บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมดที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองกำจัดสีรีแอกทีฟโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอนที่ปลูกต้นธูปฤาษีในกรวดหยาบขนาด 3-5 มม. จำนวน 3 บึง โดยใช้น้ำเสีย 2 ชนิดได้แก่ น้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์โดยน้ำเสียสังเคราะห์จะเติมสารอาหารร่วม (น้ำตาล) และสีย้อมรีแอกทีฟ C.I.Reactive Red 180 โครงสร้างโมโนเอโซ มีความเข้มข้นของสีคงที่ 100 มก/ล ตลอดการวิจัย

มีการทดลองทั้งหมด 3 ตอน

1) การทดลองตอนที่ 1 ปลูกต้นธูปฤาษี โดยความหนาแน่นของพืชในระบบคือ 35 ต้น/ตารางเมตรทั่วบึง เลือกใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 5 วัน และแปรค่าสารอาหารร่วมเป็นอัตราส่วนของซีโอดีของสีย้อมต่อซีโอดีของสารอาหาร [$(\text{มก COD/L})_{\text{สี}}$ ต่อ $(\text{มก COD/L})_{\text{สารอาหาร}}$] เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารอาหารร่วมที่เหมาะสม ดังนี้

บึงที่ 1 1:0

บึงที่ 2 1:5

บึงที่ 3 1:10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การทดลองตอนที่ 2 ปลูกพืชที่ระยะ (1.5 – 3.0 ม. หรือ เฉพาะท้ายบึง) และเลือกใช้ค่าสารอาหารร่วมเป็นอัตราส่วนของซีโอดีของสีย้อมต่อซีโอดีของสารอาหารร่วมที่เหมาะสมจากการทดลองชุดที่ 1 โดยแปรค่าระยะเวลาเก็บกัก เพื่อศึกษาระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม ดังนี้

บึงที่ 1 ใช้ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน

บึงที่ 2 ช่วงแรกใช้ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน

ช่วงหลังใช้ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ไม่ทำการปลูกพืช (ชุดควบคุม) เพื่อศึกษา

ประสิทธิภาพการกำจัดของระบบที่ปลูกพืชเต็มบึง, ครึ่งท้ายบึง และไม่ปลูกพืชเลย

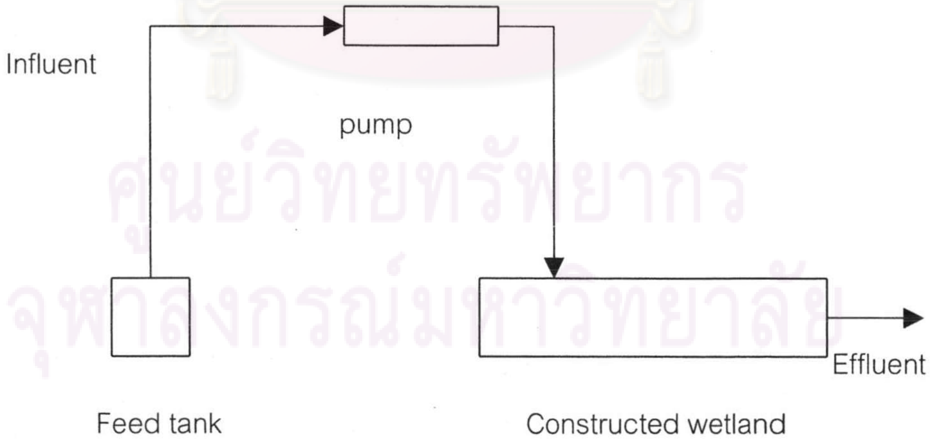
บึงที่ 3 เลือกใช้ระยะเวลาเก็บกัก 7 วัน

3) การทดลองตอนที่ 3 ใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมโดยเลือกใช้วิธีการปลูกพืชและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมที่สุดจากตอนที่ 1 และ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ในการกำจัดน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อม

มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมระบบ : ปลูกต้นไม้โดยป้อนน้ำประปาที่ผสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 2 มก/ลิตรจนต้นไม้มีความคุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ดูได้จากที่ต้นไม้เจริญเติบโตปกติประมาณ 2 สัปดาห์
2) ป้อนน้ำเสียให้ระบบอย่างต่อเนื่องประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนี้จึงเริ่มเก็บตัวอย่างทำการวิเคราะห์จนถึงสมดุล
3) ทำการเก็บตัวอย่างต่อไปอีก ประมาณ 1 เดือนเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แน่นอน
4) เริ่มการทดลองโดยปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ลักษณะของหน่วยทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะของหน่วยทดลอง

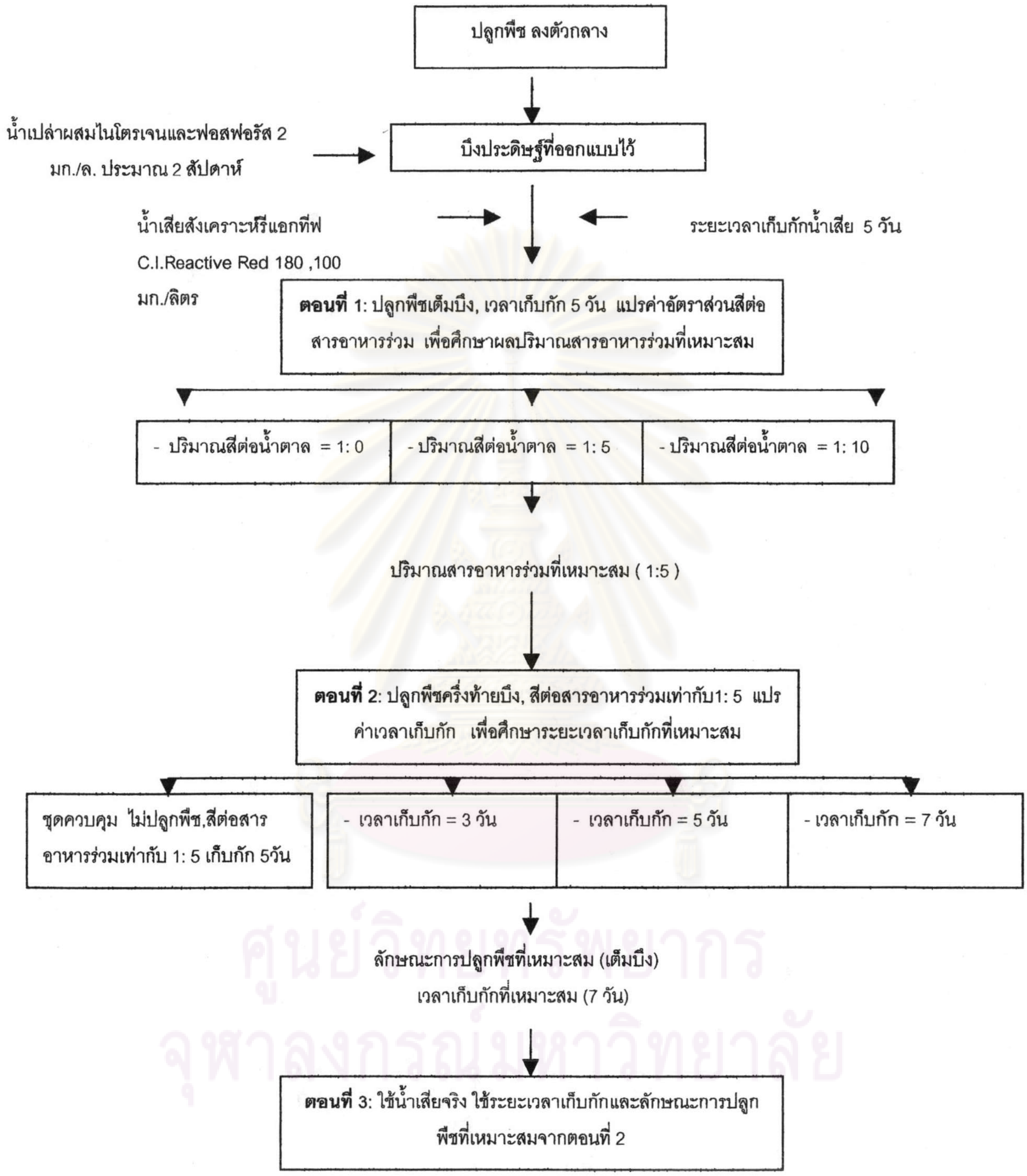
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

ชุดการทดลอง	บึง	พืช (P)	อัตราส่วนสีต่อน้ำตาล (R)	ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (T,วัน)	อัตราการไหล (ลิตร/วัน)	HLR (ซม./วัน)	สัญลักษณ์
ตอนที่ 1							
1.1	1	ปลูกเต็มบึง	1:0	5	18.90	2.1	P-1,R-0,T-5
1.2	2	ปลูกเต็มบึง	1:5	5	18.90	2.1	P-1,R-5,T-5
1.3	3	ปลูกเต็มบึง	1:10	5	18.90	2.1	P-1,R-10,T-5
ตอนที่ 2							
2.1	1	ปลูกครึ่งท้ายบึง	1:5	3	31.5	3.5	P-0.5,R-5,T-3
2.2	2	ปลูกครึ่งท้ายบึง	1:5	5	18.90	2.1	P-0.5,R-5,T-5
2.3	3	ปลูกครึ่งท้ายบึง	1:5	7	13.50	1.5	P-0.5,R-5,T-7
2.4	2	ไม่ปลูกพืช	1:5	5	18.90	2.1	P-0, R-5,T-5
ตอนที่ 3							
3	1	ปลูกเต็มบึง	ใช้น้ำเสียจริง	7	13.50	1.5	P-1,T-7

หมายเหตุ : P หมายถึง การปลูกพืช , R หมายถึง อัตราส่วนของสีย้อมต่อสารอาหารในรูปซีโอดี และ T หมายถึง ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในบึง

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิจัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ตัวแปรที่ศึกษา

3.2.1 **ตัวแปรต้น** คือ ตัวแปรที่ต้องการศึกษาและสนใจในการทดลอง ได้แก่

- ปริมาณสารอาหารร่วมที่เหมาะสมระหว่าง 1:0 1:5 และ 1:10
- ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอกทีฟโครงสร้างโมโนอะโซระหว่าง 3 5 และ 7วัน
- การปลูกพืชในบึงระหว่างแบบทั่วบึงกับเฉพาะที่ท้ายบึง

3.2.2 **ตัวแปรกำหนด** คือ ตัวแปรที่มีการควบคุมให้มีค่าคงที่ในการทดลองนี้ ได้แก่

- ตัวกลาง	กรวดหยาบขนาด 3-5 มม.
- ความสูงของชั้นตัวกลาง	0.3 เมตร
- ระดับน้ำสูงสุดในระบบ	0.25 เมตร
- พืช	ต้นฐูปฤาษี ปลูกหนาแน่น 35 ต้น/ตารางเมตร
- สีรีแอกทีฟ	C.I.Reactive Red 180 โครงสร้างโมโนอะโซ 100 มก./ลิตร

3.2.3 **ตัวแปรตาม** คือ ตัวแปรที่ต้องวิเคราะห์หาค่า ได้แก่

- พีเอช
- อุณหภูมิ
- สี
- ทีเคเอ็น
- ทีโอซี
- ซีโอดี
- บีโอดี
- ออกซิเจนละลายน้ำ
- ของแข็งแขวนลอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 น้ำเสีย

3.3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการเติมน้ำตาลซึ่งเป็นสารอาหารย่อยง่ายที่อัตราส่วนกับสีตามการทดลองในแต่ละการทดลอง เติมสีรีแอกทีฟ C.I.Reactive 180 โครงสร้าง

โมโนอะโซ มีความเข้มข้น 100 มก/ลิตร เท่ากันทุกการทดลอง และเติมสารอาหารไนโตรเจนในรูปของ $((NH_2)_2CO)$ ฟอสฟอรัสในรูปของ (KH_2PO_4) มีการเติมสารอาหารรอง คือ $(FeCl_3\ 6H_2O)$, $(CaCl_2\ 2H_2O)$, $(MgSO_4\ 7H_2O)$ ปริมาณตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณความต้องการสารต่างๆ ในแต่ละการทดลอง

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน สี:น้ำตาล	ซีโอดีรวม (มก./ล.)	ปริมาณสารที่ต้องเติม (มก./ล.)					
			น้ำตาล	$(NH_2)_2CO$	KH_2PO_4	$FeCl_3\ 6H_2O$	$MgSO_4\ 7H_2O$	$CaCl_2\ 2H_2O$
ตอนที่ 1								
บึง 1	1: 0	60.5	-	4.3	1.8	0.4	4.1	3.7
บึง 2	1: 5	363	256.4	26.0	11.0	2.3	24.5	22.0
บึง 3	1:10	666	513.0	47.5	19.5	4.3	45.0	41.0
ตอนที่ 2	ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองจากตอนที่ 1							

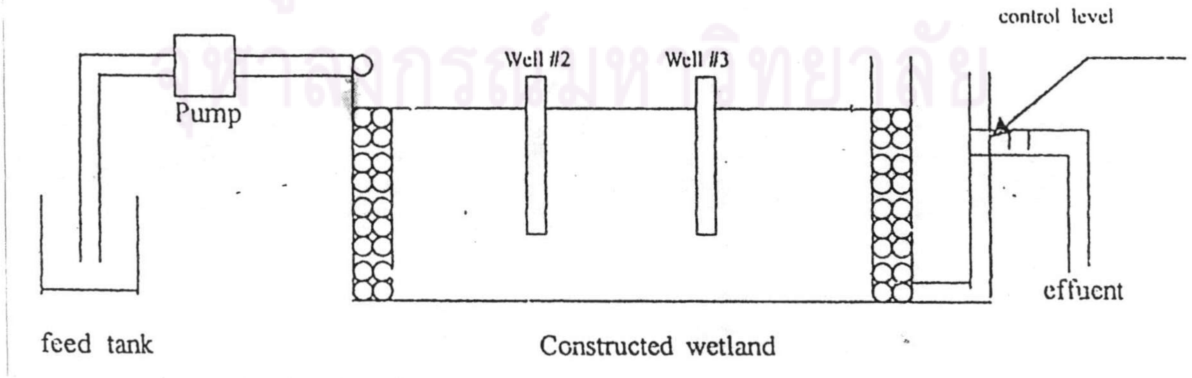
หมายเหตุ 1.สีที่เติมลงในระบบ 100 มก/ล เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าซีโอดี ได้ 60.5 มก/ล ค่าความเข้มสี 148 SU

2.เมื่อคำนวณหาค่าซีโอดีของน้ำตาลทราย 1 มก/ล ให้ค่าซีโอดี 1.185 มก/ล

3.อัตราส่วน COD:N:P:Ca:Mg:Fe = 150 : 5 : 1 : 2.5 : 1 : 0.2

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยนี้แต่ละหน่วยทดลองจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.3



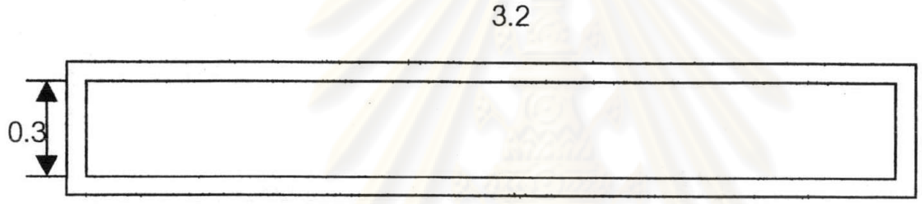
รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละหน่วยการทดลอง

3.4.1 ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์และถังรองน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว

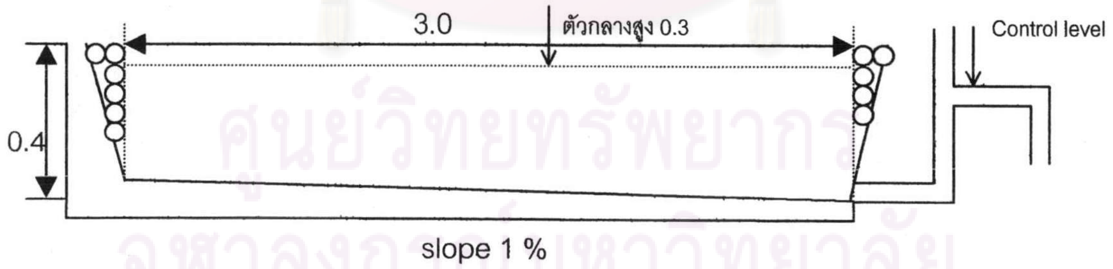
ถังเก็บน้ำเสียสังเคราะห์และถังรองน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว เป็นถังพลาสติกขนาด 100 และ 25 ลิตร ตามลำดับ

3.4.2 บึงประดิษฐ์

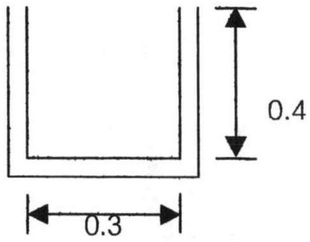
เป็นบ่อปูน ขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 3.2 เมตร และสูง 0.4 เมตร เรียงอยู่ติดกัน 3 บ่อ สำหรับด้านยาวของทุกบ่อ 0.1 เมตร แรกและสุดท้ายกรุด้วยหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25 มม. เป็นส่วนรับน้ำเข้าและออก ส่วนที่เหลือจะใช้บรรจุตัวกลางทั้งหมด โดยบรรจุตัวกลางสูง 0.3 เมตร (ระดับน้ำสูง 0.25 เมตร)



รูปที่ 3.4 มิติของบึงประดิษฐ์ ภาพตัดด้านบน หน่วย : เมตร



รูปที่ 3.5 มิติของบึงประดิษฐ์ ภาพตัดด้านข้าง หน่วย : เมตร



รูปที่ 3.6 มิติของบึงประดิษฐ์ ภาพตัดด้านหน้า หน่วย : เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ภาพที่ 3.1 บึงประดิษฐ์ที่ใช้ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.3 จุดเก็บตัวอย่าง

หลอดพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ปลายด้านหนึ่งเปิด ส่วนอีกด้านหนึ่งปิดและเป็นรูพรุนบริเวณด้านข้าง

โดยตำแหน่งการวางจุดเก็บตัวอย่างจะอยู่ตรงกึ่งกลางของความกว้าง โดยจะอยู่ห่างกันทุกๆ ระยะ 1 เมตร ตามความยาว

3.4.4 ตัวกลาง

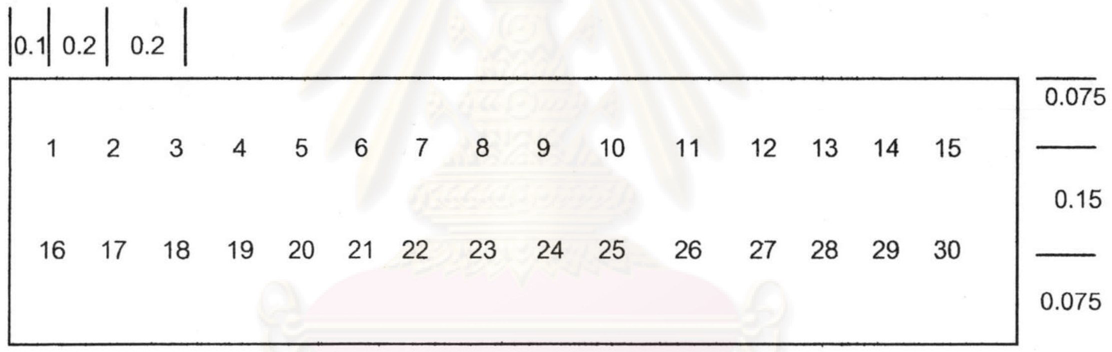
ตัวกลางที่ใช้ในระบบคือ กรวดหยาบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มม

3.4.5 พืช

พืชที่ใช้ปลูกในระบบ คือ ต้นธูปฤาษี ความหนาแน่นของพืชในระบบ คือ 35 ต้น/ตารางเมตร โดยมีตำแหน่งในการปลูกพืชดังนี้คือ

ตอนที่ 1 ใช้พืชจำนวน 30 ต้น แสดงได้ดังรูป 3.7

ตอนที่ 2 ใช้พืชจำนวน 15 ต้น ปลูกตามแบบตอนที่ 1 ในส่วนเฉพาะท้ายบึง



หน่วย : เมตร

รูปที่ 3.7 ตำแหน่งของพืชในระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.6 ทางน้ำเข้า และออก

ทางน้ำเข้าใช้สายยางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. ความยาวตามความเหมาะสม โดยต่อจากถังน้ำเสียสังเคราะห์ แล้วต่อเข้ากับสายยางซิลิโคนภายในปั๊มไปยังบริเวณเหนือชั้นกรวดที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายน้ำเข้าระบบบึงประดิษฐ์

ทางน้ำออก เป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม.

3.4.7 เครื่องสูบน้ำ

ใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (peristatic pump) เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามที่ต้องการ

3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียและการวิเคราะห์

3.5.1 จุดเก็บตัวอย่าง

1) ถังเก็บน้ำเสียเข้าระบบ
2) ท่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ 1
3) ท่อเก็บตัวอย่างน้ำที่ 2
4) ท่อน้ำทิ้งจากระบบ

3.5.2 จุดเก็บตัวอย่าง พารามิเตอร์ และความถี่ในการวิเคราะห์

รายละเอียดของพารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำของแต่ละพารามิเตอร์ได้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่าง พารามิเตอร์ และความถี่ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	100 ซม.	200 ซม.	น้ำออก
พีเอช	A	B	B	A
อุณหภูมิ	A	B	B	A
สี	A	B	B	A
ทีเคเอ็น	A	-	-	A
ทีโอซี	C	C	C	C
ดีโอ	A	B	B	A
บีโอดี	D	-	-	D
ซีโอดี	A	B	B	A
เอสเอส	A	B	B	A

A = วิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจำนวน 2 ครั้ง / สัปดาห์

B = วิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจำนวน 2 สัปดาห์ / ครั้ง

C = วิเคราะห์หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จำนวน 1 ครั้ง

D = วิเคราะห์หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จำนวน 2 ครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.3 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 3.4 แสดงวิธีการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้

ตารางที่ 3.4 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1.พีเอช	Electronic pH meter with glass electrod Method
2.อุณหภูมิ	Thermometer
3.สี	Spectrophotometer Method
4.ทีเคเอ็น	Macro Kjldahl Method
5.ทีโอซี	High temperature furnace + air/O_2 + Pt catalyst.
6.ซีโอดี	Dichromate Close Reflux Method
7.ของแข็งแขวนลอย	0.45 micron-Drying at 103 ^{0}C
8.ออกซิเจนละลายน้ำ	DO meter Method.
9.บีโอดี	5-Day BOD Test.
10.มวลจุลินทรีย์	Ultrasonic – Drying at 550 ^{0}C

3.5.4 การวัดสี

น้ำตัวอย่างที่จะนำมาทำการวัดสีจะกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปเข้าเครื่องเซ็นตริฟิวจ์หมุนที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่องสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ใช้วัดสีออกมาในรูปของค่าแอ็บซอบแบนซ์ และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์ แล้วนำมาแสดงเป็นรูปกราฟระหว่างค่าแแอบซอบแบนซ์กับความยาวคลื่น พื้นที่ใต้กราฟดังกล่าวจะนำมาคำนวณเป็นค่าสีในหน่วยเอสยู สามารถใช้เป็นตัวแทนในการดูแนวโน้มการกำจัดสีได้ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์จะนำมาคำนวณเป็นค่าสีเอดีเอ็มไอ (Standard Methods, 1995)

3.6 การเก็บตัวอย่างทรายและการวิเคราะห์

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างทรายที่หัวบึงและท้ายบึงเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย และปริมาณมวลจุลินทรีย์หลังผ่านการบำบัดน้ำเสีย และสุ่มเก็บตัวอย่างทรายวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อศึกษาการดูดซับสีในทราย

3.7 การศึกษารากของพืช

สุ่มต้นไม้ ก่อน – หลัง การทดลองในแต่ละการทดลองนำมาศึกษารากของพืช โดยนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.8 น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลองได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานไทยโทเร เท็กซ์ไทล์ มิลล์ จำกัด (มหาชน) มีปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดประมาณ 3,200 ม^3./วัน. โดยเป็นน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม 2,900 ม^3./วัน.

1) สีย้อมที่ใช้ในโรงงานได้แก่ สีดิสเพอร์ส สีไดเรกท์ สีรีแอกทีฟ และ สีอะคริลิก

2) สารเคมีที่ใช้ในการฟอกย้อม

2.1) Na_2SO_4 130 ตันต่อเดือน
2.2) CH_3COOH 0.5 ตันต่อเดือน
2.3) NaOH 10 ตันต่อเดือน
2.4) Na_2CO_3 2 ตันต่อเดือน
2.5) $Na_2S_2O_4$ 20 ตันต่อเดือน

3) ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

น้ำใช้จากโรงงานและน้ำจากการฟอกย้อมถูกนำไปพักที่บ่อพักน้ำเสียเพื่อลดอุณหภูมิ แล้วจึงสูบเข้าระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ ระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมี สารเคมีที่ใช้ได้แก่ สารส้ม สารช่วยตกตะกอน (Coagulation Aid) แล้วจึงสูบน้ำเสียไปยังระบบบ่อผึ่ง มีบ่อพักน้ำ 5 บ่อ และมีอัตราค่าบำบัดน้ำเสีย 1.5 บ./ม^3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียในการทำวิจัย

เนื่องจากต้องการน้ำเสียที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัด (มีความเข้มสีสูง) จึงทำการเก็บน้ำตัวอย่างตรงจุดทางออกของน้ำเสียจากส่วนฟอกย้อมที่ยังไม่ได้รวมกับน้ำใช้ภายในโรงงาน

5) ลักษณะของน้ำเสียจริงก่อนการทดลอง

น้ำเสียหลังจากเก็บตัวอย่างแล้วจะนำมาวิเคราะห์เพื่อดูลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีก่อนการป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำเสียจริงก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	ช่วง	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	9.3-11.7 (n = 11)	10.8 ± 0.9
ซีโอดี	414-501 (n = 12)	470 ± 35
บีโอดี	100-104 (n = 2)	102 ± 2.8
สี (หน่วยเอสยู)	63-77 (n = 14)	71.4 ± 4.1
(หน่วยเอดีเอ็มไอ)	654-915 (n = 14)	771.0 ± 86
ของแข็งแขวนลอย	24-59 (n = 12)	37 ± 10
ของแข็งแขวนลอยระเหย	4-40 (n = 12)	13 ± 11
ทีเคเอ็น	10.5-12.0 (n = 13)	11.4 ± 0.4
ทีโอซี	65.0 (n = 1)	65

หมายเหตุ : น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีโทนสีน้ำเงิน มีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ สีย้อมและสารปนเปื้อนต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบโครงสร้างสีได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย