บทที่ 3

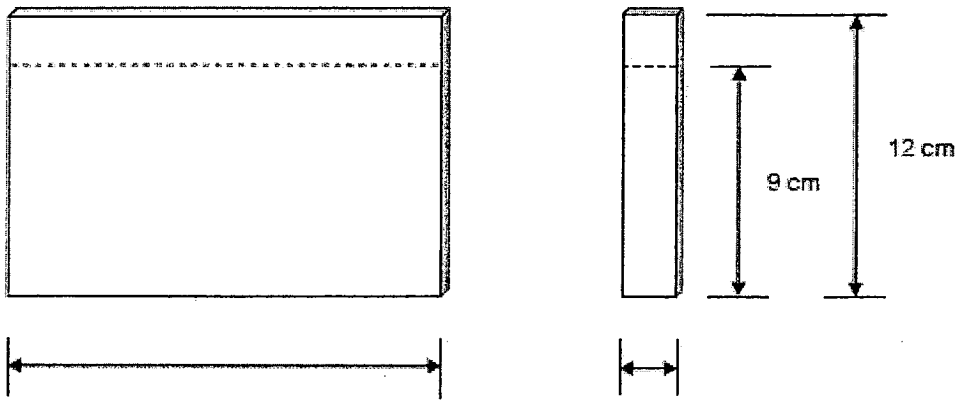
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถังปฏิกิริยาทำจากอะคริลิกขนาด (กว้าง × ยาว × สูง) 15 × 16 × 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีพื้นที่หน้าตัดต่อปริมาตรสารละลาย (Area/Cell Volume Ratio; A/V) ผั่งขั้วแคโทดเท่ากับ 64.8 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร
2. ถังเก็บน้ำเสีย
3. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) : GW, INSTEK
4. เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) : GBC, Avanza
5. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter) : Mettler Toledo, model Seven Multi pH/Conductivity
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (4 Digital Balance) : Mettler-Toledo, Dragon 204
7. เครื่องสูบน้ำที่ปรับอัตราการไหลของน้ำได้
8. กระดาษกรอง (Filter Paper)
9. กระดาษทราย (Sand Paper)
10. ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป
11. ขั้วไฟฟ้า (Electrode) มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำด้วยแกรไฟต์ขนาด 12 x 9 ตารางเซนติเมตร และ 3 x 9 ตารางเซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 (ก) ขั้วไฟฟ้าแอโนดที่ใช้ทดลอง
(ข) ขั้วไฟฟ้าแคโทดที่ใช้ทดลอง

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride, NaCl)
2. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid, HCl)
3. น้ำกลั่น

3.1.3 การเตรียมน้ำเสียจริงและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำเสียจริงเป็นน้ำที่เก็บจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแท่นพิมพ์ โดยเก็บใส่ถังพลาสติกสีดำ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์เตรียมจากโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร โดยเตรียมจากโซเดียมคลอไรด์ 29.25 กรัม ละลายในน้ำจนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ความเข้มข้น	หน่วย
พีเอช	3.4	-
ทองแดง	248	mg/L
โครเมียม	161	mg/L
นิกเกิล	14	mg/L
ซัลเฟต	1,745	mg/L
ไนเตรท	1.2	mg/L
ของแข็งละลายทั้งหมด	2,735	mg/L

3.2 การจัดอุปกรณ์การทดลองโดยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

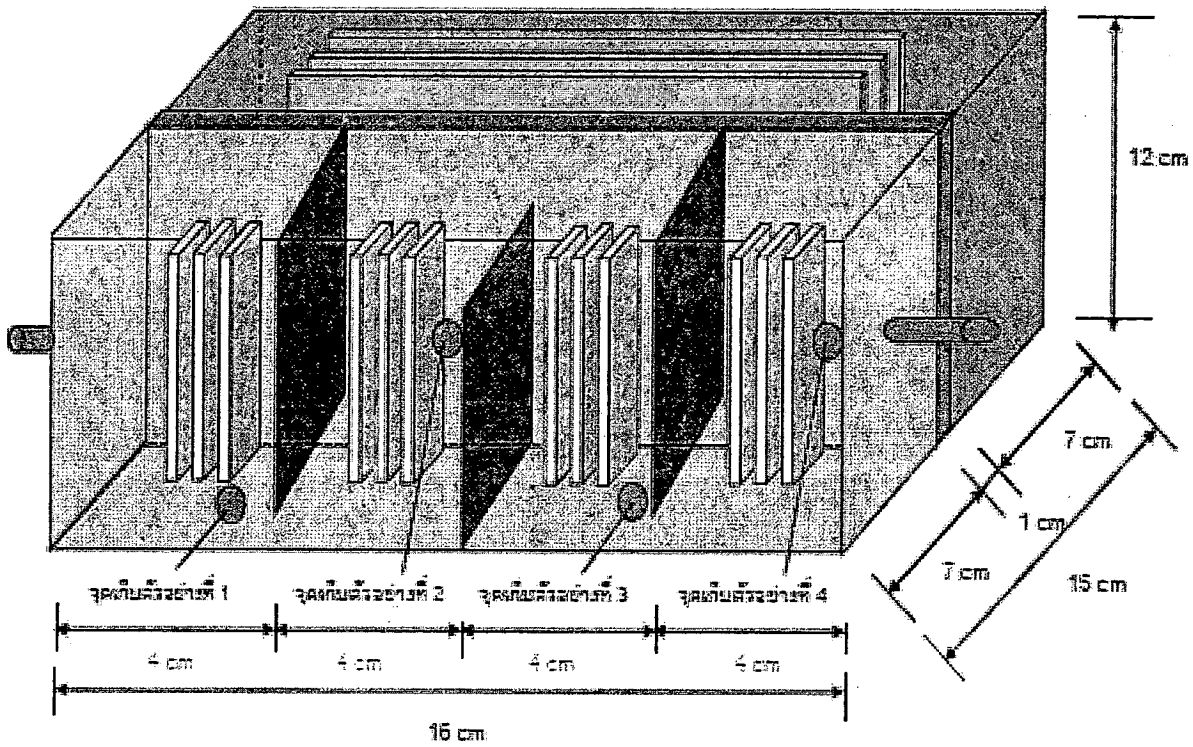
การกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีเคมีไฟฟ้าแบบไหลต่อเนื่อง ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีการจัดเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบมีรอยต่อของสารละลาย โดย

1. ถังปฏิกิริยาทำจากอะคริลิกขนาด (กว้าง × ยาว × สูง) 15 × 16 × 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.2

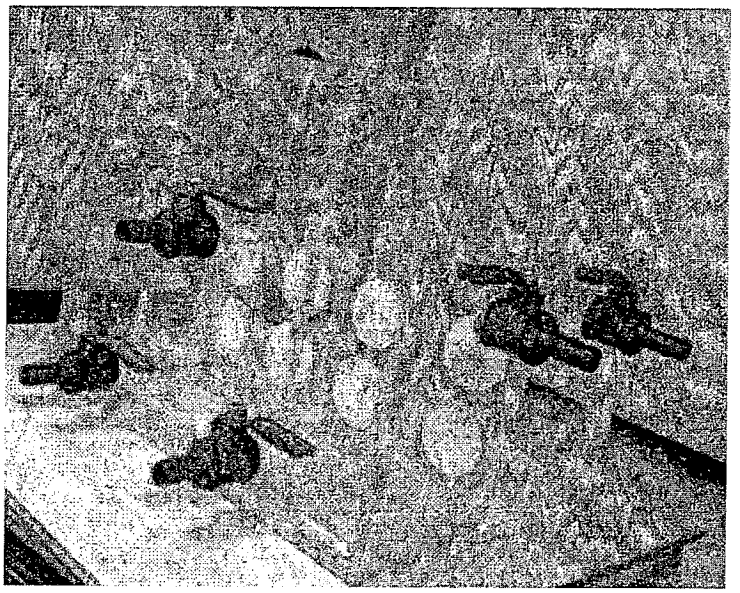
2. ในถังปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแคโทดบรรจุน้ำเสีย ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร และส่วนครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแอโนดบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมจากโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เชื่อมกลางด้วยแผ่นแก้วพรุน

3. จัดเรียงขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแกรไฟต์ – แกรไฟต์

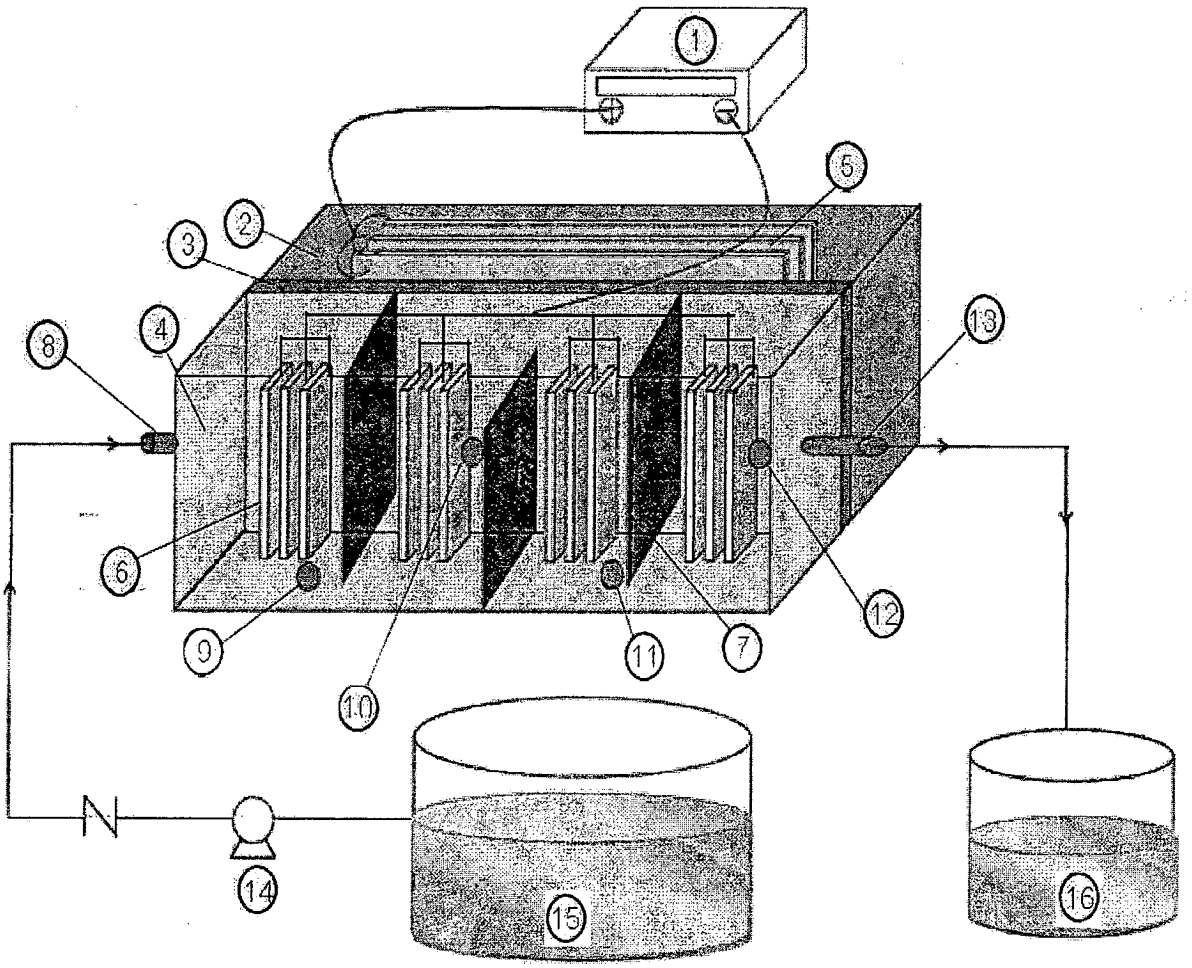
4. ต่อแผ่นแกรไฟต์ขนาด 12 x 9 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น เข้าที่ขั้วบวก (แอโนด) และต่อแผ่นแกรไฟต์ขนาด 3 x 9 ตารางเซนติเมตร จำนวน 12 แผ่น เข้าที่ขั้วลบ (แคโทด) ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.2 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบมีรอยต่อของสารละลาย โดยกั้นสารละลายฝั่งแคโทดและแอโนดด้วยแผ่นแก้วพรุน



ภาพที่ 3.3 เซลล์เคมีไฟฟ้าแบบมีรอยต่อของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.4 การตกตะกอนด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเครื่องที่ 1
2. ครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแอโนด
3. แผ่นแก้วพรุน
4. ครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแคโทด
5. ขั้วไฟฟ้าแอโนด
6. ขั้วไฟฟ้าแคโทด
7. แผ่นกั้น
8. ทางน้ำเข้า
9. จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 1
10. จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 2
11. จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 3
12. จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ 4
13. ทางน้ำออก
14. เครื่องสูบน้ำ
15. ถังเก็บน้ำเสีย
16. ถังเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

3.3 การดำเนินงานวิจัย

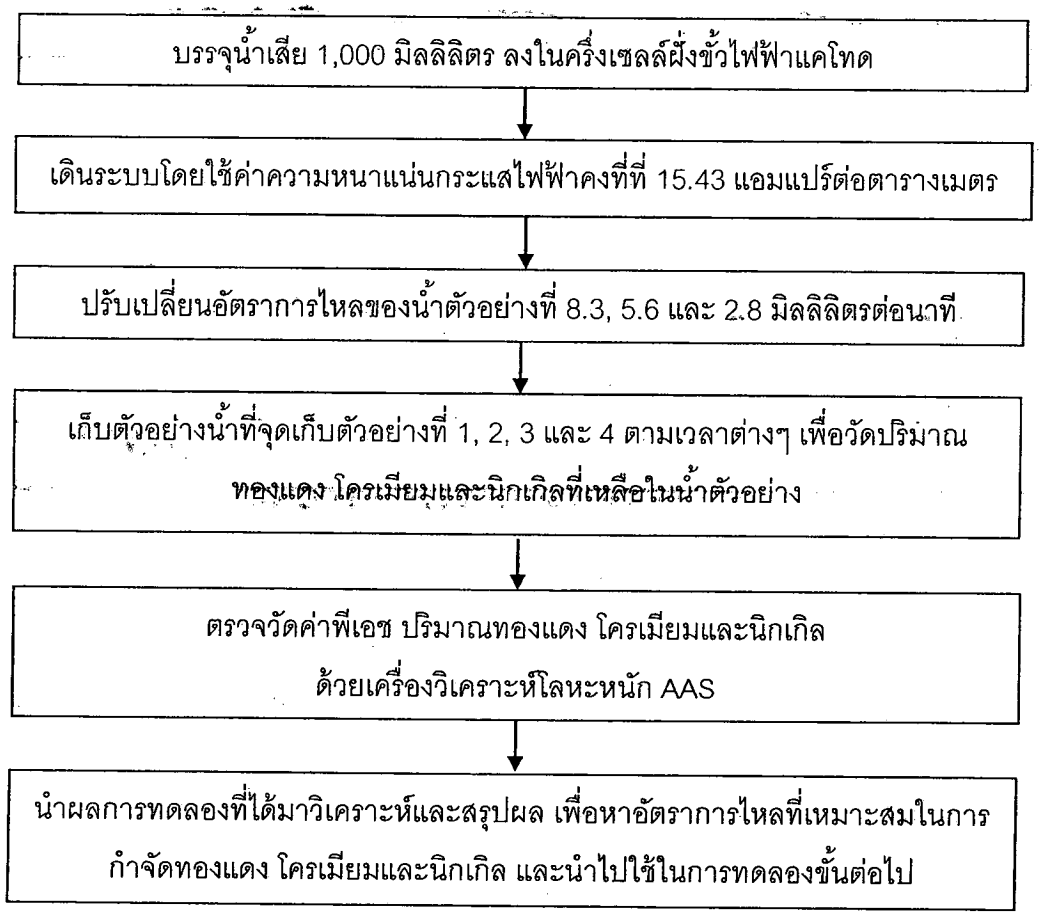
ศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลจากน้ำเสียจริง โรงงานผลิตแท่นพิมพ์ โดยวิธีเคมีไฟฟ้าแบบไหลต่อเนื่อง แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนการทดลอง

3.3.1 การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล

1. บรรจุน้ำเสียปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ลงในครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแคโทด
2. บรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมจากโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ลงในครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแอโนด
3. จัดเรียงขั้วไฟฟ้าแกร์ไฟต์แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อขนาน ลงในแต่ละครึ่งเซลล์ตามภาพที่ 3.3
4. เดินระบบโดยใช้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ด้วยเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)
5. ปรับอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ 8.3 มิลลิลิตรต่อนาที
6. เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามเวลาต่างๆ เพื่อนำไปตรวจวัดค่าพีเอชและปริมาณทองแดง โครเมียมและนิกเกิลที่เหลือในน้ำตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก AAS
7. ทำการทดลองข้อ 1 - 6 ซ้ำอีก 2 ครั้ง
8. ทำการทดลองข้อ 1 - 7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างเป็น 5.6 และ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ
9. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลที่เหมาะสม และนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 1

การทดลอง	ศึกษาอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล
ตัวแปรอิสระ	1. อัตราการไหลของน้ำตัวอย่าง
ตัวแปรควบคุม	1. ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร 2. เซลล์เคมีไฟฟ้าและชนิดของขั้วไฟฟ้า ได้แก่ แกรไฟต์ - แกรไฟต์ 3. ปริมาตรของน้ำเสียที่ใช้บำบัด 1 ลิตร
ตัวแปรตาม	1. ปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสีย 2. ปริมาณโครเมียมที่เหลือในน้ำเสีย 3. ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำเสีย 4. ค่าพีเอช



ภาพที่ 3.4 การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล

3.3.2 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล

1. บรรจุน้ำเสียปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ลงในครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแคโทด

2. บรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เตรียมจากโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ลงในครึ่งเซลล์ฝั่งขั้วไฟฟ้าแอโนด

3. จัดเรียงขั้วไฟฟ้าแกร์ไฟต์แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อขนาน

4. เดินระบบโดยใช้อัตราการไหลของน้ำตัวอย่างที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที

5. ให้กระแสไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ ซึ่งคิดเป็นค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 1.54 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

6. เก็บตัวอย่างน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามเวลาต่างๆ เพื่อนำไปตรวจวัดค่าพีเอชและปริมาณทองแดง โครเมียมและนิกเกิลที่เหลือในน้ำตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก AAS

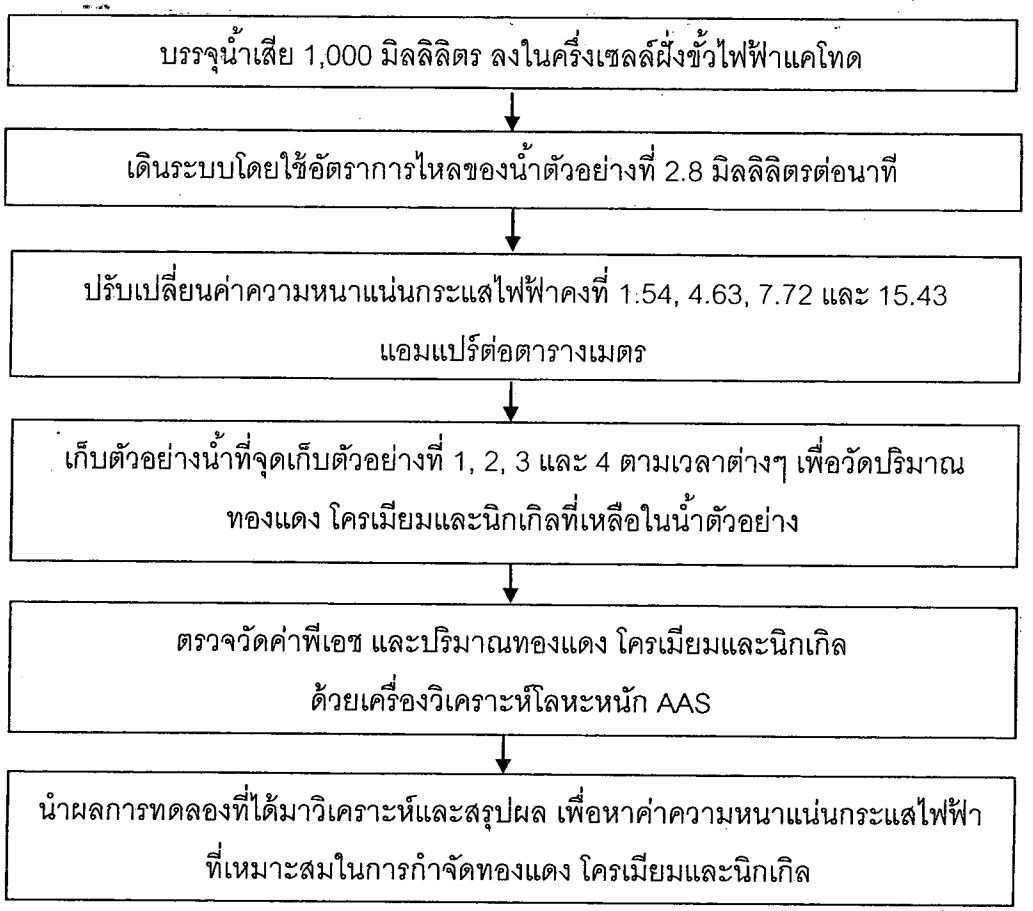
7. ทำการทดลองข้อ 1 - 6 ซ้ำอีก 2 ครั้ง

8. ทำการทดลองข้อ 1 - 7 ซ้ำ โดยเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าเป็น 0.3, 0.5 และ 1 แอมแปร์ ซึ่งคิดเป็นค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 4.63, 7.72 และ 15.43 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

9. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อหาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้กำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิลที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 2

การทดลอง	ศึกษาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการกำจัดทองแดง โครเมียม และนิกเกิล
ตัวแปรอิสระ	1. ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า
ตัวแปรควบคุม	1. อัตราเร็วในการไหลของน้ำตัวอย่างที่ 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที 2. เซลล์เคมีไฟฟ้าและชนิดของขั้วไฟฟ้า ได้แก่ แกรไฟต์ – แกรไฟต์ 3. ปริมาตรของน้ำเสียที่ใช้บำบัด 1 ลิตร
ตัวแปรตาม	1. ปริมาณทองแดงที่เหลือในน้ำเสีย 2. ปริมาณโครเมียมที่เหลือในน้ำเสีย 3. ปริมาณนิกเกิลที่เหลือในน้ำเสีย 4. ค่าพีเอช



ภาพที่ 3.5 การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดง โครเมียมและนิกเกิล

3.4 วิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการทำวิจัยนี้ ได้แก่ ค่าพีเอช ปริมาณทองแดง ปริมาณโครเมียม และปริมาณนิกเกิล

ตารางที่ 3.4 วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจวัด

พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวัดค่า
ค่าพีเอช	pH Meter
ปริมาณทองแดง	AAS
ปริมาณโครเมียม	AAS
ปริมาณนิกเกิล	AAS