

บทที่ 3

ภาวะสมดุล และจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง

3.1 การศึกษาภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง

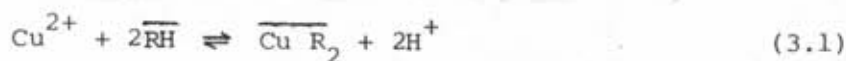
การศึกษามภาวะสมดุลและจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง มีผู้ทำการศึกษามากมายแล้ว อาทิเช่น Hanson (1971) กำหนดทฤษฎีเบื้องต้นในการศึกษาภาวะสมดุลและจลนศาสตร์ การศึกษาเฉพาะตัวสกัดชนิด hydroxyoxime มีผู้ศึกษาในด้านต่าง ๆ หลายรายได้แก่ Whewell และคณะ (1975, 1976) Dalton และคณะ (1976) Hummelstedt (1977) Van der Zeeuw และ Kok (1977) Hosking และ Rice (1978) และ Kojima และคณะ (1979)

การศึกษามภาวะสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตทองแดงนั้น โดยทั่วไปจะเป็นการศึกษาในด้านต่าง ๆ ดังนี้ 1) ความสามารถในการสกัดทองแดงของตัวสกัดที่ภาวะสมดุล 2) องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อภาวะสมดุล เช่น ความเข้มข้นของตัวสกัด และสภาพของสารละลายทองแดงที่ได้จากการละลายแร่ด้วยกรด 3) การหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อภาวะสมดุลกับความสามารถในการสกัดทองแดงของตัวสกัดที่ภาวะสมดุล ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในการคาดคะเนขีดความสามารถในการทำงานของตัวสกัด เพื่อนำไปใช้สร้างโรงงาน หรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตทองแดงโดยวิธีสกัดทองแดงด้วยตัวสกัดชนิด hydroxyoxime

การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อภาวะสมดุลกับความสามารถในการสกัดทองแดงของตัวสกัด สามารถแบ่งประเภทการศึกษาได้ตามลักษณะการใช้ตัวสกัดกับชนิดของสารละลายทองแดงที่ได้จากการละลายแร่ด้วยกรด ได้ 3 ประเภทดังนี้

3.1.1 การใช้สารละลายตัวสกัด เพื่อสกัดทองแดงจากสารละลายที่มีความเข้มข้นของทองแดงต่ำมาก

การสกัดทองแดงด้วยตัวสกัดชนิด hydroxyoxime สามารถแสดงปฏิกิริยาการสกัดทองแดงได้ดังนี้



ลักษณะการทำปฏิกิริยาสกัดทองแดงของตัวสกัด hydroxyoxime แสดงในรูปที่ 3.1 (Attwood และ Miller, 1971) โดยโมเลกุลของตัวสกัด 2 โมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของประจุทองแดง 1 โมเลกุลเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างประจุทองแดงกับตัวสกัดแล้วละลายอยู่ในสารละลายตัวสกัด พร้อมทั้งมีการปล่อยประจุ H^+ ออกมาละลายอยู่ในสารละลายกรด จะเห็นได้ว่าเมื่อปฏิกิริยาคำเนินไปช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเกิดประจุ H^+ เพิ่มมากขึ้นจนปฏิกิริยาการสกัดทองแดงไม่สามารถดำเนินต่อไปได้เนื่องจากเกิดสภาพสมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งสมการแสดงค่า equilibrium constant สามารถแสดงได้ดังนี้

$$K_{ex} = \frac{[\overline{CuR_2}] [H^+]^2}{[Cu^{2+}] [\overline{RH}]^2} \quad (3.2)$$

ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์การกระจายของทองแดงในสารละลาย (distribution coefficient) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับความเข้มข้นทองแดงในสารละลายกรด ดังนั้น

$$D = \frac{[\overline{CuR_2}]}{[Cu^{2+}]}$$

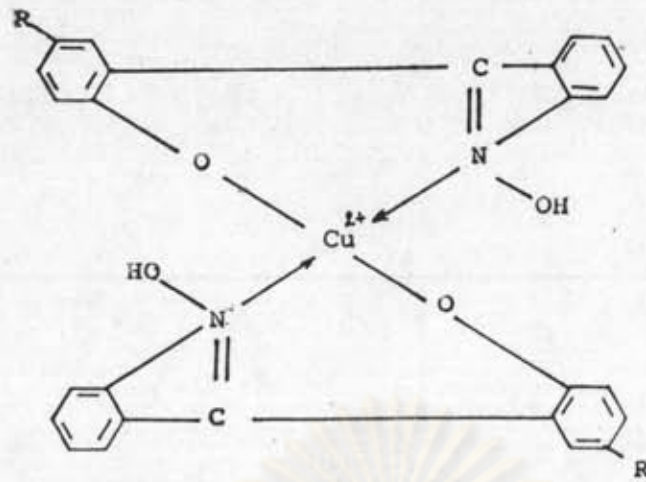
เนื่องจากสารละลายกรดมีความเข้มข้นทองแดงต่ำ การแตกตัวเป็นประจุทองแดง (Cu^{2+}) ของทองแดงในสารละลายกรด จึงสามารถแตกตัวเป็นประจุทองแดงได้เกือบหมด ดังนั้นค่าความเข้มข้นของประจุทองแดง, $[Cu^{2+}]$ จึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นทองแดงทั้งหมด, $[Cu^{2+}]_{total}$ ดังนั้น

$$D = \frac{[\overline{CuR_2}]}{[Cu^{2+}]} = \frac{[\overline{CuR_2}]}{[Cu^{2+}]_{total}}$$

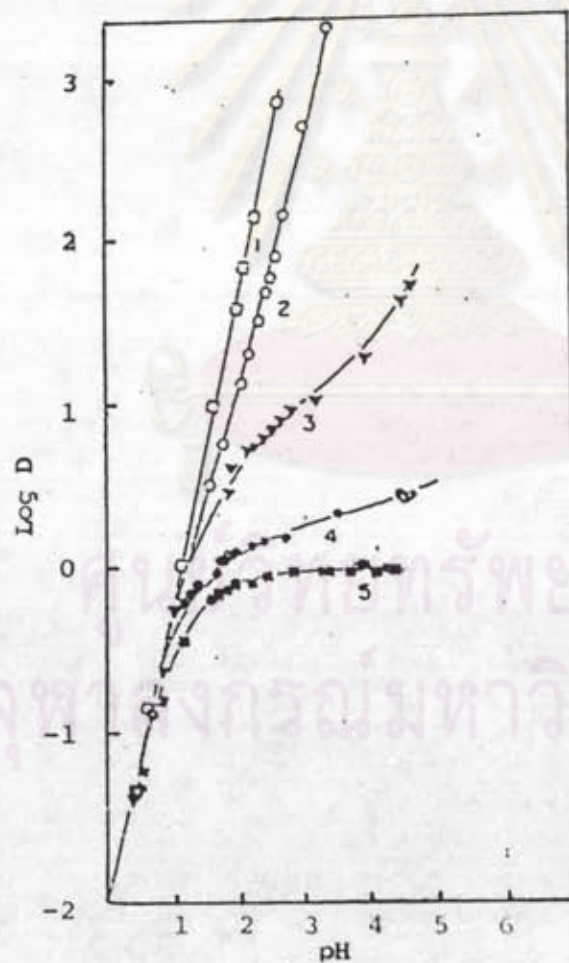
และจากสมการที่ 3.2 จะได้ $K_{ex} = \frac{D [H^+]^2}{[\overline{RH}]^2}$

$$D = \frac{K_{ex} [\overline{RH}]^2}{[H^+]^2} \quad (3.3)$$

$$\log D = \log K_{ex} + 2 \log [\overline{RH}] + 2pH \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.1 รูปแสดงการจับประจุทองแดง



รูปที่ 3.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงกับค่า pH

ของสารละลายทองแดงเมื่อใช้สารละลาย 10 % vol LIX64N กับสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นดังนี้ 1. 0.025 กรัมโมลต่อลิตร ; 2. 0.04 กรัมโมลต่อลิตร ; 3. 0.05 กรัมโมลต่อลิตร ; 4. 0.075 กรัมโมลต่อลิตร ; 5. 0.10 กรัมโมลต่อลิตร. (Laskshman และคณะ, 1975)

ถ้า $[\overline{RH}]$ มีค่าคงที่

$$\left(\frac{\partial (\log D)}{\partial pH} \right)_{[\overline{RH}]} = 2$$

เนื่องจากความเข้มข้นของตัวสกัดในสารละลายตัวสกัด มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของประจุทองแดงในสารละลายทองแดงอย่างมาก กล่าวคือ $[\overline{RH}] \gg [Cu^{2+}]$ ดังนั้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดงจนถึงภาวะสมดุลแล้ว ความเข้มข้นของตัวสกัดที่ยังไม่ได้จับประจุทองแดงจะเปลี่ยนไปจากเมื่อเริ่มต้นน้อยมาก กล่าวได้ว่าค่า $[\overline{RH}]$ มีค่าเกือบคงที่ตลอดการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดง และถ้าพิจารณาจากสมการที่ 3.4 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log D$ กับ pH ที่ค่าความเข้มข้น $[\overline{RH}]$ ค่าหนึ่ง ๆ จะได้กราฟเป็นเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ 2 ซึ่งจากผลการทดลองของ Lakshman และคณะ (1975) แสดงในรูปที่ 3.2 เมื่อใช้สารละลายสกัดทองแดงจากสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.025 - 0.1 กรัมโมลต่อลิตร กราฟความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง เฉพาะ เมื่อใช้สารละลายทองแดง เมื่อเริ่มต้นที่มีความเข้มข้น 0.025 กรัมโมลต่อลิตร และ 0.04 กรัมโมลต่อลิตร แต่เมื่อความเข้มข้นของทองแดงมากกว่า 0.04 กรัมโมลต่อลิตร กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log D$ กับ pH จะเริ่มไม่เป็นเส้นตรงโดยตลอด ซึ่งในช่วงที่กราฟเป็นเส้นโค้งจะต้องนำเอาความเข้มข้นของตัวสกัด ที่ภาวะสมดุลมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ที่ถูกต้องของค่า distribution coefficient

3.1.2 การใช้สารละลายตัวสกัด เพื่อสกัดทองแดงจากสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นทองแดงสูง

การใช้สารละลายตัวสกัด เพื่อสกัดทองแดงจากสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นทองแดงสูง จะมีการใช้ตัวสกัดไปเป็นปริมาณมาก เพื่อสกัดทองแดง ดังนั้น ที่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง ความเข้มข้นของตัวสกัดที่ยังไม่ได้ทำการจับประจุทองแดงจะแตกต่างไปจากเมื่อเริ่มต้น ไม่ได้มีค่าเกือบคงที่ตลอดไปเหมือนในกรณีแรก ดังได้กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1.1 ดังนั้นต้องนำค่าความเข้มข้นของตัวสกัดที่ยังไม่ได้ทำการจับประจุทองแดงมาพิจารณาร่วมอยู่ในสมการแสดงความสัมพันธ์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับสารละลายกรด

จากสมการที่ 3.3

$$D = K_{ex} \frac{[\overline{RH}]^2}{[H^+]^2}$$

ดังนั้นจะได้

$$\log D = \log K_{ex} + 2 \log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right) \quad (3.6)$$

ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log D$ กับ $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ 2 และค่า K_{ex} สามารถหาได้จากจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$

แต่เนื่องจากความเข้มข้นของแดงในสารละลายกรดมีความเข้มข้นสูง ดังนั้นการแตกตัวเป็นประจุทองแดง (Cu^{2+}) จะไม่แตกตัวเป็นประจุทองแดงทั้งหมด และถ้าไม่มีความสะดวกในการคำนวณหาค่าประจุทองแดงก็อาจนำเอาค่าความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลาย (Cu_{total}) มาใช้แทนได้เช่นกัน เพราะว่าการเกิดประจุทองแดง (Cu^{2+}) จะเป็นสัดส่วนอยู่กับความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลายกรด, (Cu_{total}^{2+}) ดังนั้น การหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงโดยคิดจากความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลายกรด สามารถแสดงสมการใหม่ได้ดังนี้

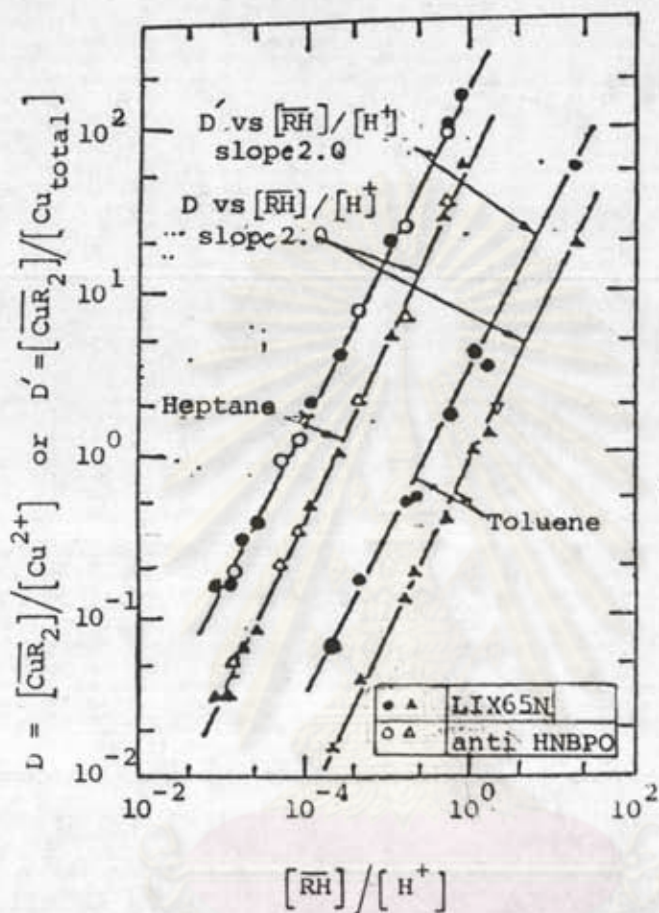
$$D' = \frac{[CuR_2]}{[Cu^{2+}]_{total}} = K'_{ex} \frac{[\overline{RH}]^2}{[H^+]^2} \quad (3.7)$$

$$\log D' = \log K'_{ex} + 2 \log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right) \quad (3.8)$$

ซึ่งเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log D'$ กับ $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$ จะได้กราฟเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ 2 และค่า K'_{ex} สามารถหาได้จากจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$

Komasawa และคณะ (1980 c) ทดลองใช้ตัวสกัด LIX65N ละลายใน diluent ชนิด Heptane และ Toluene ซึ่งมีความเข้มข้นของตัวสกัดน้อยกว่า 2.5×10^{-2} กรัมโมลต่อลิตร สกัดทองแดงจากสารละลายทองแดงที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 2.5×10^{-2} กรัมโมลต่อลิตร สามารถสร้างเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงในสารละลายที่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 เปรียบเทียบให้เห็นถึงความ

แตกต่างกันเมื่อใช้ค่าความเข้มข้นประจุทองแดง เพื่อหาสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงในสารละลาย (D) กับเมื่อใช้ค่าความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลายเพื่อหาสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงในสารละลาย (D')



รูปที่ 3.3 อิทธิพลของความเป็นกรด $[H^+]$ และความเข้มข้นของตัวสกัด $[RH]$ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของทองแดงในสารละลายตัวสกัด กับสารละลายทองแดง (Komasawa และคณะ, 1980 c)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



3.1.3 การใช้สารละลายตัวสกัดเพื่อสกัดทองแดงจากสารละลายกรดที่มีสารประกอบ

อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เจือปน

ในการละลายแร่ด้วยกรด พบว่าจะมีสารประกอบอิเล็กโทรไลต์ อื่น ๆ เช่น เกลือของโซเดียมซัลเฟตละลายเจือปนลงมาในสารละลายกรดและมีผลทำให้ทองแดงซัลเฟตในสารละลายกรดแตกตัวเป็นประจุได้บางส่วน ไม่ได้แตกตัวเป็นประจุทองแดงทั้งหมด ดังนั้นในการใช้สมการแสดงความสัมพันธ์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายทองแดงในสารละลายตัวสกัดกับสารละลายกรด เพื่อให้ถูกต้องที่สุดจะต้องพิจารณาส่วนของสารละลายทองแดงที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาการสกัดทองแดงได้ ซึ่งเรียกว่า "active species" กล่าวคือให้ใช้ความเข้มข้นของประจุทองแดงในสารละลายกรด (Cu^{2+}) แทนการใช้ความเข้มข้นของทองแดงทั้งหมดในสารละลาย (Cu^{2+}_{total}) และใช้ความเข้มข้นของ monomer ของตัวสกัดแทนความเข้มข้นของตัวสกัดทั้งหมดในสารละลายตัวสกัด เนื่องจากโมเลกุล monomer ของตัวสกัด 2 โมเลกุล จะมีการรวมตัวเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการ dimerization ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถจับประจุทองแดงได้

จากการพิจารณาสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดง



ค่า equilibrium constant มีค่าเท่ากับ K''_{ex}

$$K''_{ex} = \frac{[\overline{CuR_2}] [H^+]^2}{[Cu^{2+}]_{total} [\overline{RH}]^2} = \frac{\alpha_{\overline{CuR_2}}}{\alpha_{Cu^{2+}}_{total}} \cdot \frac{\alpha_{H^+}^2}{\alpha_{\overline{RH}}^2} \quad (3.9)$$

$$D'' = \frac{[\overline{CuR_2}]}{[Cu^{2+}]_{total} \alpha_{Cu^{2+}}} = \frac{\log K''_{ex} + 2 \log \overline{RH} - 2 \log [H^+]}{-2 \log \alpha_{H^+} + 2 \log \overline{RH} - \log \overline{CuR_2}} \quad (3.10)$$

เนื่องจากค่า pH มีค่าเท่ากับ $-\left(\log [H^+] + \log \alpha_{H^+}\right)$ และ Sauer และ Landau (1973) สรุปว่า activity coefficient ของตัวสกัด $\alpha_{\overline{RH}}$ และ $\alpha_{\overline{CuR_2}}$ จะมีค่าเป็น 1 ถ้า

- 1) ตัวสกัดละลายใน nonpolar organic diluent ซึ่งได้แก่ aliphatic hydrocarbon diluent

2) ไม่มีการเกิดประจุบนตัวสกัดและสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างตัวสกัดกับประจุทองแดง

3) ไม่มีสารประกอบอื่นที่มีประจุละลายอยู่ในสารละลายตัวสกัด

ดังนั้นจากสมการที่ 3.10 เมื่อแทนค่า pH และ activity coefficient ของตัวสกัดมีค่าเท่ากับ 1 จะได้

$$\log D'' = \log K_{ex}'' + 2 \log \overline{RH} + 2 \text{ pH} \quad (3.11)$$

และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log D''$ กับ $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$ จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ 2 และค่า K_{ex}'' สามารถหาได้จากจุดตัดของเส้นกราฟบนแกน $\log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right)$

3.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง

การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการสกัดทองแดง ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดง การศึกษาเกี่ยวกับจลนศาสตร์ของตัวสกัดชนิด hydroxyoxime มีผู้ศึกษาหลายรายโดยใช้เทคนิคและวิธีที่แตกต่างกันเช่น วิธี single drop technique (Attwood และ Miller, 1971) AKUFVE mixer (Flett และคณะ, 1973, Hummelstedt, 1977) Conventional type mixer (Van der Zeeuw และ Kok, 1977) และ Stirred transfer cell (Kojima และคณะ, 1979) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีการหาอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดงที่แตกต่างกันและเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกัน

ที่จะนำมากล่าวในบทนี้จะกล่าวเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับตัวสกัด LIX64N ซึ่งเป็นตัวสกัดผสมระหว่าง LIX65N กับ LIX 63 โดยที่ β -hydroxy benzophenone oxime (LIX65N) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเลือกจับเฉพาะประจุทองแดง (Selectivity) และอีกส่วนเป็น aliphatic α -hydroxy oxime (LIX63) ซึ่งเป็นตัวช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดง

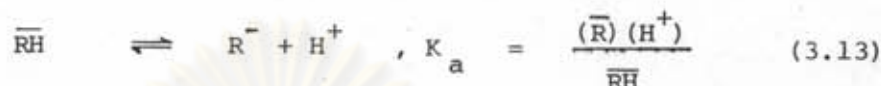
3.2.1 ขบวนการในการสกัดทองแดงจากสารละลายทองแดง

สำหรับขบวนการในการสกัดทองแดงจากสารละลายทองแดงนั้น สามารถอธิบายโดยสังเขปได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

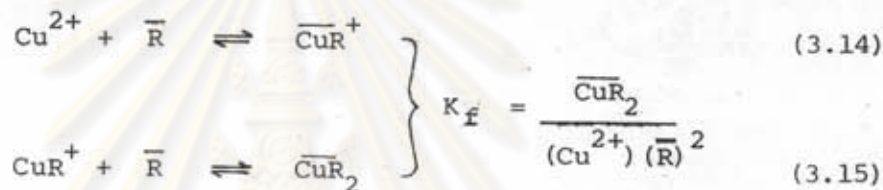
- 1) ตัวสกัด $(\overline{RH})_o$ แพร่กระจายจากสารละลายตัวสกัด เข้าสู่ สารละลายทองแดง



- 2) ตัวสกัดในสารละลายทองแดง (\overline{RH}) แยกตัวเป็นประจุ Cation (H^+) และ anion (\overline{R})

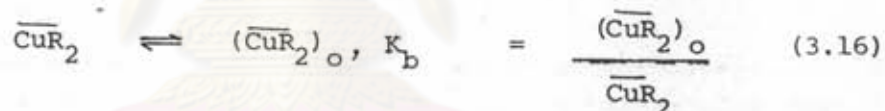


- 3) ประจุ anion (\overline{R}) จะทำปฏิกิริยากับประจุทองแดง (Cu^{2+}) เกิดเป็น copper complex (\overline{CuR}_2)



$$K_f = \frac{\overline{CuR}_2}{(Cu^{2+})(\overline{R})^2}$$

- 4) Copper Complex จะแพร่กระจายกลับเข้าสู่สารละลายตัวสกัด



เมื่อกำหนดให้ว่า K_d และ K_b เป็นค่า distribution constant ของตัวสกัด และ Copper complex, K_a เป็นค่า acid dissociation constant ของตัวสกัดและ K_f เป็นค่า overall formation constant ของการเกิดปฏิกิริยา copper complex ใน สารละลายทองแดง

3.2.2 ขั้นตอนในขบวนการสกัดทองแดงที่ควบคุมอัตราเร็วในการสกัดทองแดง

เนื่องจากขั้นตอนในขบวนการสกัดทองแดงที่ต้องใช้เวลาในการสกัดทองแดงมากกว่า ขั้นตอนอื่น ๆ จะเป็นขั้นตอนที่กำหนดอัตราเร็วในการสกัดทองแดง เรียกขั้นตอนนี้ว่า "rate controlling step" Flett และคณะ (1973) ศึกษาอัตราเร็วของการสกัดทองแดงในแต่ละ ขั้นตอนของขบวนการสกัดทองแดง พบว่าในขั้นตอนที่ประจุ anion (\overline{R}) ของตัวสกัดเข้าทำปฏิกิริยา

กับประจุทองแดง (Cu^{2+}) ซึ่งเกิดอยู่ในสารละลายกรด จะเป็นขั้นตอนการสกัดทองแดงที่ต้องใช้เวลาในการสกัดทองแดงนานกว่าขั้นตอนอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่าเป็นขั้นตอนการสกัดทองแดงที่ควบคุมอัตราเร็วในการสกัดทองแดง และเรียกว่า "chemical reaction control" ดังนั้นองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาการสกัดทองแดงในขั้นตอนนี้จะเป็นสิ่งบ่งบอกอัตราเร็วของการสกัดทองแดงจากสารละลายทองแดงและมีองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วในการสกัดทองแดงในลักษณะดังต่อไปนี้

อัตราเร็วของการสกัดทองแดง จะเร็วขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของทองแดงในลักษณะยกกำลัง 1

อัตราเร็วของการสกัดทองแดง จะเร็วขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของ LIX65N ในลักษณะยกกำลัง 1 แต่ในกรณีที่ใช้ตัวสกัด LIX64N ซึ่งเป็นตัวสกัดผสมระหว่าง LIX65N กับ LIX63 พบว่าอัตราเร็วของการสกัดทองแดง จะเร็วขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของ LIX64N ในลักษณะยกกำลัง 1.5

อัตราเร็วของการสกัดทองแดงจะช้าลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของกรด ในลักษณะยกกำลัง 1.

3.2.3 การหาอัตราเร็วของการสกัดทองแดง

การหาอัตราเร็วของการสกัดทองแดงด้วยตัวสกัดแต่ละชนิด จะทำให้สามารถพิจารณาถึงการนำตัวสกัดไปสกัดทองแดงในเครื่องสกัดในแบบที่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะของเครื่องสกัดบางประเภท เช่น แบบคอลัมน์ มีข้อจำกัดในเรื่องเวลาที่สารละลายสัมผัสกันในคอลัมน์ซึ่งมีเวลาดำเนินการน้อย ดังนั้น จำเป็นจะต้องเลือกใช้ตัวสกัดที่มีอัตราเร็วในการสกัดที่เร็ว เพื่อให้สามารถสกัดทองแดงได้ตามต้องการ

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการสกัดทองแดงในข้อที่ 3.2.2 ดังนั้นสมการแสดงการหาอัตราเร็วในการสกัดทองแดงของตัวสกัด LIX65N แสดงได้ดังนี้

$$N_x = K \left[\overline{\text{RH}} \right] \left[\text{Cu}^{2+} \right] / \left[\text{H}^+ \right] \quad (3.17)$$

ดังนั้น

$$\log N_x = \log K + \log \left(\left[\overline{\text{RH}} \right] \left[\text{Cu}^{2+} \right] / \left[\text{H}^+ \right] \right) \quad (3.18)$$

ดังนั้นเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log N_r$ กับ $\log \left(\frac{[\overline{RH}][Cu^{2+}]}{[H^+]}\right)$
จะได้กราฟเป็นเส้นตรงมีความชันเท่ากับ 1 และค่า K สามารถหาได้จากจุดตัดของเส้นกราฟบน
แกน $\log \left(\frac{[\overline{RH}][Cu^{2+}]}{[H^+]}\right)$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย