

บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

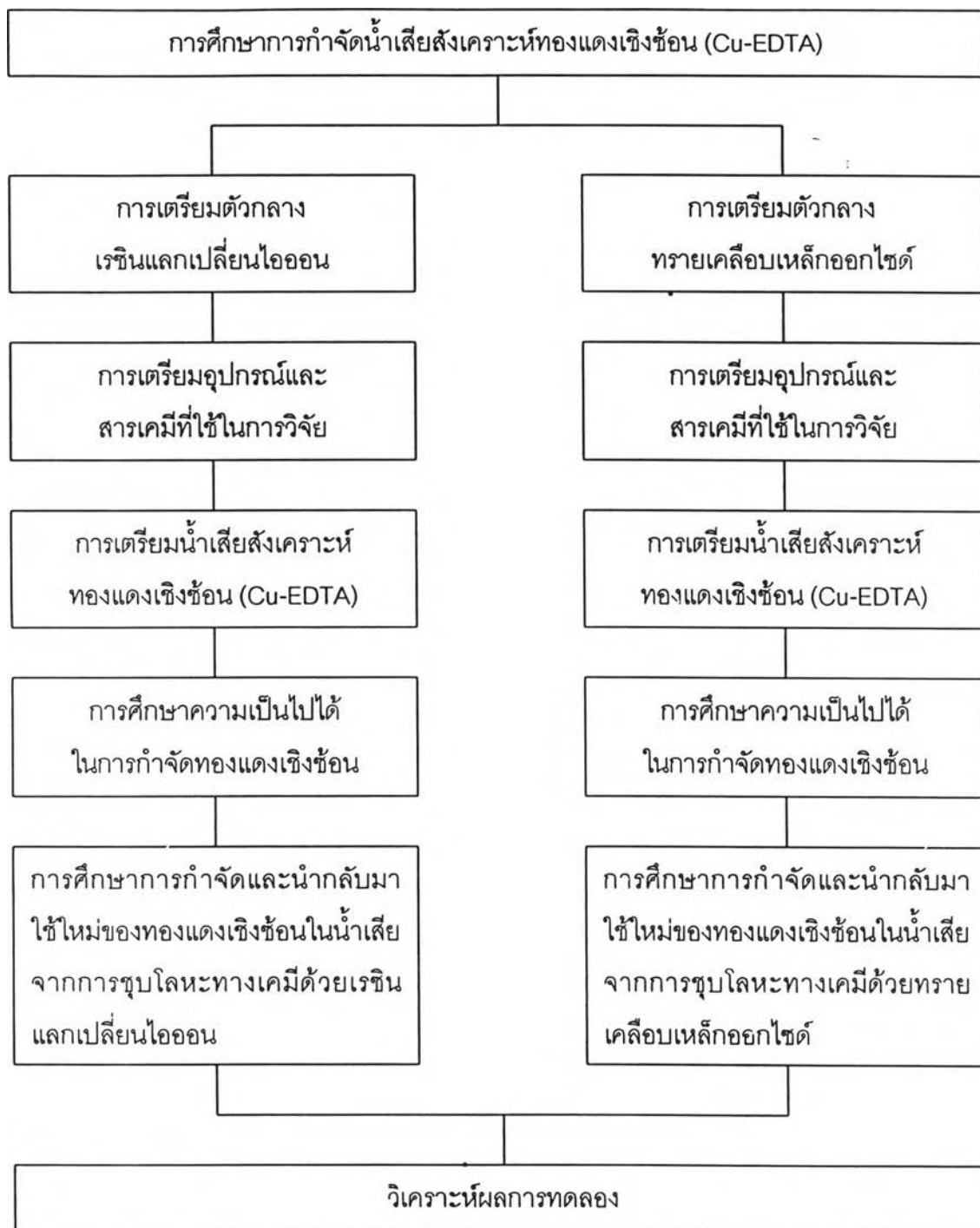
แผนการวิจัย มี 5 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก. และ 4.1 ข. และมีรายละเอียดดังนี้

- 4.1 การเตรียมตัวกลาง (ตัวกลางเรซินและตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์)
- 4.2 การเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
- 4.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์
- 4.4 การดำเนินการทดลอง
- 4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยสามารถแบ่งได้ 4 ขั้นตอนคือ

- 1) การทดลองเบื้องต้น ประกอบไปด้วย
 - 1.1) การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
 - 1.2) การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
- 2) การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาการจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน
- 3) การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
- 4) การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาการจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางไฟฟ้าด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์



รูปที่ 4.1 ก. แผนการวิจัยการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน



รูปที่ 4.1 ข. แผนการวิจัยการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง

4.1 การเตรียมตัวกลาง

4.1.1 การเตรียมตัวกลางเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นเรซินชนิดต่างแก้ว (LEWATIT[®] MonoPlus M500) แสดงดังรูปที่

4.2 สามารถนำมาใช้งานได้ทันที สำหรับรายละเอียดและข้อมูลของเรซินแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

4.1.2 การเตรียมตัวกลางทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ (Edward และ Benjamin,1989)

- 1) คัดทรายให้มีขนาดระหว่างตะแกรงเบอร์ 20 และ 30 (0.6-0.85 mm.)
- 2) แช่เม็ดทรายด้วยกรดซัลฟูริก 50% (pH=1) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3) ล้างออกด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C
- 4) ใช้ทรายที่อบแห้งแล้ว 200 กรัม ผสมกับสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งทำโดยนำ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 20 กรัมละลายในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 14 ชั่วโมง
- 5) นำทรายเคลือบมาล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งน้ำล้างใส
- 6) นำไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 °C (ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แสดงดังรูปที่ 4.3)

4.2 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องเขย่า (Shaking Machine)
- 2) เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filter)
- 3) เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
- 4) เครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)
- 5) เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorbtion Spectrophotometer)
- 6) หลอดเขย่า (Conical Tube) ขนาด 50 มล.
- 7) 0.45 ไมโครเมตร เมมเบรนฟิลเตอร์ (0.45 μm Membrane Filter)
- 8) คอลัมน์บรรจุตัวกลางทำจากพลาสติกใสเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.36 ซม. สูง 100 ซม. แสดงดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.5
- 9) เครื่องสูบน้ำชนิดไดอะแฟรมปั๊ม (Diaphragm Pump)

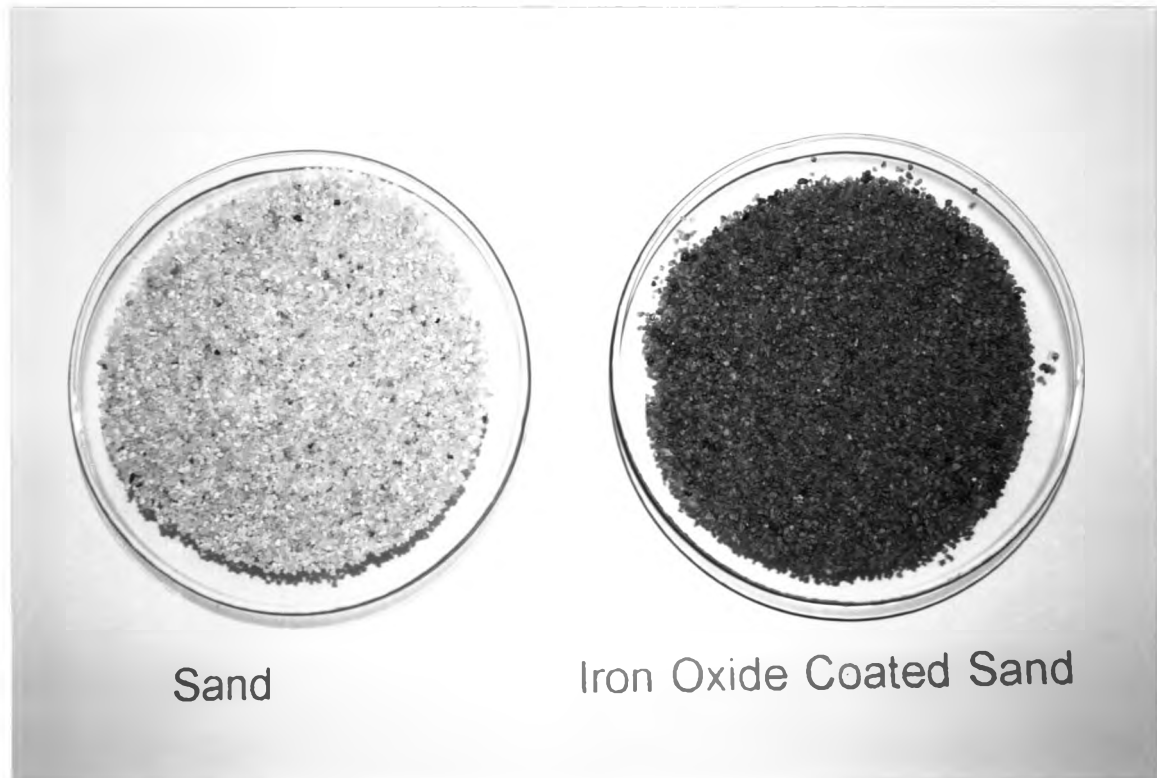


รูปที่ 4.2 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างแก้ว (LEWATIT[®] MonoPlus M500)

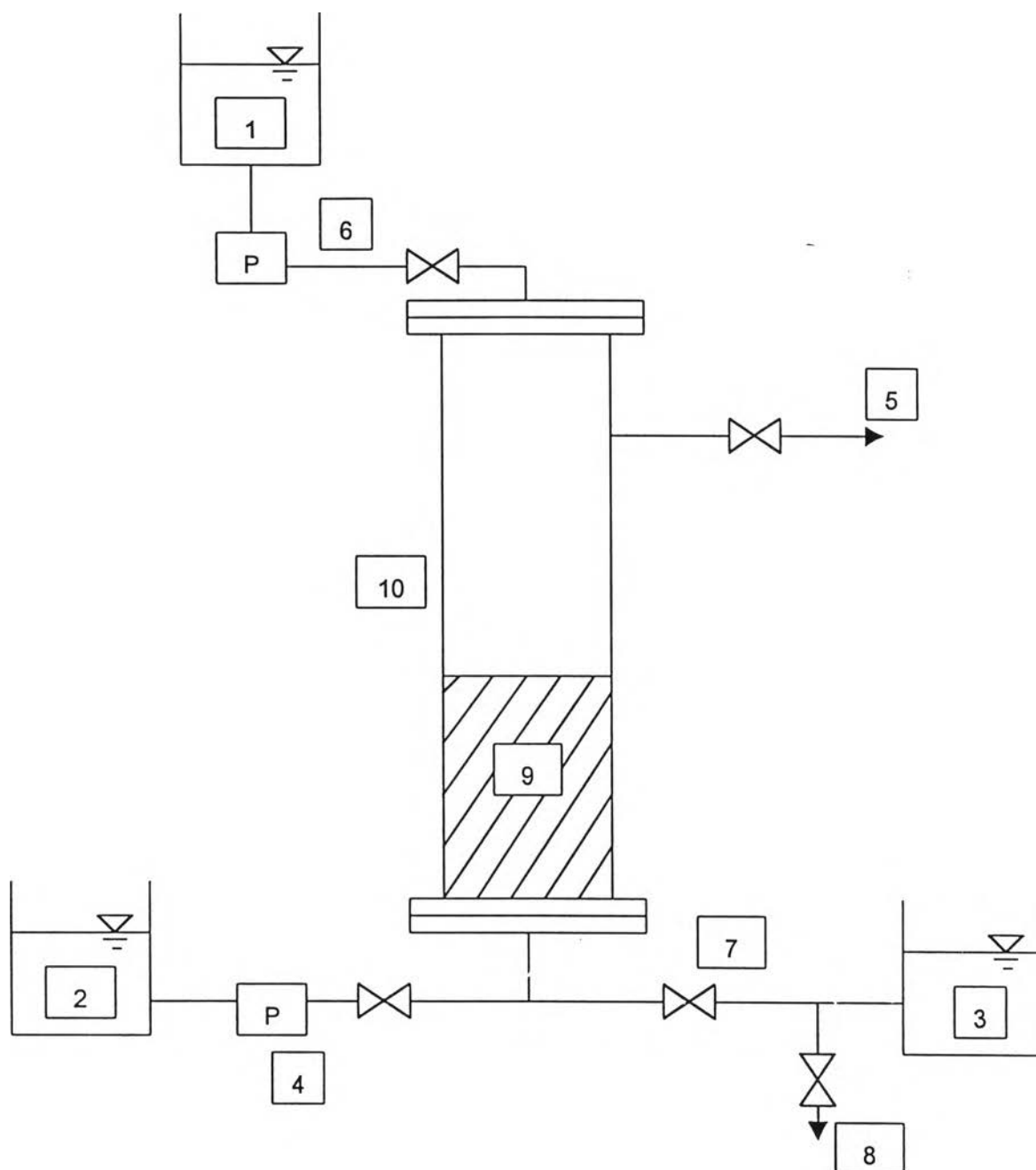


ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรายละเอียดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดต่างแก่ (LEWATIT[®] MonoPlus M500)

Ionic form, as shipped	Cl ⁻
Functional group	Quaternary amine, type I
Matrix	Crosslink polystyrene
Structure	Gel type beads
Appearance	Yellow, translucent
Bead size >90% mm	0.6 (±0.05)
Bulk weight (±5%) g/l	670
Density approx.g/l	1.08
Water retention %	50 – 60
Total capacity min. eg/l	1.2
Volume change Cl ⁻ → OH ⁻ max. %	22
Stability at temperature max. °C	1 – 100 (Cl ⁻ Form)
Stability in pH range	0 – 14

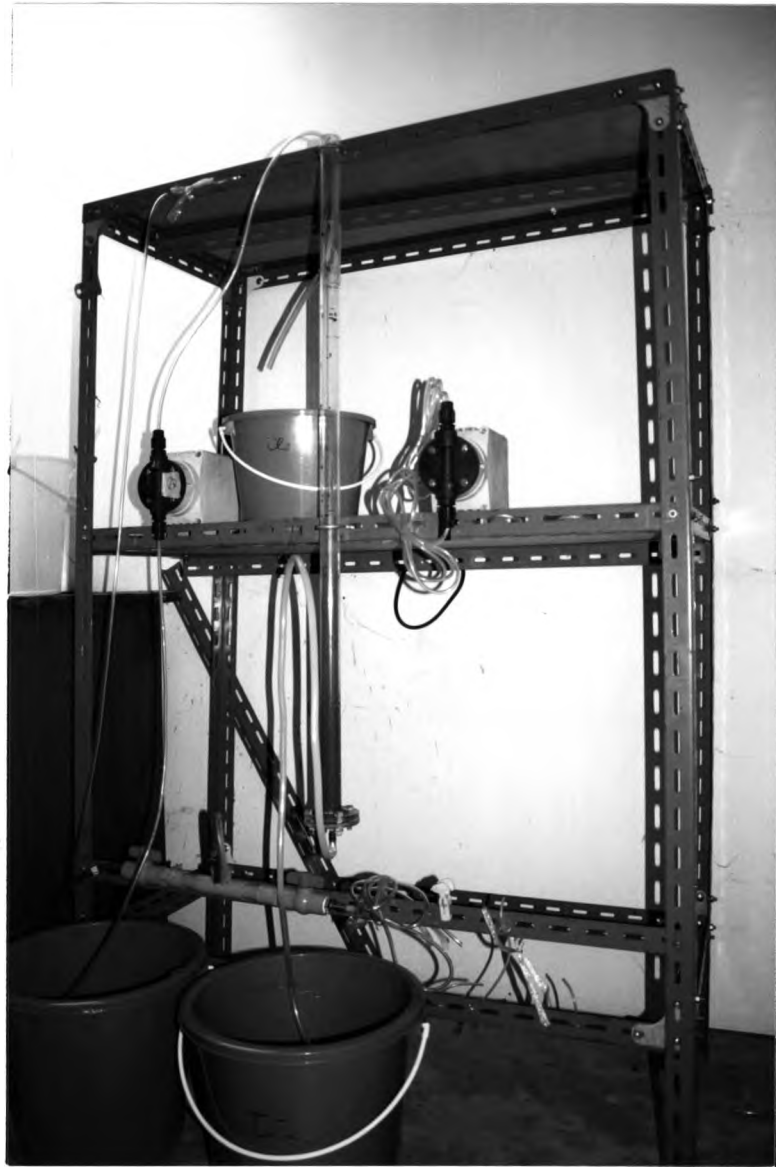


รูปที่ 4.3 ทราบเคลือบเหล็กออกไซด์



- | | |
|--|---|
| 1. ถังน้ำดิบ, ถังน้ำรีเจนเนอเรนท์ | 7. ทางออกน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน |
| 2. ถังน้ำล้างย้อน | 8. ทางออกน้ำล้างเร็ว |
| 3. ถังน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน | 9. ตัวกลางเรซินหรือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ |
| 4. ทางเข้าน้ำล้างย้อนและรีเจนเนอเรนท์ | 10. คอลัมน์บรรจุตัวกลาง |
| 5. ทางออกน้ำล้างย้อนและรีเจนเนอเรนท์ | P เครื่องสูบน้ำ |
| 6. ทางเข้าน้ำดิบสังเคราะห์และน้ำล้างเร็ว | ⊗ ประตูน้ำ |

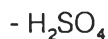
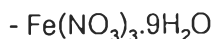
รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 คอลัมน์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

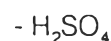
1) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวกลางทราย



2) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (reagent grade)



3) สารเคมีที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชัน



4.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

4.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน (อนันต์, 2527)

น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสารละลายที่ประกอบด้วย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 7.858 ก./ล., โซเดียมไฮดรอกไซด์ 7.5 ก./ล., formaldehyde 3 ก./ล และ EDTA 35 ก./ล โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1) นำน้ำกลั่นใส่ภาชนะประมาณครึ่งหนึ่งแล้วจึงเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ กวนให้ละลายแล้วปล่อยให้เย็นเท่าอุณหภูมิปกติแล้วจึงเติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, EDTA และ Formaldehyde กวนให้ละลายจนหมดแล้วกรองให้สะอาด จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบตามต้องการ

2) ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นทองแดง 20 มก.ทองแดง/ล.

3) ปรับค่าพีเอชด้วย H_2SO_4 และ NaOH

4.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง (อนันต์, 2527)

น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสารละลายที่ประกอบด้วย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 220 ก./ล., H_2SO_4 60 ก./ล. และ NaCl 0.03 ก./ล โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

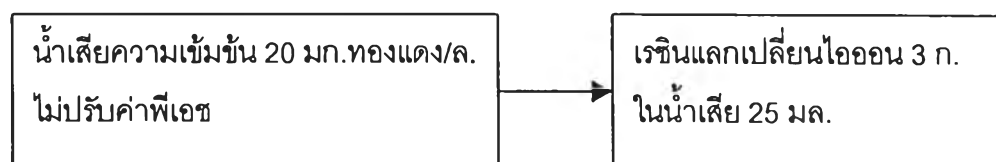
- 1) นำน้ำกลั่นใส่ภาชนะประมาณครึ่งหนึ่งแล้วจึงเติม $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 และ NaCl กวนให้ละลายจนหมดแล้วกรองให้สะอาด จากนั้นจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบตามต้องการ
- 2) ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้นทองแดง 20 มก.ทองแดง/ล.
- 3) ปรับค่าพีเอชด้วย H_2SO_4 และ NaOH

4.4 การดำเนินการทดลอง

4.4.1 การทดลองเบื้องต้น

4.4.1.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

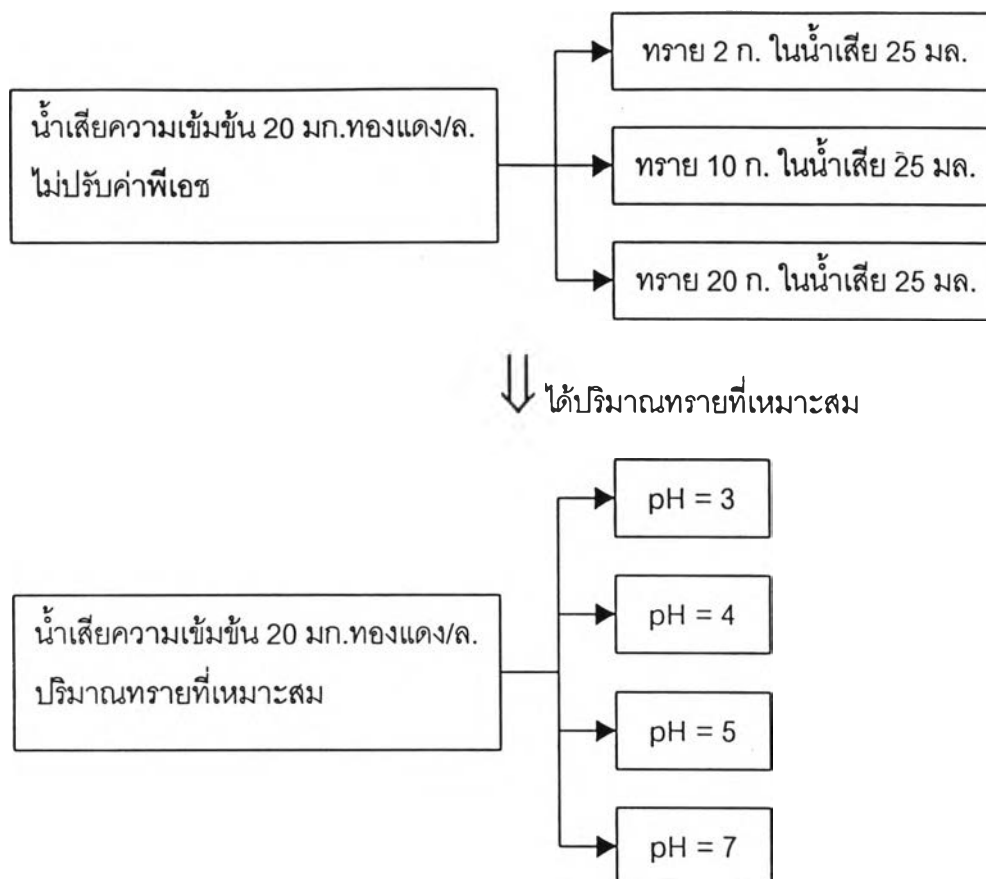
- 1) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 20 มก.ทองแดง/ล. (พีเอชเริ่มต้นประมาณ 10) ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด
- 2) เติมเรซิน 3 ก. ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด
- 3) นำหลอดเขย่าทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชม. โดยเก็บขวดตัวอย่างที่เวลา 15 นาที , 1 และ 3 ชม. หลังจากเริ่มเขย่าตามลำดับ
- 4) กรองแยกส่วนน้ำใสด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 5) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง และค่าพีเอช



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงขอบเขตการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

4.4.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 20 มก.ทองแดง/ล. (พีเอชเริ่มต้นประมาณ10) ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด
- 2) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 2 ก. ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด
- 3) นำหลอดเขย่าทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชม. โดยเก็บขวดตัวอย่างที่เวลา 15 นาที, 1 และ 3 ชม. หลังจากเริ่มเขย่าตามลำดับ
- 4) กรองแยกส่วนน้ำใสด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 5) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง, เหล็ก และค่าพีเอช
- 6) ทำการทดลองซ้ำข้อ1) ถึง 5) แต่เปลี่ยนปริมาณทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เป็น 10 และ 20 ก. ตามลำดับ
- 7) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 10 มก.ทองแดง/ล. ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 3 ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด
- 8) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1) ถึง ข้อ6) ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด
- 9) นำหลอดเขย่าทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชม. โดยเก็บขวดตัวอย่างที่เวลา 15 นาที , 1 และ 3 ชม. หลังจากเริ่มเขย่าตามลำดับ
- 10) กรองแยกส่วนน้ำใสด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 11) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง, เหล็ก และค่าพีเอช
- 12) ทำการทดลองซ้ำข้อ 7) ถึง 11) แต่เปลี่ยนค่าพีเอชเป็น 5, 7 และ 9 ตามลำดับ

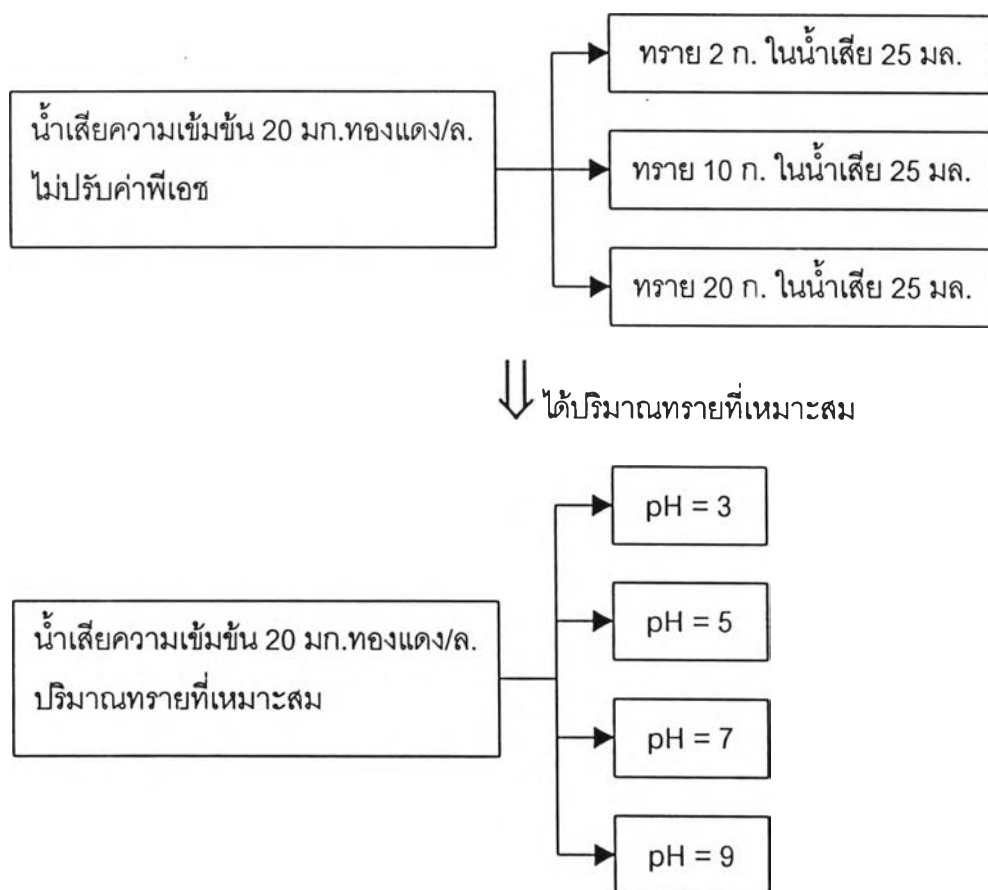


รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงขอบเขตการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

4.4.1.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 20 มก.ทองแดง/ล. (พีเอชเริ่มต้นประมาณ 3.7) ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด
- 2) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ 2 ก. ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด
- 3) นำหลอดเขย่าทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชม. โดยเก็บขวดตัวอย่างที่เวลา 15 นาที , 1 และ 3 ชม. หลังจากเริ่มเขย่าตามลำดับ
- 4) กรองแยกส่วนน้ำใสด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 5) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง, เหล็ก และค่าพีเอช

- 6) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 5) แต่เปลี่ยนปริมาณทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ เป็น 10 และ 20 ก. ตามลำดับ
- 7) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 10 มก.ทองแดง/ล. ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 3 ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด
- 8) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1) ถึง ข้อ 6) ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด
- 9) นำหลอดเขย่าทั้งหมดไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชม. โดยเก็บขวดตัวอย่างที่เวลา 15 นาที , 1 และ 3 ชม. หลังจากเริ่มเขย่าตามลำดับ
- 10) กรองแยกส่วนน้ำใสด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
- 11) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของทองแดง, เหล็ก และค่าพีเอช
- 12) ทำการทดลองซ้ำข้อ 7) ถึง 11) แต่เปลี่ยนพีเอชเป็น 4, 5 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงขอบเขตการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

4.4.2 การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.4.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

- 1) บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล 40 BV/hr
- 3) ปล่อยให้เรซินจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% ด้วยอัตราไหล 4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 40 นาที

5) ปล่อยให้น้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

- 6) ปล่อยให้น้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที
- 7) ป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหล 20 BV/hr
- 8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้าทุกๆ 5 BV (15 นาที)

4.4.2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับทองแดงจากเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

- 1) บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล 40 BV/hr
- 3) ปล่อยให้เรซินจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% ด้วยอัตราไหล 4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 45 นาที

5) ปล่อยให้น้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

- 6) ปล่อยให้น้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองส่วนที่ 1

7) ป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วย อัตราไหล 20 BV/hr

8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ 5 BV

9) ทำการรีเจนเนอเรชันตามข้อ 2) ถึง 6) อีกครั้งและทำการวัดความเข้มข้นของทองแดง, ค่าสภาพนำไฟฟ้า และพีเอชทุกๆ 0.25 BV

10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 4, 5, 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

11) เมื่อได้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 2) ถึง 9) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเป็น 3 และ 6 BV/hr และใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

4.4.3 การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.4.3.1 การศึกษาผลของอัตราไหลและค่าพีเอชในการกำจัดทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล

40 BV/hr

- 3) ปลอ่ยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% ด้วยอัตราไหล

4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 40 นาที

- 5) ปลอ่ยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

- 6) ปลอ่ยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

- 7) ป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหล 2 BV/hr

- 8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ 5 BV (15 นาที)

- 9) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 8) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการป้อนน้ำเสียเป็น 5, 10 และ 20 BV/hr เพื่อหาอัตราไหลที่เหมาะสม

- 10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 8) โดยใช้อัตราไหลในการป้อนน้ำเสียที่เหมาะสมและเปลี่ยน pH ในช่วง 5 ถึง 11 เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม

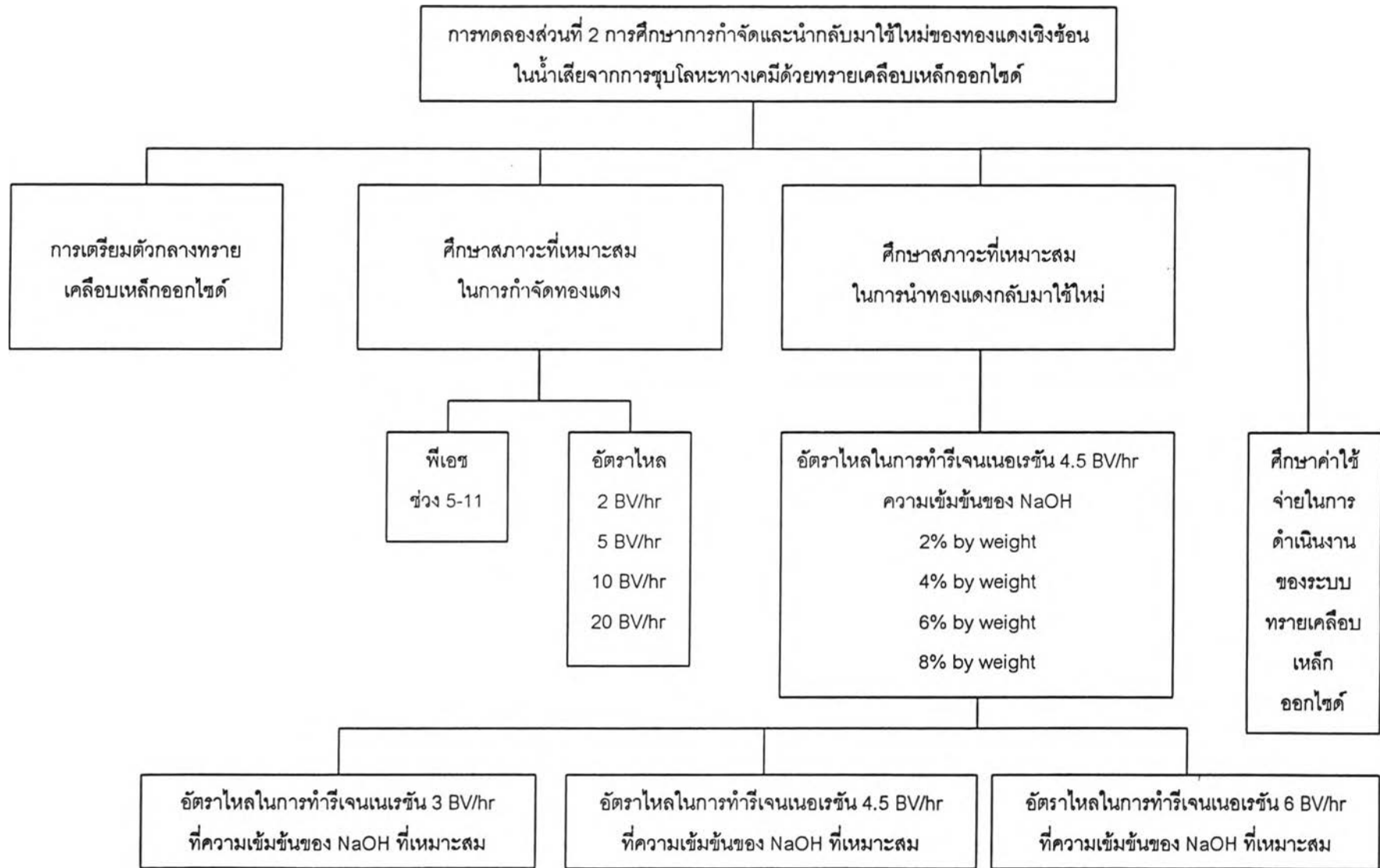
4.4.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล

40 BV/hr

- 3) ปลอ่ยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% ด้วยอัตราไหล

4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 40 นาที



รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองส่วนที่ 2

- 5) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที
- 6) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที
- 7) ป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหลและพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4.3.1
- 8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ 15 นาที
- 9) ทำการรีเจนเนอเรชันตามข้อ 2) ถึง 6) อีกครั้งแต่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการวัดความเข้มข้นของทองแดง, ค่าสภาพนำไฟฟ้า และพีเอชทุกๆ 2 นาที
- 10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ
- 11) เมื่อได้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเป็น 3 และ 6 BV/hr และใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

4.4.4 การทดลองส่วนที่3 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางไฟฟ้าด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.4.4.1 การศึกษาผลของอัตราไหลและค่าพีเอชในการกำจัดทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัวเป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล

40 BV/hr

- 3) ปล่อยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล ด้วยอัตราไหล

4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 40 นาที

5) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

6) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

7) บ่อน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหล 2 BV/hr

8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ 5 BV (15 นาที)

9) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 8) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการบ่อน้ำเสียเป็น 5,10 และ 20 BV/hr เพื่อหาอัตราไหลที่เหมาะสม

10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 8) โดยใช้อัตราไหลในการบ่อน้ำเสียที่เหมาะสมและเปลี่ยน pH ในช่วง 4 ถึง 9 เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม

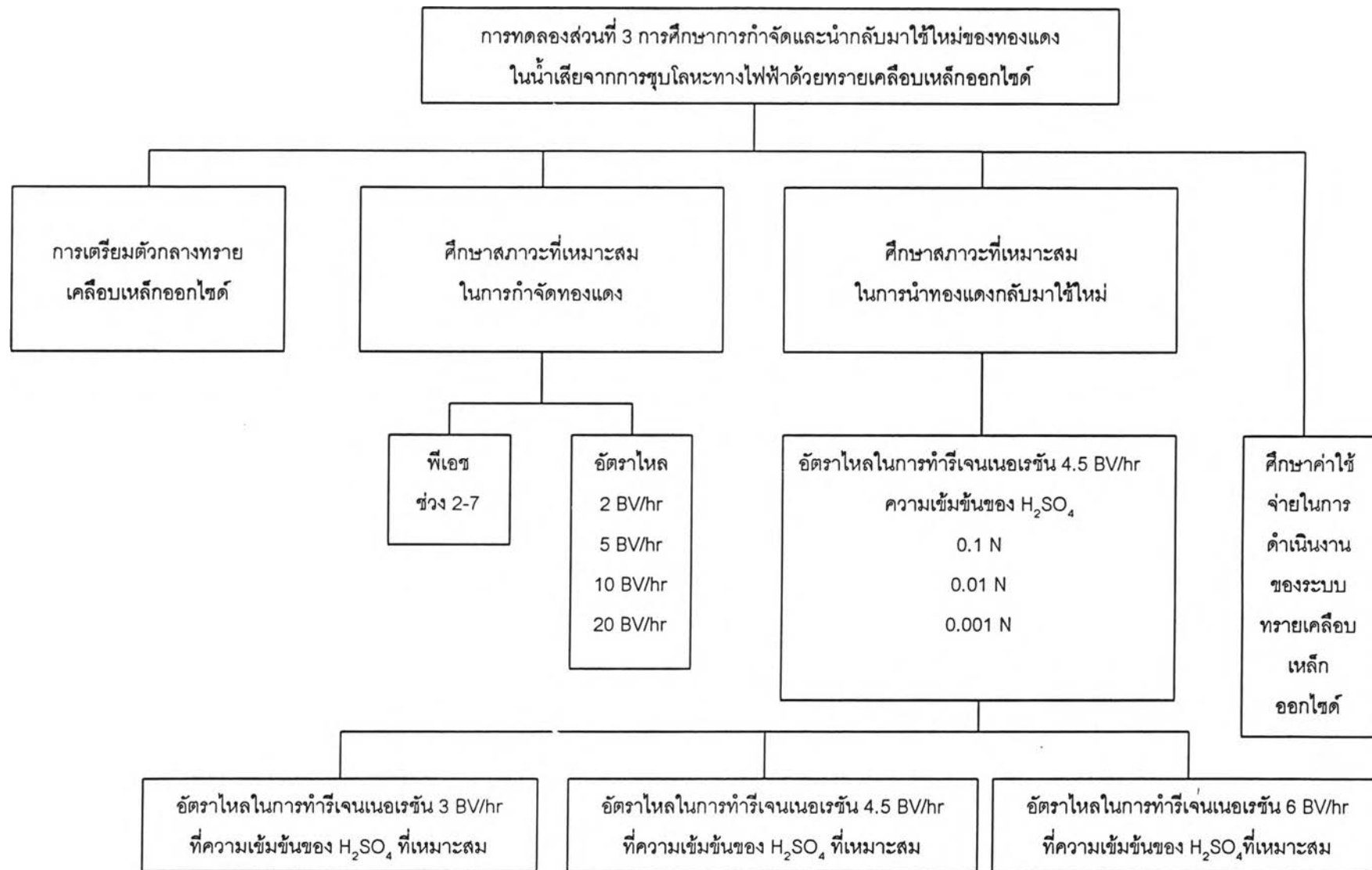
4.4.4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

- 1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์
- 2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล

40 BV/hr

- 3) ปล่อยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก
- 4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล ด้วยอัตราไหล

4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 40 นาที



รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองส่วนที่ 3

- 5) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที
- 6) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที
- 7) ป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นทองแดง 20 มก./ล. เข้าคอลัมน์ทางด้านบนด้วยอัตราไหลและพีเอชที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.4.4.1
- 8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ 15 นาที
- 9) ทำการรีเจนเนอเรชันตามข้อ 2) ถึง 6) อีกครั้งและทำการวัดความเข้มข้นของทองแดง, ค่าสภาพนำไฟฟ้า และพีเอชทุกๆ 2 นาที
- 10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเป็น 0.1 และ 0.001 นอร์มัลตามลำดับ
- 11) เมื่อได้ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเป็น 3 และ 6 BV/hr และใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่เหมาะสม

4.5 วิธีการวิเคราะห์

- 4.5.1 ปริมาณทองแดง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
- 4.5.2 ปริมาณเหล็ก วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer
- 4.5.3 พีเอช วิเคราะห์ด้วย pH meter
- 4.5.4 ค่าสภาพนำไฟฟ้า วิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสภาพนำไฟฟ้า