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

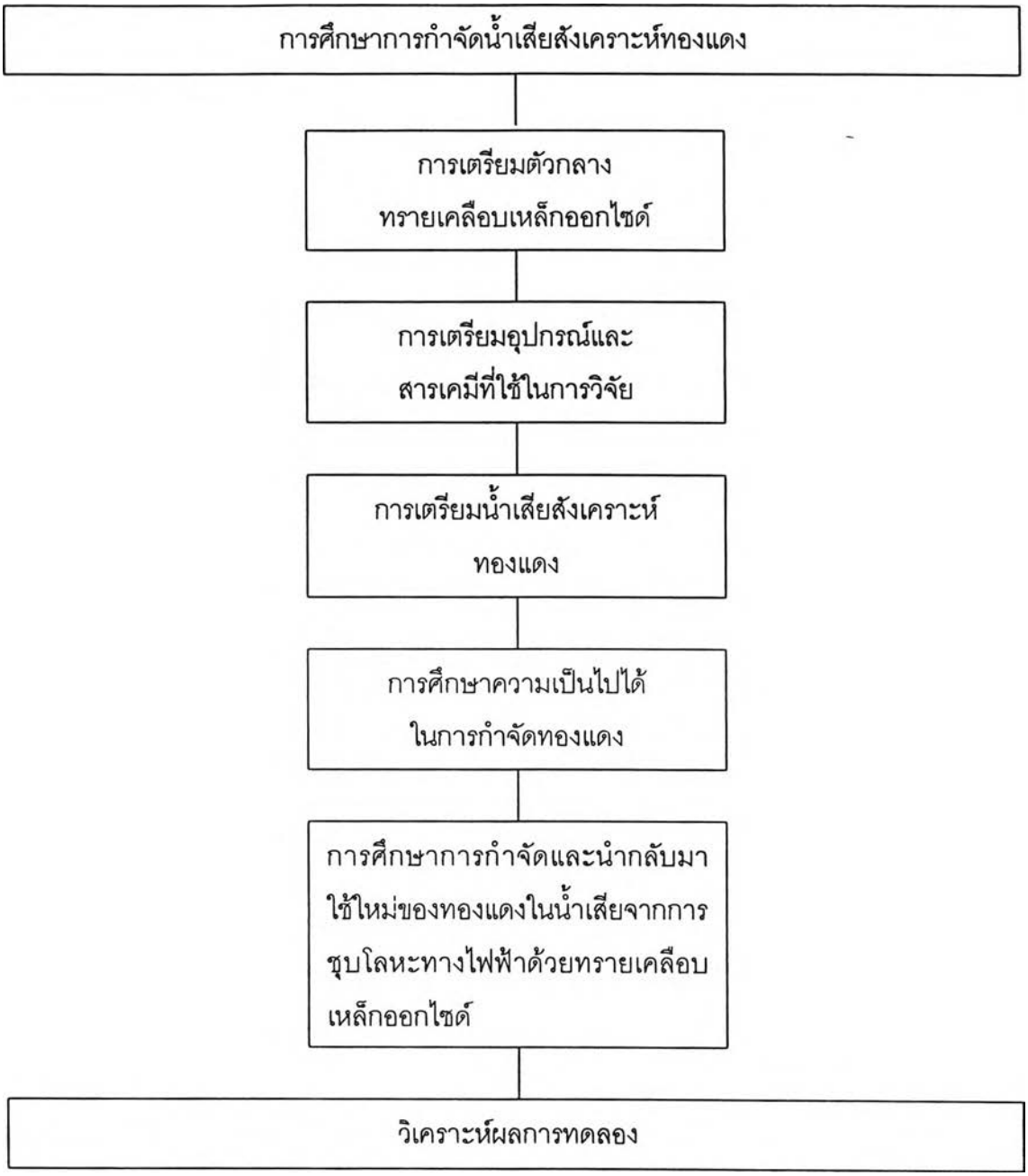
1.2) การศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดทองแดงด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

2) การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

3) การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงเชิงซ้อนในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางเคมีด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

4) การทดลองส่วนที่ 3 การศึกษาการกำจัดและนำกลับมาใช้ใหม่ของทองแดงในน้ำเสียจากการชุบโลหะทางไฟฟ้าด้วยทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

รูปที่ 4.1 ก. แผนการวิจัยการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน



รูปที่ 4.1 ข. แผนการวิจัยการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง

4.1 การเตรียมตัวกลาง

4.1.1 การเตรียมตัวกลางเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นเรซินชนิดด่างแก่ (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) แช่เม็ดทรายด้วยกรดซัลฟูริค 50% (pH=1) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) ล้างออกด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C

4) ใช้ทรายที่อบแห้งแล้ว 200 กรัม ผสมกับสารละลาย $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ ซึ่งทำโดยนำ $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ 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)

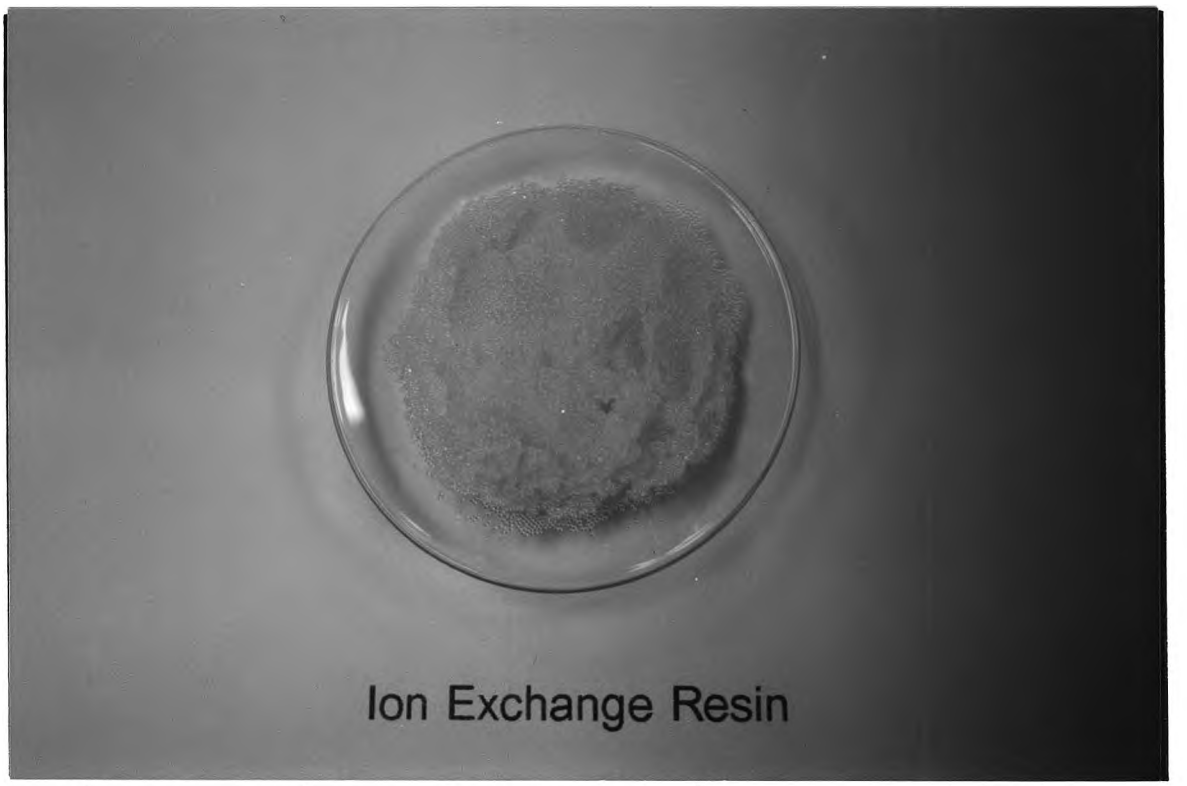
5) เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorbtion Spectrophotometer)

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)

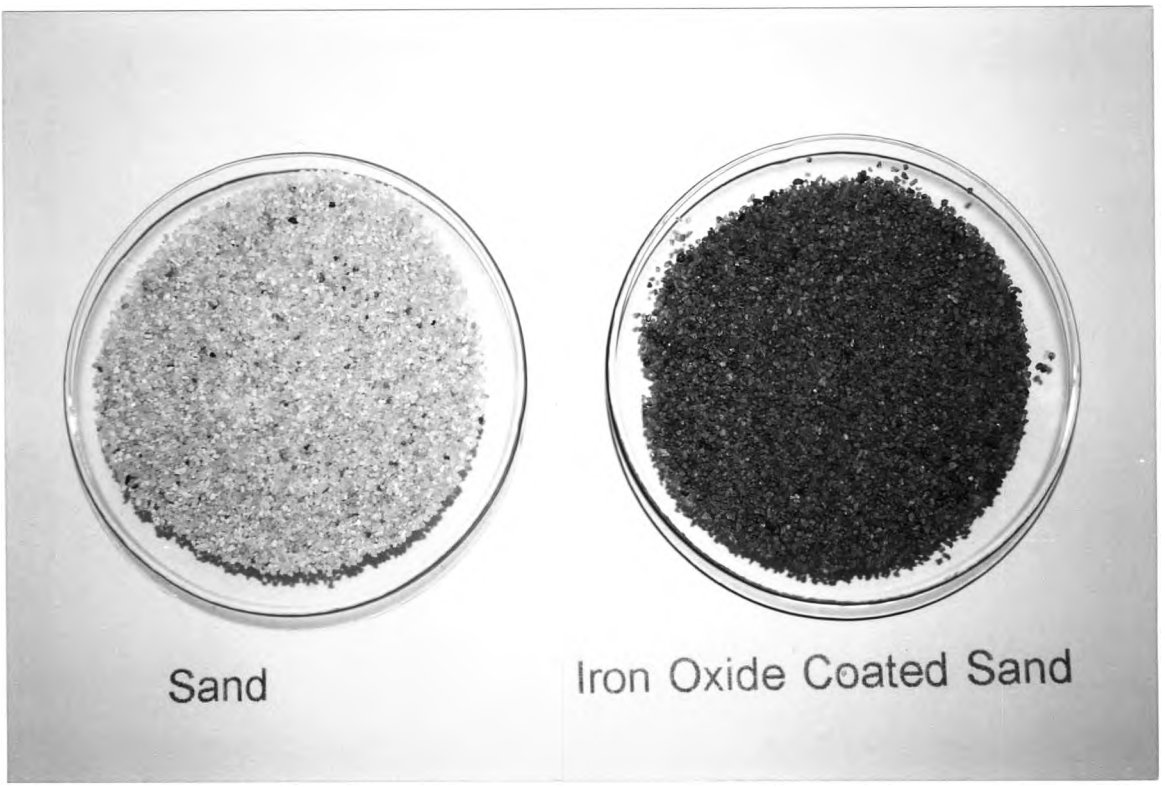


รูปที่ 4.2 เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดด่างแก่ (LEWATIT® MonoPlus M500)

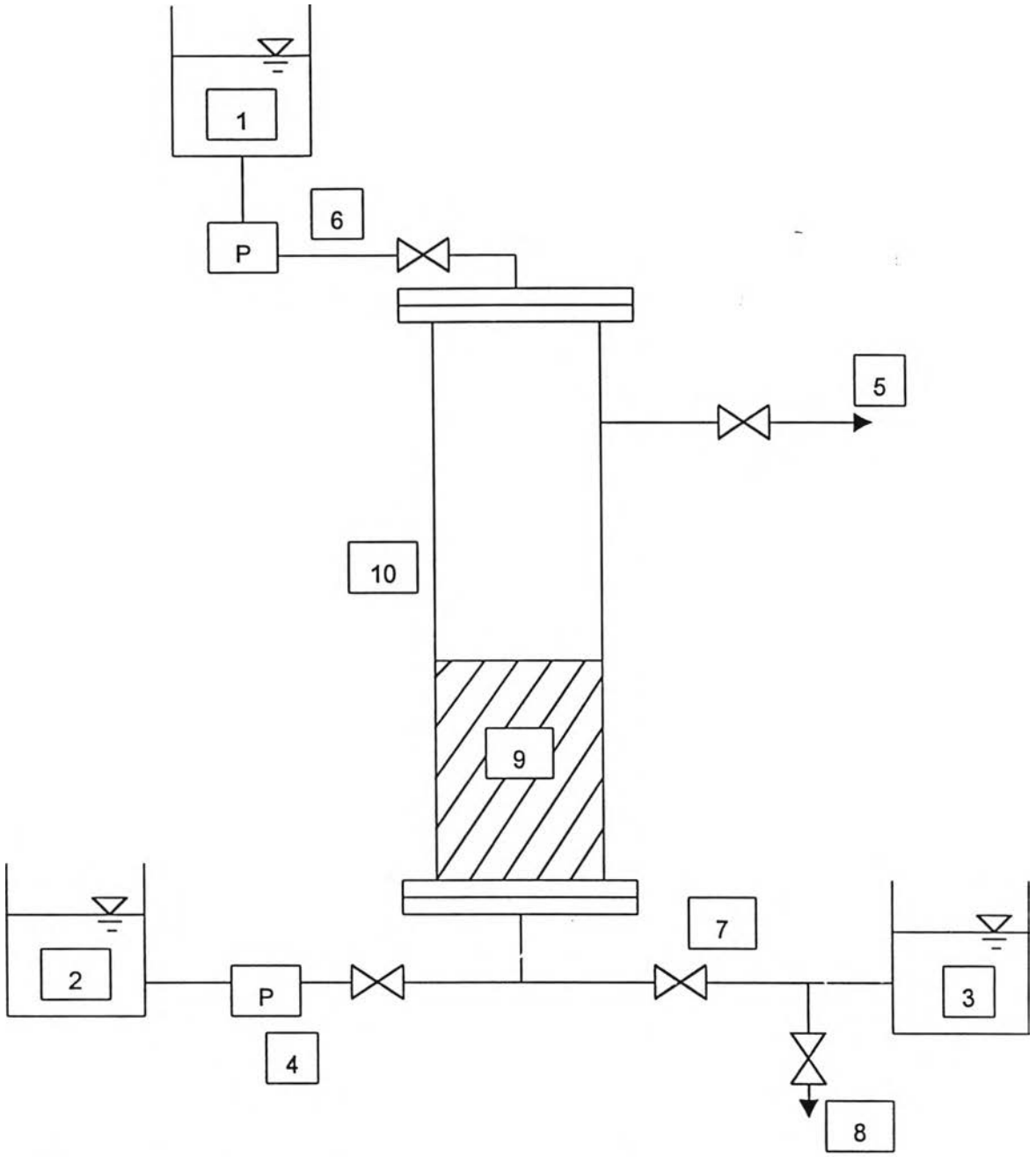
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลรายละเอียดของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดด่างแก่ (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	$Cl^- \rightarrow OH^-$	max. %	22
Stability	at temperature	max.°C	1 – 100 (Cl^- Form)
Stability	in pH range		0 –14

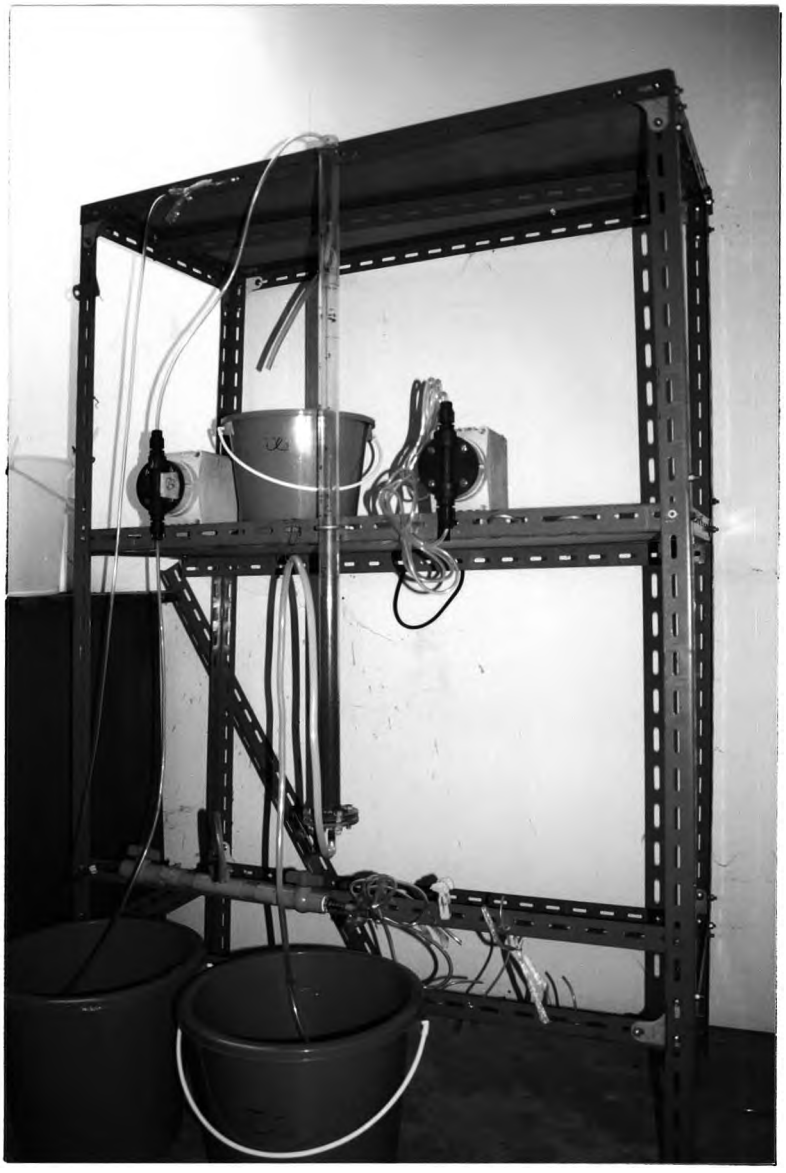


รูปที่ 4.3 ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์



1.ถังน้ำดิบ, ถังน้ำรีเจนเนอแรนท์
2.ถังน้ำล้างย้อน
3.ถังน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน
4.ทางเข้าน้ำล้างย้อนและรีเจนเนอแรนท์
5. ทางออกน้ำล้างย้อนและรีเจนเนอแรนท์
6. ทางเข้าน้ำดิบสังเคราะห์และน้ำล้างเร็ว
7.ทางออกน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน
8.ทางออกน้ำล้างเร็ว
9.ตัวกลางเรซินหรือทรายเคลือบเหล็กออกไซด์
10.คอลัมน์บรรจุตัวกลาง
P เครื่องสูบน้ำ
ประตูน้ำ

รูปที่ 4.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.5 คอลัมน์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวกลางทราย

- $Fe(NO_3)_3.9H_2O$
- H_2SO_4

2) สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ (reagent grade)

- $CuSO_4.5H_2O$
- NaOH
- formaldehyde
- EDTA
- NaOH
- H_2SO_4

3) สารเคมีที่ใช้ในการทำรีเจนเนอเรชัน

- NaOH
- H_2SO_4

4.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

4.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ทองแดงเชิงซ้อน (อนันต์, 2527)

น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากสารละลายที่ประกอบด้วย $CuSO_4.5H_2O$ 7.858 ก./ล., โซเดียมไฮดรอกไซด์ 7.5 ก./ล., formaldehyde 3 ก./ล และ EDTA 35 ก./ล โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1) นำน้ำกลั่นใส่ภาชนะประมาณครึ่งหนึ่งแล้วจึงเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ กวนให้ละลายแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นเท่าอุณหภูมิปกติแล้วจึงเติม $CuSO_4.5H_2O$, 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 $CuSO_4.5H_2O$ 220 ก./ล., H_2SO_4 60 ก./ล.และ NaCl 0.03 ก./ล โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1) นำน้ำกลั่นใส่ภาชนะประมาณครึ่งหนึ่งแล้วจึงเติม $CuSO_4.5H_2O$, 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

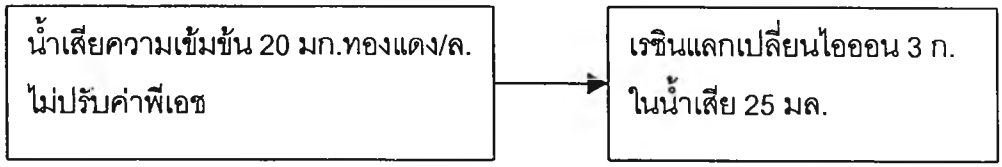
1) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 20 มก.ทองแดง/ล. (พีเอชเริ่มต้นประมาณ10) ที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด

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

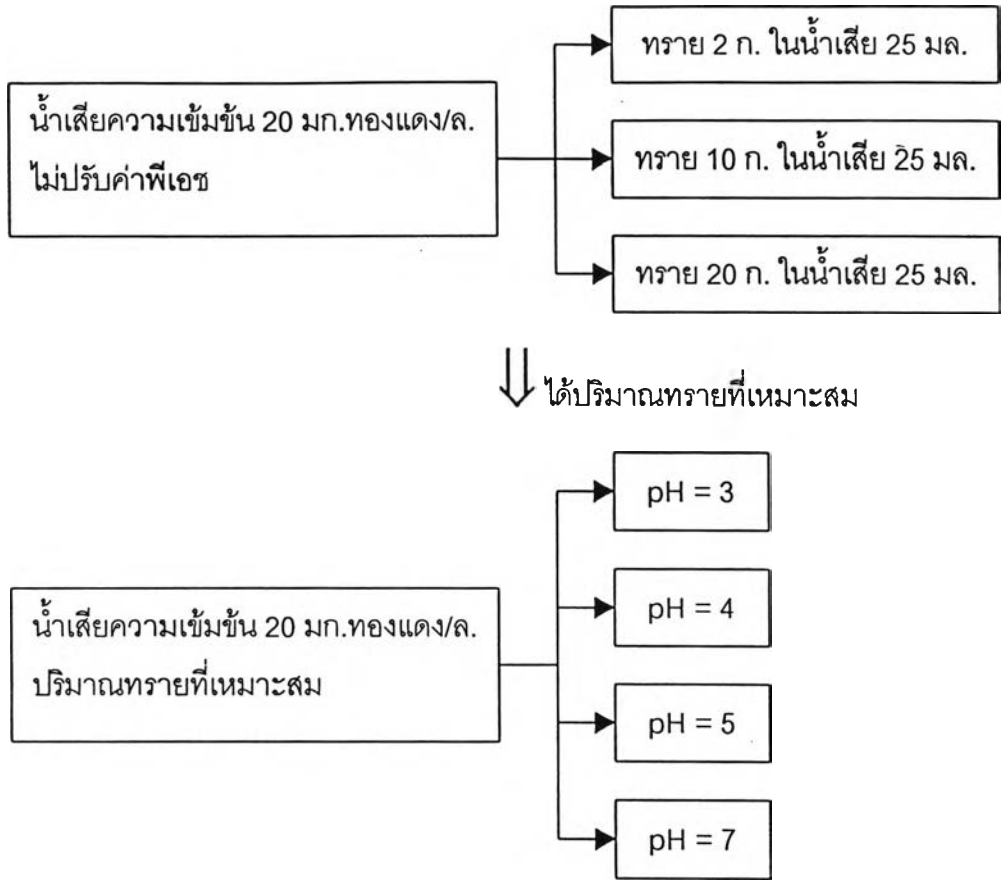
8) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1) ถึงข้อ6) ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด

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) แต่เปลี่ยนปริมาณทรายเคลือบเหล็กออกไซด์เป็น 10 และ 20 ก. ตามลำดับ

7) ตวงน้ำเสียความเข้มข้น 10 มก.ทองแดง/ล. ปรับค่าพีเอชเท่ากับ 3 ปริมาตร 25 มล. ใส่หลอดเขย่าจำนวน 4 หลอด

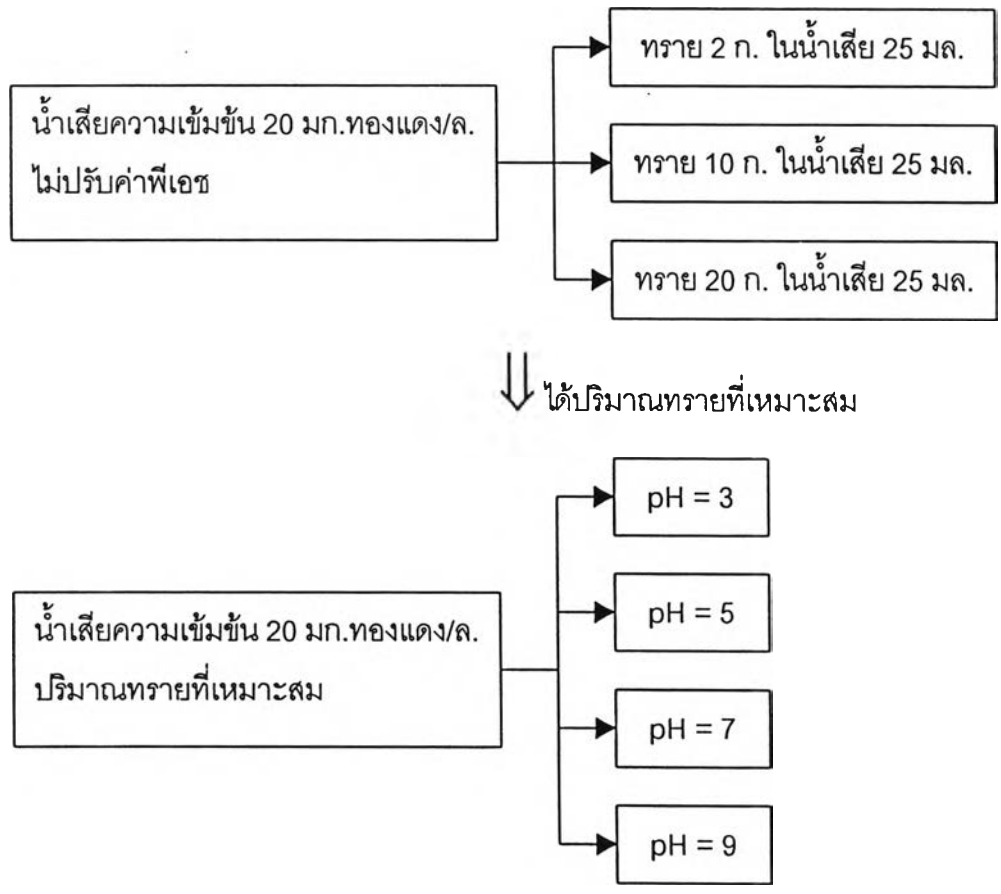
8) เติมทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ ในปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองข้อ 1) ถึงข้อ 6) ลงในหลอดเขย่า 3 หลอด

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) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

6) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 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

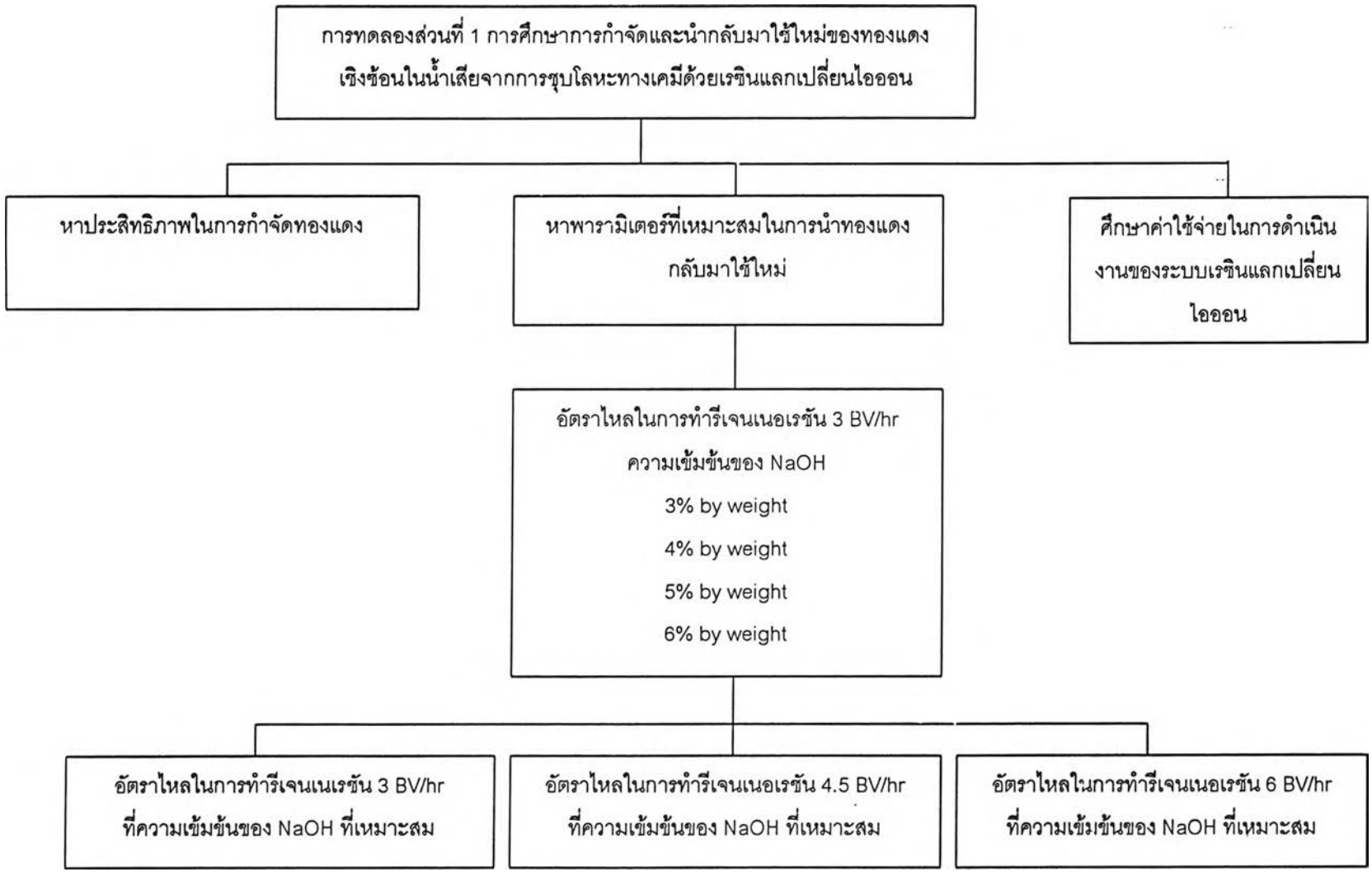
2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล 40 BV/hr

3) ปล่อยให้เรซินจมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก

4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% ด้วยอัตราไหล 4.5 BV/hr เข้าทางด้านบนของคอลัมน์ เป็นเวลา 45 นาที

5) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอย่างช้าทางด้านบนด้วยน้ำกลั่นโดยใช้อัตราไหล 4.5 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที

6) ปล่อยน้ำชะล้างสารเคมีอีกครั้งด้วยอัตราไหล 20 BV/hr เป็นเวลา 20 นาที



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการดำเนินการทดลองส่วนที่ 1

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

8) วิเคราะห์หาความเข้มข้นทองแดง, พีเอช, ค่าสภาพนำไฟฟ้า ทุกๆ5 BV

9) ทำการีเจนเนอเรชันตามข้อ 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) ปล่อยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก

4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3% 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) 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) โดยใช้อัตราไหลในการป้อนน้ำเสียที่เหมาะสม และเปลี่ยน pH ในช่วง 5 ถึง 11 เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม

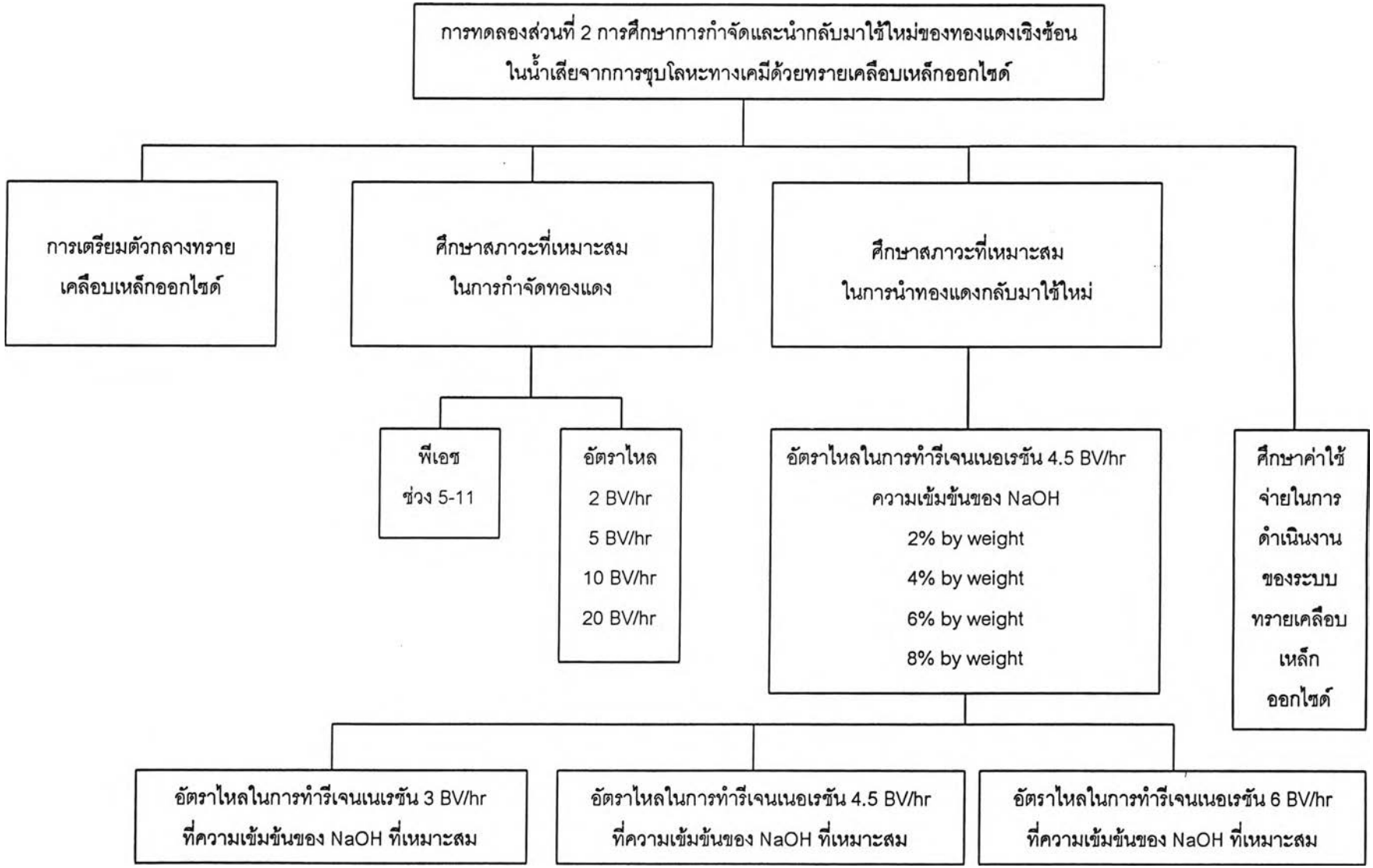
4.4.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์

2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล 40 BV/hr

3) ปล่อยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก

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) ทำการีเจนเนอเรชันตามข้อ 2) ถึง 6) อีกครั้งแต่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และทำการวัดความเข้มข้นของทองแดง, ค่าสภาพนำไฟฟ้า และพีเอชทุกๆ 2 นาที

10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 4, 6 และ8 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) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยกรดซัลฟุริคความเข้มข้น 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) 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 4 ถึง 9 เพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม

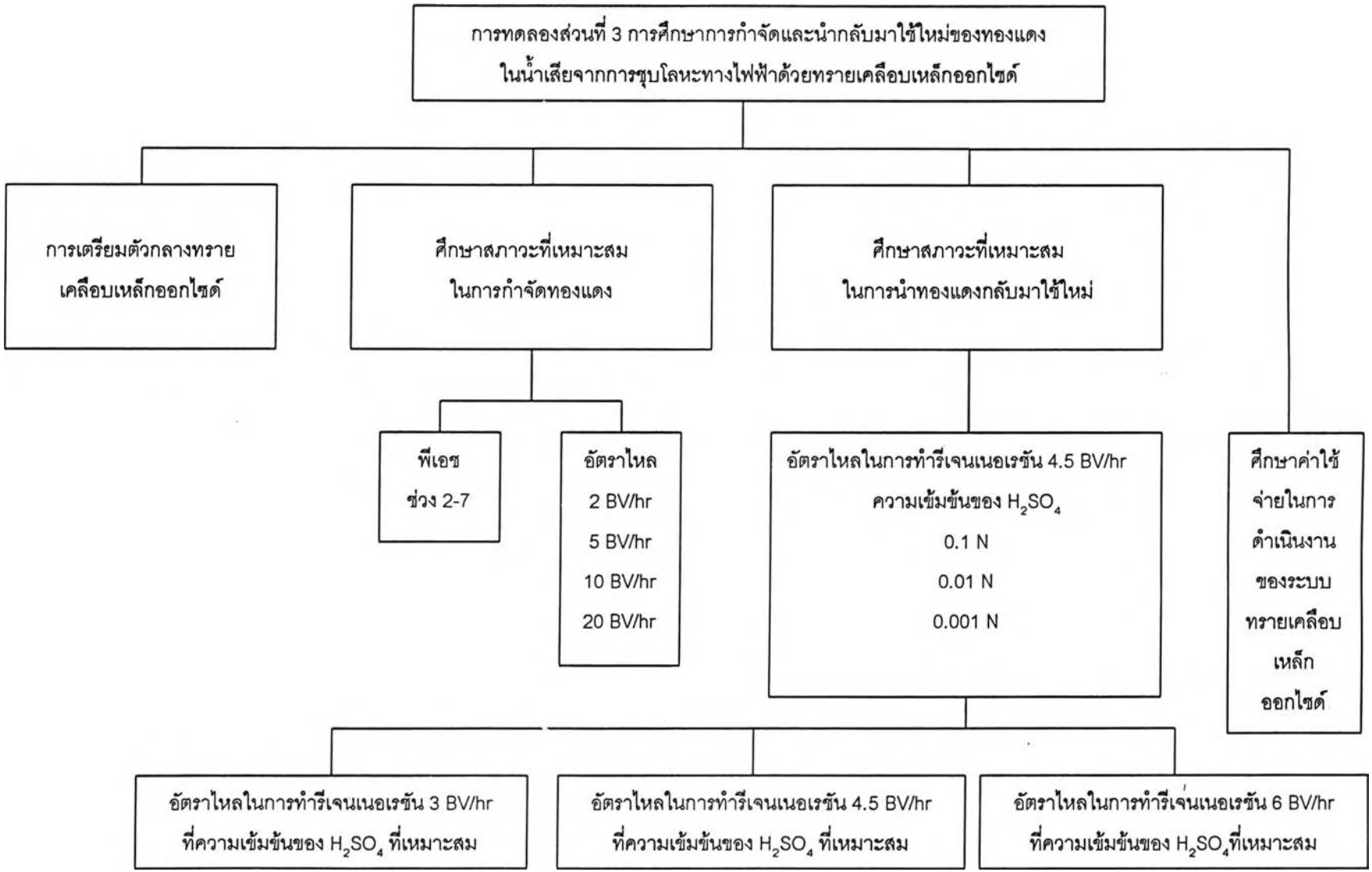
4.4.4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับทองแดงจากทรายเคลือบเหล็กออกไซด์

1) บรรจุทรายเคลือบเหล็กออกไซด์ที่ทราบปริมาณในคอลัมน์

2) ล้างย้อนด้วยน้ำกลั่นให้ชั้นตัวกลางขยายตัว เป็นเวลา 20 นาทีด้วยอัตราไหล 40 BV/hr

3) ปล่อยให้ทรายเคลือบเหล็กออกไซด์จมตัวลงพร้อมระบายน้ำออก

4) ทำการรีเจนเนอเรชันด้วยกรดซัลฟุริคความเข้มข้น 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) ทำการีเจนเนอเรชันตามข้อ 2) ถึง 6) อีกครั้งและทำการวัดความเข้มข้นของทองแดง, ค่าสภาพนำไฟฟ้า และพีเอชทุกๆ 2นาที

10) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดซัลฟุริคเป็น 0.1 และ 0.001 นอร์มัลตามลำดับ

11) เมื่อได้ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริคที่เหมาะสมแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1) ถึง 9) โดยเปลี่ยนอัตราไหลในการทำรีเจนเนอเรชันเป็น 3 และ 6 BV/hr และใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริคที่เหมาะสม

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