

### 1. จุดประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาถึงความเสถียรของธาตุที่มีสถานะออกซิเดชันมากกว่าหนึ่งค่า เมื่อเป็นสารละลาย และการเตรียมทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์ (I) ซัลเฟต และดูปฏิกิริยาเปรียบเทียบระหว่างคอปเปอร์ (II) กับคอปเปอร์ (I)

### 2. บทนำ

ธาตุที่มีสถานะออกซิเดชันมากกว่า 1 ค่าในสารละลายที่เป็นน้ำ แต่ละสถานะออกซิเดชันจะมีความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกต่างกัน สามารถพิจารณาความเสถียรสัมพัทธ์ระหว่างสถานะออกซิเดชัน 2 ค่าในสารละลาย โดยเขียนในเทอมของศักย์ไฟฟ้า (electrod potencial) ดังนี้



ศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่มีไอออน  $M^{b+}$  และ  $M^{a+}$  กำหนดได้โดยสมการของเนอรัส ดังนี้

$$E = E^\circ + \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[M^{a+}]}{[M^{b+}]}$$

โดยที่ Z = จำนวนอิเล็กตรอนต่อไอออนที่ถ่ายเทที่ขั้วไฟฟ้า

F = ค่าคงที่ฟาราเดย์ = 96500 คูลอมป์

E = ศักย์ของสารละลาย

$E^\circ$  = ศักย์มาตรฐาน

$[M^{a+}]$  = ความว่องไวของปฏิกิริยาของ  $M^{a+}$  ไอออนในสารละลาย

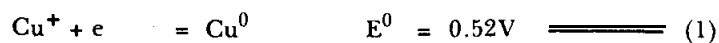
$[M^{b+}]$  = ความว่องไวของปฏิกิริยาของ  $M^{b+}$  ไอออนในสารละลาย

ดังนั้น ถ้าเติมสารใดสารหนึ่งลงในสารละลายแล้วทำให้ความเข้มข้นของ  $M^{a+}$  ไอออน หรือ  $M^{b+}$  ไอออนตัวใดตัวหนึ่งลดลง อัตราส่วนของ  $[M^{a+}]/[M^{b+}]$  ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ซึ่งจะทำให้ศักย์ของสารละลายเปลี่ยนไปด้วย พบว่าถ้า  $[M^{a+}]$  มีค่าลดลง ศักย์ของสารละลายก็จะมีค่าเป็นบวกน้อยลง หรือปฏิกิริยาเกิดจากซ้ายไปขวาได้น้อยลง นั่นคือ สถานะออกซิเดชันที่สูงกว่า

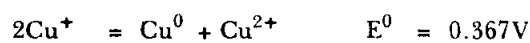
จะมีความเสถียรมากกว่า ในปฏิกิริยาข้างต้นก็คือ  $M^{a+}$  อีออนที่เสถียรมากกว่า ในทางกลับกันถ้า  $M^{b+}$  อีออนมีค่าลดลง ศักย์ของสารละลายจะมีความเป็นบวกมากขึ้น หรือปฏิกิริยาจะเกิดจากซ้ายไปขวาได้มากขึ้น นั่นคือ สถานะออกซิเดชันที่ต่ำกว่าจะมีความเสถียรมากกว่า ซึ่งก็คือ  $M^{b+}$  ที่เสถียรมากกว่า ดังจะเห็นว่า จากค่าศักย์ของปฏิกิริยาชี้ให้เห็นว่า การเกิดเป็นสารประกอบอาจทำให้ความเสถียรของสถานะออกซิเดชันที่สูงอาจเพิ่มหรือลดก็ได้ ดังนั้น การเพิ่มความเสถียรให้แก่อีออนของธาตุบางอย่างซึ่งมีสถานะออกซิเดชันที่ไม่ค่อยพบในสภาพปกติ โดยการเติมสารอื่นที่สามารถไปลดความเข้มข้นของอีออนในสถานะออกซิเดชันนั้น ก็ทำให้สารนั้นเสถียรได้

ตัวอย่างของสารที่เสถียรในสถานะออกซิเดชันที่ไม่ค่อยเกิดในสภาพปกติ เช่น คอปเปอร์ (I) คอปเปอร์มีโครงสร้างอิเล็กตรอนรอบนอกเป็น  $3d^{10} 4s^1$  และซิลเวอร์เป็น  $4d^{10} 5s^1$  ซึ่งโครงสร้างอิเล็กตรอนรอบนอกเหมือนกันแต่ความเสถียรของออกซิเดชันสเทตต่างกัน โดยที่คอปเปอร์มีสถานะออกซิเดชันปกติเป็น Cu (II) แต่ซิลเวอร์เป็น Ag (I) แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถเตรียมสารประกอบที่เสถียรของ Cu (I) ในสารละลาย หรือสารประกอบ Ag (II) ได้

จากศักย์มาตรฐาน โดยอาศัยสัญญาณียม \*ไอยูแพค (IUPAC convention) ของปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



จะเห็นว่า  $\text{Cu}^+$  อีออนไม่เสถียรในสารละลาย เพราะมันเกิดปฏิกิริยาดิสพรอพพอร์ชันเนชัน (disproportionation) ให้  $\text{Cu}^0$  และ  $\text{Cu}^{2+}$  อีออน ที่เสถียรมากกว่าดังนี้



เนื่องจากค่า E ของปฏิกิริยา (2) คือ  $\text{Cu}^{2+} + e = \text{Cu}^+$  ถูกกำหนดโดยสมการของเนออร์ส ดังนี้

$$E = E^0 + \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[\text{Cu}^{2+}]}{[\text{Cu}^+]}$$

### \*ข้อสังเกต

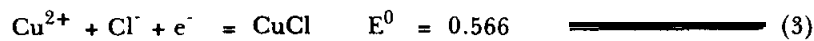
สัญญาณียมไอยูแพค สำหรับศักย์ไฟฟ้านี้แตกต่างจากสัญญาณียมที่ใช้ในตำราอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าในรูปของศักย์ออกซิเดชัน เช่น  $\text{Cu}^0 = \text{Cu}^+ + e^- \quad E^0 = -0.52\text{V}$

ค่าศักย์ไฟฟ้าทั้ง 2 สัญญาณียมจะเหมือนกัน แต่ต่างกันที่เครื่องหมาย เพราะฉะนั้นในการใช้สัญญาณียมต้องตรวจดูให้แน่ใจว่าเป็นศักย์ออกซิเดชัน หรือศักย์รีดักชัน

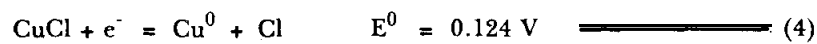
ดังนั้นเมื่อใส่สารใดสารหนึ่งลงในสารละลาย แล้วทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออนถูกลดลง แต่ความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^{2+}$  อีออนเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย มีผลทำให้ค่า ศักย์ไฟฟ้า, E เพิ่มขึ้น วิธีลดความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออน ทำได้ 2 วิธี

### 2.1 ทำให้ตกตะกอนในรูปของเกลือที่ไม่ละลาย (insoluble salt)

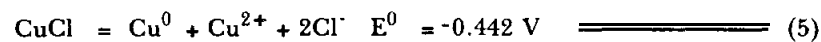
โดยการเติมอีออนบางชนิดที่สามารถเกิดเป็นเกลือที่ไม่ละลายกับ  $\text{Cu}^+$  อีออน แต่ต้องไม่สามารถเกิดได้กับ  $\text{Cu}^{2+}$  อีออน เช่น คอปเปอร์ (I) คลอไรด์ เป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ และความเสถียรที่เพิ่มขึ้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออน แสดงได้โดยศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยาดังนี้



ศักย์ของปฏิกิริยาของสมการ (3) มีมากกว่าในปฏิกิริยาของสมการ (2) และความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออนที่ลดลง หลังจากการเติม  $\text{Cl}^-$  อีออน ก็เหมือนกับการทำให้  $\text{Cu}^0$  เปลี่ยนไปเป็น  $\text{Cu}^+$  อีออน หรือความเสถียรของ  $\text{Cu}^+$  อีออนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ  $\text{Cu}^0$  ดังนั้นศักย์ของปฏิกิริยาที่มี  $\text{Cl}^-$  อีออน ไปทำให้เกิดตะกอนเป็นคอปเปอร์ (I) คลอไรด์ ก็จะเป็น



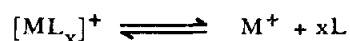
เมื่อรวมสมการ (3) และ (4) จะได้



จากค่า  $E^0$  แสดงว่าจะไม่เกิดปฏิกิริยาดิสพรอพพอร์ชันเนชัน (disproportionation) ของ  $\text{CuCl}$  ไปเป็น  $\text{Cu}^0$  และ  $\text{Cu}^{2+}$  แต่ปฏิกิริยาจะเกิดจากขวาไปซ้าย ซึ่งทำให้  $\text{Cu}^+$  อีออนอยู่ในรูป  $\text{CuCl}$  มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

### 2.2 ทำให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำ (soluble compound)

การเพิ่มความเสถียรของ  $\text{Cu}^+$  อีออน โดยการเปลี่ยนให้มันอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน และถ้าสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเสถียรพอตามสมดุลงต่อไปนี้



ถ้าปฏิกิริยาเกิดไปทางซ้าย ความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออนก็จะลดลงมาก ลิแกนด์ที่เกิดพันธะกับโลหะ นอกจากจะเกิดพันธะแบบซิกมา ( $\sigma$ ) แล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวรับไพอิเล็กตรอน ( $\pi$ -electron acceptors) ซึ่งการเกิดพันธะไพระหว่างโลหะกับลิแกนด์ เป็นผลทำให้สารประกอบเชิงซ้อนนั้นมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ถ้าโลหะอีออนมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูง มันจะพยายามให้อิเล็กตรอนแก่ลิแกนด์มากยิ่งขึ้น ความแข็งแรงของพันธะไพก็จะไปเพิ่มความเสถียรให้กับสารประกอบเชิงซ้อนมากยิ่งขึ้น โลหะที่มีสถานะออกซิเดชันต่ำจะมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากและทำให้เกิดพันธะไพได้ดี โดยเฉพาะไทโอยูเรีย ( $\begin{matrix} \text{H}_2\text{N} \\ \text{H}_2\text{N} \end{matrix} > \text{C}=\text{S}$ ) เป็นลิแกนด์ที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้  $\text{Cu}^+$

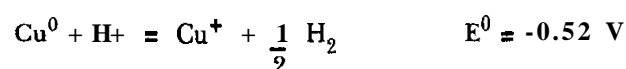
ไอออนในสารละลายเสถียรอยู่ได้โดยเกิดการโคออดิเนตระหว่าง  $\text{Cu}^+$  อีออนกับซัลเฟอร์อะตอมผ่านทางพันธะไพ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ ทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์ (II) อีออน โดยปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งไม่มีปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้น (โดยดูจากค่าศักย์ข้างล่างนี้) แต่เมื่อเติมไทโอยูเรียลงไป ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ และทำให้ก๊าซไฮโดรเจนถูกปล่อยออกมา

ศักย์ของปฏิกิริยาเป็นดังนี้



ดังนั้นปฏิกิริยารวมเป็น



ภายใต้สภาวะที่กำหนด จะเห็นว่าปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไฮโดรคลอริกจะไม่เกิดขึ้นเพราะค่าศักย์ไฟฟ้า  $E^0 < 0$  แต่ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของ  $\text{Cu}^+ + e = \text{Cu}^0$  มีค่า  $\leq 0$  ปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไฮโดรคลอริกจะเกิดขึ้นได้ โดยวิธีนี้ก็คือ จะต้องทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออนลดลงมาก ๆ

จากสมการ

$$-E = 0 = E^0 + \frac{R}{ZF} T \ln \frac{[\text{Cu}^+]}{[\text{Cu}^0]}$$

เมื่อ  $T = 298.15$  องศาเซลวิน

$$[\text{Cu}^0] = 1$$

$$E^0 = 0.52$$

จะได้  $\log [\text{Cu}] = -8.8$

จากการคำนวณความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออน ในสารละลายได้เท่ากับ  $10^{-8.8}$  จะเห็นว่าความเข้มข้นสูงสุดของ  $\text{Cu}^+$  อีออน จะต้องน้อยกว่า  $10^{-8.8} \text{ M}$  จึงทำให้ปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไฮโดรคลอริกจึงทำให้ปฏิกิริยาระหว่างทองแดงกับกรดไฮโดรคลอริกเกิดขึ้นได้ ซึ่งทำได้โดยการใส่ไทโอยูเรีย แล้วมันจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^+$  อีออนถูกลดลงมาก

### 3. การทดลอง

#### 3.1 เตรียมคอปเปอร์ (I) คลอไรด์

##### 3.1.1 สารเคมีที่ใช้

คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ ไฮเดรต

โซเดียมซัลไฟท์

กรดอะซีติก

##### 3.1.2 วิธีเตรียม

- 1) ละลาย 5 กรัม ของโซเดียมซัลไฟท์ ในน้ำ 25 มิลลิลิตร
- 2) ละลาย 8.0 กรัม คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ ในน้ำ 15 มิลลิลิตร
- 3) เตรียมกรดซัลฟูริกเจือจางโดยละลาย 0.5 กรัม ของโซเดียมซัลไฟท์

ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และเติม 2 M กรดไฮโดรคลอริก 6 มิลลิลิตร

ใช้สารละลายจาก (2) ใส่ในบีกเกอร์และคนตลอดเวลา (ใช้ที่คนแบบแมกเนติก) เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟท์ จาก (1) อย่างช้า ๆ จะเกิดสารละลายแขวนลอยสีขาวของคอปเปอร์ (I) คลอไรด์ ทำให้สารที่ได้เจือจางด้วยกรดซัลฟูริกจาก (3) ประมาณครึ่งหนึ่ง ตั้งทิ้งไว้สักครู่ หลังจากนั้นรินเอาส่วนใสข้างบนทิ้ง กรองตะกอนด้วยเบ้าช้อนเตออร์ ล้างกรดที่ติดอยู่ด้วยน้ำโดยพยายามไม่ให้ผิวตะกอนสัมผัสกับอากาศ แล้วล้างด้วยกรดอะซีติก, แอลกอฮอล์ และอีเธอร์ ทำให้ตะกอนแห้งในเดซิเคเตอร์แบบสุญญากาศ (Vacuum desiccator)

##### 3.1.3 เปรียบเทียบปฏิกิริยาของคอปเปอร์ (I) และคอปเปอร์ (II)

- 1) วางสารตัวอย่างของ  $\text{CuCl}$  และ  $\text{CuCl}_2$  ให้ถูกอากาศประมาณ 2-3 ชั่วโมง
- 2) ดูการละลายของ  $\text{CuCl}$  และ  $\text{CuCl}_2$  ในน้ำ และเมื่อเติม  $\text{KCl}$  จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
- 3) เติม  $\text{KI}$  ลงในสารละลาย  $\text{CuCl}$  และ  $\text{CuCl}_2$
- 4) เติมสารละลายเจือจางของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงใน  $\text{CuCl}$  และ  $\text{CuCl}_2$  บันทึกการเปลี่ยนสี จากนั้นให้เติมกลูโคสแล้วอุ่น

จากการทดลองทั้ง 4 ข้อ ให้บันทึกผลการสังเกตอย่างระมัดระวัง สรุปผลและอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

#### 3.2 เตรียมทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์ (I) ซัลเฟต

##### 3.2.1 สารเคมีที่ใช้

ไทโอยูเรีย

## คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

### 3.2.2 วิธีเตรียม

เตรียมสารละลายดังต่อไปนี้

- 1) ไทโอยูเรีย 2.5 กรัม ในน้ำ 15 มิลลิลิตร
- 2) ไทโอยูเรีย 1.0 กรัม ในน้ำ 10 มิลลิลิตร
- 3) ไทโอยูเรีย 0.15 กรัม ในน้ำ 30 มิลลิลิตร ซึ่งมี 1 M กรดซัลฟูริก 2-3 หยด
- 4) คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 2.5 กรัม ในน้ำ 15 มิลลิลิตร

ทำให้สารละลาย จาก 1) และ 4) เย็นโดยแช่ในภาชนะที่ใส่น้ำแข็ง จากนั้นเอาสารละลายคอปเปอร์ (II) ที่เย็นนั้นค่อย ๆ เทลงในสารละลายไทโอยูเรียที่เย็น พร้อมกับคนสารละลายผสมนั้นอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งสารละลายคอปเปอร์ (II) ถูกเติมลงไปจนหมด ตั้งสารละลายผสมไว้จนมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดเป็นรูปผลึกสีขาวหรืออาจจะมึลักษณะคล้ายหยดน้ำมันเกาะข้างปิกเกอร์ เอาสารละลายไทโอยูเรียจาก 2) เทลงในสารละลายผสมที่ตั้งไว้ พร้อมกับคนอย่างแรงแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ กรองผลึกสีขาวที่ได้แบบการกรองภายใต้ความดัน

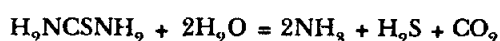
ตกผลึกใหม่ของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการละลายในสารละลายไทโอยูเรียจาก 3) และควรทำให้ร้อนประมาณ 75 องศาเซนติเกรด เพื่อละลายผลิตภัณฑ์ได้หมด จากนั้นทำให้อุณหภูมิเย็นจะทำให้ผลึกสีขาว กรองผลึกที่ได้ภายใต้ความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น 2-3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 5 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์ 2-3 ครั้ง ๆ ละประมาณ 5 มิลลิลิตร ตั้งไว้ให้แห้งบนกรวยกรอง ซึ่งผลิตภัณฑ์และบันทึกผลที่ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำอยู่ 2 โมล

### 3.3 การหาอัตราเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซัลเฟตในผลิตภัณฑ์

จะต้องทำให้สารประกอบเชิงซ้อนสลายตัวก่อนที่จะหาปริมาณซัลเฟตที่มีอยู่ มิฉะนั้น เมื่อใส่แบเรียมคลอไรด์ ( $\text{BaCl}_2$ ) ลงไป สารประกอบของไทโอยูเรียก็จะตกตะกอนลงมาด้วย \* สารประกอบเชิงซ้อนสามารถทำให้สลายตัวได้โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ดังนี้ : ซังสารประกอบเชิงซ้อน ทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์ (I) ซัลเฟตไดไฮเดรต ที่เตรียมได้ 0.3 กรัม (ซึ่งอย่างละเอียด) นำมาต้มกับสารละลาย 2 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 มิลลิลิตร จนกระทั่งไม่มี

---

\*ข้อสังเกต: ในการตกผลึกใหม่ของผลิตภัณฑ์ ทำในสารละลายกรด แสดงว่าสารประกอบเชิงซ้อนตัวนี้ถูกทำให้สลายตัวได้ด้วยด่าง และไทโอยูเรียก็ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่างได้เช่นเดียวกัน ดังปฏิกิริยา



ก๊าซแอมโมเนียถูกปล่อยออกมาอีก และคอปเปอร์จะตกตะกอนในรูปของคอปเปอร์ซัลไฟด์ ตั้งไว้ให้เย็น กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำเย็น เอาส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้จากการกรอง (filtrate) รวมทั้งน้ำล้างตะกอน มาทำให้เป็นกรดด้วย 2 M กรดไฮโดรคลอริก แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ ซัลเฟต โดยการตกตะกอน (ดูวิธีการวิเคราะห์ซัลเฟตจากหนังสืออ้างอิง 7)

3.4 การหาอัตราเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคอปเปอร์โดยวิธีไอโอดิเมตริก ดังนี้  
ชั่งสารประกอบเชิงซ้อนที่ได้อย่างละเอียดประมาณ 0.5 กรัม ต้มกับสารละลาย 50% กรดไนตริก 20 มิลลิลิตร และระเหยสารละลายนี้อย่างระมัดระวัง (ควรทำในตู้ควันและใช้ กระจกนาฬิกาปิดปากขวดแก้ว) จนสารละลายเหลือประมาณ 2 มิลลิลิตร ตั้งไว้ให้เย็น ล้างข้าง ขวดแก้วและก้นกระจกนาฬิกา แล้วทำให้สารละลายเจือจางมีปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย 2 M แอมโมเนีย จนกระทั่งเกิดตะกอนสีฟ้าอ่อน ละลายตะกอนด้วย 2 M กรดอะซิติกในปริมาณที่น้อยที่สุด แล้วเติมสารละลาย 50% โปแตสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร ไตเตรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วย สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (ดูในภาคผนวก ง)

3.5 วัดอินปริมาตรสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์  
(I) ซัลเฟต

แบบรายงานแสดงข้อมูลการทดลอง

การหาอัตราเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของซัลเฟตโดยการตกตะกอน

สารตัวอย่าง	1	2
น้ำหนักของซัลเฟต/กรัม น้ำหนักของสารตัวอย่าง/กรัม อัตราเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซัลเฟต		

การหาอัตราเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของคอปเปอร์โดยวิธีไอโอดิเมตริก

สารตัวอย่าง	1	2
ปริมาตรโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ น้ำหนักของสารตัวอย่าง อัตราเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก		

การเทียบมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

ปริมาตรของโปแตสเซียมไอโอเดท/25มล.	1	2
ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่อ่าน(มล.)		
ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ (มล.)		



### คำถามท้ายบท

- 1) อธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบระหว่าง  $\text{CuCl}$  และ  $\text{CuCl}_2$  ในสารละลาย  $\text{KCl}$ ,  $\text{KI}$  และ  $\text{NaOH}$
- 2) จงวาดรูปลิแกนด์ออร์บิทัล ที่เกิดพันธะแบบไพ กับ  $\text{Cu}^+$  อีออน
- 3) โครงสร้างของทริส (ไทโอยูเรีย) คอปเปอร์ (I) ซัลเฟต เป็นอย่างไร
- 4) จากการวัดอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อน พันธะโคออดิเนตที่เกิดระหว่าง  $\text{Cu}^+$  อีออน กับไทโอยูเรียนั้น ใช้ในโตรเจนอะตอม หรือซัลเฟอร์อะตอม