

## บทที่ 13

### การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีน

(Iodimetry & Iodometry)

#### วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาและทำปฏิบัติการบทเรียนบทนี้จบแล้ว ควรจะสามารถ

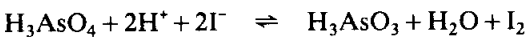
- 1) บอกข้อแตกต่างของค่า Iodimetry กับ Iodometry
- 2) อธิบายวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย
- 3) บอกความหมายของค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ )
- 4) บอกความหมายของค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ( $K_f$ )
- 5) เตรียมสารละลายไอโอดีนใน KI
- 6) เตรียมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  โดยไม่ให้เกิดการสลายตัว
- 7) ทำการทดลองและคำนวณหาค่า  $K_d$  ของไอโอดีนระหว่างชั้นน้ำกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์
- 8) ทำการทดลองและคำนวณหาค่า  $K_f$  ของปฏิกิริยา  $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$

**บทที่ 13**  
**การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีน**  
**(Iodimetry & Iodometry)**

การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไอโอดีน จะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Iodimetry และ Iodometry ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจัดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่มีไอโอดีนเป็นตัวออกซิไดส์ การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีนมีได้ 2 แบบ คือ

1. การไทเทรตโดยตรง การไทเทรตแบบนี้ หมายถึง การเตรียมสารละลายไอโอดีนขึ้นมาทำการไทเทรตกับสารละลายของตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมโซลฟิตโดยตรง และมีน้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Iodimetry

2. การไทเทรตโดยอ้อม การไทเทรตแบบนี้ หมายถึง การไทเทรตไอโอดีนที่เกิดจากปฏิกิริยาอื่นอีกทีหนึ่ง มิได้เตรียมขึ้นมาโดยตรง เช่น ต้องการไทเทรตโซเดียมโซลฟิตกับไอโอดีน จะใช้ไอโอดีนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโอไดด์กับอาร์ซีนิต ในสารละลายที่เป็นกรดมาก ๆ



$I_2$  ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ สามารถไทเทรตกับ  $Na_2S_2O_3$  ได้ วิธีการแบบนี้จะมีชื่อเรียกว่า Iodometry

ไอโอดีนเป็นตัวออกซิไดส์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันรับอิเล็กตรอนได้ ดังนี้



ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งปฏิกิริยานี้มีค่าเท่ากับ 0.5345 โวลต์ ปฏิกิริยาที่ 13.1 เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อสารละลายเอเควีสมัตต์ด้วยไอโอดีน โดยปกติแล้วไอโอดีนเป็นสารที่ละลายน้ำยาก ละลายได้เพียงที่มีความเข้มข้น 0.0013 F ที่อุณหภูมิ 20°C เท่านั้น ดังนั้น สารละลายไอโอดีนจึงเจือจางเกินไป ไม่เหมาะสำหรับการไทเทรตหรือทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์

เราสามารถทำให้ไอโอดีนละลายน้ำได้ดีขึ้น โดยการเติมไอโอดีนลงไปในการละลายด้วย ไอโอดีนสามารถละลายได้ดีขึ้น เพราะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน เป็นไตรไอโอดีนที่ละลายน้ำได้ดี และให้สารละลายเป็นสีน้ำตาล



ดังนั้น ไอโอดีนที่ละลายน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไตรไอโอดีน การเกิดปฏิกิริยารีดักชันรับอิเล็กตรอนจึงเกิดกับไตรไอโอดีนได้ดีกว่า นั่นคือ เราสามารถเขียนปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายไอโอดีนได้ ดังนี้



ปฏิกิริยาที่ 13.3 จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับ 0.5355 โวลต์ ไอโอดีนหรือไตรไอโอดีนเป็นตัวออกซิไดส์ที่อ่อนกว่าโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โพแทสเซียมไดโครเมต และซีเรียมซัลเฟต

ในการไทเทรตสารละลายไอโอดีนโดยตรง (Iodimetry) ทุกครั้ง สารละลายไอโอดีนต้องถูกเตรียมขึ้นโดยละลายในสารละลาย KI ดังนั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตกับตัวรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไฮโอซัลเฟต ควรเขียนดังนี้



ซึ่งจะถูกต้องมากกว่าการเขียนเป็น



ตัวรีดิวซ์ที่แรง เช่น  $SnCl_2$ ,  $H_2SO_3$ ,  $H_2S$  และ  $Na_2S_2O_3$  สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนได้อย่างรวดเร็วในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด แต่ถ้าเป็นตัวรีดิวซ์ที่อ่อน เช่น  $As_2O_3$  หรือ  $Sb_2O_3$  สามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สมบูรณ์ เมื่อสารละลายมีฤทธิ์เป็นกลาง หรือกรดเพียงเล็กน้อย

เนื่องจากไอโอดีนเป็นสารประกอบที่ระเหิดได้ง่าย การเก็บรักษาจึงควรเก็บไว้ในที่ที่มีฝาปิดมิดชิดและไว้ในที่มืด เมื่อนำไอโอดีนมาเตรียมเป็นสารละลาย พบว่าความเข้มข้นของไอโอดีน จะเกิดการสูญเสียได้บ้างจากการเกิดปฏิกิริยากับน้ำ

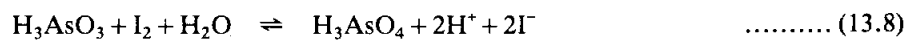


ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ถูกเร่งได้ด้วยแสง และเนื่องจากการเตรียมสารละลายไอโอดีน จำเป็นต้องใช้ไอโอดีนช่วย ซึ่งไอโอดีนในสารละลายสามารถถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจน ในอากาศ

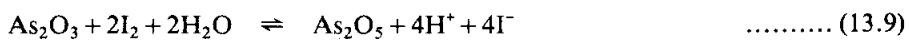


จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ไอโอดีนที่บริสุทธิ์อย่างไรก็ตาม ก็จะเตรียมให้ได้ความเข้มข้นที่แน่นอนไม่ได้ ในการทดลองจึงต้องทำการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน ก่อนนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไปทุกครั้ง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีน สามารถทำได้หลายวิธี สำหรับวิธีที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ใช้อาร์ซีนีเยสออกไซด์เป็นสารปฐมภูมิ ซึ่งปฏิกิริยาระหว่าง  $I_2$  กับ  $As_2O_3$  จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอที่ pH 4-9 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ

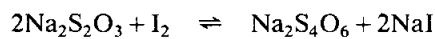


$H_3AsO_3$  เกิดขึ้นจากการละลาย  $As_2O_3$  ในเบส NaOH แล้ว ทำให้เป็นกรดด้วยกรด HCl หรืออาจเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้อีกแบบหนึ่ง คือ



**กิจกรรมที่ 13.1**  
ให้นักศึกษาค้นคว้าวิธีการหาความเข้มข้นที่แน่นอน ของสารละลายไอโอดีน ใน KI เพิ่มขึ้นอีก 1 วิธี พร้อมกับเขียนรายละเอียดของวิธีการทดลองนั้น

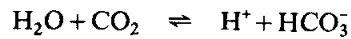
เมื่อทำการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนแล้ว สามารถนำสารละลายไอโอดีนไปใช้หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $Na_2S_2O_3$  ได้อีก โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามสมการที่ 13.5



จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงว่า

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ } Na_2S_2O_3 = \frac{M. W. Na_2S_2O_3}{I} \quad \dots\dots\dots (13.10)$$

การเตรียมสารละลายของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ควรใช้น้ำที่ต้มไล่  $\text{CO}_2$  เรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายมีความเป็นกรด  $\text{CO}_2$  สามารถทำให้สารละลายเป็นกรดได้ ดังนี้



ถ้าสารละลายเป็นกรดเพียงเล็กน้อย จะทำให้โซอิลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) สลายตัว (decompose) ให้ซัลเฟอร์และไฮโดรเจนซัลไฟด์



ทำให้สารละลายโซเดียมโซอิลเฟตที่เตรียมได้ มีลักษณะขุ่น หรือมีตะกอนซัลเฟอร์เกิดขึ้น ไม่เหมาะสำหรับที่จะใช้ในการทดลอง

สำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีน ซึ่งจะให้นักศึกษาทำปฏิบัติการในบทเรียนบทนี้ คือ

ก. หาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ ) ของไอโอดีนระหว่างชั้นน้ำกับคาร์บอน-เตตระคลอไรด์

ข. หาค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ( $K_f$ ) ของปฏิกิริยา  $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$

การวิเคราะห์หาค่า  $K_d$  และ  $K_f$  ของไอโอดีน สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคของการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) และการไทเทรตโดยตรง (Iodimetry) การสกัดด้วยตัวทำละลายทำได้โดยใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (two immiscible solvents) เมื่อมีตัวถูกละลายที่สามารถละลายในตัวทำละลายทั้งสอง อยู่ในตัวทำละลายตัวที่ 1 แล้วเติมตัวทำละลายตัวที่ 2 ลงไปผสมกับตัวทำละลายที่ 1 เพื่อให้ตัวทำละลายทั้งสองสัมผัสกันอย่างใกล้ชิด แล้วเขย่าตัวทำละลายทั้งสอง เพื่อให้ตัวถูกละลายกระจายไปอยู่ในตัวทำละลายตัวที่ 2 เมื่อการกระจายถึงสมดุล (equilibrium) ซึ่งหมายถึงว่า อัตราการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายจากตัวทำละลายที่ 1 ไปยังตัวทำละลายที่ 2 จะมีค่าเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายจากตัวทำละลายที่ 2 ไปยังตัวทำละลายที่ 1 ซึ่งที่จุดสมดุลนี้ อัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ 1 ต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ 2 จะมีค่าคงที่ที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการกระจาย (Distribution coefficient,  $K_d$ ) หรือสัมประสิทธิ์ของการแบ่งส่วน (Partition coefficient,  $P$ ) สำหรับหน่วยความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายทั้งสอง สามารถใช้ได้ทุกหน่วย ผลที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากัน ตามปกติตัวทำละลาย 2 ชนิด ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันนั้น จะมีตัวทำละลายชนิดหนึ่ง คือ น้ำ หรือ

ตัวทำละลายที่เป็นโพลาาร์ และอีกชนิดหนึ่ง คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือตัวทำละลายที่เป็นนอนโพลาาร์ นั่นคือ สามารถพิจารณาค่า  $K_d$  ได้ดังนี้

$$K_d = \frac{[A]_{org}}{[A]_{aq}} \quad (13.12)$$

$[A]_{org}$  หมายถึง ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย A ที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ มีหน่วยเป็นโมลาร์, นอร์แมล หรือน้ำหนักของ A ต่อปริมาตรของตัวทำละลาย หน่วยใดหน่วยหนึ่งก็ได้

$[A]_{aq}$  หมายถึง ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย A ที่ละลายในชั้นของน้ำ หน่วยความเข้มข้นที่ใช้ต้องเป็นหน่วยเดียวกับความเข้มข้นในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าคิดความเข้มข้นของตัวถูกละลายเป็นน้ำหนักต่อปริมาตรของตัวทำละลาย จะได้สูตรทั่วไปในการคำนวณค่า  $K_d$  ดังนี้

$$K_d = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ 1/ปริมาตรของตัวทำละลายที่ 1}}{\text{น้ำหนักตัวถูกละลายในตัวทำละลายที่ 2/ปริมาตรของตัวทำละลายที่ 2}} \quad \dots (13.13)$$

ค่า  $K_d$  จะเป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับตัวทำละลายคู่หนึ่ง ๆ เท่านั้น ถ้าเปลี่ยนอุณหภูมิหรือตัวทำละลาย ค่า  $K_d$  ของตัวถูกละลายนั้นก็จะเปลี่ยนไป สำหรับการทดลองนี้จะศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายของไอโอดีนระหว่างน้ำกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งจะหาความเข้มข้นของไอโอดีนที่กระจายอยู่ในตัวทำละลายแต่ละชั้นได้ โดยการไทเทรตกับโซเดียมไซโอซัลเฟต ในการทดลองศึกษาโดยใช้  $I_2$  ละลายใน  $CCl_4$  จนอิ่มตัว แล้วนำมาสกัดกับน้ำจนถึงจุดสมดุล แล้วไทเทรต  $I_2$  ในชั้นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไซโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ทั้งก่อนสกัดและหลังสกัด เมื่อนำปริมาณ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  หลังสกัดลบออกจากปริมาณ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  ก่อนสกัด จะได้ปริมาณ  $I_2$  ที่กระจายอยู่ในชั้นน้ำ เมื่อทราบปริมาณของ  $I_2$  ในตัวทำละลายแต่ละชนิด ก็สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายได้

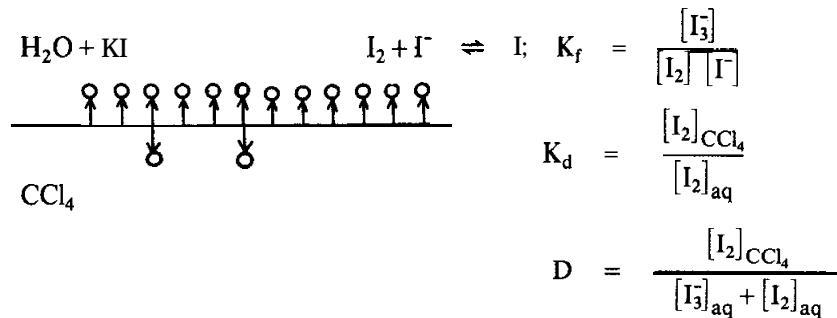
ถ้าไม่มีสิ่งรบกวนสมดุลของการกระจาย คือ การกระจายเกิดเนื่องจากตัวถูกละลาย A กระจายในตัวทำละลายทั้งสองเท่านั้น โดยที่ไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงของ A เกิดขึ้นอีกในชั้นของตัวทำละลายทั้งสอง จะได้อัตราส่วนของการกระจาย (D) มีค่าเท่ากับสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ ) แต่ถ้ามีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นกับตัวถูกละลาย พบว่าค่าอัตราส่วนของ

การกระจายจะเปลี่ยนไป ส่วนสัมประสิทธิ์ของการกระจายยังคงที่ เช่น การทดลองนี้ ถ้าในชั้นน้ำมีสารประกอบโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) อยู่ด้วย พบว่าการกระจายของ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  สูงขึ้นน้ำจะมากขึ้น และทำให้ค่า  $D$  ไม่เท่ากับ  $K_d$  ทั้งนี้ เพราะไอโอไดด์ที่อยู่ในชั้นน้ำ จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้ไตรไอโอไดด์ที่ละลายน้ำได้ดี การเกิดไตรไอโอไดด์ทำให้ปริมาณ  $I_2$  ในชั้นน้ำลดลง จึงเกิดการกระจายของ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  สูงขึ้นน้ำอีก เพื่อรักษาให้อัตราส่วนของ  $\frac{[I_2]_{CCl_4}}{[I_2]_{aq}}$  มีค่าคงที่เท่ากับ  $K_d$  การกระจายของ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  สูงขึ้นน้ำ จะเกิดขึ้นจนกระทั่งทำให้

$$\frac{[I_2]_{CCl_4}}{[I_2]_{aq}} \quad \text{มีค่าคงที่เท่ากับ } K_d$$

และ

$$\frac{[I_3]}{[I_2][I^-]} \quad \text{มีค่าคงที่เท่ากับ } K_f$$



แสดงว่า ในการสกัด  $I_2$  ใน  $CCl_4$  ด้วยน้ำที่มี KI อยู่ด้วย จะเกิดสมดุลขึ้น 2 ขั้นตอน คือ

1) สมดุลที่เกิดจากการกระจายระหว่าง  $I_2$  ในชั้นน้ำกับ  $I_2$  ในชั้น  $CCl_4$  ซึ่งมีค่าคงที่เป็น  $K_d = \frac{[I_2]_{CCl_4}}{[I_2]_{aq}}$  หน่วยความเข้มข้นจะใช้หน่วยใดก็ได้

2) สมดุลเนื่องจากเกิดสารประกอบเชิงซ้อน  $I_3^-$  ซึ่งมีค่าคงที่เป็น  $K_f = \frac{[I_3^-]}{[I_2][I^-]}$  หน่วยความเข้มข้นที่ใช้แทนในสูตร คือ โมลาร์

เมื่อต้องการหาค่า  $K_f$  โดยการทดลอง ทำได้โดยหาปริมาณ  $I_2$  ใน  $CCl_4$  ทั้งก่อนสกัดและหลังสกัด เมื่อนำปริมาณทั้งสองมาหักลบกัน จะได้ปริมาณของไอโอดีนที่กระจายไปอยู่

ในชั้นของน้ำ แต่เนื่องจากไอโอดีนที่กระจายไปอยู่ในชั้นน้ำ มิได้อยู่ในรูปของ  $I_2$  เพียงอย่างเดียว  $I_2$  จำนวนหนึ่งจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน  $I_3^-$  ดังนั้น เมื่อทราบปริมาณไอโอดีนที่กระจายไปอยู่ในชั้นน้ำ ( $I_2 + I_3^-$ ) และคำนวณหาค่าไอโอดีน ที่อยู่ในรูปของ  $I_2$  ในชั้นน้ำได้ ก็สามารถหาค่า  $I_3^-$  ได้  
 ปริมาณ  $I_2$  ก่อนสกัด - ปริมาณ  $I_2$  หลังสกัด = ปริมาณ  $I_2$  ในชั้นน้ำ + ปริมาณ  $I_3^-$  ในชั้นน้ำ  
 .....(13.14)

ปริมาณ  $I_2$  ในชั้นน้ำ จะต้องมีอยู่อย่างสมดุลกับปริมาณ  $I_2$  ในชั้นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ดังนั้น สามารถคำนวณหาปริมาณของ  $I_2$  ในชั้นน้ำได้จากค่า  $K_d$  ที่ทราบอยู่ก่อนแล้ว และจากความเข้มข้นของ  $I_2$  ที่อยู่ในชั้น  $CCl_4$  หลังสกัด

$$[I_2]_{aq} = \frac{[I_2]_{CCl_4}}{K_d} \quad \text{..... (13.15)}$$

หน่วยของ  $[I_2]_{aq}$  จะคือหน่วยใด ขึ้นอยู่กับหน่วยของ  $[I_2]_{CCl_4}$  หลังสกัด ถ้าแทนค่าหน่วยของ  $[I_2]_{CCl_4}$  หลังสกัดเป็นนอร์แมล หน่วยของ  $[I_2]_{aq}$  จะมีค่าเป็นนอร์แมลด้วย เมื่อต้องการทราบเป็นปริมาณของ  $I_2$  ที่มีอยู่ในชั้นน้ำที่มีปริมาตร 200 ลบ.ซม. สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ปริมาณ } I_2 \text{ (gm E)} = \frac{N_{I_2} \times 200}{1000} \quad \text{. . . . (13.16)}$$

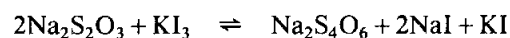
เมื่อได้ปริมาณของ  $I_2$  ก่อนสกัด, หลังสกัด และในชั้นน้ำเป็นกรัมสมมูล (หรืออาจคำนวณออกมาเป็นจำนวนโมลก็ได้) สามารถนำค่าต่าง ๆ แทนลงในสมการ (13.14)

$$\therefore \text{ปริมาณ } I_3^- = \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ก่อนสกัด} - \text{ปริมาณ } I_2 \text{ หลังสกัด} - \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ในชั้นน้ำ} \quad \text{.....(13.17)}$$

จากนั้นให้เปลี่ยนปริมาณ  $I_3^-$  ที่มีหน่วยเป็นจำนวนกรัมสมมูลในชั้นน้ำ มาเป็นความเข้มข้นโมลาร์ ถ้าสมมุติว่าในชั้นน้ำมีปริมาตร 200 ลบ.ซม.

$$[I_3^-] = \frac{\text{ปริมาณ } I_3^- \times 1000}{200 \times 2} \quad M \quad \text{..... (13.18)}$$

$I_3^-(I_2 + I^-)$  เป็นตัวออกซิไดส์เมื่อเกิดปฏิกิริยากับไฮโอซัลเฟต จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอน 2 ตัว จากโมเลกุลของ  $I_2$



ดังนั้น จำนวนกรัมโมลจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{2}$  ของจำนวนกรัมสมมูล เมื่อต้องการเปลี่ยนความเข้มข้นจากนอร์แมลเป็นโมลาร์ จึงต้องหารด้วย 2



จากสมการ (13.15) เมื่อต้องการเปลี่ยนความเข้มข้น  $[I_2]_{aq}$  เป็นโมลาร์ ให้หารด้วย 2

$$[I_2]_{aq} = \frac{N_{I_2}}{2} \quad M \quad \dots\dots\dots (13.19)$$

การหาปริมาณ  $I^-$  ที่สมมูล หาได้จากนำปริมาณ  $I^-$  ที่ใช้ทั้งหมดในตอนเริ่มต้น หักออกด้วยปริมาณ  $I_3^-$  ที่คำนวณได้จาก (13.17) เพราะจากสมการ  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$  แสดงว่า เมื่อเกิด  $I_3^-$  ขึ้น 1 โมล ต้องใช้  $I^-$  ไป 1 โมลด้วย

$$\text{จำนวนโมล } I^- \text{ ที่สมมูล} = \text{จำนวนโมล } I^- \text{ เริ่มต้น} - \text{จำนวนโมล } I_3^- \quad \dots\dots\dots(13.20)$$

เมื่อได้จำนวนโมลของ  $I^-$  ที่สมมูลที่อยู่ในสารละลาย 200 ลบ.ซม.แล้ว ให้คำนวณเป็นความเข้มข้นโมลาร์ ดังนี้

$$[I^-] = \frac{\text{จำนวนโมล } I^- \times 1000}{200} \quad \dots\dots\dots (13.21)$$

จากสมการที่ (13.18), (13.19) และ (13.21) ให้แทนค่าลงในสูตร  $K_f = \frac{[I_3^-]}{[I_2][I^-]}$

### ปฏิบัติการทดลอง

การทดลองสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

#### 1. เตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการทดลอง

##### 1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- ก.  $I_2$  ที่อิมิตัวใน  $CCl_4$
- ข.  $I_2$
- ค. KI
- ง.  $Na_2S_2O_3$
- จ.  $As_2O_3$
- ฉ. น้ำแป้ง
- ช. 1 N HCl
- ซ. NaOH
- ฅ.  $NaHCO_3$

## 1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ก. กรวยแยก (Separatory funnel)
- ข. บิวเรตพร้อมที่ตั้ง
- ค. ปิเปต
- ง. ขวดรูปกรวย
- จ. ขวดวัดปริมาตร

## 2. วิธีทำการทดลอง

### 2.1) เตรียมสารละลายไอโอดีนใน KI เข้มข้นประมาณ 0.1 N

ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่ปราศจากไอโอดีนมา 20 กรัม ละลายในน้ำ 30–40 ลบ.ซม. จากนั้นชั่งไอโอดีนที่บริสุทธิ์ด้วยเครื่องชั่งหยาบมา 12.7 กรัม เติลงในสารละลายไอโอไดด์ คนจนกระทั่งไอโอดีนละลายหมด ถ้าละลายไม่หมดสามารถเติมไอโอไดด์ได้อีกเล็กน้อย เจือจางสารละลายให้มีปริมาตร 1 ลบ.ดม. ด้วยขวดวัดปริมาตร เขย่าสารละลายให้ทั่ว แล้วเก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่สะอาด พร้อมกับเก็บไว้ในที่มืด

### 2.2) เตรียมสารละลายปรอท As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เข้มข้นประมาณ 0.1 N

ชั่ง As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่อบแห้งแล้วอย่างละเอียด ให้ได้น้ำหนักแน่นอนในช่วง 2.4–2.6 กรัม เติ As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่ชั่งได้ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ลบ.ซม. เติสารละลาย NaOH เข้มข้น 20 ลบ.ซม. (เตรียมโดยใช้ NaOH 2 กรัม ละลายในน้ำ 20 ลบ.ซม.) คนจนกระทั่ง As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ละลายหมด แล้วเจือจางสารละลายให้มีปริมาตรประมาณ 200 ลบ.ซม. จากนั้นทำสารละลายให้เป็นกลางด้วย 1 N HCl โดยใช้กระดาษลิตมัสทดสอบ เติกรดจนกระทั่งสารละลายเป็นกรดเล็กน้อย เติสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ลบ.ซม. เติ NaHCO<sub>3</sub> ที่บริสุทธิ์ 2 กรัม เขย่าจนกระทั่งละลายหมดแล้ว เจือจางให้มีปริมาตรพอดีขีดเป็น 500 ลบ.ซม. ให้คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เป็นนอร์แมลจากน้ำหนักที่ชั่งได้

### 2.3) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนใน KI

ปิเปตสารละลาย As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 มา 25.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. (การปิเปตต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะสารละลาย As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เป็นพิษ อย่าให้ถูกผิวหนัง และห้ามใช้ปากดูดปิเปตเป็นอันขาด) เติน้ำลงในสารละลาย As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

ที่ปีเปตมา 25 ลบ.ซม. เติม  $\text{NaHCO}_3$  5 กรัม และน้ำแบ่ง 2 ลบ.ซม. คนสารละลายจนกระทั่ง  $\text{NaHCO}_3$  ละลายหมด แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายไอโอดีนอย่างช้า ๆ จนปรากฏสีน้ำเงิน ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง บันทึกผลและคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนเป็น นอร์แมล

#### 2.4) เตรียมสารละลาย 0.1 N โซเดียมไธโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )

ล้างขวดสีชาขนาด 500 ลบ.ซม. ให้สะอาดด้วยน้ำยาล้างแก้ว แล้วล้างด้วยน้ำ หลาย ๆ ครั้ง ต้มน้ำกลั่นประมาณ 500 ลบ.ซม. ให้เดือดเป็นเวลาประมาณ 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ ให้เย็นโดยปิดฝาไว้ ซึ่งผลึก  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ประมาณ 12.5 กรัม ละลายในน้ำต้มสุกที่เย็นแล้ว 500 ลบ.ซม. เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชาที่เตรียมไว้ ถ้าต้องการเก็บสารละลายไว้หลายวัน ควรเติม 0.1 กรัมของ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  หรือ 3 หยดของ chloroform ด้วย

#### 2.5) หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

ปีเปตสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (ที่เตรียมและหาความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วใน ข้อ 2.1) และ 2.3) จำนวน 25.0 ลบ.ซม. ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่นอีก 25 ลบ.ซม. ไทเทรตสารละลายด้วยสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  จากบิวเรตจนปรากฏว่าสารละลาย เป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2 ลบ.ซม. ไทเทรตต่อโดยเติม  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ช้า ๆ จนกระทั่งสารละลาย เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง การไทเทรตแต่ละครั้งไม่ควรต่าง กันเกิน 0.05 ลบ.ซม. ให้คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเป็นนอร์แมล

#### 2.6) เตรียมสารละลาย 0.01 N โซเดียมไธโอซัลเฟต

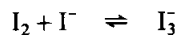
ปีเปตสารละลาย 0.1 N โซเดียมไธโอซัลเฟตที่เตรียมและหาความเข้มข้นที่แน่นอน แล้วจากข้อ 2.4) และ 2.5) มา 10 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 100 ลบ.ซม. แล้วเจือจาง ด้วยน้ำกลั่นต้มสุกที่เย็นแล้วให้มีปริมาตรพอดีขีด สารละลายนี้จะเจือจางกว่าสารละลายใน ข้อ 2.4) 10 เท่า

#### 2.7) การทดลองเพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการกระจาย (distribution coefficient, $K_d$ )

2.7.1 ปีเปตสารละลายไอโอดีนที่เข้มข้นใน  $\text{CCl}_4$  มา 5.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวย ขนาด 250 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่น 25 ลบ.ซม. เติมน้ำแบ่ง 5 ลบ.ซม. ไทเทรตสารละลายไอโอดีน นี้ด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.1 N โซเดียมไธโอซัลเฟต จนกระทั่งสารละลายใสไม่มีสี ให้เขย่า แรง ๆ ขณะที่ทำการไทเทรต ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

2.7.2 ปิเปตสารละลายไอโอดีนที่อิ่มตัวใน  $\text{CCl}_4$  มาอีก 20.0 ลบ.ซม. ใส่ในกรวยแยก (separatory funnel) ขนาด 300 ลบ.ซม. เติมน้ำกลั่น 200 ลบ.ซม. เขย่าทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายแยกชั้น ไซส่วนที่เป็นชั้น  $\text{CCl}_4$  ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ลบ.ซม. ใช้ปิเปตดูดสารละลายมา 5.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. (ทำทั้งหมด 3 ขวด) เติมน้ำกลั่น 25 ลบ.ซม. น้ำแป้ง 5 ลบ.ซม. ไทเทรตสารละลายด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.1 N โซเดียมไธโอซัลเฟตที่ละหยด จนกระทั่งได้สารละลายใสไม่มีสี บันทึกอุณหภูมิของชั้นน้ำด้วย

2.8) การทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (formation constant,  $K_f$ ) ของปฏิกิริยา



ปิเปตสารละลายไอโอดีนที่อิ่มตัวใน  $\text{CCl}_4$  20.0 ลบ.ซม. ลงในกรวยแยกที่สะอาด เติมน้ำกลั่น 190 ลบ.ซม. ปิเปตสารละลาย 2.0 M KI 10 ลบ.ซม. ใส่ลงในกรวยแยกด้วย เขย่ากรวยแยกทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้แยกชั้นไซส่วนที่เป็น  $\text{CCl}_4$  ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ลบ.ซม. ใช้ปิเปตดูดสารละลายชั้น  $\text{CCl}_4$  มา 5.0 ลบ.ซม. ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ลบ.ซม. จำนวน 3 ใบ เติมน้ำกลั่น 25 ลบ.ซม. เติมน้ำแป้ง 5 ลบ.ซม. ของน้ำแป้ง ไทเทรตสารละลายด้วยสารละลายมาตรฐาน 0.01 N โซเดียมไธโอซัลเฟต (ข้อ 2.6) จนกระทั่งปรากฏสารละลายใสไม่มีสี ทำการไทเทรตทั้ง 3 ขวด

หมายเหตุ : -

1. การเตรียมน้ำแป้งเพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยชั่งแป้ง (soluble starch) หนักประมาณ 1 กรัม ละลายน้ำประมาณ 20 ลบ.ซม. แล้วค่อย ๆ เทลงในน้ำเดือด 80 ลบ.ซม. ต้มให้เดือดต่อไปประมาณ 2 นาที เมื่อเย็นแล้วนำไปใช้ได้ ควรเตรียมใหม่ทุกวัน ควรใช้น้ำแป้ง 2 ลบ.ซม. ต่อสารละลายไทเทรต 10 ลบ.ซม.

2. เนื่องจากไอโอดีนเป็นสารที่ระเหิดได้ง่าย ดังนั้น หลังจากที่ทำกราดสกัดและแยกชั้นแล้ว ควรปิเปตมาทำการไทเทรตทันที ไม่ควรตั้งทิ้งไว้ เพราะจะทำให้ปริมาณไอโอดีนผิดไป

3. สารละลายไอโอดีนที่อิ่มตัวในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ที่นำมาใช้ทุกครั้ง ควรมา

จากขวดเดียวกัน

เมื่อได้ผลการทดลองแล้ว ให้บันทึกผลที่ได้ลงในสมุดแผนงานที่ได้เตรียมไว้แล้วล่วงหน้า ดังแสดงในตัวอย่างที่ 13.1

ตัวอย่างที่ 13.1 การบันทึกข้อมูลลงในตารางข้อมูลที่ได้เตรียมไว้แล้วล่วงหน้า

1. เตรียมสารละลายปฐุมภูมิ  $\text{As}_2\text{O}_3$  เข้มข้น 0.1 N จำนวน 500 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น. $\text{As}_2\text{O}_3$	34.1372
น.น.ขวดชั่ง	31.6356
น.น. $\text{As}_2\text{O}_3$	2.5016

2. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $\text{I}_2$  ใน KI

สารละลาย $\text{As}_2\text{O}_3$ ในขวด	สารละลาย $\text{I}_2$ ใน KI (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	25.80	25.70	25.75	25.75	น้ำแป้ง	ไม่มีสี → สีน้ำเงิน

3. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

สารละลาย $\text{I}_2$ ใน KI	ไทแทรนต์ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.	24.20	24.40	24.35	24.38	น้ำแป้ง	สีน้ำเงิน → ไม่มีสี

4. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_a$

สารละลาย $I_2$ ใน $CCl_4$ 5.0 ลบ.ซม.	0.1 N $Na_2S_2O_3$ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
ก่อนสกัด	10.95	10.95	10.90	10.93	น้ำแป้ง	สีน้ำเงิน → ไม่มีสี
หลังสกัด	9.35	9.30	9.35	9.33		

5. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_f$  ของปฏิกิริยา  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$

สารละลาย $I_2$ ใน $CCl_4$ 5.0 ลบ.ซม.	0.01 N $Na_2S_2O_3$ (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
หลังสกัด	8.85	8.90	8.95	8.90	น้ำแป้ง	สีน้ำเงิน → ไม่มีสี

หมายเหตุ ปริมาณ  $I_2$  ก่อนสกัดสำหรับการคำนวณเพื่อหาค่า  $K_f$  ให้ใช้ข้อมูลเดียวกับการไทเทรตข้อ 4

3. การคำนวณผล

จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 13.1 สามารถคำนวณหาค่า  $K_a$  และ  $K_f$  ของไอโอดีนได้ดังต่อไปนี้

3.1 หาคความเข้มข้นของสารละลายปฐมภูมิ  $As_2O_3$

จากน้ำหนักของ  $As_2O_3$  ที่ชั่งมา เท่ากับ 2.5016 จะนำมาเตรียมเป็นสารละลาย 500 ลบ.ซม.

$$\therefore N_{As_2O_3} = \frac{wt. As_2O_3}{eq. wt. As_2O_3} \times \frac{1000}{500}$$

จากสมการที่ 12.14 พิจารณาได้ว่า

$$eq \cdot wt \cdot As_2O_3 = \frac{M_r \cdot W \cdot As_2O_3}{4}$$

$$= \frac{197.84}{4} = 49.46$$

$$N_{\text{As}_2\text{O}_3} = \frac{2.5016}{49.46} \times \frac{1000}{500}$$

$$= 0.1012$$

### 3.2 หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนในโพแทสเซียมไอโอไดด์

จากการทดลองสารละลายปฐมภูมิ  $\text{As}_2\text{O}_3$  25.0 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายไอโอดีน 25.75 ลบ.ซม.

จากสูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$N_{\text{I}_2} = \frac{N_{\text{As}_2\text{O}_3} \times V_{\text{As}_2\text{O}_3}}{V_{\text{I}_2}}$$

$$= \frac{25.0 \times 0.1012}{25.75}$$

$$= 0.09825$$

### 3.3 หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

จากการทดลองสารละลายไอโอดีนในโพแทสเซียมไอโอไดด์ 25.0 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.38 ลบ.ซม.

$$\therefore N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{N_{\text{I}_2} \times V_{\text{I}_2}}{V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}$$

$$= \frac{0.09825 \times 25.0}{24.38}$$

$$= 0.1007$$

เมื่อเจือจางสารละลายลง 10 เท่า จะได้ความเข้มข้น = 0.01007 N

### 3.4 คำนวณหาค่า $K_d$

#### 3.4.1 หาปริมาณไอโอดีนที่อยู่ชั้นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ก่อนสกัด

ปริมาณของ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $\text{I}_2$  ใน  $\text{CCl}_4$  ก่อนสกัดจำนวน 5 ลบ.ซม.

มีค่าเท่ากับ 10.92 ลบ.ซม.

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความเข้มข้นของ } I_2 \text{ ก่อนสกัด} &= \frac{N_{Na_2S_2O_3} \times V_{Na_2S_2O_3}}{V_{I_2}} \\ &= \frac{10.93 \times 0.1007}{5} \\ &= 0.2201 \text{ N} \end{aligned}$$

จากการทดลองนำ  $I_2$  ที่อิมตัวใน  $CCl_4$  มา 20 ลบ.ซม. เพื่อทำการสกัด

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ที่มีอยู่ก่อนทำการสกัด} &= \frac{0.2201 \times 20}{1000} \\ &= 4.402 \times 10^{-3} \text{ กรัมสมมูล} \end{aligned}$$

### 3.4.2 หาปริมาณไอโอดีนที่อยู่ในชั้นคาร์บอนเตตระคลอไรด์หลังสกัด

หลังสกัดพบว่า  $I_2$  ใน  $CCl_4$  จำนวน 5 ลบ.ซม. จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ  $Na_2S_2O_3$  จำนวน 9.33 ลบ.ซม.

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความเข้มข้นของ } I_2 \text{ หลังสกัด} &= \frac{9.33 \times 0.1007}{5} \\ &= 0.1879 \text{ N} \end{aligned}$$

$\therefore$  ปริมาณ  $I_2$  ที่มีอยู่ใน  $CCl_4$  จำนวน 20 ลบ.ซม. หลังสกัด

$$\begin{aligned} &= \frac{0.1879 \times 20}{1000} \\ &= 3.758 \times 10^{-3} \text{ กรัมสมมูล} \end{aligned}$$

### 3.4.3 หาปริมาณไอโอดีนที่อยู่ในชั้นน้ำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ที่อยู่ในชั้นน้ำ} &= \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ใน } CCl_4 \text{ ก่อนสกัด} - \text{ปริมาณ } I_2 \text{ ใน } CCl_4 \text{ หลังสกัด} \\ &= 4.402 \times 10^{-3} - 3.758 \times 10^{-3} \\ &= 0.644 \times 10^{-3} \text{ กรัมสมมูล} \end{aligned}$$

### 3.4.4 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ )

$$\begin{aligned} K_d &= \frac{\text{ปริมาณ } I_2 \text{ ในชั้น } CCl_4 / \text{ปริมาตร } CCl_4}{\text{ปริมาณ } I_2 \text{ ในชั้นน้ำ} / \text{ปริมาตรของน้ำ}} \\ &= \frac{3.758 \times 10^{-3} / 20}{0.644 \times 10^{-3} / 200} = 58.35 \end{aligned}$$



หรืออาจใช้วิธีการเปลี่ยนปริมาณ  $I_2$  ในชั้นน้ำให้เป็นความเข้มข้นก่อน ดังนี้

$$N_{I_2} \text{ ใน } H_2O = 0.644 \times 10^{-3} \times \frac{1000}{200}$$

$$= 3.22 \times 10^{-3}$$

$$K_d = \frac{N_{I_2} \text{ ใน } CCl_4}{N_{I_2} \text{ ใน } H_2O}$$

$N_{I_2}$  ใน  $CCl_4$  คือ ความเข้มข้นของไอโอดีนในชั้น  $CCl_4$  หลังสกัด

$$K_d = \frac{0.1879}{3.22 \times 10^{-3}}$$

$$= 58.35$$

เนื่องจากการทดลองใช้ปริมาณของตัวทำละลายน้ำกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ไม่เท่ากัน ดังนั้น การคำนวณจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอโอดีนในชั้น  $CCl_4$  ก่อนและหลังสกัด ให้เป็นปริมาณกรัมสมมูลในปริมาตรของสารละลายที่นำมาสกัดเสียก่อน แล้วจึงค่อยนำมาหักลบกัน เพื่อหาปริมาณของไอโอดีนที่กระจายไปอยู่ในชั้นน้ำ แต่ถ้านำปริมาตรของน้ำและ  $CCl_4$  เท่ากัน เราสามารถคำนวณหาค่า  $K_d$  ได้ง่ายขึ้น โดยใช้ความเข้มข้นของไอโอดีนในชั้นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ก่อนสกัดและหลังสกัด ดังนี้

$$K_d = \frac{N_{I_2} \text{ หลังสกัด}}{N_{I_2} \text{ ก่อนสกัด} - N_{I_2} \text{ หลังสกัด}}$$

### 3.5 คำนวณหาค่า $K_f$ ของปฏิกิริยา $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$

เมื่อในชั้นน้ำมี KI อยู่ด้วย พบว่าสารละลาย  $I_2$  ใน  $CCl_4$  หลังสกัด จะทำปฏิกิริยาพอดีกับ 0.01007 N  $Na_2S_2O_3$  เท่ากับ 8.90 ลบ.ซม.

$$\therefore \text{ความเข้มข้นของ } I_2 \text{ หลังสกัด} = \frac{N_{Na_2S_2O_3} \times V_{Na_2S_2O_3}}{V_{I_2}}$$

$$= \frac{0.01007 \times 8.90}{5}$$

$$= 1.792 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$\text{ปริมาณ } I_2 \text{ ใน } CCl_4 \text{ หลังสกัดจำนวน 20 ลบ.ซม.} = \frac{1.792 \times 10^{-2} \times 20}{1000}$$

$$= 3.584 \times 10^{-4} \text{ กรัมสมมูล}$$

จากการคำนวณในข้อ 3.4 ได้ค่า  $K_d = 58.35$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad K_d &= \frac{[I_2]_{CCl_4}}{[I_2]_{aq}} \\ \therefore [I_2]_{aq} &= \frac{1.792 \times 10^{-2}}{58.35} \\ &= 3.071 \times 10^{-4} \text{ N} \\ &= 1.536 \times 10^{-4} \text{ M} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ปริมาณ  $I_2$  ในสารละลายของน้ำ จำนวน 200 ลบ.ซม.

$$\begin{aligned} &= \frac{3.071 \times 10^{-4} \times 200}{1000} \\ &= 6.142 \times 10^{-5} \text{ กรัมสมมูล} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 13.17

ปริมาณ  $I_3^- =$  ปริมาณ  $I_2$  ก่อนสกัด - ปริมาณ  $I_2$  หลังสกัด - ปริมาณ  $I_2$  ในชั้นน้ำ

เมื่อคำนวณได้แล้วว่า

ปริมาณ  $I_2$  ก่อนสกัด คำนวณได้จากข้อ 3.4.1

$$= 4.402 \times 10^{-3} \text{ กรัมสมมูล}$$

$$\text{ปริมาณ } I_2 \text{ หลังสกัด} = 3.584 \times 10^{-4} \text{ กรัมสมมูล}$$

$$\text{ปริมาณ } I_2 \text{ ในชั้นน้ำ} = 6.142 \times 10^{-5} \text{ กรัมสมมูล}$$

$$\therefore \text{ปริมาณ } I_3^- = 4.402 \times 10^{-3} - 3.584 \times 10^{-4} - 6.142 \times 10^{-5}$$

$$= 3.982 \times 10^{-3} \text{ กรัมสมมูล}$$

$$= 1.991 \times 10^{-3} \text{ โมล}$$

ปริมาณ  $I_3^-$  ที่มีอยู่นี้ อยู่ในสารละลาย 200 ลบ.ซม.

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความเข้มข้นของ } I_3^- &= \frac{1.991 \times 10^{-3} \times 1000}{200} \\ &= 9.955 \times 10^{-3} \text{ M} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ปริมาณ KI ที่นำมาใช้ทั้งหมดในตอนเริ่มต้น คือ 10 ลบ.ซม. เมื่อมีความเข้มข้น

2.0 M

$$\therefore \text{ปริมาณ } I^- \text{ เริ่มต้น} = \frac{2.0 \times 10}{1000}$$

$$= 2.0 \times 10^{-2} \text{ โมล}$$

เมื่อเกิด  $I_3^-$  1 โมล จะใช้  $I^-$  ไปเท่ากับ 1 โมลด้วย จากการคำนวณพบว่าเมื่อ  $I_3^-$  เกิดขึ้น  $1.991 \times 10^{-3}$  โมล แสดงว่าจะใช้  $I^-$  ไปเท่ากับ  $1.991 \times 10^{-3}$  โมลด้วย

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ } I^- \text{ ที่เหลือที่สมดุล} &= 2.0 \times 10^{-2} - 1.991 \times 10^{-3} \\ &= 1.801 \times 10^{-2} \text{ โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } I^- &= \frac{1.801 \times 10^{-2} \times 1000}{200} \\ &= 9.005 \times 10^{-2} \text{ M} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

แทนค่า (1), (2) และ (3) ลงในสมการของค่า  $K_f$

$$\begin{aligned} K_f &= \frac{[I_3^-]}{[I_2][I^-]} \\ &= \frac{9.955 \times 10^{-3}}{1.536 \times 10^{-4} \times 9.005 \times 10^{-2}} \\ &= 719.7 \end{aligned}$$

### กิจกรรมที่ 13.2

ให้นักศึกษาคำนวณหาค่า D (อัตราส่วนของการกระจาย) จากตัวอย่างข้อมูลในการไทเทรตหาค่า  $K_f$  ของตัวอย่างที่ 13.1 แล้วเปรียบเทียบกับค่า  $K_f$  ที่คำนวณได้ ผลที่ได้ซึ่งแตกต่างกัน สามารถอธิบายอะไรได้

## บทสรุป

ในการวิเคราะห์วิธีปริมาตรวิเคราะห์แบบเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวออกซิไดส์เป็นสารละลายมาตรฐานหรือไทเทรนต์ ทั้งนี้เพราะสารละลายของตัวรีดิวซ์สามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่ายด้วยออกซิเจนในอากาศ ถ้าต้องการใช้ตัวรีดิวซ์เป็นไทเทรนต์จะต้องยุ่งยากในการป้องกันสารละลายไม่ให้ถูกออกซิไดส์ การวิเคราะห์ที่สามารถใช้ตัวรีดิวซ์เป็นไทเทรนต์ได้ คือการใช้สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ซึ่งถูกออกซิไดส์ได้ยากด้วยออกซิเจนในอากาศ สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับตัวออกซิไดส์ไอโอดีน โดยมีอินดิเคเตอร์เฉพาะสำหรับหาจุดยุติได้อย่างถูกต้อง คือ น้ำแป้ง ดังนั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโซเดียมไฮโอซัลเฟตกับไอโอดีน จึงเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ใช้ในวิธีปริมาตรวิเคราะห์ได้ดี โดยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบต่าง ๆ ได้มากมาย ทำให้สามารถแยกการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีนมาศึกษาโดยเฉพาะให้เป็นเรื่องหนึ่งต่างหาก มีชื่อว่า Iodimetry & Iodometry ซึ่งมีเทคนิคในการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ การวิเคราะห์โดยตรง (Iodimetry) เป็นการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตระหว่างไอโอดีนกับโซเดียมไฮโอซัลเฟตโดยตรง ตัวอย่างของการวิเคราะห์แบบนี้ คือการทดลองที่ได้ปฏิบัติในบทเรียนนี้ โดยการใช้เทคนิคของการไทเทรตโดยตรงกับเทคนิคของการสกัด ก็จะทำให้สามารถหาค่า  $K_a$  และ  $K_f$  ของไอโอดีนได้ ส่วนการวิเคราะห์อีกเทคนิคหนึ่ง คือ วิธีอ้อม (Iodometry) เป็นการประยุกต์การไทเทรตระหว่างไอโอดีนกับไฮโอซัลเฟตมาวิเคราะห์หาปริมาณสารต่าง ๆ เช่น การหาปริมาณทองแดง คลอเรต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน อาร์ซีนิก ซัลไฟรัส ซัลไฟท์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฯลฯ การวิเคราะห์ทำได้โดยให้สารประกอบเหล่านี้ ทำปฏิกิริยากับตัวรีดิวซ์ไอโอดีนที่มากเกินไป ผลที่เกิดขึ้นคือ ไอโอดีน จากนั้นจึงไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ซึ่งปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะสมมูลกับสารประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณได้

## คำถามท้ายบท

1. ทำไมการไทเทรตสารละลาย  $I_2$  ด้วย  $Na_2S_2O_3$  จึงต้องเติมน้ำแข็งลงไปในการละลายเมื่อใกล้ ๆ ถึงจุดยุติ
  2. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $I_2$  ด้วย  $As_2O_3$  ต้องเติม  $NaHCO_3$  ลงในสารละลาย  $As_2O_3$  ด้วย เพราะเหตุใด
  3. อิทธิพลของ pH มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย  $Na_2S_2O_3$  อย่างไร
  4. อัตราส่วนของการกระจายและสัมประสิทธิ์ของการกระจายแตกต่างกันอย่างไร
  5. ทำไมการเตรียมสารละลายไอโอดีนในน้ำ จึงต้องใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ที่ปราศจากไอโอดेट
  6. ทำไมสารละลายโซเดียมโซลเฟตจึงมีฤทธิ์เป็นกรดไม่ได้
  7. จงอธิบายวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย
  8. จงคำนวณหาความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลาย ที่ประกอบด้วยไอโอดีน 10.0 กรัม และ KI 20.0 กรัม ในสารละลาย 1 ลบ.ดม.
  9. จงคำนวณหาค่า  $K_d$  ของ  $I_2$  ที่กระจายระหว่างชั้นน้ำกับ  $CCl_4$  ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีดังนี้
    - 100 ลบ.ซม. ของชั้นน้ำทำปฏิกิริยาพอดีกับ 13.72 ลบ.ซม. ของ 0.01239 F  $Na_2S_2O_3$
    - 2.00 ลบ.ซม. ของชั้น  $CCl_4$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 23.87 ลบ.ซม. ของ 0.01239 F  $Na_2S_2O_3$ถ้านำ  $I_2$  มาสกัดระหว่าง  $CCl_4$  กับ 0.100 F KI แล้วนำแต่ละชั้นมาทำการไทเทรต จะได้ผลการทดลองดังนี้
    - 2.00 ลบ.ซม. ของชั้น  $CCl_4$  ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 17.20 ลบ.ซม. ของ 0.01239 F  $Na_2S_2O_3$
    - 5.00 ลบ.ซม. ของชั้นสารละลาย KI ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 25.93 ลบ.ซม. ของ 0.01239 F  $Na_2S_2O_3$จงคำนวณหาค่า  $K_f$  ของปฏิกิริยา  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$
-

# ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

## ผลการทดลองบทที่ 13

เรื่อง การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีน

ก. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ ) ของไอโอดีนระหว่างชั้นน้ำกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์

ข. หาค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ( $K_f$ ) ของปฏิกิริยา  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$

ผู้ทดลอง 1. .... รหัส .....

2. .... รหัส .....

3. .... รหัส .....

ตอนที่ ..... กลุ่มที่ .....

ทำการทดลองวันที่ .....

1. เตรียมสารละลายปฐมภูมิ  $As_2O_3$  เข้มข้น 0.1 N จำนวน 500 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น. $As_2O_3$ น.น.ขวดชั่ง น.น. $As_2O_3$	

2. หาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนใน KI

สารละลาย $As_2O_3$	สารละลาย $I_2$ ใน KI (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

# ตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

## ผลการทดลองบทที่ 13

เรื่อง การไทเทรตที่เกี่ยวข้องกับไอโอดีน

ก. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ( $K_d$ ) ของไอโอดีนระหว่างชั้นน้ำกับคาร์บอนเตตระคลอไรด์

ข. หาค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ( $K_f$ ) ของปฏิกิริยา  $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$

ผู้ทดลอง 1. .... รหัส.....  
2. .... รหัส.....  
3. .... รหัส.....

ตอนที่..... กลุ่มที่.....

ทำการทดลองวันที่.....

I. เตรียมสารละลายปฐมภูมิ  $As_2O_3$  เข้มข้น 0.1 N จำนวน 500 ลบ.ซม.

สิ่งที่ต้องชั่ง	น้ำหนักเป็นกรัม
น.น.ขวดชั่ง + น.น. $As_2O_3$ น.น.ขวดชั่ง น.น. $As_2O_3$	

2. หาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไอโอดีนใน KI

สารละลาย $As_2O_3$	สารละลาย $I_2$ ใน KI (ลบ.ซม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0 ลบ.ซม.						

3. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

สารละลาย $\text{I}_2$ ใน KI	ไทเทรนต์ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0						

4. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_d$

$\text{I}_2$ ใน $\text{CCl}_4$ ๑.๐ ลบ.ชม.	0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	๑	เฉลี่ย		
ก่อนสกัด						
หลังสกัด						

5. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_f$  ของปฏิกิริยา  $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$

$\text{I}^*$ ใน $\text{CCl}_4$ 5.0 ลบ.ชม.	0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		



3. หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

สารละลาย $\text{I}_2$ ใน KI	ไทเทรนต์ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
25.0						

4. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_d$

$\text{I}_2$ ใน $\text{CCl}_4$ 5.0 ลบ.ชม.	0.1 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		
ก่อนสกัด						
หลังสกัด						

5. การไทเทรตเพื่อหาค่า  $K_f$  ของปฏิกิริยา  $\text{I}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_3^-$

$\text{I}_2$ ใน $\text{CCl}_4$ 5.0 ลบ.ชม.	0.01 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ลบ.ชม.)				อินดิเคเตอร์	การเปลี่ยนแปลงสี ของอินดิเคเตอร์
	1	2	3	เฉลี่ย		