บทที่ 3
แผนงานและการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี และไนโตรเจนจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว ระหว่างพืช 2 ชนิด คือ ธูปฤาษี และบอน ซึ่งปลูกอยู่ในระดับน้ำเสียที่ต่างกัน ในพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว ซึ่งปลูกในระบบบำบัดเปรียบเทียบกับพืชที่ปลูกในบ่อควบคุมซึ่งใช้น้ำดีที่ระดับน้ำต่างกันด้วย

3.1.1 เกณฑ์การออกแบบหน่วยทดลอง

หน่วยทดลองในการวิจัยนี้หมายถึงพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน (Free Water Surface, FWS) ซึ่งมีเกณฑ์การออกแบบตามตารางที่ 3.1 (Reed,Middlebrooks and Crites,1995)

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์การออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น	แบบจำลอง
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (เมตร)	5 : 1
ระดับความลึกของน้ำเสีย (เมตร)	0.15 , 0.30 , 0.45
อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วัน)	0.11 , 0.23 , 0.34
ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (วัน)	5

(ที่มา : Reed , Middlebrooks and Crites,1995)

โดยทำการคำนวณจาก

สูตรการออกแบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน

$$Q = \frac{L\ W\ d\ n}{t}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (ลูกบาศ์กเมตร/วัน)

L = ความยาวของบ่อ (เมตร)

W = ความกว้างของบ่อ (เมตร)

D = ความลึกของระดับน้ำเสียในบ่อ (เมตร)

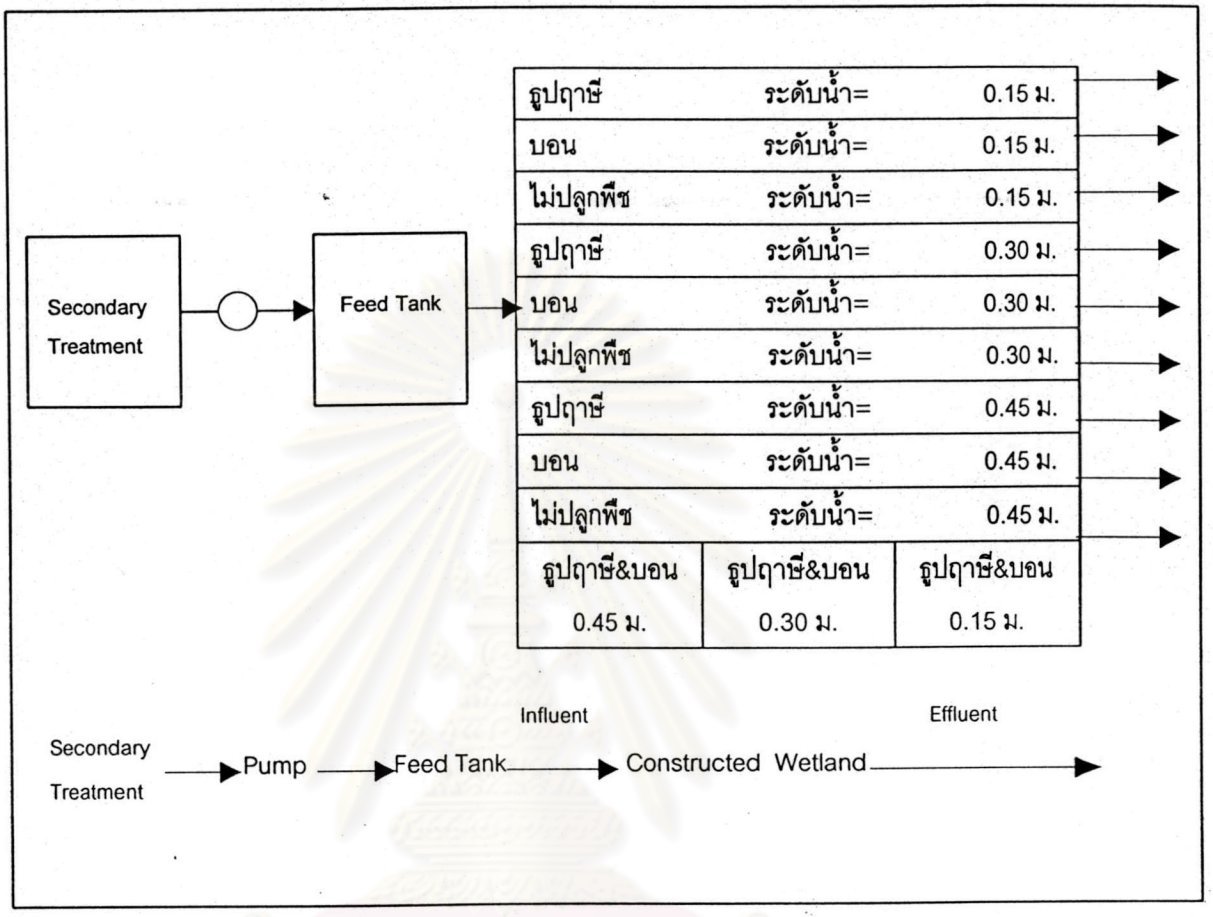
n = ค่าคงที่แสดงช่องวางภายในบ่อ
เท่ากับ 0.75 (สำหรับระบบน้ำไหลอิสระเหนือผิวดิน)

t = เวลากักเก็บน้ำเสียในระบบ (วัน)

3.1.2 หน่วยทดลองทั้งหมด

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 12 หน่วยการทดลอง โดยที่ 9 หน่วยการทดลองแรกสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพและอีก 3 หน่วยการทดลองสำหรับศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืชดังนี้ หน่วยที่ 1, 4 และ 7 จะทำการปลูกต้นธูปฤาษีที่ระดับน้ำเสียในระบบเท่ากับ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตรตามลำดับ หน่วยที่ 2, 5 และ 8 จะทำการปลูกต้นบอนที่ระดับน้ำเสียในระบบเท่ากับ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตรตามลำดับ และหน่วยที่ 3, 6 และ 9 ถูกกำหนดให้เป็นบ่อควบคุมที่ไม่ปลูกพืชที่มีระดับน้ำเสียในระบบเท่ากับ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตรเช่นเดียวกัน สำหรับหน่วยที่ 10, 11 และ 12 ถูกกำหนดให้เป็นบ่อควบคุมพืชที่ใช้น้ำดีแทนน้ำเสียที่ระดับน้ำในระบบเท่ากับ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตรตามลำดับโดยทำการปลูกทั้งต้นธูปฤาษีและต้นบอนในบ่อเดียวกันทั้ง 3 บ่อ หน่วยการทดลองทั้งหมดถูกกำหนดให้มีระยะกักเก็บน้ำเสีย 5 วัน และมีอัตราการไหลของน้ำเสียเป็น 0.11, 0.23 และ 0.34 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับระดับความลึกของน้ำเสียในระบบเท่ากับ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตรตามลำดับ โดยมีระยะเวลาทำการทดลองทั้งหมด 100 วัน (รูปที่ 3.1)

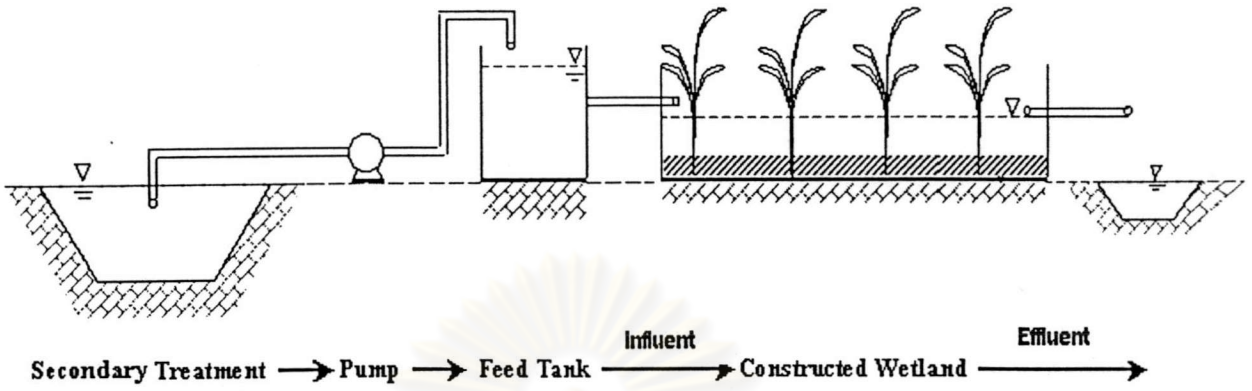
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 หน่วยการทดลองทั้งหมด

3.1.3 ส่วนประกอบของหน่วยทดลองแต่ละหน่วย

การวิจัยนี้ใช้พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นทั้งหมด 9 หน่วยการทดลอง แต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วยน้ำเสียที่ได้รับการบำบัด ในขั้นต้นมาแล้ว ซึ่งจะได้รับการปั๊มเข้าสู่แทงค์น้ำ ทำการต่อระบบให้น้ำเสียเข้าสู่บ่อพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของหน่วยการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

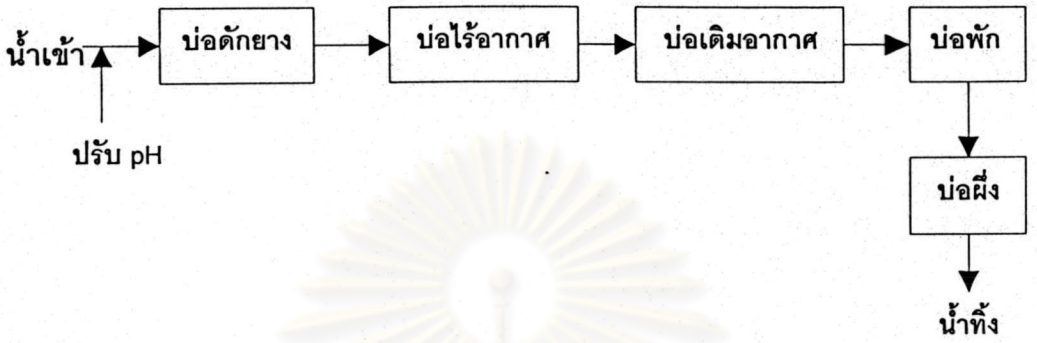
- พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน (Free Water Surface Constructed Wetland) ซึ่งประกอบด้วย
  - บ่อ Wetland
  - พืช
  - ดิน
  - น้ำเสีย
  - ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก
- ถังเก็บน้ำเสีย

3.3 การเตรียมอุปกรณ์และสถานที่

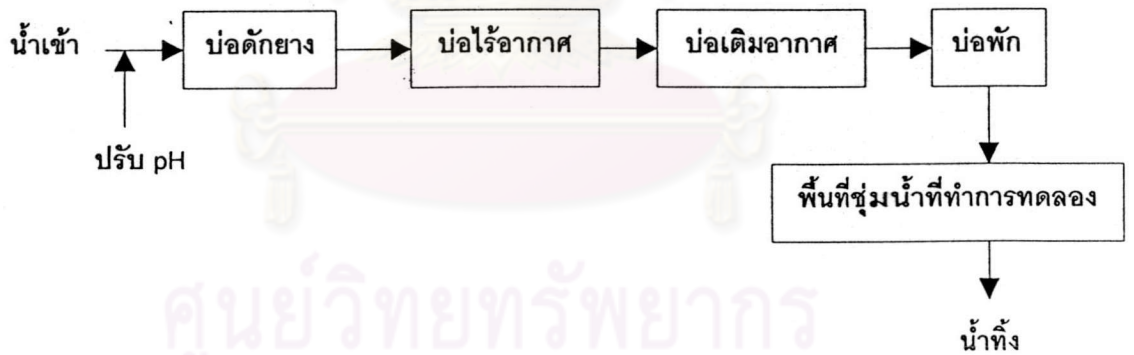
น้ำเสียที่นำมาทำการศึกษาได้จากน้ำเสียที่โรงงานน้ำยางข้น บริษัทอินเตอร์รับเบอร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วของการวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำ ดิน และพืช จะทำที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานอินเตอร์รับเบอร์

ระบบการบำบัดน้ำเสียของบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ ประกอบด้วยบ่อดักยาง บ่อไร้อากาศ บ่อเติมอากาศ บ่อพัก และบ่อผึ่งก่อนที่จะปล่อยออกมาเป็นน้ำทิ้ง ดังแสดง

ในรูปที่ 3.3 พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นในการทดลองครั้งนี้รับน้ำเสียมาจากบ่อพักเพื่อทำการบำบัด ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นก่อนทำการทดลอง



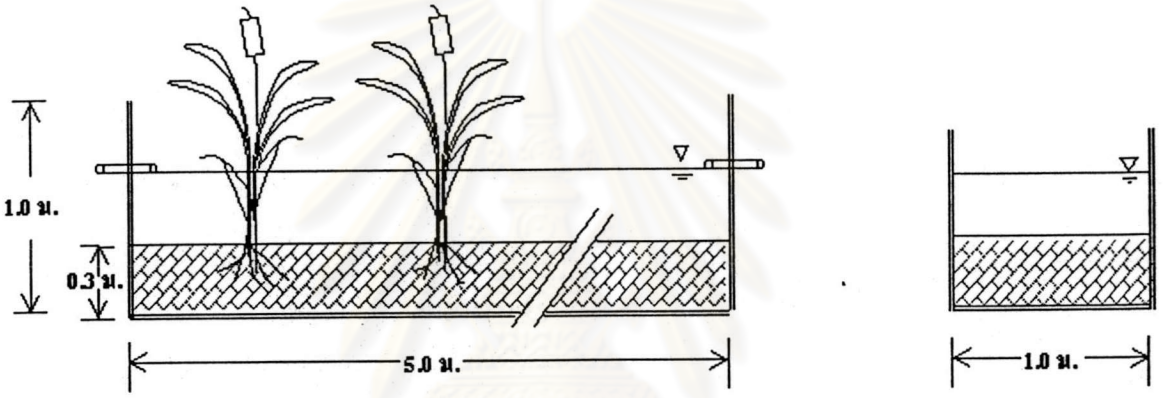
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นในขณะทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1 **การเตรียมพื้นที่ชุ่มน้ำแบบไหลอิสระเหนือผิวดิน** (Free Water Surface Constructed Wetland)

3.3.1.1 **การเตรียมบ่อ** Wetland

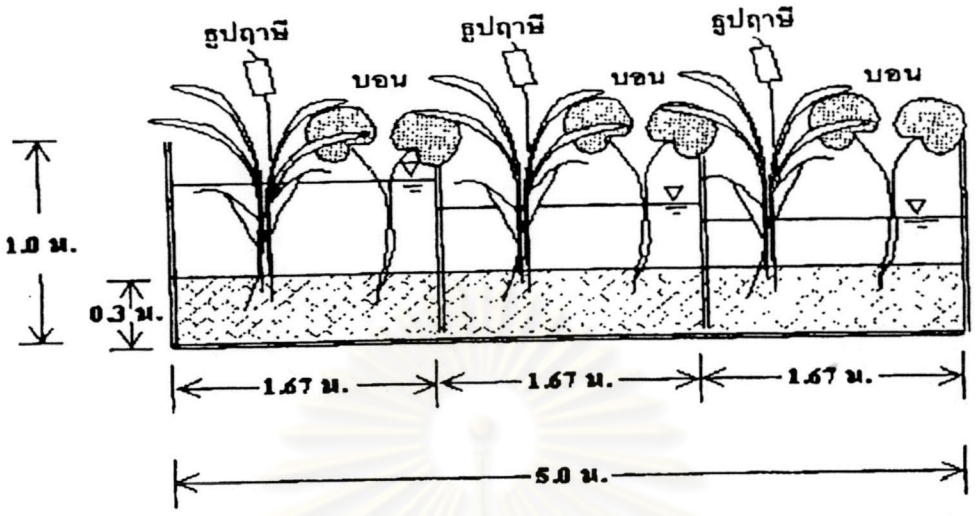
พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นในการวิจัยเป็นบ่อปูนซีเมนต์ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า เปิดโล่งด้านบนจำนวนทั้งหมด 9 บ่อ ขนาดเท่าๆ กัน โดยแต่ละบ่อมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 5 เมตร และมีความสูงของผนังบ่อ 1 เมตร ภายในบรรจุดินที่ใช้ปลูกพืช ซึ่งมีความสูงของพื้นดิน 0.3 เมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 พื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับบ่อควบคุมพืช 3 บ่อ ที่ปลูกต้นธูปฤาษีและบอนที่ระดับน้ำ 0.15, 0.30 และ 0.45 เมตร ที่เป็นบ่อควบคุมที่ไม่มีน้ำเสีย (ใช้น้ำประปา) เป็นบ่อปูนซีเมนต์ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 3 บ่อ มีขนาดเท่าๆ กัน โดยแต่ละบ่อมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาวบ่อละ 1.6 เมตร และสูง 1 เมตร ภายในปลูกธูปฤาษีและบอน ซึ่งมีความสูงของชั้นดิน 0.3 เมตร ดังรูปที่ 3.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 บ่อควบคุมพืช

3.3.1.2 การเตรียมพืชและการปลูกพืชในระบบ

1) การเลือกชนิดของพืช

ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ธูปฤาษี (*Typha angustifolia*) และบอน (*Colocasia esculenta*, (L.) Schott, green) เพื่อเป็นพืชที่ปลูกในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น ทั้งนี้เพราะพืชทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดดึงสารอาหารได้มาก และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง (Reddy and Debusk, 1987) เป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตในพื้นที่ที่มีน้ำขัง ซึ่งพบได้ในทุกภาคของประเทศไทย

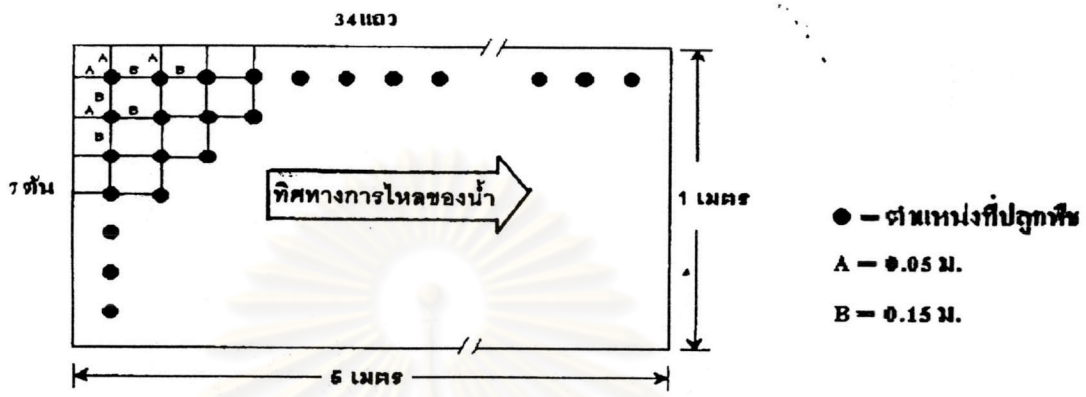
2) การเก็บพืช

ทำการเก็บพืชทั้ง 2 ชนิดจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงโรงงานที่ทำการวิจัย โดยทำการคัดเลือกพืชที่มีอายุและขนาดความสูงเท่าๆ กันที่ขนาดความสูงเท่ากับ 0.50 เมตร โดยคัดมาจำนวนทั้งหมด 1,190 ต้นในแต่ละชนิด จากนั้นนำต้นพืชที่เก็บมาได้มาล้างด้วยน้ำสะอาดและทำการแยกกอออกเป็นต้นๆ

3) การปลูกพืชในระบบ

ทำการปลูกพืชในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นดังนี้ บ่อที่ 1, 4 และ 7 ปลูกธูปฤาษี บ่อที่ 2, 5 และ 8 ปลูกบอน โดยมีความหนาแน่นของพืชในระบบ คือ 47 ต้นต่อตารางเมตร โดยปลูกห่างจากผนัง 0.05 เมตร ระยะห่างระหว่างต้นในแนวกว้างและแนวยาวของบ่อเท่ากับ 0.15 เมตร ใน 1 หน่วยการทดลองจะทำการปลูกธูปฤาษีหรือบอนทั้งหมด 238 ต้น หรือเท่ากับปลูกพืชตามแนวกว้างของบ่อ 7 ต้นและตามแนวยาวของบ่อทั้งหมด 34 แถว

สำหรับบ่อที่ 10, 11 และ12 จะทำการปลูกทั้งธูปฤาษีและบอนลงในบ่อเดียวกัน โดยใช้ความหนาแน่นและระยะห่างระหว่างต้นเช่นเดียวกันกับบ่ออื่นๆ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการปลูกธูปฤาษีหรือบอนในหน่วยการทดลอง

3.3.1.3 การเตรียมดิน

ทำการเก็บดินจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงโรงงานที่ทำการวิจัย โดยทำการเก็บทั้งหมด 15 ลูกบาศก์เมตร นำดินทั้งหมดมาทำการคลุกให้ผสมกันอย่างทั่วถึง จากนั้นนำดินที่ผสมแล้วไปเทลงบ่อทดลองทั้งหมดให้มีความสูงของชั้นดินโดยวัดจากพื้นบ่อเท่ากับ 0.30 เมตรเท่าๆ กันทุกบ่อ

3.3.1.4 น้ำที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียจริง ซึ่งได้ผ่านระบบบำบัดขั้นต้นจากโรงงานน้ำยางข้นแล้ว มีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

BOD (mg/L)	80 - 353
COD (mg/L)	118 - 510
Temp (^{o}C)	29 - 33
TSS (mg/L)	58 - 218
Total Nitrogen (TKN) (mg/L)	101 – 326
pH	7 - 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 **การเตรียมทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น**

ทางน้ำเข้าระบบประกอบด้วยวาล์วเพื่อใช้ปรับอัตราการไหลประกอบด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 เมตร มีความยาว 0.15 เมตร เพื่อเป็นทางระบายน้ำเข้าสู่ระบบ ทางน้ำเข้า (ระบบนี้จะติดตั้งอยู่ที่ความสูงจากพื้นบ่อเท่ากับ 0.9 เมตร เท่ากันทุกบ่อ)

ทางน้ำออกจากระบบทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 เมตร มีความยาว 0.15 เมตร ต่อด้วยสายยางขนาดเดียวกันเพื่อนำน้ำออกจากระบบไปเก็บในถังเก็บตัวอย่างน้ำต่อไป สำหรับตำแหน่งติดตั้งของทางน้ำออกจากระบบนี้ถูกออกแบบให้สามารถกำหนดระดับน้ำในแต่ละบ่อโดยติดตั้งให้สูงจากพื้นบ่อดัง ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงระดับความสูงของทางน้ำออกของบ่อต่าง ๆ

บ่อที่	ระดับความสูงของทางน้ำออก เมื่อวัดจากพื้นบ่อ (เมตร)
1 2 และ 3	0.45
4 5 และ 6	0.60
7 8 และ 9	0.75

3.3.3 **ถังเก็บน้ำเสีย**

ถังเก็บน้ำเสียเป็นถังพลาสติกขนาด 1000 ลิตร ตั้งไว้ในระดับที่สูงพอเหมาะ ที่จะทำให้เกิดการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบได้โดยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะมีการนำน้ำเสียจากระบบบำบัดของโรงงานมาเติมให้เต็ม เมื่อระดับน้ำในถังลดลงจนเกือบจะหมดจากถังก็ทำการเติมน้ำใหม่จนเต็มถัง

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

3.4.1. ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น

3.4.1.1 การปล่อยและการกักเก็บน้ำ

1) เริ่มปล่อยน้ำประปา เข้าบ่อบำบัดทั้ง 9 บ่อ และบ่อควบคุมพืชเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงผสมน้ำเสียกับน้ำประปาลงในบ่อบำบัดในอัตราส่วนร้อยละ 25 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 25 เปอร์เซ็นต์ ต่อทุก 1 สัปดาห์ จนครบ 4 สัปดาห์

2) ปล่อยน้ำเสียเข้าบ่อบำบัดทั้ง 9 บ่อภายหลังจากปล่อยพืชเจริญเติบโตนาน 1 เดือน โดยเป็นบ่อทดลองที่มีการปลูกพืช 6 บ่อ และบ่อควบคุมไม่ปลูกพืชอีก 3 บ่อ โดยมีระดับน้ำเสียในระบบดังนี้ คือ บ่อที่ 1 2 และ 3 มีระดับน้ำเสียที่ 0.15 เมตร บ่อที่ 4 5 และ 6 มีระดับน้ำเสียที่ 0.30 เมตร บ่อที่ 7 8 และ 9 มีระดับน้ำเสียที่ 0.45 เมตร ทำการกักเก็บน้ำเสียไว้ในระบบเป็นเวลา 17 วัน เพื่อให้พืชสามารถปรับตัวให้เกิดความเคยชินกับระบบก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราไหลตามที่กำหนดไว้

3) ปล่อยน้ำประปาลงในบ่อที่ 10 , 11 และ12 ที่กำหนดให้เป็นบ่อควบคุมพืชที่ระดับน้ำ 0.15 , 0.30 และ0.45 เมตรตามลำดับ

4) ทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งหมด 100 วัน

3.4.1.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

1) การเก็บตัวอย่างน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งก่อนและหลังผ่านระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นในวันที่เริ่มทำการทดลองและเก็บต่อไปทุกๆ 5 วัน ในเวลาเดียวกันของแต่ละวันจนสิ้นสุดการทดลอง 100 วัน ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เข้าสู่ระบบและน้ำที่ออกจากระบบ ห่างกันเป็นเวลา 5 วัน ตามระยะเวลาของการกักเก็บน้ำของระบบที่ได้ออกแบบไว้ ปริมาณตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งละ 1 ลิตร โดยบรรจุตัวอย่างน้ำในขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร นอกจากนั้นแล้ว ในเวลาเดียวกันจะทำการวัดโปร่งแสง (Transparency) ของน้ำที่อยู่ในระบบด้วย

2) การเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาใช้ปลูกพืชในระบบ ทั้ง 9 บ่อทดลอง โดยเก็บในปริมาณเท่าๆกันทุกบ่อ คือ 500 กรัมต่อบ่อ นำตัวอย่างดินเก็บในขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร การเก็บตัวอย่างดินนี้จะเก็บก่อนที่จะปลูกพืช เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเฉพาะเมื่อเริ่มทำการทดลองเท่านั้น

3.4.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง (APHA, AWWA and WEF, 1995)

1) การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

1) ทำการเก็บน้ำเสีย วัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (T) และค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) (APHA,AWWA and WEF,1995)

2) ทำการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี วิเคราะห์ตามวิธีการใน Standard Method for BOD Analysis (5210B)

3) ทำการวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ในตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ตาม วิธีการ ใน Standard Method for Nitrogen Analysis (4500N)

4) ทำการวิเคราะห์หาค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) ในตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ตามวิธีการใน Standard Method for Total Suspended Solid Analysis (2540D)

5) ทำการตรวจวัดความโปร่งแสง (Transparency) ของน้ำในบ่อทดลอง ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Secchi disc

2) **การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน**

นำตัวอย่างดินมาปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้องก่อนที่จะนำมาบดให้เป็นผง จากนั้นนำตัวอย่างดินที่บดแล้วมาร่อนผ่านตระแกรงที่มีขนาดช่องว่าง 2 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ และวัดค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นของดินโดยใช้ พีเอชมิเตอร์

3.4.2 **ขั้นตอนการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของธูปฤาษีและบอน**

3.4.2.1 **การปล่อยและการกักเก็บน้ำ**

1) ปล่อยน้ำประปาลงในบ่อที่ 10 , 11 และ 12 ที่กำหนดให้เป็นบ่อควบคุมพืชที่ระดับน้ำ 0.15 , 0.30 และ0.45 เมตรตามลำดับ

2) ทำการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งหมด 100 วัน

3.4.2.2 **ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างพืช**

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชครั้งละ 3 ต้นจากทุกบ่อที่ทำการทดลอง หลังจากปล่อยน้ำเสียเข้าครั้งแรกครบ 10 วัน ทำการทดลองและเก็บตัวอย่างต่อไปทุกๆ 10 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง 100 วัน

3.4.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

1) ศึกษาลักษณะทั่วไปของธูปฤาษี และบอน ในบ่อทดลองเปรียบเทียบกับบ่อควบคุมที่ไม่ได้ใส่น้ำเสีย

2) ศึกษาการเจริญเติบโตของธูปฤาษีและบอนจากบ่อทดลอง 3 บ่อ โดยทำการวัดความสูงของต้นเปรียบเทียบกับบ่อทดลองขนาดเล็ก 3 บ่อ ที่ปลูกธูปฤาษีและต้นบอนที่ระดับน้ำ 0.15 0.30 และ 0.45 เมตรที่กำหนดให้เป็นบ่อควบคุมที่ไม่มีน้ำเสีย การวัดความสูงของพืช วัดที่ลำต้นระหว่างรอยต่อของรากและลำต้น ถึงยอดของลำต้น

3) นำตัวอย่างธูปฤาษีและบอนที่เก็บตัวอย่างดังกล่าวไปอบที่อุณหภูมิ 70°ซ เป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์จากตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างพืชและตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ศึกษาในการวิจัย

ตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์
น้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ (T) ของแข็งแขวนลอย (TSS) บีโอดี (BOD) ไนโตรเจน (TKN) ความโปร่งแสง (Transparency)*
พืชที่ปลูกในระบบ	ความสูง น้ำหนักแห้ง
ดินในระบบ	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ลักษณะของเนื้อดิน

หมายเหตุ:ความโปร่งแสง (Transparency) จะทำการวิเคราะห์จากน้ำที่อยู่ในระบบเท่านั้น

3.5.2 การประมาณค่าประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้น คำนวณโดยเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของพารามิเตอร์ที่ศึกษาระหว่างน้ำที่เข้าระบบกับน้ำที่ออกจากระบบซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร(มก./ล) พารามิเตอร์ที่ศึกษาประสิทธิภาพคือ ค่าบีโอดี ค่าไนโตรเจน และค่าของแข็งแขวนลอย ซึ่งมีสูตรการคำนวณประสิทธิภาพของระบบดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ (\%)} = \frac{\text{Conc.INF} - \text{Conc.EFF}}{\text{Conc.INF}} \times 100\ \%$$

โดยที่ Conc.INF = ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ในน้ำเข้า (มก./ล)

Conc.EFF = ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ในน้ำออก(มก./ล)

3.5.3 **สถิติที่ใช้ในการวิจัย**

1) **สถิติเชิงพรรณนา**

ข้อมูลจากการวิจัยที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง ได้แก่ น้ำหนัก ความสูง pH อุณหภูมิ ค่าความโปร่งแสง และประสิทธิภาพในการกำจัดมวลสาร(เปอร์เซ็นต์) ทำการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) **สถิติเชิงวิเคราะห์**

ก) **การวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดต่อไปนี้ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช** :-ชนิดของพืช (ต้นบอน และต้นธูปฤาษี) ระดับของน้ำในบ่อทดลอง (0.45 0.30 0.15 เมตร) และชนิดของน้ำในระบบ(น้ำดี และน้ำเสีย) ทำการวิเคราะห์โดยวิธี ANOVA Applied To Regression โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATA (Stata Corp,2001) โดยกำหนดให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยชนิดของน้ำในระบบ ระดับน้ำ และชนิดของพืช เป็นข้อมูลชนิดนับ และข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาของการทดลอง(วัน) เป็นข้อมูลต่อเนื่อง ซึ่งจะต้องใช้ข้อสมมุติว่าพืชทั้งสองชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการทดลองซึ่งผลทางการวิจัยที่รายงานในหัวข้อ 4.1.2 สนับสนุนข้อสมมุตินี้ วิธีวิเคราะห์นี้สามารถนำเอาปัจจัยที่สนใจมาทำการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติในคราวเดียวกัน ผลการวิเคราะห์จะได้ สมการซึ่งมีปัจจัยที่สนใจรวมทั้ง interaction term (ปัจจัยที่มีปฏิสัมพันธ์กัน) อยู่ในสมการเดียวกัน การพิจารณาว่าปัจจัยใด(ชนิดของน้ำในระบบ ระดับน้ำ และชนิดของพืช) มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (อัตราความสูง อัตราเพิ่มของน้ำหนักสด และอัตราเพิ่มของน้ำหนักแห้ง) พิจารณาที่ interaction term ระหว่าง จำนวนวันที่ทำการทดลองกับปัจจัยที่สนใจแต่ละอย่างว่ามีค่า Probability (หรือ P value) ต่ำกว่า 0.05 หรือไม่ ถ้าหากต่ำกว่า 0.05 ถือว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังพิจารณา interaction term ที่ประกอบด้วยปัจจัยมากกว่าสองปัจจัยขึ้นไป เพื่อดูว่าปัจจัยแต่ละอย่างที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันหรือไม่ เพื่อทำให้เห็นว่าปัจจัยแต่ละอย่างขึ้นแก่กันหรือไม่ หรือเป็นอิสระจากกันหรือไม่ ผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบได้ด้วยว่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นธูปฤาษี และต้นบอน แตกต่างกันหรือไม่ และชนิดไหนมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่ากัน เมื่อทำการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืชทั้งสองชนิด

ข) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดมวลสาร ของพื้นที่ชุ่มน้ำที่สร้างขึ้นแบบต่าง ๆ

การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของความแตกต่างของประสิทธิภาพในการกำจัดมวลสาร ระหว่างความลึกของน้ำเสียระดับต่าง ๆ และระหว่างชนิดของพืช ได้ทำการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATA (Stata Corp.,2001) โดยวิธีทดสอบดังต่อไปนี้

- Two way analysis of variance หรือ Two way ANOVA ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทดสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แบบ Repeated measure design (Kleinbaum and Kupper, 1978)

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัด TKN , TSS และBOD ของพื้นที่ชุ่มน้ำแบบต่าง ๆ ทั้ง 9 แบบ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ หรือ อีกนัยหนึ่งเป็นการทดสอบว่า ระดับของน้ำเสียระดับต่าง ๆ และชนิดของพืชมีผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัด TKN , TSS และ BOD หรือไม่ โดยทำการพิจารณาผลของปัจจัยทั้งสองไปพร้อมกันนี้ในการทดสอบครั้งเดียว การทดสอบดังกล่าวจะสามารถพิจารณาได้ด้วยว่าระดับน้ำเสียและชนิดของพืช มีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันหรือไม่ หากมีปฏิสัมพันธ์กันจะต้องนำมาพิจารณาในการแปรผลด้วย

- Least Significant Difference (LSD) (Daniel ,1987)

การทดสอบโดยวิธี Two way ANOVA สำหรับมวลสารแต่ละชนิด พบว่าประสิทธิภาพของการกำจัดของเสียแต่ละชนิดของพื้นที่ชุ่มน้ำ ทั้ง 9 แบบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ มีค่า Probability น้อยกว่า 0.05 และไม่พบว่าระดับน้ำและชนิดของพืชมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน ได้ทำการทดสอบต่อไป โดยวิธี LSD เพื่อพิจารณาว่าค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของระดับน้ำคู่ใด และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของพืชคู่ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพื่อสามารถสรุปได้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำแบบใด มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับมวลสารแต่ละชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย