปเบื้องต้น

สารตัวอย่างน่าจะมีแคตไอออนในหมู่.....

.....

2. ผลการตรวจสอบความน่าจะเป็นของแคตไอออนหมู่

ไอออน รีเอเจนต์	

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสรุป แคตไอออนที่พบคือ

3. การทดสอบจำเพาะ

ไอออน	ผลทดสอบจำเพาะ (positive/negative)	ข้อสรุป

แคตไอออนที่ตรวจพบในสารตัวอย่างหมายเลข

ได้แก่

การทดลองที่ 18
เทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว
(Blueprint Technology)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ภาพพิมพ์เขียว (Blueprint)

บทนำ

กระบวนการพิมพ์ภาพพิมพ์เขียว เป็นกระบวนการที่น่าสนใจและใช้ในงานด้านศิลปกรรม สถาปัตยกรรม และวิศวกรรม การทำภาพพิมพ์เขียวเป็นวิธีการที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพที่ใช้ในการถ่ายหรือคัดลอกต้นฉบับ แผนผังหรือแผ่นภาพลงบนกระดาษธรรมดา ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่ให้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาพที่ถูกถ่ายแบบออกมาจะมีสีแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคมีที่ใช้ เช่นถ้าต้องการโทนสีทองแดงจะต้องใช้ คอปเปอร์ซัลเฟต โพแทสเซียมซีเทรต และโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ถ้าต้องการโทนสีม่วงแดงจะต้องใช้ คอปเปอร์ซัลเฟต กรดซัลฟริก และโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) สำหรับการทดลองนี้จะใช้โทนสีน้ำเงินจากกรดออกซาลิก และโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III)

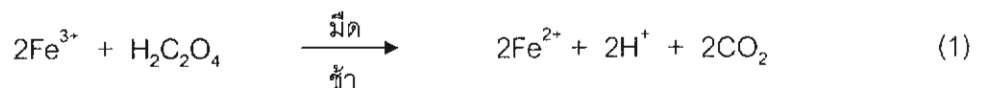
การทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมภาพเนกาทีฟและน้ำยาชุบกระดาษไวแสง

ตอนที่ 2 การพิมพ์ภาพและทำให้เกิดภาพ

หลักการและทฤษฎี

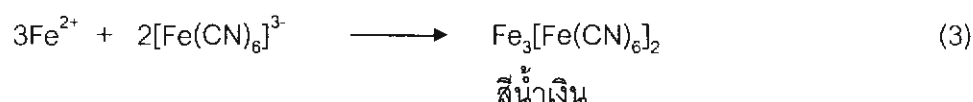
ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว คือ การรีดิวซ์ไอร์ออน (III) ไอออนไปเป็นไอร์ออน (II) ไอออนด้วยกรดออกซาลิก ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต่ำมากเมื่อไม่มีแสงสว่างดังสมการ (1)



แต่เมื่อมีแสง จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมาก ดังสมการ (2)



ในระบบที่มีเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ไอออน ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$) ไอร์ออน (II) ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยาได้สารสีน้ำเงินของไอร์ออน (II) เฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) ($\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$) ดังนั้นถ้าไอร์ออน (III) ไอออน ในระบบเปลี่ยนเป็นไอร์ออน (II) ไอออนมากเท่าใดจะทำให้ได้สีน้ำเงินเข้มมากขึ้นเท่านั้น



เพื่อความสะดวกในการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยไม่ต้องใช้ห้องมืด จึงผสมสารละลายแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลงไปด้วย เพื่อลดความว่องไวของไอร์ออน (III) ออกซาเลตลง อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการชุบกระดาษด้วยไอร์ออน (III) ออกซาเลตเพื่อให้ได้กระดาษไวแสง ควรทำในที่ที่มีแสงสลัวเท่านั้น

วิธีการพิมพ์ภาพจะใช้รูปภาพเนกาทีฟของลวดลายแม่แบบที่ต้องการพิมพ์มาวางทาบบนกระดาษไวแสงที่เตรียมขึ้น แล้วนำไปส่องด้วยแสงแดด หลังจากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) และขั้นตอนสุดท้าย คือ ล้างไอร์ออน (III) ออกซาเลตที่เหลือมากเกินไปด้วยน้ำธรรมดา ถ้าต้องการให้ภาพคมชัดมากขึ้นควรล้างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่เจือจางก่อนล้างด้วยน้ำ

วัสดุอุปกรณ์

1. แผ่นพลาสติกใสขนาด 10x20 cm (สำหรับทำภาพเนกาทีฟให้เตรียมมาก่อนเข้าห้องปฏิบัติการ)
2. กระดาษกรองหรือกระดาษสมุดวาดเขียนขนาด 10x20 cm
3. แผ่นกระจกใสขนาด 10x20 cm
4. คีมคีบกระดาษ

สารเคมี

1. สารละลายกรดออกซาลิก 0.50 M (oxalic acid, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0.50 M)
2. สารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ 0.70 M (iron (III) chloride, FeCl_3 0.70 M)
3. สารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) 0.10 M (potassium hexacyanoferrate (III), $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.10 M)
4. แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 3.50 M (ammonium hydrogenphosphate, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 3.50 M)
5. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 0.03 M (potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0.03 M

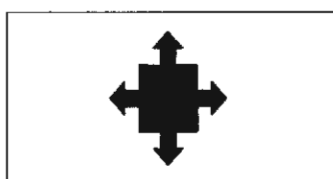
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 M (hydrochloric acid, HCl) 0.10 M

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมภาพเนกาทีฟและน้ำยาชุบกระดาษไวแสง

1. การเตรียมภาพ

ก่อนเข้าห้องปฏิบัติการ ให้นักศึกษาเตรียมภาพเนกาทีฟโดยใช้ปากกาเส้นใหญ่สีดำชนิดสีติดถาวร วาดรูปเนกาทีฟบนแผ่นพลาสติกใส ถ้าต้องการให้ภาพพิมพ์ออกมาเป็นภาพ ก. จะต้องวาดรูปเนกาทีฟดังภาพ ข.



ภาพ ก.



ภาพ ข.

2. การเตรียมน้ำยาชุบกระดาษไวแสง (เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจะจัดเตรียมให้)

- 2.1 ผสมสารละลายกรดออกซาลิก 100 mL และสารละลายแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 20 mL ในภาชนะพลาสติกขนาด 400 mL นำไปวางไว้ในตู้มืด
- 2.2 เติมสารละลายไอโรออน (III) คลอไรด์ 100 mL ลงในสารละลายผสมจากข้อ 2.1 ในตู้มืด คนตลอดเวลาจนตะกอนที่เกิดขึ้นละลายหมด ปิดตู้มืดให้สนิท สารละลายที่ได้ คือ ไอโรออน (III) ออกซาเลต

3. การชุบกระดาษไวแสง (ทำในตู้มืด)

- 4.1 ใช้คีมคีบกระดาษกรองขนาด 10x20 cm จุ่มกระดาษกรองลงในน้ำยาชุบกระดาษไวแสงในตู้มืด
- 4.2 นำกระดาษที่ชุบน้ำยาแล้วออกมาซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูซ้อนหนา 5-6 ชั้น ระวังอย่าให้ถูกแสง
- 4.3 ปลดปล่อยให้แห้งสนิทในตู้มืดประมาณ 20-30 นาที ถ้าแห้งสนิทดีจะได้ภาพที่ชัดเจน ถ้าไม่แห้ง จะได้ภาพที่ไม่คมชัด มีขอบเลือนลาง

ตอนที่ 2 การพิมพ์ภาพและทำให้เกิดภาพ

1. การพิมพ์ภาพ

- 1.1 ทำในตู้มืด นำกระดาษไวแสงมาวางบนวัตถุผิวเรียบเช่นสมุดหรือหนังสือ นำภาพเนกาทีฟที่ต้องการพิมพ์ภาพมาวางซ้อนบนกระดาษไวแสง แล้วจึงทับด้วยแผ่นกระจกใส
- 1.2 นำออกจากตู้มืดไปวางไว้กลางแจ้ง ถ้าแดดจัดให้ใช้เวลาประมาณ 3-4 นาที ถ้าแดดไม่จัดให้ใช้เวลานานกว่านั้น ถ้าไม่มีแดดให้ใช้แสงจากไฟสปอตไลท์แทนโดยต้องให้แสงเป็นเวลา 15 นาที ขณะให้แสงระวังอย่าให้ภาพเนกาทีฟเคลื่อนเพราะจะทำให้ได้ภาพพิมพ์ไม่ชัดเจน

2. การทำให้เกิดภาพ

- 2.1 ใช้คีมคีบกระดาษไวแสง ห้ามใช้มือจับโดยเด็ดขาด จุ่มกระดาษลงในสารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) อย่างรวดเร็ว ขั้นตอนนี้จะเกิดภาพสีฟ้าหรือน้ำเงินขึ้น เพื่อไม่ให้กระดาษไวแสงขาดควรเว้นปลายกระดาษด้านที่ถูกคีบไม่ให้ถูกสารละลายประมาณ 1 cm
- 2.2 นำกระดาษไปจุ่มในสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต เพื่อให้ภาพชัดเจนขึ้น
- 2.3 นำกระดาษไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อล้างไอร์ออน (III) ไอออนออกให้หมด
- 2.4 ล้างด้วยน้ำประปาจนกระทั่งภาพที่ได้ไม่มีสีเหลืองปนอยู่ ทำภาพให้แห้งโดยการผึ่งหรือใช้เครื่องเป่าลมร้อน
- 2.5 ส่งภาพพิมพ์และภาพเนกาทีฟ พร้อมกับรายงานผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายว่าในปฏิกิริยานี้แสงทำหน้าที่อะไร
2. จงอธิบายว่าเพราะเหตุใด ไอร์ออน (III) ไอออน จึงเปลี่ยนเป็น ไอร์ออน(II) ไอออน ได้
3. จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ จงเขียนสูตรเคมีของไอร์ออน (III) ออกซาเลต



การกำจัดของเสีย

เก็บรวบรวมของเสียที่ใช้แล้วในภาชนะที่เหมาะสมเพื่อนำไปบำบัดต่อไป

โพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอร์เรต (III) สามารถสลายตัวอย่างช้า ๆ ให้แก๊สพิษไซยาไนด์ คลอไรด์ แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่เล็กน้อยสามารถชะล้างด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ และทิ้งลงในอ่างน้ำได้ (ไม่เกิน 2 ppm) ไม่ควรนำไปรวมกับกรด

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร.ปริญญา ชีรมงคล และ ผศ.นิตยา ชีรมงคล, *ปฏิบัติการเทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียวและปฏิบัติการเคมีทั่วไป 312102 (ฉบับปรับปรุงใหม่)*, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 2544.
2. C.N.R. Roa and U.C. Agarwala, *Experiments in General Chemistry*, 4th ed, Affiliated East-West, India, 1973.

รายงานผลการทดลองเรื่อง เทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

แสดงขั้นตอนโดยย่อของการทำภาพพิมพ์เขียว (เขียนในรูปแบบภาพ)

ข้อเสนอแนะและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

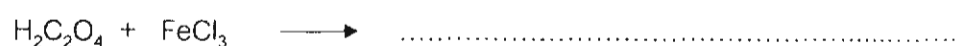
1. แสงทำหน้าที่

2. ไอร์ออน (III) ไฮดรอกไซด์ จึงเปลี่ยนเป็น ไอร์ออน (II) ไฮดรอกไซด์ เพราะ

.....

.....

3. สูตรเคมีของไอร์ออน (III) ออกซาลेट คือ



การทดลองที่ 19
สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติก
 (Physical and Chemical Properties of Plastics)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและจำแนกประเภทของพลาสติกโดยใช้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพื่อประโยชน์ในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่
2. เปรียบเทียบอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก
3. เพื่อให้เข้าใจโครงสร้างของพอลิเมอร์

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกมาใช้อย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เนื่องจากกระบวนการผลิตง่าย ราคาถูกและทนทาน ความต้องการในการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจส่งผลในเชิงลบถ้าใช้อย่างไม่ระวัง พุ่มเฟิยและไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

พลาสติกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ PET HDPE LDPE PVC PP และ PS ปริมาณการใช้พลาสติก 6 ชนิดนี้ คิดเป็นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้พลาสติกทั้งหมด ข้อมูลที่สำคัญของพลาสติกทั้ง 6 ชนิด แสดงไว้ในตาราง

รหัสรีไซเคิล	ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	การใช้ประโยชน์
1 PET 	poly (ethylene terephthalate)	$-(OCH_2CH_2OOC C_6H_4CO)_n-$	เทปแม่เหล็ก (Mylar) เส้นใยเสื้อผ้า (Dacron) ขวด PET หลอดเลือดเทียม หรือหัวใจเทียม
2 HDPE 	high density polyethylene	$-(CH_2CH_2)_n-$ โครงสร้างแบบเส้นตรง	ขวด ถังร้อน ถังหิ้ว จาน ชาม ท่อสายยาง สายไฟ
3 PVC 	poly (vinyl chloride)	$-(CH_2CH)_n-$ Cl	ท่อน้ำ ขวดน้ำมัน สายไฟ อุปกรณ์ทางการแพทย์เช่น สายยาง หน้ากาก ลีนหัวใจ

รหัสรีไซเคิล	ชื่อ	สูตรโครงสร้าง	การใช้ประโยชน์
4 LDPE 	low density polyethylene	$-(CH_2CH_2)_n-$ โครงสร้างแบบกิ่ง	ถุงเย็น ขวดน้ำชนิดขุ่น ถุงขยะ พลาสติกห่ออาหาร
5 PP 	polypropylene	$-(CH_2CH(CH_3))_n-$	ขวดบรรจุน้ำ ด้วยโยเกิร์ต แบตเตอรี่ในรถยนต์ บรรจุภัณฑ์ภายในบ้าน
6 PS 	polystyrene	$-(CH_2CH(C_6H_5))_n-$	ของเล่น กล่องโฟม ภาชนะพลาสติกใสสำหรับ การทดลองแบบย้อยส่วน

พลาสติกที่นอกเหนือจากพลาสติก 6 ชนิดนี้ มีรหัสรีไซเคิลเป็นเลข 7 

การศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพของพลาสติก เพื่อใช้ในการจำแนกก็ได้หลายเทคนิค เช่น พฤติกรรมการหลอม (melting behavior) พฤติกรรมการเผาไหม้ (burning behavior) การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beilstein การทดสอบการละลาย การทดสอบหาความหนาแน่น การวิเคราะห์เชิงความร้อน (thermal analysis) โดยใช้ Differential Thermal Analysis (DTA) และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) และการหาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค Infrared Spectroscopy (IR)

เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติและลักษณะที่คล้ายคลึงกัน การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเดียวจึงไม่สามารถจำแนกประเภทพลาสติกได้ ดังนั้นการประมวลข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยหลายเทคนิคจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการจำแนกประเภทพลาสติกเพื่อให้ได้มาซึ่งความถูกต้องและแม่นยำ

การทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างของพอลิเมอร์

ข้อแนะนำ ควรแบ่งการทดลองออกเป็น 2 คาบ ๆ ละ 3 ชั่วโมง ดังนี้

ตอนที่ 1 และ 2 หนึ่งคาบ

ตอนที่ 3 หนึ่งคาบ

วัสดุอุปกรณ์

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. เตาให้ความร้อน (hotplate) | 2. นาฬิกาจับเวลา |
| 3. อะลูมิเนียมฟอยล์ | 4. ตะเกียงเบนเสน |
| 5. ลวดทองแดง | 6. กระบอกตวง |
| 7. แผ่นกระจก | 8. หลอดทดลอง |
| 9. ปีกเกอร์ | 10. แท่งแก้วคน |
| 11. กระดาษหนังสือพิมพ์ | 12. ยางยืด |
| 13. เส้นเชือกจากฝ้ายหรือไนลอน | 14. เครื่องเป่าลมร้อน |

สารเคมี

- | | |
|---|------------------------------|
| 1. ชิ้นพลาสติกที่ทราบชนิดทั้ง 6 ชนิด และพลาสติกที่ไม่ทราบชนิด | |
| 2. พอลิสไตรีนโฟม (polystyrene foam) | 3. น้ำมันพืช |
| 4. น้ำเกลือ | 5. ไสโคลเฮกเซน (cyclohexane) |
| 6. แอซีโตน (acetone) | 7. โทลูอีน (toluene) |
| 8. เอทานอล (ethanol) | |

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

หลักการและทฤษฎี

เทคนิคในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และจำแนกพลาสติก มีดังนี้

การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

พลาสติกแต่ละประเภทจะมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันเล็กน้อย เช่น พลาสติกกลุ่มอสังฐานจะมีความเป็นผลึกน้อย ทำให้พลาสติกมีลักษณะโปร่งใส มีความแข็งของผิววัสดุสูง (hardness) ไม่เกิดรอยขุ่นเมื่อขีด และเมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวาน ในขณะที่พลาสติกที่มีความเป็นผลึกสูงจะมีลักษณะโปร่งแสง มีความแข็งของผิววัสดุน้อย เมื่อขีดจะเกิดขุ่นเล็กน้อยและจะมีเสียงแน่นเมื่อเคาะหรือตกกระทบพื้น

การทดสอบพฤติกรรมการหลอม

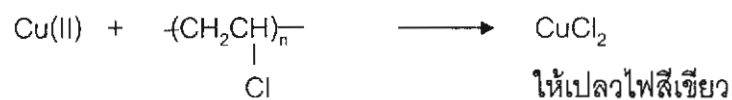
สามารถจำแนกพลาสติกตามพฤติกรรมการหลอมเหลวได้ 2 ชนิด คือ เทอร์มอพลาสติกและเทอร์มอเซต เทอร์มอพลาสติกจะมีสมบัติเฉพาะตัวคือเมื่อได้รับความร้อน สามารถอ่อนตัว และหลอมเหลวได้ แต่เมื่อเย็นตัวลงพลาสติกจะแข็งตัวเช่นเดิม พลาสติกกลุ่มนี้จึงเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิลได้ เพราะเป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่ง ส่วนพลาสติกชนิดเทอร์มอเซต เมื่อได้รับความร้อนจะไม่หลอมเหลวแต่จะไหม้กลายเป็นเถ้า เพราะโครงสร้างของพลาสติกกลุ่มนี้ มีลักษณะเป็นโครงร่างแห (crosslink) จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การทดสอบพฤติกรรมการเผาไหม้

โดยทั่วไปพลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถจำแนกพลาสติกออกเป็นประเภทอิมิตัวและไม่อิมิตัว และเมื่อติดไฟจะให้ลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน ในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ ควรสังเกตอย่างละเอียดถึงความสามารถในการติดไฟ สีของเปลวไฟ กลิ่น เขม่าควัน การเกิดเถ้า การเกิดฟองขณะเผาและการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำแหล่งให้ความร้อนออก

การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beilstein

เป็นการทดสอบสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติกชนิดที่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบ เช่น PVC โดยเมื่อเผาหลอดทองแดงแล้ว นำไปจุ่มที่พลาสติกที่ต้องการทดสอบ แล้วนำมาเผาอีกครั้ง ถ้าพบว่า เปลวไฟเปลี่ยนเป็นสีเขียว แสดงว่า พลาสติกชนิดนั้นมีคลอไรด์ ดังสมการ



เมื่อพิจารณาพลังงานระหว่างพันธะภายในโมเลกุลของ PVC พบว่า C-Cl จะมีค่าพลังงานพันธะน้อยกว่า C-H ดังนั้นเมื่อนำสารไปเผากลางแจ้งและปราศจากทองแดง พันธะ C-Cl จะสลายก่อนและอะตอม Cl ที่หลุดออกมาจะไปดึง H จากโมเลกุลข้างเคียง เกิดแก๊สพิษของ HCl

การทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของพลาสติกขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพลาสติกชนิดนั้น ถ้ามีโครงสร้างแบบกิ่ง เช่น LDPE มีการจัดตัวของสายโซ่โมเลกุลเข้าใกล้ชิดกันไม่มาก เนื่องจากมีกิ่งกั้นไว้จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลน้อย ทำให้มีความยืดหยุ่นปานกลาง ความหนาแน่นต่ำ ถ้าพลาสติกมีโครงสร้างแบบโซ่ตรง เช่น HDPE ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลใกล้ชิดกันมาก จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลมากทำให้มีความหนาแน่นมาก สำหรับพลาสติกที่มีวงเบนซินและอะตอมหนัก เช่น คลอรีนอยู่ในสายโซ่จะมีความหนาแน่นมากกว่าสองแบบแรก

การทดสอบการละลาย

ความสามารถในการละลายของพลาสติก พิจารณาได้จากสภาพผิวและตัวทำละลาย โดยใช้หลักการ like dissolves like การทดสอบการละลายมีประโยชน์ในการทำฟิล์ม การวัดความหนืด และใช้ในการสังเคราะห์และการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

นำพลาสติกทุกตัวและพลาสติกที่ไม่ทราบโครงสร้าง มาทำการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรมการหลอมเหลว

ศึกษาและบันทึกลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติก เช่น ความใส ความขุ่น การสะท้อนแสง สี ความยืดหยุ่น เสียงเมื่อตกกระทบพื้น

ใช้ดินสอ HB และ 2B ขีดบนผิวพลาสติก สังเกตว่ามีรอยดินสอบนผิวพลาสติกหรือไม่

ใช้มีดเขี่ยขอบพลาสติก สังเกตรอยเขี่ยว่าเรียบหรือเป็นขุย

ศึกษาพฤติกรรมการหลอมเหลวโดยนำชิ้น/เม็ด พลาสติกมา 3-4 ชิ้น/เม็ด มาวางบนอะลูมิเนียมฟอยล์ที่อยู่บนเตาไฟฟ้าและทำให้ร้อน สังเกตว่าพลาสติกอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนหรือไม่ ใช้แท่งแก้วแตะพลาสติกบริเวณที่อ่อนตัวแล้วดึงเป็นเส้น ระมัดระวังการหยิบจับขณะร้อน สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

คำถามหลังการทดลอง

1. พลาสติกชนิดใดเป็นเทอร์โมพลาสติก และชนิดใดเป็นเทอร์โมเซต เพราะเหตุใด
2. พลาสติกชนิดใดที่ โปร่งใส (transparent) โปร่งแสง (translucent) หรือ ทึบแสง (opaque)
3. พลาสติกชนิดใดสามารถดึงเป็นเส้นใยได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด
4. พลาสติกชนิดใดมีความแข็งที่ผิว (surface hardness) สูง เพราะเหตุใด

2. ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้

ควรทำในตู้ดูดควัน

ตัดลวดเหล็กให้มีปลายงอเป็นรูปตะขอ จากนั้นนำเม็ดพลาสติกวางบนปลายลวดที่เตรียมไว้ จับปลายลวดด้านที่ไม่มีพลาสติกด้วยผ้าหนาเพื่อกันความร้อน แล้วยื่นเม็ดพลาสติกให้เข้าไปอยู่ในเปลวไฟสีฟ้าของตะเกียงเบนเสน สังเกตและบันทึกสีของเปลวไฟและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จากนั้นนำปากคีบเหล็กคีบกระดาษลิตมัสขึ้น (ทั้งสีแดงและน้ำเงินทำครั้งละแผ่น) ไปอังบนควันที่เกิดขึ้น บันทึกการเปลี่ยนแปลง ปิดตะเกียงเบนเสน สังเกตดูเปลวไฟที่ปลายลวดว่าคงอยู่นานเท่าใด

คำถามหลังการทดลอง

1. พลาสติกชนิดใดเกิดเขม่ามากที่สุด
2. พลาสติกชนิดใดที่ยังติดไฟอยู่ หลังจากนำออกจากเปลวไฟ
3. การเผาไหม้ของพลาสติกชนิดใดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสขึ้น และแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สใด

3. การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beilstein

ควรทำในตู้ดูดควัน

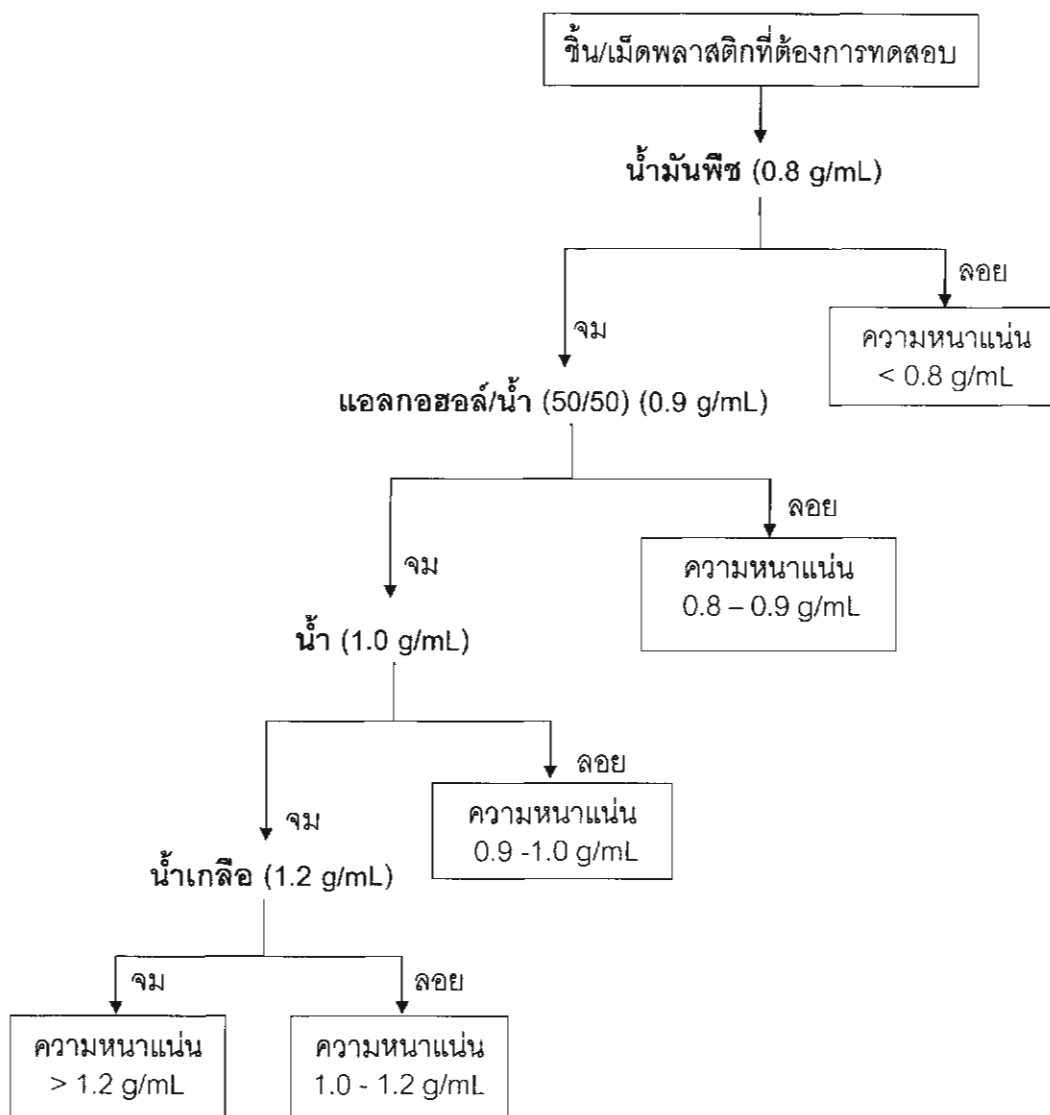
จับปลายลวดทองแดงด้วยผ้าหนา ก่อนนำปลายอีกด้านหนึ่งไปเผาให้ร้อนด้วยตะเกียงเบนเสน นำปลายที่ร้อนจุ่มลงไปในพื้นที่ขึ้นเม็ดพลาสติก นำกลับไปเผาในเปลวไฟของตะเกียงเบนเสนอีกครั้ง สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

คำถามหลังการทดลอง

1. พลาสติกชนิดใดบ้างที่ให้เปลวไฟสีเขียว
2. ควรนำพลาสติกชนิดใดมาทดสอบและเพราะเหตุใด

4. การทดสอบความหนาแน่น

นำเม็ดพลาสติกที่ต้องการทดสอบมา 3 ชิ้น/เม็ด ใส่ในหลอดทดลองที่บรรจุของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด (บรรจุของเหลวลงไปประมาณ 1/3 ของหลอดทดลอง) สังเกตและบันทึกการจมหรือลอยของชิ้น/เม็ดพลาสติก หลังจากนั้นทดสอบการจมหรือลอยของพลาสติกในของเหลวอื่น ๆ ตามแผนภูมิ เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองให้เทของเหลวที่ใช้แล้วลงในขวดที่จัดเตรียมไว้



คำถามหลังการทดลอง

1. การหาความหนาแน่นของของเหลวอย่างง่าย ทำได้อย่างไร
2. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นน้อยที่สุด
3. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นมากที่สุด

5. การทดสอบการละลาย

นำพลาสติกใส่ในหลอดทดลอง 1 ชิ้น/เม็ด เติมแอซีโตนประมาณ 5 mL ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที สังเกตการบวม การละลายและบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนตัวทำละลายเป็น ไซโคลเฮกเซน เอทานอล และ โทลูอีน

คำถามหลังการทดลอง

1. จงบอกตัวทำละลายที่เหมาะสม สำหรับการทำแผ่นฟิล์มบางจากพลาสติกแต่ละชนิด
2. การบวม (swell) ของพลาสติก เกิดได้อย่างไร ต่างจากการละลายหรือไม่ อย่างไร

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

หลักการและทฤษฎี

พลาสติกเหลือใช้กลุ่มเทอร์มอพลาสติกสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการนำมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมหรือหลอมเหลวโดยใช้ความร้อน เนื่องจากพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงของเหลวที่ได้จะมีลักษณะหนืด และสามารถเทลงบนพื้นผิวเรียบ เช่น แผ่นกระจกหรือพลาสติก ผิวเรียบ เทฟลอนได้ ถ้าปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปจะได้แผ่นฟิล์มแข็งที่บาง ซึ่งกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเทียบเคียงได้กับการขึ้นรูปพลาสติกโดยเทคนิคขั้นสูงเช่น การขึ้นรูปแบบรีด (extrusion molding) และการขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding) กล่าวคือต้องทำให้พลาสติกกลายเป็นของเหลวก่อน อาจจะใช้วิธีหลอมเหลวด้วยความร้อนหรือวิธีละลายด้วยตัวทำละลาย หลังจากนั้นจึงนำของเหลวพลาสติกไปเทในแม่พิมพ์ (mold) และสิ้นสุดกระบวนการโดยการทำให้พลาสติกแข็งตัว กรณีขึ้นรูปโดยเทคนิคขั้นสูงจะใช้น้ำช่วยในการหล่อเย็น กรณีขึ้นรูปด้วยวิธีละลายจะต้องทำให้ตัวทำละลายระเหยออกไปโดยดั่งทิ้งไว้หรือใช้ไอร้อนเป่า

ในการทดลองนี้ จะศึกษาผลกระทบของอัตราการแข็งตัวของแผ่นฟิล์มที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ นั่นคือ ถ้าค่อย ๆ ทำให้ของเหลวหนืดแข็งตัวอย่างช้า ๆ (anneal) แผ่นฟิล์มพลาสติกแข็งที่ได้จะมีสมบัติแตกต่างจากแผ่นฟิล์มแข็งที่เกิดจากการทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว (quench) ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณของฟองอากาศ ความเรียบของผิว เปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก ความแข็งแรง การทนแรงดึง การทนแรงอัด และความยืดหยุ่นเป็นต้น

วิธีทดลอง

1. ละลายพอลิสไตรีนโฟมชิ้นเล็กๆ จำนวน 30 ชิ้นในโทลูอีน 5 mL
2. นำของเหลวหนืดจากข้อ 1 เทลงบนแผ่นกระจกหรือเทฟลอนผิวเรียบ เกลี่ยให้ได้แผ่นฟิล์มที่บางที่สุดขนาด 5x5 cm โดยใช้แท่งแก้วคน ปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปช้า ๆ เพื่อให้แผ่นฟิล์มแข็งตัว สังเกตและบันทึกความเรียบ ความต่อเนื่อง ความมันวาว ความใส และปริมาณฟองอากาศ

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 เปลี่ยนให้แผ่นฟิล์มเรียบจากนั้นทำให้แข็งตัวโดยการให้ความร้อนจากเครื่องเป่าลมร้อน สังเกตและบันทึกความเรียบ ความต่อเนื่อง ความมันวาว ความใสและปริมาณฟองอากาศ
4. ตัดแผ่นฟิล์มจากข้อ 2 และ 3 ขนาด 1x5 cm จำนวน 3 ชิ้น ทดสอบโดยใช้มือดึงทีละชิ้น วัดและบันทึกค่าเฉลี่ยของระยะที่ยืดก่อนที่แผ่นฟิล์มขาด

คำถามหลังการทดลอง

1. แผ่นฟิล์มใดจะทนแรงดึงได้ดีกว่ากัน เพราะเหตุใด
2. อัตราการทำให้แผ่นฟิล์มแข็งตัวที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติและการจัดเรียงโมเลกุลอย่างไร

ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างของพอลิเมอร์

หลักการและทฤษฎี

การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์ทำได้หลายแบบ อาจจำแนกตามหมู่ฟังก์ชัน การเกิดปฏิกิริยา ลักษณะการนำไปใช้ และโครงสร้าง เป็นต้น ถ้าพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์เป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งพอลิเมอร์ออกเป็น พลาสติก ยางหรืออีลาสโตเมอร์ เส้นใย สีและกาว ถ้าพิจารณาโครงสร้างเป็นเกณฑ์ จะสามารถแบ่งพอลิเมอร์ออกเป็นเส้นตรง กิ่ง และร่างแห

เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างภายในของสารได้ เพื่อสร้างความเข้าใจจึงตั้งสมมติฐานว่าอะตอมหรือโมเลกุลเป็นทรงกลมที่ยึดติดกันเป็นเส้นยาวด้วยแรงชนิดใดชนิดหนึ่ง การทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้เป็นขั้นตอนที่มีคำถามเชิงอุปมา เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในโครงสร้างของพอลิเมอร์

วิธีทดลอง

ส่วนที่ 1 การศึกษาการจัดเรียงโมเลกุลเมื่อมีแรงมากระทำ

1. นำชิ้นส่วนถุงพลาสติกขนาด 1x10 cm มาดึง แต่อย่าให้ขาด แล้วลองใช้มือกดบริเวณส่วนที่ถูกยืด เปรียบเทียบกับส่วนที่ไม่ถูกยืด สังเกตการต้านแรงกดว่ามากหรือน้อย ดังต่อไปนี้ ขาดและสังเกตลักษณะรอยขาดที่เกิดขึ้น
2. ทำการทดลองเชิงอุปมาโดยนำเส้นเชือกยาว 10 cm จำนวน 10 เส้น มาขยำรวมกันแล้วนำมากองบนแผ่นกระจก ดึงปลายเส้นเชือกคนละด้านกัน สังเกตการจัดเรียงเส้นเชือกก่อนและหลังดึง แล้วตอบคำถามข้อ 1-5 ในรายงาน
3. นำยางยืดมาแล้วดึงให้ยืดออกและปล่อยให้ยางหดดังเดิมแต่ที่ริมฝีปากด้านใน บันทึกความรู้สึกร้อนหรือเย็นบนริมฝีปาก แล้วตอบคำถามข้อ 6-11 ในรายงาน

ส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์

1. นำเส้นเชือก 1 เส้นมาผูกให้เกิดปม 3-5 ปม ดังรูป
2. ทำเส้นเชือกผูกปมเหมือนข้อ 1 อีก 10 เส้น นำเส้นเชือกผูกปม 10 เส้น มาวางชิดกัน จับปลายเส้นตรงคนละเส้นแล้วดึงในทิศตรงข้ามกัน (ดึงเส้นใดก็ได้)



ตอบคำถาม (ข้อ 12-13) ว่าเมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นตรง 10 เส้นจะมีลักษณะต่างจากเดิมหรือไม่

3. นำเส้นเชือก 1 เส้นมาผูกให้เกิดกึ่งและปม ดังรูป



4. ทำเส้นเชือกผูกปมเหมือนข้อ 4 อีก 10 เส้น วางเส้นเชือกแบบกึ่ง 10 เส้นชิดกัน จับปลายกึ่งคนละกึ่งแล้วทำการดึงในทิศตรงข้ามกัน

ตอบคำถาม (ข้อ 14-16) ว่าเมื่อปล่อยมือที่ดึง กึ่ง 10 กึ่งจะมีลักษณะต่างจากเดิมหรือไม่

5. จิกกระดาษหนังสือพิมพ์ (ตัวแทนของเส้นใยเซลลูโลส) ตามแนวตั้ง หลังจากนั้นให้จิกกระดาษตามแนวนอน สังเกตลักษณะของรอยจิก

ตอบคำถามข้อ 17-19 ในรายงาน

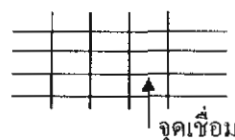


6. นำเส้นเชือกหลาย ๆ เส้นมาผูกต่อกันเป็นร่างตาข่าย (ตัวแทนของพอลิเมอร์ร่างแหแบบถัก) ดึงปลายร่างแหคนละด้านกัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง

ตอบคำถาม (ข้อ 20-23) ว่าดึงยากหรือง่าย และเมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นแหจะคงรูปเดิมหรือมีลักษณะรูปร่างต่างจากเดิม

7. นำเส้นเชือกหลาย ๆ เส้นมาผูกต่อกันเป็นร่างตาข่าย ตัดจุดเชื่อมบนตาข่ายให้มากที่สุด (เหลือไว้ไม่เกิน 5 จุดเชื่อม (ตัวแทนของพอลิเมอร์ร่างแหแบบท่าง) ดึงปลายร่างแหคนละด้านกัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง

8. ตอบคำถาม (ข้อ 24-27) ว่าดึงยากหรือง่าย และเมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นแหจะคงรูปเดิมหรือมีลักษณะรูปร่างต่างจากเดิม



คำถามท้ายการทดลอง

1. ระหว่างพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงและพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลที่เป็นกิ่ง ชนิดใดจะมีความหนาแน่นมากกว่ากัน สมบัติต่างกันหรือไม่ LDPE หรือ HDPE ที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง
2. จากการฉีกกระดาษ โครงสร้างของเส้นใยเป็นอย่างไร เส้นใยจะแข็งแรงในทิศทางใด เส้นใยมีสมบัติที่ขึ้นกับทิศทาง (anisotropic) หรือไม่
3. ยางยืดหดกลับได้ แสดงว่าในโครงสร้างมีจุดเชื่อมหรือไม่ ถ้ามีจะมีจุดเชื่อมแน่นหนาหรืออ่อนๆ ยางยืดเกิดผลึกได้อย่างไร และการเกิดผลึกเป็นกระบวนการดูดหรือคายพลังงาน

การกำจัดของเสีย

เก็บรวบรวมของเหลวที่ใช้หาความหนาแน่นในภาชนะที่จัดให้เพื่อนำมาใช้ใหม่ในภาคการศึกษาดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. <http://www.psrc.usm.edu>
2. Material Science Centre, *Laboratory Manual*, University of Manchester Institute of Science and Technology, Manchester, 1995.
3. Chemistry Department, *Laboratory Manual*, Queensland University of Technology, Brisbane, 2000.

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติก

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่.....

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

ตัวอย่าง พลาสติก	ลักษณะทาง กายภาพ	การทนรอย ขีด/ฉีก	ลักษณะการหลอม เหลวและการเผาไหม้	การเปลี่ยน สี/กลิ่น	การดึงเป็น เส้นใย
1 PET					
2 HDPE					
3 PVC					
4 LDPE					
5 PP					
6 PS					
7 ตัวอย่าง.....					
8 ตัวอย่าง.....					

การวิเคราะห์ผลจากตาราง

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรมการหลอมเหลว

1. พลาสติกชนิดใดเป็นเทอร์โมพลาสติก และชนิดใดเป็นเทอร์โมเซต เพราะเหตุใด

.....

2. พลาสติกชนิดใดที่โปร่งใส(transparent) โปร่งแสง(translucent) หรือ ทึบแสง(opaque)

.....

3. พลาสติกชนิดใดสามารถดึงเป็นเส้นได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด

.....

4. พลาสติกชนิดใดมีความแข็งที่ผิวสูง เพราะเหตุใด

.....
.....

2. ศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้

1. พลาสติกชนิดใดเกิดเขม่ามากที่สุด

.....

พลาสติกชนิดใดที่ยังติดไฟอยู่ หลังจากนำออกจากเปลวไฟ

.....
.....

2. การเผาไหม้ของพลาสติกชนิดใดเปลี่ยนสีกระดาษลิทมัส และแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สใด

.....

3. การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beistein

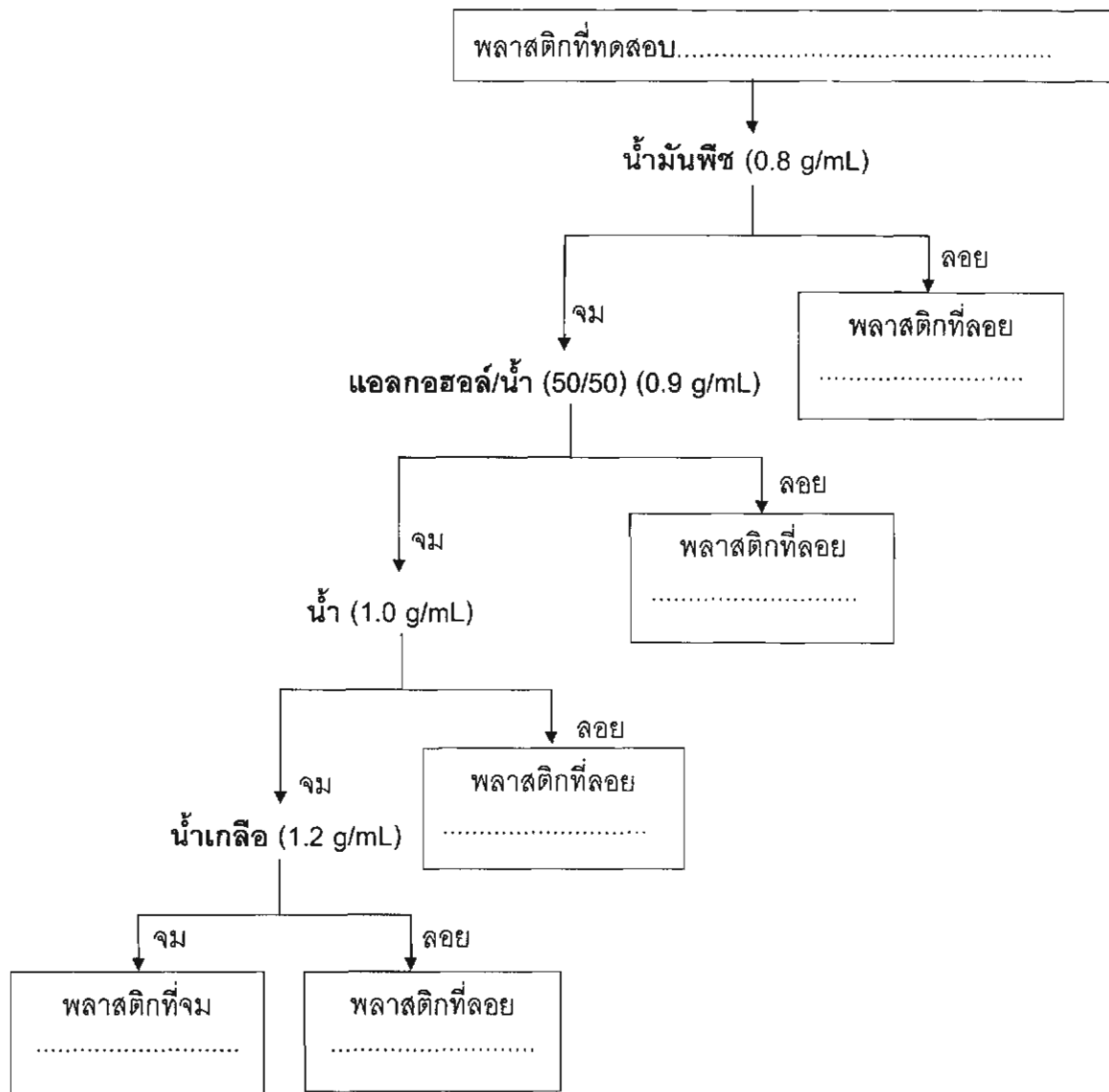
1. พลาสติกชนิดใดบ้างที่ให้เปลวไฟสีเขียว

.....

2. ชิ้นตัวอย่างที่สนใจนำมาทดสอบควรเป็นพลาสติกตัวใดและเพราะเหตุใด

.....
.....

3. การทดสอบหาความหนาแน่น



1. สามารถหาความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ อย่างง่าย ๆ ได้อย่างไร

.....

2. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นน้อยที่สุด

.....

3. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นมากที่สุด

.....

5. การทดสอบการละลาย

ตัวอย่าง พลาสติก	ตัวทำละลาย			
	acetone	cyclohexane	ethanol	toluene
1 PET				
2 HDPE				
3 PVC				
4 LDPE				
5 PP				
6 PS				
7 ตัวอย่าง.....				
8 ตัวอย่าง.....				

หมายเหตุ ให้บันทึกโดยใช้สเกลดังนี้

0 = ไม่ละลาย

1 = บวม

2 = ละลายได้

3 = ละลายได้ดีมาก

1. ตัวทำละลายที่เหมาะสม สำหรับการทำแผ่นฟิล์มบางจากพลาสติกแต่ละชนิดคืออะไร

.....

2. การบวม (swell) ของพลาสติก เกิดได้อย่างไร ต่างจากการละลายหรือไม่ อย่างไร

.....

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

อัตราการแข็งตัว ของฟิล์ม	ความเรียบ / ความมันวาว	ความต่อเนื่อง ของฟิล์ม	ความใส	ปริมาณฟอง อากาศ	ระยะเฉลี่ย ที่ยืด
อย่างรวดเร็ว (quench)					
อย่างช้าๆ (anneal)					

1. จากตารางแผ่นฟิล์มใดจะมีการทนแรงดึงได้ดีกว่ากัน เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

2. อัตราการทำให้แผ่นฟิล์มแข็งตัวที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติและการจัดเรียงโมเลกุลอย่างไร

.....

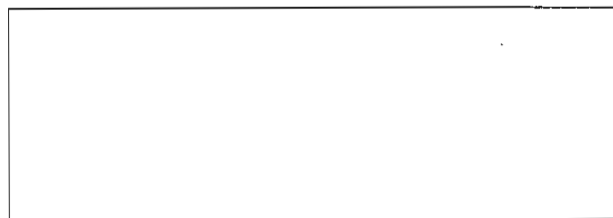
.....

.....

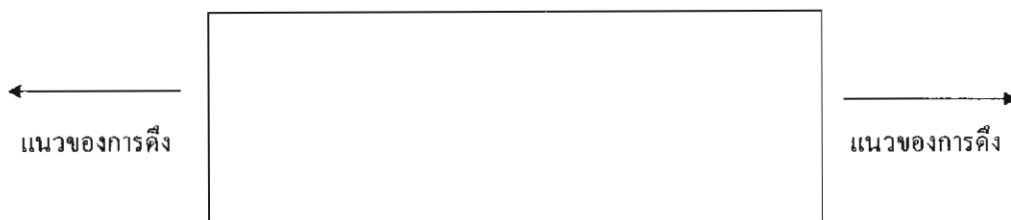
ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างพอลิเมอร์

ส่วนที่ 1 ศึกษาการจัดเรียงโมเลกุลเมื่อมีแรงมากระทำ

1. ลักษณะของรอยขาดเมื่อดึงพลาสติก
2. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงเส้นเชือก 10 เส้นที่กองทับกัน

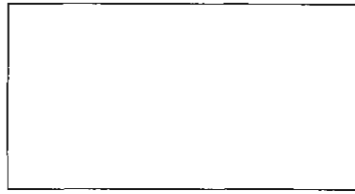


3. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงเส้นเชือก 10 เส้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตามทิศของลูกศร

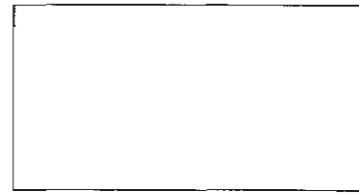


4. การจัดเรียงตัวในข้อ 2 หรือ 3 ที่มีความเป็นระเบียบมากที่สุด
 5. การต้านแรงกดเมื่อกดส่วนที่ยึด
- เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- การต้านแรงกดเมื่อกดส่วนที่ไม่ถูกยึด
- เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

6. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงโมเลกุลของยางก่อนและหลังถูกยืด



ก่อนยืด



หลังยืด

7. การจัดเรียงตัวก่อนหรือหลังถูกยืด มีความเป็นระเบียบมากที่สุด
8. การยืดยางเป็นการเพิ่มหรือลดความเป็นผลึก
9. การยืดยางเป็นการเพิ่มหรือลด entropy
10. การเกิดผลึกในยางเป็นกระบวนการดูดหรือคายพลังงาน
11. การเพิ่มความไม่เป็นระเบียบในโครงสร้างของโมเลกุลยางเป็นกระบวนการ.....พลังงาน

ส่วนที่ 2 ศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์

12. ให้อาตรูปการเรียงชิดกันของเส้นตรง 10 เส้น ก่อนและหลังดึง

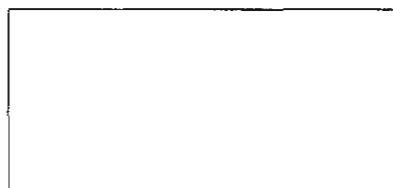


ก่อนดึง

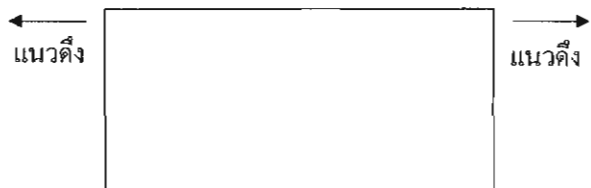


หลังดึง

13. เมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นตรงจะมีลักษณะเหมือนตอนก่อนดึงหรือไม่
14. ให้อาตรูปการเรียงชิดกันของกิ่ง 10 กิ่ง ก่อนและหลังดึง



ก่อนดึง



หลังดึง

15. เมื่อปล่อยมือที่ดึง กิ่งจะมีลักษณะเหมือนตอนก่อนดึงหรือไม่
- จากข้อ 13 และ 15 เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างอย่างถาวรหรือไม่
- และทำอย่างไรจึงจะทำให้โครงสร้างหลังดึงกลับมามีโครงสร้างคล้ายกับตอนก่อนดึง.....
-

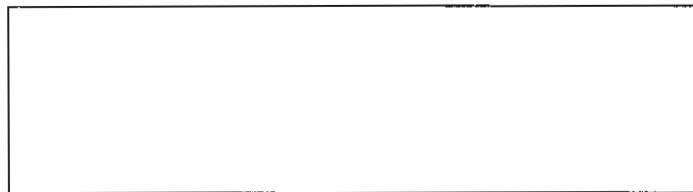
16. เทอร์มอพลาสติกหรือพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้มีโครงสร้างแบบใด
 เพราะเหตุใด

(อธิบายเปรียบเทียบกับการจัดเรียงตัวของพลาสติกเมื่อถูกยืด จากส่วนที่ 1)

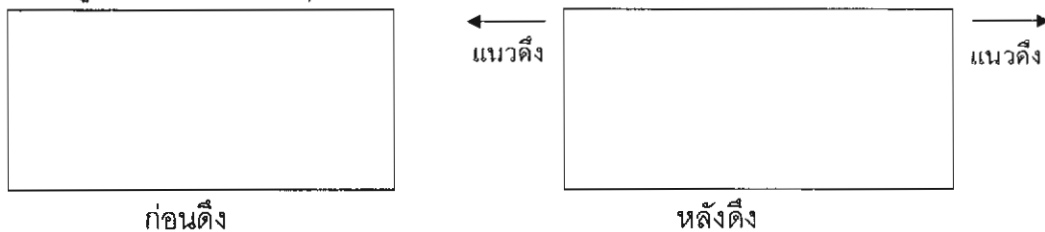
17. รอยฉีกทั้ง 2 แนวเหมือนกันหรือไม่
 ถ้าไม่ ลักษณะของรอยฉีกเป็นอย่างไร

18. รอยฉีกของเส้นใยเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (anisotropic property) หรือไม่

19. ให้อาตรูปโครงสร้างของเส้นใย พร้อมทำลูกศรระบุว่าเส้นใยจะแข็งแรงในทิศทางใด

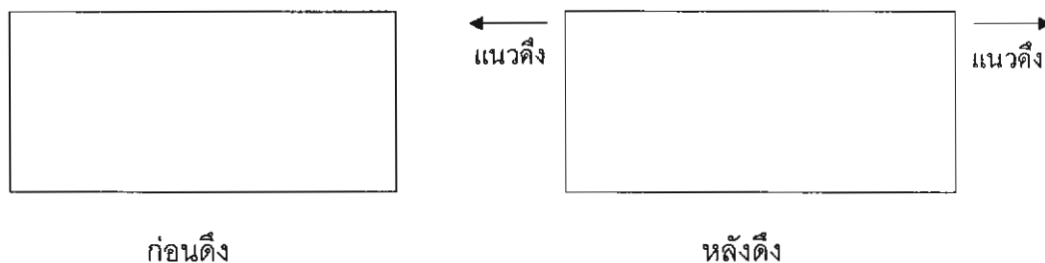


20. ให้อาตรูปการจัดเรียงโมเลกุลของแหที่แน่นหนา ก่อนและหลังดึง



21. รูปโครงสร้างแหก่อนและหลังดึงมีความแตกต่างกันมากหรือไม่
 22. เมื่อปล่อยมือที่ดึง ร่างแหดกลับมาอยู่ในตำแหน่งก่อนดึงหรือไม่
 23. ถ้าเปรียบเทียบการออกแรงดึงเหมือนความยากง่ายในการทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลว ท่านคิดว่าพอลิเมอร์ร่างแหที่ถี่นี้ จะหลอมเหลวยากหรือง่าย
 นั่นคือต้องใช้ความร้อนสูงหรือต่ำในการทำให้หลอมเหลว

24. ให้อาตรูปการจัดเรียงโมเลกุลของแหที่ถูกตัดจุดเชื่อม ก่อนและหลังดึง



25. เมื่อปล่อยมือที่ดึง ร้างแหดกลับมาอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงตำแหน่งก่อนดึงหรือไม่
26. เทอร์มอเซตควรมีโครงสร้างแบบร่างแหแบบถั่วหรือห่าง.....
เพราะเหตุใด
27. ยางยืดควรมีโครงสร้างแบบร่างแหแบบถั่วหรือห่าง.....
เพราะเหตุใด

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. ระหว่างพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงและกึ่ง ชนิดใดจะมีความหนาแน่นมากกว่ากัน ทำให้สมบัติต่างกันหรือไม่ และ LDPE หรือ HDPE ที่มีโครงสร้างแบบกึ่ง
.....
.....
.....
2. จากการฉีกกระดาษ โครงสร้างของเส้นใยเป็นอย่างไร เส้นใยจะแข็งแรงในทิศทางใด เส้นใยมีสมบัติที่ขึ้นกับทิศทาง (anisotropic) หรือไม่
.....
.....
.....
3. ยางยืดหดกลับได้ แสดงว่าในโครงสร้างมีจุดเชื่อมหรือไม่ ถ้ามีจะมีจุดเชื่อมแน่นหนาหรืออ่อน ๆ ยางยืดเกิดผลึกได้อย่างไร และการเกิดผลึกเป็นกระบวนการดูดหรือคายพลังงาน
.....
.....
.....

ภาคผนวก ก

เคมีแบบย่อส่วน (Small Scale Chemistry)

วิชาเคมีเป็นวิชาที่อยู่บนพื้นฐานของการทดลอง การเรียนการสอนเคมีต้องควบคู่ไปกับปฏิบัติการเคมีเสมอ แต่การจัดการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการที่ทำกันอยู่ต้องอาศัยองค์ประกอบและปัจจัยต่าง ๆ มากมาย เช่น สถานที่คือห้องปฏิบัติการ ตู้ โต๊ะ อ่างน้ำ ตู้ดูดควัน สารเคมีปริมาณมาก อุปกรณ์เครื่องแก้วที่มีราคาแพง และเมื่อมีของเสียจากสารเคมี ถ้าปล่อยทิ้งไปเลยก็เป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธีหรือเปลี่ยนกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เมื่อมีอุปกรณ์มากมายเหลือเกินทั้งที่รู้ว่าการทดลองทางเคมีถ้าทำควบคู่ไปกับการสอนบรรยาย จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ดีขึ้น ก็ต้องตั้งใจเอาอุปกรณ์ให้ดูบ้าง แสดงให้ดูบ้าง เคมีแบบย่อส่วนสามารถแก้ปัญหานี้ได้

เคมีแบบย่อส่วนเป็นเรื่องใหม่ เห็นและสัมผัสได้ทุกคน เป็นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ที่จะนำผู้เรียนเข้าสู่การทดลองทางเคมี อีกทั้งยังประหยัด ปลอดภัย ช่วยให้การเรียนการสอนเคมีน่าสนใจ เข้าใจลึกซึ้ง มีความรู้ฝังเรียน ส่งเสริมกระบวนการความคิดทางวิทยาศาสตร์

ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีรูปแบบหลัก ๆ ดังนี้

1. ใช้สารเคมีน้อยลงถึง 1 ใน 1000 ของปริมาณที่ใช้กันในปฏิบัติการเคมีแบบทั่วไป
2. เปลี่ยนจากการใช้เครื่องแก้วมาเป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยพลาสติก
3. เป็นการสังเกตเปรียบเทียบตัวอย่างต่าง ๆ ที่หลากหลายรวดเร็วในทั้ง 3 เฟส คือ แก๊ส ของเหลว ของแข็ง

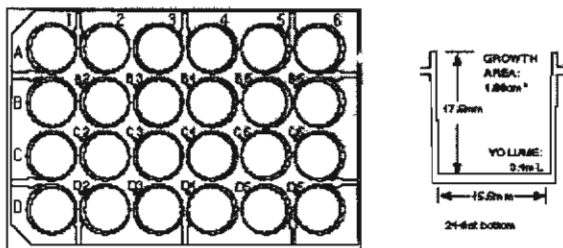
จากรูปแบบหลักทั้งสามดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดข้อดีมากมาย ได้แก่

- ✳ การใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อยมากลดลงเป็นพันเท่า ค่าใช้จ่ายเพื่อจัดซื้อสารเคมีก็ลดลงเป็นพันเท่าเช่นกัน
- ✳ สารเคมีส่วนมีพิษไม่มากนักน้อย เมื่อใช้น้อยความเป็นพิษก็น้อย บางทีอาจทิ้งไปได้เลยโดยไม่ทำความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม ถ้าต้องทำการกำจัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็ลดลงอย่างมาก เพราะสารมีพิษมีน้อยเหลือเกิน
- ✳ ปฏิกริยาบางปฏิกิริยามีอันตราย เช่น ระเบิด ติดไฟได้ แต่เมื่อมีปริมาณน้อยมาก เช่น 1-2 หยด ก็เหมือนกับจุดไม้ขีดไฟเท่านั้น จากเดิมที่นำมาใช้ทดลองไม่ได้เพราะไม่ปลอดภัย ก็สามารถนำมาใช้ได้
- ✳ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นพลาสติกที่หาได้ทั่วไป สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นอุปกรณ์ปกติธรรมดาในห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยา ชีวโมเลกุล และการวิจัยทางด้าน nanotechnology

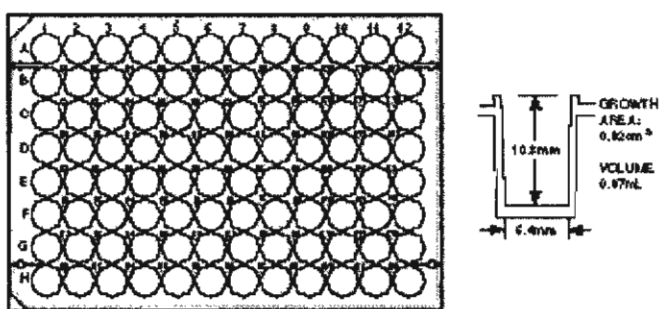
เมื่อปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ทั้งง่าย ถูก ปลอดภัย และพกพาสะดวก สามารถนำมาใช้ทดลองควบคู่ไปกับการสอนในห้องเรียน ผู้เรียนทดลองไป สังเกตไป สรุปผลไป ก็เกิดดวงตาเห็นธรรม เข้าใจเคมีอย่างลึกซึ้ง จากนั้นทุกคนยังสามารถทำการทดลองได้ และจากการที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเคมีแบบย่อส่วนมีขนาดเล็ก ไม่แตกง่าย จึงอาจใช้ในการทดลองภาคสนามได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

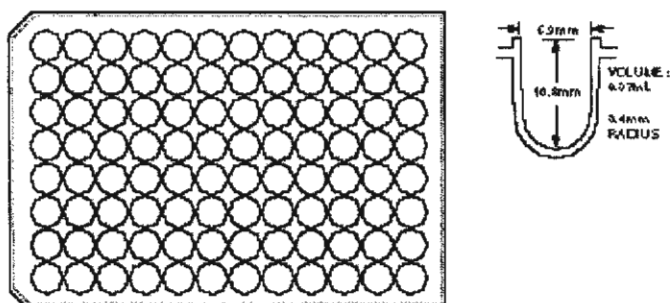
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 4 x 6 หลุม หรือ 24 หลุม



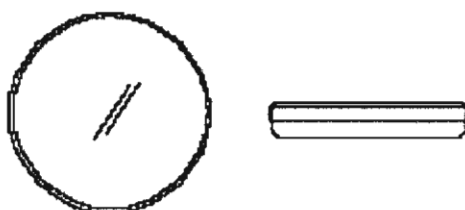
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 8 x 12 หลุม หรือ 96 หลุม แบบก้นแบน



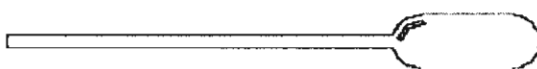
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 8 x 12 หลุม หรือ 96 หลุม แบบก้นกลม



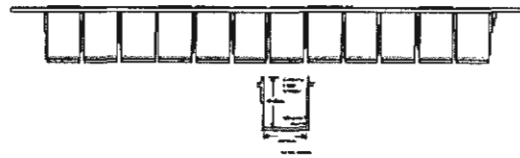
จานพลาสติกพร้อมฝาครอบ



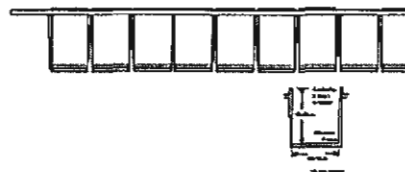
ปิเปตพลาสติก



ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1 x 12 หลุม หรือ 12 หลุม



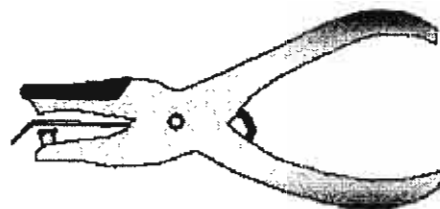
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1 x 8 หลุม หรือ 8 หลุม



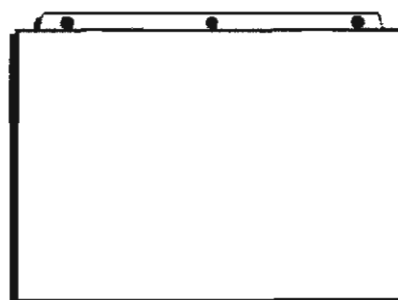
หลอดดูดพลาสติกชนิดใส-แบบเล็กและแบบใหญ่



ที่เจาะรูกระดาษแบบรูเดียว



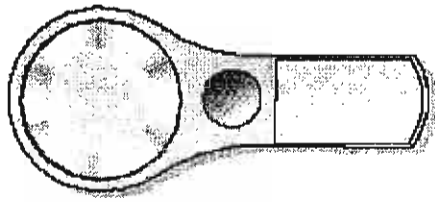
ซองพลาสติกสำหรับใส่กระดาษเข้าแฟ้ม (ชนิดหนา)



ปากกาเมจิกแบบปลายแหลม



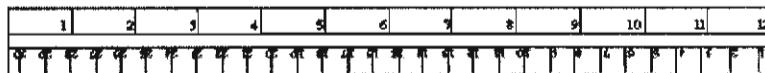
แว่นขยาย



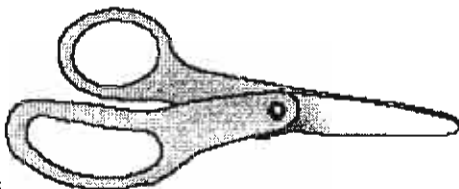
ปากคีบปลายแหลม



ไม้บรรทัดขนาด 12 นิ้ว / 30 ซม. ชนิดพลาสติกใส



กรรไกรขนาดกลาง ปลายแหลม



นอกจากนี้ยังมี ชิ้น ฐานตั้งและที่จับยึดทำจากหลอดดูดน้ำอัดลม สำหรับคนทำจากไม้จิ้มฟัน ขั้วไฟฟ้าทำจากเชือกหมุด ใสดินสอดำ ถ้วยน้ำพลาสติกเป็นอ่างน้ำร้อน ครอบป้องกันอัดลม และเทียนไขประกอบเป็นแผ่นให้ความร้อน

เทคนิคเบื้องต้นในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

การสร้างไมโครบิวเรต

วิธีทำ ไมโครบิวเรตแบบหยดใหญ่ หรือหลอดหยดแบบหยดใหญ่

นำเอาปิเปตพลาสติกมา ใช้กรรไกรตัดก้านของปิเปตโดยตัดให้ตรง ไม่ให้ตัดเฉียง โดยตัดให้เหลือก้านติดกับกะเปาะยาวประมาณ 2 cm ก้านที่ตัดออกอย่าทิ้งใช้เป็นแท่งสำหรับคนได้

วิธีทำ ไมโครบิวเรตแบบหยดเล็กหรือหลอดหยดแบบหยดเล็ก

1. ใช้มือทั้งสองข้างจับก้านปิเปต มือข้างหนึ่งจับก้านด้านใกล้กะเปาะ อีกมือหนึ่งจับปลายก้านอีกด้านหนึ่ง
2. ออกแรงดึงทางด้านปลายก้าน ด้านกะเปาะยืดเอาไว้เฉย ๆ ก้านปิเปตจะถูกดึงยืดออกและเล็กลง
3. ใช้กรรไกรตัดก้านปิเปต ตัดให้ตรง ไม่เฉียง โดยให้ปลายก้านที่เหลือยาวประมาณ 1-1.5 cm



เทคนิคในการหยด

เทคนิคในการหยดที่ดีเพื่อให้ได้หยดที่สม่ำเสมอ คือ จับไมโครบิวเรตให้ตั้งตรง ปลายบิวเรต อยู่ห่างจาก หลุมประมาณ 1 cm บีบกะเปาะเบา ๆ แล้วปล่อยให้ น้ำไหลหยดออกมาอย่างอิสระ

การปรับเทียบไมโครบิวเรต

การปรับเทียบไมโครบิวเรตเป็นการสอบเทียบว่า ไมโครบิวเรตที่ทำขึ้นนั้นมีปริมาตรเท่าใดต่อหนึ่งหยด วิธีทำเป็นดังนี้

1. เอาภาดหลุมแบบ 12 หลุม เพื่อหาปริมาตรของแต่ละหลุม โดยใช้ graduated pipet ขนาด 1.00 mL หยดน้ำเปล่าหรือน้ำสี เช่น เขียว น้ำเงิน เพื่อให้สังเกตเห็นได้ชัดเจนไปจนเต็มหลุมพอดี อาจใช้แว่นขยายเพื่อส่องดูว่าน้ำเต็มหลุมพอดีหรือไม่ หาปริมาตรของหลุมจากปริมาณน้ำที่หยดลงมาจาก graduated pipet ทำซ้ำอีก 3-5 ครั้ง หาปริมาตรเฉลี่ย (การทดลองส่วนนี้ อาจารย์อาจทำมาจาก นอกห้องบรรยาย โดยผู้เรียนไม่ต้องทำเองก็ได้) ภาดหลุมแบบ 12 หลุม แต่ละหลุมมีปริมาตร 0.40 mL
2. นำไมโครบิวเรตที่ต้องการปรับเทียบมาดูดน้ำเปล่าหรือน้ำสีเข้าไปประมาณครึ่งกะเปาะแล้วนำไป หยดในภาดหลุมจนน้ำเต็มหลุมพอดี นับจำนวนหยดไว้ ปริมาตรของแต่ละหยดคำนวณได้จาก

$$\frac{\text{ปริมาตรของหลุม}}{\text{จำนวนหยด}} = \text{mL/หยด}$$

3. ถ้าทราบความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้หยด ก็สามารถคำนวณจำนวนโมลต่อหยดได้ ตัวอย่าง เช่น

$$\left(\frac{0.1000 \text{ mol}}{1000 \text{ mL}}\right)\left(\frac{0.40 \text{ mL}}{10 \text{ หยด}}\right) = 4.0 \times 10^{-6} \text{ mol/หยด}$$

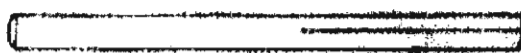
4. ทำซ้ำจากข้อ 2-3 อีก 1 หรือ 2 ครั้ง นำค่า mL/หยด มาเฉลี่ย จะได้ค่า mL/หยด ของ ไมโครบิวเรตนั้น

วิธีทำชาต้งและที่จับยัด

1. ทำชาต้ง โดยนำเอาหลอดดูดน้ำอัดลมมาเจาะรูตรงกลางหลอด ด้วยที่เจาะรูเอกสาร ดังภาพ



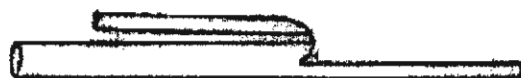
2. นำหลอดดูดน้ำอัดลมอีกหลอดมาตัดแล้วสอด ดังภาพ เพื่อใช้เป็นที่จับไมโครบิวเรตหรืออื่น ๆ



2.1 สอดกรรไกรเข้าไปตัด



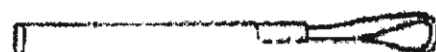
2.2 ตัดด้านตรงกันข้ามเช่นเดียวกัน หลอดตรงส่วนนี้จะถูกแบ่งครึ่งตามยาว



2.3 หักออก



2.4 เหลือเป็นลักษณะแบบนี้



2.5 งอหลอดและสอดเข้าปดิงภาพจะได้ห่วงแบบปรับเป็นเล็กใหญ่ได้

การใช้ปิเปตพลาสติกเพื่อบรรจุสารละลาย

ปิเปตพลาสติกสามารถใช้เป็นทั้งภาชนะบรรจุสารละลายและหลอดหยดได้

วิธีบรรจุสารละลาย

1. ใช้ปิเปตพลาสติกดูดสารละลายเข้าไป
2. ปิดปลายด้านปิเปตโดยนำไปชนไฟจากเปลวเทียนไขที่ปลายก้านปิเปตจนนุ่ม แล้วใช้คีมคีบปิเปตให้ปิดสนิท

วิธีใช้เป็นหลอดหยด

1. เมื่อต้องการใช้สารละลายที่บรรจุในปิเปตพลาสติกให้ใช้กรรไกรตัดปลายก้านปิเปตที่ปิดออก ควรตัดให้ตรง ไม่เฉียง จะสามารถใช้เป็นหลอดหยดที่ให้หยดที่สม่ำเสมอ
2. เมื่อเสร็จการทดลอง ให้ปิดปลายก้านปิเปตไว้ดังเดิมด้วยการชนไฟจากเปลวเทียนไขดังวิธีข้างต้น

การเจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นที่แน่นอน

ตัวอย่างเช่นต้องการเจือจางสารละลาย 0.10 M HCl ให้เป็น 0.01 M HCl ทำได้ดังนี้

1. ใช้ปิเปตพลาสติกอันหนึ่งดูดสารละลาย 0.10 M HCl หยดลงในภาดหลุม (แบบใดแบบหนึ่ง) 1 หยด
2. บีบปิเปตเอาสารละลาย 0.10 M HCl ออก ล้างปิเปตให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วดูด น้ำกลั่นให้บรรจุในปิเปต
3. หยดน้ำกลั่น 9 หยด จากปิเปตลงไปรวมกับ 1 หยดของ 0.1 M HCl เขย่าภาดหลุมในแนวราบ สารละลายที่ได้ คือ 0.01 M HCl
4. ถ้าต้องการให้ได้สารละลายจำนวนมากขึ้น ให้เพิ่มจำนวนหยดตามสัดส่วน

วิธีการล้างภาดหลุม

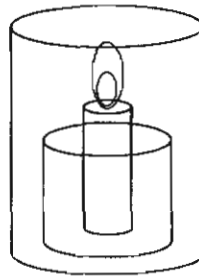
ให้ใช้น้ำฉีดลงไป แล้วนำไปคว่ำเทออกในถ้วยพลาสติกซึ่งใช้สำหรับบรรจุของเสีย ภาดหลุมแบบหลุมเล็ก มีการออกแบบที่ทำให้สารละลายไม่หกออกมา จึงต้องเคาะเล็กน้อย ทำซ้ำจนสะอาด ใช้กระดาษทิชชูหรือคอตตอนบัด ซับน้ำส่วนที่เหลือออกจนแห้ง

วิธีการล้างปิเปตพลาสติก

บีบเอาสารละลายที่บรรจุออก ดูดน้ำกลั่นเข้าไปแล้วบีบทิ้งลงในถ้วยพลาสติกซึ่งใช้สำหรับบรรจุของเสีย ทำซ้ำหลายครั้งจนแน่ใจว่าสะอาด พยายามกำจัดน้ำออกให้หมด โดยบีบพ่นแรงๆ และเคาะปลายก้าน ปิเปตกับกระดาษทิชชู

การสร้างเตาให้ความร้อน

ทำจากกระป๋องน้ำอัดลมและเทียนไข ดังภาพ ถ้าเทียนไข (ขนาดเล็ก) สูงไปให้ตัดทางด้านฐานออกเล็กน้อยด้วยคัตเตอร์ ถ้าความร้อนสูงไปก็ให้ทำเช่นเดียวกัน คือ ลดระดับเปลวเทียนให้ต่ำลง



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

วิธีการและเทคนิคของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพมี 4 แบบโดยแบ่งตามขนาดของสารตัวอย่าง ดังนี้

วิธีการวิเคราะห์	ขนาดของสารตัวอย่าง
การวิเคราะห์ระบบแมกโคร	0.1 - 10.0 g
การวิเคราะห์ระบบเมโซไมโคร	0.01 - 0.1 g
การวิเคราะห์ระบบไมโคร	0.001 - 0.01 g
การวิเคราะห์ระบบอุลตราไมโคร	น้อยกว่า 0.001 g

การวิเคราะห์แบบแมกโครไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายมาก ระบบไมโคร และ ระบบอุลตราไมโครนั้นแม้ว่าจะตัดปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองแต่ต้องอาศัยเทคนิคที่ละเอียดเป็นพิเศษ จึงไม่เหมาะสำหรับการฝึกทดลองในชั้นเริ่มแรก

ดังนั้นระบบเมโซไมโคร จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ตามคลินิกหรือสถาบันพลังงานปรมาณู

การทำเคมีคุณภาพวิเคราะห์ต้องสังเกตอย่างละเอียดถี่ถ้วน ประมวลข้อสังเกตที่ได้อย่างมีระบบ และจัดกระบวนการความคิดอย่างมีระเบียบ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการศึกษาวิทยาศาสตร์ สิ่งที่ต้องสังเกตได้แก่

1. การปรากฏหรือการเปลี่ยนแปลงสี
2. การละลายหรือการเกิดตะกอน
3. การเกิดฟองแก๊ส
4. การเปลี่ยนแปลงกลิ่น

การละลายของสารประกอบอนินทรีย์

ความสามารถในการละลายของสารประกอบอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัย และสภาวะแวดล้อมอื่นมากมาย การละลาย ในที่นี้มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่ พอละลายได้บ้าง จนถึง ละลายได้ดี สำหรับ การไม่ละลาย นั้น มีความหมายว่า ละลายได้น้อยมากจนมีอาจสังเกตได้

การเกิดตะกอน

ปฏิกิริยาตกตะกอนมีความสำคัญทางเคมีวิเคราะห์ เนื่องจากลักษณะเฉพาะของตะกอนสามารถใช้ตรวจสอบสารและใช้แยกสารออกจากกันได้

ตะกอน หมายถึง ของแข็งซึ่งไม่ละลายจึงแยกตัวออกจากสารละลาย ดังนั้นตะกอนจึงต้องอยู่ปนกับของเหลวเสมอ ถ้านำสารละลายไประเหยจนแห้ง ของแข็งที่คงเหลือค้างอยู่จะเรียกว่า กาก

เพราะไม่มีของเหลวเหลือปะปนจึงมิใช่ตะกอน และถ้าแยกตะกอนออกจากของเหลว ด้วยการเซนทริฟิวจ์หรือการกรอง ของแข็งที่ถูกแยกออกจากของเหลวแล้วนั้น เรียกว่า ตะกอน

วิธีการตกตะกอน การตกตะกอนสามารถทำได้โดยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1. ทำให้อุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัวลดลง
2. เติมตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง
3. เติมสารเคมีเพื่อทำให้เกิดตะกอนจากปฏิกิริยาเคมี

ประเภทของตะกอน

โดยทั่วไปแล้ว สีและลักษณะของตะกอนสามารถนำมาใช้สรุปผลการตรวจสอบได้ว่าเป็นตะกอนชนิดใดหรือเป็นตะกอนของสารใด ในบางครั้งสภาวะในขณะตกตะกอน อาจทำให้ลักษณะของตะกอนแตกต่างออกไป ตัวอย่างเช่น สารชนิดหนึ่งอาจมีลักษณะเป็นผลึกในสภาวะหนึ่ง แต่อาจเป็นตะกอนละเอียดในอีกสภาวะหนึ่ง ถ้าสารละลายเจือจาง ตะกอนจะเกิดอย่างช้า ๆ และมีลักษณะเป็นผลึกซึ่งเซนทริฟิวจ์ กรอง และล้างให้ปราศจากสิ่งเจือปนได้ง่ายกว่าตะกอนที่เกิดอย่างรวดเร็วจากสารละลายเข้มข้นซึ่งมักเป็นตะกอนละเอียด

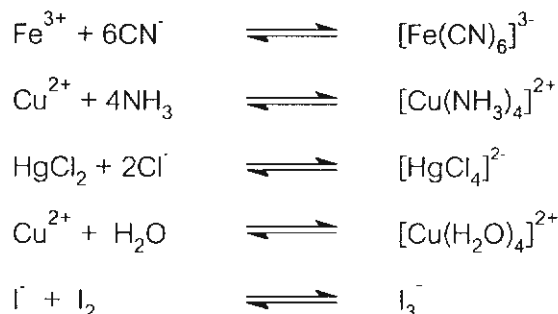
ลักษณะของตะกอน

ตะกอน แบ่งเป็น 6 ประเภทตามลักษณะ ดังนี้

1. **ตะกอนผลึก (crystalline precipitate)** เป็นอนุภาคขนาดเล็กมีรูปร่างสม่ำเสมอ ผิวเรียบวาว ตัวอย่างเช่น น้ำตาล เกลือ นับเป็นลักษณะตะกอนที่ง่ายต่อการกรองและล้าง
2. **ตะกอนเม็ด (granular precipitate)** เป็นก้อนขนาดเล็ก รูปร่างไม่สม่ำเสมอ ลักษณะคล้ายผงกาแฟบด ตะกอนเม็ดจะกรองและล้างได้ง่าย
3. **ตะกอนผงละเอียด (finely divided precipitate)** มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ลักษณะคล้ายกับผงแป้ง ไม่นอนก้นและอาจลอดผ่านกระดาษกรองได้ ทำให้ไม่สามารถแยกและล้างตะกอนได้
4. **ตะกอนฟล็อกคิวเลนต์ (flocculent precipitate)** มีลักษณะเป็นก้อน และนอนก้นอย่างช้า ๆ มีสภาพเช่นเดียวกับนมที่บูดเสีย ทำให้การกรองช้าและล้างได้ยาก
5. **ตะกอนเจลลาติน (gelatinous precipitate)** มีสภาพเป็นวุ้น เป็นตะกอนที่ล้างได้ยากและมักจะหุ้มสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ไว้
6. **คอลลอยด์ (colloid)** เป็นตะกอนที่มีขนาดเล็กมากไม่สามารถแยกได้ด้วยการกรองหรือเซนทริฟิวจ์

ไอออนเชิงซ้อน (complex ions)

ไอออนเชิงซ้อน เกิดจากการรวมตัวระหว่างไอออนต่างชนิด และ/หรือ โมเลกุลที่เป็นกลาง ตัวอย่างเช่น



ไอออนเชิงซ้อนจะมีสมบัติแตกต่างจากไอออนหรือโมเลกุลเดิม การเกิดไอออนเชิงซ้อนอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสี การเกิดหรือการละลายของตะกอน

ผลทดสอบ

ผลทดสอบบวก (positive test) หมายถึงกระบวนการทดสอบที่ประสบผลสำเร็จ เช่น ทดสอบพบสารนั้นๆ ได้อย่างถูกต้อง

ผลทดสอบลบ (negative test) หมายถึงกระบวนการทดสอบที่ไม่ประสบผล เช่น ทดสอบไม่พบสารที่คาดคะเนไว้

สิ่งแปลกปลอม หมายถึงสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่ทำให้ผลทดสอบเป็นเท็จ ซึ่งอาจจะเป็นผลทดสอบบวกเท็จหรือผลทดสอบลบเท็จอย่างใดอย่างหนึ่ง

ความไวของการทดสอบ (sensitivity of a test)

หมายถึง วิธีการที่ใช้นั้นสามารถทดสอบกับสารปริมาณน้อยมาก เช่น 1×10^{-7} g ได้โดยไม่มีข้อสงสัย

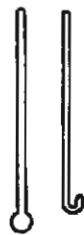
ในกรณีที่มีการทดสอบขาดความไว ให้เพิ่มความไวได้ด้วยการเติมสารประกอบอินทรีย์ที่มีสี เพื่อย้อมสีของตะกอนให้เห็นเด่นชัดขึ้น ตัวอย่างเช่น

1. การเติมอะลูมินอน (ammonium aurintricarboxylate) ช่วยในการทดสอบ Al^{3+}
2. การเติมแมกนิซอน (p-nitrobenzeneazoresorcinol) ช่วยในการทดสอบ Mg^{2+}

อุปกรณ์และเทคนิคต่างๆ ในการวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร

อุปกรณ์

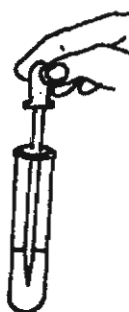
1. **หลอดทดลอง (test tube)** ใช้หลอดขนาด 10 mL หลอดทดลองที่ใช้อาจจะมีขนาดไม่เท่ากันทุกหลอด หาปริมาตรของหลอดทดลองได้โดยบรรจุน้ำให้เต็มหลอดแล้ววัดปริมาตรด้วยกระบอกตวง (หาปริมาตรของสารละลายโดยประมาณจากความสูงของสารละลายในหลอด)
2. **แท่งแก้วคน (stirring rod)** เป็นแท่งแก้วตัน ปลายข้างหนึ่งมักจะทำให้แบนหรือโค้งงอเล็กน้อย ใช้สำหรับคนสารละลายและเขียนหรือขีดสารที่เป็นของแข็ง



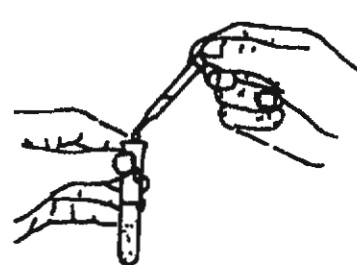
3. **หลอดหยด (dropper)** ทำด้วยหลอดแก้วเล็ก ๆ ปลายข้างหนึ่งเรียวเล็ก อีกข้างหนึ่งมีลูกยางสวมอยู่ การใช้หลอดหยดควรปฏิบัติดังนี้
 - ก. **การดูดสารละลาย** ให้บีบลูกยางเพื่อไล่อากาศในหลอดออกก่อนจึงจุ่มปลายหลอดหยดลงไปใต้ระดับของสารละลายที่ต้องการ แล้วค่อยๆ ผ่อนการบีบลูกยางเพื่อให้สารละลายไหลขึ้นมาในหลอด แต่อย่าให้ถึงลูกยาง เมื่อยกขึ้นมาแล้วต้องให้ปลายหลอดหยดอยู่ในแนวตั้งเสมอ



หลอดหยด

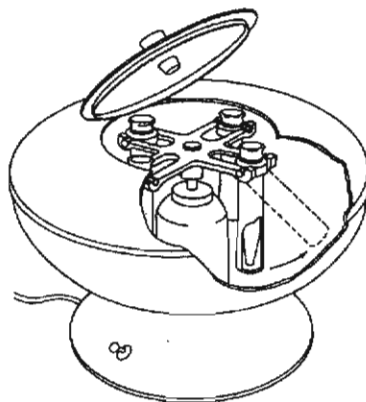


ขณะดูด



ขณะหยด

- ข. การหยด ให้ปลายหลอดหยดยู่เหนือปากหลอดทดลองเล็กน้อย ค่อย ๆ บีบลูกยางจนสารละลายหยดลงไปตามต้องการ ควรฝึกหยดน้ำเปล่าดูก่อนเพื่อทราบแรงที่ใช้บีบลูกยางได้ถูกต้องและสม่ำเสมอ ควรทดสอบดูว่าหลอดหยดที่ใช้นั้น 1 mL มีกี่หยด
- ค. ข้อควรระวังในการใช้หลอดหยด
- (i) ขณะดูดสารละลายต้องระวังอย่าให้สารละลายขึ้นสูงถึงลูกยาง เพราะจะทำให้ลูกยางเปื้อนและสารละลายอาจเกิดปฏิกิริยากับลูกยางได้
 - (ii) อย่าใช้หลอดหยดส่วนหัวดูดสารละลายจากขวดรีเอเจนต์ เพราะอาจทำให้มีสารอื่นเจือปนในสารละลายในขวด วิธีที่ถูกต้องควรรินสารละลายที่จะใช้จากขวดลงในหลอดทดลอง แล้วจึงใช้หลอดหยดดูดสารละลายในหลอดนี้ไปใช้
 - (iii) เมื่อรินสารละลายออกจากขวดแล้ว ถ้าใช้ไม่หมดห้ามเทกลับคืนขวด ให้เทลงในภาชนะที่จัดเตรียมไว้ให้ ดังนั้นจึงควรรินสารละลายมาครั้งละปริมาณพอใช้เท่านั้น
 - (iv) ถ้าขวดสารละลายใดมีหลอดหยดประจำขวด ให้ใช้หลอดหยดนั้นได้เลย ระวังอย่าให้หลอดหยดสลับขวดกัน และอย่าให้หลอดหยดแตะที่ปากหลอดทดลองเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายในขวดรีเอเจนต์เกิดปนเปื้อนด้วยสารอื่น
 - (v) หลอดหยดที่ใช้แล้วต้องล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้งหนึ่ง
 - (vi) อย่าวางหลอดหยดที่ล้างสะอาดแล้วบนโต๊ะ ควรใส่ไว้ในหลอดทดลองที่สะอาดหรือพาดไว้บนร่องปากของบีกเกอร์
4. เครื่องเซนทริฟิวจ์ (centrifuge) ใช้สำหรับแยกตะกอนออกจากสารละลาย การใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์นั้นการจัดน้ำหนักให้สมดุลทั้งสองข้างเป็นเรื่องสำคัญที่สุด



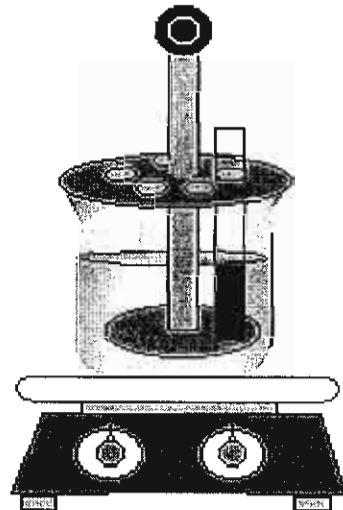
เครื่องเซนทริฟิวจ์

วิธีปฏิบัติ ให้ใช้หลอด 2 หลอดน้ำหนักเท่ากัน บรรจุไว้ในทิศตรงกันข้าม (โดยใช้หลอดขนาดเดียวกัน บรรจุของเหลวที่มีระดับเท่ากัน) เครื่องเซนทริฟิวซ์ที่ใช้มีที่บรรจุหลอดพร้อมทั้งบอกหมายเลขกำกับไว้ด้วยทั้งหมด 4 หลอด เพื่อให้จำตำแหน่งของหลอดทดลองที่ใช้ อาจจะเซนทริฟิวซ์ครั้งละ 2 หลอด ถ้าเซนทริฟิวซ์ครั้งละ 4 หลอด ทั้ง 4 หลอดไม่จำเป็นต้องหนักเท่ากัน แต่หลอดที่อยู่ตรงข้ามกันจะต้องหนักเท่ากันเสมอ เมื่อบรรจุหลอดเข้าที่เรียบร้อยแล้ว ปิดฝาเครื่องเซนทริฟิวซ์ กดสวิตช์ให้เครื่องหมุนนานประมาณ 1-2 นาที ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตะกอน ถ้าตะกอนมีน้ำหนักมากเหวี่ยงไม่นานก็จะนอนกัน ถ้าตะกอนมีขนาดเล็กและเบาต้องให้เครื่องหมุนนานกว่าปกติ ห้ามเปิดฝาในขณะที่เครื่องกำลังหมุนอยู่เพราะอาจเกิดอันตรายได้ เมื่อเปิดเครื่องนานพอควรแล้วจึงปิดสวิตช์ เครื่องจะหมุนช้าลง ๆ จนหยุดสนิท (เครื่องเซนทริฟิวซ์บางชนิดที่ฝาเครื่องจะมีปุ่มเบรคสำหรับกดเพื่อช่วยให้เครื่องหยุดหมุน การกดปุ่มเบรคควรทำหลังจากปิดสวิตช์แล้วขณะที่เครื่องกำลังหมุนอย่างช้า ๆ ถ้าทำให้เครื่องหยุดทันทีตะกอนจะปนกับสารละลายอีก) เปิดฝานำหลอดทดลองไปแยกสารละลายใส (centrifugate) ออกจากตะกอนโดยวิธีรินหรือใช้หลอดหยดดูดสารละลายออก แต่ถ้าตะกอนยังไม่นอนกันแสดงว่าเปิดเครื่องไม่นานพอต้องเซททริฟิวซ์ต่ออีก

ข้อควรปฏิบัติ

- (i) สารละลายที่นำไปเซนทริฟิวซ์ควรมีปริมาตรไม่เกินครึ่งหลอด ถ้าเกินครึ่งหลอดควรแบ่งสารละลายออกเป็นสองหลอดเท่าๆ กันแล้วจึงนำไปเซนทริฟิวซ์
- (ii) ขณะที่เครื่องกำลังหมุนอยู่ ถ้ามีเสียงผิดปกติให้รีบหยุดเครื่องทันทีแล้วเปิดฝาดูดู ถ้ามีหลอดแตกให้เก็บเศษแก้วออกจนหมด แล้วใช้ฟองน้ำที่สะอาดซับสารละลายที่หกจนแห้ง บางครั้งเวลาเปิดเครื่องแล้วเครื่องสะท้อนมีเสียงครี๊ดคราดแสดงว่าน้ำหนักของหลอดทั้งสองข้างไม่สมดุลกัน กรณีนี้ต้องหยุดเครื่องและปรับปริมาณใหม่

5. อ่างน้ำร้อน (water bath) ใช้สำหรับให้ความร้อนสารละลายในหลอดทดลองเมื่อต้องการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น อ่างน้ำร้อนที่ใช้ประกอบด้วยบีกเกอร์ขนาด 250 mL ใส่ช่องท้องเหลือน้ำสำหรับวางหลอดทดลอง บรรจุน้ำประปาสูงประมาณ $\frac{2}{3}$ ของบีกเกอร์ ตั้งอยู่บนเครื่องให้ความร้อน ดังรูป

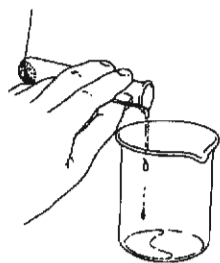


อ่างน้ำร้อน

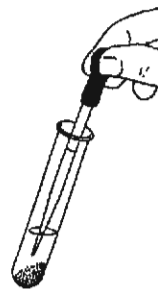
เทคนิค

1. การตกตะกอนสมบูรณ์ หมายถึง การตกตะกอนไอออนที่ต้องการออกจากสารละลายจนหมด จะทราบว่า ตะกอนตกสมบูรณ์หรือยังได้ โดยนำหลอดทดลองบรรจุสารละลายที่เติมรีเอเจนต์สำหรับตกตะกอนแล้วไปเข็นทรีฟิวจ์ จนตะกอนนอนก้นแล้วหยดรีเอเจนต์ที่เป็นตัวทำให้ตกตะกอนลงบนน้ำใส (centrifugate) 1-2 หยด ถ้าสารละลายใส่นั้นไม่ขุ่นแสดงว่าตะกอนตกสมบูรณ์แล้ว แต่ถ้าสารละลายใส่นั้นขุ่นแสดงว่ายังตกตะกอนไม่สมบูรณ์ ต้องเติมรีเอเจนต์เดิมลงไปอีกและทดสอบโดยวิธีการเช่นเดิมจนได้ตะกอนตกสมบูรณ์

ตะกอนนอนก้นภายหลังจากเข็นทรีฟิวจ์



การแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการเท



การแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการดูดด้วยหลอดดูด

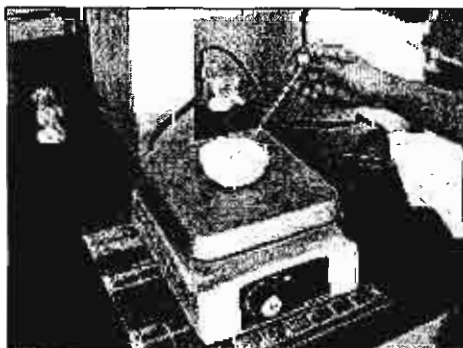


การล้างตะกอน

2. การล้างตะกอน เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ออกไป โดยเติมน้ำกลั่นจำนวนพอเหมาะลงบนตะกอน เขย่าหรือคนด้วยแท่งแก้วให้ทั่ว เซนทรีฟิวจ์ รินน้ำไลทิ้ง (การล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนก็ปฏิบัติเช่นเดียวกัน แต่อุณหภูมิจะต่ำกว่าก่อนนำไปเซนทรีฟิวจ์)
3. การแบ่งตะกอน ถ้ามีตะกอนปนอยู่กับสารละลาย คนสารละลายแล้วแบ่งสารละลายออกเป็นส่วน ๆ นำไปเซนทรีฟิวจ์และรินน้ำไลทิ้ง ในกรณีที่มีแต่ตะกอน ให้เติมน้ำกลั่นเล็กน้อย คนให้ทั่ว แบ่งของผสมออกเป็นส่วน ๆ ตามที่ต้องการ
4. การละลายตะกอนหรือสาร ใช้ตัวทำละลายให้พอเหมาะกับปริมาณตะกอนหรือสาร เขย่าแรง ๆ หรือใช้แท่งแก้วคน ในบางครั้งอาจต้องอุ่นให้ร้อนเพื่อให้ละลายดีขึ้น (คำว่าละลายนั้นจะต้องได้สารละลายใส อาจจะมีสีหรือไม่ก็ได้)
5. การผสมสารละลาย คนสารละลายด้วยแท่งแก้ว หรือเทสารละลายที่ผสมกันแล้วนั้นกลับไปในหลอดสองหลอด
6. การต้มสารละลาย เป็นการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น โดยวางหลอดทดลองในที่รองรับหลอดทดลองที่อยู่ในอ่างน้ำร้อนตามข้อควรปฏิบัติ ดังนี้

ข้อควรปฏิบัติ

- (i) ขณะที่ต้มสารละลายนั้น ควรใช้แท่งแก้วคนสารละลายเป็นครั้งคราว เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์
 - (ii) ระดับสารละลายในหลอดควรอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ และรักษาระดับน้ำในบีกเกอร์ให้สูงประมาณ $\frac{2}{3}$ ของบีกเกอร์เสมอ ถ้าสารละลายในหลอดมีปริมาณมากควรแบ่งเป็นสองหลอด
 - (iii) ในกรณีที่ไม่มีก้นต้มให้ลดระดับความร้อนของเครื่องให้ความร้อน เพื่อประหยัดและไม่ให้น้ำแห้งเร็ว
7. การเคี่ยวสารละลาย เป็นการลดปริมาตรสารละลายหรือทำให้แห้ง โดยต้มสารละลายใน حمامกระเบื้องบนเครื่องให้ความร้อนจนเดือดดังรูป



การต้มหรือเคี่ยวสารละลาย

ถ้าสิ่งที่ระเหยออกมามีกลิ่นเหม็นหรือเป็นอันตราย ต้องเคี่ยวในตู้ดูดควัน

8. การทดสอบความเป็นกรดและเบส ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้ทั่ว นำปลายแท่งแก้วที่เปียกสารละลายแตะกระดาษลิตมัส ดูสีที่เปลี่ยนไป

ข้อควรปฏิบัติ

- (i) ขณะทดสอบควรถือกระดาษลิตมัส หรือวางกระดาษลิตมัสบนแผ่นกระจกที่สะอาด (อย่าวางข้าวรอยเดิม และห้ามวางบนพื้นโต๊ะ)
- (ii) อย่าทดสอบโดยจุ่มกระดาษลิตมัสลงในสารละลายที่จะทดสอบ

9. ผลทดสอบบวกและผลทดสอบลบ ผลทดสอบบวก (positive test) คือ การทดลองที่ได้ผลตามปฏิกิริยาที่เป็นจริง ผลทดสอบลบ (negative test) คือ การทดลองที่ไม่ได้ผลตามปฏิกิริยาที่เป็นจริง เช่นในการทดสอบ CO_3^{2-} ถ้าเติมกรดเกลือเจือจางลงในสารตัวอย่างแล้วผ่านแก๊สที่เกิดขึ้นลงในสารละลาย $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ได้ตะกอนขาวของ BaCO_3 แสดงว่าการทดลองนี้ได้ผลทดสอบบวก แต่ถ้าไม่มีตะกอนขาวเกิดขึ้น แสดงว่าได้ผลทดสอบลบ

10. Blank test เป็นการทดสอบรีเอเจนต์ที่ใช้ว่ามีสารที่กำลังทดสอบเจือปนหรือไม่ โดยทดสอบน้ำกลั่นพร้อมกับสารตัวอย่าง ปริมาณของรีเอเจนต์และสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ทดสอบทั้งสองหลอดต้องเหมือนกันทุกประการ ถ้าในหลอดน้ำกลั่นได้ผลทดสอบลบ แสดงว่ารีเอเจนต์ที่ใช้ไม่มีสารที่กำลังทดสอบปนอยู่ แต่ถ้าได้ผลทดสอบบวก แสดงว่า รีเอเจนต์ที่ใช้มีสารที่กำลังทดสอบเจือปนอยู่ ใช้ทดสอบต่อไปไม่ได้ ต้องเปลี่ยนรีเอเจนต์ขวดนั้นใหม่

ตัวอย่าง ถ้าต้องการตรวจสอบรีเอเจนต์ (FeSO_4 และ H_2SO_4) ที่ใช้ทดสอบ NO_3^- นำหลอดทดลองมา 2 หลอด หลอดแรกใส่น้ำกลั่น 1 mL หลอดที่ 2 ใส่ soda-solution 1 mL เติมสารละลาย FeSO_4 1 mL และค่อยๆ เติมน้ำ conc. H_2SO_4 ลงในหลอดทั้งสอง ถ้าในหลอดน้ำกลั่นเกิดวงแหวนสีน้ำตาล แสดงว่ารีเอเจนต์ที่ใช้คือสารละลาย FeSO_4 หรือ H_2SO_4 มี NO_3^- ปนอยู่ ต้องเปลี่ยนรีเอเจนต์ใหม่

10. Control test เป็นการทดสอบเพื่อดูลักษณะของผลทดสอบบวก หรือเปรียบเทียบผลทดสอบบวกในหลอดที่มีสารตัวอย่างกับหลอดที่มีสารจริง โดยใช้สารหรือไอออนจริงที่ต้องการทดสอบแทนสารตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการทำ control test ของการทดสอบ NO_3^- ให้ใช้สารละลายที่มี NO_3^- โดยใช้ปริมาณของรีเอเจนต์ และสภาวะต่าง ๆ เหมือนกันกับสารตัวอย่างทุกประการ
12. ความสะอาดของเครื่องมือ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง เครื่องมือทุกชิ้นที่ใช้ต้องสะอาด เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้วต้องล้างเครื่องมือให้สะอาดแล้วควรล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวนเล็กน้อยอีกครั้งหนึ่งและคว่ำไว้ให้แห้ง