

### บทที่ 3.

#### แผนงานและการดำเนินการวิจัย

##### 3.1 แผนการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม การทดลองเป็นระบบแยกทีละขั้นตอนที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง มีตัวแปรเปลี่ยนอิสระที่ทำการศึกษา คือปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ

##### 3.1.1 พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุม

ค่าตัวแปรอิสระและตัวแปรอื่น ๆ ที่ต้องควบคุมแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องควบคุม

พารามิเตอร์	ช่วงของค่าพารามิเตอร์
พีเอช	ประมาณ 7
ดีไอ	4-6 มก./ล.
ความเข้มข้น ซีไอดีในน้ำเสีย	200-400 มก./ล.
ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย,HRT	24 ชม.
อัตราการป้อนน้ำเสีย	0.33 ลิตร/ชม.
อายุตะกอน,SRT	7 วัน
ความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในถังเติมอากาศ	0-1505 มก./ล

### 3.1.2 ปริมาณงานทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1 ทำการทดลองพร้อมกัน 2 ชุด ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 ทำการทดลองพร้อมกัน 3 ชุด โดยแต่ละครั้งของการทดลองจะมีชุดการทดลองที่เป็นหน่วยควบคุมที่ไม่ได้เติมผงถ่านไว้คอยเปรียบเทียบผลการทดลองทุกครั้ง ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณงานทดลอง

จำนวนการทดลอง	การทดลอง	ความเข้มข้นของผงถ่าน ในถังปฏิกริยา (มก/ล)
ครั้งที่ 1	ชุดที่ 1.	0
	ชุดที่ 2.	1505
ครั้งที่ 2	ชุดที่ 3.	0
	ชุดที่ 4.	175
	ชุดที่ 5.	350
ครั้งที่ 3	ชุดที่ 6.	0
	ชุดที่ 7.	700
	ชุดที่ 8.	1050

### 3.1.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ระยะเวลาการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3 โดยใช้เวลาการทดลองทั้งหมดประมาณ 7 เดือน โดยเริ่มการทดลองประมาณเดือน มกราคม 2539 สิ้นสุดการทดลองประมาณเดือน กรกฎาคม 2539

ตารางที่ 3.3 ระยะเวลาในการทำการทดลอง

แผนการทดลอง	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เดือนที่ 7
การเตรียมอุปกรณ์	██████████						
Isotherm Test			██████████				
การทดลองครั้งที่ 1				██████████			
การทดลองครั้งที่ 2					██████████		
การทดลองครั้งที่ 3							██████████

### 3.1.4 การกำหนดปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียในแต่ละโรงงาน จึงเป็นการยากในการทำนายปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการทดลองครั้งนี้จึงต้องหาข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมาในลักษณะน้ำเสียประเภทเดียวกันคือ น้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า จากงานวิจัยของ Specchia และ Gianetto (1984) ลักษณะน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากโรงย้อมผ้าและเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมี ซีไอดี ประมาณ 1300 มก./ล. ใช้ปริมาณความเข้มข้นผงถ่านที่เดิมในถังเดิมอากาศเท่ากับ 800 มก./ล. นักวิจัยกลุ่มนี้แนะนำให้ใช้ปริมาณความเข้มข้นผงถ่านที่เดิมในถังเดิมอากาศอยู่ในช่วง 700-1500 มก./ล. โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้อุณหภูมิในช่วงประมาณ 0 - 1500 มก./ล.

### 3.2 การเตรียมน้ำเสียจากโรงงานทอผ้า

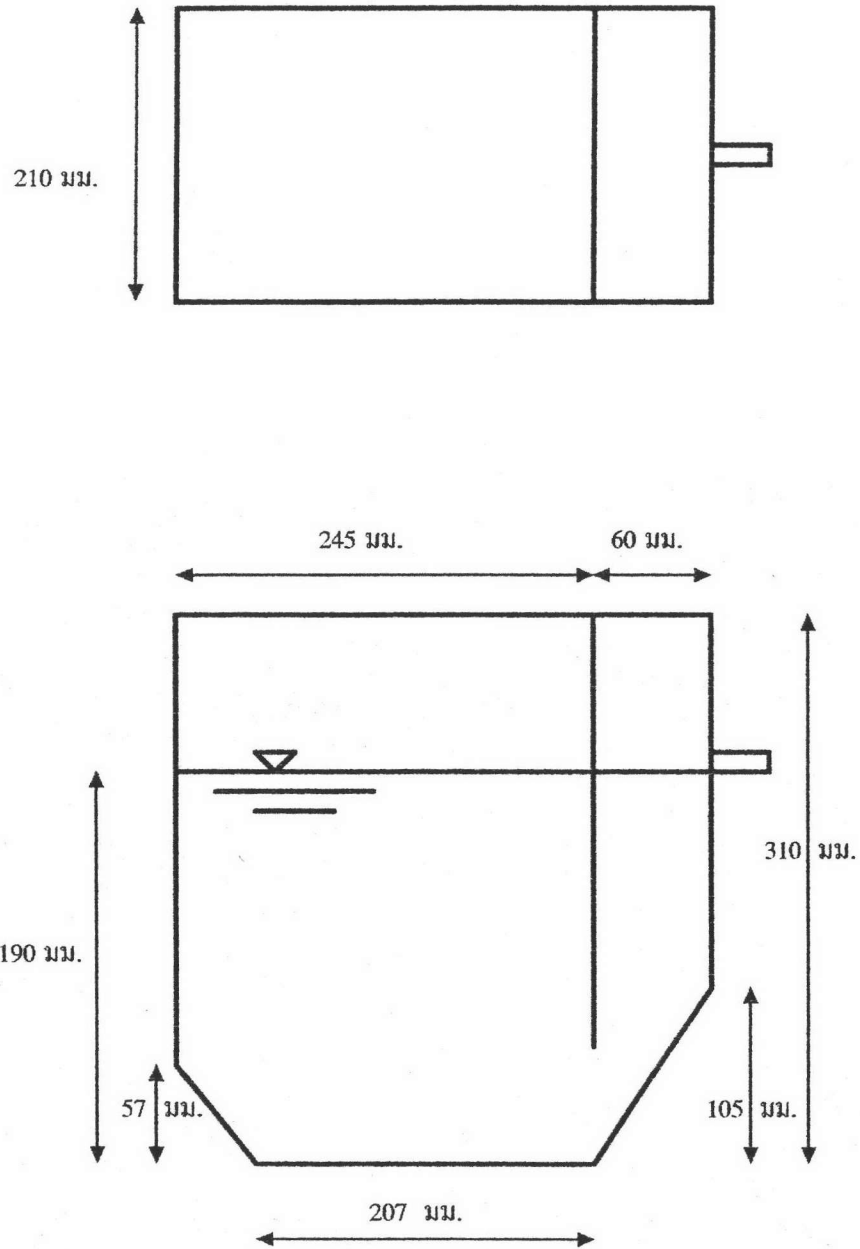
การเก็บน้ำเสียจะทำการเก็บจากโรงงานฟอกย้อมสองแห่งที่จังหวัดสมุทรปราการ เนื่องจากการเก็บน้ำเสียแต่ละครั้งสีน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมแห่งแรกเปลี่ยนแปลงมาก จึงต้องเก็บน้ำเสียใหม่ที่โรงงานแห่งที่ 2 ในครั้งนี้ทำการเก็บน้ำเสียครั้งเดียวให้เพียงพอกับการทดลองหนึ่งครั้ง ลักษณะน้ำเสียที่ไปเก็บมีค่า พีเอช สูงมาก จึงสามารถเก็บน้ำเสียได้ประมาณหนึ่งเดือน

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

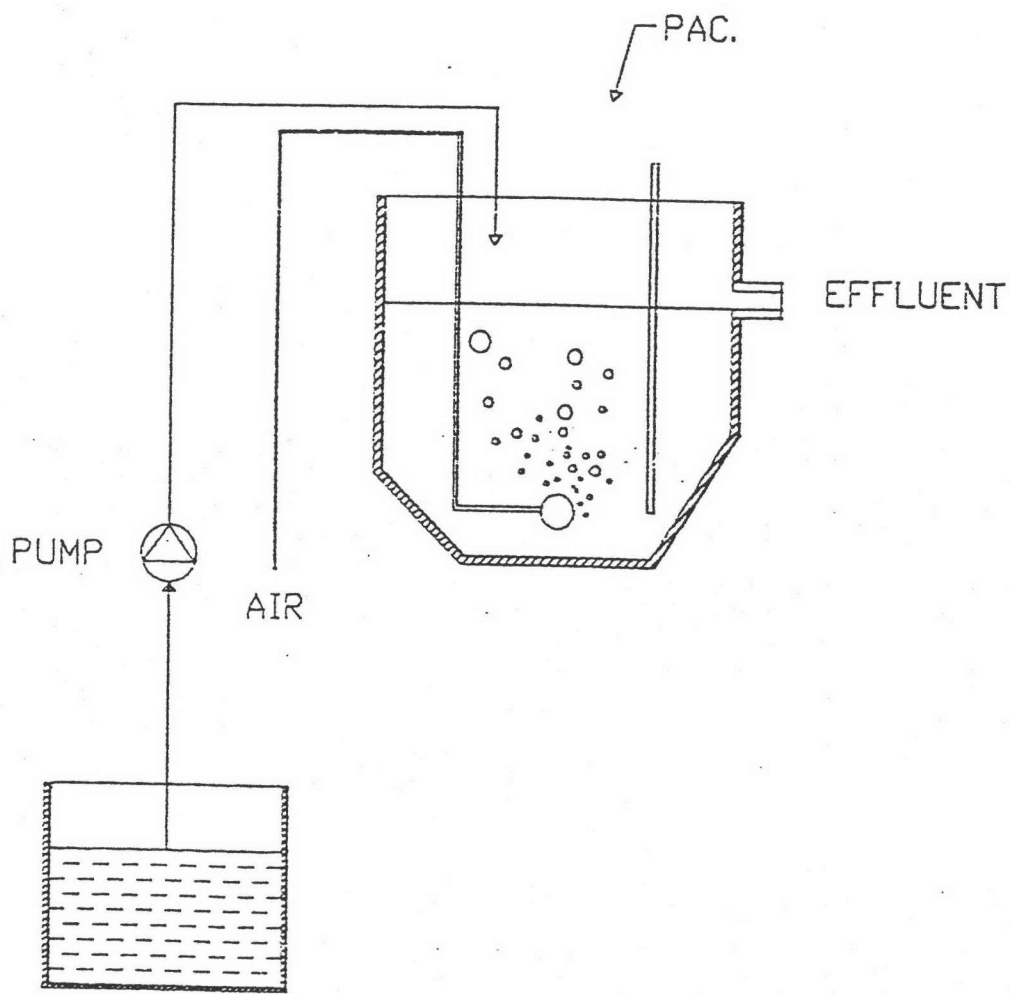
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลองประกอบด้วย

1. ถังปฏิริยาทำด้วยอะคริลิกใส หนาประมาณ 3 มม. ปริมาตรประมาณ 8 ลิตร ถังตกตะกอนปริมาตรประมาณ 2 ลิตร เป็นแบบเวียนตะกอนโดยใช้แรงดึงจากน้ำที่เกิดจากการหมุนเวียนของอากาศ ดังรูปที่ 3.1
2. เครื่องสูบน้ำแบบ ไดอะแฟรม ( Diaphragm Pump ) อัตราไหลเท่ากับ 0.33 ล/ชม. โดยมีแรงดัน ตั้งแต่ 1 บาร์ขึ้นไป ใช้สำหรับสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิริยา ใช้ 1 ชุดต่อถังปฏิริยา
3. เครื่องเติมอากาศ(Air Pump) โดยควบคุมค่า ดีไอให้มากกว่า 4 มก./ล.
4. เครื่อง เขย่า Shaker
5. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
6. ขวดพลาสติกปริมาตร 500 มล.
7. เครื่องกรองสูญญากาศและกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman

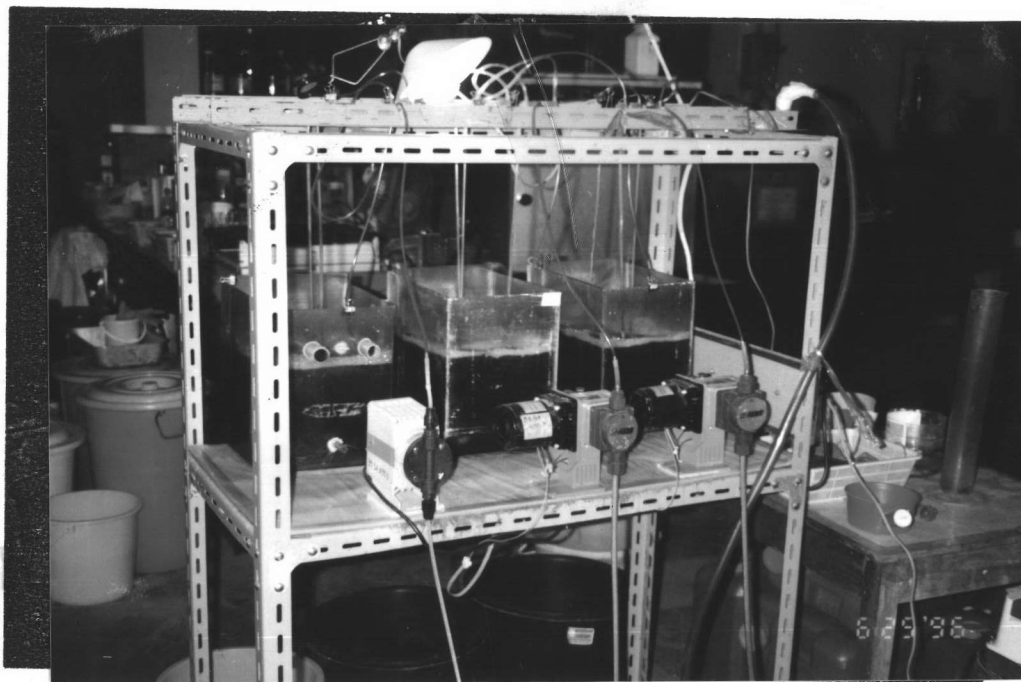
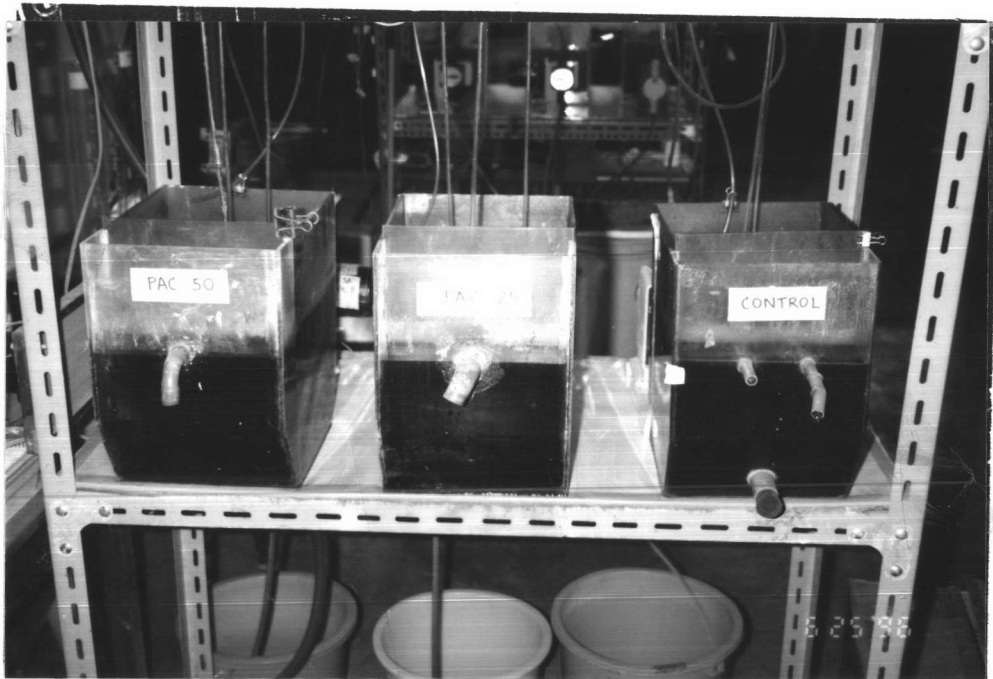
รายละเอียดการเดินระบบแพคท์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และโมเดลที่ใช้ในการวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 ดังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 รายละเอียดการเดินระบบแพคท์



รูปที่ 3.3 โมเดลที่ใช้ในการวิจัย

### 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. เริ่มต้นด้วยการนำเซลล์จุลชีพจากระบบบำบัดของโรงงานฟอกย้อมผ้าและด้ายมาเพาะเลี้ยงเชื้อจุลชีพในถังปฏิกริยาจนได้ตะกอนแขวนลอย (MLSS) ประมาณ 2000 มก/ล จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมน้ำเสียให้ตะกอนจุลชีพคุ้นเคยกับน้ำเสีย ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 1 อาทิตย์

2. ใส่ปริมาณผงถ่านที่ต้องการศึกษาลงไปในถังปฏิกริยาโดยรักษาระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกริยาให้อยู่ในช่วงที่ต้องการศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบกับหน่วยควบคุม (Control Unit) ซึ่งเป็นระบบแอกทีเวเต็ดสลัดจ์ปกติที่ไม่มีการเติมผงถ่าน ในช่วงนี้ให้เริ่มทำการรักษาอายุตะกอน 7 วัน โดยการถ่ายน้ำตะกอนออกจากถังเดิมอากาศวันละ 1.143 ลิตร

3. เติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณเท่ากับที่หายไปจากระบบ เนื่องจากการทิ้งตะกอนเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกริยา ให้คงที่อยู่ตลอดเวลาการศึกษา โดยปริมาณที่เติมเท่ากับค่า  $FC_0$  เมื่อ  $F$  = อัตราการไหลของน้ำเสียเข้า (0.33 ลิตร/ชม.)

ค่า  $C_0$  หาจาก สมการ (2.11)

$$C_c = (\theta_c/\tau)C_0 \quad (2.11)$$

จัดรูปใหม่จะได้  $C_0 = C_c\tau/\theta_c \quad (3.1)$

ในการศึกษาครั้งนี้ควบคุมปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านในถังเดิมอากาศ ( $C_c$ ) หกค่าคือ 0,175,350,700,1050,1505 มก/ล เพราะฉะนั้นปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านที่เติมหาได้จากการแทนค่าในสมการ (3.1)จะได้ เท่ากับ 0,25,50,100,150,215 มก/ล ดังนั้นปริมาณผงถ่านที่จะต้องเติมในแต่ละวันเท่ากับ  $FC_0 \cdot 24$  มก. แทนค่าได้เท่ากับ 0,200,400,800,1200,1720 มก. การเติมผงถ่านจะเติมภายหลังจากช่วงที่ดึงเอาตะกอนจุลชีพออกจากระบบเพื่อรักษาค่าอายุสลัดจ์ให้คงที่ การเติมผงถ่านในแต่ละวันเพื่อควบคุมให้ได้ปริมาณความเข้มข้นของผงถ่านในถังปฏิกริยาให้คงที่ แสดงได้ ดังตารางที่ 3.4



ตารางที่ 3.4 ปริมาณผงถ่านที่ต้องเติมในแต่ละวัน

ความเข้มข้นของผงถ่านในถัง ปฏิกิริยา(มก./ล.)	ความเข้มข้นของผงถ่าน (มก./ล.)	ปริมาณผงถ่านที่ต้องเติม 1 ครั้ง ในแต่ละวัน (มก.)
0	0	0
175	25	200
350	50	400
700	100	800
1050	150	1200
1505	215	1720

4. ในระหว่างการทดลองต้องเติม ในโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ด้วยอัตราส่วนเทียบกับ ซีไอดี.ในน้ำเสียเข้าอย่างน้อย คือ ซีไอดี : ในโตรเจน : ฟอสฟอรัส = 150 : 5 : 1

5. เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาทำการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่าง ๆ จนถึงสถานะคงตัว (Steady State ) ข้อมูลที่สถานะคงตัวจะเป็นข้อมูลของการทดลองครั้งนั้น ๆ

### 3.5 วิธีวิเคราะห์และการเก็บตัวอย่างน้ำ

ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณตัวแปรเปลี่ยนแปลงได้แก่ ซีไอดี,ของแข็งแขวนลอย,ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย,ค่าวี 30, เอสวีไอ,ดีไอ,พีเอช,สี,อุณหภูมิ โดยวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำสามารถแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ซีไอดี	Dicromate Closed Reflux Method.
SS.	Gravimetric Method (Total Residue drying at 103 °c)
VSS.	Gravimetric Method (Total Residue drying at 550 °c)
V <sub>30</sub>	Settled Volume Method.
SVI.	Calculated from MLSS & V <sub>30</sub>
ดีไอ	Membrane Electrode Method.
พีเอช	Electronic pH meter with glass electrode Method.
สี	Su*
อุณหภูมิ	Thermometer Method.

\* รายละเอียดของ Su. แสดงในภาคผนวก

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ จนกระทั่งถึงสถานะสมดุลย์ของระบบ โดยมีความถี่และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของข้อมูลที่ต้องทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บ	ตำแหน่งที่เก็บ
ซีโอดีที่ผ่านการกรอง* (มก./ล.)	จันทร์, พุธ, ศุกร์	น้ำเสียและน้ำทิ้ง
MLSS, MLVSS (มก./ล.)	จันทร์, พุธ, ศุกร์	ถังเติมอากาศ
SS. (มก./ล.)	จันทร์, พุธ, ศุกร์	น้ำเสียและน้ำทิ้ง
เอสวีไอ, วี 30	จันทร์, พุธ, ศุกร์	ถังเติมอากาศ
ดีไอ (มก./ล.)	ทุกวัน	ถังเติมอากาศ
พีเอช	ทุกวัน	ถังเติมอากาศ
สี (Su)	จันทร์, พุธ, ศุกร์	น้ำเสียและน้ำทิ้ง

\*กรองผ่านกระดาษ GF/C

### 3.6 ขั้นตอนการเลือกผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ทดลอง

เนื่องจากผงถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาทดลองเลือกผงถ่านที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานมากที่สุด ซึ่งหมายถึงการคัดเลือกถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับซีโอดี และสี ได้มากที่สุด ที่ช่วงความเข้มข้นของซีโอดีและสีของน้ำทิ้งที่ค่าความเข้มข้นต่ำ ๆ โดยใช้ Freundlich Isotherm Test. การวิจัยครั้งนี้ ทำการคัดเลือกถ่านจากถ่าน 3 ชนิด ซึ่งรายละเอียดของถ่านแต่ละชนิดแสดงในภาคผนวก การคัดเลือกถ่านโดยใช้ Freundlich Isotherm Test มีรายละเอียด คือ

1. การวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบ Isotherm จากโรงฟอกย้อม 2 แห่ง ครั้งแรกทดลองกับโรงฟอกย้อมผ้าและด้ายฝ้าย ที่มีค่า ซีโอดี และ สี ของน้ำทิ้งประมาณ 2,000 มก./ล. และ 50 Su ตามลำดับ เริ่มทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 ม.ล. 15 ใบ ใบละ 100 มล. จากนั้นเติมผงถ่านปริมาณ 0,0.0063, 0.0125, 0.025, 0.0375,

0.0538, 0.125, 0.25, 0.375, 0.75, 1.5, 3, 6, 12 และ 24 กรัม ลงไปในขวด ทำให้ได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 25, 50, 100, 150, 215, 500, 1000, 1500, 3000, 6000, 12000, 24000, 48000 และ 96000 มก./ล. ตามลำดับ ในการทดสอบ Isotherm ครั้งที่สองทดลองกับโรงฟอกย้อมผ้าและด้ายฝ้ายที่มีค่า ซีไอดี และ สี ของน้ำทิ้งประมาณ 300 มก./ล. และ 120 Su ตามลำดับ เริ่มทำการทดลองโดยเติมน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ม.ล. 7 ใบ ใบละ 100 มล. จากนั้นเติมผงถ่านปริมาณ 0, 0.025, 0.125, 0.375, 0.75, 3, 12 กรัม ลงไปในขวด จะได้ความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์เท่ากับ 0, 100, 500, 1500, 3000, 12000, 48000 มก./ล. ตามลำดับ

2. ทำการทดลองหาระยะเวลาสัมผัสในเครื่องเขย่าที่เหมาะสม โดยเตรียมขวดที่มีความเข้มข้นของผงถ่านมากที่สุดมาเข้าเครื่องเขย่าโดยเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเขย่า 0.5, 1, 2, 3 ชม. เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการดูดติดโดยสังเกตจากปริมาณความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียที่เหลือน้ำเมื่อเขย่าเสร็จในแต่ละครั้ง ถ้าคงที่แล้วแสดงว่าถึงจุดอิ่มตัวแล้ว ถ้าความเข้มข้นของซีไอดีในน้ำเสียที่เหลือยังไม่คงที่ ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มระยะเวลาในการเขย่าต่อไป

3. เมื่อทำการทดลองได้ ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมแล้ว นำขวดต่าง ๆ ในข้อ 1. ไปเข้าเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง

4. นำตัวอย่างที่ผ่านการเขย่าแล้วไปผ่านกระดาษกรอง GF/C ของ Whatman แล้วไปทำการวัดซีไอดีและสี

5. คำนวณหาค่า X/M จากสมการ (2.8) พร้อมกับค่าของ S นำค่า X/M และ S ไปกำหนดเส้น Isotherm บนกราฟ log-log โดยใช้ ซีไอดีและสีเป็นสารถูกดูดติด

6. ทำการทดลองซ้ำกับผงถ่านที่จะทำการทดสอบตั้งแต่ข้อ 1 - 4 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้ผงถ่านที่เหมาะสมที่สุด

7. ปริมาณผงถ่านที่เติมต้องพยายามปรับให้ได้การกำจัดสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 10-85% เพื่อที่สังเกตความสามารถในการดูดติดของผงถ่านในช่วงที่กว้าง

### 3.7 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ

การดูแลรักษาระบบ หมายถึงการรักษาความสะอาดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ ถังปฏิกรณ์ เครื่องสูบน้ำเสีย ถังเก็บน้ำเสียเข้า และถังเก็บน้ำทิ้ง สายยางสูบน้ำเสีย หัวเติมอากาศ โดยทำความสะอาดทุกวันไม่ให้มีเมือกหรือตะกอนติดค้างอยู่

การควบคุมระบบ ในการทำการทดลองครั้งนี้ คือ ควบคุมอัตราการไหลของเครื่องสูบน้ำให้คงที่ที่ 8 ลิตรต่อวัน โดยสังเกตจากถังพักน้ำเสียว่าลดลงวันละ 8 ลิตรหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ทำการปรับอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำใหม่จนกระทั่งได้อัตราการสูบน้ำเข้าใกล้ 8 ลิตรต่อวัน

การควบคุมระบบอีกอย่างหนึ่งคือการควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่ที่ 7 วัน โดยการดึงสลัดจ์ออกเท่ากับ 8/7 ลิตรต่อวัน และเติมผงถ่านทันทีหลังจากดึงสลัดจ์ออก โดยเติมที่ถังเติมอากาศเพื่อทดแทนปริมาณถ่านที่หายไปจากการดึงสลัดจ์ออกจากระบบ ปริมาณที่ต้องเติมในแต่ละวันแสดงรายละเอียดไว้แล้วดังตารางที่ 3.4 การเติมผงถ่านจะเติมครั้งเดียวใน 1 วัน ไม่ได้เติมแบบต่อเนื่อง