

การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย

หลักการและทฤษฎี

การลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลาย เมื่อเทียบกับจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ นั้น พบว่า จุดเยือกแข็งที่ลดลงจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณตัวถูกละลายที่ไม่แตกตัวหรือไม่รวมตัว ดังสมการ

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

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

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

m ความเข้มข้นของสารละลาย (molal)

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

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

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

เมื่อ $g_1 =$ น้ำหนักของตัวละลาย (g)

$g_2 =$ น้ำหนักของตัวทำละลาย (g)

$M_1 =$ มวลโมเลกุลของตัวละลาย (g/mol)

แทนค่าสมการ (2) ในสมการ (1)

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

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

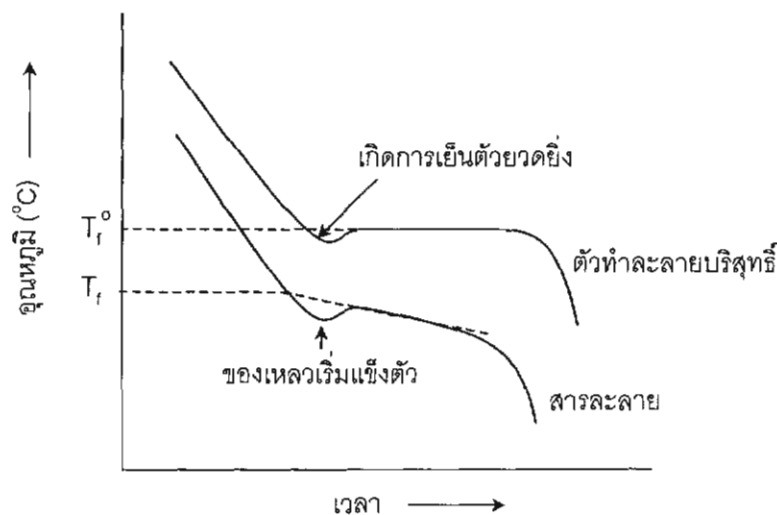
ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง (molal freezing point depression constant, K_f) เป็นค่าคงที่เฉพาะของตัวทำละลายแต่ละชนิดโดยไม่ขึ้นกับตัวละลาย ตัวอย่างเช่น ถ้าละลายน้ำตาลกลูโคสหรือยูเรียจำนวนหนึ่งโมลในน้ำหนึ่งกิโลกรัม สารละลายทั้งสองนี้จะมีจุดเยือกแข็งลดลงเท่ากัน คือ 1.86°C และถ้าเพิ่มปริมาณตัวละลายเป็นสองเท่า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

ตารางแสดงค่า K_f ของตัวทำละลาย

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

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

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



รูป 1 กราฟการเย็นตัว

จากกราฟการเย็นตัว เมื่อทำให้ของเหลวเย็นลงและเริ่มแข็งตัว อุณหภูมิที่ของเหลวเริ่มแข็งตัวเรียกว่า จุดเยือกแข็ง ซึ่งเป็นจุดเดียวกันกับจุดหลอมเหลว จากนั้นอุณหภูมิจะคงที่ระยะหนึ่งซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนเฟสจากของเหลวไปเป็นของแข็งจนกระทั่งของเหลวแข็งตัวหมด ปริมาณความร้อนที่คายออกมาในช่วงที่อุณหภูมิกำลังมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนแฝงของการหลอมเหลว ซึ่งใช้ในการเปลี่ยนสถานะของแข็งให้เป็นของเหลว และเมื่อทำให้ของแข็งเย็นลงอีก อุณหภูมิก็จะลดลงต่อไป

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

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

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

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

เมื่อ i = van't Hoff factor

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

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

วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

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

วิธีทดลอง

แบ่งเป็น 2 ระบบ

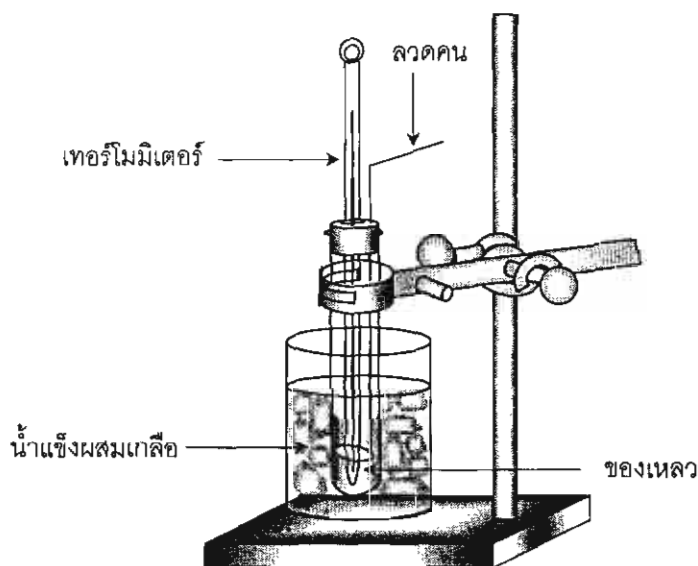
ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ระบบที่ 2 ใช้ 2- เมทิล-2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย

ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์

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



รูป 2 การจัดอุปกรณ์ในการหาจุดเยือกแข็งเมื่อน้ำเป็นตัวทำละลาย

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

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย

2.1 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคส

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

2.2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

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

2.3 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

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

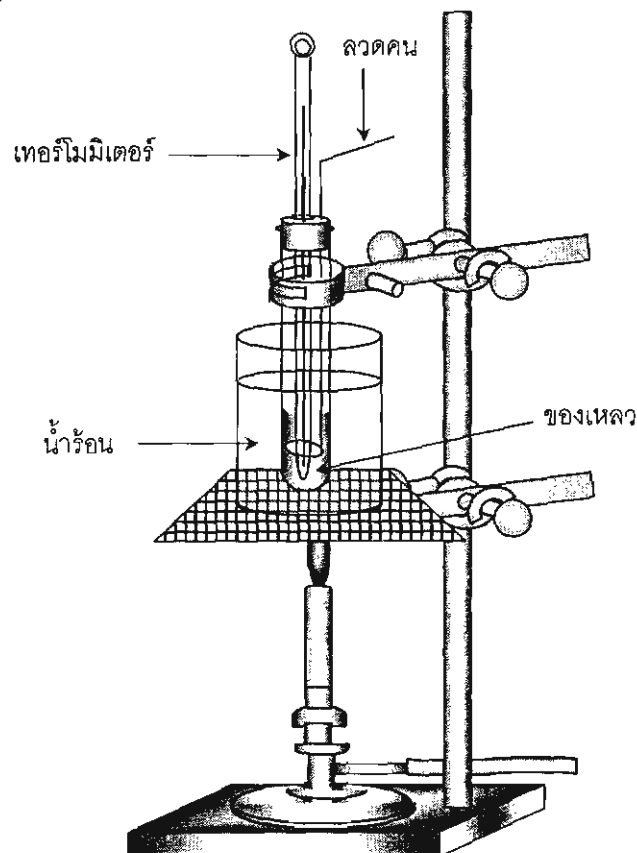
ระบบที่ 2 ใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 1 การหาจุดเยือกแข็งของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล

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

โพรพานอล ร้อนประมาณ 50°C

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



รูป 3 การจัดอุปกรณ์ในการหาจุดเยือกแข็งเมื่อใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การหาจุดเยือกแข็งของสารละลายกรดเบนโซอิกใน 2-เมทิล-2-โพรพานอล

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

คำถามท้ายบท

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

การกำจัดของเสีย

สารละลายเกลือต่าง ๆ สามารถนำกลับไปใช้ในการทดลองที่ 1 หรือการทดลองที่ 17 การวิเคราะห์แอนไอออนและแคตไอออน เนื่องจากสารอื่น ๆ ที่ใช้ไม่เป็นพิษจึงสามารถจัดเก็บเพื่อรอการกำจัดในภายหลัง

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย :
การลดลงของจุดเยือกแข็ง

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

ระบบที่ 1 ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

ตาราง 1 ข้อมูลการทดลอง

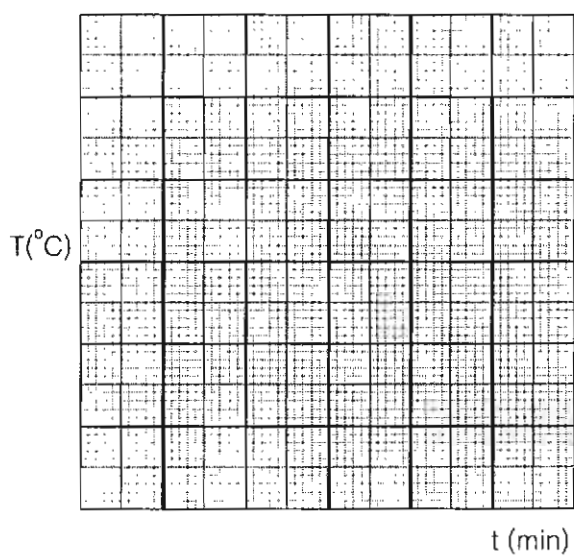
รายการ	น้ำหนัก (g)
หลอด+อุปกรณ์	
หลอด+อุปกรณ์+น้ำ	
หลอด+อุปกรณ์+กลูโคส	
หลอด+อุปกรณ์+NaCl	
หลอด+อุปกรณ์+MgSO ₄	

ตาราง 2 ผลการทดลอง

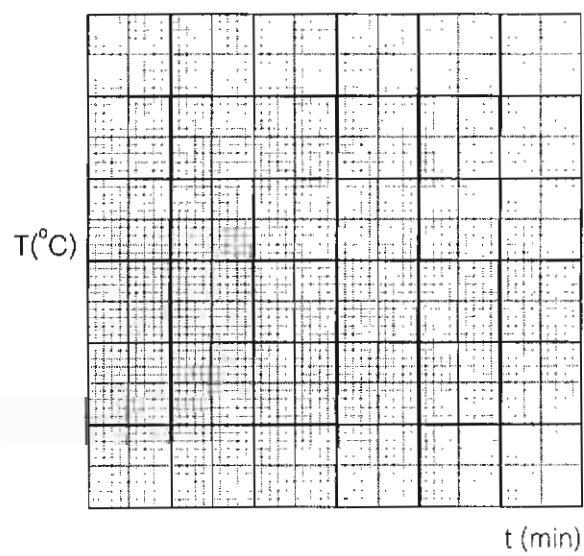
สาร	น้ำหนัก (g)	จำนวนโมลของ ตัวละลาย (mol)	ความเข้มข้นของ สารละลาย (m)
น้ำ			
กลูโคส (M = 180)			
NaCl (M = 58.5)			
MgSO ₄ (M = 120)			

ตาราง 3 อุณหภูมิของของเหลวที่เวลาต่าง ๆ

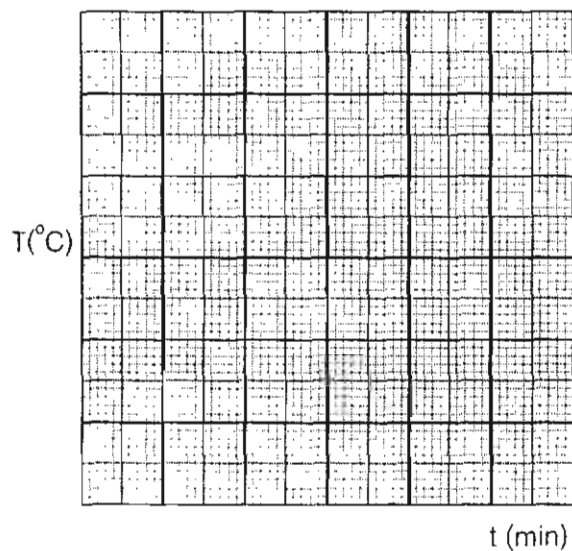
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)				เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	น้ำ	กลูโคส	NaCl	MgSO ₄		น้ำ	กลูโคส	NaCl	MgSO ₄
0.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5				
0.5					6.0				
1.0					6.5				
1.5					7.0				
2.0					7.5				
2.5					8.0				
3.0					8.5				
3.5					9.0				
4.0					9.5				
4.5					10.0				
5.0									



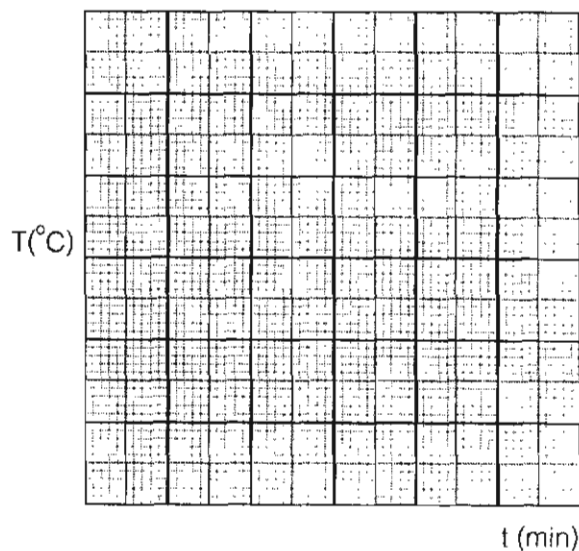
รูปกราฟการเย็นตัวของน้ำ



รูปกราฟการเย็นตัวของสารละลายกลูโคส



รูปกราฟการเยือกแข็งของสารละลาย NaCl



รูปกราฟการเยือกแข็งของสารละลาย $MgSO_4$

จากกราฟ จุดเยือกแข็งของน้ำ, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคส, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายโซเดียมคลอไรด์, °C

จุดเยือกแข็งของสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต, °C

ระบบที่ 2 ใช้ 2-เมทิล-2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย

ตาราง 1 ข้อมูลการทดลอง

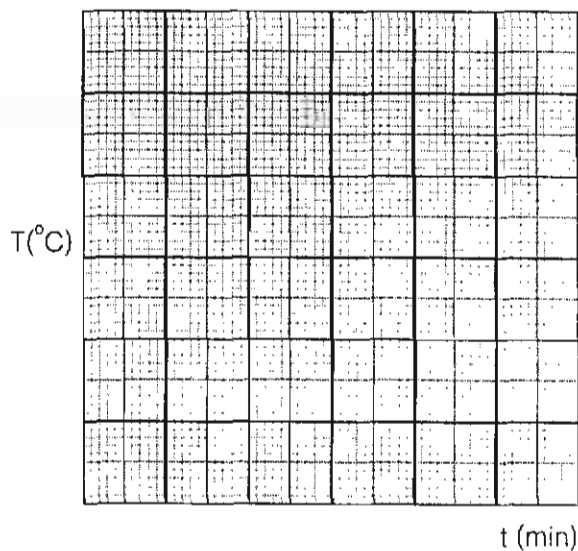
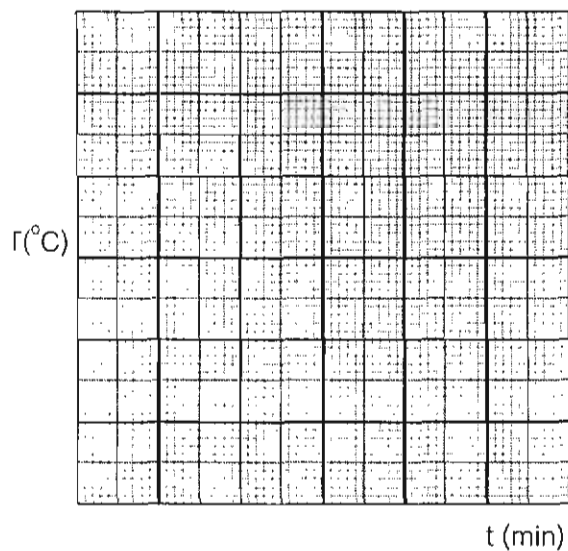
รายการ	น้ำหนัก (g)
หลอด+อุปกรณ์	
หลอด+อุปกรณ์+2-เมทิล-2-โพรพานอล	
หลอด+อุปกรณ์+กรดเบนโซอิก	

ตาราง 2 ผลการทดลอง

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

ตาราง 3 อุณหภูมิของของเหลวที่เวลาต่าง ๆ

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



รูปกราฟการเย็นตัวของ 2-เมทิล-2-โพรพานอล

รูปกราฟการเย็นตัวของสารละลายกรดเบนโซอิก

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

จุดเยือกแข็งของสารละลายกรดเบนโซอิก, °C

การคำนวณ

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

van's Hoff factor

$$\Delta T_f = i K_f m$$

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

คำถามหลังการทดลอง

จงอธิบายค่า van's Hoff factor ที่คำนวณได้ว่าสัมพันธ์กับพฤติกรรมของตัวทำละลายในสารละลายแต่ละชนิดอย่างไร

กลูโคส

.....

.....

NaCl

.....

.....

MgSO₄

.....

.....

กรดเบนโซอิก

.....

.....

การทดลองที่ 14

อุณหพลศาสตร์เคมี

(Chemical Thermodynamics)

วัตถุประสงค์

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

บทนำ

ในชีวิตประจำวัน ปฏิกิริยาเคมีที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานอย่างชัดเจน คือ ปฏิกิริยาเผาไหม้ที่ทำให้เกิดความร้อน พลังงานที่คายออกจากระบบเป็นพลังงานที่สารตั้งต้นในปฏิกิริยาสะสมไว้ ปริมาณความร้อนที่ถูกสะสมไว้นี้ คือ เอนทัลปีของสาร (enthalpy, ΔH) โดยทั่วไปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เองมักจะเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ระบบมีพลังงานต่ำลง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม แต่ปฏิกิริยาดูดความร้อนหลายปฏิกิริยาก็สามารถเกิดขึ้นได้เองโดยดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบจึงไม่ขึ้นอยู่กับการกำหนดทิศทางของปฏิกิริยาว่าสามารถเกิดขึ้นได้เองหรือไม่เพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง คือ ความไม่เป็นระเบียบหรือเอนโทรปีของระบบ (entropy, ΔS) ซึ่งสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร

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

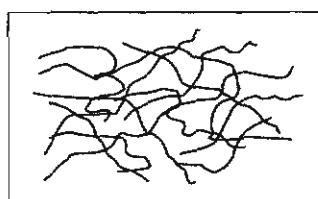
การทดลอง

ตอนที่ 1 ฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

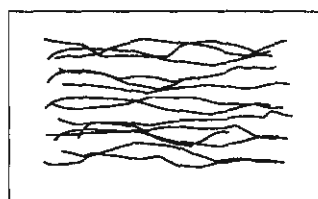
ตอนที่ 2 ความร้อนของปฏิกิริยา

หลักการและทฤษฎี

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



(ก)



(ข)

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

ที่อุณหภูมิคงที่ (T) ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระ (ΔG) ดังสมการ

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

เครื่องหมายของฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ใช้บอกทิศทางของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

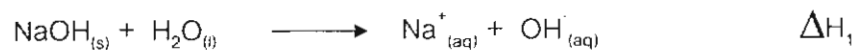
ΔG	ΔH	ΔS
- (เกิดเองได้)	+ (ดูดพลังงาน)	+ (ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น)
+ (เกิดเองไม่ได้)	+ (ดูดพลังงาน)	- (ความไม่เป็นระเบียบลดลง)
- (เกิดเองได้)	- (คายพลังงาน)	+ (ความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น)
+ (เกิดเองไม่ได้)	- (คายพลังงาน)	- (ความไม่เป็นระเบียบลดลง)
0 (ระบบอยู่ในสมดุล)	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

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

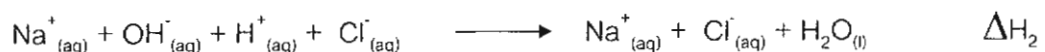
กฎของเฮสส์ (Hess's law) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (ΔH) ของปฏิกิริยารวมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในปฏิกิริยาย่อยแต่ละขั้น

สำหรับการทดลองนี้จะศึกษาความร้อนของการละลาย ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน และกฎของเฮสส์ โดยศึกษาจากปฏิกิริยา 2 แบบ คือ

ก. ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

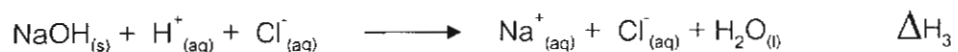


ΔH_1 เรียกว่า ความร้อนของการละลาย



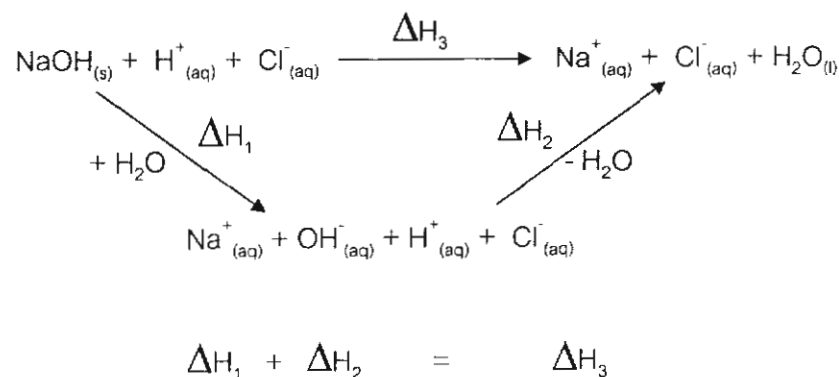
ΔH_2 เรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทิน

ข. ปฏิกิริยาขั้นตอนเดียว



ΔH_3 เรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยารวม

จากกฎของเฮสส์ จะได้ว่า



การวัดปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทำได้โดยวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง แล้วคำนวณความร้อนที่เปลี่ยนแปลง จากสมการ

$$q = ms\Delta t$$

เมื่อ q = ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลง (J)

m = น้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยา (g)

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

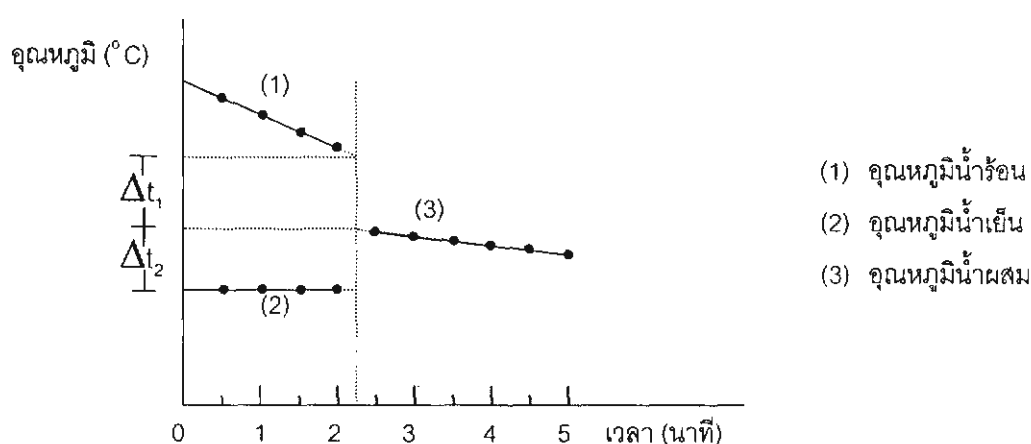
Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($^{\circ}C$)

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

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

เนื่องจากน้ำร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้แคลอรีมิเตอร์และน้ำเย็น ถ้ากำหนดให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับ Δt_1 และน้ำเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับ Δt_2

หาค่า Δt_1 และ Δt_2 โดยการเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ดังรูป 14-1



รูป 14-1 การหาค่า Δt_1 และ Δt_2

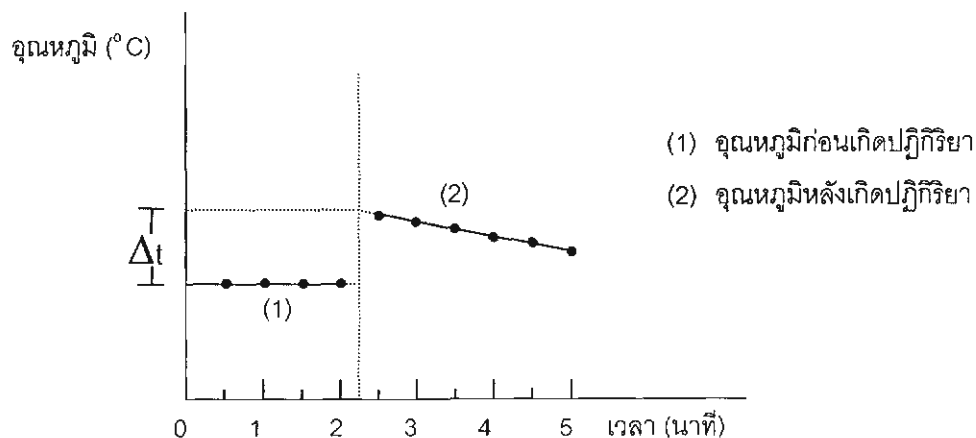
จาก Δt_1 และ Δt_2 สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญหายไปได้ดังนี้

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

ความร้อนของการละลายเป็นผลต่างของพลังงานแลตทิซ(lattice energy)ที่ใช้ทำลายแรงดึงดูดของไอออนบวกและไอออนลบในโครงผลึกกับพลังงานไฮเดรชัน ซึ่งเป็นพลังงานที่คายออกมาเมื่อไอออนบวกและไอออนลบถูกห้อมล้อมด้วยโมเลกุลของน้ำ

สำหรับปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินของกรดแก่กับเบสแก่ทุกชนิดจะมีค่าเท่ากัน เพราะกรดแก่และเบสแก่แตกตัวได้สมบูรณ์ในสารละลาย แต่ในกรณีของกรดแก่กับเบสอ่อนหรือกรดอ่อนกับเบสแก่ ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินบางส่วนถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งขึ้นกับชนิดของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนนั้น

เนื่องจากปฏิกิริยาสะเทินเกิดขึ้นเร็วมาก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีการถ่ายเทอย่างรวดเร็วจึงเป็นการยากที่จะวัดอุณหภูมิขณะนั้น เพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดขณะที่เกิดปฏิกิริยาโดยการต่อกราฟ (extrapolation) ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ดังรูป 14-2



รูป 14-2 กราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

จาก Δt สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนของการละลายได้ดังนี้

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

ในการทดลองนี้ จะหาความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ และกรดอ่อนกับเบสแก่ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของกรดอ่อนมีค่าเท่ากับผลต่างของความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินทั้งสอง

ในการทดลองจำเป็นต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์สองอันพร้อมกัน ซึ่งเทอร์โมมิเตอร์แต่ละอันอาจมีความถูกต้องไม่เท่ากัน จึงต้องมีการปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์ก่อนใช้เพื่อให้การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองมีค่าเทียบเท่ากัน

วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

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

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 ฟังก์ชันอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

ตอนที่ 1.1 ยืดแถบยางด้วยมือ

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

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

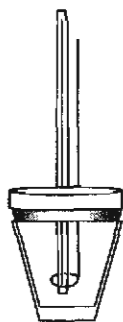
ตอนที่ 1.2 ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด

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

ตอนที่ 2 ความร้อนของการละลายและปฏิกิริยาสะเทิน

เตรียมแคลอรีมิเตอร์

วัดยางหนาเส้นใหญ่รอบด้วยโฟมพร้อมฝาปิดต่ำลงมาจากขอบถ้วยประมาณ 1 cm นำไปสวมลงในถ้วยโฟมอีกใบกดให้แน่น ตัดฝาด้วยมีดเป็นเส้นกากบาทให้ได้ขนาดพอดีสำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์และแท่งแก้วปลายชัดเป็นวงแหวน



ตอนที่ 2.1 การปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์

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

ตอนที่ 2.2 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

1. ชั่งน้ำหนักแคลอรีมิเตอร์เปล่า ตวงน้ำกลั่น 25 mL ลงในแคลอรีมิเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และตวงน้ำกลั่นร้อนประมาณ 50°C มา 25 mL ใส่ในปิกเกอร์ อ่านอุณหภูมิของน้ำร้อนและเย็นพร้อมกันทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที
2. เทน้ำร้อนใส่ในแคลอรีมิเตอร์อย่างรวดเร็ว ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ และบันทึกอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักแคลอรีมิเตอร์อีกครั้ง
3. ล้างแคลอรีมิเตอร์ กู้ด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของน้ำเย็น น้ำร้อน และน้ำผสม เพื่อหาอุณหภูมิขณะผสมทำนองเดียวกับรูป 14-1 และคำนวณค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

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

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

ตอนที่ 2.4 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ
สารละลาย NaOH

1. ตวงสารละลาย 1.0 M HCl 25 mL ใส่ในแคลอริมิเตอร์ ชั่งน้ำหนัก และตวงสารละลาย 1.0 M NaOH 25 mL ใส่ในบีกเกอร์
2. วัดอุณหภูมิของสารละลายทั้งสองพร้อมกันทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 2 นาที เทสารละลาย NaOH ลงในแคลอริมิเตอร์ ปิดฝาให้สนิท คนอย่างสม่ำเสมอ อ่านอุณหภูมิต่อเนื่องทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักแคลอริมิเตอร์อีกครั้ง
3. ล้างแคลอริมิเตอร์ ก้วด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง เพื่อใช้ทำการทดลองต่อไป
4. เขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิต่อเวลาของสารละลายกรด เบส และสารละลายผสม และคำนวณหาค่าความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างต่อโมลของน้ำ (ΔH_2) (ดูหมายเหตุ)

ตอนที่ 2.5 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH_(s)

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

ตอนที่ 2.6 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย CH₃COOH กับ
สารละลาย NaOH

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

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

หมายเหตุ

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

คำถามท้ายบท

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

เอกสารอ้างอิง

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

การจัดการของเสีย

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง ความร้อนของปฏิกิริยา

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

ตอนที่ 1 พลังงานอุณหพลศาสตร์ของแถบยาง

ตอนที่ 1.1 ยืดแถบยางด้วยมือ

1. ผลการทดสอบ

การทดสอบ	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของแถบยาง	ΔG	ΔH	ΔS
ยืดแถบยาง				
ปล่อยแถบยางที่ยืดให้หดกลับ				

2. แสดงความสัมพันธ์ของเอนโทรปีกับโครงสร้างโมเลกุลของแถบยาง

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี
ยืดแถบยาง		
ปล่อยแถบยางที่ยืดให้หดกลับ		

3. เขียนสมการที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

.....

ตอนที่ 1.2 ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด

1. ผลการทดสอบ

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงของแถบยาง	ΔG	ΔH	ΔS
ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด				

2. แสดงความสัมพันธ์ของเอนโทรปีกับโครงสร้างโมเลกุลของแถบยาง

การทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี
ให้ความร้อนกับแถบยางที่ยืด		

3. เปรียบเทียบผลการทดสอบกับตอนที่ 1.1

.....

ตอนที่ 2 ความร้อนของการละลายและปฏิกิริยาสะเทิน

ตอนที่ 2.1 การปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์

อุณหภูมิห้อง อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ 1 =°C

อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ 2 =°C

อุณหภูมิที่ใช้ปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์ 2 =°C

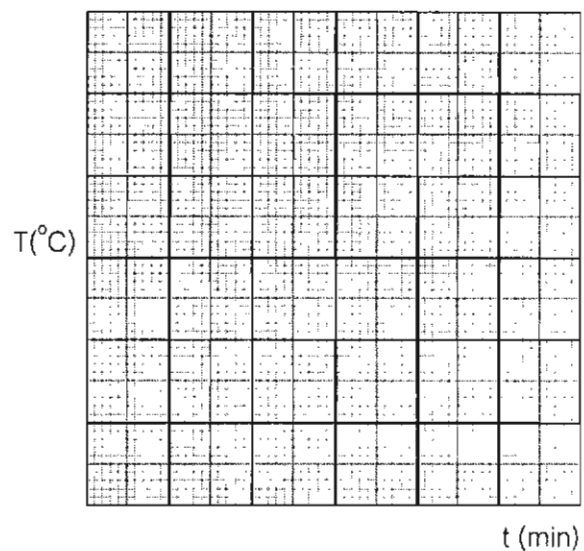
ตอนที่ 2.2 การหาค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

ข้อมูลการทดลอง

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

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

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



ปริมาณความร้อนที่น้ำร้อนสูญเสีย

..... J

ปริมาณความร้อนที่น้ำเย็นได้รับ

..... J

ปริมาณความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ดูดไว้

..... J

อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง(จากกราฟ)

..... °C

ค่าความจุความร้อนของแคลอริมิเตอร์

..... kJ/°C

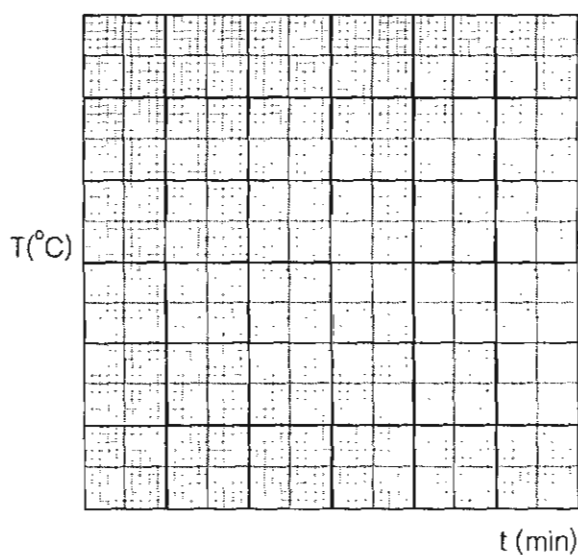
ตอนที่ 2.3 การหาปริมาณความร้อนของการละลายของ $\text{NaOH}_{(s)}$

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอริมิเตอร์+น้ำกลั่น	
แคลอริมิเตอร์+สารละลาย	

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

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



ความร้อนของการละลาย NaOH (q_r)

J

ความร้อนของการละลาย NaOH (ΔH_r)

kJ/ mol

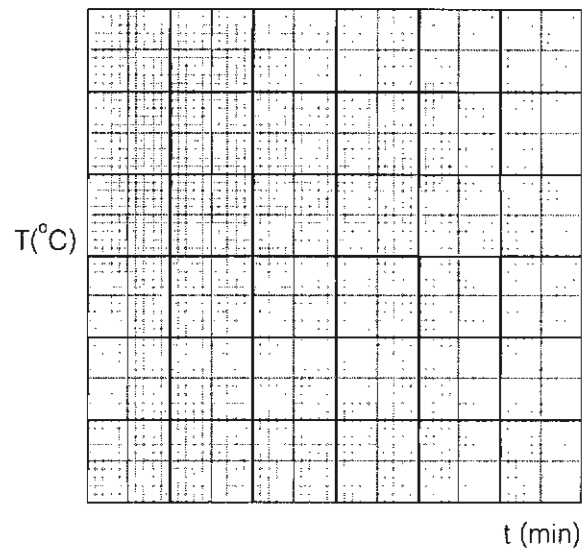
ตอนที่ 2.4 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับ
สารละลาย NaOH

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+HCl	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

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

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



อุณหภูมิของสารละลาย HCl และสารละลาย NaOH (เฉลี่ย) °C

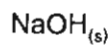
ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับสารละลาย NaOH (q_2)

..... J

ความร้อนของปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารละลาย HCl กับสารละลาย NaOH (ΔH_2)

..... kJ/mol

ตอนที่ 2.5 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ

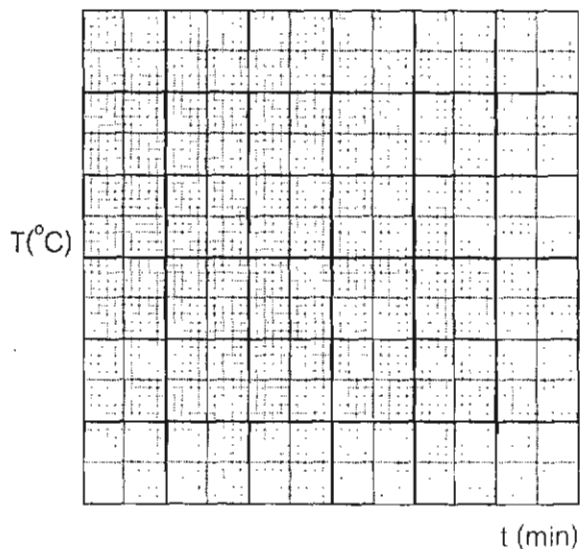


ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+HCl	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

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

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



ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH (q_3) J

ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย HCl กับ NaOH (ΔH_3) kJ/ mol

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

.....

.....

.....

.....

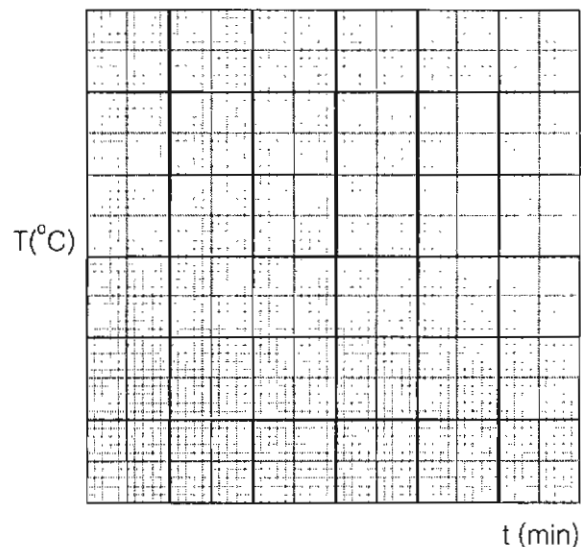
ตอนที่ 2.6 การหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย CH_3COOH กับ
สารละลาย NaOH

ข้อมูลการทดลอง

รายการ	น้ำหนัก (g)
แคลอรีมิเตอร์+ CH_3COOH	
แคลอรีมิเตอร์+สารละลายผสม	

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

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



ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย CH_3COOH และสารละลาย NaOH

.....J

ความร้อนของปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย CH_3COOH และสารละลาย NaOH

.....kJ/mol

ความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของ CH_3COOH

.....kJ/mol

การทดลองที่ 15

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

วัตถุประสงค์

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

บทนำ

ความดันไอ หรือ ความดันไอที่ภาวะสมดุล (Equilibrium vapor pressure) หมายถึง ความดันของไอของเหลวที่อยู่ในภาวะสมดุลกับของเหลว

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของของเหลว 1 โมล ให้กลายเป็นไอที่ภาวะสมดุลนั้น

ความดันไอของเหลวมีส่วนสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ตามสมการของคลาเปรอง (Clapeyron equation) ดังนี้

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

T = จุดเดือดของของเหลว (K)

V_{vap} = ปริมาตรของไอ

V_{liq} = ปริมาตรของของเหลว

ΔH_{vap} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

P = ความดันไอ

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

เมื่อพิจารณาว่าไอมีพฤติกรรมเป็นแก๊สอุดมคติ จะได้

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

เมื่อ $n = 1$

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

แทนค่า ΔV ใน (1) จะได้

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

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

ในกรณีที่พิจารณาว่า ΔH_{vap} มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดให้ จะได้

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

เมื่อ C = ค่าคงที่

แทนค่า P_1, P_2 = ความดันไอที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ ได้ว่า

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

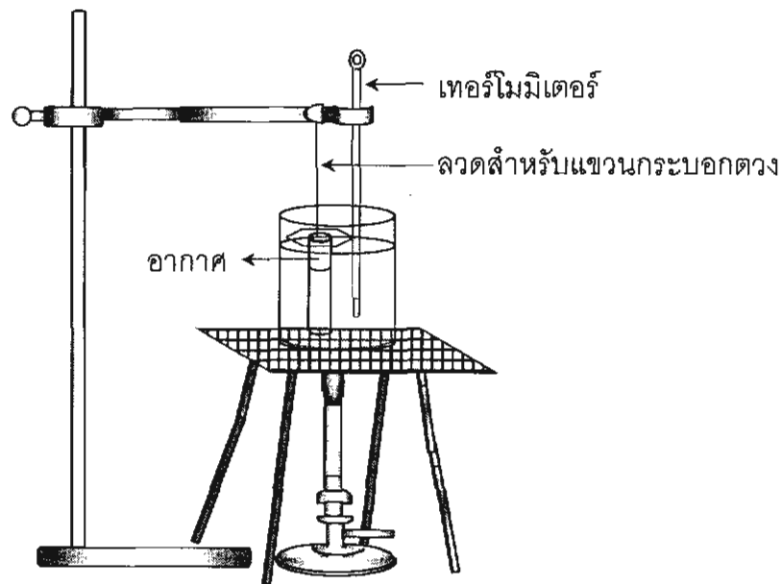
สามารถใช้สมการนี้คำนวณค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของของเหลวชนิดหนึ่ง ๆ ได้
เมื่อทราบความดันไอของของเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การทดลอง

การวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50 – 80 °C

หลักการและทฤษฎี

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



อุปกรณ์สำหรับการวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่างๆ

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

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

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

เมื่อหาจำนวนโมลของอากาศได้แล้ว ก็จะสามารถคำนวณความดันย่อยของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้จาก

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

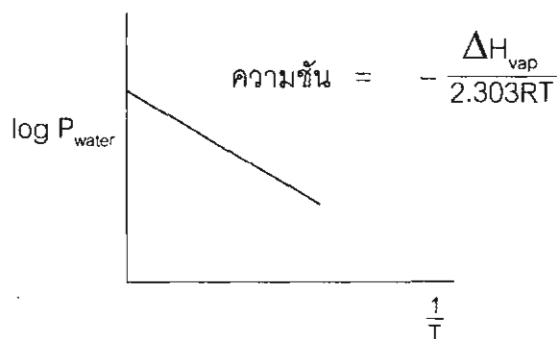
n_{air} = จำนวนโมลอากาศ (mol)
 T = อุณหภูมิ (K)
 V = ปริมาตรของแก๊สผสม (L)

คำนวณความดันไอของน้ำในแก๊สผสมที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ความสัมพันธ์

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

จากจำนวนโมลของอากาศและผลการทดลองวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50-80°C

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



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

วัสดุอุปกรณ์

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

วิธีทดลอง

การวัดปริมาตรของแก๊สผสมที่อุณหภูมิ 50-80°C

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

คำถามหลังการทดลอง

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

คำถามท้ายบท

น้ำยากันสนิมที่เติมในหม้อน้ำรถยนต์นอกจากจะมีผลต่อการป้องกันการเกิดสนิมแล้ว จะมีผลต่อความดันไอของน้ำในหม้อน้ำรถยนต์อย่างไร

การกำจัดของเสีย

การทดลองนี้ไม่มีของเสียอันตรายต้องกำจัด

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง การหาความดันไอและความร้อนแฝงของ การเกิดไอของน้ำ

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

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

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

ความชันจากกราฟ =

ΔH_{vap} = - 2.303 R x ความชัน

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

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด =

คำถามหลังการทดลอง

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

.....

2. ถ้าเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นเอทานอล จะสามารถใช้วิธีการนี้ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

3. ถ้าเติมของเหลวที่ไม่ระเหย แต่ละลายได้ดีในน้ำ ความดันไอของน้ำจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง

.....

การทดลองที่ 16
โครงสร้างผลึก
(Crystal Structure)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค
2. ศึกษาหน่วยเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคในโครงสร้างผลึก
3. คำนวณความหนาแน่นของหน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ

บทนำ

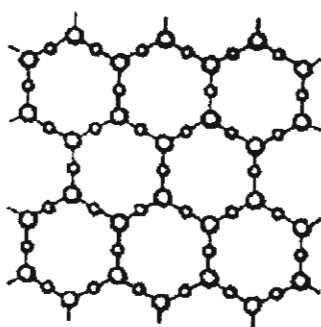
สมบัติของของแข็งจะสัมพันธ์กับโครงสร้างและพันธะเคมีของของแข็งนั้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น

1. แบ่งตามแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคได้ 4 ชนิดดังในตาราง

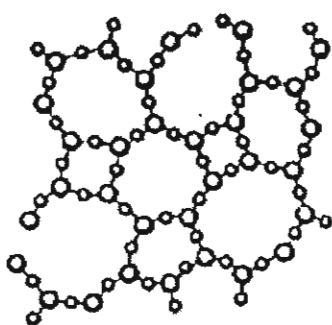
ชนิด	แรงยึดเหนี่ยว	สมบัติ	ตัวอย่าง
ผลึกโมเลกุล (molecular crystal)	แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงขั้วคู่ พันธะไฮโดรเจน	จุดหลอมเหลวต่ำ ระเหยได้	Ar , CH ₄ , CO ₂ SO ₂ H ₂ O
ผลึกไอออนิก (ionic crystal)	แรงดึงดูดแบบไฟฟ้า สถิต (electrostatic force)	จุดหลอมเหลวสูง จุดเดือดสูง นำไฟฟ้าได้เมื่อ หลอมเหลว	LiF NaCl ZnO
ผลึกโคเวเลนต์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

2. แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ

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



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



เนื่องจากของแข็งอสัณฐานมีการจัดเรียงไม่เป็นระเบียบ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะเปลี่ยนแปลงตามความแข็งแรงแต่ละส่วน จึงทำให้ของแข็งอสัณฐานไม่หลอมเหลวที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะ แต่จะค่อย ๆ อ่อนตัวลงในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง

การทดลอง

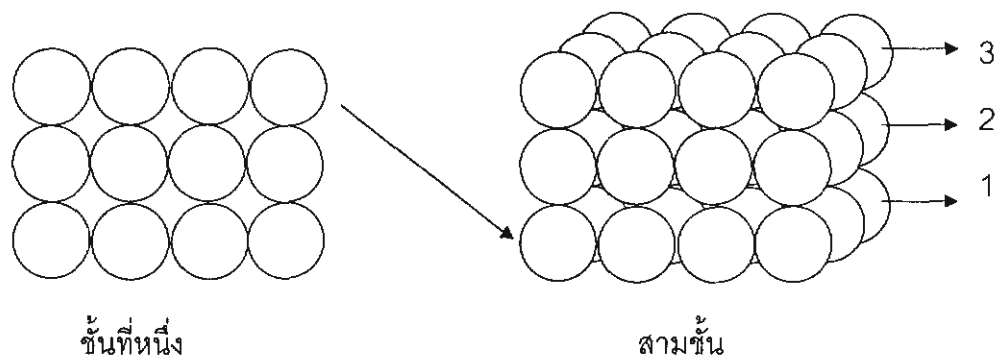
ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

ตอนที่ 2 การศึกษาหน่วยเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคในโครงสร้างผลึก

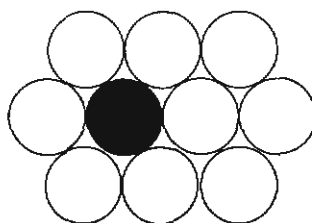
ตอนที่ 3 การคำนวณความหนาแน่นของหน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ

หลักการและทฤษฎี

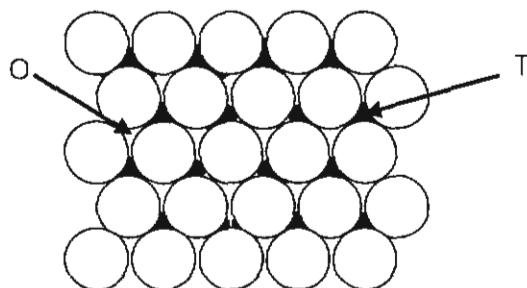
การจัดเรียงอนุภาคแบบ simple cubic จะเป็นการจัดเรียงที่ให้ศูนย์กลางของอนุภาคตรงกันทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังรูป เกิดช่องว่างแบบลูกบาศก์ซึ่งเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ จัดเป็นการจัดเรียงอนุภาคที่มีประสิทธิภาพต่ำ หน่วยเซลล์เป็นรูปลูกบาศก์ที่มีอะตอมอยู่เฉพาะที่มุมทั้งแปดของรูปลูกบาศก์เท่านั้น



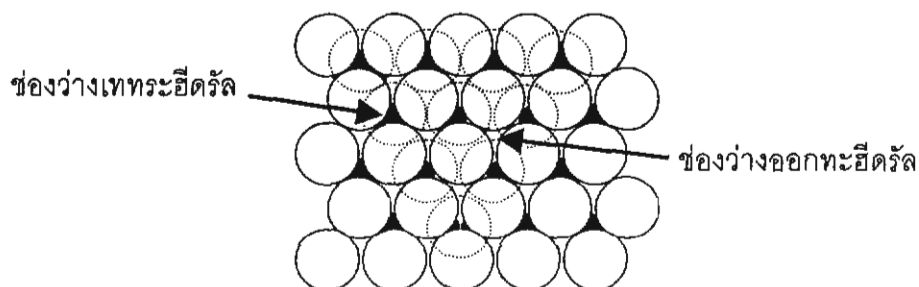
โดยทั่วไปแล้ว โลหะในธรรมชาติเกือบทั้งหมดมีการจัดอะตอมในโครงสร้างผลึกเป็นแบบชิดที่สุด การจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดจะมีปริมาตรของช่องว่างน้อย จัดได้ว่ามีประสิทธิภาพในการจัดเรียงอนุภาคสูง ลักษณะของการจัดเรียงจะให้ศูนย์กลางของอนุภาคอยู่สลับหว่างกัน ดังรูป ในกรณีที่พิจารณาเฉพาะชั้นที่หนึ่ง เมื่อให้อนุภาคหนึ่งเป็นศูนย์กลาง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



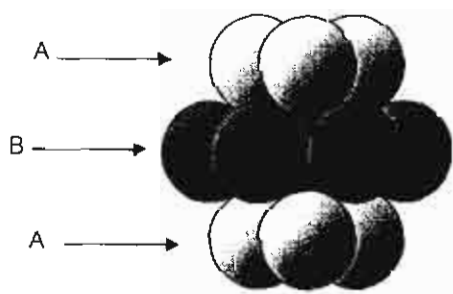
จะพบช่องว่างระหว่างอนุภาคซึ่งมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมวางทิศทางแตกต่างกัน 2 แบบ เรียกช่องว่าง T (ดำ) และช่องว่าง O (ขาว) ดังรูป



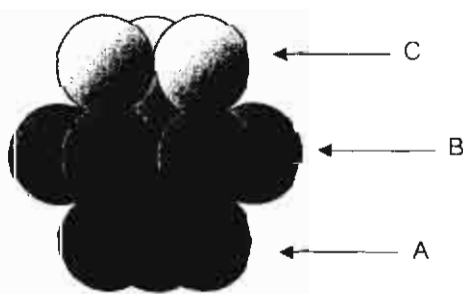
เมื่อวางอนุภาคในชั้นที่สอง โดยวางอนุภาคลงบนช่องว่าง T ทั้งหมด จะเกิดช่องว่างทรงแปดหน้า ตรงช่องว่าง T ทันที ส่วนช่องว่าง O จะเกิดช่องว่างออกทรงแปดหน้า ดังรูป



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



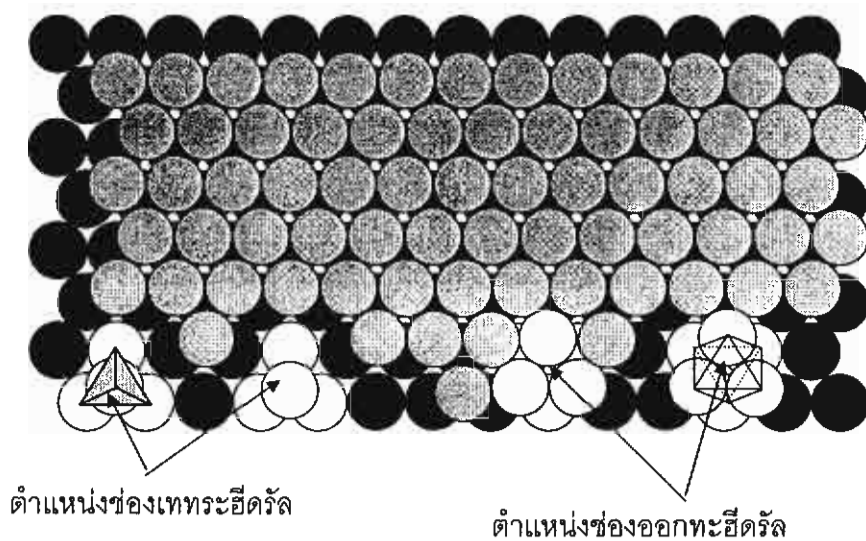
hexagonal closest-packing



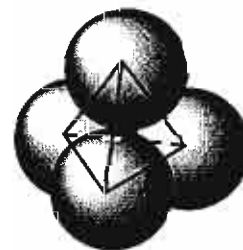
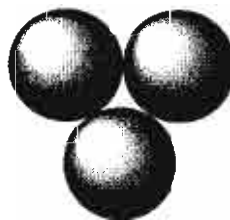
face-centered cubic closest-packing

การจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดเพียงสองชั้นทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นขึ้นสองชนิด คือ ช่องว่างเตตระฮีดรัลและช่องว่างออกตะฮีดรัล ช่องว่างเตตระฮีดรัลจะมีอนุภาคล้อมรอบสี่อนุภาค ส่วนช่องว่างออกตะฮีดรัลจะมีอนุภาคล้อมรอบหกอนุภาค

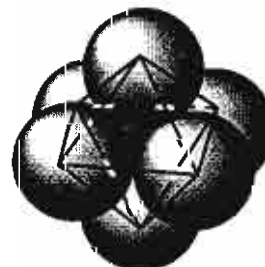
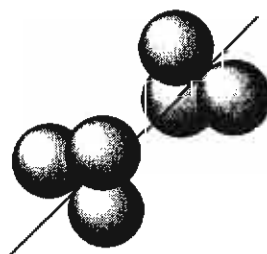
เมื่อวางอนุภาคลงบนช่องว่างแบบสามเหลี่ยมในชั้นที่หนึ่ง จะเกิดช่องว่างเตตระฮีดรัลทันที และจะเกิดช่องว่างออกตะฮีดรัลในตำแหน่งของช่องว่างสามเหลี่ยมที่ถูกเว้นไว้ซึ่งอยู่ติดกันดังรูป



ตำแหน่งของช่องว่างเตตระฮีดรัลและช่องว่างออกตะฮีดรัล



ช่องว่างเตตระฮีดรัล

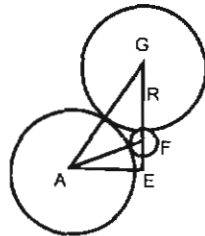
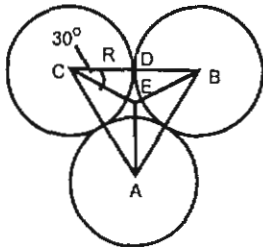
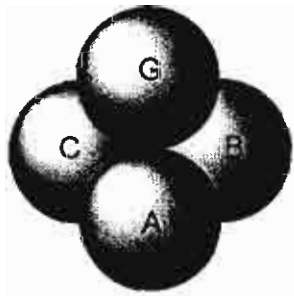


ช่องว่างออกตะฮีดรัล

อัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

1. ช่องว่างแบบเตตระฮีดรัล

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



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

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

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

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

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

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

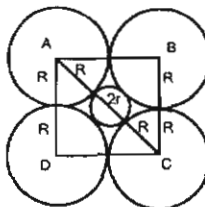
$$\frac{R}{R+r} = 0.8165$$

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

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

2. ช่องว่างแบบออกตะฮีดรัล

เมื่อวางอนุภาคหกลูกดังรูป จะเกิดช่องว่างแบบออกตะฮีดรัล คำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาค (r) ในช่องว่างกับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก (R) ได้ดังนี้



$$AB = 2R$$

$$AC = 2R + 2r$$

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

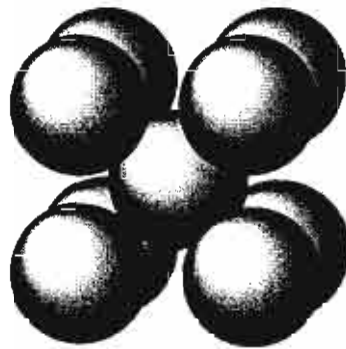
$$2R = 2R \cos 45^\circ + 2r \cos 45^\circ$$

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

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

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

นอกจากการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดทั้งสองแบบแล้ว โลหะบางชนิด เช่น Li Na K Ba มีการจัดอนุภาคในโครงสร้างผลึกเป็นแบบ body centered cubic (bcc) ดังรูป โครงสร้างผลึกแบบนี้ อนุภาคจะไม่อยู่ชิดกันที่สุด มีที่ว่างมากขึ้น อนุตเซลล์จะมีอนุภาคอยู่ที่มุมและกึ่งกลางของรูปลูกบาศก์



ยูนิตเซลล์แบบ body centered cubic (bcc)

โครงสร้างผลึกของโลหะตามหมู่ต่าง ๆ แสดงในตารางธาตุได้ดังนี้

Periodic table of elements showing crystal structures:

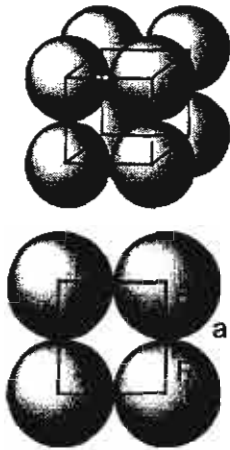
- ccp (Cubic Close Packing): Circle
- hcp (Hexagonal Close Packing): Hexagon
- scc (Simple Cubic): Triangle
- bcc (Body-Centered Cubic): Square
- hcp/ccp (Hexagonal Close Packing / Cubic Close Packing): Hexagon with inscribed circle
- other: Cross

Elements and their crystal structures (based on the diagram):

- Li (bcc), Be (hcp), Na (bcc), Mg (hcp), K (bcc), Ca (hcp), Sc (hcp), Ti (hcp), V (hcp), Cr (hcp), Mn (other), Fe (hcp), Co (hcp), Ni (hcp), Cu (ccp), Zn (hcp), Ga (other), Rb (bcc), Sr (hcp), Y (hcp), Zr (hcp), Nb (hcp), Mo (hcp), Tc (hcp), Ru (hcp), Rh (hcp), Pd (hcp), Ag (ccp), Cd (hcp), In (other), Sn (other), Cs (bcc), Ba (hcp), La (hcp/ccp), Hf (hcp), Ta (hcp), W (hcp), Re (hcp), Os (hcp), Ir (hcp), Pt (hcp), Au (ccp), Hg (other), Tl (hcp), Pb (hcp), Bi (other), Po (scc), Ce (ccp), Pr (hcp/ccp), Nd (hcp/ccp), Pm (hcp/ccp), Sm (hcp/ccp), Eu (bcc), Gd (hcp), Tb (hcp), Dy (hcp), Ho (hcp), Er (hcp), Tm (hcp), Yb (ccp), Lu (ccp).

ความสัมพันธ์ระหว่างด้านของยูนิตเซลล์กับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

ยูนิตเซลล์แบบ Simple Cubic



จากรูปด้านของยูนิตเซลล์เท่ากับสองเท่ารัศมีของอนุภาค

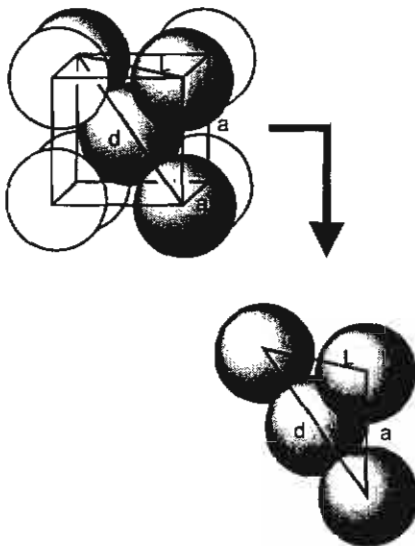
$$a = 2R$$

$$a = \text{ด้านของยูนิตเซลล์}$$

$$R = \text{รัศมีของอนุภาค}$$

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

ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic



เส้นทแยงมุมที่หน้าของยูนิตเซลล์ (L) มีความสัมพันธ์กับด้านของยูนิตเซลล์ (a) ดังนี้

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

และเส้นทแยงมุมของรูปลูกบาศก์ (d) เท่ากับ 4R

และมีความสัมพันธ์กับ L และ a ดังนี้

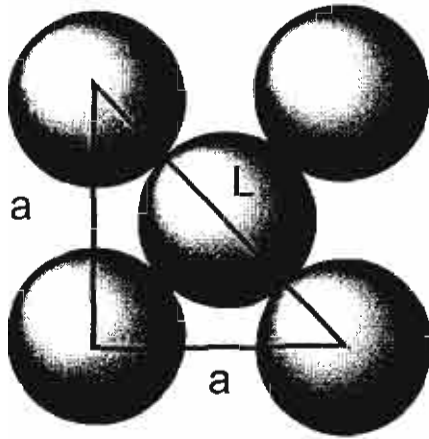
$$d^2 = L^2 + a^2$$

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

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

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

ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic



$$\text{จากรูป } L = 4R$$

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

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

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

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

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

การนับจำนวนอนุภาคในยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์

ในแต่ละยูนิตเซลล์ อนุภาคที่ขอบ, มุมและหน้าจะเป็นส่วนร่วมกับยูนิตเซลล์ข้างเคียงที่ติดกัน ดังนั้นในการนับจำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์แบบลูกบาศก์ จะกระทำดังนี้

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

วัสดุอุปกรณ์

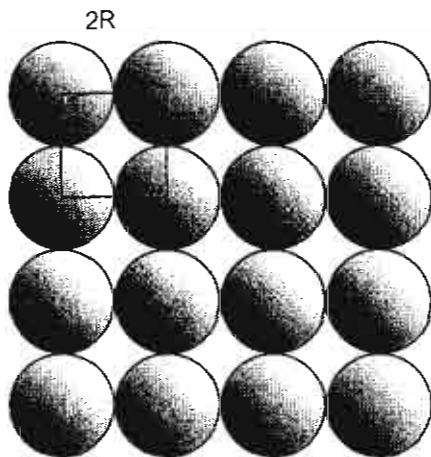
1. ลูกปิงปองเดี่ยว, ลูกปิงปองแพสสามเหลี่ยม 3 ลูก และ 6 ลูก
และลูกปิงปองแพทหกเหลี่ยม 7 ลูก
2. เม็ดพลาสติกสีแดงและสีเขียว
3. ดินน้ำมัน
4. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
5. เวอร์เนียคาลิเปอร์

วิธีทดลอง

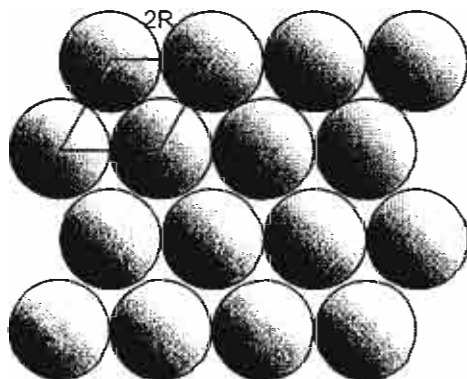
ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

1. การคำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว

วางลูกปิงปองชั้นเดียวตามแบบ (ก) และ (ข)



ก. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวตรงกัน



ข. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวสลับกัน

คำนวณปริมาตรช่องว่าง (V) ของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียวในแบบ ก. และ ข. ดังนี้

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

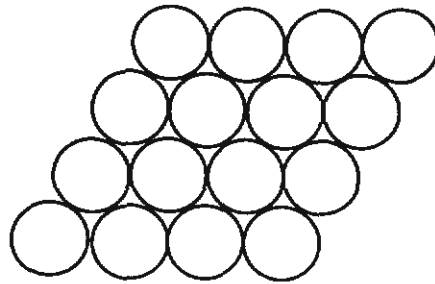
$$\% \text{ ช่องว่าง} = \frac{V}{\text{ปริมาตรทั้งหมด}} \times 100$$

คำถาม

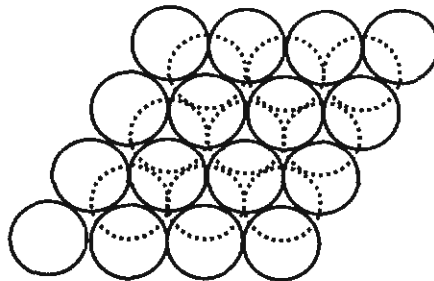
การจัดเรียงอนุภาคแบบใดเป็นพื้นฐานของการจัดเรียงแบบชิดที่สุด

2. ศึกษาชนิดของช่องว่างที่เกิดขึ้นในการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดและคำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับรัศมีของอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

2.1 วางเม็ดพลาสติกลงบนแผ่นลูกปิงปอง โดยวางเม็ดพลาสติกสีแดงลงบนช่องแบบสามเหลี่ยมหัวตั้ง และเม็ดพลาสติกสีเขียวบนช่องแบบสามเหลี่ยมหัวกลับ ให้ครบทุกช่อง



2.2 วางลูกปิงปองเดี่ยวในชั้นที่สอง โดยให้ลูกปิงปองในชั้นที่สองทับเม็ดพลาสติกสีแดง



2.3 ระบุชนิดของช่องว่างที่มีเม็ดพลาสติกสีแดง และสีเขียวบรรจุอยู่ตามลำดับ

2.4 หาอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างที่บรรจุเม็ดพลาสติกแดงและเขียว โดยปั้นดินน้ำมันเป็นทรงกลมขนาดพอดี บรรจุลงในช่องว่างทั้งสอง สังเกตได้จากลูกปิงปองในชั้นที่สองต้องไม่กดดินน้ำมันจนเป็นรอย ใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินน้ำมันและลูกปิงปอง

2.5 ทำซ้ำข้อ 2.2 โดยวางลูกปิงปองในชั้นที่สองทับเม็ดพลาสติกสีเขียว และพิจารณาชนิดของช่องว่างที่มีเม็ดพลาสติกสีแดงและสีเขียวบรรจุอยู่ว่าเหมือนเดิมหรือไม่

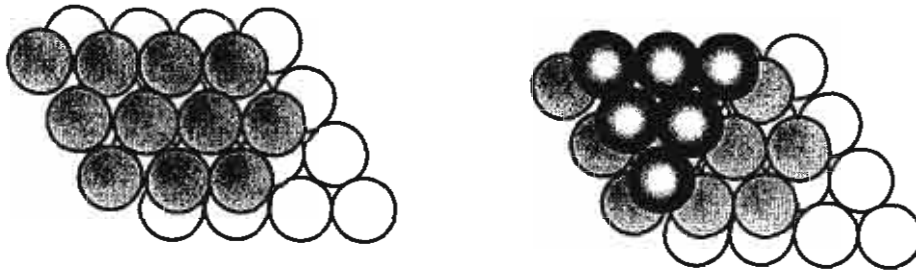
คำถาม

- วาดรูปแสดงช่องว่างชนิดเตตระฮีดรัล และ ออกตะฮีดรัล พร้อมทั้งระบุจำนวนอนุภาคที่ล้อมรอบช่องว่างแต่ละชนิด
- ในโครงสร้างผลึกหนึ่ง ๆ ช่องว่างชนิดใดมีขนาดใหญ่กว่า

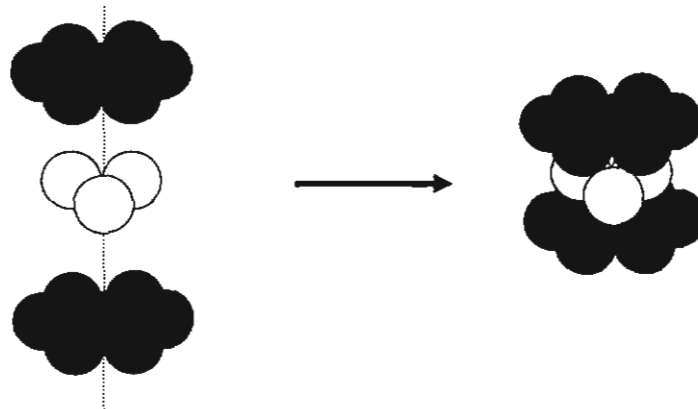
ตอนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดในโครงสร้างผลึก

ศึกษาการจัดเรียงอนุภาคแบบ ABAB และ ABCABC

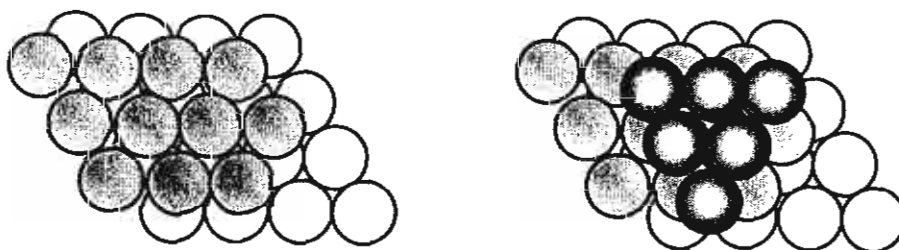
1. ใช้แฟล็กปักปองที่เรียงแบบชิดที่สุด 1 ชั้นเป็นฐาน วางลูกปักปองในชั้นที่สอง บนช่องว่างสามเหลี่ยมแบบใดแบบหนึ่ง แล้วจึงวางลูกปักปองในชั้นที่ 3 โดยวางให้ศูนย์กลางตรงกับชั้นที่ 1 นั่นคือวางบนช่องว่างแบบเทระฮีดรัล จะได้การจัดเรียงแบบ ABAB... ดังรูป



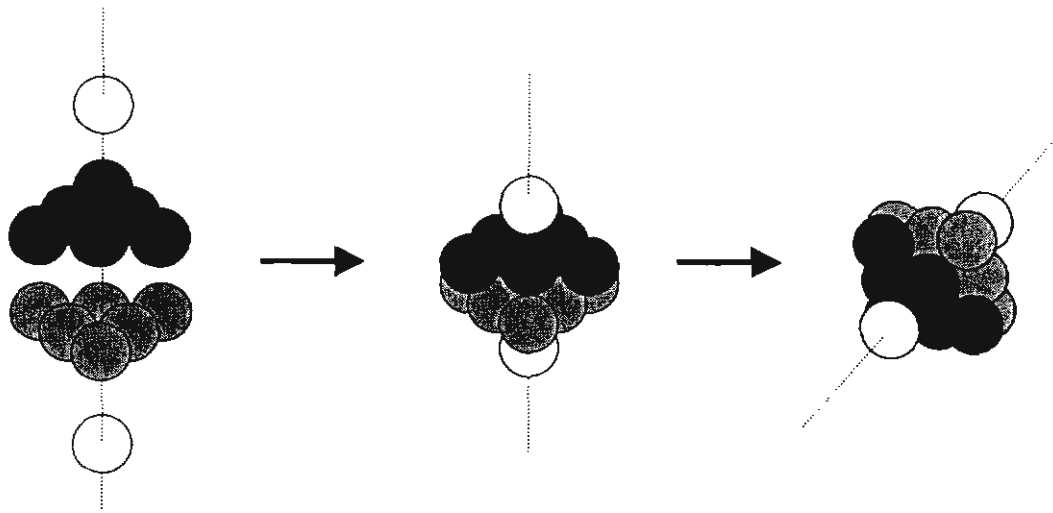
หรือใช้แฟล็กปักปองหกเหลี่ยมและสามเหลี่ยม จัดวางซ้อนกันแบบ ABAB... 3 ชั้นจะได้โครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนัล ดังรูป



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



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



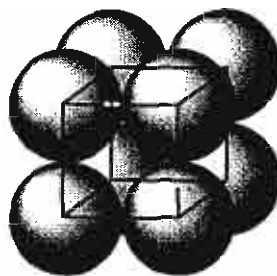
คำถาม

การจัดเรียงอนุภาคทั้งสองแบบ แต่ละอนุภาคจะมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่าไร

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

1. คำนวณความหนาแน่นของยูนิทเซลล์แบบ simple cubic

1.1 จัดเรียงยูนิทเซลล์แบบ simple cubic ดังรูป นับจำนวนลูกปิงปองแทนอนุภาคของยูนิทเซลล์



ยูนิทเซลล์แบบ simple cubic

1.2 ชั่งน้ำหนักลูกปิงปอง 1 ลูก คำนวณมวลของลูกปิงปองทั้งหมดในหนึ่งยูนิทเซลล์แบบ simple cubic

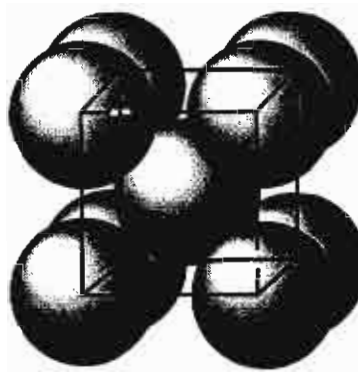
1.3 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกปิงปองด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ คำนวณปริมาตรของยูนิทเซลล์ซึ่งเป็นรูปลูกบาศก์ โดยใช้ ด้าน $\times$ ด้าน $\times$ ด้าน

1.4 คำนวณความหนาแน่นของยูนิทเซลล์แบบ simple cubic โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของยูนิทเซลล์} = \frac{\text{มวลของลูกปิงปองในหนึ่งยูนิทเซลล์}}{\text{ปริมาตรของหนึ่งยูนิทเซลล์}}$$

2. คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic

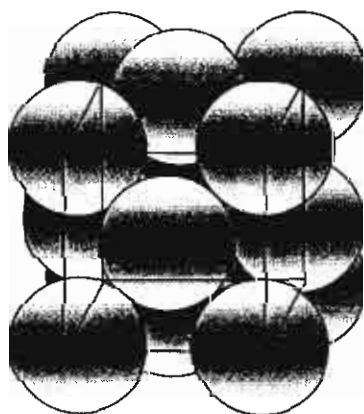
ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่จัดเรียงอนุภาคให้ได้ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic ดังรูป



ยูนิตเซลล์แบบ body-centered cubic

3. คำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่จัดเรียงอนุภาคให้ได้ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic ดังรูป



คำถาม

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

คำถามท้ายบท

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

การกำจัดของเสีย

การทดลองนี้ไม่มีสารหรือวัสดุใดที่เป็นปัญหาแกสิ่งแวดล้อม ควรเก็บลูกปิงปอง เม็ดพลาสติก และดินน้ำมันไว้ในเทอมถัดไป โดยเฉพาะดินน้ำมัน ถ้ามีหลายสี ควรเก็บแยกแต่ละสีให้เรียบร้อย จะสามารถนำมาใช้ต่อได้อีกหลายปี

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง โครงสร้างผลึก

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

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

ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

1. การศึกษาลักษณะและประเภทของช่องว่างในการจัดเรียงอนุภาค

คำนวณเปอร์เซ็นต์ช่องว่างของการจัดเรียงอนุภาคชั้นเดียว

ก. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวตรงกัน

ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) = cm^3

ปริมาตรของลูกปิงปอง = cm^3

V = ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) - ปริมาตรของลูกปิงปอง 1 ลูก

= cm^3

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

= cm^3

ข. แบบศูนย์กลางของอนุภาคแต่ละแถวสลับกัน

ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) = cm^3

ปริมาตรของลูกปิงปอง = cm^3

V = ปริมาตร (บริเวณที่ขีดเส้นทั้งหมด) - ปริมาตรของลูกปิงปอง 1 ลูก

= cm^3

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

= cm^3

คำถามหลังการทดลอง

การจัดเรียงอนุภาคแบบใดเป็นพื้นฐานของการเรียงแบบชิดที่สุด

.....

2. การศึกษาชนิดของช่องว่างซึ่งเกิดขึ้นในการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุดและคำนวณอัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

อัตราส่วนรัศมีของอนุภาคในช่องว่างกับอนุภาคที่จัดเรียงโครงสร้างผลึก

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

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

คำถาม

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

ตอนที่ 2 การศึกษาชนิดเซลล์ของการจัดเรียงอนุภาคแบบชิดที่สุด

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

ตอนที่ 3 การคำนวณความหนาแน่นของยูนิตเซลล์

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

3. ยูนิตเซลล์แบบ face-centered cubic

จำนวนอนุภาคในหนึ่งยูนิตเซลล์เท่ากับ.....

น้ำหนักของลูกบิงปอง 1 ลูก เท่ากับ..... g

รัศมีของลูกบิงปองเท่ากับ..... cm

ความหนาแน่นของยูนิตเซลล์เท่ากับ..... g/cm³

คำถามหลังการทดลอง

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

.....

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

.....

การทดลองที่ 17
การวิเคราะห์ชนิดของสารด้วยระบบเคมีไมโคร
(Semimicro Qualitative Analysis)

วัตถุประสงค์

1. เรียนรู้ปฏิกิริยาต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. ฝึกการสังเกตอย่างละเอียดถี่ถ้วน ประมวลข้อสังเกตอย่างมีระบบ และกระบวนการความคิดอย่างมีระบบ
3. ฝึกทักษะต่างๆในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

บทนำ

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

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์แอนไอออน (Qualitative Analysis for Anions)

หลักการและทฤษฎี

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

การวิเคราะห์แอนไอออนต้องปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเป็นระบบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น เพื่อสังเกต และเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2 : ทดสอบแบ่งกลุ่มตามการละลาย (solubility group tests) เพื่อจัดไอออนที่มีสมบัติคล้ายกันเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน และมีแนวทางวิเคราะห์ที่แคบเข้า

ขั้นตอนที่ 3 : ทดสอบจำเพาะ (specific tests) เพื่อยืนยันการพบไอออนนั้นด้วย ปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยาจำเพาะของไอออนนั้น

การทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

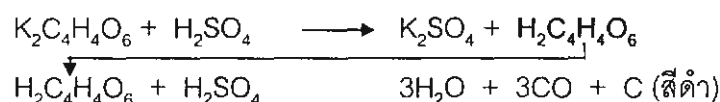
H_2SO_4 เป็นกรดที่ไม่ระเหยง่าย (nonvolatile) จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ เกิดผลิตภัณฑ์เป็นกรดของสารประกอบนั้น ตัวอย่างเช่น



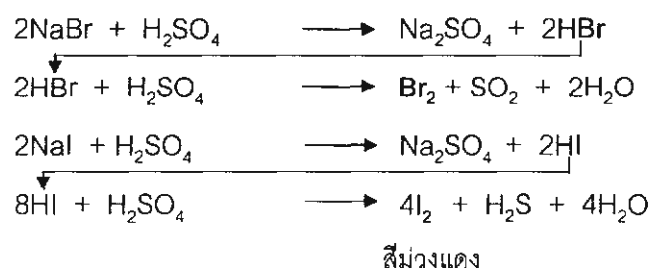
(M คือ โลหะที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 1)

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

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

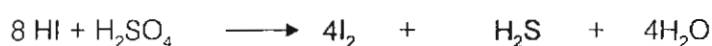
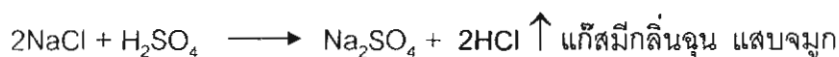
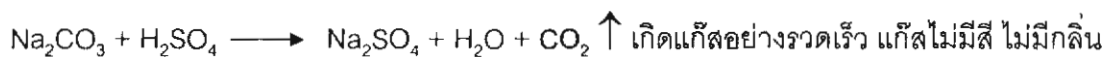


ตัวอย่างของการเกิดออกซิเดชัน เช่น



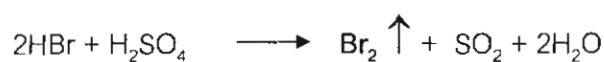
ผลการทดสอบกับ H_2SO_4 เข้มข้น	แอนไอออนที่อาจมี
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	SO_4^{2-} , BO_3^{3-} , PO_4^{3-} (อาจจะมี NO_3^- , $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$)
- มีแก๊สเกิดอย่างรวดเร็ว เป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	CO_3^{2-}
- มีกลิ่นของแก๊ส H_2S หรือ SO_2	S^{2-} (อาจจะมี Br^- , I^-)
- มีกลิ่นฉุน ขุนล้าหลักของแก๊ส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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับกรดซัลฟิวริก

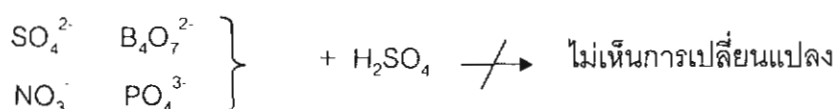
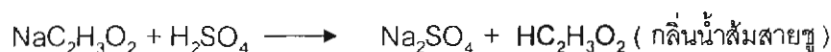


ของแข็งสีดำ แก๊สมีกลิ่นเหม็น

และแก๊สสีม่วงแดง



แก๊สสีเหลืองจนถึงน้ำตาล



การทดสอบแบ่งกลุ่ม

การแบ่งกลุ่มแอนไอออน สามารถจำแนกได้ดังนี้

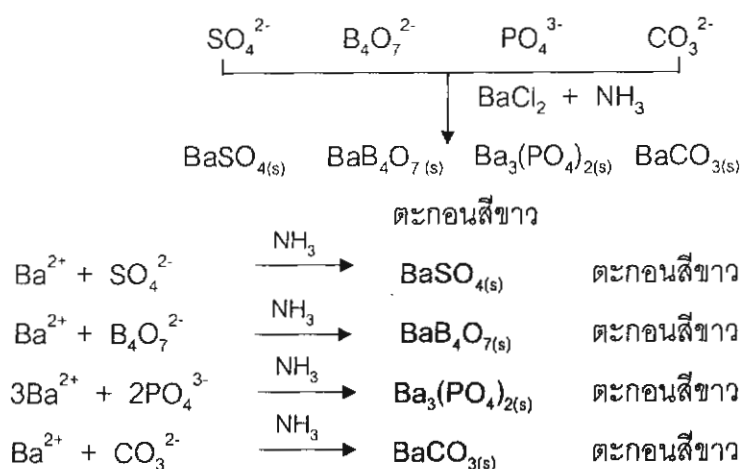
กลุ่ม I : กลุ่มซัลเฟต (sulfate group) ได้แก่ SO_4^{2-} , BO_3^{3-} หรือ $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, PO_4^{3-} และ CO_3^{2-}

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

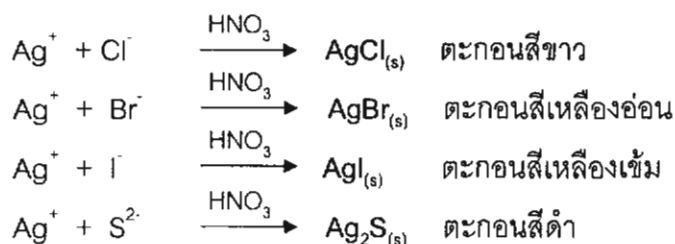
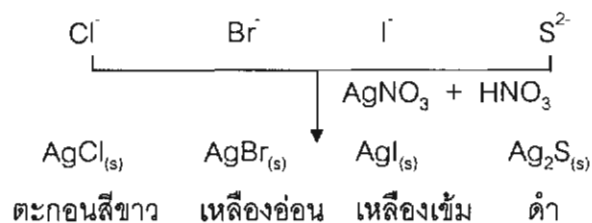
กลุ่ม III : กลุ่มไนเตรต (nitrate group) ได้แก่ NO_3^- และ $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$

ในการแบ่งกลุ่มแอนไอออนยึดหลักดังต่อไปนี้

1. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม I เมื่อเติมแอมโมเนียและสารละลาย BaCl_2 จะเกิดตะกอน



2. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม II เมื่อทำให้เป็นกรดด้วย dil. HNO_3 แล้วเติมสารละลาย AgNO_3 จะเกิดตะกอน



3. สารละลายของแอนไอออนกลุ่ม III จะไม่เกิดปฏิกิริยาในข้อ 1 และ 2

การทดสอบจำเพาะ

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

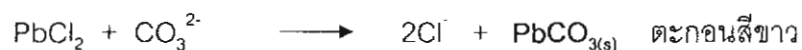
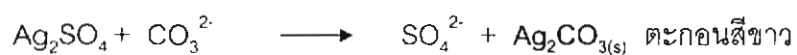
ในการวิเคราะห์หาชนิดของแอนไอออนในสารตัวอย่างนั้น แคตไอออนที่รวมตัวกับแอนไอออนเป็นสารประกอบอาจรบกวนปฏิกิริยาการทดสอบแอนไอออนได้ถ้าแคตไอออนไม่ใช่โซเดียมไอออน จึงต้องทำสารตัวอย่างให้เป็นสารละลายที่เรียกว่า Soda-solution เพื่อเปลี่ยนแอนไอออนให้เป็นเกล็ดของโซเดียมซึ่งละลายในน้ำได้ดี และกำจัดแคตไอออนโดยทำให้ตกตะกอนเป็นเกล็ดคาร์บอเนต

วิธีทำ Soda-solution

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อทำ Soda-solution

ถ้าสารตัวอย่างมี Ag_2SO_4 หรือ PbCl_2 อยู่จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



วิธีการทดสอบจำเพาะ

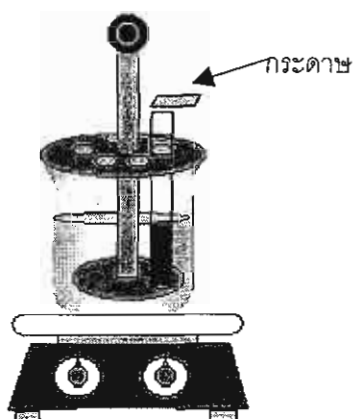
คาร์บอเนต, CO_3^{2-}

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



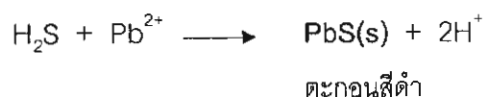
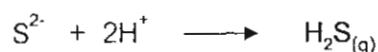
ซัลไฟด์, S^{2-}



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

หมายเหตุ ควรดำเนินการทดลองต่อเนื่องกันอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้น H_2S จะระเหยไปหมด

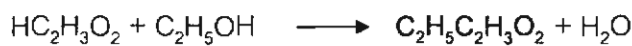
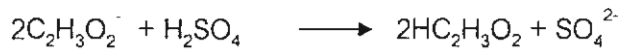
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



แอซีเทต, $C_2H_3O_2^-$

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



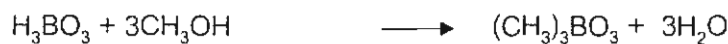
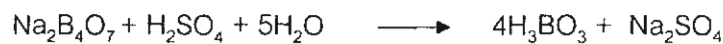
ethyl acetate

กลิ่นผลไม้

บอเรต, $B_4O_7^{2-}$

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

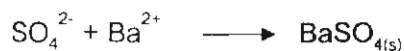


ให้เปลวไฟสีเขียว

ซัลเฟต, SO_4^{2-}

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

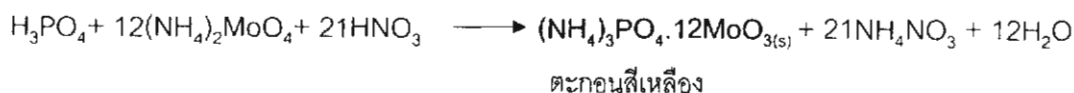


ตะกอนสีขาวไม่ละลายใน HCl

ฟอสเฟต, PO_4^{3-}

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

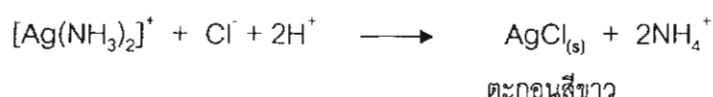
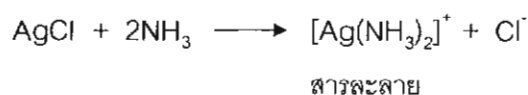
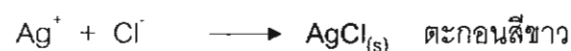
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



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

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ไอโอไดต์และโบรไมต์, I^- และ Br^-

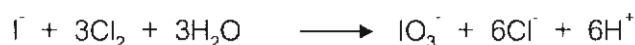
- นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมคลอโรฟอร์ม (CHCl_3) 0.5 mL และ conc. HCl จนเป็นกรด เขย่าแรง ๆ ตูสีในชั้น CHCl_3 (ชั้นล่าง) แล้วหยดสารละลาย 0.01 M KMnO_4 ลงในหลอดที่ละหยด เขย่าแรง ๆ ถ้าปรากฏสีเหลืองจนถึงน้ำตาลในชั้นของคลอโรฟอร์ม (ชั้นล่าง) แสดงว่ามี Br^-
- ถ้าปรากฏสีม่วงในชั้นของคลอโรฟอร์มแสดงว่ามี I^-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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารละลาย KMnO_4 มากเกินไป

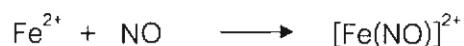


IO_3^- และ BrO_3^- ละลายใน CHCl_3 จะได้สารละลายใสไม่มีสี

ในเทรต, NO_3^-

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



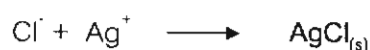
วงแหวนสีน้ำตาล

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเติม HCl เพื่อกำจัด Ag_2SO_4 ที่มากเกินไปออกให้หมด



วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

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

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การฝึกกระบวนการความคิดวิเคราะห์

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

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์แอนไอออน

วิธีวิเคราะห์แอนไอออน ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

การทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

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

การทดสอบแบ่งกลุ่ม

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

การทดสอบจำเพาะ

- ทำการทดสอบจำเพาะของแอนไอออนที่น่าจะมี

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

คำถามท้ายบท

1. แอนไอออนใดบ้างที่มักเกิดเป็นสารประกอบที่มีพิษหรือก่อมลพิษ
2. แอนไอออนใดบ้างที่พบในกระเพาะอาหาร และที่พบในระบบเลือดของมนุษย์

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์แคตไอออน (Qualitative Analysis for Cations)

วิธีวิเคราะห์แคตไอออนมีมากมายหลากหลายวิธี แต่วิธีที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ เป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ คือ ไม่ใช้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพิษอย่างมากและมีกลิ่นเหม็น และเป็นวิธีที่ใช้แคตไอออนเป็นกรณีศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดวิเคราะห์ที่เป็นระบบ อันประกอบด้วย

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

การวิเคราะห์แคตไอออน

สิ่งแรกที่ต้องปฏิบัติ คือ การทำสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งให้เป็นสารละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น แต่ถ้าสารตัวอย่างเป็นของเหลวก็นำไปวิเคราะห์แคตไอออนได้เลย

วิธีเลือกตัวทำละลาย

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

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

กรดต่างๆ เป็นอันตรายต้องใช้ความระมัดระวัง

เมื่อใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม จะได้สารละลายใส (อาจมีสีหรือไม่มีสีก็ได้ และปราศจากตะกอน)

วิธีเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แคตไอออน

นำสารตัวอย่างประมาณ 50 mg มาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมประมาณ 2 mL นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์แคตไอออนตั้งแต่หมู่ I ถึงหมู่ V

การจัดหมู่แคตไอออน

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

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

แคตไอออนที่วิเคราะห์

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

วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

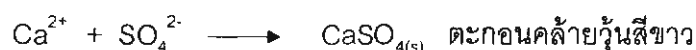
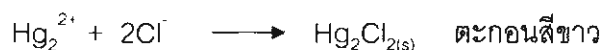
1. สารละลายไนเตรตของ Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Sb^{5+} , Sn^{4+} และ Al^{3+}
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2.0 M, 6.0 M (hydrochloric acid, HCl 2.0, 6.0 M)
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก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

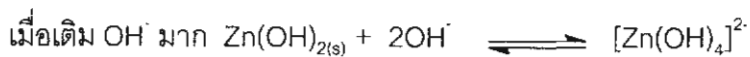
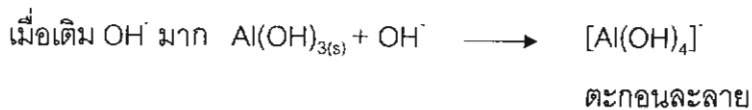
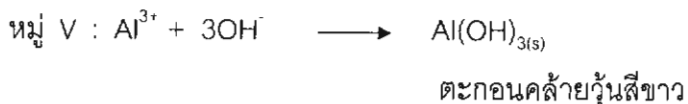
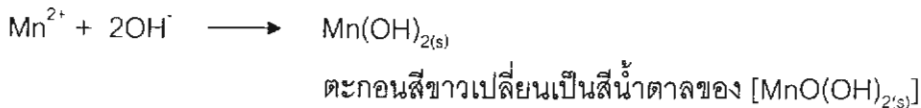
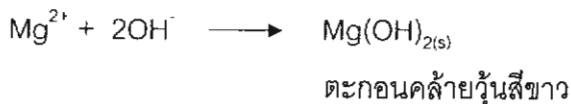
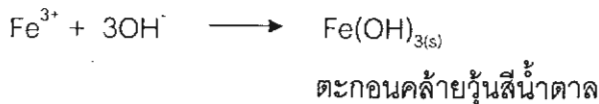
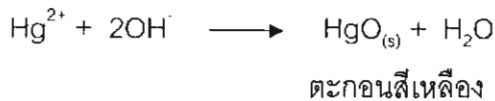
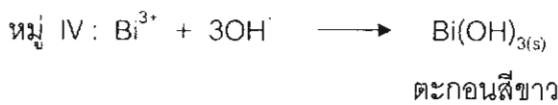
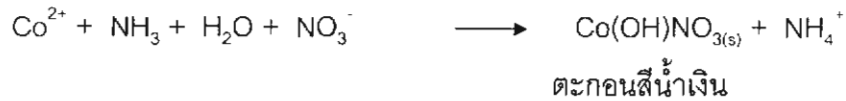
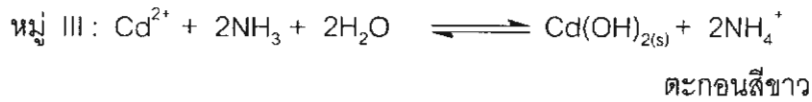
11. สารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(II) 0.2M (potassium hexacyanoferrate(II) , $K_4Fe(CN)_6$ 0.2 M)
12. สารละลายโซเดียมโรไดโซนเตต (sodium rhodizonate)
13. สารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต 1.0M (potassium thiocyanate ม KSCN 1.0 M)
14. สารละลายไดเมทิล ไกลออกซิม (dimethyl glyoxime , $C_4H_8O_2N_2$)
15.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

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบเบื้องต้น (screening test)

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

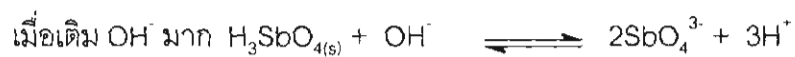




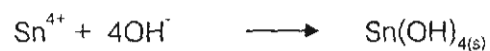
ตะกอนละลาย



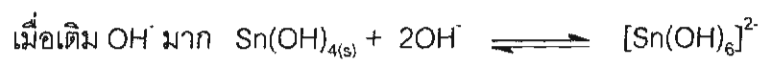
ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย



ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย

ตารางแสดงผลการทดสอบเบื้องต้น (screening test)

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

— แสดงว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

+

++ แสดงว่า เกิดตะกอนน้อย และ/หรือช้า

++ แสดงว่า เกิดตะกอนมาก และ/หรือเร็ว

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

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

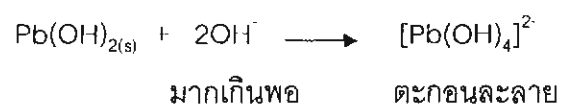
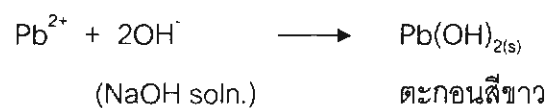
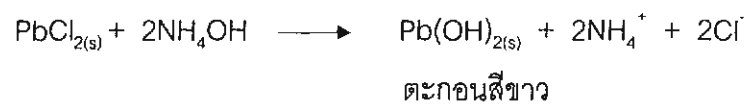
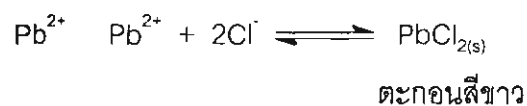
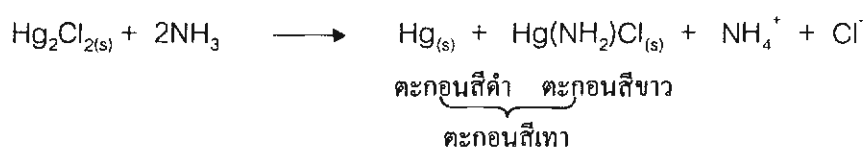
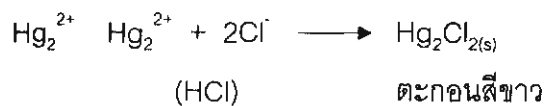
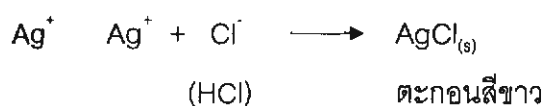
ตอนที่ 2 การทดสอบความน่าจะเป็น และการทดสอบจำเพาะของแคตไอออนหมู่ I-V

แคตไอออนหมู่ I Ag⁺ Hg₂²⁺ Pb²⁺

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

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

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



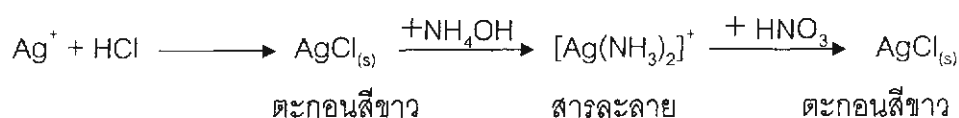
ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ I

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

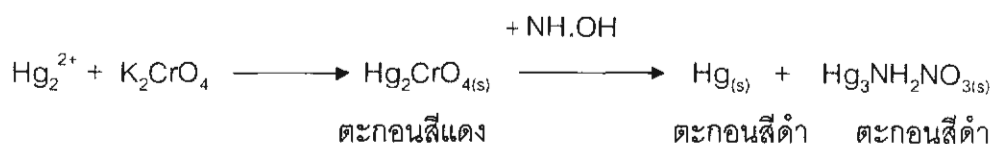
เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ (specific test) สำหรับไอออนนั้นๆ

การทดสอบจำเพาะ

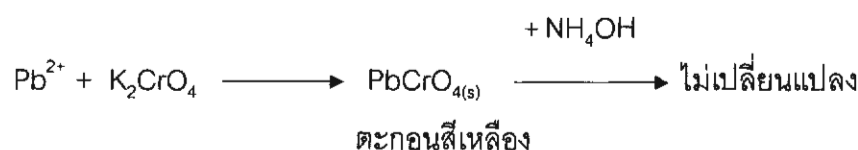
Ag^+ นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HCl จนเกิดตะกอนสีขาวอย่างสมบูรณ์ เซนตริฟิวจ์ นำตะกอนมาเติม 6 M NH_4OH 1 mL เพื่อละลายตะกอน และเมื่อตะกอนละลายจนหมด เติม 6 M HNO_3 จนมีฤทธิ์เป็นกรด ถ้าได้ตะกอนสีขาวกลับคืนมา แสดงว่ามี Ag^+



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



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

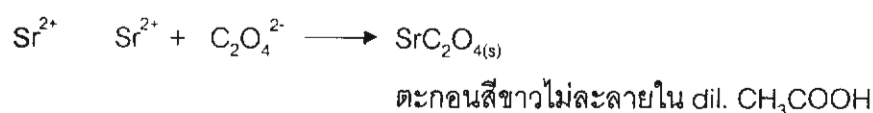
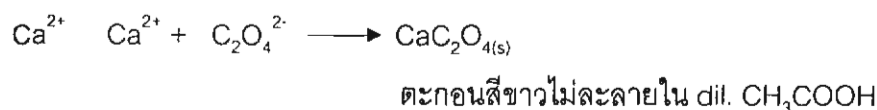
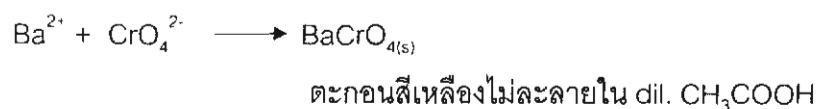
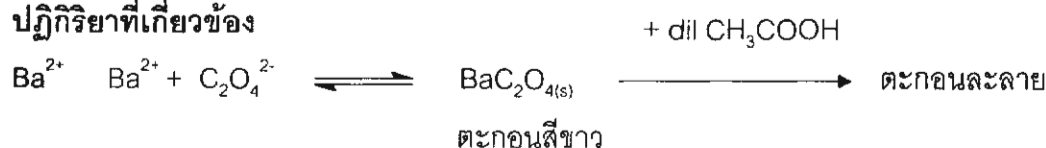


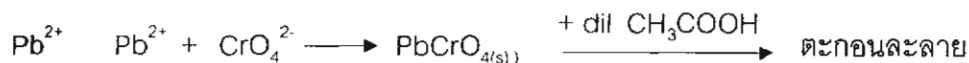
การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ II , Ba^{2+} Ca^{2+} Sr^{2+} Pb^{2+}

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

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

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





ตะกอนสีเหลือง

(Pb^{2+} จัดอยู่ในหมู่ I ด้วย)

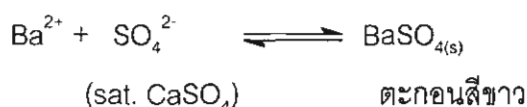
ตารางแสดงผลการตรวจสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ II

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

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ สำหรับไอออนนั้นๆ

การทดสอบจำเพาะ

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



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



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



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

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

1. เติม 6 M NH_3 ที่ละลาย สังกะสีและบัลทิกการเกิดตะกอน หลังจากเกิดตะกอนเต็มที่แล้ว ให้หยด 6 M NH_3 ลงไปอีกจนมากเกินไป (0.5–1 mL) สังกะสีและบัลทิกการละลายของตะกอน
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละลาย สังกะสีและบัลทิกการเกิดตะกอน หลังจากเกิดตะกอนเต็มที่แล้ว ให้หยด 3 M NaOH ลงไปอีกให้มากเกินไป (0.5–1 mL) สังกะสีและบัลทิกการเปลี่ยนแปลงของตะกอน ต่อจากนั้นนำไปต้มในอ่างน้ำร้อน สังกะสีและบัลทิกการเปลี่ยนแปลง

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง



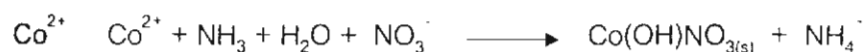
ตะกอนสีขาว



ตะกอนละลาย, ไม่มีสี



ตะกอนสีขาว



(น้อย)

ตะกอนสีน้ำเงิน



(มาก)

ตะกอนละลาย



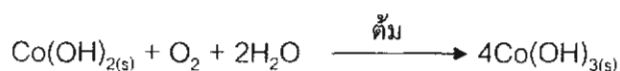
(น้อย)

ตะกอนสีน้ำเงิน

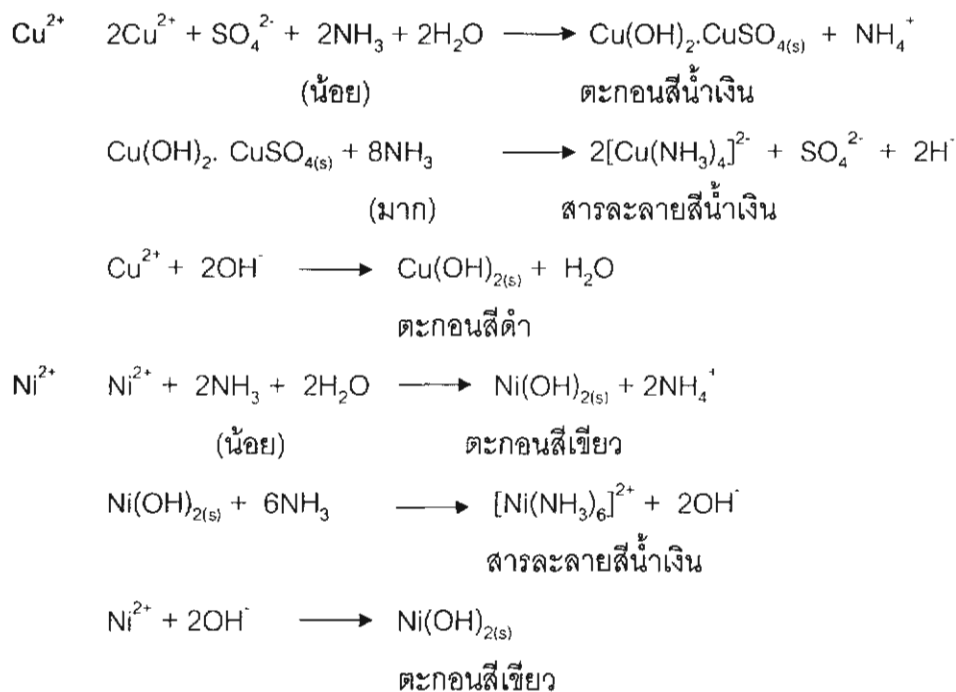


(มาก)

ตะกอนสีชมพู



ตะกอนสีน้ำตาลดำ



ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ III

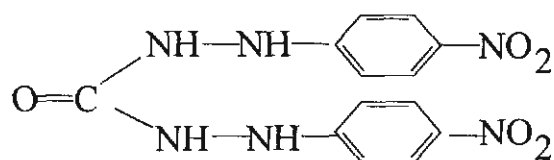
ไอออน รีเอเจนต์	Cd^{2+}	Co^{2+}	Cu^{2+}	Ni^{2+}
1. NH_4OH น้อย	$\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Co}(\text{OH})\text{NO}_{3(s)}$ ตะกอนสีน้ำเงิน	$\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuSO}_{4(s)}$ ตะกอนสีน้ำเงิน	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีเขียว
NH_4OH มาก	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$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

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะสำหรับไอออนนั้นๆ

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

ข้อสังเกต : รีเอเจนต์เองมีสีแดงในสารละลายที่เป็นเบส และมีสีม่วงในสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

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



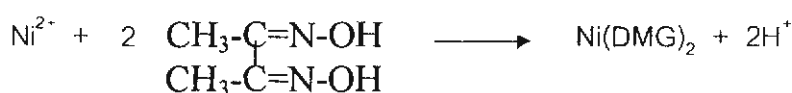
Co^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติม 6 M HNO_3 จนเป็นกรด แล้วเติม 6 M CH_3COOH 4-5 หยด คนให้เข้ากัน แล้วจึงเติมผลึก KNO_2 5-6 ผลึก คนแล้วตั้งทิ้งไว้ ถ้ามีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้น แสดงว่ามี Co^{2+}



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



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



Dimethylglyoxime (DMG)

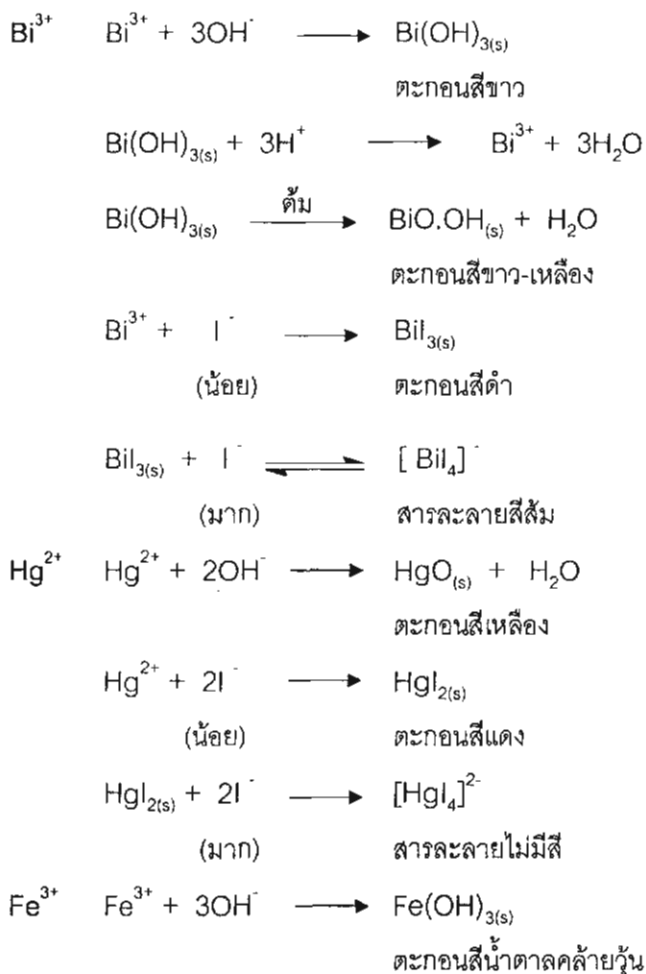
ตะกอนสีแดงชมพู

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

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

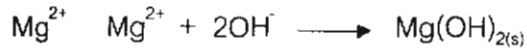
1. เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละลาย สังเกตและบันทึกผลการเกิดตะกอน แล้วเติม 3 M NaOH ต่อไปอีกให้มากเกินไป สังเกตการละลายของตะกอน หลังจากนั้น นำไปต้มในอ่างน้ำร้อน สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 6 M KI ลงไปที่ละลาย สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน หลังจากนั้นเติมสารละลาย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

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





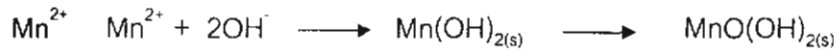
ตะกอนสีขาว-เหลือง



ตะกอนสีขาว



ตะกอนสีขาว



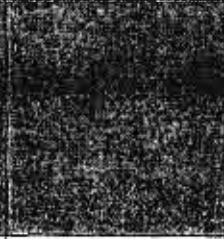
ตะกอนสีขาว

ตะกอนสีน้ำตาล



ตะกอนสีชมพู

ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ IV

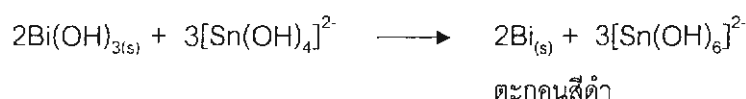
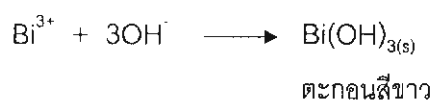
ไอออน รีเอเจนต์	Bi^{3+}	Hg^{2+}	Fe^{3+}	Mg^{2+}	Mn^{2+}
1. NaOH น้อย	$\text{Bi(OH)}_{3(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{HgO}_{(s)}$ ตะกอนสี น้ำตาลแดง หรือเหลือง	$\text{Fe(OH)}_{3(s)}$ ตะกอน คล้ายวุ้นสี น้ำตาล	$\text{Mg(OH)}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Mn(OH)}_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว แล้วกลายเป็น สีน้ำตาล
NaOH มาก	ตะกอนละลาย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

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะ (specific test) สำหรับไอออนนั้น ๆ

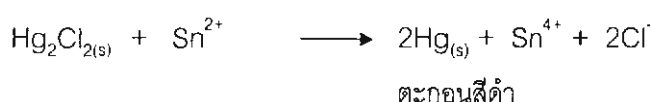
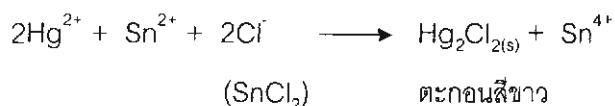
การทดสอบจำเพาะ

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

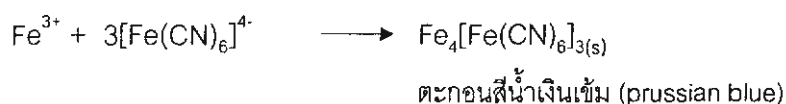
วิธีเตรียมสารละลาย sodium tetrahydroxystannate (II) : หยด 6 M NaOH ลงในสารละลาย SnCl_2 0.5 mL ที่ละลาย เขย่าจะเกิดตะกอน ให้เติม NaOH ต่อไปที่ละลาย เขย่าจนหยุดสุดท้ายทำให้ตะกอนละลายหมดพอดี



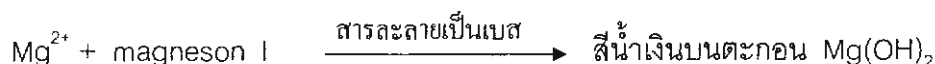
Hg^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย SnCl_2 ลงไปที่ละน้อย จะเกิดตะกอนสีขาวของ Hg_2Cl_2 และเมื่อเติมสารละลาย SnCl_2 ต่อไป จนได้ 1-2 mL ตะกอนสีขาวจะเปลี่ยนเป็นตะกอนสีดำของ Hg แสดงว่ามี Hg^{2+}



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



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



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



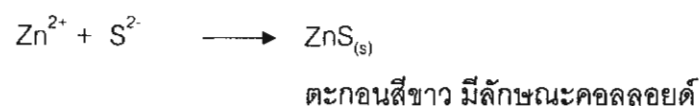
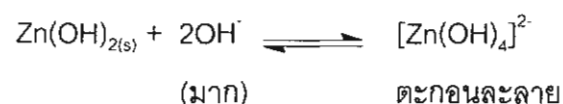
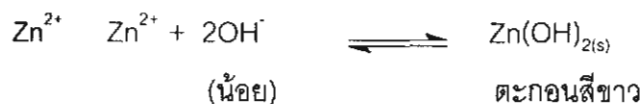
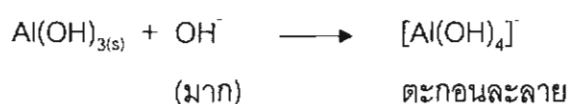
สารละลายสีม่วงแดง

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

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

1. เติมสารละลาย 3 M NaOH ที่ละหยด สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน เติมสารละลาย 3 M NaOH ต่อไปจนมากเกินพอ บันทึกการละลายของตะกอน
2. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 1 mL สังเกตและบันทึกการเกิดตะกอน
3. นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย 6 M KI ลงไปที่ละหยด สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นเติมสารละลาย 6 M KI ลงไปอีกจนมากเกินพอ สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลง

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง





(OH⁻ น้อย)

ตะกอนสีขาว



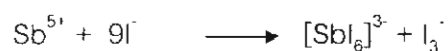
(มาก)

ตะกอนละลาย

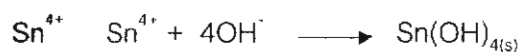


(น้อย)

ตะกอนสีม่วงแดง เมื่อเอาไปอุ่นจะให้ไอสีม่วงแดง



ไม่เกิดตะกอน



(น้อย)

ตะกอนละลาย



(มาก)

ตะกอนละลาย

ตารางแสดงผลการทดสอบความน่าจะเป็น (preliminary test) ของแคตไอออนหมู่ V

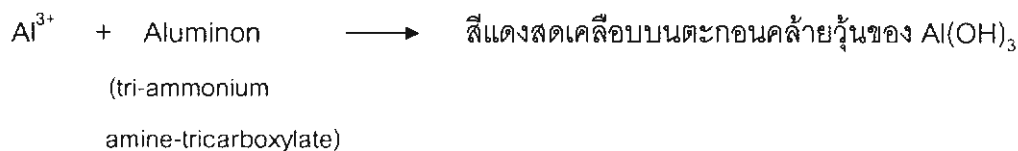
ไอออน รีเอเจนต์	Al^{3+}	Cr^{3+}	Zn^{2+}	Sb^{5+}	Sn^{4+}
1. NaOH น้อย	$\text{Al}(\text{OH})_3$ ตะกอนเป็น วุ้นสีขาว	$\text{Cr}(\text{OH})_{3(s)}$ ตะกอนสีเขียว อมเทา	$\text{Zn}(\text{OH})_{2(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{H}_3\text{SbO}_{4(s)}$ ตะกอนสีขาว	$\text{Sn}(\text{OH})_4$ ตะกอนสีขาว
NaOH มาก	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$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

เมื่อผลการทดสอบมีความสอดคล้องหรือสนับสนุนข้อมูลดังตารางข้างต้น แสดงว่ามีไอออนนั้น ทำการยืนยันโดยการทดสอบจำเพาะสำหรับไอออนนั้น ๆ

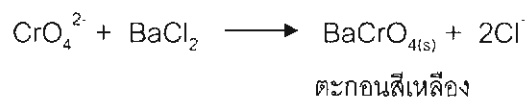
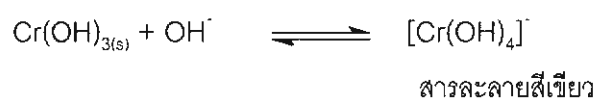
การทดสอบจำเพาะ

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

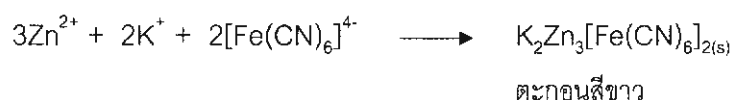
ละลาย 6 M NH_4OH ลงไปจนมีฤทธิ์เป็นเบส แล้วเติม $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1 mL ตั้งทิ้งไว้ สักครู่ นำไป
เซนตริฟิวจ์ ถ้าได้ตะกอนสีแดง แสดงว่ามี Al^{3+}



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



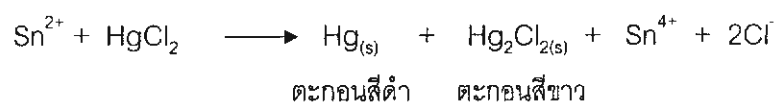
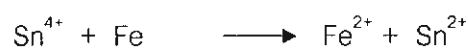
Zn^{2+} นำสารละลายตัวอย่างมา 1 mL เติมสารละลาย $\text{K}_4[\text{Fe(CN)}_6]$ 1 mL ถ้าเกิดตะกอนสีขาวของ
 $\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe(CN)}_6]_2$ แสดงว่ามี Zn^{2+}



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



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



คำถามท้ายบท

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

การกำจัดของเสีย

ของเสียอยู่ในรูปของตะกอนปนกับสารละลาย ควรรวบรวมไว้ในภาชนะที่จัดไว้ ทิ้งให้ตะกอนนอนก้น รินส่วนของสารละลายทิ้งพร้อมกับเปิดน้ำตามปริมาณมาก รวบรวมในส่วนที่เป็นตะกอนเพื่อรอการนำไปฝังกลบต่อไป

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานการทดลองเรื่อง การวิเคราะห์แอนไอออน

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

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

ผลการวิเคราะห์แอนไอออน

สารตัวอย่างหมายเลข

ผลการทดสอบด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

สิ่งที่สังเกตได้

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนที่น่าจะมี

การทดสอบเพื่อแบ่งกลุ่ม

แอนไอออนในกลุ่มที่ 1 คือ

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนในกลุ่มที่ 2 คือ

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง

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

แอนไอออนในกลุ่มที่3 คือ

การทดสอบจำเพาะ

แอนไอออน	ผลการทดสอบ (positive/negative)

ข้อสรุป

แอนไอออนที่มีในสารตัวอย่างคือ

.....

รายงานผลการทดลองเรื่อง การวิเคราะห์แคตไอออน

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

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

ผลการวิเคราะห์แคตไอออน

สารตัวอย่างหมายเลข

1. ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อจำแนกหมวดหมู่

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

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสรุปเบื้องต้น

สารตัวอย่างน่าจะมีแคตไอออนในหมู่.....

.....

2. ผลการตรวจสอบความน่าจะเป็นของแคตไอออนหมู่

ไอออน รีเอเจนต์	

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อสรุป แคตไอออนที่พบคือ

3. การทดสอบจำเพาะ

ไอออน	ผลทดสอบจำเพาะ (positive/negative)	ข้อสรุป

แคตไอออนที่ตรวจพบในสารตัวอย่างหมายเลข

ได้แก่

การทดลองที่ 18
เทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว
(Blueprint Technology)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ภาพพิมพ์เขียว (Blueprint)

บทนำ

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

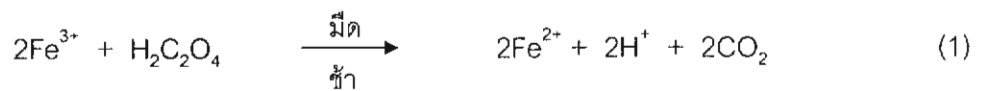
การทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมภาพเนกาทีฟและน้ำยาชุบกระดาษไวแสง

ตอนที่ 2 การพิมพ์ภาพและทำให้เกิดภาพ

หลักการและทฤษฎี

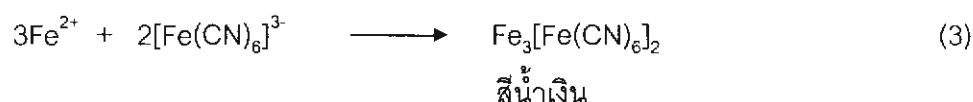
ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว คือ การรีดิวซ์ไอร์ออน (III) ไอออนไปเป็นไอร์ออน (II) ไอออนด้วยกรดออกซาลิก ซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะต่ำมากเมื่อไม่มีแสงสว่างดังสมการ (1)



แต่เมื่อมีแสง จะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมาก ดังสมการ (2)



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



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

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

วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

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

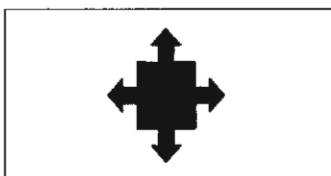
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.10 M (hydrochloric acid, HCl) 0.10 M

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมภาพเนกาทีฟและน้ำยาชุบกระดาษไวแสง

1. การเตรียมภาพ

ก่อนเข้าห้องปฏิบัติการ ให้นักศึกษาเตรียมภาพเนกาทีฟโดยใช้ปากกาเส้นใหญ่สีดำชนิดสีติดถาวร วาดรูปเนกาทีฟบนแผ่นพลาสติกใส ถ้าต้องการให้ภาพพิมพ์ออกมาเป็นภาพ ก. จะต้องวาดรูปเนกาทีฟดังภาพ ข.



ภาพ ก.



ภาพ ข.

2. การเตรียมน้ำยาชุบกระดาษไวแสง (เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจะจัดเตรียมให้)

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

3. การชุบกระดาษไวแสง (ทำในตู้มืด)

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

ตอนที่ 2 การพิมพ์ภาพและทำให้เกิดภาพ

1. การพิมพ์ภาพ

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

2. การทำให้เกิดภาพ

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

คำถามท้ายการทดลอง

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



การกำจัดของเสีย

เก็บรวบรวมของเสียที่ใช้แล้วในภาชนะที่เหมาะสมเพื่อนำไปบำบัดต่อไป

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

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง เทคโนโลยีภาพพิมพ์เขียว

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

แสดงขั้นตอนโดยย่อของการทำภาพพิมพ์เขียว (เขียนในรูปแบบภาพ)

ข้อเสนอแนะและวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

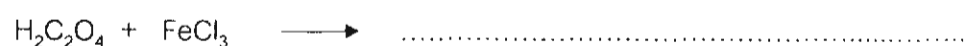
1. แสงทำหน้าที่

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

.....

.....

3. สูตรเคมีของไอร์ออน (III) ออกซาลेट คือ



การทดลองที่ 19
สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติก
 (Physical and Chemical Properties of Plastics)

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและจำแนกประเภทของพลาสติกโดยใช้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเพื่อประโยชน์ในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่
2. เปรียบเทียบอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก
3. เพื่อให้เข้าใจโครงสร้างของพอลิเมอร์

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกมาใช้อย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เนื่องจากกระบวนการผลิตง่าย ราคาถูกและทนทาน ความต้องการในการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจส่งผลในเชิงลบถ้าใช้อย่างไม่ระวัง พุ่มเฟิยและไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติกจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

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

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

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

พลาสติกที่นอกเหนือจากพลาสติก 6 ชนิดนี้ มีรหัสรีไซเคิลเป็นเลข 7 

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

เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติและลักษณะที่คล้ายคลึงกัน การตรวจวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเดียวจึงไม่สามารถจำแนกประเภทพลาสติกได้ ดังนั้นการประมวลผลข้อมูลจากการวิเคราะห์ด้วยหลายเทคนิคจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการจำแนกประเภทพลาสติกเพื่อให้ได้มาซึ่งความถูกต้องและแม่นยำ

การทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างของพอลิเมอร์

ข้อแนะนำ ควรแบ่งการทดลองออกเป็น 2 คาบ ๆ ละ 3 ชั่วโมง ดังนี้

ตอนที่ 1 และ 2 หนึ่งคาบ

ตอนที่ 3 หนึ่งคาบ

วัสดุอุปกรณ์

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

สารเคมี

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

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

หลักการและทฤษฎี

เทคนิคในการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และจำแนกพลาสติก มีดังนี้

การศึกษาลักษณะทางกายภาพ

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

การทดสอบพฤติกรรมการหลอม

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

การทดสอบพฤติกรรมการเผาไหม้

โดยทั่วไปพลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถจำแนกพลาสติกออกเป็นประเภทอิมิตัวและไม่อิมิตัว และเมื่อติดไฟจะให้ลักษณะการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน ในการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ ควรสังเกตอย่างละเอียดถึงความสามารถในการติดไฟ สีของเปลวไฟ กลิ่น เขม่าควัน การเกิดเถ้า การเกิดฟองขณะเผาและการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำแหล่งให้ความร้อนออก

การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beilstein

เป็นการทดสอบสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติกชนิดที่มีคลอไรด์เป็นส่วนประกอบ เช่น PVC โดยเมื่อเผาหลอดทองแดงแล้ว นำไปจุ่มที่พลาสติกที่ต้องการทดสอบ แล้วนำมาเผาอีกครั้ง ถ้าพบว่า เปลวไฟเปลี่ยนเป็นสีเขียว แสดงว่า พลาสติกชนิดนั้นมีคลอไรด์ ดังสมการ



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

การทดสอบความหนาแน่น

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

การทดสอบการละลาย

ความสามารถในการละลายของพลาสติก พิจารณาได้จากสภาพผิวและตัวทำละลาย โดยใช้หลักการ like dissolves like การทดสอบการละลายมีประโยชน์ในการทำฟิล์ม การวัดความหนืด และใช้ในการสังเคราะห์และการเกิดปฏิกิริยาของพอลิเมอร์

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

นำพลาสติกทุกตัวและพลาสติกที่ไม่ทราบโครงสร้าง มาทำการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรมการหลอมเหลว

ศึกษาและบันทึกลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติก เช่น ความใส ความขุ่น การสะท้อนแสง สี ความยืดหยุ่น เสียงเมื่อตกกระทบพื้น

ใช้ดินสอ HB และ 2B ขีดบนผิวพลาสติก สังเกตว่ามีรอยดินสอบนผิวพลาสติกหรือไม่

ใช้มีดเขี่ยขอบพลาสติก สังเกตรอยเขี่ยว่าเรียบหรือเป็นขุย

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

คำถามหลังการทดลอง

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

2. ศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้

ควรทำในตู้ดูดควัน

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

คำถามหลังการทดลอง

1. พลาสติกชนิดใดเกิดเขม่ามากที่สุด
2. พลาสติกชนิดใดที่ยังติดไฟอยู่ หลังจากนำออกจากเปลวไฟ
3. การเผาไหม้ของพลาสติกชนิดใดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสขึ้น และแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สใด

3. การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beilstein

ควรทำในตู้ดูดควัน

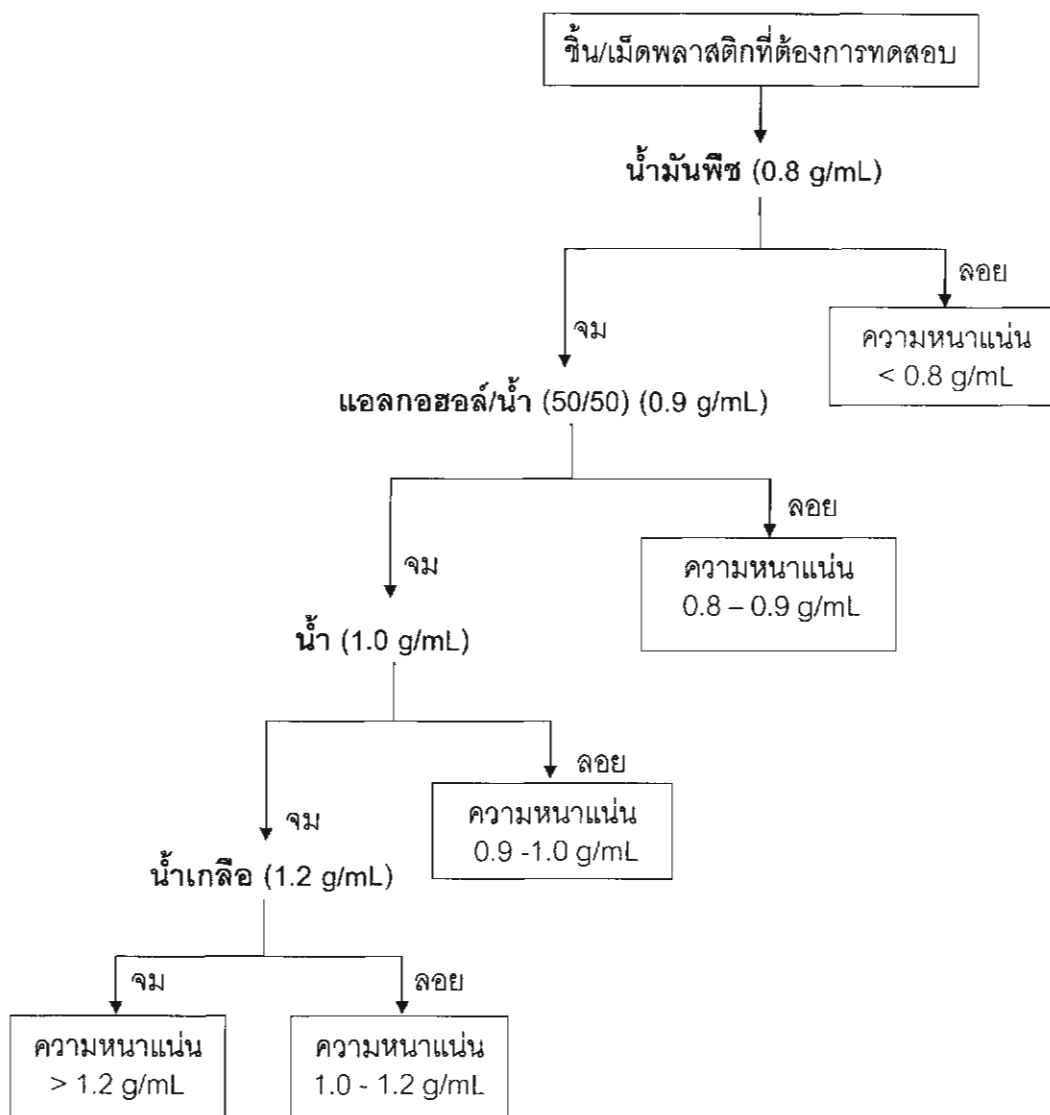
จับปลายลวดทองแดงด้วยผ้าหนา ก่อนนำปลายอีกด้านหนึ่งไปเผาให้ร้อนด้วยตะเกียงเบนเสน นำปลายที่ร้อนจุ่มลงไปนึ่งในขึ้น/เม็ดพลาสติก นำกลับไปเผาในเปลวไฟของตะเกียงเบนเสนอีกครั้ง สังเกตและบันทึกผลการทดลอง

คำถามหลังการทดลอง

1. พลาสติกชนิดใดบ้างที่ให้เปลวไฟสีเขียว
2. ควรนำพลาสติกชนิดใดมาทดสอบและเพราะเหตุใด

4. การทดสอบความหนาแน่น

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



คำถามหลังการทดลอง

1. การหาความหนาแน่นของของเหลวอย่างง่าย ทำได้อย่างไร
2. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นน้อยที่สุด
3. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นมากที่สุด

5. การทดสอบการละลาย

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

คำถามหลังการทดลอง

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

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

หลักการและทฤษฎี

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

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

วิธีทดลอง

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

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

คำถามหลังการทดลอง

1. แผ่นฟิล์มใดจะทนแรงดึงได้ดีกว่ากัน เพราะเหตุใด
2. อัตราการทำให้แผ่นฟิล์มแข็งตัวที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติและการจัดเรียงโมเลกุลอย่างไร

ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างของพอลิเมอร์

หลักการและทฤษฎี

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

เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างภายในของสารได้ เพื่อสร้างความเข้าใจจึงตั้งสมมติฐานว่าอะตอมหรือโมเลกุลเป็นทรงกลมที่ยึดติดกันเป็นเส้นยาวด้วยแรงชนิดใดชนิดหนึ่ง การทดลองนี้จึงได้ออกแบบให้เป็นขั้นตอนที่มีคำถามเชิงอุปมา เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในโครงสร้างของพอลิเมอร์

วิธีทดลอง

ส่วนที่ 1 การศึกษาการจัดเรียงโมเลกุลเมื่อมีแรงมากระทำ

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

ส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์

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



ตอบคำถาม (ข้อ 12-13) ว่าเมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นตรง 10 เส้นจะมีลักษณะต่างจากเดิมหรือไม่

3. นำเส้นเชือก 1 เส้นมาผูกให้เกิดกึ่งและปม ดังรูป



4. ทำเส้นเชือกผูกปมเหมือนข้อ 4 อีก 10 เส้น วางเส้นเชือกแบบกึ่ง 10 เส้นชิดกัน จับปลายกึ่งคนละกึ่งแล้วทำการดึงในทิศตรงข้ามกัน

ตอบคำถาม (ข้อ 14-16) ว่าเมื่อปล่อยมือที่ดึง กึ่ง 10 กึ่งจะมีลักษณะต่างจากเดิมหรือไม่

5. จิกกระดาษหนังสือพิมพ์ (ตัวแทนของเส้นใยเซลลูโลส) ตามแนวตั้ง หลังจากนั้นให้จิกกระดาษตามแนวนอน สังเกตลักษณะของรอยจิก

ตอบคำถามข้อ 17-19 ในรายงาน



6. นำเส้นเชือกหลาย ๆ เส้นมาผูกต่อกันเป็นร่างตาข่าย (ตัวแทนของพอลิเมอร์ร่างแหแบบถัก) ดึงปลายร่างแหคนละด้านกัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง

ตอบคำถาม (ข้อ 20-23) ว่าดึงยากหรือง่าย และเมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นแหจะคงรูปเดิมหรือมีลักษณะรูปร่างต่างจากเดิม

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

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



คำถามท้ายการทดลอง

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

การกำจัดของเสีย

เก็บรวบรวมของเหลวที่ใช้หาความหนาแน่นในภาชนะที่จัดให้เพื่อนำมาใช้ใหม่ในภาคการศึกษาดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

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

รายงานผลการทดลองเรื่อง สมบัติทางกายภาพและเคมีของพลาสติก

ชื่อ รหัส ตอนที่ ลำดับที่

อาจารย์ผู้คุมปฏิบัติการ รหัสผู้ร่วมทดลอง วันที่

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ประเภทของพลาสติกอย่างง่าย

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

การวิเคราะห์ผลจากตาราง

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและพฤติกรรมการหลอมเหลว

1. พลาสติกชนิดใดเป็นเทอร์โมพลาสติก และชนิดใดเป็นเทอร์โมเซต เพราะเหตุใด

.....

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

.....

3. พลาสติกชนิดใดสามารถดึงเป็นเส้นได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด

.....

4. พลาสติกชนิดใดมีความแข็งที่ผิวสูง เพราะเหตุใด

.....

.....

2. ศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้

1. พลาสติกชนิดใดเกิดเขม่ามากที่สุด

.....

พลาสติกชนิดใดที่ยังติดไฟอยู่ หลังจากนำออกจากเปลวไฟ

.....

.....

2. การเผาไหม้ของพลาสติกชนิดใดเปลี่ยนสีกระดาษลิทมัส และแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สใด

.....

3. การทดสอบคลอไรด์โดยวิธี Beistein

1. พลาสติกชนิดใดบ้างที่ให้เปลวไฟสีเขียว

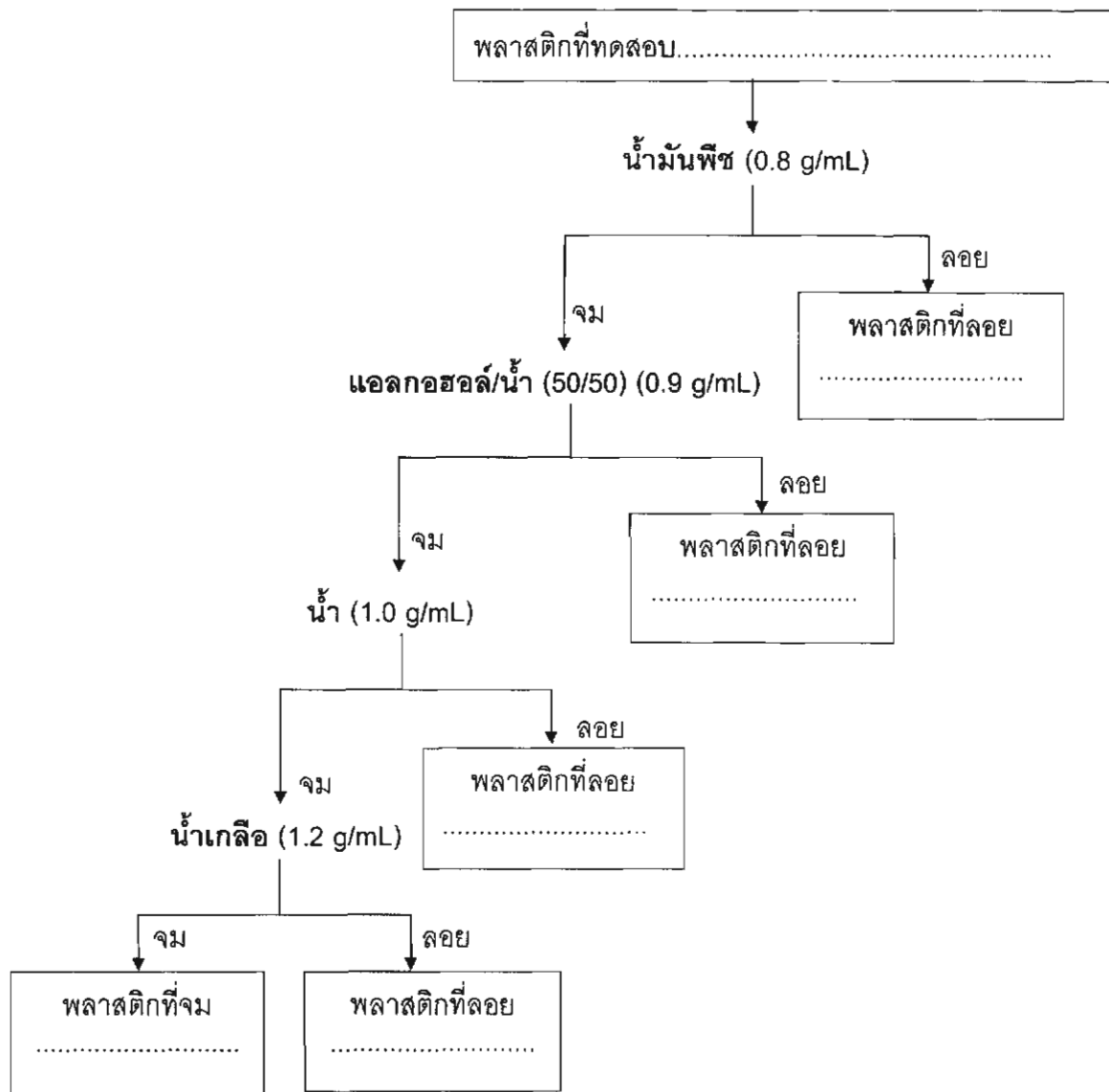
.....

2. ชิ้นตัวอย่างที่สนใจนำมาทดสอบควรเป็นพลาสติกตัวใดและเพราะเหตุใด

.....

.....

3. การทดสอบหาความหนาแน่น



1. สามารถหาความหนาแน่นของของเหลวที่ใช้ อย่างง่าย ๆ ได้อย่างไร

.....

2. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นน้อยที่สุด

.....

3. พลาสติกชนิดใดมีความหนาแน่นมากที่สุด

.....

5. การทดสอบการละลาย

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

หมายเหตุ ให้บันทึกโดยใช้สเกลดังนี้

0 = ไม่ละลาย

1 = บวม

2 = ละลายได้

3 = ละลายได้ดีมาก

1. ตัวทำละลายที่เหมาะสม สำหรับการทำแผ่นฟิล์มบางจากพลาสติกแต่ละชนิดคืออะไร

.....

2. การบวม (swell) ของพลาสติก เกิดได้อย่างไร ต่างจากการละลายหรือไม่ อย่างไร

.....

ตอนที่ 2 ผลของอัตราการแข็งตัวที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพลาสติก

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

1. จากตารางแผ่นฟิล์มใดจะมีการทนแรงดึงได้ดีกว่ากัน เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

2. อัตราการทำให้แผ่นฟิล์มแข็งตัวที่แตกต่างกัน มีผลต่อสมบัติและการจัดเรียงโมเลกุลอย่างไร

.....

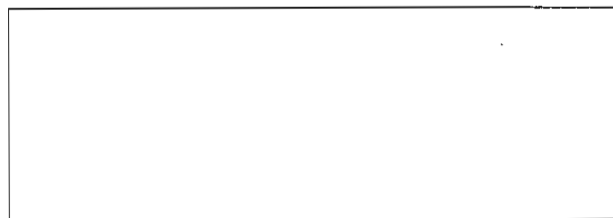
.....

.....

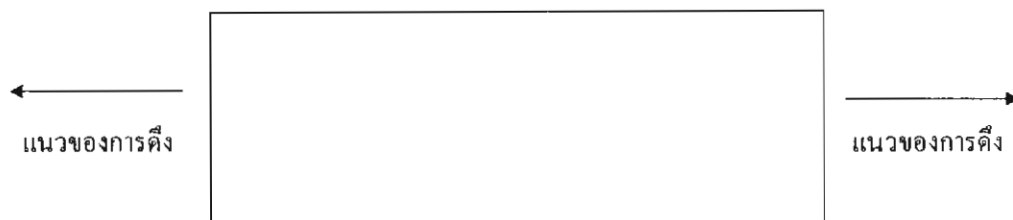
ตอนที่ 3 การอุปมา (analogy) โครงสร้างพอลิเมอร์

ส่วนที่ 1 ศึกษาการจัดเรียงโมเลกุลเมื่อมีแรงมากระทำ

1. ลักษณะของรอยขาดเมื่อดึงพลาสติก
2. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงเส้นเชือก 10 เส้นที่กองทับกัน

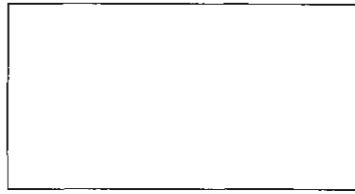


3. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงเส้นเชือก 10 เส้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตามทิศของลูกศร

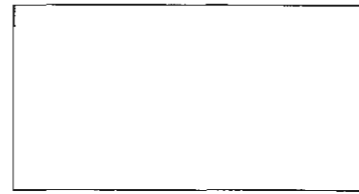


4. การจัดเรียงตัวในข้อ 2 หรือ 3 ที่มีความเป็นระเบียบมากที่สุด
 5. การต้านแรงกดเมื่อกดส่วนที่ยึด
- เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- การต้านแรงกดเมื่อกดส่วนที่ไม่ถูกยึด
- เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

6. ให้อาตรูปลักษณะการจัดเรียงโมเลกุลของยางก่อนและหลังถูกยืด



ก่อนยืด



หลังยืด

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

ส่วนที่ 2 ศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์

12. ให้อาตรูปการเรียงชิดกันของเส้นตรง 10 เส้น ก่อนและหลังดึง

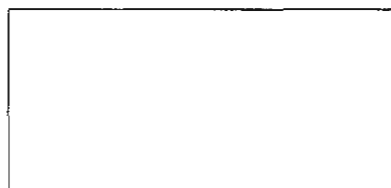


ก่อนดึง

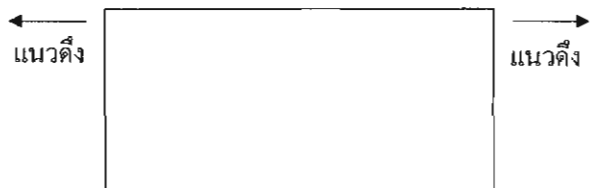


หลังดึง

13. เมื่อปล่อยมือที่ดึง เส้นตรงจะมีลักษณะเหมือนตอนก่อนดึงหรือไม่
14. ให้อาตรูปการเรียงชิดกันของกิ่ง 10 กิ่ง ก่อนและหลังดึง



ก่อนดึง



หลังดึง

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

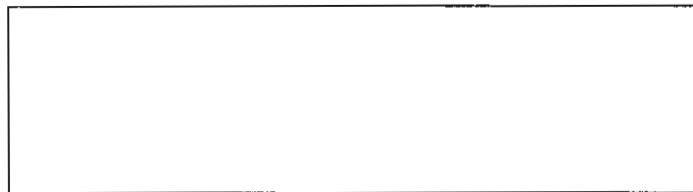
16. เทอร์มอพลาสติกหรือพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้มีโครงสร้างแบบใด
 เพราะเหตุใด

(อธิบายเปรียบเทียบกับการจัดเรียงตัวของพลาสติกเมื่อถูกยืด จากส่วนที่ 1)

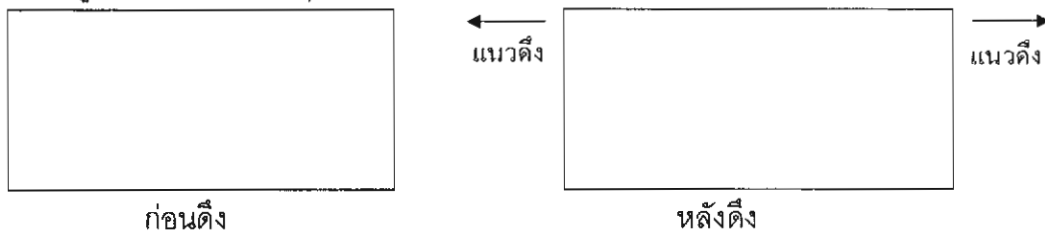
17. รอยฉีกทั้ง 2 แนวเหมือนกันหรือไม่
 ถ้าไม่ ลักษณะของรอยฉีกเป็นอย่างไร

18. รอยฉีกของเส้นใยเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (anisotropic property) หรือไม่

19. ให้อาตรูปโครงสร้างของเส้นใย พร้อมทำลูกศรระบุว่าเส้นใยจะแข็งแรงในทิศทางใด

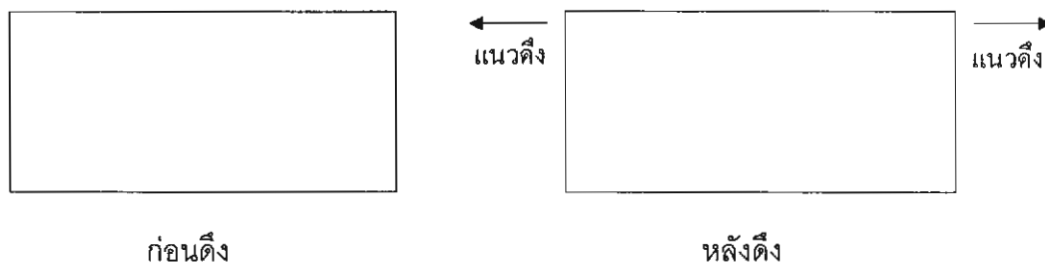


20. ให้อาตรูปการจัดเรียงโมเลกุลของแหที่แน่นหนา ก่อนและหลังดึง



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

24. ให้อาตรูปการจัดเรียงโมเลกุลของแหที่ถูกตัดจุดเชื่อม ก่อนและหลังดึง



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

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

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

ภาคผนวก ก

เคมีแบบย่อส่วน (Small Scale Chemistry)

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

เคมีแบบย่อส่วนเป็นเรื่องใหม่ เห็นและสัมผัสได้ทุกคน เป็นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ที่จะนำผู้เรียนเข้าสู่การทดลองทางเคมี อีกทั้งยังประหยัด ปลอดภัย ช่วยให้การเรียนการสอนเคมีน่าสนใจ เข้าใจลึกซึ้ง มีความรู้ฝังเรียน ส่งเสริมกระบวนการความคิดทางวิทยาศาสตร์

ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนมีรูปแบบหลัก ๆ ดังนี้

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

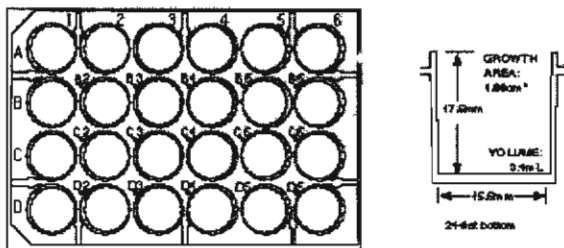
จากรูปแบบหลักทั้งสามดังกล่าวนี้ ก่อให้เกิดข้อดีมากมาย ได้แก่

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

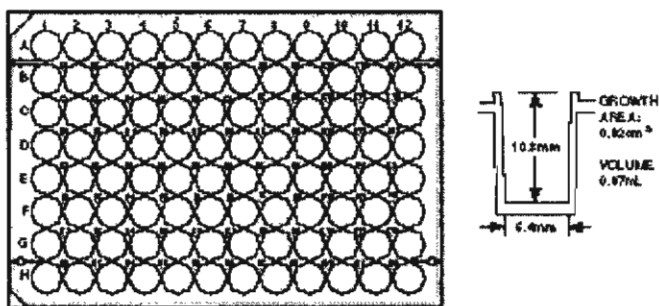
เมื่อปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ทั้งง่าย ถูก ปลอดภัย และพกพาสะดวก สามารถนำมาใช้ทดลองควบคู่ไปกับการสอนในห้องเรียน ผู้เรียนทดลองไป สังเกตไป สรุปผลไป ก็เกิดดวงตาเห็นธรรม เข้าใจเคมีอย่างลึกซึ้ง จากนั้นทุกคนยังสามารถทำการทดลองได้ และจากการที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเคมีแบบย่อส่วนมีขนาดเล็ก ไม่แตกง่าย จึงอาจใช้ในการทดลองภาคสนามได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

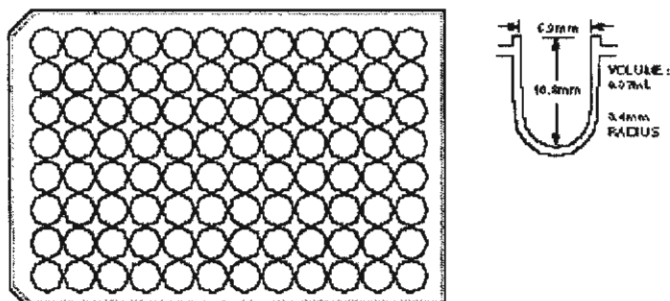
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 4 x 6 หลุม หรือ 24 หลุม



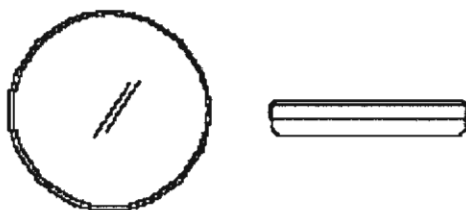
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 8 x 12 หลุม หรือ 96 หลุม แบบก้นแบน



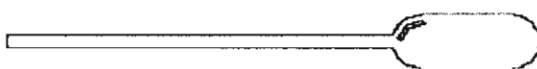
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 8 x 12 หลุม หรือ 96 หลุม แบบก้นกลม



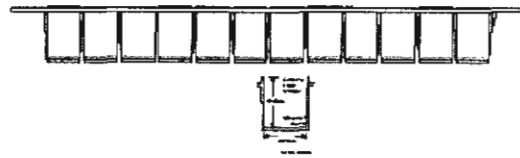
จานพลาสติกพร้อมฝาครอบ



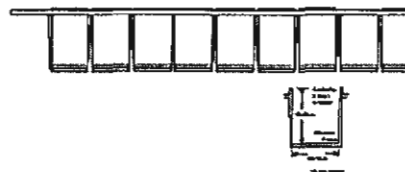
ปิเปตพลาสติก



ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1 x 12 หลุม หรือ 12 หลุม



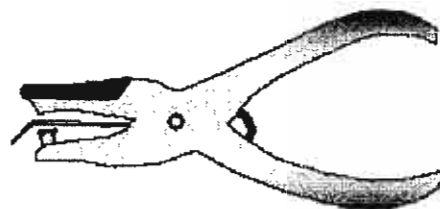
ถาดหลุมพลาสติกแบบ 1 x 8 หลุม หรือ 8 หลุม



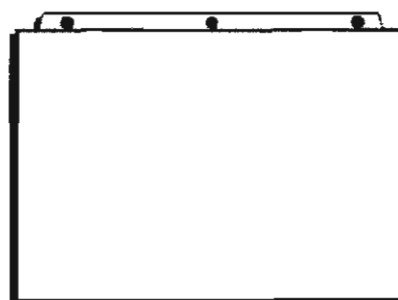
หลอดดูดพลาสติกชนิดใส-แบบเล็กและแบบใหญ่



ที่เจาะรูกระดาษแบบรูเดียว



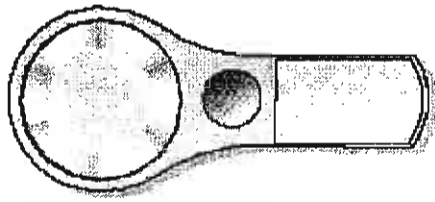
ซองพลาสติกสำหรับใส่กระดาษเข้าแฟ้ม (ชนิดหนา)



ปากกาเมจิกแบบปลายแหลม



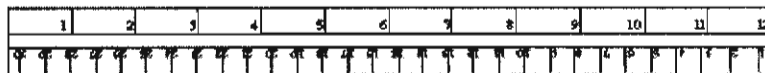
แว่นขยาย



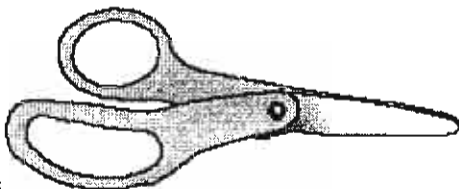
ปากคีบปลายแหลม



ไม้บรรทัดขนาด 12 นิ้ว / 30 ซม. ชนิดพลาสติกใส



กรรไกรขนาดกลาง ปลายแหลม



นอกจากนี้ยังมี ชิ้น ฐานตั้งและที่จับยึดทำจากหลอดดูดน้ำอัดลม สำหรับคนทำจากไม้จิ้มฟัน ขั้วไฟฟ้าทำจากเชือกหมุด ใสดินสอดำ ถ้วยน้ำพลาสติกเป็นอ่างน้ำร้อน กระป๋องน้ำอัดลม และเทียนไขประกอบเป็นแผ่นให้ความร้อน

เทคนิคเบื้องต้นในปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน

การสร้างไมโครบิวเรต

วิธีทำ ไมโครบิวเรตแบบหยดใหญ่ หรือหลอดหยดแบบหยดใหญ่

นำเอาปิเปตพลาสติกมา ใช้กรรไกรตัดก้านของปิเปตโดยตัดให้ตรง ไม่ให้ตัดเฉียง โดยตัดให้เหลือก้านติดกับกะเปาะยาวประมาณ 2 cm ก้านที่ตัดออกอย่าทิ้งใช้เป็นแท่งสำหรับคนได้

วิธีทำ ไมโครบิวเรตแบบหยดเล็กหรือหลอดหยดแบบหยดเล็ก

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



เทคนิคในการหยด

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

การปรับเทียบไมโครบิวเรต

การปรับเทียบไมโครบิวเรตเป็นการสอบเทียบว่า ไมโครบิวเรตที่ทำขึ้นนั้นมีปริมาตรเท่าใดต่อหนึ่งหยด วิธีทำเป็นดังนี้

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

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

3. ถ้าทราบความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้หยด ก็สามารถคำนวณจำนวนโมลต่อหยดได้ ตัวอย่าง เช่น

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

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

วิธีทำชาต้งและที่จับยัด

1. ทำชาต้ง โดยนำเอาหลอดดูดน้ำอัดลมมาเจาะรูตรงกลางหลอด ด้วยที่เจาะรูเอกสาร ดังภาพ



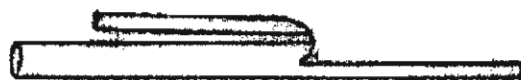
2. นำหลอดดูดน้ำอัดลมอีกหลอดมาตัดแล้วสอด ดังภาพ เพื่อใช้เป็นที่จับไมโครปิเปตหรืออื่น ๆ



2.1 สอดกรรไกรเข้าไปตัด



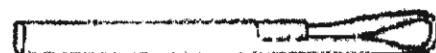
2.2 ตัดด้านตรงกันข้ามเช่นเดียวกัน หลอดตรงส่วนนี้จะถูกแบ่งครึ่งตามยาว



2.3 หักออก



2.4 เหลือเป็นลักษณะแบบนี้



2.5 งอหลอดและสอดเข้าปดิงภาพจะได้ห่วงแบบปรับเป็นเล็กใหญ่ได้

การใช้ปิเปตพลาสติกเพื่อบรรจุสารละลาย

ปิเปตพลาสติกสามารถใช้เป็นทั้งภาชนะบรรจุสารละลายและหลอดหยดได้

วิธีบรรจุสารละลาย

1. ใช้ปิเปตพลาสติกดูดสารละลายเข้าไป
2. ปิดปลายด้านปิเปตโดยนำไปชนไฟจากเปลวเทียนไขที่ปลายก้านปิเปตจนนุ่ม แล้วใช้คีมคีบปิเปตให้ปิดสนิท

วิธีใช้เป็นหลอดหยด

1. เมื่อต้องการใช้สารละลายที่บรรจุในปิเปตพลาสติกให้ใช้กรรไกรตัดปลายก้านปิเปตที่ปิดออก ควรตัดให้ตรง ไม่เฉียง จะสามารถใช้เป็นหลอดหยดที่ให้หยดที่สม่ำเสมอ
2. เมื่อเสร็จการทดลอง ให้ปิดปลายก้านปิเปตไว้ดังเดิมด้วยการชนไฟจากเปลวเทียนไขดังวิธีข้างต้น

การเจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นที่แน่นอน

ตัวอย่างเช่นต้องการเจือจางสารละลาย 0.10 M HCl ให้เป็น 0.01 M HCl ทำได้ดังนี้

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

วิธีการล้างภาดหลุม

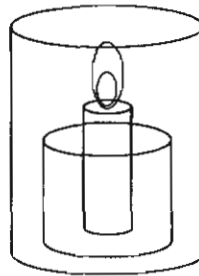
ให้ใช้น้ำฉีดลงไป แล้วนำไปคว่ำเทออกในถ้วยพลาสติกซึ่งใช้สำหรับบรรจุของเสีย ภาดหลุมแบบหลุมเล็ก มีการออกแบบที่ทำให้สารละลายไม่หกออกมา จึงต้องเคาะเล็กน้อย ทำซ้ำจนสะอาด ใช้กระดาษทิชชูหรือคอตตอนบัด ซับน้ำส่วนที่เหลือออกจนแห้ง

วิธีการล้างปิเปตพลาสติก

บีบเอาสารละลายที่บรรจุออก ดูดน้ำกลั่นเข้าไปแล้วบีบทิ้งลงในถ้วยพลาสติกซึ่งใช้สำหรับบรรจุของเสีย ทำซ้ำหลายครั้งจนแน่ใจว่าสะอาด พยายามกำจัดน้ำออกให้หมด โดยบีบพ่นแรงๆ และเคาะปลายก้าน ปิเปตกับกระดาษทิชชู

การสร้างเตาให้ความร้อน

ทำจากกระป๋องน้ำอัดลมและเทียนไข ดังภาพ ถ้าเทียนไข (ขนาดเล็ก) สูงไปให้ตัดทางด้านฐานออกเล็กน้อยด้วยคัตเตอร์ ถ้าความร้อนสูงไปก็ให้ทำเช่นเดียวกัน คือ ลดระดับเปลวเทียนให้ต่ำลง



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

วิธีการและเทคนิคของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพมี 4 แบบโดยแบ่งตามขนาดของสารตัวอย่าง ดังนี้

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

การวิเคราะห์แบบแมกโครไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายมาก ระบบไมโคร และ ระบบอุลตราไมโครนั้นแม้ว่าจะตัดปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองแต่ต้องอาศัยเทคนิคที่ละเอียดเป็นพิเศษ จึงไม่เหมาะสำหรับการฝึกทดลองในชั้นเริ่มแรก

ดังนั้นระบบเมโซไมโคร จึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ตาม คลินิกหรือสถาบันพลังงานปรมาณู

การทำเคมีคุณภาพวิเคราะห์ต้องสังเกตอย่างละเอียดถี่ถ้วน ประมวลข้อสังเกตได้อย่างมีระบบ และจัดกระบวนการความคิดอย่างมีระเบียบ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการศึกษาวิทยาศาสตร์ สิ่งที่ต้องสังเกตได้แก่

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

การละลายของสารประกอบอนินทรีย์

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

การเกิดตะกอน

ปฏิกิริยาตกตะกอนมีความสำคัญทางเคมีวิเคราะห์ เนื่องจากลักษณะเฉพาะของตะกอน สามารถใช้ตรวจสอบสารและใช้แยกสารออกจากกันได้

ตะกอน หมายถึง ของแข็งซึ่งไม่ละลายจึงแยกตัวออกจากสารละลาย ดังนั้นตะกอนจึงต้องอยู่ปนกับของเหลวเสมอ ถ้านำสารละลายไประเหยจนแห้ง ของแข็งที่คงเหลือค้างอยู่จะเรียกว่า กาก

เพราะไม่มีของเหลวเหลือปะปนจึงมิใช่ตะกอน และถ้าแยกตะกอนออกจากของเหลว ด้วยการเซนทริฟิวจ์หรือการกรอง ของแข็งที่ถูกแยกออกจากของเหลวแล้วนั้น เรียกว่า ตะกอน

วิธีการตกตะกอน การตกตะกอนสามารถทำได้โดยวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1. ทำให้อุณหภูมิของสารละลายอิ่มตัวลดลง
2. เติมตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง
3. เติมสารเคมีเพื่อทำให้เกิดตะกอนจากปฏิกิริยาเคมี

ประเภทของตะกอน

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

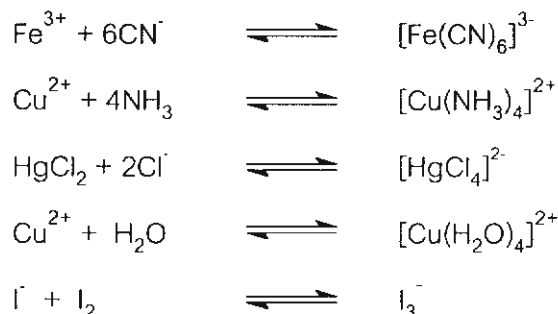
ลักษณะของตะกอน

ตะกอน แบ่งเป็น 6 ประเภทตามลักษณะ ดังนี้

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

ไอออนเชิงซ้อน (complex ions)

ไอออนเชิงซ้อน เกิดจากการรวมตัวระหว่างไอออนต่างชนิด และ/หรือ โมเลกุลที่เป็นกลาง ตัวอย่างเช่น



ไอออนเชิงซ้อนจะมีสมบัติแตกต่างจากไอออนหรือโมเลกุลเดิม การเกิดไอออนเชิงซ้อนอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสี การเกิดหรือการละลายของตะกอน

ผลทดสอบ

ผลทดสอบบวก (positive test) หมายถึงกระบวนการทดสอบที่ประสบผลสำเร็จ เช่น ทดสอบพบสารนั้นๆได้อย่างถูกต้อง

ผลทดสอบลบ (negative test) หมายถึงกระบวนการทดสอบที่ไม่ประสบผล เช่น ทดสอบไม่พบสารที่คาดคะเนไว้

สิ่งแปลกปลอม หมายถึงสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่ทำให้ผลทดสอบเป็นเท็จ ซึ่งอาจจะเป็นผลทดสอบบวกเท็จหรือผลทดสอบลบเท็จอย่างใดอย่างหนึ่ง

ความไวของการทดสอบ (sensitivity of a test)

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

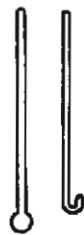
ในกรณีที่มีการทดสอบขาดความไว ให้เพิ่มความไวได้ด้วยการเติมสารประกอบอินทรีย์ที่มีสี เพื่อย้อมสีของตะกอนให้เห็นเด่นชัดขึ้น ตัวอย่างเช่น

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

อุปกรณ์และเทคนิคต่างๆ ในการวิเคราะห์แบบเคมีไมโคร

อุปกรณ์

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

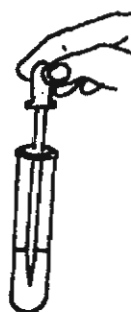


แสดงวิธีคนสารละลาย

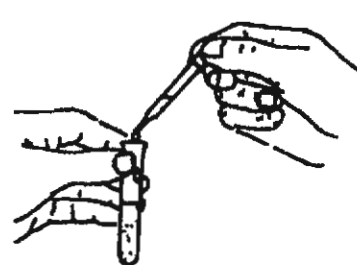
3. **หลอดหยด (dropper)** ทำด้วยหลอดแก้วเล็ก ๆ ปลายข้างหนึ่งเรียวเล็ก อีกข้างหนึ่งมีลูกยางสวมอยู่ การใช้หลอดหยดควรปฏิบัติดังนี้
 - ก. **การดูดสารละลาย** ให้บีบลูกยางเพื่อไล่อากาศในหลอดออกก่อนจึงจุ่มปลายหลอดหยดลงไปใต้ระดับของสารละลายที่ต้องการ แล้วค่อยๆ ผ่อนการบีบลูกยางเพื่อให้สารละลายไหลขึ้นมาในหลอด แต่อย่าให้ถึงลูกยาง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



หลอดทดลอง

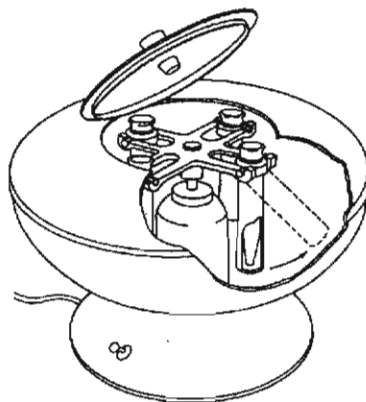


วิธีคน



วิธีหยด

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



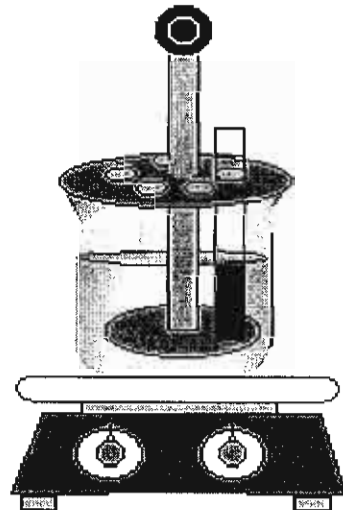
เครื่องเซนทริฟิวจ์

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

ข้อควรปฏิบัติ

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

5. อ่างน้ำร้อน (water bath) ใช้สำหรับให้ความร้อนสารละลายในหลอดทดลองเมื่อต้องการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น อ่างน้ำร้อนที่ใช้ประกอบด้วยบีกเกอร์ขนาด 250 mL ใส่SWGทองเหลืองสำหรับวางหลอดทดลอง บรรจุน้ำประปาสูงประมาณ 2/3 ของบีกเกอร์ ตั้งอยู่บนเครื่องให้ความร้อน ดังรูป

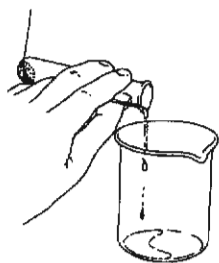


อ่างน้ำร้อน

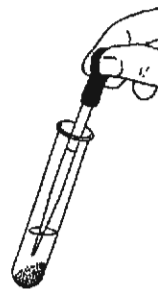
เทคนิค

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

ตะกอนนอนก้นภายหลังจากเข็นทรีฟิวจ์



การแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการเท



การแยกตะกอนออกจากสารละลายด้วยการดูดด้วยหลอดดูด

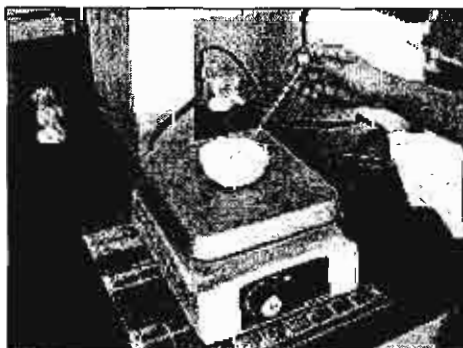


การล้างตะกอน

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

ข้อควรปฏิบัติ

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



การต้มหรือเคี่ยวสารละลาย

ถ้าสิ่งที่ระเหยออกมามีกลิ่นเหม็นหรือเป็นอันตราย ต้องเคี่ยวในตู้ดูดควัน

8. การทดสอบความเป็นกรดและเบส ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้ทั่ว นำปลายแท่งแก้วที่เปียกสารละลายแตะกระดาษลิตมัส ดูสีที่เปลี่ยนไป

ข้อควรปฏิบัติ

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

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

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

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

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