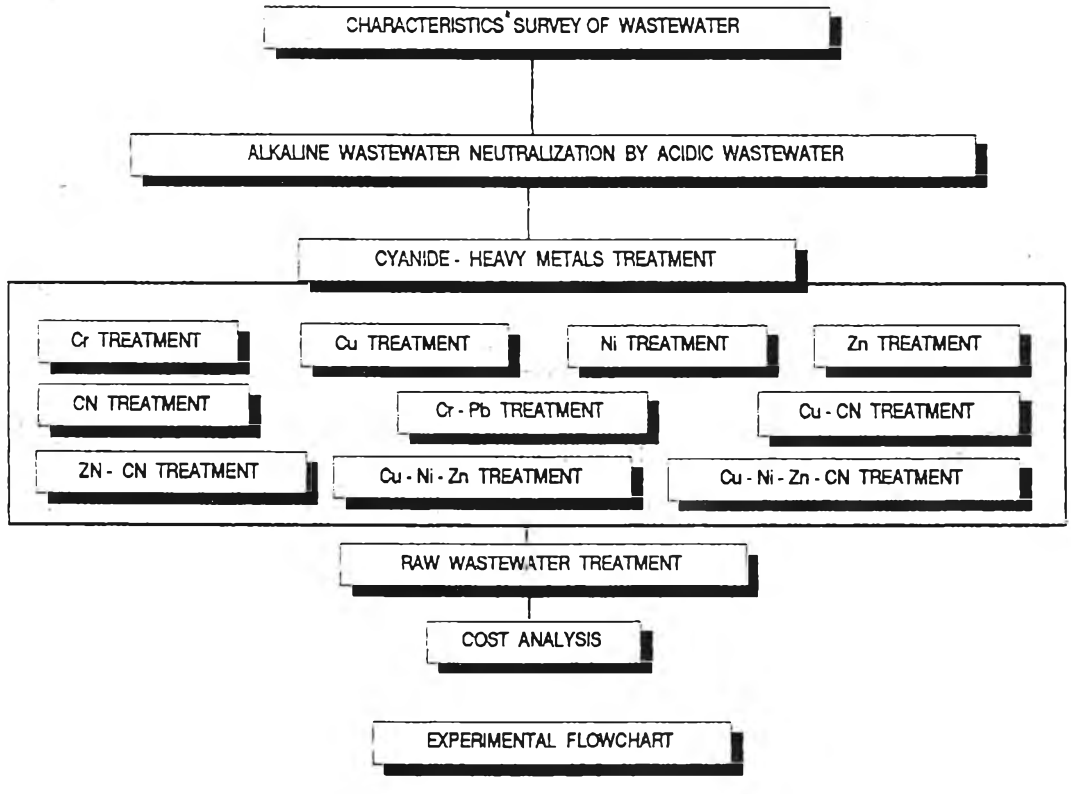
บทที่ 4

แผนการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย

4.1 การสำรวจแหล่งที่มา วัดปริมาณและวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการมุ่งเน้นสำรวจแหล่งที่มา ปริมาณและลักษณะน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ที่เกิดจากขั้นตอนการชุบโลหะ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาการจัดการน้ำเสียของโรงงาน เช่น การลดปริมาณน้ำเสีย เป็นต้น ขั้นตอนในการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. ทำการติดต่อโรงงานเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จำนวน 2 โรง โดยทำการศึกษาแต่ละโรงงานเป็นเวลานาน 5 วัน

2. ทำการสำรวจแหล่งที่มา ปริมาณ และวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย โดยแหล่งที่มาและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงประเภทของน้ำเสียและพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

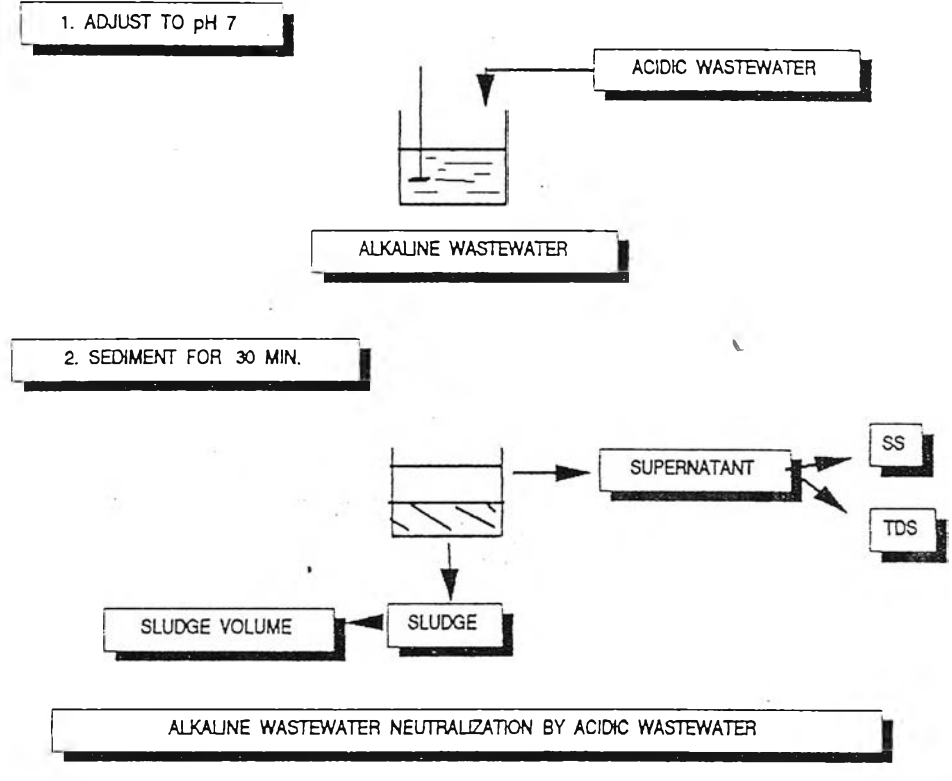
แหล่งที่มา / พารามิเตอร์	น้ำเสียกรด	น้ำเสียด่าง	น้ำเสียมีโลหะหนักและไซยาไนด์	น้ำเสียรวม
ปริมาณน้ำเสีย $ม^3$/วัน	x	x	x	x
พีเอช	x	x	x	x
ความเป็นกรด มก./ล. $CaCO_3$	x	x	x	x
ความเป็นด่าง มก./ล. $CaCO_3$	x	x	x	x
ปริมาณของแข็งแขวนลอย มก./ล.	x	x	x	x
ปริมาณของแข็งละลาย มก./ล.	x	x	x	x
น้ำมันและไขมัน มก./ล.	-	x	-	-
โลหะหนักทั้งหมด มก./ล. (วิเคราะห์หา Zn,Ni,Cu,Pb,Cr)	-	-	x	x
ไซยาไนด์ มก./ล. HCN	-	-	x	x

x วิเคราะห์ - ไม่วิเคราะห์

4.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างโดยใช้น้ำเสียที่เป็นกรด

การทดลองในส่วนนี้มุ่งเน้นที่จะลดปริมาณน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดโลหะหนักและไซยาไนด์ เนื่องจากน้ำเสียทั้งที่เป็นกรดและด่าง จะไม่มีโลหะหนักที่เป็นอันตรายและไซยาไนด์ ขั้นตอนในการศึกษามีดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 4.2 ประกอบ)

1. เก็บน้ำเสียที่เป็นกรดและน้ำเสียที่เป็นด่างตามที่ศึกษาในข้อ 4.1
2. ตวงน้ำเสียที่เป็นด่างปริมาตร 100 มล.
3. ไตเตรทด้วยน้ำเสียกรดจนกระทั่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 7
4. จดบันทึกบริมาตรน้ำเสียกรดที่ใช้ในการไตเตรท ตะกอนที่เกิด
5. วิเคราะห์ค่า ของแข็งละลาย ของแข็งแขวนลอย



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการบำบัดน้ำเสียที่เป็นด่างด้วยน้ำเสียที่เป็นกรด

4.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักและไซยาไนด์

ในการทดลองนี้มุ่งเน้นที่จะหาพีเอชที่เหมาะสมในการตกผลึกของโลหะหนัก ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่าย สารเคมีและความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงชนิดสารเคมีและลักษณะการใช้งาน

รายละเอียด	สารเคมี
การปรับพีเอชให้สูงขึ้น การปรับพีเอชให้ต่ำลง การทำลายโครเมียมบวกหก การทำลายไซยาไนด์	NaOH 1 N , $Ca(OH)_2$ 1 N H_2SO_4 0.02 N , 1 N $FeSO_4$ เป็นผง , $Na_2S_2O_5$ เป็นผง , H_2SO_4 Conc $Ca(OCl)_2$ เป็นผง , NaOCl 10% (เหลว)

4.3.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเพียงชนิดเดียวหรือไซยาไนด์

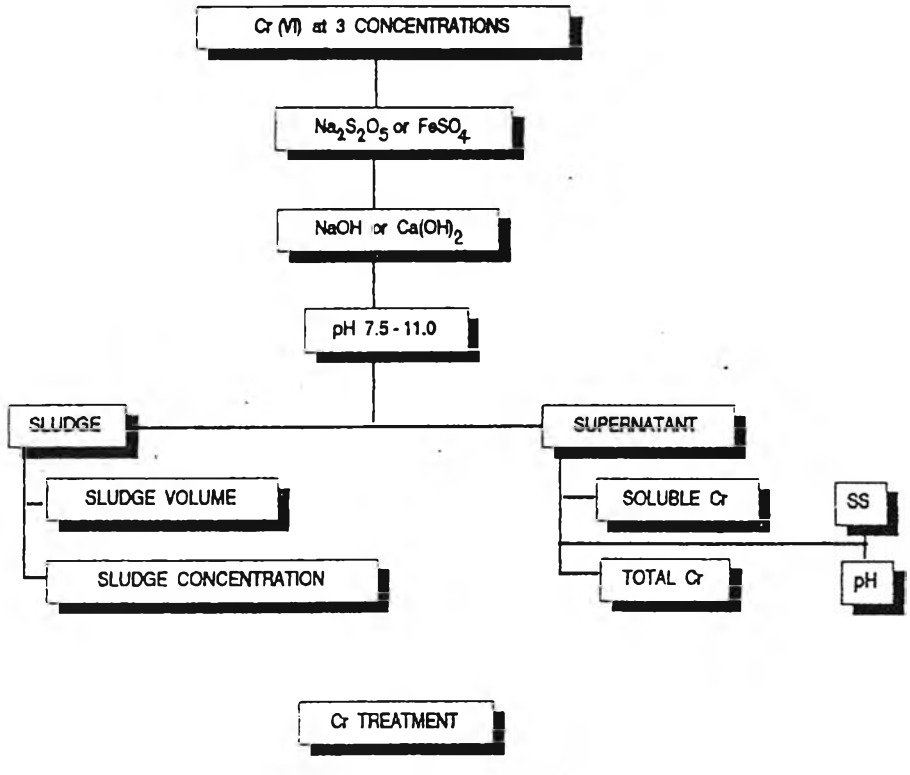
1. การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากกรดโครมิคและกรดซัลฟุริค ให้มีความเข้มข้น 250 ก/ล. และ 2.5 ก/ล. ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.3 ประกอบ)
   1.1 ความเข้มข้นโครเมียมที่ใช้ในการศึกษา คือ 212 , 530 และ 1060 มก/ล. ปริมาตร 500 มล.
   1.2 วัดค่าพีเอชเริ่มต้น จากนั้นไตเตรทด้วยกรดซัลฟุริค จนกระทั่งพีเอชเท่ากับ 2.0 และ 2.5 กรณีที่เป็นเฟอร์รัสซัลเฟต และโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ตามลำดับ
   1.3 เติมสารรีดิวซ์ปริมาณ 3.50 เท่า และ 1.75 เท่า (มั่นสิน,2534) กรณีที่เป็นเฟอร์รัสซัลเฟตและโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ตามลำดับ และเติมกรดซัลฟุริคเพื่อควบคุมค่าพีเอชตามกำหนด กวนเร็ว 2 นาที
   1.4 เก็บตัวอย่างไปหาค่า พีเอช โครเมียมบวกหก
   1.5 ทำการตกตะกอนทางเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช ได้แก่ ปูนขาว และโซดาไฟ ค่าพีเอชขณะกวนเร็วเท่ากับ 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 กวนเร็วนาน 2 นาที ปล่อย

ตกตะกอน 90 นาที

1.6 บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอนที่เกิดที่ 30 และ 90 นาที

1.7 เก็บน้ำใสไปวิเคราะห์ พีเอช โครเมียมทั้งหมด โครเมียมละลาย ตะกอนแขวนลอย วิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกอน

1.8 ปรับพีเอชน้ำใสให้มีค่า 7 และบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้



รูปที่ 4.3 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม

2. **การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง** ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากคอปเปอร์ซัลเฟตและกรดซัลฟุริค ให้มีความเข้มข้น 220 ก/ล. และ 60 ก/ล. ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.4 ประกอบ)

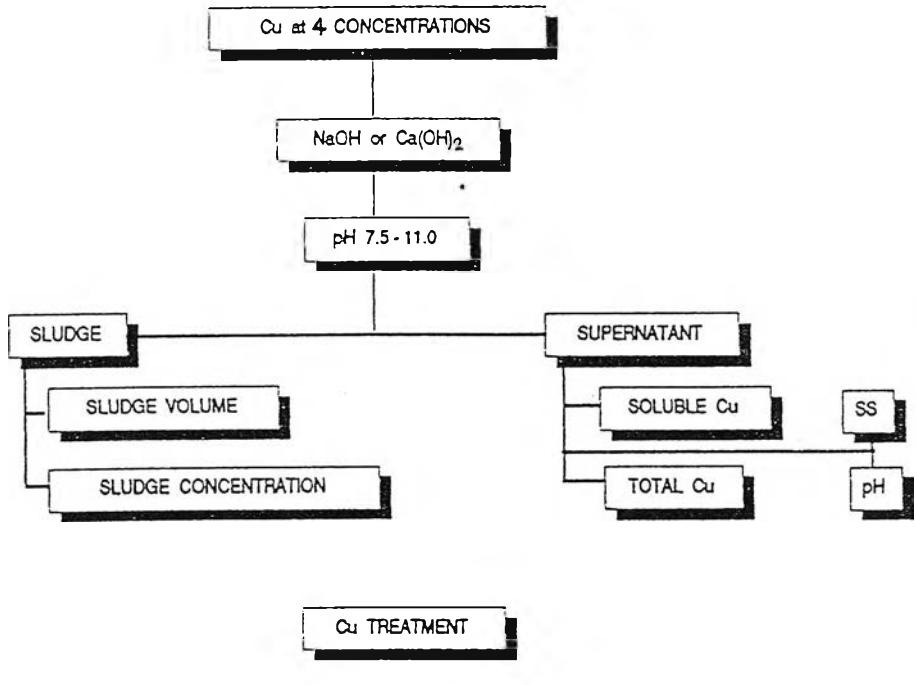
   2.1 ความเข้มข้นของทองแดงที่ศึกษา คือ 244 , 609 ,1218 และ 6092 มก/ล. ปริมาตร 500 มล.

   2.2 วัดพีเอชเริ่มต้น และทำการตกตะกอนทางเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชได้แก่ ปูนขาว และโซดาไฟ ค่าพีเอชขณะกวนเร็วเท่ากับ 7.5 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 กวนเร็วนาน 2 นาที ปล่อยตกตะกอน 90 นาที

   2.3 บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอนที่เกิดที่ 30 และ 90 นาที

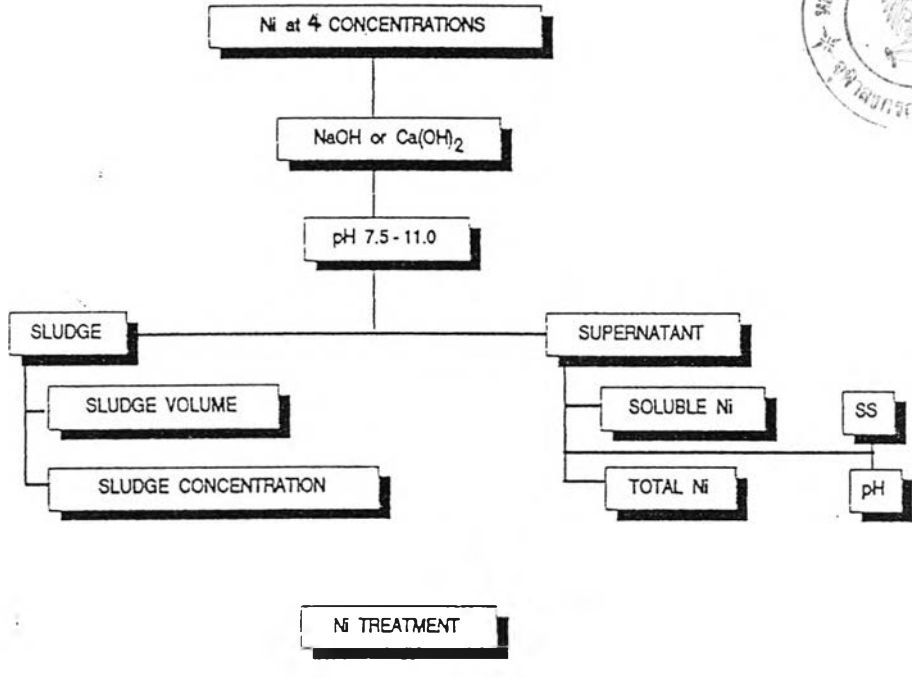
   2.4 เก็บน้ำใสไปวิเคราะห์ พีเอช ทองแดงทั้งหมด ทองแดงละลาย ของแข็งแขวนลอย และวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นตะกอน

   2.5 ปรับพีเอชให้มีค่า 7 และบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้



รูปที่ 4.4 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง

3. การบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากนิเกิลซัลเฟต นิเกิลคลอไรด์และกรดบอริค ให้มีความเข้มข้น 300 ก/ล. 40 ก/ล. และ 40 ก/ล. ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.5 ประกอบ)
   3.1 ความเข้มข้นของนิเกิลที่ศึกษา คือ 200 , 500 ,1000 และ 5000 มก/ล. ปริมาตร 500 มล.
   3.2 วัดพีเอชเริ่มต้น และทำการตกตะกอนทางเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชได้แก่ ปูนขาว และโซดาไฟ ค่าพีเอชขณะกวนเร็วเท่ากับ 7.5 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 กวนเร็วนาน 2 นาที ปล่อยตกตะกอน 90 นาที
   3.3 บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอนที่เกิด
   3.4 เก็บน้ำใสไปวิเคราะห์ พีเอช นิเกิลทั้งหมด นิเกิลละลาย ของแข็งแขวนลอย และวิเคราะห์ความเข้มข้นตะกอน
   3.5 ปรับพีเอชให้มีค่า 7 และบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้



รูปที่ 4.5 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีนิเกิล

4. การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากสังกะสีซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมซัลเฟต ให้มีความเข้มข้น 240 ก/ล. , 15 ก/ล. และ 30 ก/ล. ตามลำดับ (ดูรูปที่ 4.6 ประกอบ)

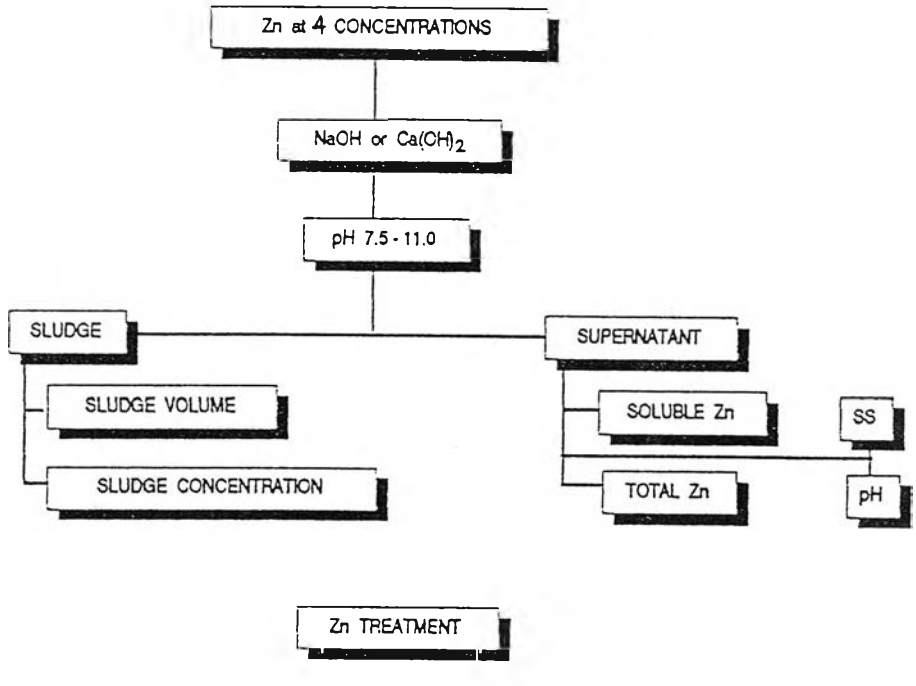
4.1 ความเข้มข้นของสังกะสีที่ศึกษา คือ 224 , 559 , 1118 และ 5588 มก/ล. ปริมาตร 500 มล.

4.2 วัดพีเอชเริ่มต้น และทำการตกตะกอนทางเคมี โดยสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอชได้แก่ ปูนขาว และโซดาไฟ ค่าพีเอชขณะกวนเร็วเท่ากับ 7.5 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5 และ 11.0 กวนเร็วนาน 2 นาที ปล่อยตกตะกอน 90 นาที

4.3 บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณตะกอนที่เกิดที่ 30 และ 90 นาที

4.4 เก็บน้ำใสไปวิเคราะห์ พีเอช สังกะสีทั้งหมด สังกะสีละลายของแข็งแขวนลอย และวิเคราะห์ความเข้มข้นตะกอน

4.5 ปรับพีเอชให้มีค่า 7 และบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้



รูปที่ 4.6 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี

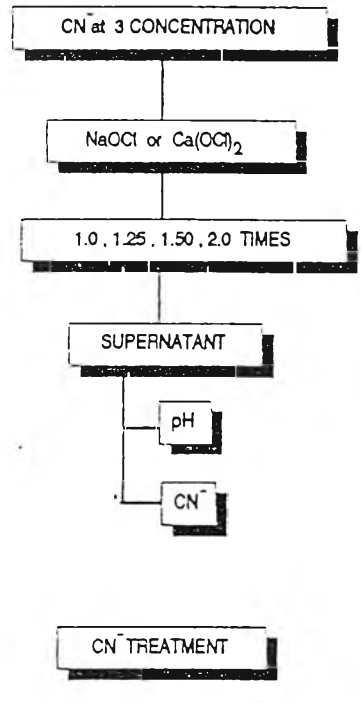
5. การบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 ก/ล. และโซเดียมไซยาไนด์ 50 ก/ล. (ดูรูปที่ 4.7)

5.1 ความเข้มข้นไซยาไนด์ที่ศึกษา คือ 200 , 500 , 1000 มก/ล. ปริมาตร 500 มล.

5.2 วัดค่าพีเอชเริ่มต้น จากนั้นไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งพีเอชเท่ากับ 11

5.3 เติมสารออกซิไดซ์ปริมาณ 1.0 เท่า, 1.25 เท่า, 1.5 เท่า และ 2.0 เท่า โดยสารที่ใช้ออกซิไดซ์ได้แก่ แคลเซียมไฮโปรคลอไรท์ และโซเดียมไฮโปรคลอไรท์ กวนเร็ว 2 นาที

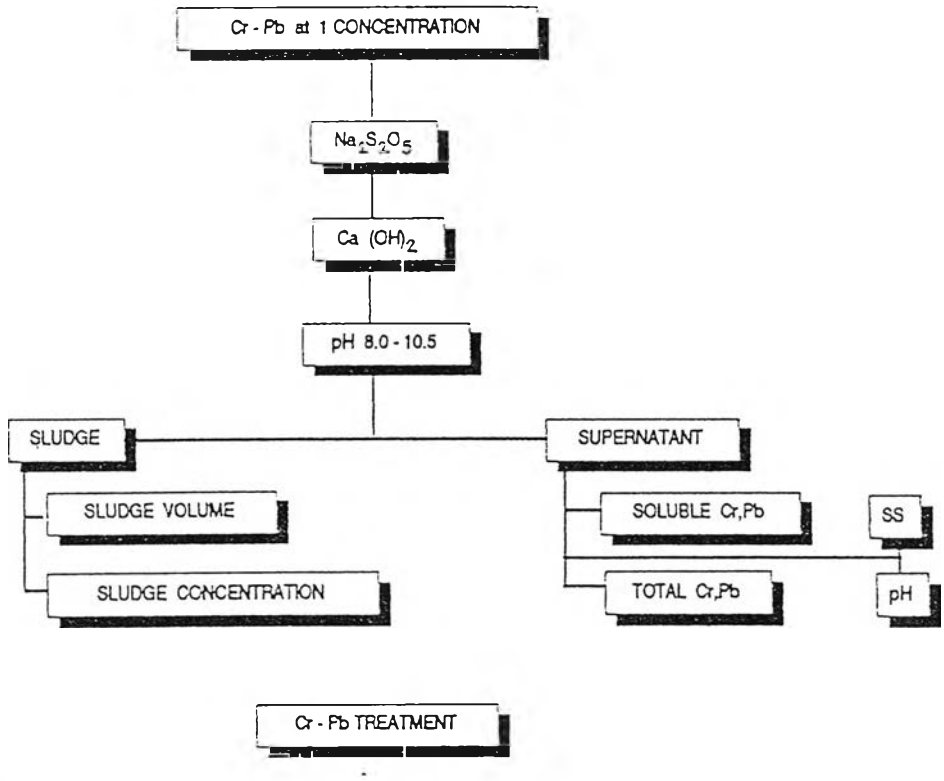
5.4 เก็บตัวอย่างไปหาค่า พีเอช ไซยาไนด์



รูปที่ 4.7 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์

4.3.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนกันหรือมีไซยาไนด์

1. การบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่ว ใช้น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมข้างต้นมาเติมตะกั่ว ความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ โครเมียม 212 มก/ล. และ ตะกั่ว 208 มก/ล.(รูปที่ 4.8)
   1.1 ทำการรีดิวซ์โครเมียมโดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 1
   1.2 ทำการตกตะกอนเคมี โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 1 พีเอชที่ศึกษาพิจารณาจาก 4.3.1 ข้อ 1
   1.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และการบันทึกข้อมูลเหมือน 4.3.1 ข้อ 1 โดยเพิ่ม ตะกั่วทั้งหมด และตะกั่วละลาย



รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียมและตะกั่ว

2. การบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์เดิมด้วยทองแดง ความเข้มข้นของทองแดงและไซยาไนด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ ทองแดง 244 มก/ล. และ ไซยาไนด์ 200 มก/ล.

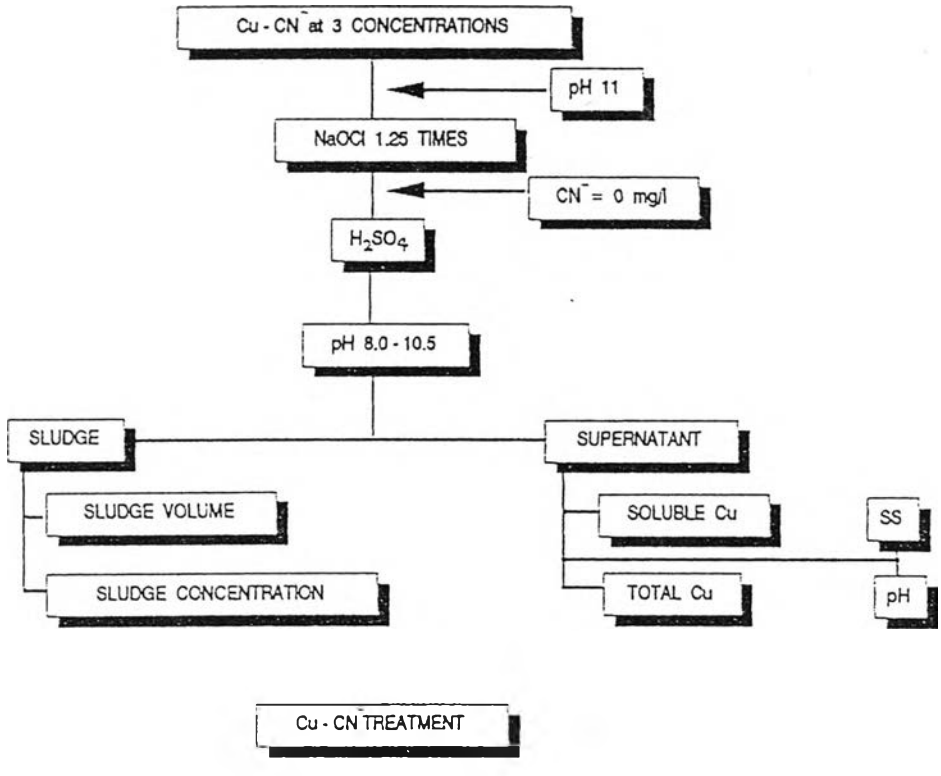
ทองแดง 609 มก/ล. และ ไซยาไนด์ 500 มก/ล.

ทองแดง 1218 มก/ล. และไซยาไนด์ 1000 มก/ล.

2.1 ทำการออกซิไดซ์ไซยาไนด์โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 5

2.2 ทำการดกตะกอนเคมี โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 2 พีเอชที่ศึกษาพิจารณาจาก 4.3.1 ข้อ 2

2.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และการบันทึกข้อมูลเหมือน 4.3.1 ข้อ 2



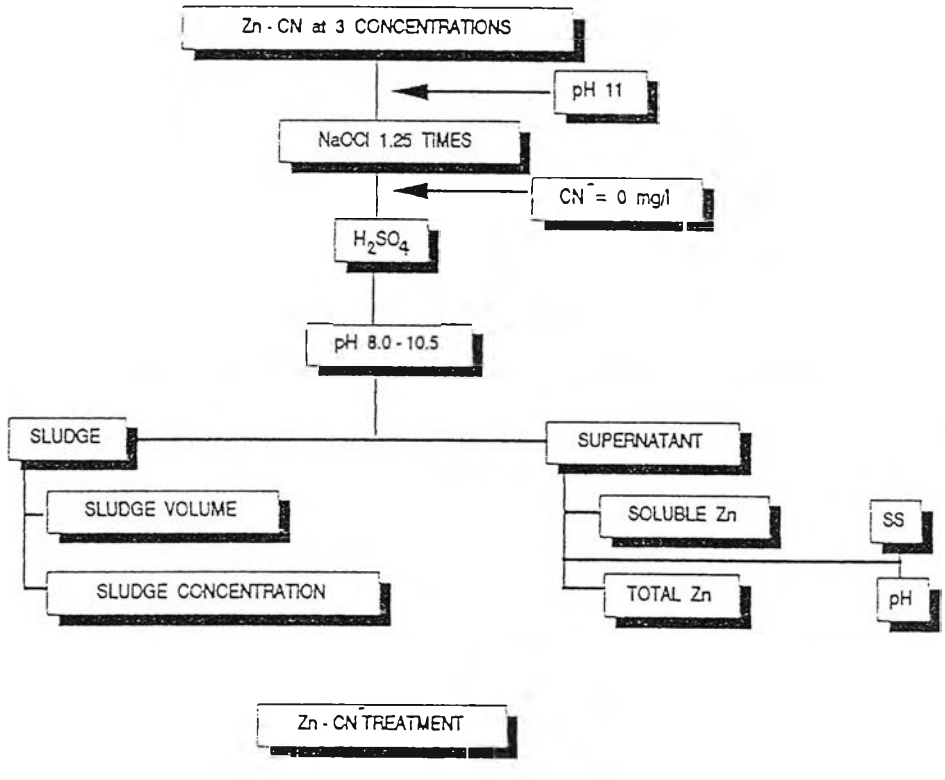
รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงและไซยาไนด์

3. การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์เติมด้วยสังกะสี ความเข้มข้นของสังกะสีและไซยาไนด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ สังกะสี 224 มก/ล. และ ไซยาไนด์ 200 มก/ล.
สังกะสี 559 มก/ล. และ ไซยาไนด์ 500 มก/ล.
สังกะสี 1118 มก/ล. และไซยาไนด์ 1000 มก/ล.

3.1 ทำการออกซิไดซ์ไซยาไนด์โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 5

3.2 ทำการตกตะกอนเคมี โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 4 พีเอชที่ศึกษาพิจารณาจาก 4.3.1 ข้อ 4

3.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และการบันทึกข้อมูลเหมือน 4.3.1 ข้อ 4



รูปที่ 4.10 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสีและไซยาไนด์

4. การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี นิเกิล ทองแดง ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ทองแดง เติมด้วยสังกะสี นิเกิล ความเข้มข้นของสังกะสี นิเกิล ทองแดง ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ (ดูรูปที่ 4.11)

สังกะสี 224 มก/ล. นิเกิล 200 มก/ล. ทองแดง 244 มก/ล.

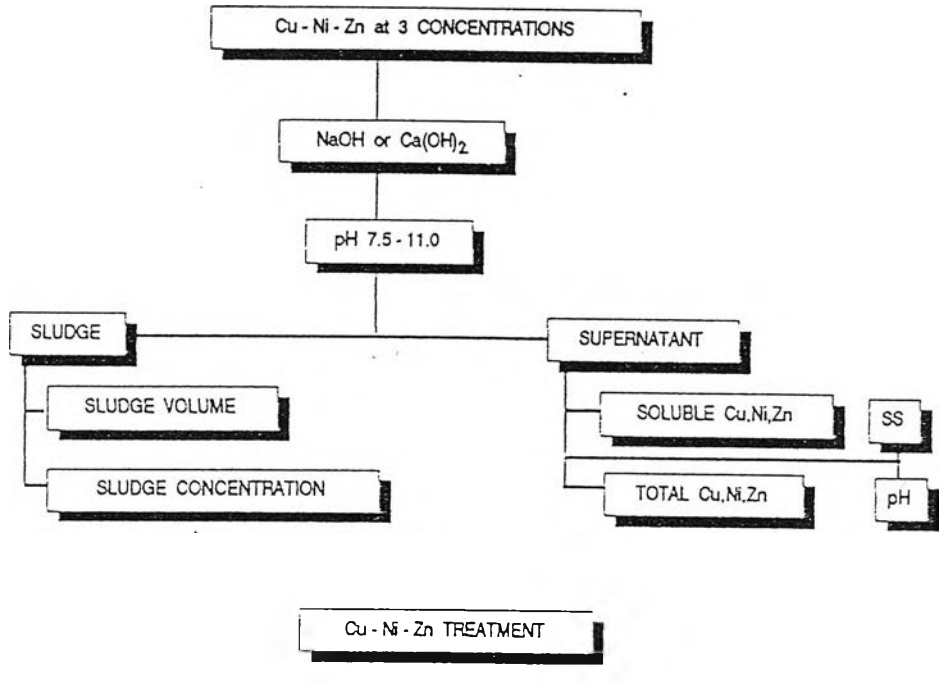
สังกะสี 559 มก/ล. นิเกิล 500 มก/ล. ทองแดง 609 มก/ล.

สังกะสี 1118 มก/ล. นิเกิล 1000 มก/ล. ทองแดง 1218 มก/ล.

สังกะสี 5588 มก/ล. นิเกิล 5000 มก/ล. ทองแดง 6092 มก/ล.

4.1 ทำการตกตะกอนเคมี โดยใช้สารเคมีทั้งสองอย่าง พีเอชที่ศึกษาเหมือน 4.3.1 ข้อ 2

4.2 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.11 และการบันทึกข้อมูลเหมือน 4.3.1 ข้อ 2



รูปที่ 4.11 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิลและสังกะสี

5. **การบำบัดน้ำเสียที่มีสังกะสี นิเกิล ทองแดงและไซยาไนด์** ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ เติมด้วยสังกะสี นิเกิล ทองแดง ความเข้มข้นของสังกะสี นิเกิล ทองแดงและไซยาไนด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ

สังกะสี 224 มก/ล. นิเกิล 200 มก/ล. ทองแดง 244 มก/ล. และไซยาไนด์ 200 มก/ล.

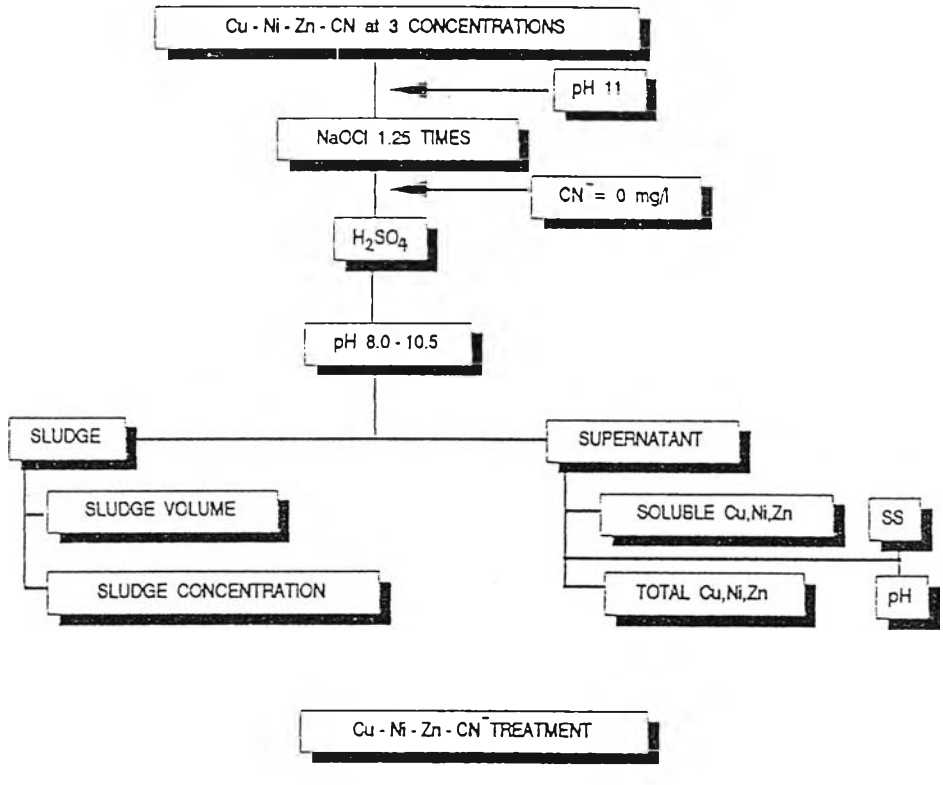
สังกะสี 559 มก/ล. นิเกิล 500 มก/ล. ทองแดง 609 มก/ล. และไซยาไนด์ 500 มก/ล.

สังกะสี 1118 มก/ล. นิเกิล 1000 มก/ล. ทองแดง 1218 มก/ล. และไซยาไนด์ 1000 มก/ล.

4.1 ทำการออกซิไดซ์ไซยาไนด์โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.1 ข้อ 5

4.2 ทำการตกตะกอนเคมี โดยใช้สารเคมีที่เหมาะสมจาก 4.3.2 ข้อ 4 พีเอชที่ศึกษาพิจารณาจาก 4.3.2 ข้อ 4

4.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์และการบันทึกข้อมูลเหมือน 4.3.2 ข้อ 4

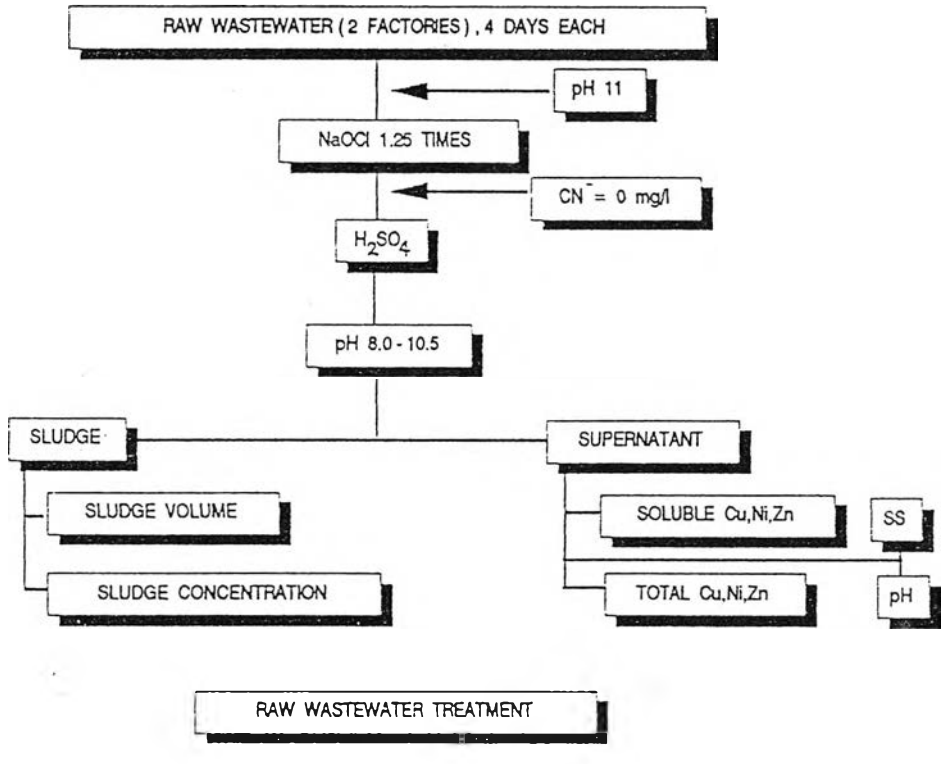


รูปที่ 4.12 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดง นิเกิล สังกะสีและไซยาไนด์

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้น้ำเสียจริง

การศึกษาในส่วนนี้มุ่งเน้นจะทดลองบำบัดน้ำเสียจริงของโรงงานชุบโลหะ โดยขั้นตอนในการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. เก็บน้ำเสียของโรงงานทั้งสองโรงงานๆ ละ 4 ครั้ง (อาจมีโลหะหนักหลายประเภทปนกัน)
2. วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมดของ โครเมียม นิเกิล ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และไซยาไนด์
3. กำจัดไซยาไนด์และทำการตกผลึกโลหะหนัก โดยใช้สารเคมี พีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 4.3
4. บันทึกข้อมูลปริมาณสารเคมีที่ใช้และปริมาณตะกอนที่เกิดที่ 30 และ 90 นาที
5. วิเคราะห์ปริมาณโลหะทั้งหมดและโลหะละลาย พีเอช ของแข็งแขวนลอย และความเข้มข้นตะกอน



รูปที่ 4.13 แผนผังแสดงขั้นตอนในการทดลองบำบัดน้ำเสียจริง

4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม

การศึกษาในส่วนนี้จะพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงาน และเปรียบเทียบกับการใช้บริการของศูนย์บริการกำจัดกากแสมดำ โดยขั้นตอนในการศึกษามีดังต่อไปนี้

1. คำนวณค่าสารเคมีที่ต้องใช้ บาทต่อลูกบาศก์เมตรน้ำเสีย
2. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อใช้สารเคมีต่างกัน
3. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้ระบบบำบัดในโรงงาน กับการใช้บริการศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมแสมดำ

4.6 วิธีการวิเคราะห์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

วิธีการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสีย ใช้วิธีตามแสดงใน Standard Method for The Examination of Wastewater And Water (APHA และคณะ ,1989) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณน้ำเสีย	Flow meter (มิเตอร์วัดน้ำประปาละเอียด 0.001 $ม^3$)
pH	pH meter
ความเป็นกรด	Titrimetric method
ความเป็นด่าง	Titrimetric method
ของแข็งแขวนลอย	Gravimetric method
ของแข็งละลาย	Gravimetric method
น้ำมันและไขมัน	Solvent extraction
โลหะหนักทั้งหมด	ย่อยสลายด้วยกรดไนตริค แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectophotometer
โครเมียมบวกหก	Colorimetric method
ไซยาไนด์	Cyanide Distillation (pretreatment) และ Cyanide Ion Selective Method
ปริมาณตะกอน	วัดในรูปปริมาตรและน้ำหนักแห้ง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดพีเอช ของ HANNA INSTRUMENTS MODEL HI9017
2. ตู้อบ 103-105 องศาเซลเซียส
3. ปั๊มดูดอากาศ ของ FISHER SCIENTIFIC SERIAL 70-490122
4. เครื่องชั่งละเอียด 0.0001 กรัม ของ SARTORIUS
5. ตู้ดูดควัน
6. เตาไฟฟ้า
7. ชุดกลั่นไซยาไนด์
8. หัววัดไซยาไนด์ใช้กับเครื่องวัดพีเอช ของ HORIBA MODEL F13
9. เครื่องกวนและแท่งแม่เหล็ก
10. เครื่อง JAR TEST ของ PHIPPS&BIRD MODEL 302
11. เครื่อง ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER ของ INSTRUMENTATION LABORATORY MODEL 551 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย