



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 กะวาลย์ | 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

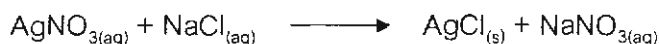
การทดลองนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางเคมีของสารประกอบ โดยเฉพาะสภาพปฏิกิริยาของไอออน (reactivity of ions) ความแตกต่างของสภาพปฏิกิริยาจะมีผลต่อเนื่องตามมาอย่างมาก ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดฟอสฟอริกเจือจางปลอดภัยต่อคน แต่สารละลายอาร์ซีเนต (arsenate, AsO_4^{3-}) (ซึ่งอยู่ต่ำลงมาหนึ่งแถวในตารางธาตุ) มีพิษอย่างมาก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

การทดลอง

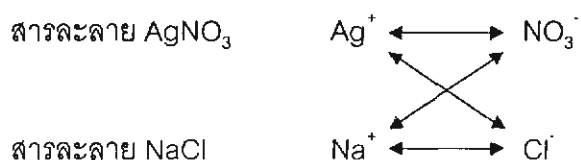
- ตอนที่ 1 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนระหว่าง $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ กับ KI เมื่อไอออนแต่ละคู่เข้าทำปฏิกิริยากัน
- ตอนที่ 2 การศึกษาปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของแคตไอออน (ไอออนบวก) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตารางธาตุกับแอนไอออน (ไอออนลบ) ที่กำหนดให้
- ตอนที่ 3 การศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อปฏิกิริยาการเกิดตะกอน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

- 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	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

- เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำนายว่าตะกอนคือสารใด และมีสีอะไร
- 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

- จงนำความรู้จากการทดลองนี้ไปประยุกต์ ในการกำจัดโครเมียมไอออนออกจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
- 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

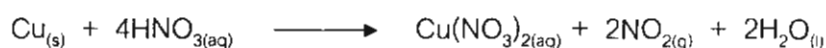
ตอนที่ 4 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

ตอนที่ 5 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตให้เป็นโลหะคอปเปอร์

หลักการและทฤษฎี

การทดลองนี้ จะเริ่มจากการนำโลหะคอปเปอร์จำนวนหนึ่งมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดเป็นสารประกอบคอปเปอร์ชนิดต่างๆ และจากสารประกอบเหล่านี้ก็จะถูกทำให้กลับมามีอยู่ในรูปของโลหะคอปเปอร์อีกครั้งหนึ่ง

การเริ่มต้นเตรียมสารประกอบของคอปเปอร์ โลหะคอปเปอร์ละลายได้ดีในกรดไนตริกเข้มข้น ขณะที่โลหะคอปเปอร์ละลาย โลหะคอปเปอร์จะถูกออกซิไดส์ด้วย จึงเรียกกระบวนการละลายเช่นนี้ว่า ออกซิเดทีฟดิซโซลูชัน(oxidative dissolution) ดังสมการ

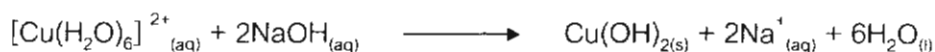


ขณะที่การละลายเกิดขึ้น จะมีแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งมีสีน้ำตาล และเป็นพิษเกิดขึ้นด้วย ส่วนสารละลายคอปเปอร์ (II) ไนเตรตจะมีสีเขียว

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 ตั้งทิ้งไว้จนโลหะทองแดงละลายหมด 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 การทดสอบนี้ทำเพื่อให้แน่ใจว่าคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดได้ในสารละลายที่เป็นเบส

ตอนที่ 3 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

1. ฉีดล้างตะกอนคอปเปอร์ (II) ไฮดรอกไซด์ที่ติดข้างหลอดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างน้ำร้อน ทิ้งไว้พร้อมทั้งสังเกตสีของตะกอนที่เปลี่ยนไปพร้อมกับบันทึกผล
2. นำหลอดทดลองไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน รินสารละลายสีทิ้งลงในภาชนะที่ทางห้องปฏิบัติการจัดเตรียมไว้ให้ แล้วล้างตะกอนให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง โดยทำซ้ำตามที่กล่าวข้างต้น

ตอนที่ 4 การเปลี่ยนคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ให้เป็นคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

1. เติมสารละลาย 3 M H_2SO_4 1.5 mL เพื่อละลายตะกอนจากตอนที่ 3 คนสารละลายด้วยแท่งแก้วจนตะกอนละลายหมด สังเกตและบันทึกสีของสารละลาย
2. เทสารละลายลงในถ้วยกระเบื้อง ล้างภายในหลอดทดลองพร้อมแท่งแก้วให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นหลาย 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 โดยดูดสารละลายใสแล้วหยดลงบนกระดาษฟิวส์ 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 คอยจับฟองแก๊สไฮโดรเจนหมดไป
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. เมื่อรวบรวมแอซีโตนไว้ได้ปริมาณมากแล้ว ให้นำมากำจัดน้ำออก 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

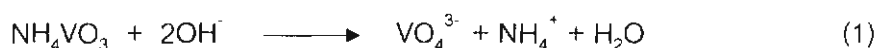
ธาตุแวนเดียมเป็นธาตุที่มีการบรรจุอิเล็กตรอนไม่เต็มใน d หรือ f ออร์บิทัล และแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ธาตุที่มีเลขอะตอม 21-30, 39-50, 57-80 และ 89-103 ธาตุแวนเดียมส่วนใหญ่มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีแตกต่างกันออกไป

แวนเดียมเป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 23 อยู่ในกลุ่มธาตุแวนเดียมแถวแรก ซึ่งอยู่ในคาบที่ 4 ของตารางธาตุ

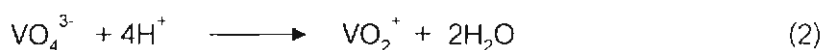
ธาตุแวนเดียมมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$ ระดับพลังงานของ 3d ออร์บิทัล อยู่ต่ำกว่าระดับพลังงานของ 4s ออร์บิทัล ดังนั้นเมื่อแวนเดียมเกิดเป็นสารประกอบ V^{2+} อิเล็กตรอนทั้ง 2 ใน 4s ออร์บิทัลจะถูกดึงออกก่อน การจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$ และเมื่ออิเล็กตรอนทั้งสามใน 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

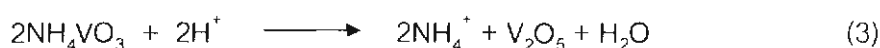
การเตรียมสารละลายของแวนเดียม (V) เพื่อให้เป็นสารละลายเริ่มต้นในการทดลองนี้ทำได้โดยละลาย NH_4VO_3 ในสารละลายที่เป็นเบสแก่ ($pH > 12$) ซึ่งจะทำให้แวนเดียมอยู่ในรูป VO_4^{3-} ดังสมการ



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



แต่ถ้านำ NH_4VO_3 ไปทำปฏิกิริยากับกรดโดยตรงแล้ว จะเกิด vanadium pentoxide (V_2O_5) ซึ่งเป็นตะกอนสีส้มแดงที่ละลายน้ำได้น้อย ดังสมการ

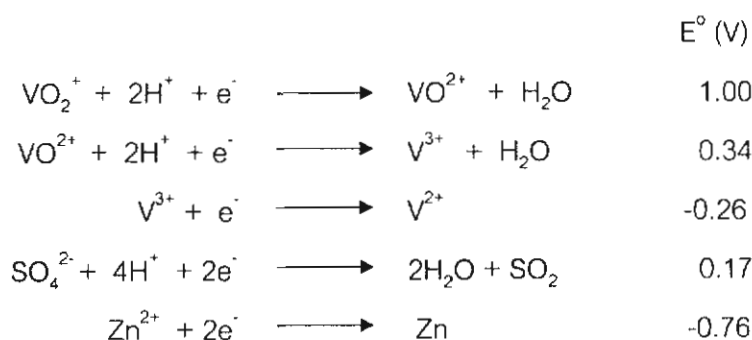


ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ธาตุแวนเดียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกันจะมีสีและอยู่ในรูปของไอออนต่างกันดังนี้ V^{4+} จะอยู่ในรูปของแวนเดิลไอออน (vanadyl ion, VO^{2+}) ส่วน V^{3+} และ V^{2+} จะอยู่ในรูปของไฮเดรตไอออน (hydrated ion) ที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ล้อมรอบ สีของสารละลายของแวนเดียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกัน 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 ตัวแปรที่มีบทบาทต่อการก่อกำล้างการรีดิวซ์ คือ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย (ควรเป็น 1.0 M) และความดันของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา (ควรเป็น 1 atm) ซึ่งในการทดลองบนี้ 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

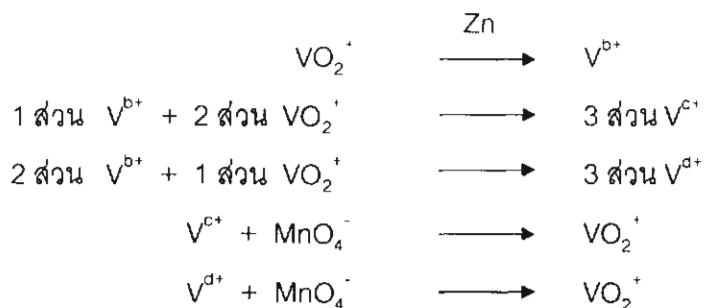
โดยถือว่าปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็น



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 พร้อมลูกยาง
6. ล้าง

สารเคมี

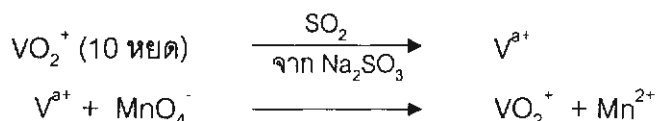
1. สารละลายแอมโมเนียมเมตาแวนเดต 0.07M (ammonium metavanadate, 0.07M NH_4VO_3)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 M (sodium hydroxide, 1 M NaOH)
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1 M (sulfuric acid, 1 M H_2SO_4)
3. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.45 M (sodium sulfite, 0.45 M Na_2SO_3)
4. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 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

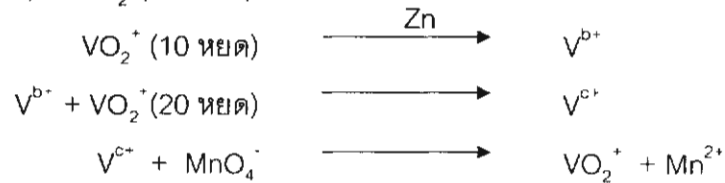
ใช้ปิเปตพลาสติกดูดน้ำกลั่นแล้วหยดน้ำกลั่นลงในกระบอกตวงขนาด 5 mL จำนวน 50 หยด อ่านปริมาตรทั้งหมดของน้ำกลั่นในกระบอกตวง แล้วคำนวณหาปริมาตรของน้ำกลั่น 1 หยด

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

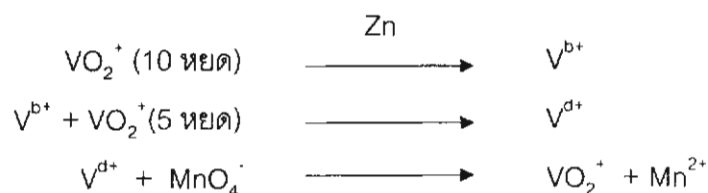
2.1 V^{b+} (1 ส่วน) + VO_2^+ (2 ส่วน)

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 ขนาดเท่าหัวไม้ขีดไฟหรือประมาณปลายข้อนิ้วก้อย ปิดจุกให้แน่น เขย่าจนสารละลายมีสีม่วง (ใช้เวลาประมาณ 5 นาที)

สังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งได้สีม่วง

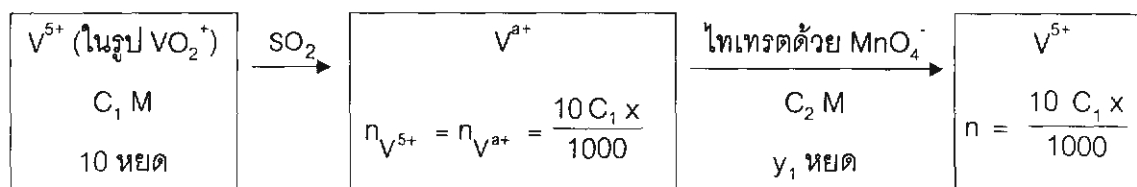
4. หยดสารละลาย NH_4VO_3 ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด หลอดละ 20 หยด
5. กรอง Zn ออก โดยเทสารละลายแวนเดียมที่ได้ ผ่านหลอดหยดสารที่อุดปลายด้วยสำลีสั่งหลอดทดลองเดิมด้วย 1 M H_2SO_4 ครั้งละ 5 หยด เทสารละลายผ่านหลอดกรองที่มี Zn อยู่ ทำ 2 ครั้ง แล้วใช้ลูกยางบีบไล่สารละลายที่ตกค้างในสำลีสั่งออกให้หมด เก็บสารละลายทั้งหมดไว้ในหลอดทดลองเพื่อนำไปไทเทรตต่อไป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

อย่าลืม! นำ Zn ที่กรองได้ไปใส่ลงในภาชนะที่ทางห้องปฏิบัติการเตรียมไว้ เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ได้

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

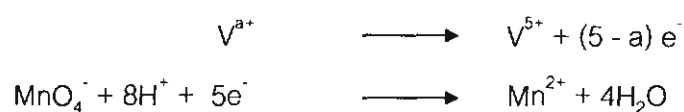
การคำนวณ

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



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

เนื่องจาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



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

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

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

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

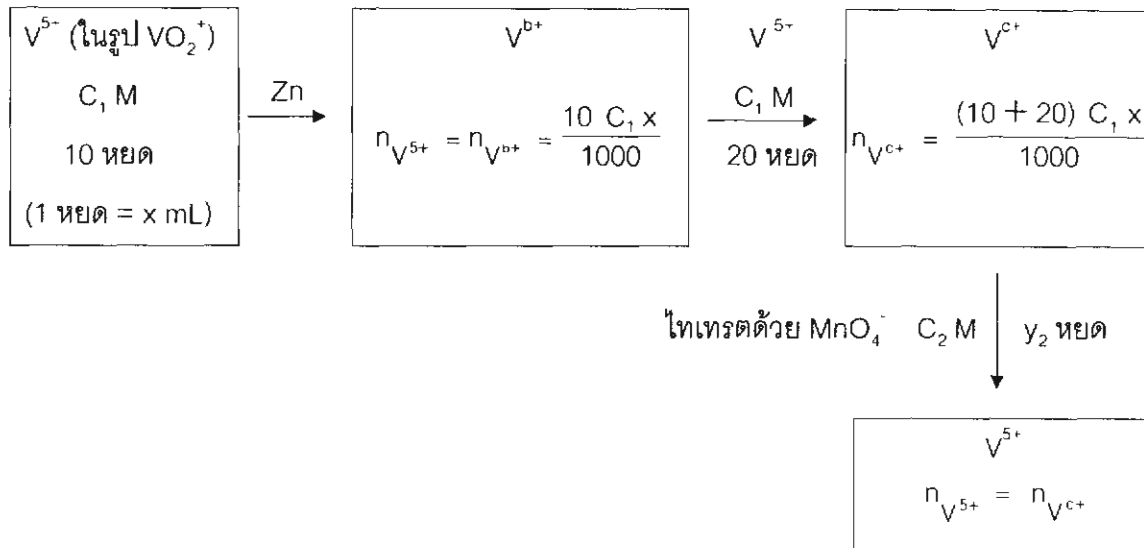
$$\text{ส่วน จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } \text{MnO}_4^- \text{ ได้รับจาก } \text{V}^{a+} = \frac{5 y_1 C_2 x}{1000}$$

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

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



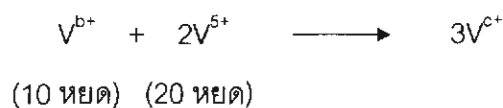
$$\text{จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } V^{c+} \text{ ให้แก่ } MnO_4^- = \frac{(5 - c) 30 C_1 x}{1000}$$

$$\text{และ จำนวนโมล } e^- \text{ ที่ } MnO_4^- \text{ ได้รับจาก } V^{c+} = \frac{5 y_2 C_2 x}{1000}$$

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

ดังนั้น จึงสามารถหาค่า c ได้

ส่วนการหาค่าเลขออกซิเดชันของ V^{b+} สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

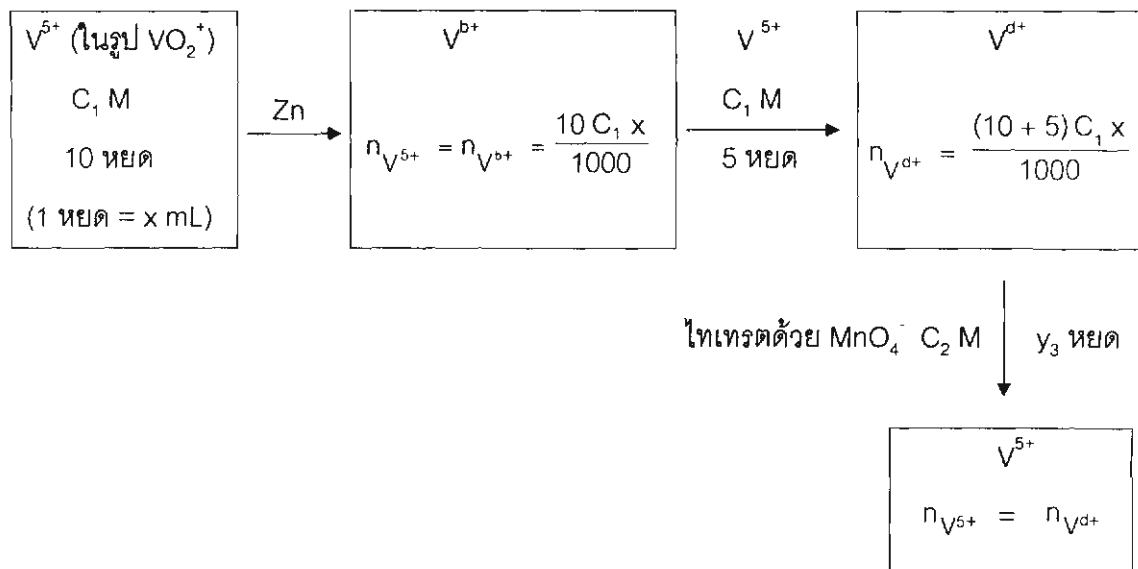


เนื่องจากประจุทั้งสองข้างของปฏิกิริยาต้องเท่ากัน เพราะฉะนั้น

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

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

- สารละลายแวนเนเดียมตอนเริ่มต้นของการทดลองนี้ มีสีอะไร เกิดจากสารใด
- เพราะเหตุใดจึงต้องต้มสารละลายหลังจากถูกรีดิวซ์ด้วย Na_2SO_3
- ถ้าหากไทเทรตสารละลายแวนเนเดียมที่ถูกรีดิวซ์ด้วย Zn ทันทีโดยไม่กรอง Zn ออก ผลการทดลองที่ได้จะเป็นอย่างไร
- 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

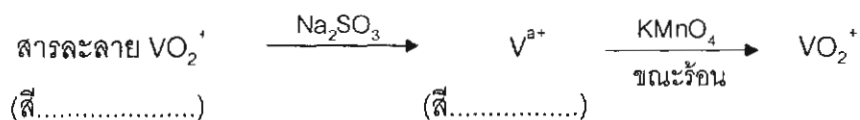
ดังนั้น 1 หยดของสารละลายที่ได้จากปิเปตพลาสติก มีปริมาตรเท่ากับ..... mL

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)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

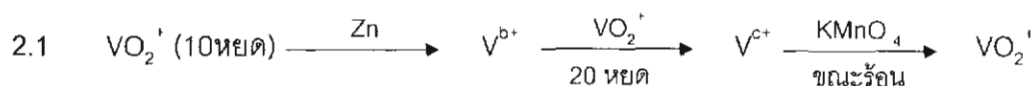
.....

.....

ค่า a ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ.....

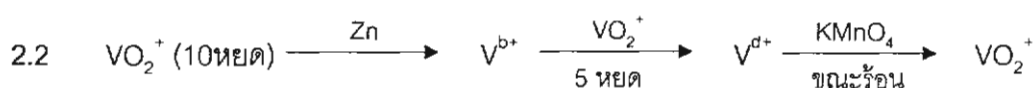
ตอนที่ 2 การรีดิวซ์สารละลายแวนเดียม (VO_2^+) ด้วย Zn และการไทเทรตด้วย
สารละลาย KMnO_4

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 จะทำให้สามารถนำความรู้นี้ไปปรับปรุงภาวะของการเกิดปฏิกิริยาบางชนิดที่มีบทบาทสำคัญทางอุตสาหกรรมให้เหมาะสมได้ เช่น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในอัตราเร็วที่ควบคุมได้ การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาและกลไกของปฏิกิริยาดังกล่าวนี 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

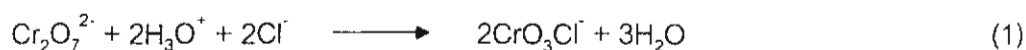
ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ ในสภาวะกรด

ตอนที่ 2 การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง $Cr(VI)$ กับ เอทานอล

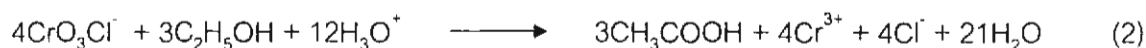
ตอนที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

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

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

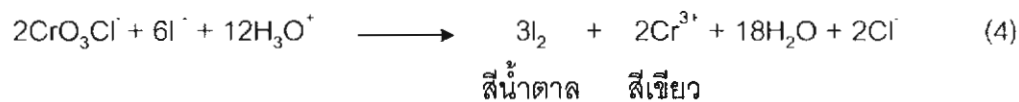
ในการทดลองนี้จะใช้ความเข้มข้นของ C_2H_5OH และ H_3O^+ ให้มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ $Cr(VI)$ มาก ๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลและกรดจึงเกิดน้อยมากตลอดปฏิกิริยาถือว่าเกือบคงที่ สมการ (3) จึงเขียนใหม่ในลักษณะที่ลดรูปได้ดังนี้

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

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

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

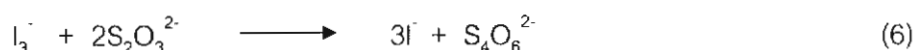
หาความเข้มข้นของ $Cr(VI)$ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในแต่ละช่วงเวลาที่ผ่านไป โดยการจับเวลาแล้วแบ่งสารละลายในแต่ละช่วงเวลาให้ทราบปริมาตรที่แน่นอน นำมาเติมสารละลาย KI สารละลาย KI จะทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยารีดอกซ์นั้น โดยจะทำปฏิกิริยาทันทีกับ $Cr(VI)$ ที่เหลือในปฏิกิริยา ดังสมการ



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 จับเวลาที่เมื่อเริ่มเติมเอทานอล 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

เติมน้ำแข็ง แต่ละครั้งหยด

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

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



การคำนวณ

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

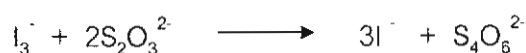
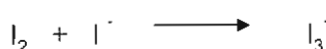
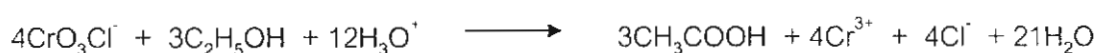
$$\text{ความเข้มข้นเฉลี่ยของ } \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \dots\dots\dots \text{ M}$$

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

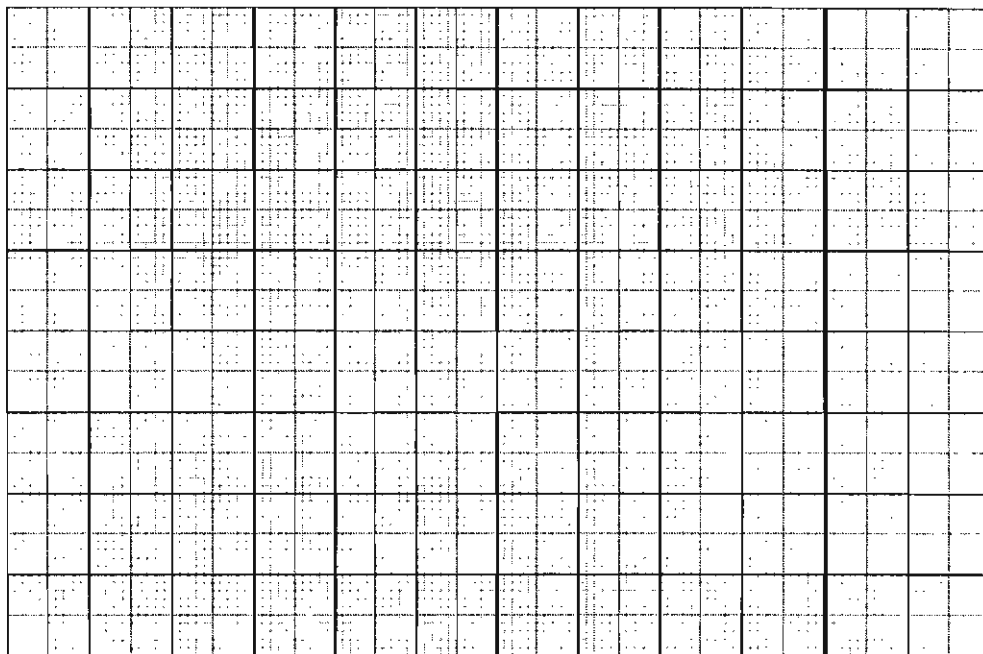
ที่อุณหภูมิห้อง (T_1)°C				ที่อุณหภูมิห้อง + 10°C (T_2)°C		
เวลา (วินาที)	จำนวนหยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)	จำนวนหยด Cr(VI) (หยด)	[Cr(VI)] (M)	จำนวนหยด $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (หยด)	จำนวนหยด Cr(VI) (หยด)	[Cr(VI)] (M)
120						
240						
360						
480						
600						
720					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

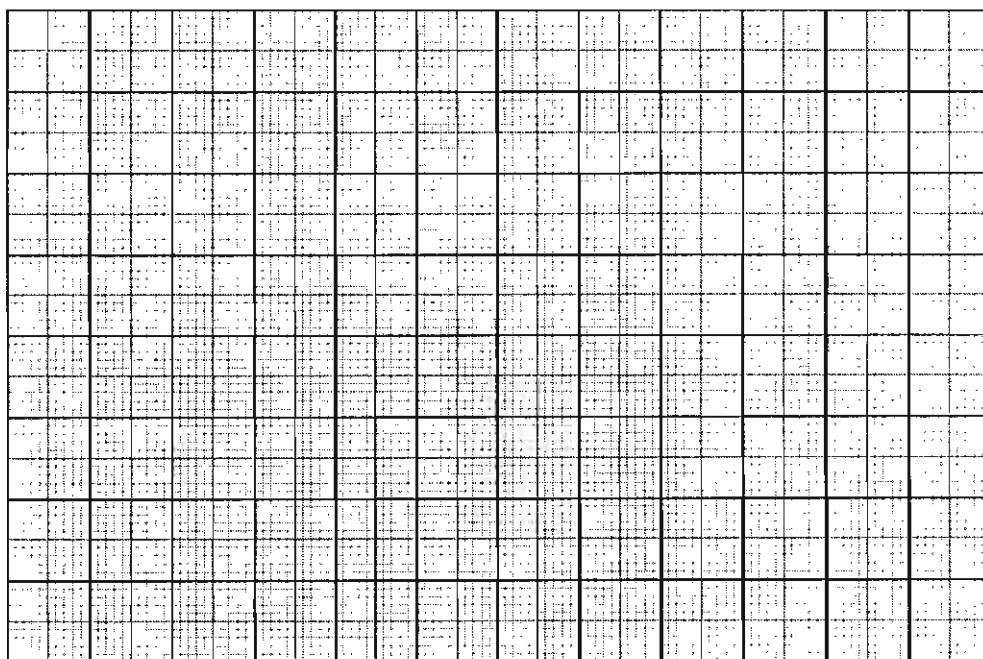
$[Cr(VI)]$



เวลา (วินาที)

กราฟระหว่าง $\log [Cr(VI)]$ กับเวลา

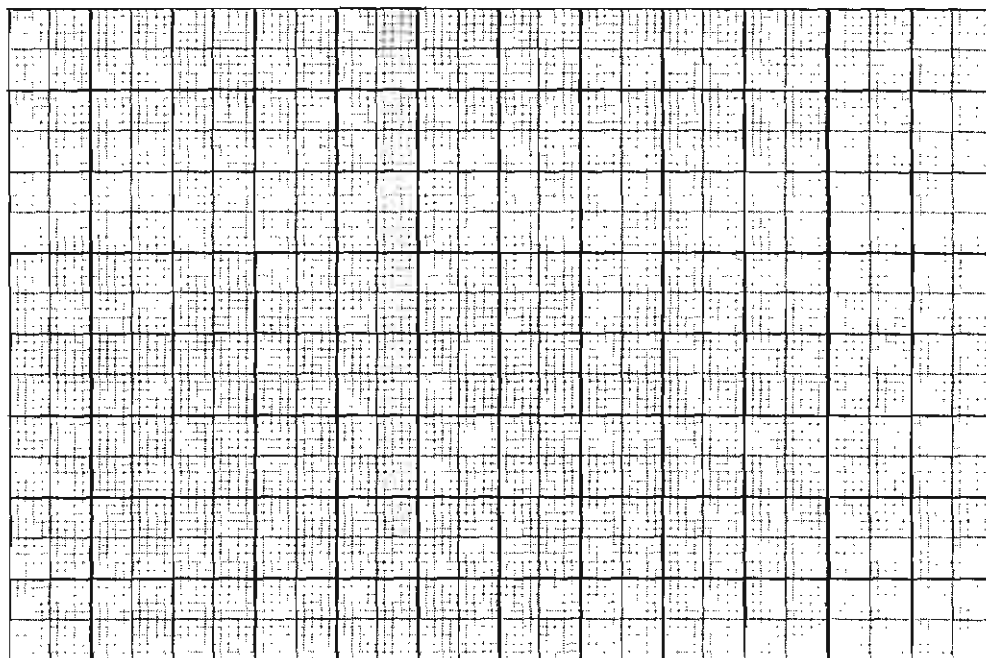
$\log [Cr(VI)]$



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) ซึ่งทำโดยการติดตามความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปแล้ว ยังสามารถใช้วิธีอัตราเริ่มต้น (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



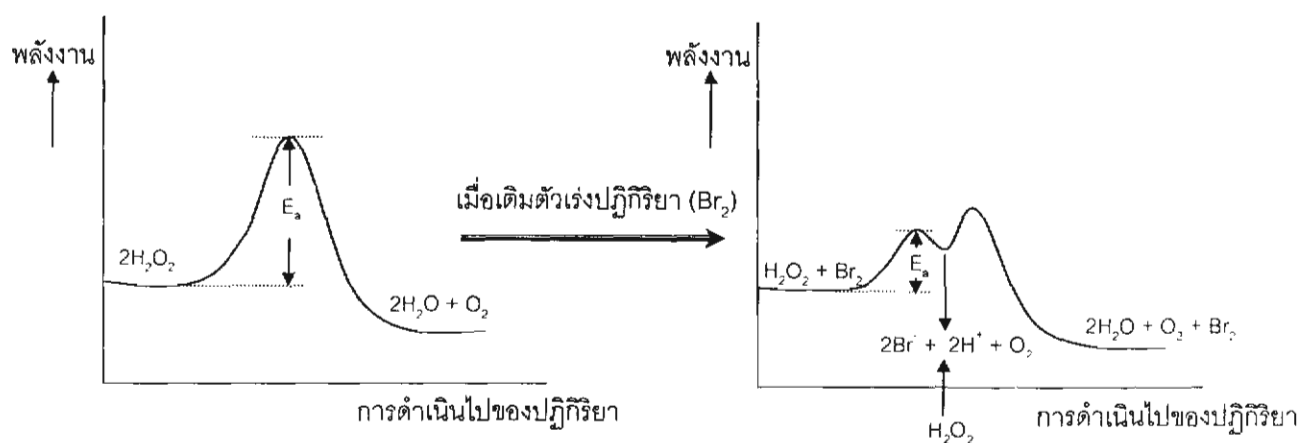
ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้ามากเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเติมน้ำโบรมีนลงในสารละลาย Br_2 ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลาย ให้โบรมไนด์และแก๊สออกซิเจน



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

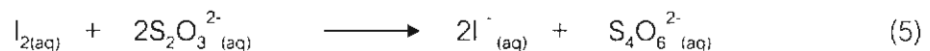


อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Rate) หาได้จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารได้ดังนี้

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

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

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

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

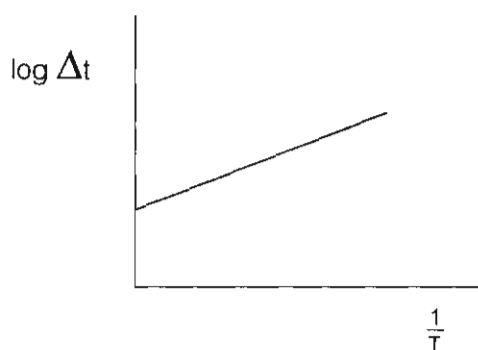
แทนค่า $\log k$ ในสมการ 2

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

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

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

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



วัสดุอุปกรณ์

1. ปิเปตพลาสติก
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 K₂SO₄)
4. สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต 0.10 M (ammonium peroxydisulfate, 0.10 M (NH₄)₂ S₂O₈)
5. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0005 M (sodium thiosulfate, 0.0005 M Na₂S₂O₃)
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

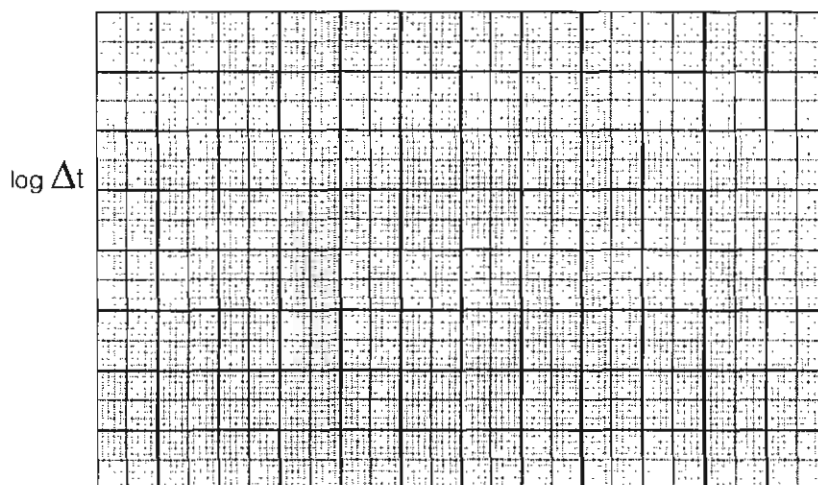
แทนค่า Rate ลงในกฎอัตราการเกิดปฏิกิริยา คำนวณหาค่า k และค่าเฉลี่ยของ k

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)

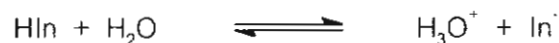
วัตถุประสงค์

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

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

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

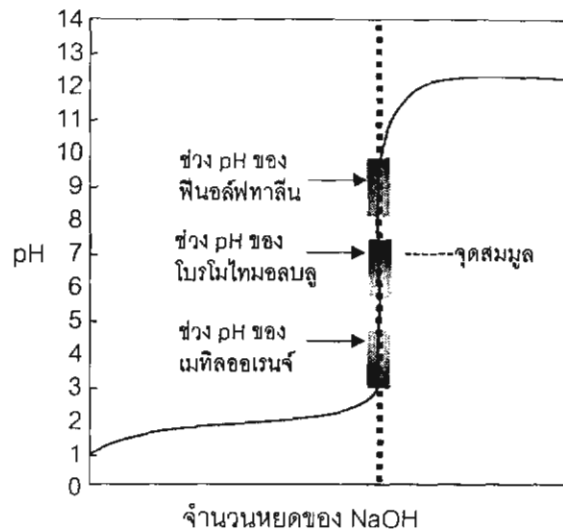
ตอนที่ 3 การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรต

หลักการและทฤษฎี

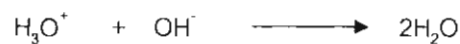
pH ที่จุดสมมูลของกรดและเบส (จุดสะเทิน) แต่ละคู่จะเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของกรดและเบส เมื่อศึกษาค่า pH ของสารละลายที่ค่อย ๆ เปลี่ยนไปขณะไทเทรตกรดกับเบสคู่ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (โดยการคำนวณหรือการวัด pH โดยใช้เครื่องวัด) แล้วนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลง pH ขณะไทเทรตซึ่งเรียกว่า 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

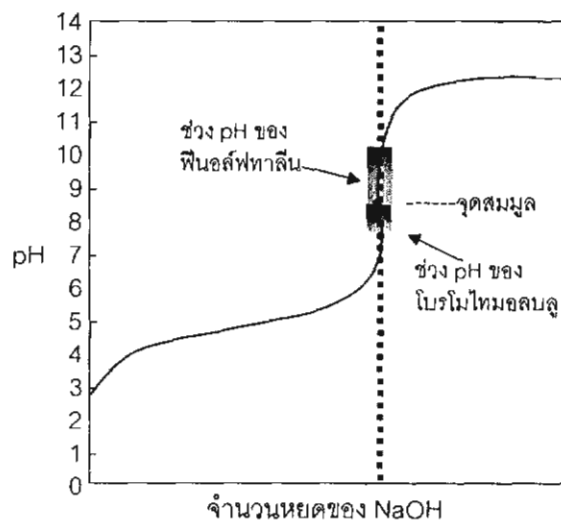


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

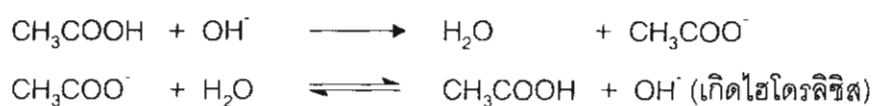


กราฟการไทเทรตกรดอ่อนกับเบสแก่

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

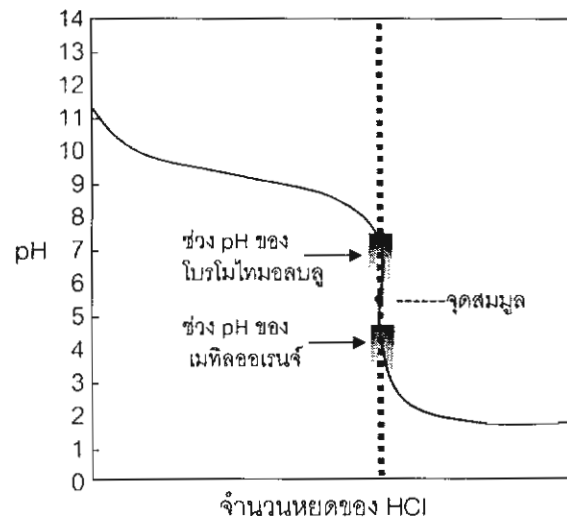


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

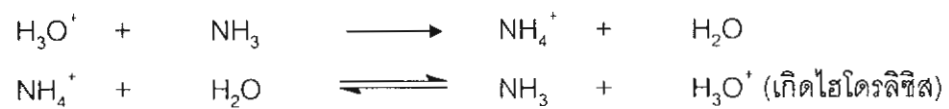


กราฟการไทเทรตเบสอ่อนกับกรดแก่

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

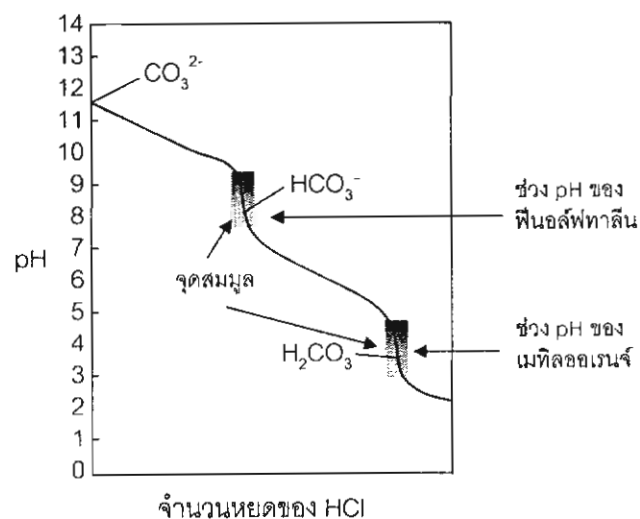


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไทเทรตถึงจุดสมมูล

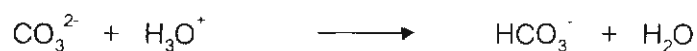


กราฟการไทเทรตเกลือคาร์บอเนตกับกรดแก่

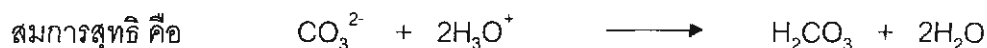
หยดสารละลาย 0.10 M HCl ลงในสารละลาย 0.05 M Na_2CO_3 ที่จุดสมมูลสารละลายจะมี pH เท่ากับ 8.3 และ 3.8



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

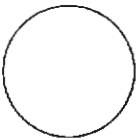
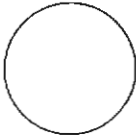
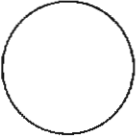
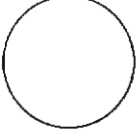
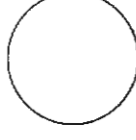
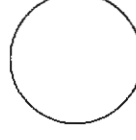
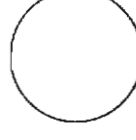
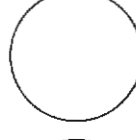
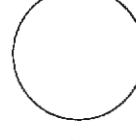
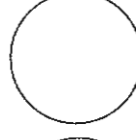
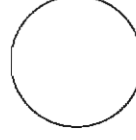
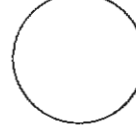
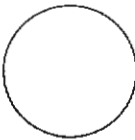
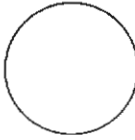
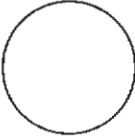
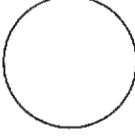
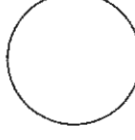
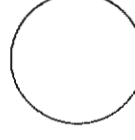
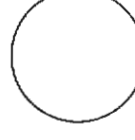
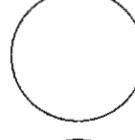
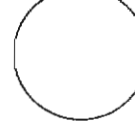
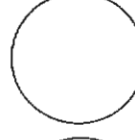
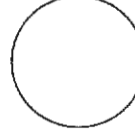
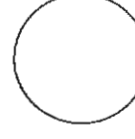
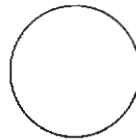
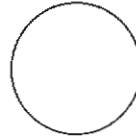
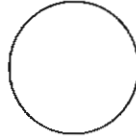
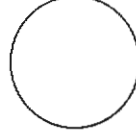
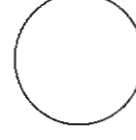
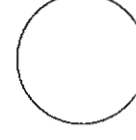
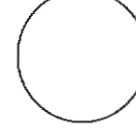
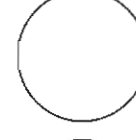
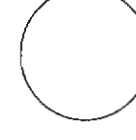
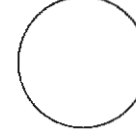
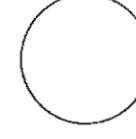
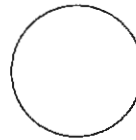
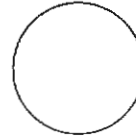
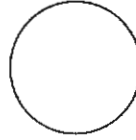
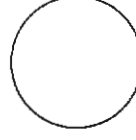
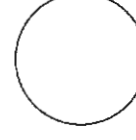
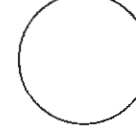
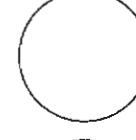
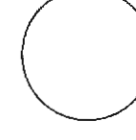
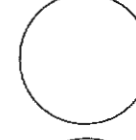
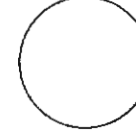
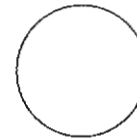
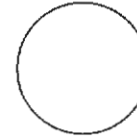
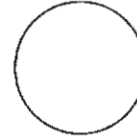
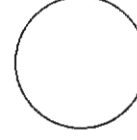
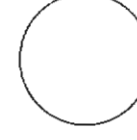
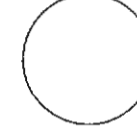
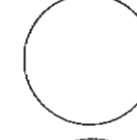
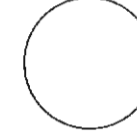
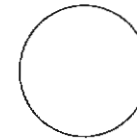
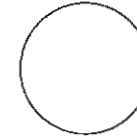
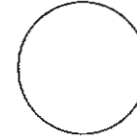
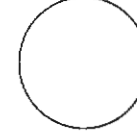
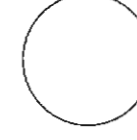
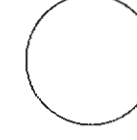
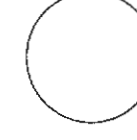
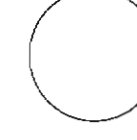
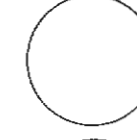
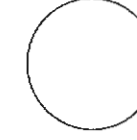
การกำจัดของเสีย

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 ₂ CO 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

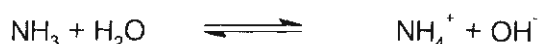


ค่า K_a ของ CH_3COOH มีค่าน้อย (1.8×10^{-5}) สารละลาย CH_3COOH จะมี H^+ และ CH_3COO^- อยู่ในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวของ CH_3COOH

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

K_a คือ ค่าคงที่การแตกตัวของกรดอ่อน

ในกรณีเบสอ่อน เช่น NH_3 เมื่อละลายน้ำมีการแตกตัวดังนี้



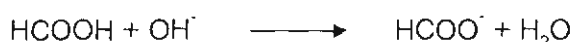
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

K_b คือ ค่าคงที่การแตกตัวของเบสอ่อน

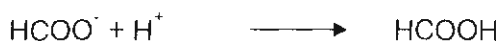
จะเห็นว่าในระบบที่มีกรดอ่อนหรือเบสอ่อนจะมีสมดุลเกิดขึ้น

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

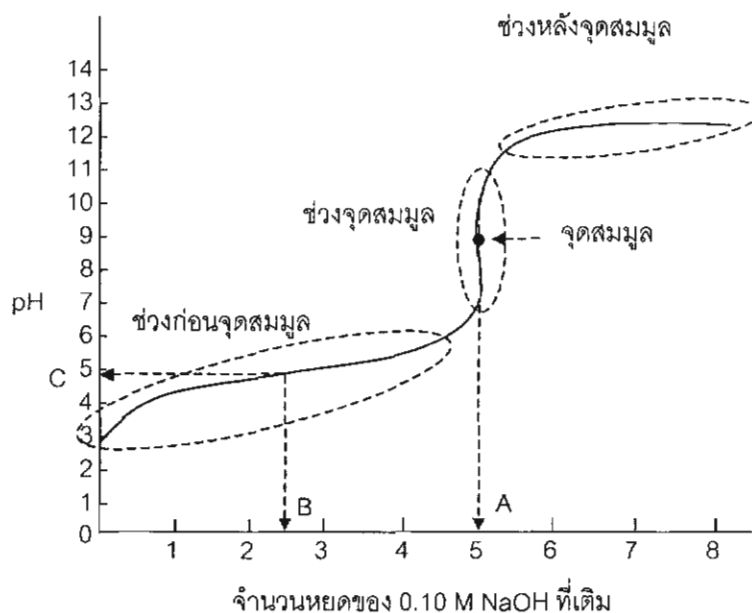
ตอนที่ 4 ศึกษาความจุของบัฟเฟอร์

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 จุดที่ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรด-เบสเกิดสมบูรณ์ และกรด-เบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน ดังสมการ



หรือเขียนแบบง่าย



ณ จุดสมมูล CH_3COOH ถูกสะเทินด้วย NaOH จนหมด

แต่ถ้าพิจารณาจุดที่ CH_3COOH ถูกสะเทินเพียงครึ่งเดียว นั่นคือ จะมี



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) แต่ระบบบัฟเฟอร์นี้จะไม่มีความจุน้อยมาก 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. กระดาษฟีนอล 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 ตัดกระดาษฟีนอลยาวประมาณ 0.5 cm ให้ปากคิปลายแหลมคียบกระดาษฟีนอลแล้วนำไปจุ่มในสารละลายในหลุม 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 ใช้ปากคีบปลายแหลมคีบกระดาษฟิเอช แล้วนำไปจุ่มในสารละลายแต่ละหลุม เทียบสีที่ปรากฏบนกระดาษฟิเอชกับสีมาตรฐานข้างกล่องเพื่อบอก 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

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. คำนิยามของสารละลายบัฟเฟอร์

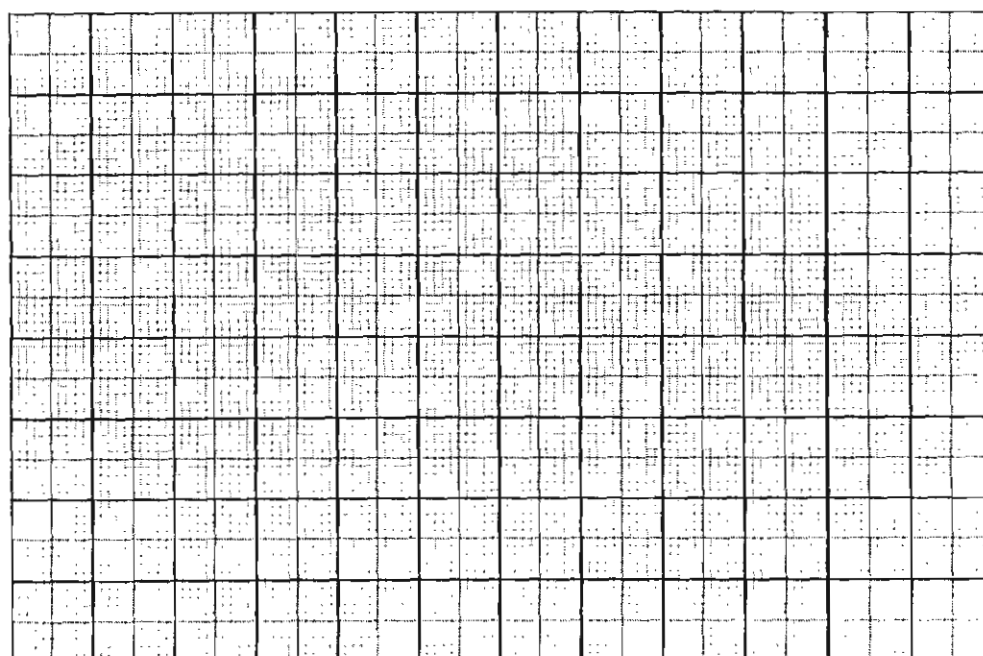
.....

.....

.....

ตอนที่ 2 การหาค่า K_a ของกรด HCOOH

กราฟการไทเทรตระหว่าง 0.50 M HCOOH ด้วย 0.10 M NaOH

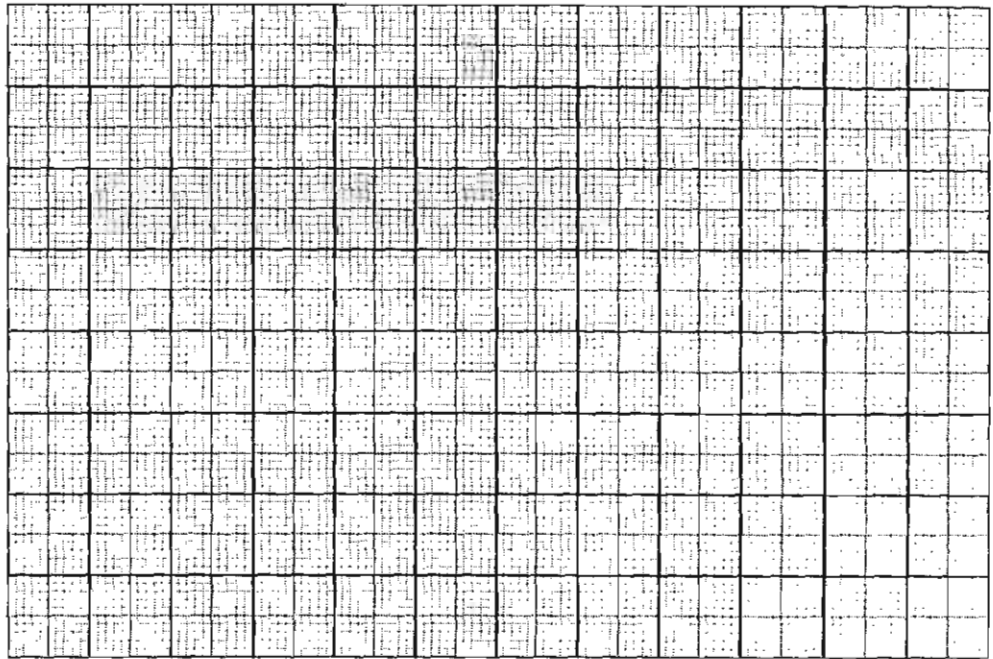


K_a ของกรด HCOOH =

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

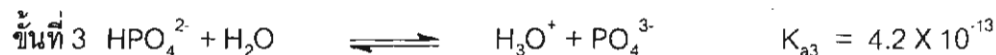
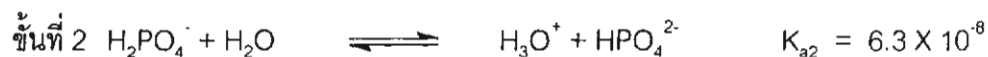
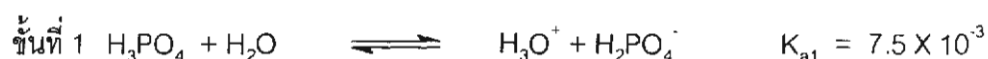
การดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส สำหรับการทดลองนี้ใช้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์, NaOH ไทเทรตกับกรดฟอสฟอริก, H_3PO_4 ซึ่งเป็นกรดโพลีโปรติก โดยเลือกใช้อินดิเคเตอร์สองชนิด

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 คลอไรด์ไอออน ความกระด้างของน้ำ
3. การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน

บทนำ

น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีอยู่มากในธรรมชาติ จึงเป็นที่น่าสนใจว่าน้ำรอบตัวเราละลายอะไรออกมาบ้าง ในการทดลองนี้จะลองเอาน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาระเหยให้แห้ง เพื่อดูว่ามีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) มากน้อยเพียงใด และวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออนซึ่งเป็นสาเหตุของความกระด้างของน้ำ 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 ถ้ามีมากเกินไปจะใช้บริโภคไม่ได้ หรืออาจจะใช้ไม่ได้ในอุตสาหกรรม

นอกจากมีโซเดียมคลอไรด์ปริมาณมากแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ คือ Ca^{2+} และ Mg^{2+} เนื่องจากน้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่จะมีความเป็นกรดเล็กน้อย เมื่อไหลชะหินปูน ดินและทราย จะละลาย 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 และยังทำให้เกิดตะกรัน (scale) ของ CaCO_3 ในหม้อต้มน้ำ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการต้มหรือเกิดการอุดตันจนอาจเกิดการระเบิดได้

ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงอยู่ของพืชน้ำและสัตว์น้ำ ถ้าทิ้งของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ลงน้ำ จะถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจนในที่สุดออกซิเจนในน้ำจะหมดไป

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาปริมาณ TDS

ตอนที่ 2 การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

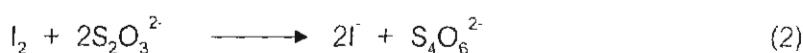
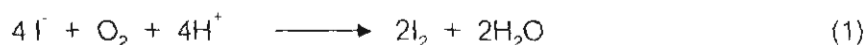
ตอนที่ 3 การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำ

ตอนที่ 4 การหาความกระด้างของน้ำ

ตอนที่ 5 การลดความกระด้างของน้ำด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออน

หลักการและทฤษฎี

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

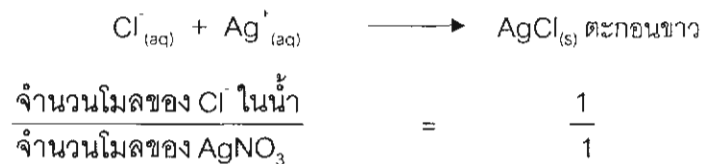


จากสมการ (1) และ (2) ได้ว่า

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

การบอกจุดยุติในการไทเทรตทำได้โดยใช้น้ำแบ่ง ซึ่งน้ำแบ่งจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไฮโอตินได้สีน้ำเงินดำ และเมื่อไทโอสัลเฟตทำปฏิกิริยากับไฮโอตินจนไฮโอตินหมดที่จุดยุติ สีน้ำเงินจะหายไป

การหาปริมาณคลอไรด์ในน้ำทำได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรต มีสารละลายไฮเดียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



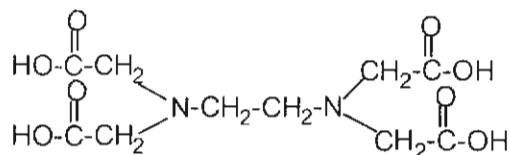
เมื่อ Ag^+ ทำปฏิกิริยากับ Cl^- จน Cl^- หมดแล้ว Ag^+ จะทำปฏิกิริยากับโครเมตไฮออนเกิดตะกอนสีแดงอิฐของซิลเวอร์โครเมต ดังสมการ



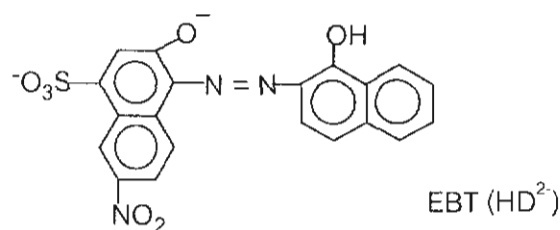
จุดยุติ คือ จุดที่เริ่มเห็นตะกอนสีแดงอิฐของ Ag_2CrO_4 ซึ่งสังเกตเห็นได้ยากเพราะจะแทรกอยู่ในตะกอนขาวของ AgCl แต่เนื่องจากตะกอน Ag_2CrO_4 ละลายในน้ำได้บ้างจึงอนุโลมให้ใช้จุดที่สารละลายซึ่งเดิมเป็นสีเหลืองเนื่องจากสีของไฮเดียมโครเมตเริ่มมีสีแดงปน

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

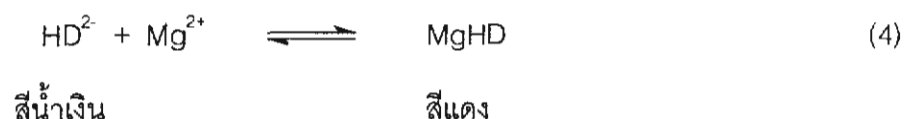
สูตรโครงสร้างของ EDTA



สูตรโครงสร้างของ Eriochrome black T (EBT)

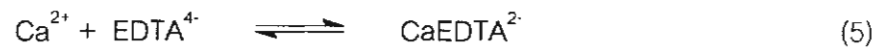


สีของ EBT ที่ pH 10 มีสีน้ำเงิน และเมื่อ EBT เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะจะมีสีแดง



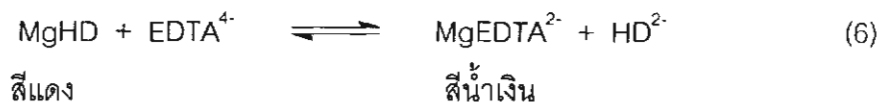
ในการวิเคราะห์หาความกระด้างของน้ำหรือปริมาณ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำด้วยการไทเทรตกับ EDTA จะกระทำที่ pH 10 เนื่องจาก EDTA เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ได้ดีที่ pH ประมาณ 10 โดยใช้ $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ บัฟเฟอร์

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

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

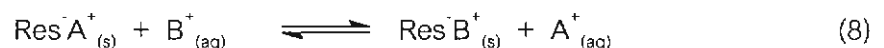
ความกระด้างของน้ำแบ่งออกเป็นระดับดังนี้

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

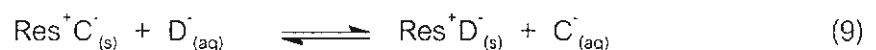
เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange resin) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนในสารละลายได้ เรซินแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ เรซินแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange resin) และเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange resin)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน หมายถึง การเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับได้ของไอออนที่อยู่ในเรซินซึ่งมีวัฏภาคเป็นของแข็ง กับไอออนที่อยู่ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว คือ ไอออนที่อยู่ในสารละลาย

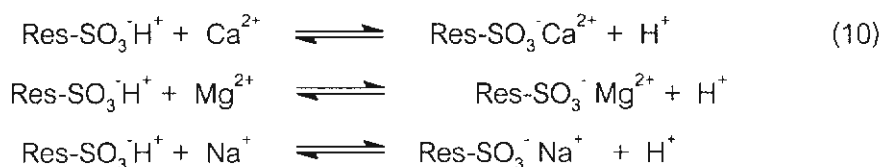
ถ้าให้ Res^+A^- เป็นเรซินที่มีหมู่ที่แลกเปลี่ยนได้เป็น A^- เมื่อเรซินนี้จุ่มอยู่ในสารละลายที่มี B^+ ละลายอยู่ จะเกิดการแลกเปลี่ยนดังนี้



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 ปากคืบปลายแหลม ไม่จุ่มฟัน

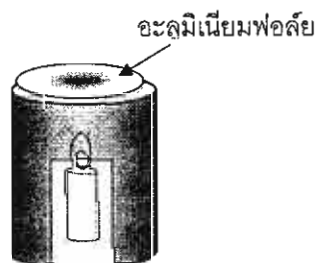
สารเคมี

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. ติดตั้งเตาให้ความร้อน (hot plate) ด้วยกระป๋องน้ำอัดลมและเทียนไข ปรับความสูงของเทียนไขโดยตัดปลายล่างของเทียนไข เพื่อปรับระดับเปลวเทียนให้เหมาะสม
2. ตัดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นแผ่นกลมหรือสี่เหลี่ยมรัศมีประมาณ 3 cm วางลงบนเตาให้ด้านวาวหงายขึ้น 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 เติมอินดิเคเตอร์ซีเดียมโครเมต 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.

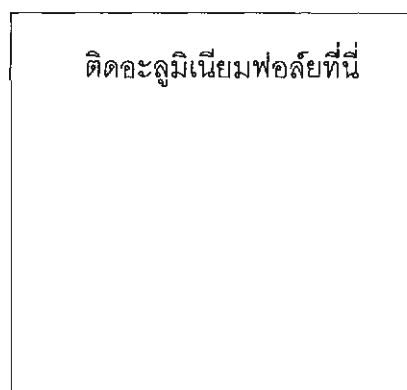
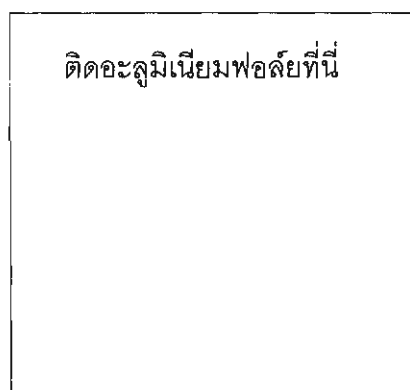
รายงานผลการทดลองเรื่อง สิ่งเจือปนและความกระด้างของน้ำ

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

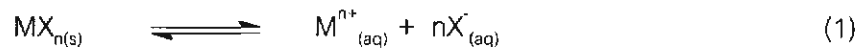
(Solubility Equilibrium)

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 °C

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน HCl M

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

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. สารละลายไอร์ออน (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

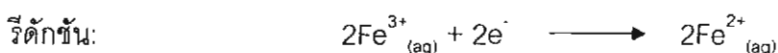
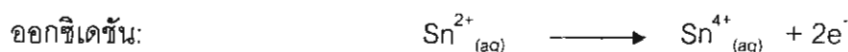


H^+ เป็นตัวออกซิไดซ์ เพราะทำให้ Fe เกิดออกซิเดชัน และ Fe เป็นตัวรีดิวซ์เพราะทำให้ H^+ เกิดรีดักชัน

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันจะเกิดควบคู่กันเสมอ แต่เป็นการสะดวกถ้าจะแยกเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชันออกจากกัน แล้วจึงรวมเข้าด้วยกันเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยมีหลักในการรวมว่า อิเล็กตรอนที่ให้และรับต้องเท่ากัน ตัวอย่างเช่น



แยกออกได้เป็น 2 ปฏิกิริยาย่อยเพื่อแสดงให้เห็นถึงการให้และการรับอิเล็กตรอน



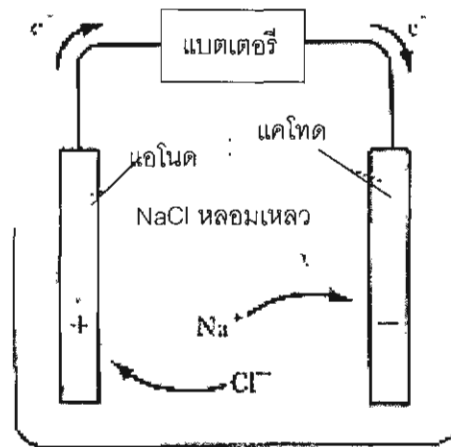
แต่ละปฏิกิริยาย่อยนี้ เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา (half-reaction)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic หรือ Voltaic cell) คือ เซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เซลล์อิเล็กโทรลิติก (electrolytic cell) คือ เซลล์ที่ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปบังคับให้เกิด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

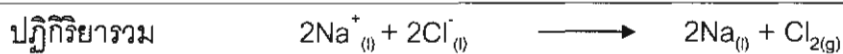
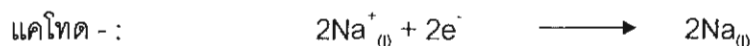
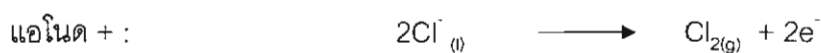
อิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) คือ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

เซลล์อิเล็กโทรลิติก ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วจมอยู่ในเกลือหลอมเหลว หรือสารละลายของสารประกอบไอออนิกในน้ำ ดังแสดงในรูป

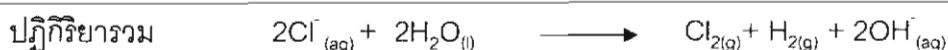
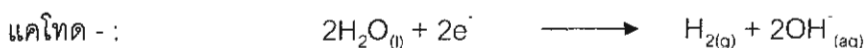
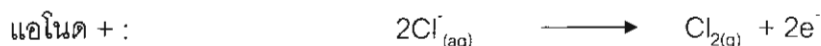


เซลล์ถูกขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่หรือต้นกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงอื่น ๆ ปฏิกิริยาจะเกิดที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ขั้วที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่จะมีความเป็นลบหรืออีกนัยหนึ่งคือมีอิเล็กตรอนอยู่มาก ไอออนบวกในสารละลายเคลื่อนเข้ามาหาขั้วนี้และมารับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้วนี้จึงเรียกว่า แคโทด (cathode) ส่วนขั้วที่ต่อกับแบตเตอรี่ทางขั้วบวกจะมีความเป็นบวกหรือขาดอิเล็กตร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

สำหรับเซลล์อิเล็กโทรลิติกดังรูปข้างบนมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



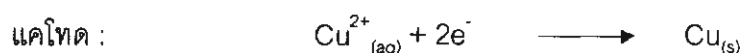
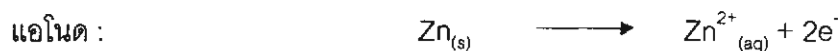
แต่ถ้าเป็นอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย NaCl ในน้ำจะไม่ได้ผลิตภัณฑ์ดังข้างต้น เพราะน้ำถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่า Na^+ เนื่องจากค่า $E^\circ_{\text{reduction}}$ ของน้ำสูงกว่าของ Na^+ ปฏิกิริยาจะเกิดดังนี้



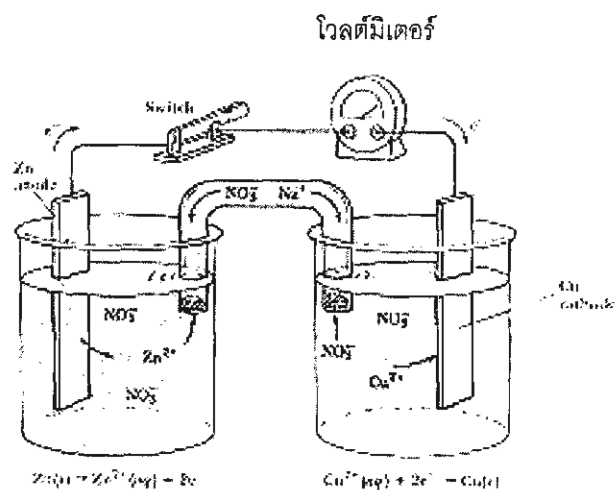
เซลล์กัลวานิก เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นได้เอง มีการให้และรับอิเล็กตรอน เมื่อจัดให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเกิดแยกส่วนกัน มีการไหลหรือเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำไฟฟ้า จะได้กระแสไฟฟ้า ตัวอย่างปฏิกิริยาเช่น



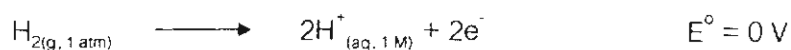
โดย $\text{Zn}_{(s)}$ เกิดออกซิเดชัน และ Cu^{2+} เกิดรีดักชัน



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



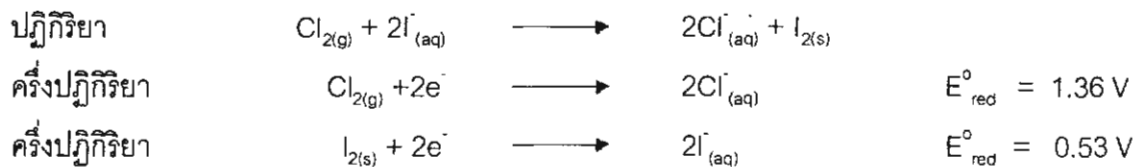
ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (standard potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยารีดอกซ์อยู่ที่สภาวะมาตรฐาน ได้แก่ ความดัน 1 บรรยากาศสำหรับแก๊ส ความเข้มข้น 1 M สำหรับสารละลาย และอุณหภูมิ 25°C เนื่องจากปฏิกิริยารวมของเซลล์มาจากการรวมกันของสองครึ่งปฏิกิริยา ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของครึ่งปฏิกิริยารวมกันเป็นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์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



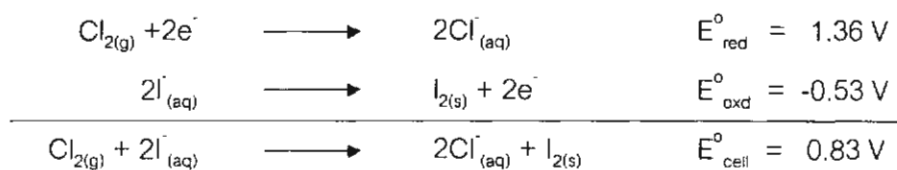
ตารางต่อไปนี้แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานในรูปของครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potential, E°_{red})

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

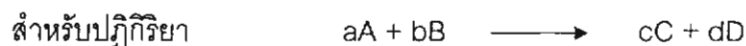
ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน เป็นค่าที่บ่งบอกความง่ายในการถูกรีดิวซ์ ถ้า E°_{red} มีค่ามากกว่าสารนั้นจะเกิดรีดักชันได้ง่ายกว่า และเมื่อรวมค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันแล้ว ได้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์เป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยาของเซลล์นั้นเกิดขึ้นได้เอง แต่ถ้าเป็นลบ หมายความว่าปฏิกิริยาของเซลล์นั้นไม่สามารถเกิดได้เอง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



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



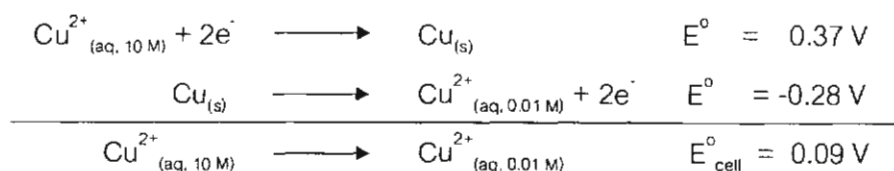
ค่า E° ของเซลล์มีค่าเป็นบวก ปฏิกิริยาของเซลล์จึงเกิดขึ้นเองได้ และสามารถใช้เป็นเซลล์กัลวานิกได้



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

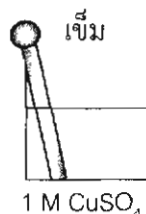


วิธีทดลอง

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)

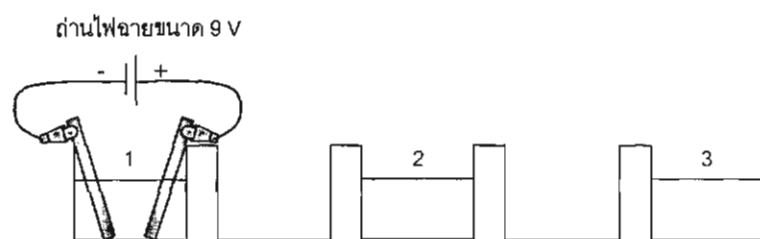


2. นำเข็มหมุดจุ่มลงในสารละลาย 1 M CuSO_4 ทิ้งไว้สัก 30 นาที
3. นำเข็มหมุดออกมาและสังเกตผล เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อธิบายเหตุผลทางเคมีไฟฟ้า ด้วยว่าทำไมจึงเกิดเช่นนั้น

ตอนที่ 2 อิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย CuSO_4

การทดลองส่วนนี้เป็นการทำอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย CuSO_4 ในน้ำ และสังเกตดูว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ใดบ้างจากการทำอิเล็กโทรลิซิส นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดอิเล็กโทรลิซิสกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้

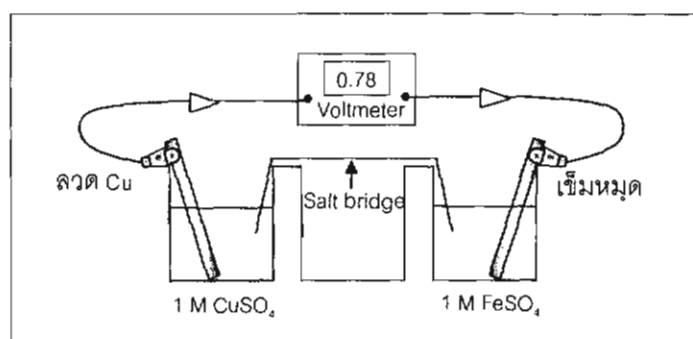
1. หยด 1 M CuSO_4 ลงในหลอด 3 หลุม ให้มีปริมาณ 3 ใน 4 ของหลอดดังรูป
2. ต่อสายไฟตั้วหนีบปากจระเข้กับถ่านไฟฉายขนาด 9 V และต่ออีกปลายหนึ่งกับเข็มหมุดซึ่งจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า โดยขั้วลบใช้สายสีดำ และขั้วบวกใช้สายสีแดง ดังรูป
3. จุ่มเข็มหมุดทั้งคู่ลงในสารละลาย CuSO_4 ในหลอดที่ 1 ระวังอย่าให้เข็มหมุดแตะกัน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



- ทำอิเล็กโทรลีสตั้งข้างต้นกับสารละลาย CuSO_4 ในหลุมที่ 2 เป็นเวลา 1 นาที และหลุมที่ 3 เป็นเวลา $1\frac{1}{2}$ นาที
- นำแคโทดจากหลุมทั้งสามมาเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอิเล็กโทรลีส (ระยะเวลาที่ใช้) กับปริมาณของโลหะ Cu ที่เกาะอยู่ที่แคโทด

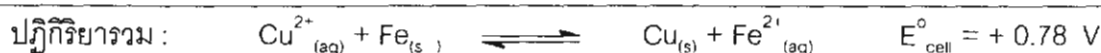
ตอนที่ 3 เซลล์กัลวานิก

3.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี



Salt bridge คือ กระดาษกรองตัดขนาด 0.5 ซม. x 2.5 ซม.

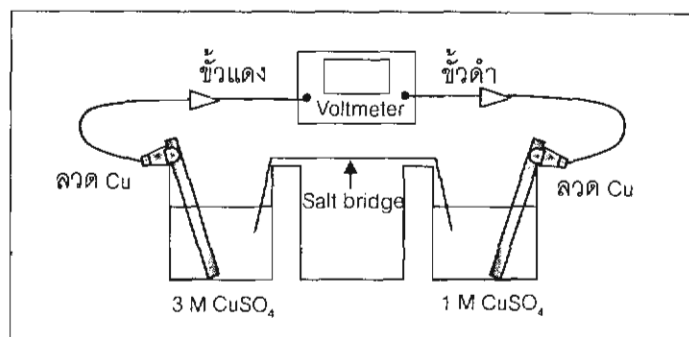
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



- สร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีดังภาพ โดยต่อขั้วลวดทองแดงเข้ากับขั้วสีแดงของโวลต์มิเตอร์ และขั้วเข็มหมุดกับขั้วสีดำของโวลต์มิเตอร์
- หยด 1.0 M KNO_3 ลงไปบนกระดาษกรอง อ่านค่า E_{cell} จากโวลต์มิเตอร์ อย่าปล่อยให้สะพานเกลือ (กระดาษกรอง) แห้ง
- 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

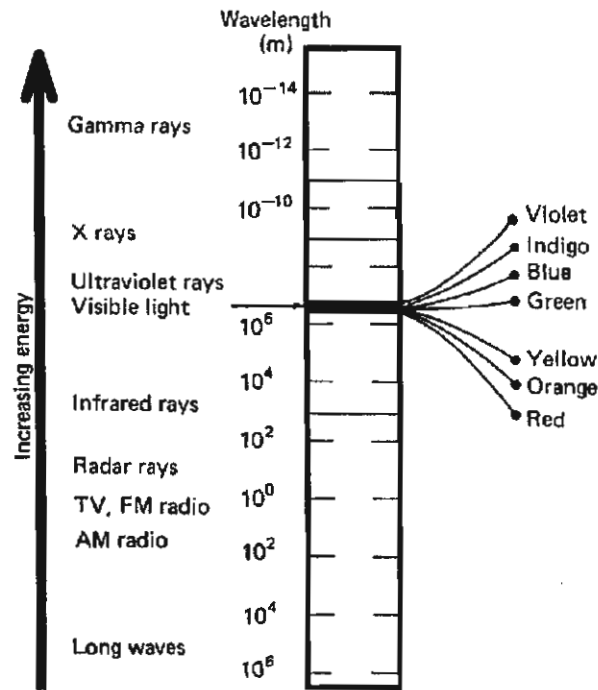
บทนำ

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

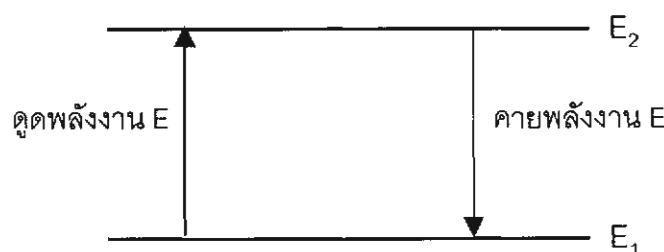
ตอนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นสเปกตรัมของอะตอมกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

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 $E = E_2 - E_1 = \Delta E$

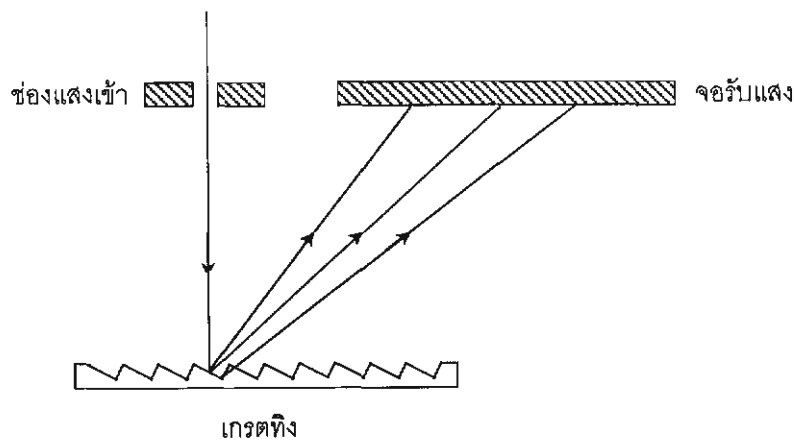


รูป 2 การดูดและคายพลังงาน

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 อะตอมปรอทจะถูกกระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงและเปล่งแสงออกมาเมื่อกลับมาสู่ระดับพลังงานต่ำ 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

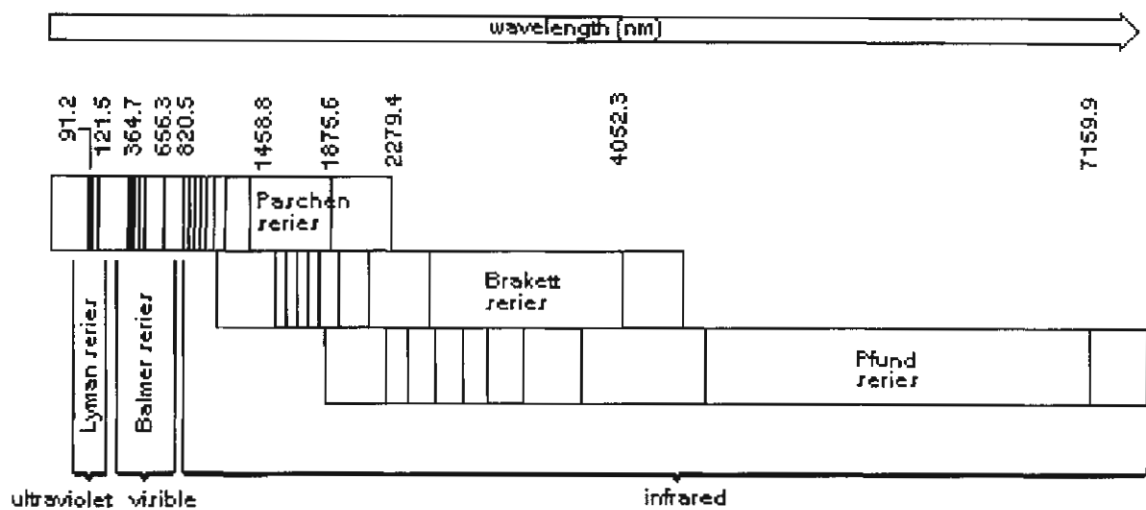
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

โดย n เลขจำนวนเต็ม บอกระดับพลังงานภายในอะตอม

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

λ ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา

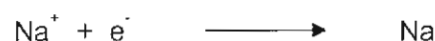
นอกจาก Balmer series แล้ว อะตอมไฮโดรเจนยังให้เส้นสเปกตรัมชุดอื่น ๆ อีกรวม 5 ชุด อีก 4 ชุดได้แก่ Lyman series, Paschen series, Brackett series และ Pfund series ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมไฮโดรเจนกับเส้นสเปกตรัมชุดต่าง ๆ และความยาวคลื่น แสดงในรูป 4



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. ลวดนิโครมพร้อมจุกคอร์ก
5. โคมไฟหลอดฟลูออเรสเซนต์
6. หลอดไฮโดรเจนดิสชาร์จ์
7. หลอดทั้งสแตนด์ 60 วัตต์
8. ตะเกียงเบนเสน
9. เทียนไข
10. กรรไกร เทปกาวใส เทปพันสายไฟ (เทปยาง) สีดำ

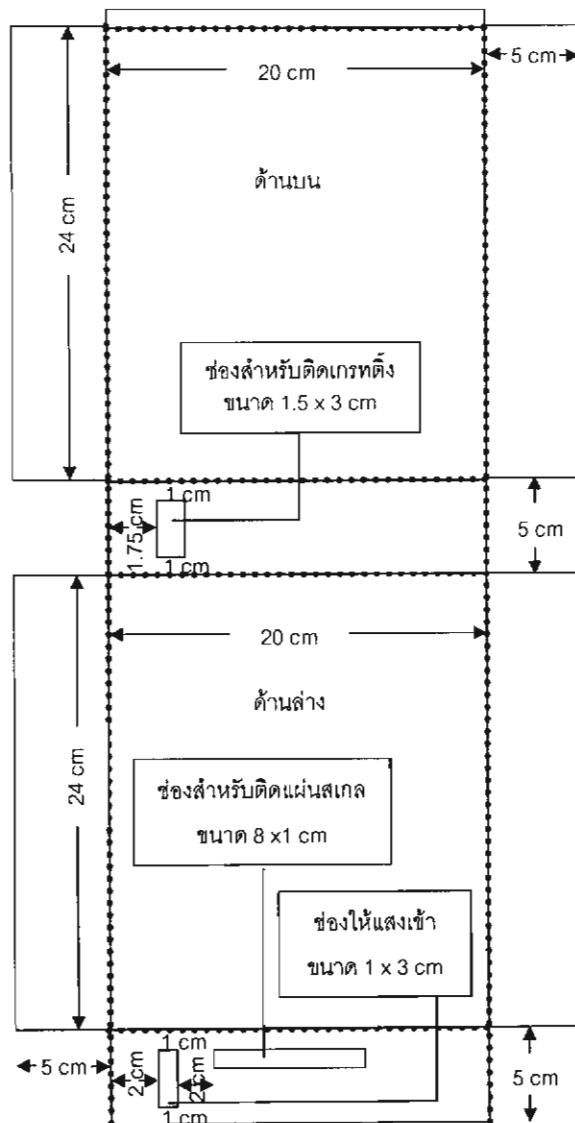
สารเคมี

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

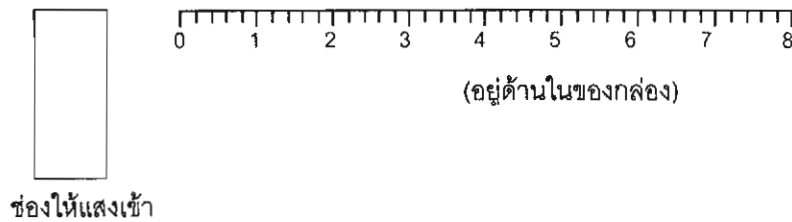
1. สร้างกล่องสเปกโทรสโคปด้วยกระดาษโปสเตอร์ชนิดหนาสีดำ วางกระดาษโปสเตอร์ทางด้านสีดำลงกับพื้นโต๊ะ วาดแบบกล่องดังแบบที่กำหนดให้ (รูป 5) ลงบนกระดาษด้านไม่มีสี ตัดและเจาะตามเส้นทึบ แล้วพับเป็นกล่องตามเส้นประโดยให้ด้านสีดำอยู่ด้านในกล่อง



รูป 5 แบบสำหรับสร้างกล่อง
สเปกโทรสโคป

ควรเพิ่มความระมัดระวังเพื่อให้ช่องสำหรับติดตั้งเกรตติงและช่องให้แสงเข้าอยู่ตรงกัน เมื่อมองไปในกล่องทางด้านเกรตติง จะเห็นช่องสำหรับติดตั้งกระดาษสเกลอยู่ทางด้านล่างขวามือ (ดังรูป 6) อย่าเพิ่งเอาเทปกาวยึดกล่องอย่างถาวรในตอนนี

2. แกะกล่องออก เอากระดาษสเกลซึ่งเป็นสเกลไม้บรรทัดในหน่วยเซนติเมตร สเกล 0-8 ซีดให้เห็นชัดเจนบนกระดาษเขียนหนังสือธรรมดา ตัดให้เป็นรูปคล้ายไม้บรรทัดขนาดเล็กกว่าประมาณ 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 วางเกรตติงทับบนช่องเกรตติงทางด้านนอกของกล่อง โดยให้ร่องบนเกรตติงขนานกับแนวช่องให้แสงเข้า (ไม่ใช่ตั้งฉากกับแนวช่องให้แสงเข้า) และอยู่กึ่งกลางของช่องเกรตติง นำไปส่องกับแสงแดดหรือเปลวไฟทางด้านช่องให้แสงเข้า มองผ่านเกรตติงเข้าไปในกล่อง ถ้าสังเกตเห็นแถบสี (สเปกตรัม) ต่าง ๆ ทางด้านขวาและอยู่บนสเกล แสดงว่าแผ่นเกรตติงอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว ติดเทปกาวใสียึดแผ่นเกรตติงติดแน่นกับตัวกล่อง ถ้าไม่เห็นแถบสีอยู่ทางขวามือให้กลับหัวแผ่นเกรตติงลงจนได้แถบสีอยู่ทางขวามือ จะได้กล่องสเปกโทรสโคปที่พร้อมจะใช้งานแล้ว

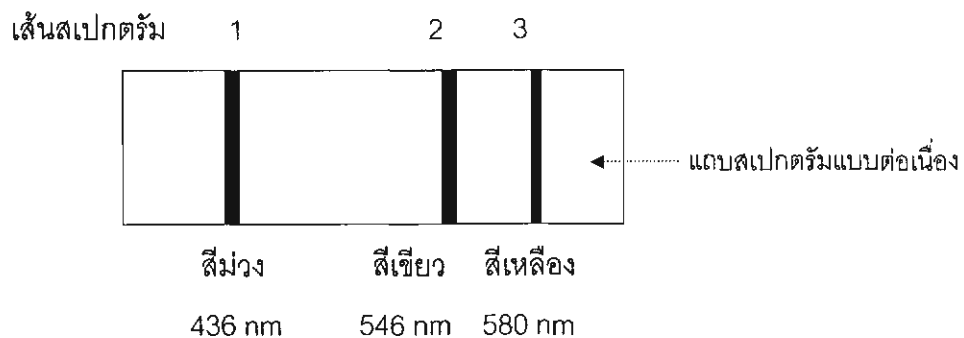
คำถามหลังการทดลอง

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

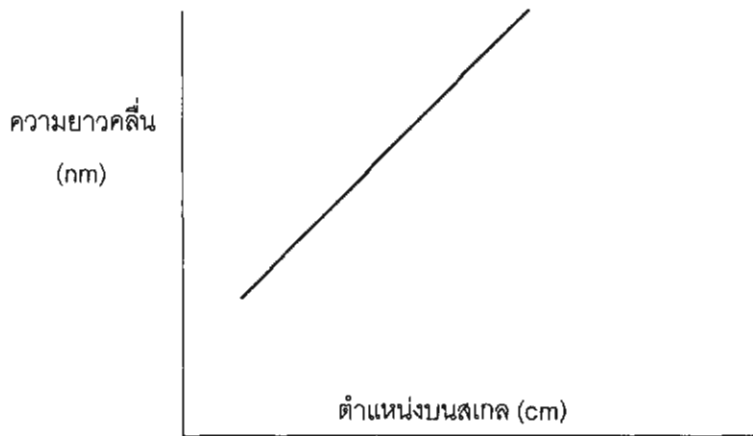
เส้นที่ 1 สีม่วง 436 nm

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 เมื่อนำกล่องสเปกโทรสโคปที่ปรับเทียบแล้วนี้ไปส่องดูสเปกตรัมใดจะสามารถบอกความยาวคลื่นของสเปกตรัมได้จากกราฟเปรียบเทียบนี้

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

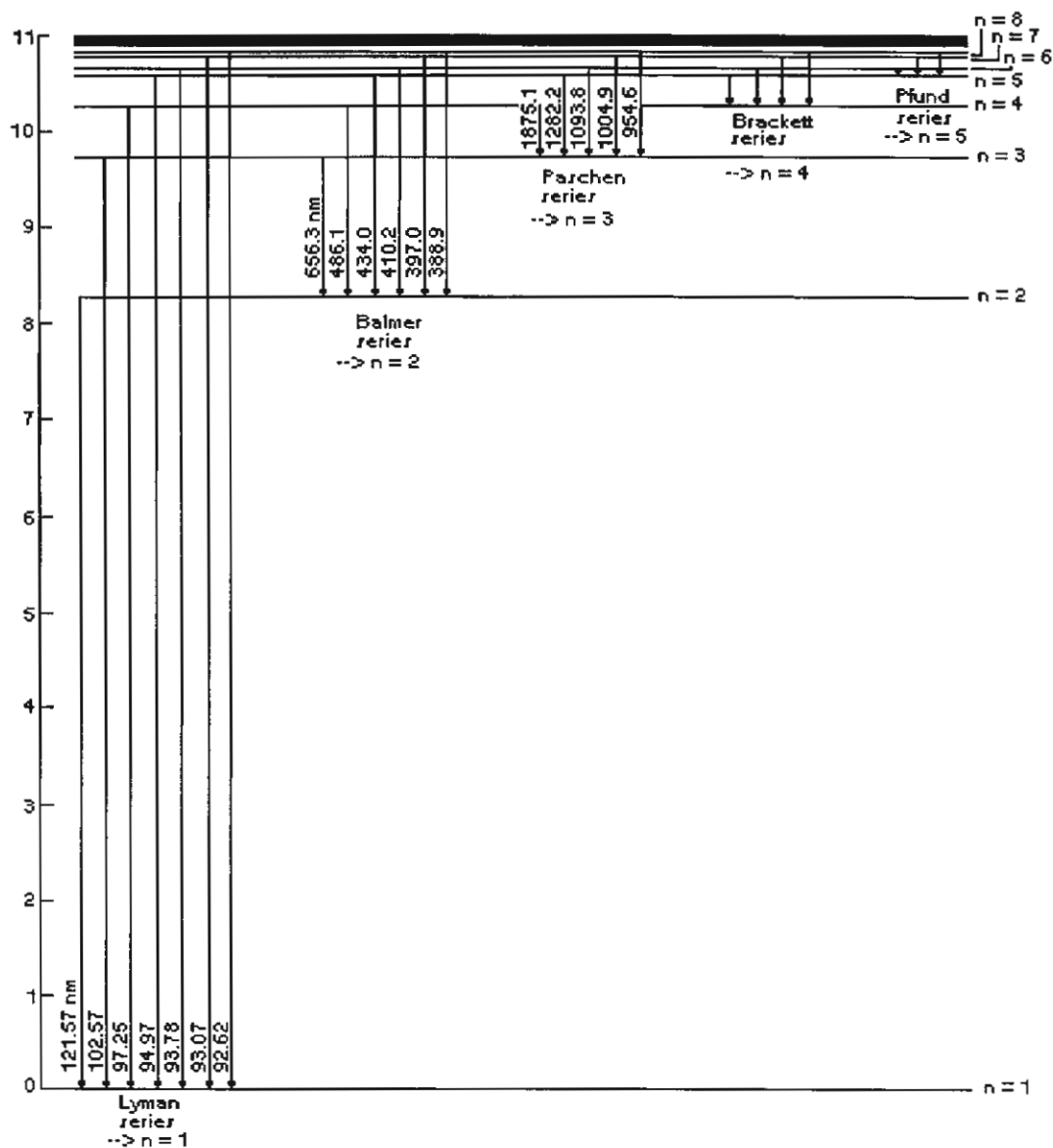
คำถาม

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

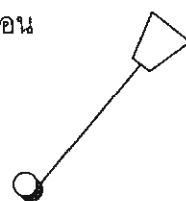
คำถาม

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 ตัดปลายด้านหนึ่งให้เป็นหัวงเล็ก ๆ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเสียบอยู่กับจุกคอรัทที่เป็นด้ามจับกันร้อน



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) แก๊สของโลหะจะติดอยู่ที่หัวงปลายหลอดเล็กน้อยเอาไปเผาในเปลวไฟ 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

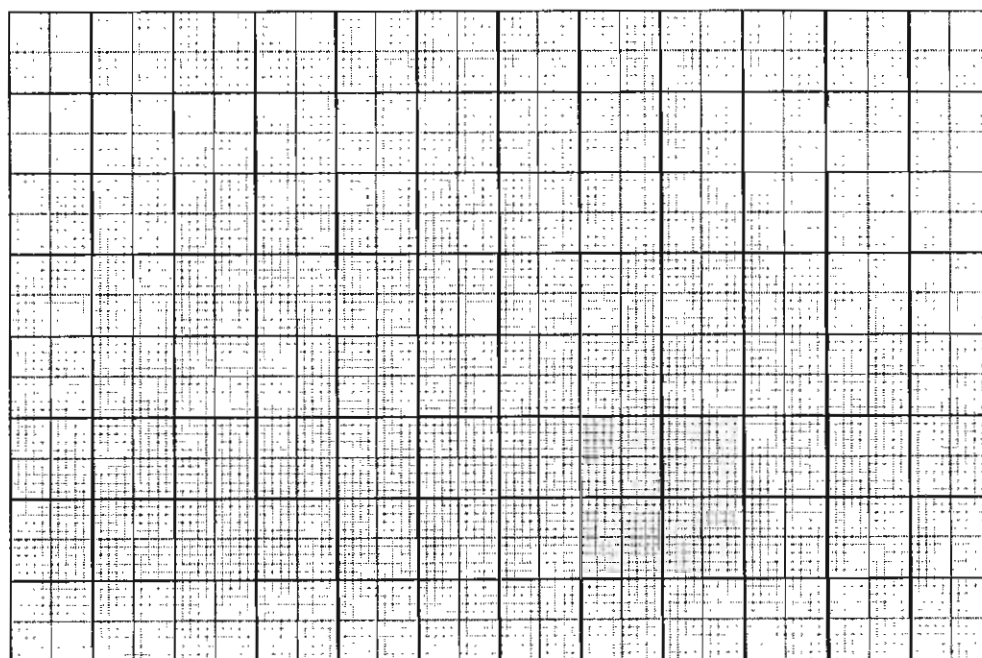
.....

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 เมื่อน้ำแข็งเริ่มละลายเกล็ดในน้ำแข็งจะละลายในน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำจะเข้าล้อมรอบโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนหรืออีกนัยหนึ่ง โมเลกุลของน้ำจะแยกตัวออกจากกันโดยมีไอออนมาขวางกั้นทำให้การรวมตัวกันเป็นของแข็งอีกครั้งเกิดได้ยากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง