

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย



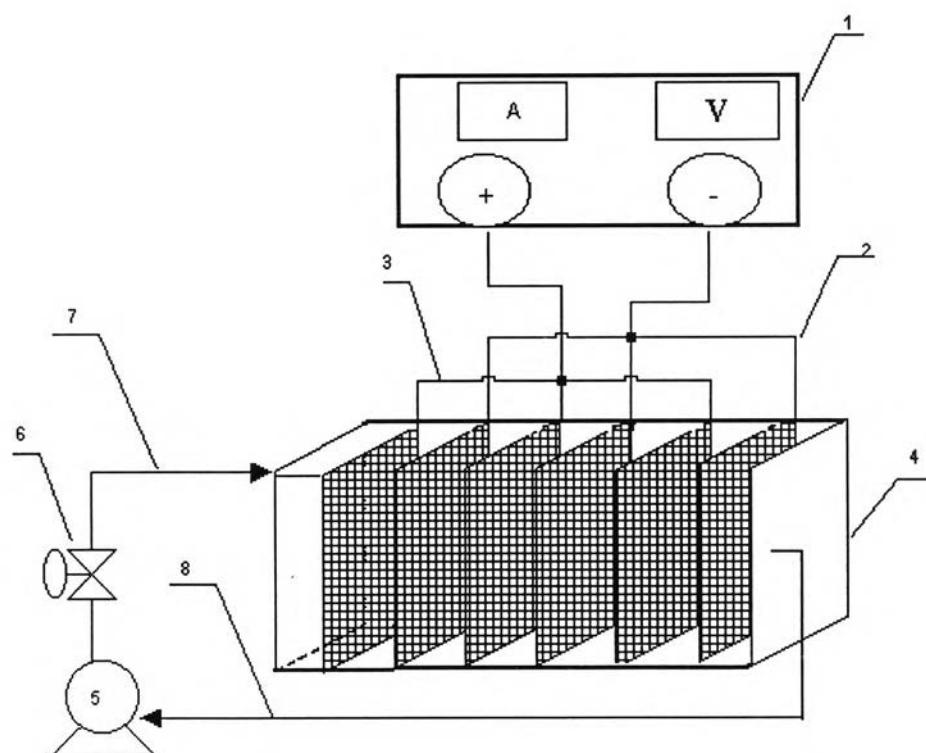
#### 3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งแผนการทดลองสำหรับงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) และในระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous system)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-22
2. ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ เหล็ก
3. เครื่องกวนแม่เหล็ก
4. เครื่องชั่งละเอียด
5. ตู้อบ (Oven)
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น GBC Avanta  $\Sigma$
8. เครื่อง UV Spectrophotometer ยี่ห้อ Jasco รุ่น V - 530
9. กระดาษกรองเบอร์ 1
10. กระดาษกรอง GF/C
11. เครื่องดูดสูญญากาศพร้อมขวดดูดสูญญากาศ
12. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) ขนาด 20x 150 หรือ 25x150 มิลลิเมตร
13. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $150 \pm 2$  องศาเซลเซียส
14. ขวดบีโอดี (BOD Bottle) ขนาด 250 - 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิด
15. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส
16. เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ

3.2.1. เครื่องปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า แสดง  
ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (2) ขั้วแคโทด (3) ขั้วแอโนด (4) เครื่องปฏิกรณ์ (5) ปั๊ม (6) วาล์ว (7) ทางน้ำเข้า (8) ทางน้ำออก

- เครื่องปฏิกรณ์ขนาด 0.12 X 0.21 X 0.15 ลูกบาศก์เมตร
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง รุ่น ZS 3205-2X
- ปั๊ม 1 ตัว รุ่น NH-5PX บริษัท Pan World Co., Ltd.
- ขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด ทำจากเหล็กมีลักษณะเป็นตะแกรงจำนวน 6 แผ่น มีพื้นที่ผิวแต่ละแผ่นเท่ากับ 0.0161 ตารางเมตร จัดวางห่างกัน 3 เซนติเมตร ขนาด 0.086 เมตร x 0.124 เมตร x 0.001 เมตร มีช่องว่าง 117 ช่อง เป็นรูสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.006 X 0.006 เมตร

### 3.3 สารเคมี

- การวิเคราะห์สี (บริษัท, ความบริสุทธิ์)
  1. โคบอลคลอไรด์ ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Merck, AR grade)
  2. โพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต ( $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ ) (Carlo, AR grade)
  
- การวิเคราะห์ COD
  1. โพแทสเซียมไดโครเมต ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) (Merck, AR grade)
  2. กรดซัลฟิวริก (cone.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (Fisher, 98%)
  3. ซิลเวอร์ซัลเฟต ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) (POCh. S.A., AR grade)
  4. ไอร์ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Unilab, AR grade)
  5. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin Indicator) (Labchem, AR grade)
  6. โปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KHP) (Merck, AR grade)
  
- การวิเคราะห์ BOD
  1. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) (Univer, AR grade)
  2. ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) (Univer, AR grade)
  3. ไดโซเดียมฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (Univer, AR grade)
  4. แอมโมเนียมคลอไรด์ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) (Univer, AR grade)
  5. แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (Univer, AR grade)
  6. แคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Anhydrous  $\text{CaCl}_2$ ) (Univer, AR grade)
  7. เฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (Univer, AR grade)
  8. แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ( $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (Univer, AR grade)
  9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Univer, AR grade)
  10. โซเดียมไอโอดัด (NaI) (Labchem, AR grade)
  11. โซเดียมเอไซด์ ( $\text{NaN}_3$ ) (Labchem, AR grade)
  12. โซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (Univer, AR grade)

### 3.4 น้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับอนุเคราะห์จาก บริษัทเยื่อกระดาษสยาม จำกัด (มหาชน) จังหวัดราชบุรี โดยน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียก่อนเข้าบ่อบำบัด ซึ่งมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มกลิ่นเหม็น มีค่าความเป็นกรด - เบสในช่วง 7 - 9 มีตะกอนของเศษวัสดุดิบและเส้นใย

### 3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.5.1 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษจากบ่อบรรจุน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง ก่อนนำมาใช้ในการทดลองต้องนำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เป็นอุณหภูมิห้อง และเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน และทำการวิเคราะห์สมบัติน้ำเสียก่อนทำการทดลอง

โดยตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่ใช้ในงานวิจัย คือ

- ความเป็นกรด-เบส
- อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
- ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/เซนติเมตร)
- ค่าของแข็งละลายน้ำ: TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)
- ค่าของแข็งแขวนลอย: SS (มิลลิกรัม/ลิตร)
- ค่าของแข็งรวม: TS (มิลลิกรัม/ลิตร)
- ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ออกสลายสารอินทรีย์โดยวิธีทางชีวภาพ: BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)
- ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ออกสลายสารอินทรีย์โดยวิธีทางเคมี: COD (มิลลิกรัม/ลิตร)
- ซี (แพลทินัม-โคบอลต์)

### 3.5.2 ศึกษาการกำจัดสีและสารมลพิษออกจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrocoagulation)

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

#### 3.5.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch)

เป็นการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ และทำการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารมลพิษ คือ

1. ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า จะปรับเปลี่ยน 5 ค่า คือ 10.4, 14.5, 20.7, 26.9, 31.1 แอมแปร์ต่อตารางเมตร
2. ค่าความเป็นกรด - เบสของสารละลาย จะปรับเปลี่ยน 5 ค่า คือ 5.57, 6.58, 7.58, 8.35, 9.33
3. ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา จะปรับเปลี่ยน 5 ค่า คือ 15, 30, 45, 60, 90 นาที
4. ค่าอัตราการไหลวนของสารละลายในเครื่องปฏิกรณ์ จะปรับเปลี่ยน 3 ค่า คือ 2.6, 5.1, 6.9 ลิตร/นาที

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

#### (ก) ศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำเสียเริ่มต้น ดังข้อที่ 3.4.1
2. นำน้ำเสียตัวอย่างจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ 3000 มิลลิลิตรใส่ในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้า
3. ชั่งน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่ใช้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด
4. จัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบมอโนโพลาร์แบบขนาน โดยแต่ละขั้วไฟฟ้าวางห่างกัน 3 เซนติเมตร จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
5. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ตามที่กำหนด คือ 0.5 - 1.5 แอมแปร์ (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

เท่ากับ 10.4 - 31.1 แอมแปร์ต่อตารางเมตร) อัตราการไหลวนของสารตัวอย่างเท่ากับ 6.9 ลิตร/นาที

6. จับเวลาในการทำปฏิกิริยา อ่านค่ากระแสไฟฟ้าและเก็บสารตัวอย่าง ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 90 นาที
7. ชั่งน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่ใช้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทดหลังการทดลอง
8. นำน้ำไลที่ได้หลังการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณสีและสารมลพิษของน้ำเสียที่เหลือตามวิธีมาตรฐาน (กรองแก้ว, 2541 และ Clescerl, 1998)

(ข) ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด – เบสเริ่มต้น

เมื่อได้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการทดลอง ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นของสารตัวอย่าง โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการทดลองที่ (ก) ปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด – เบสเริ่มต้นเท่ากับ 5 – 10 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ อัตราการไหลวนของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 6.9 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที และเก็บตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทุกๆ 15 นาที

(ค) ศึกษาผลของอัตราการไหลวนของสารตัวอย่างในเครื่องปฏิกรณ์

ทำการทดลอง โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการทดลองที่ (ก) และค่าความเป็นกรด – เบส เริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองที่ (ข) โดยปรับเปลี่ยน อัตราการไหลวนของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 2.6 – 6.9 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 90 นาที และเก็บตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทุกๆ 15 นาที

(ง) ศึกษาผลของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า

เป็นการศึกษาหาผลของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน (Polyelectrolyte) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีและสารมลพิษของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่ไม่ผ่านและหลังผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยผ่านกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จากการทดลองที่ (ก) ค่าความเป็นกรด – เบส เริ่มต้นที่เหมาะสมจากการทดลองที่ (ข) และอัตราการไหลวนของสารตัวอย่างเข้าเครื่องปฏิกรณ์ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ (ค) ทำการวิเคราะห์ค่าตัวแปร เพื่อหาค่า

ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยปรับเปลี่ยน ปริมาณของสารเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน จะปรับเปลี่ยน 5 ค่า คือ 1, 3, 5, 10, 20 มิลลิกรัม/ลิตร

### 3.5.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยกระแสไฟฟ้า ใน เครื่องระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous system)

ทำการทดลองและใช้เครื่องปฏิกรณ์ตามการทดลองที่ 3.5.2.1 โดยเพิ่มทางน้ำเข้าและทาง น้ำออกอีกอย่างละหนึ่งช่องทางเพื่อให้เกิดระบบการไหลเวียนแบบต่อเนื่อง และทำการทดลองตาม ภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.5.2.1 โดยมีอัตราการไหลของสารตัวอย่างเข้าเครื่อง ปฏิกรณ์เท่ากับอัตราไหลที่ผ่านการคำนวณจากเวลาที่เหมาะสมที่สารตัวอย่างจะอยู่ในเครื่อง ปฏิกรณ์ที่ได้จากการทดลองที่ 3.5.2.1 เก็บตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างอีกทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง และนำน้ำที่ได้หลังการ ทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณสีและสารมลพิษของน้ำเสียที่เหลือ