

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษานี้ใช้บ่อจำลองแบบ Small-scale Study ของระบบบึงประดิษฐ์ 2 ชนิดคือ แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่ง (VSF) และแนวนอน (HSF) เปรียบเทียบกัน เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยและในโตรเจน โดยใช้พืชชนิดเดียวคือ ฐูปฤาษี และแต่ละชนิดทำการบำบัดน้ำชะมูลฝอย 2 แบบคือ น้ำชะมูลฝอยสด (Fresh Leachate) และน้ำชะมูลฝอยเก่า (Old Leachate) ดังนั้นจึงแบ่งระบบบำบัดดังกล่าวอย่างละ 2 บ่อ รวมชุดการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ซึ่งแต่ละชุดการทดลองจะใช้การะปริมาณน้ำหรืออัตราภาระทางศาสตร์ที่ 1, 2.8 และ 5.6 cm/d

1. น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชะมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายมูลฝอยของศูนย์จัดการมูลฝอยท่าแร่ (กทม.) ซึ่งน้ำชะมูลฝอยถูกรวบรวมจากรถเก็บขนมูลฝอยสำหรับใช้เป็นน้ำชะมูลฝอยสด โดยนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาเพื่อให้ความเข้มข้นของ COD 5,000 – 10,000 mg/L ตามต้องการ ดังภาพที่ 10 และน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี ได้นำมาใช้เป็นน้ำชะมูลฝอยเก่าที่ไม่มีการเจือจางสำหรับการทดลอง Run 1 (HRT 28 d) และทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นของ COD 1,000 – 3,000 mg/L สำหรับการทดลองใน Run 2 (HRT 10 d) และ Run 3 (HRT 5 d)



น้ำชะมูลฝอยสด



น้ำชะมูลฝอยเก่า

ภาพที่ 10 น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำชะมูลฝอยจาก 2 แหล่ง แหล่งแรกจากหลุมฝังกลบของเทศบาลเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี น้ำชะมูลฝอยจะถูกรวบรวมโดยท่อรับน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่สถานีสูบน้ำชะมูลฝอย และระบบบำบัดแบบบ่อ ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่เกิดจากสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองปทุมธานี ได้แสดงดังตารางที่ 12 ส่วนแหล่งที่ 2 จากระบบเก็บขนมูลฝอย ของสถานีขนถ่ายมูลฝอย ศูนย์จัดการมูลฝอยท่าแร่ กรุงเทพฯ ฯ แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่12 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ณ.ศูนย์กำจัดมูลฝอยเทศบาลเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ช่วงค่า
pH	-	8.01-9.32
SBOD	mg/L	92-370
SCOD	mg/L	1,613-4,506
TKN	mg/L	357 -1,680
NH ₃ -N	mg/L	309-1,233
NO ₃ -N	mg/L	1.21-3.51
NO ₂ -N	mg/L	1.25 – 3.62
PO ₄ ³⁻	mg/L	3.9 – 10.08
Cl ⁻	mg/L	1,050-3,099
Alk ⁻	mg/L	3,350 – 9,900
EC	mS/cm	6.61-23.3

ตารางที่13 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย สถานีขนถ่ายมูลฝอยของศูนย์จัดการมูลฝอยท่าแร่ (กทม.)

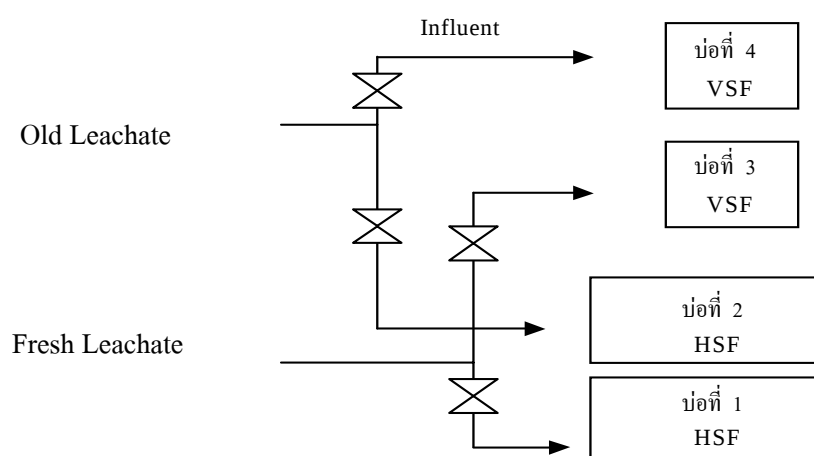
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ช่วงค่า
pH	-	2.01-4.3
SBOD	mg/L	7,500-37,000
SCOD	mg/L	16,400-50,220

ตารางที่ 13 (ต่อ)

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	หน่วย	ช่วงค่า
TKN	mg/L	655-1,820
NH ₃ -N	mg/L	125-545
NO ₃ -N	mg/L	0.05-1.65
NO ₂ -N	mg/L	0.32- 1.46
PO ₄ ³⁻	mg/L	21.5-80
Cl ⁻	mg/L	625-3,125
Alk ⁻	mg/L	5,750- 11,000
EC	mS/cm	1.45-5.92

2. บ่อจำลอง

ลักษณะบ่อเป็นบ่อคอนกรีตทั้งหมด 4 บ่อ ดังแสดงในภาพที่ 11 โดยแบ่งเป็นระบบ VSF 2 บ่อ และระบบ HSF 2 บ่อ ซึ่งบ่อของระบบ VSF มีขนาดกว้าง 1.5 m ยาว 1.5 m และสูง 1 m มีความลึกของตัวกลางที่อยู่ในบ่อ 0.8 m และมีระดับน้ำสูงประมาณ 0.7 m ส่วนบ่อของระบบ HSF มีขนาดกว้าง 1 m ยาว 3 m และสูง 1 m มีความลึกของตัวกลางที่อยู่ในบ่อประมาณ 0.8 m และมีความสูงของระดับน้ำ 0.7 m เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 11 แผนผังระบบบ่อดทดลอง

ตัวกลางที่อยู่ในบ่อของระบบ VSF ประกอบด้วยตัวกลาง 3 ชนิด (ภาพที่ 12) คือ กรวดขนาด 30-60 mm มีความลึกของตัวกลางชนิดนี้ประมาณ 0.15 m รองก้นบ่อ ทับด้วยกรวดขนาด 10-20 mm และทรายหยาบขนาด 1-2 mm ลึกประมาณ 0.20 m และ 0.45 m ตามลำดับ (ดังภาพที่ 13) ส่วนตัวกลางของระบบ HSF ประกอบด้วยตัวกลาง 2 ชนิด คือ กรวดขนาด 30-60 mm ลึก 0.8 m มีความยาว 0.5 m ใส่ตรงทางเข้าและทางออกของบ่อ เพื่อกระจายน้ำเข้าและรวบรวมน้ำออก ส่วนบริเวณกลางบ่อใส่ทรายหยาบขนาด 1-2 mm ยาวประมาณ 2 m ดังภาพที่ 14



กรวดขนาด 30-60 mm

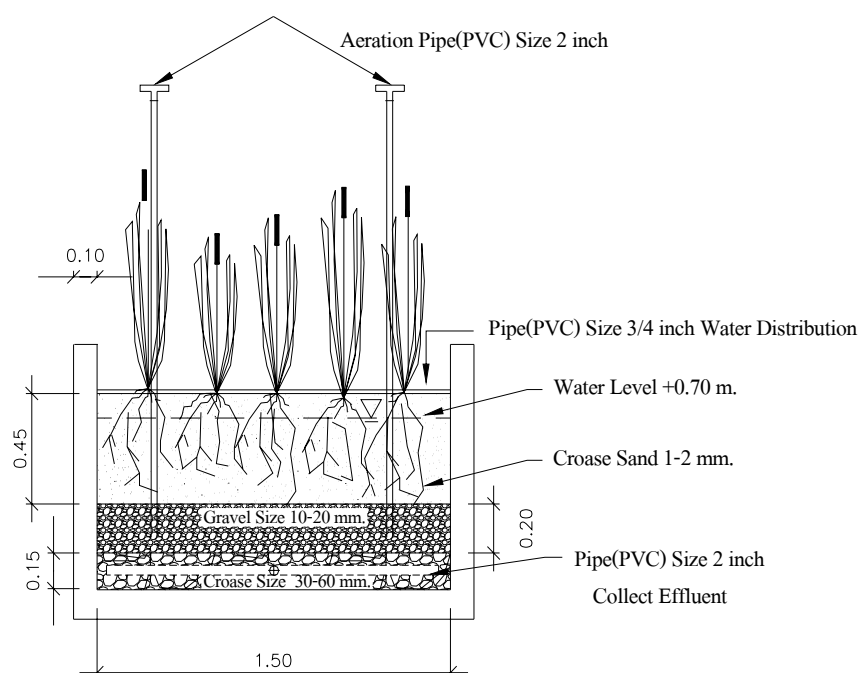


กรวดขนาด 10-20 mm

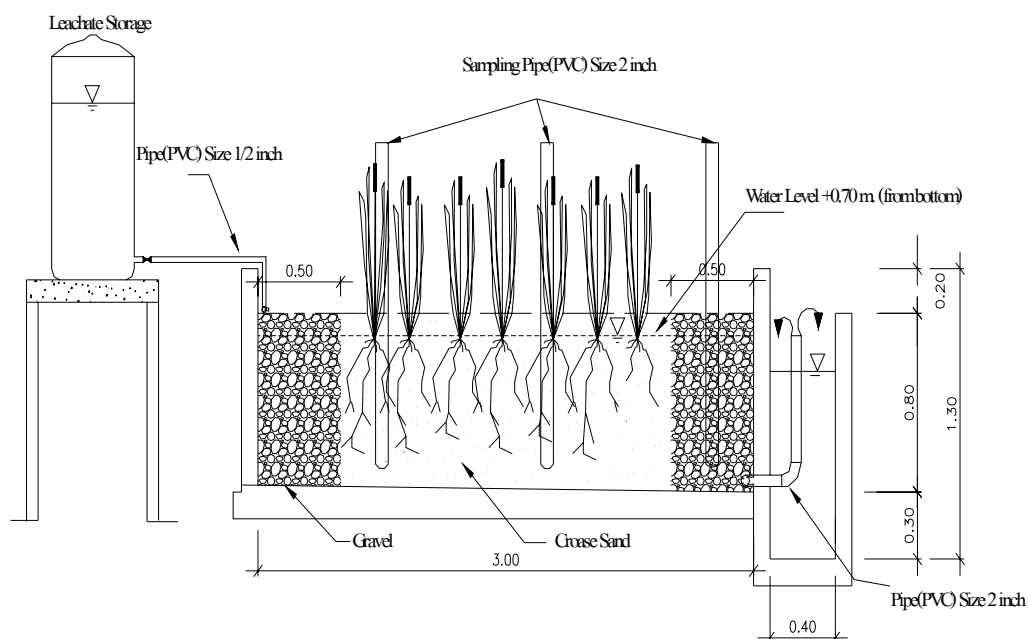


ทรายหยาบขนาด 1-2 mm

ภาพที่ 12 ลักษณะของตัวกลางแต่ละชนิด



ภาพที่ 13 ลักษณะชั้นตัวกลางชนิดต่างๆ ของระบบ VSF



ภาพที่ 14 ลักษณะชั้นตัวกลางชนิดต่างๆ ของระบบ HSF

3. ระบบท่อ

ท่อน้ำเข้าของทั้ง 2 ระบบเป็นท่อพีวีซีขนาด $\frac{1}{2}$ inch เจาะรูขนาด 0.5 cm รอบท่อ เว้นระยะห่างระหว่างรูเจาะประมาณ 5 cm ในระบบ HSF ความยาวของท่อน้ำเข้ามีขนาดตามความกว้างของบ่อวางบนกรวดตรงทางเข้าของบ่อเพื่อช่วยกระจายน้ำจำนวน 1 ท่อ ส่วนในระบบ VSF ท่อน้ำเข้าจะมีลักษณะเป็นก้างปลาวางบนทรายหยาบเพื่อกระจายน้ำเข้าดังภาพที่ 15

ท่อรับน้ำออกเป็นท่อพีวีซีขนาด 2 inch เจาะรูขนาด 1 cm รอบท่อ เว้นระยะห่างระหว่างรูเจาะประมาณ 5 cm ในระบบ HSF ท่อรับน้ำออกจะวางอยู่ในแนวความกว้างของบ่อ โดยฝังอยู่ในชั้นกรวดตรงทางออกสูงจากก้นบ่อประมาณ 10 cm จำนวน 1 ท่อ ส่วนในระบบ VSF ท่อรับน้ำออกจะมีลักษณะเป็นก้างปลา เช่นเดียวกับท่อน้ำเข้า

ท่อเก็บตัวอย่างน้ำของระบบ HSF และท่อเติมอากาศของระบบ VSF เป็นท่อขนาด 2 inch สูงประมาณ 1.20 m เจาะรูขนาด 1 cm รอบท่อ ระยะห่างระหว่างรูเจาะประมาณ 5 cm โดยฝังอยู่ในชั้นของตัวกลางลึกประมาณ 0.5m



(ก)



(ข)

ภาพที่ 15 ลักษณะท่อน้ำเข้าของระบบ HSF(ก) และ VSF(ข)

4. ระบบจ่ายน้ำ

น้ำเสียถูกเก็บในถังพลาสติก (Storage Tank) ขนาด 1000 L จำนวน 2 ถัง ซึ่งบรรจุน้ำชะมูลฝอยสด 1 ถัง และบรรจุน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดก่อนหน้านี้แล้ว 1 ถัง ใช้ปั๊มจุ่มสูบน้ำเสียจากถังเก็บขนาด 1000 L ขึ้นไปเก็บในถังปรับระดับน้ำ (Head Tank) ขนาด 200 L เพื่อควบคุมให้อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ยังใช้ปั๊มควบคุมอัตราการไหลที่แตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลองด้วย ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ถังเก็บน้ำ ถังปรับระดับน้ำ

การสูบน้ำของปั๊มจุ่มเข้าสู่ถังปรับระดับน้ำจะถูกควบคุมโดยใช้ลูกลอยเป็นสวิทช์ปิด-เปิด ปั๊มเพื่อรักษาระดับน้ำในถังปรับระดับน้ำให้คงที่ ส่วนน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบจะมีการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous)

5. พืช

นาธูปฤาษี *Typha* ชนิด *Angustifolia* มาปลูกในบ่อจำลองที่สร้างเสร็จแล้วโดยให้มีความหนาแน่นของพืชเริ่มต้น 40 rhizomes/m² (Kottatep 1999, Mataraj 1995) เพื่อให้พืชแตกหน่อขึ้นมาใหม่โดยเริ่มต้นจะเลี้ยงพืชด้วยน้ำประปาประมาณ 15 วัน จากนั้นก็ใช้น้ำชะมูลฝอยที่เจือจางด้วยน้ำประปาให้มีความเข้มข้นต่ำๆ เลี้ยงต้นพืชไปก่อนและค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำชะมูลฝอยขึ้นเรื่อย ๆ (น้ำชะมูลฝอยเจือจางร้อยละ 10, 50 และ 75 ตามลำดับ) จนพืชสามารถปรับตัวเข้ากับน้ำชะมูลฝอยได้ ก่อนที่จะปล่อยน้ำชะมูลฝอยที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการทดลองเข้าไปในระบบ

6. อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ

ใช้ขวดพลาสติกในการเก็บตัวอย่างน้ำที่จุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ครั้งละประมาณ 500 mL โดยที่น้ำเข้าจะเก็บตัวอย่างน้ำจากสายยางรีดของปั๊ม ส่วนจุดเก็บตัวอย่างน้ำตำแหน่งอื่น ๆ จะใช้สายยางดูดเก็บตัวอย่างบริเวณกึ่งกลางความลึกของท่อ PVC ที่ติดตั้งไว้ในระบบ

วิธีการ

1. สร้างบ่อจำลอง 4 บ่อสำหรับระบบ VSF 2 บ่อ (บำบัดน้ำชะมูลฝอยสด 1 บ่อ, น้ำชะมูลฝอยเก่า 1 บ่อ) และระบบ HSF 2 บ่อ (บำบัดน้ำชะมูลฝอยสด 1 บ่อ, น้ำชะมูลฝอยเก่า 1 บ่อ) ดังภาพที่ 17



(ก)



(ข)

ภาพที่ 17 บ่อจำลองระบบ VSF 2 บ่อ(ก) และบ่อจำลองระบบ HSF 2 บ่อ(ข)

2. นำรูปถ่ายมาปลูกในบ่อจนพืชสามารถปรับสภาพเข้ากับสิ่งแวดล้อมและน้ำชะมูลฝอยได้ประมาณ 1 เดือน จากนั้นก่อนปล่อยน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ระบบในแต่ละชุดการทดลองต้องตัดต้นรูปถ่ายให้มีความสูงประมาณ 40 cm เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ขณะทำการทดลองวัดความสูงเฉลี่ยของพืชทุก 7 วันหลังจากมีการปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบ เมื่อสิ้นสุดการทดลองแต่ละชุดการทดลองสุ่มตัวอย่างพืชจำนวนร้อยละ 10-15 ของพื้นที่มาหาค่าน้ำหนักแห้ง และทำการปลูกพืชทดแทนในส่วนที่ถูกนำไปวิเคราะห์

3. ปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่มีการไหลในแนวนอนและแนวตั้งด้วยอัตรากระทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันโดยปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบแบบต่อเนื่อง ซึ่งใช้ปั๊มเป็นตัวควบคุมอัตราการไหล และใช้ลูกลอยเป็นตัวควบคุมการทำงานของปั๊มจุ่มใน Storage Tank รายละเอียดการแปรผันอัตรากระทางชลศาสตร์ อัตราการไหลของน้ำ และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียในการทดลองแสดงดังตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 รายละเอียดการทดลองของระบบ HSF

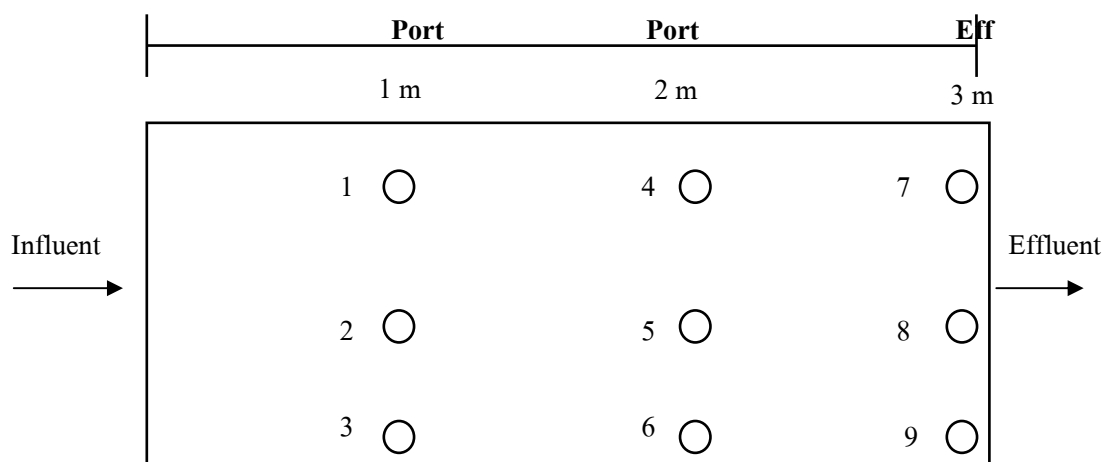
ชุดการทดลองที่	ชนิดน้ำชะ	พืชที่ปลูก	อัตราการระเหยทางชลศาสตร์ (cm/d)	อัตราการไหล (L/d)	ระยะเวลาเก็บกัก(d)	Run
1	น้ำชะ	รูปถ่าย	1	20	28	Run 1
	มูลฝอย		2.8	56	10	Run 2
	สด		5.6	112	5	Run 3
2	น้ำชะ	รูปถ่าย	1	20	28	Run 1
	มูลฝอย		2.8	56	10	Run 2
	เก่า		5.6	112	5	Run 3

ตารางที่ 15 รายละเอียดการทดลองของระบบ VSF

ชุดการทดลองที่	ชนิดน้ำชะ	พืชที่ปลูก	อัตราการระเหยทางชลศาสตร์ (cm/d)	อัตราการไหล (L/d)	ระยะเวลาเก็บกัก(d)	Run
3	น้ำชะ	รูปถ่าย	1	22.5	28	Run 1
	มูลฝอย		2.8	63	10	Run 2
	สด		5.6	126	5	Run 3
4	น้ำชะ	รูปถ่าย	1	22.5	28	Run 1
	มูลฝอย		2.8	63	10	Run 2
	เก่า		5.6	126	5	Run 3

หมายเหตุ: นิยาม น้ำชะมูลฝอยสดคือ น้ำที่ยังไม่ผ่านการฝังกลบ
น้ำชะมูลฝอยเก่าคือ น้ำที่ผ่านการฝังกลบ 2-5 ปี

4. การเก็บตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์จะเก็บแบบจ้วง (Grab Sample) จากบ่อทดลองทั้ง 4 บ่อ ซึ่งรายละเอียดของตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำดังแสดงในภาพที่ 18 และ 19 เก็บตัวอย่างน้ำอาทิตย์ละ 1-2 ครั้งจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ หลังจากนั้นจะเก็บน้ำเพียงอาทิตย์ละครั้ง มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 16



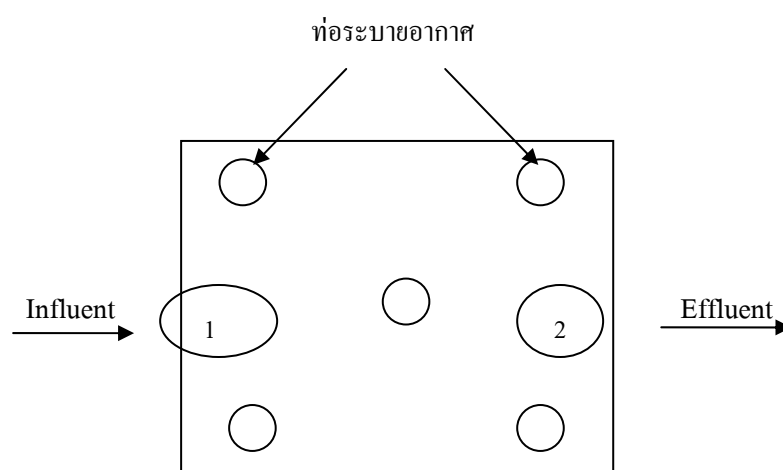
ภาพที่ 18 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างของระบบ HSF

หมายเหตุ: ประกอบคำอธิบายภาพที่ 18 จุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด (Inf, Port 1, Port 2 และ Eff) และแต่ละตำแหน่งที่เก็บจะวิเคราะห์ทุกพารามิเตอร์ดังตารางที่ 16 ท่อ Sp = ท่อ Sampling

ท่อ Sp 1 + Sp 2 + Sp 3 = 1 Sample ของ Port 1

ท่อ SP 4 + Sp 5 + Sp 6 = 1 Sample ของ Port 2

ท่อ Sp 7 + Sp8 + Sp 9 = 1 Sample ของ Effluent



ภาพที่ 19 รายละเอียดตำแหน่งและจุดเก็บตัวอย่างน้ำของระบบ VSF

หมายเหตุ: ประกอบคำอธิบายภาพที่ 19 ซึ่งมีจุดเก็บตัวอย่าง 2 จุด โดยปริมาณตัวอย่างน้ำเก็บตำแหน่งละ 500 mL และวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 รายละเอียดของดัชนีและความถี่ในการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
pH	pH meter	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
อุณหภูมิ	Thermometer	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
Alk	Indicator Titration Method	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
Cl ⁻	Mercuric Nitrate	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
SS	Gravimetric Method	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
EC	Azide Modification	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
COD	Dichomate Close Reflux	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
TKN	Kjeldahl Method	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
NH ₃ -N	Distillation-titration	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
NO ₃ -N	Colorimetric Method (Brucine)	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
NO ₂ -N	Colorimetric Method	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง
TP	Acid digestion-Ascorbic Acid	สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

ที่มา: APHA (1998)

5. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady – State) โดยพิจารณาที่ค่า COD และ TN คงที่ ก็ศึกษามวลสมดุล (Mass Balance) เพื่อหาหลักการบำบัดโดยใช้ระยะเวลาในการศึกษา 7 วัน (1 สัปดาห์) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำ วันละครั้ง เก็บตัวอย่างทราย (ตัวกลาง) และเก็บตัวอย่างพืช ในวันที่ 1 และวันที่ 7 ของระยะเวลาการศึกษา เพื่อวิเคราะห์หาสมดุลมวลของสารอินทรีย์ และไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ในช่วงระยะเวลาการศึกษาจะทำการวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของจุดเก็บตัวอย่างเพื่อหา DO Profile และวัดอัตราการไหลเข้าและไหลออกของระบบที่ทำการศึกษาด้วย

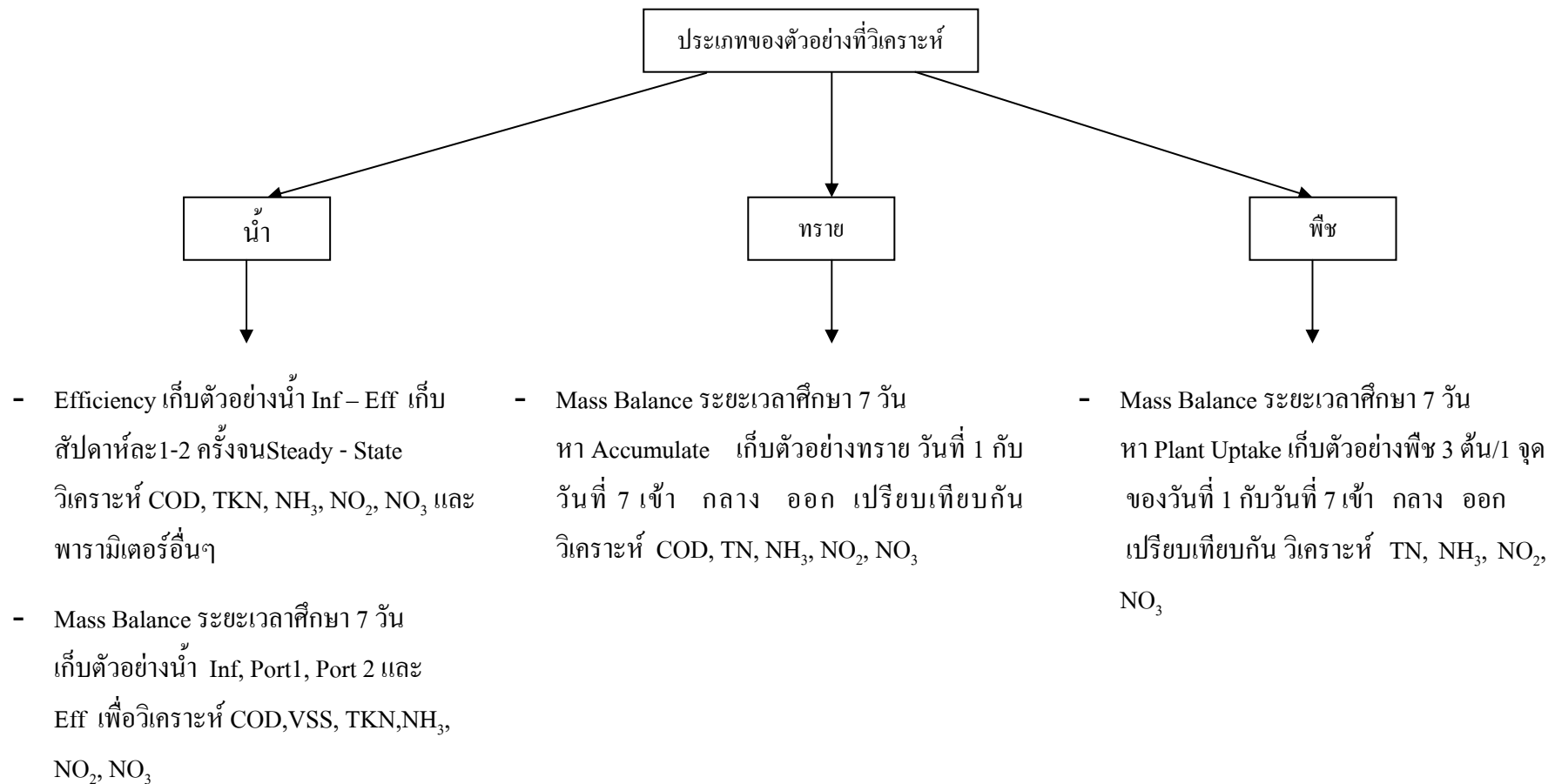
จากนั้นตัวอย่างพืชจะทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการดูดซับสารอาหารในพืชโดยแยกพืชออกเป็น 3 ส่วน คือ ราก ลำต้น (เป็นส่วนที่อยู่เหนือเหง้าของรากขึ้นมาประมาณ 1 ft) และใบ โดยนำมาอบแห้งที่ 60°C เป็นเวลา 48 hr หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ บดให้ละเอียด แล้วนำไป

วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Macro-Kjeldahl และแบ่งตัวอย่างพืชสดไปบดให้ละเอียด เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนียมในพืชด้วย

ส่วนตัวอย่างทรายทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการสะสมของสารอินทรีย์ และสารอาหาร ในตัวกลาง โดยนำตัวอย่างมาตากแห้งตามธรรมชาติจนน้ำหนักแห้งคงที่ จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธีMacro-kjeldahlเช่นเดียวกับพืช ในขณะเดียวกันตัวอย่างทรายเปียกจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนียมในตัวอย่างทรายด้วยเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 20)

ตารางที่ 17 รายละเอียดของตัวบ่งชี้และความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช และทราย ในช่วงระยะเวลาศึกษาสภาวะคงที่ (Steady State)

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์น้ำ	น้ำ	วิธีวิเคราะห์พืช, ทราย	พืช	ทราย
DO	DO meter	✓	-	-	-
COD	Dichomate Close Reflux	✓		-	✓
VSS	Filltration-Furnace 550 °C	✓	-	-	-
T N	Macro Kjeldahl Method	✓	Macro Kjeldahl Method	✓	✓
N H ₃ - N	Distillation-titration	✓	Colorimetric Method	✓	✓
N O ₃ - N	Colorimetric Method (Brucine)	✓	Colorimetric Method	✓	✓
N O ₂ - N	Colorimetric Method	✓	Colorimetric Method	✓	✓



ภาพที่ 20 การตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ ๆ ในการศึกษาสมดุลมวล