สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลขั้นต้นด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนในการทดลอง ดังนี้

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียไบโอดีเซล โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า น้ำมันและไขมัน ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย เมทานอล และกลีเซอรอล

3.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล โดยการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดี่ยวในการทดลองแต่ละครั้ง (One variable at a time) ซึ่งสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน

- การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า 5 ชนิด และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 3 ค่า คือ 4, 6, และ 9
- การทดลองที่ 2 ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา 5 ค่า คือ 10, 15, 20, 25, และ 30 โวลต์
- การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 6 ค่า คือ 10, 15, 20, 25, 30, และ 40 นาที

2. ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยโปรแกรมมินิแทป เวอร์ชั่น 14 โดยเลือกการออกแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยมีตัวแปรที่เลือกศึกษาและมีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่

- ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4-9
- ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา 10-40 โวลต์
- ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 10-40 นาที

โดยชนิดของขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการทดลองในการทดลองนี้ จะนำมาจากผลการทดลองที่ 1 ของการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดี่ยวในการทดลองแต่ละครั้ง

3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณ ความเข้มข้น และชนิดของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

3.1.4 วิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

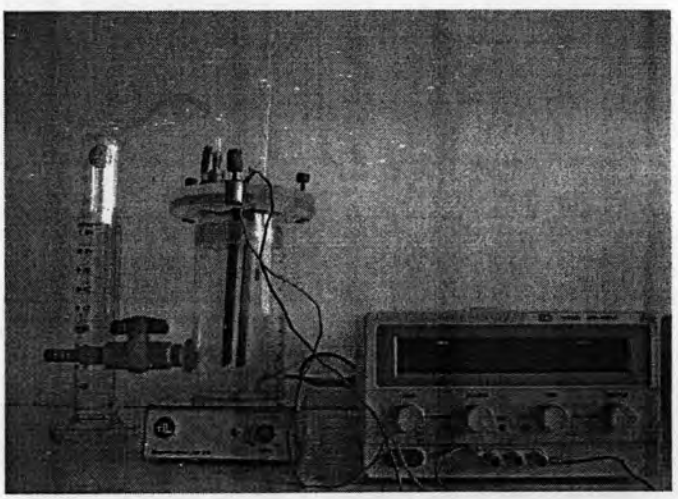
3.1.5 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล

3.1.6 เปรียบเทียบข้อมูล ผลการทดลอง รวมถึงค่าใช้จ่าย ที่เกิดขึ้นจากการทดลองของทั้ง 2 วิธี และทำการสรุปหาสภาวะที่เหมาะสม และเปอร์เซ็นต์ความน่าเชื่อถือที่เกิดจากการทดลอง

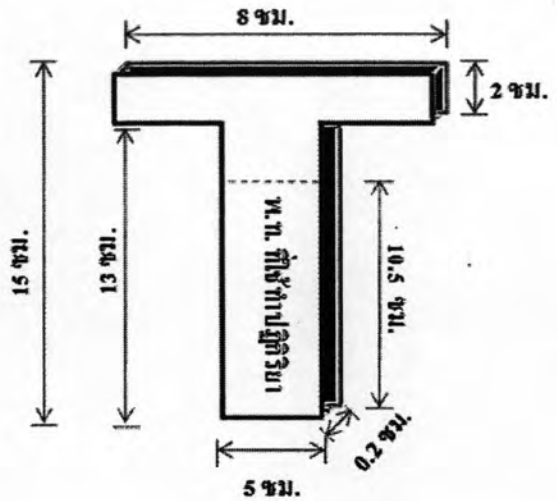
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบทีละเท แบบปิด ในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 มีรายละเอียด ดังนี้

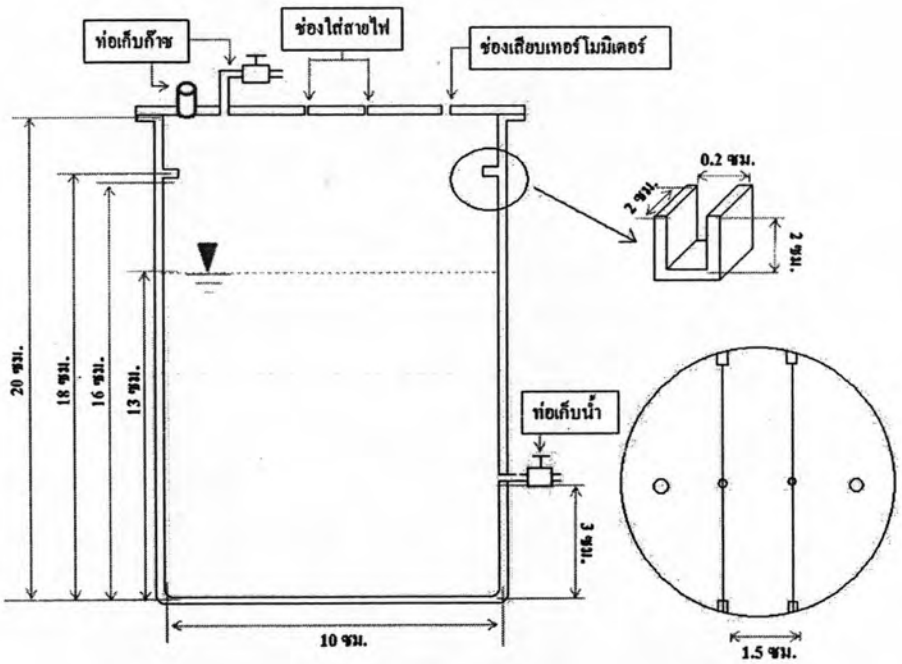
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) เป็นเครื่องเรียงกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งให้ความต่างศักย์สูงสุด 60 โวลต์
2. ขั้วไฟฟ้า ทำจากเหล็ก อลูมิเนียม และแกรไฟต์ โดยมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 10.5 × 5.0 × 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร
3. ถังปฏิกิริยาแบบปิดขนาด 1.2 ลิตร ซึ่งจะใช้น้ำตัวอย่างในการทำทดลองเท่ากับ 1 ลิตร
4. แท่งแม่เหล็ก (Manetic bar) เครื่องกวน (Stir Plate) และเทอร์โมมิเตอร์
5. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ ประกอบด้วยสายยางพลาสติกใส แท่งแก้วรูปตัวยู และกระบอกตวง
6. สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์และถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.2 ขนาดของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 ขนาดและองค์ประกอบของถังปฏิกิริยา

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

เป็นการทดลองแบบทีละเทแบบปิด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยแบ่งการออกแบบการทดลองเป็น 2 แบบ คือ

3.3.1 การออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดี่ยวในการทดลองแต่ละครั้ง

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีนี้จะทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

1. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1.1 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ ขั้วเหล็ก ขั้วอลูมิเนียม และขั้วแกรไฟต์ โดยแบ่งขั้วไฟฟ้าออกเป็น 5 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วเหล็ก
- ชุดที่ 2 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์
- ชุดที่ 3 ใช้ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดเป็นขั้วอลูมิเนียม
- ชุดที่ 4 ใช้ขั้วแอโนดเป็นขั้วเหล็กและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์
- ชุดที่ 5 ใช้ขั้วแอโนดเป็นขั้วอลูมิเนียมและขั้วแคโทดเป็นขั้วแกรไฟต์

1.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 3 ค่า คือ 4, 6, และ 9

1.3 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ทำปฏิกิริยา 5 ค่า คือ 10, 15, 20, 25, และ 30 โวลต์

1.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 6 ค่า คือ 10, 15, 20, 25, 30, และ 40 นาที

2. พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์น้ำเสีย ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ซีโอดี น้ำมันและไขมัน ปริมาณของแข็งแขวนลอย เมทานอล กลีเซอรอล น้ำหนักขั้วไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า ชนิด ปริมาณก๊าซ และความเข้มข้นที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ปริมาณและองค์ประกอบของตะกอนที่เกิดจากการทดลอง

รูปที่ 3.4 ผังการไหลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

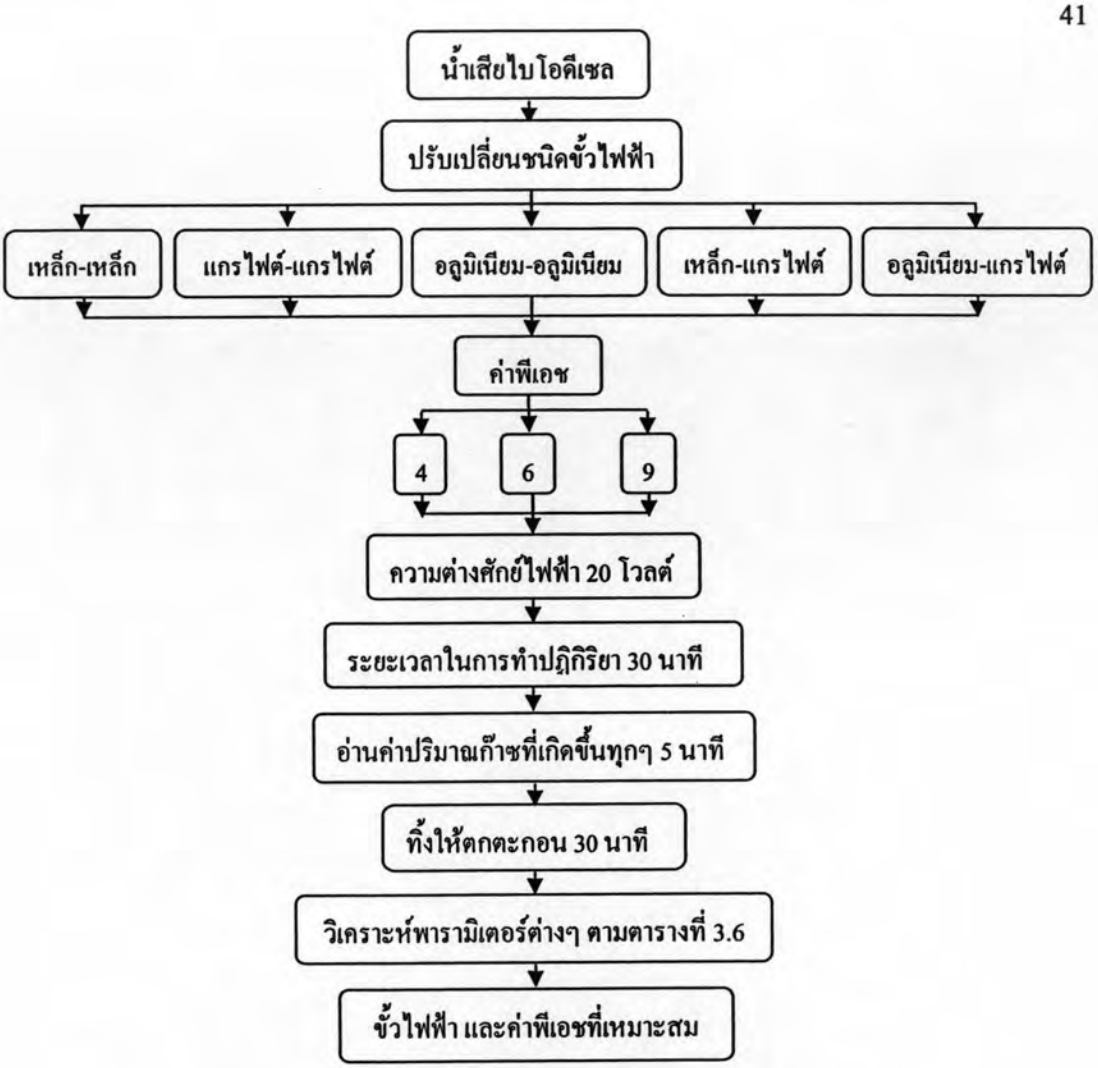
3. ในการทดลองต้องมีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง โดยการนำน้ำเสียรวม 2-5 มาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นก่อนการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า น้ำมันและไขมัน ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย เมทานอล และกลีเซอรอล

4. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล โดยนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองถึงสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซล ประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด ค่าขั้วไฟฟ้า ค่าสารเคมีในการปรับค่าพีเอช และค่าบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัด

การออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดี่ยวในการทดลองแต่ละครั้ง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดของขั้วไฟฟ้า และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.5

1. ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4 โดยใช้กรดซัลฟุริกในการปรับค่าพีเอช
2. นำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงในถังปฏิกิริยา จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก
3. ต่อขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วแอโนดและขั้วแคโทดที่ทำจากเหล็ก โดยวางห่างกันเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และปิดฝาถังปฏิกิริยาที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ
4. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ 20 โวลต์ และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้น
5. จับเวลาโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที
6. อ่านค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 5 นาที
7. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า แล้วปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วัดอุณหภูมิหลังการทดลอง และทำการตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
8. เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการเก็บน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.6
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-8 แต่ทำการปรับเปลี่ยนค่าพีเอชตามที่กำหนดในงานวิจัย (6, 9) ดังแสดงในตารางที่ 3.3
10. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1-9 ใหม่ แต่ทำการปรับเปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้าตามที่กำหนดในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.3
11. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 3.5 ผังการไหลการทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้า
และค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.6

1. ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และนำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงในถังปฏิกิริยา จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก

2. ต่อชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 โดยวางห่างกันเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และปิดฝาถังปฏิกิริยาที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ

3. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ 10 โวลต์ และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้น

4. จับเวลาโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

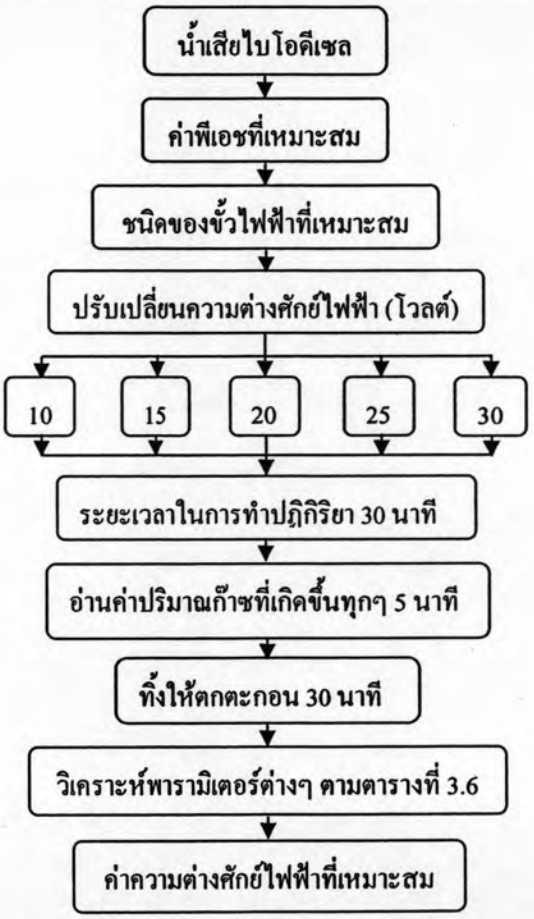
5. อ่านค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 5 นาที

6. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า แล้วปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วัดอุณหภูมิหลังการทดลอง และทำการตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

7. เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด ทำการเก็บน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.6

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่ทำการปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตามที่กำหนดในงานวิจัย (15, 20, 25 และ 30 โวลต์) ดังแสดงในตารางที่ 3.4

9. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 3 ต่อไป



รูปที่ 3.6 ผังการไหลการทดลองที่ 2 ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

3. การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3.7

1. ทำการปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับพีเอชที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และนำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงในถังปฏิกิริยา จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก

2. ต่อชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 โดยวางห่างกันเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และปิดฝาถังปฏิกิริยาที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ

3. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 2 และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้น

4. จับเวลาโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

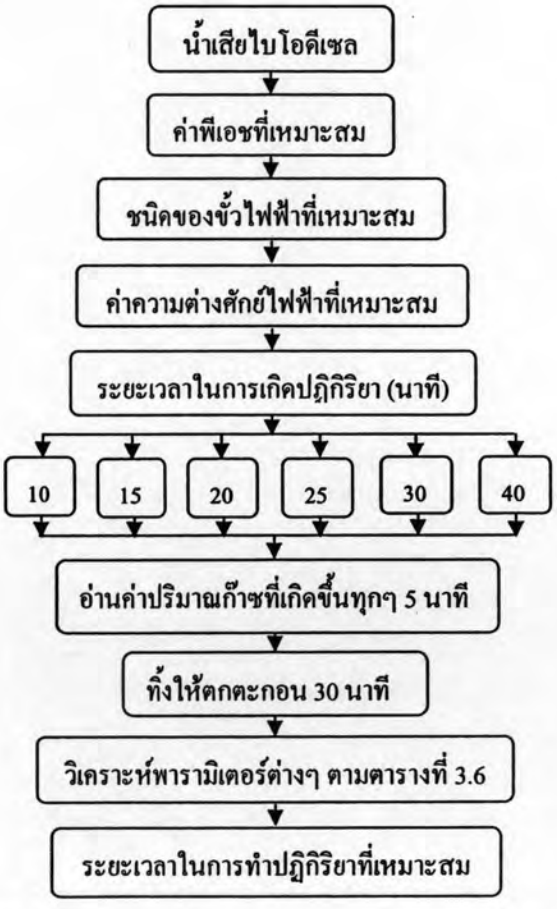
5. อ่านค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 5 นาที

6. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า แล้วปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วัดอุณหภูมิหลังการทดลอง และทำการตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

7. เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด จึงทำการเก็บน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.6

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 แต่ทำการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่กำหนดในงานวิจัย (15, 20, 25, 30, และ 40 นาที) ดังแสดงในตารางที่ 3.5

9. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม



รูปที่ 3.7 ผังการไหลการทดลองที่ 3 ศึกษาหาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

3.3.2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลด้วยโปรแกรมมินิแทป เวอร์ชั่น 14 โดยเลือกการออกแบบแบบบ็อกซ์เบห์น (Myers และ Montgomery, 2002) โดยมีตัวแปรที่เลือกศึกษาและมีอิทธิพลต่อการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียมี 3 ระดับ คือ 4, 6.5 และ 9 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามี 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 โวลต์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามี 3 ระดับ คือ 10, 25 และ 40 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และเมื่อใช้โปรแกรมมินิแทปออกแบบจะได้ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งสามารถออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 15 การทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าของตัวแปรของการออกแบบแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

ตัวแปร	-1	0	1
ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย (A)	4	6.5	9
ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) (B)	10	20	30
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที) (C)	10	25	40

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนโดยใช้โปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)
1	6.5	30	40
2	6.5	30	10
3	4.0	20	40
4	4.0	10	25
5	4.0	30	25
6	6.5	20	25
7	9.0	10	25
8	9.0	30	25

การทดลองที่	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)
9	6.5	10	10
10	9.0	20	40
11	6.5	20	25
12	4.0	20	10
13	9.0	20	10
14	6.5	10	40
15	6.5	20	25

ขั้นตอนการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.8

1. เตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง โดยการนำน้ำเสียรวม มาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นก่อนการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า น้ำมันและไขมัน ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย เมทานอล และกลีเซอรอล

2. ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 6.5 โดยใช้กรดซัลฟุริกในการปรับค่าพีเอช

3. นำน้ำเสียปริมาตร 1 ลิตร ใส่ลงในถังปฏิกิริยา จากนั้นนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก

4. ต่อชนิดของขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 1 ของการออกแบบการทดลองแบบใช้ตัวแปรเดี่ยวในการทดลองแต่ละครั้ง โดยวางห่างกันเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และปิดฝาถังปฏิกิริยาที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ

5. เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ 30 โวลต์ และอ่านค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มต้น

6. จับเวลาโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที

7. อ่านค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทุกๆ 5 นาที

8. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า แล้วปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วัดอุณหภูมิหลังการทดลอง และทำการตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

9. เมื่อตั้งทิ้งไว้จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด และทำการเก็บน้ำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามตารางที่ 3.6

10. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2-9 แต่ทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรตามตารางที่ 3.2

11. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล

รูปที่ 3.8 ผังการไหลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของการออกแบบ
การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน โดยใช้โปรแกรมมินิแทป

3.3.3 ศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียไบโอดีเซลโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

1. การศึกษานี้จะทำการคำนวณเฉพาะค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัด โดยการคิดค่าไฟฟ้าจะคิดจากการใช้พลังงานในการบำบัดกับราคาไฟฟ้าต่อยูนิต ดังนี้

จากสูตร = (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ × ราคายูนิต/หน่วย) + ภาษีร้อยละ 7

2. น้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่ลดลงหลังจากทำปฏิกิริยาการทดลอง
3. ค่าสารเคมีในการปรับค่าพีเอช

3.3.4 ตัวแปรในการทดลอง

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองที่ 1 เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

การทดลองที่	ชนิดขั้วไฟฟ้า (แอโนด-แคโทด)	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม	ขั้วไฟฟ้าชุดที่ 1 เหล็ก-เหล็ก	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4 6 9	1. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 ซม. 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 3. ค่าความต่างศักย์ ไฟฟ้า 20 โวลต์	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม	ขั้วไฟฟ้าชุดที่ 2 แกรไฟต์-แกรไฟต์	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4 6 9	1. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 ซม. 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 3. ค่าความต่างศักย์ ไฟฟ้า 20 โวลต์	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม	ขั้วไฟฟ้าชุดที่ 3 อลูมิเนียม-อลูมิเนียม	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4 6 9	1. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 ซม. 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 3. ค่าความต่างศักย์ ไฟฟ้า 20 โวลต์	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม	ขั้วไฟฟ้าชุดที่ 3 เหล็ก-แกรไฟต์	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4 6 9	1. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 ซม. 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 3. ค่าความต่างศักย์ ไฟฟ้า 20 โวลต์	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า

การทดลองที่	ชนิดขั้วไฟฟ้า (แอโนด-แคโทด)	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
				8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
การทดลองที่ 1 ศึกษาหาชนิดของขั้วไฟฟ้าและค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสม	**ขั้วไฟฟ้าชุดที่ 4** อลูมิเนียม-แกรไฟต์	ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย 4 6 9	1. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 ซม. 2. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 3. ค่าความต่างศักย์ ไฟฟ้า 20 โวลต์	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองที่ 2 เพื่อวิเคราะห์หาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

การทดลองที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
การทดลองที่ 2 ศึกษาหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ เหมาะสม	ศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ 15 โวลต์ 20 โวลต์ 25 โวลต์ 30 โวลต์	1. ค่าพีเอชเริ่มต้นของ น้ำเสียที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 3. ระยะห่างระหว่าง ขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 เซนติเมตร 4. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองที่ 3 เพื่อวิเคราะห์หาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

การทดลองที่	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
การทดลองที่ 3 ศึกษาหาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม	ศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที) 10 15 20 25 30 40	1. ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 2. ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 3. ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 4. ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า คือ 1.5 เซนติเมตร	1. ค่าพีเอช 2. อุณหภูมิ 3. ความนำไฟฟ้า 4. ซีโอดี 5. น้ำมันและไขมัน 6. สารแขวนลอย 7. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า 8. ปริมาณกระแสไฟฟ้า 9. ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์น้ำเสียและตะกอน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ก่อนทดลอง	หลังการทดลอง	
			ทุกครั้ง	ชุดที่เหมาะสม
1. พีเอช	เครื่องวัดพีเอช	/	/	
2. อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	/	/	
3. ค่าการนำไฟฟ้า	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	/	/	
4. ซีโอดี	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด	/	/	
5. น้ำมันและไขมัน	วิธีการสกัดด้วยกรวยแยก	/	/	
6. สารแขวนลอย	วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids Dried) อบแห้งที่ 103-105 ^{0}ซ	/	/	
7. เมทานอล	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC)[*1]	/		/
8. กลีเซอรอล	เครื่องไฮเพอร์ฟอมเมินซ์ลิคควิดโครมาโตกราฟี (High Performance Liquid Chomatography: HPLC)[*2]	/		/
9. น้ำหนักขั้วไฟฟ้า	เครื่องชั่งแบบหยาบ	/	/	
10. กระแสไฟฟ้า	เครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรง		/	
11. ปริมาณก๊าซ	การแทนที่น้ำ		/	
12. องค์ประกอบของก๊าซ	เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography: GC)[*3]			/
13. ของแข็งแขวนลอยในตะกอน	วิธีวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids Dried) อบแห้งที่ 103-105 ^{0}ซ			/
14. องค์ประกอบของตะกอน	เครื่องฟัวรีเออทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer : FT-IR)[*4]			/

หมายเหตุ [*1] เครื่องยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-7AG ใช้คอลัมน์ คือ Porepak Q ยาว 2 ม. และใช้ตัวตรวจวัด (Detector) คือ FID แก๊สตัวพา (Carrier gas) คือ ก๊าซไนโตรเจน

[*2] เครื่องยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-3A ใช้คอลัมน์ คือ Lichrocart-C_{18} ขนาด 250*4.0 มม. และใช้ตัวตรวจวัด คือ Refractive Index Detector ยี่ห้อ LDC รุ่น Refracto Monitor TV Mobile phase : 0.1% aq. Phosphoric acid (v/v)

[*3] เครื่องยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 ใช้คอลัมน์ คือ CP 7429 (Select Permanent Gases/CO_2

[*4] เครื่องยี่ห้อ PerkinElmer (Spectrum One)