สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.2 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน (Free Water Surface System,FWS)	3
2.2 บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน (Subsurface Flow System,SFS)	4
2.3 บึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน	5
2.4 พืชที่ใช้ในบึงประดิษฐ์	6
2.5 หน้าที่ของพืชในระบบบึงประดิษฐ์	10
2.6 กลไกการบำบัด	11
2.7 การออกแบบระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน	17
2.8 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 แบบจำลองบึงประดิษฐ์	28
3.2 น้ำที่เข้าระบบ	29
3.3 ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง	31
3.4 รายละเอียดของการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์การทดลอง	37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การทดลองที่ 1 อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3.2 ซม./วัน (รวมน้ำหมุนเวียน)	37
4.2 การทดลองที่ 2 อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6.4 ซม./วัน (รวมน้ำหมุนเวียน)	49
4.3 การทดลองที่ 3 อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน (รวมน้ำหมุนเวียน)	59
4.4 ผลการเจริญเติบโต และการดูดซึมไนโตรเจนของพืช	71
4.5 ดุลไนโตรเจน	89
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	92
5.1 สรุปผลการทดลอง	92
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	94
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียฟาร์มสุกร ที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในระบบบึงประดิษฐ์แบบผสมผสาน ด้วยธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยม	100
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	128
ประวัติผู้เขียน	133

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงหน้าที่ของพืชโผล่พ้นน้ำในระบบบึงประดิษฐ์	9
2.2 อัตราการดูดซับไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในระบบบึงประดิษฐ์	11
2.3 คุณสมบัติของตัวกลางในระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน	19
2.4 ค่าความลึกของรากพืชแต่ละชนิด	19
2.5 ข้อมูลที่ควรทราบเกี่ยวกับระบบบึงประดิษฐ์	20
2.6 ค่าแนะนำที่ใช้ในการออกแบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินในแนวนอน	21
3.1 คุณภาพน้ำผสมที่ใช้ในการทดลอง จากการวิเคราะห์ 10 ครั้ง	30
3.2 รายละเอียดการดำเนินการวิจัย	32
3.3 รายละเอียดของการเก็บ และวิเคราะห์ตัวอย่าง	36
4.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร	40
4.2 ลักษณะน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3.2 ซม./วัน	48
4.3 ลักษณะน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6.4 ซม./วัน	58
4.4 ลักษณะน้ำเสีย และประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน	68
4.5 ประสิทธิภาพเฉลี่ยการบำบัดของระบบในการทดลองที่ 1 2 และ 3 (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3.2 6.4 และ 12.8 ซม./วัน)	70
4.6 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 หลังจากทำการทดลองได้ 134 วัน (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3.2 ซม./วัน)	73
4.7 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 หลังจากทำการทดลองได้ 134 วัน (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 3.2 ซม./วัน)	74
4.8 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 หลังจากทำการทดลองได้ 120 วัน (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6.4 ซม./วัน)	77
4.9 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 หลังจากทำการทดลองได้ 120 วัน (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 6.4 ซม./วัน)	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.10 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของฐูปฤาษีในการทดลองที่ 3 (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน)	81
4.11 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน)	81
4.11 สมรรถภาพในการดูดซับไนโตรเจนของกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 (อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 12.8 ซม./วัน)	82

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบัญภาพ

รูป หน้า

2.1 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลบนผิวดิน 4
2.2 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการไหลแนวนอน 4
2.3 ระบบบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินที่มีการไหลแนวดิ่ง 5
2.4 พืชโผล่พ้นน้ำ 6
2.5 ต้นธูปฤาษี 8
2.6 ต้นกกสามเหลี่ยม 9
2.7 แผนภาพแสดงกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบบึงประดิษฐ์ 16
3.1 ลักษณะของชั้นตัวกลางที่ใช้ในการศึกษา 28
3.2 แผนภาพแสดงจุดเก็บน้ำจากกิตติวัฒน์ฟาร์ม 30
3.3 บ่อจำลองที่ใช้ในการศึกษา 33
3.4 ทิศทางการไหลของน้ำและจุดเก็บน้ำตัวอย่าง 34
3.5 การวางระบบท่อในบ่อจำลอง 35
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 38
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 38
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 39
4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 39
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 41
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 42
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 42
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 43
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 44
4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 45
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 49
4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 50
4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 50
4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 51
4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป หน้า

4.16 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 52
4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 53
4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 53
4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 54
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกด้วยกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 2 55
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 3 59
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 3 59
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 3 60
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 3 60
4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 61
4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าเจลดาลห์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 62
4.27 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 62
4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิไดซ์ไนโตรเจนของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 63
4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกธูปฤาษีในการทดลองที่ 3 64
4.30 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของระบบที่ปลูกกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 3 65
4.31 น้ำเสียก่อนและหลังผ่านการบำบัดโดยระบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลแนวนอน ตามด้วยการไหลในแนวดิ่ง 69
4.32 ความสูงเฉลี่ยของพืชทั้งสองชนิดในการทดลองที่ 1 71
4.33 ธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 หลังทดลองได้ 134 วัน 72
4.34 ต้นและรากของกกสามเหลี่ยมและธูปฤาษีในส่วนที่มีการไหลแนวนอน ในการทดลองที่ 1 หลังทดลองได้ 134 วัน 72
4.35 รากของกกสามเหลี่ยมและธูปฤาษีในส่วนที่มีการไหลแนวดิ่ง ในการทดลองที่ 1 หลังทดลองได้ 134 วัน 73
4.36 ความสูงเฉลี่ยของพืชทั้งสองชนิดในการทดลองที่ 2 75
4.37 กกสามเหลี่ยมและธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 หลังทดลองได้ 120 วัน 75
4.38 ต้นและรากของกกสามเหลี่ยมและธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 หลังทดลองได้ 120 วัน 76
4.39 ต้นและรากของกกสามเหลี่ยมและธูปฤาษีในการทดลองที่ 2 หลังทดลองได้ 120 วัน 77

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป หน้า

4.40 ความสูงเฉลี่ยของพืชในการทดลองที่ 3 79
4.41 ธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยมในส่วนที่มีการไหลแนวนอนในการทดลองที่ 3 79
4.42 ธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยมในส่วนที่มีการไหลแนวนอนในการทดลองที่ 3 79
4.43 ความสูงเฉลี่ยของธูปฤาษีตลอดการทดลอง 83
4.44 ความสูงเฉลี่ยของกกสามเหลี่ยมตลอดการทดลอง 83
4.45 น้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีและกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 2 และ 3 84
4.46 ไนโตรเจนสะสมในส่วนต่างๆ ของธูปฤาษีในการทดลองที่ 1 2 และ 3 85
4.47 ไนโตรเจนสะสมในส่วนต่างๆ ของกกสามเหลี่ยมในการทดลองที่ 1 2 และ 3 86

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อและสัญลักษณ์

กก.	กิโลกรัม	
ซม.	เซนติเมตร	
ม.	เมตร	
มก./ล.	มิลลิกรัม/ลิตร	
^{o}ซ	องศาเซลเซียส	
Alk	Total Alkalinity	ค่าความเป็นด่างรวม
BOD	Biochemical Oxygen Demamd	บีโอดี
COD	Chemical Oxygen Demamd	ซีโอดี
FC	fecal coliform bacteria	ฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย
HF	Horizontal Flow	การไหลแนวนอน
HLR	Hydraulic Loading Rate	อัตราภาระบรรทุกทางชลศาสตร์
HRT	Hydraulic Retention Time	เวลาเก็บกักน้ำ
MPN	Most Probable Numbers	
NH_3	Ammonia Nitrogen	แอมโมเนียไนโตรเจน
NO_X^-	Oxidize Nitrogen	ออกซิไดซ์ไนโตรเจน
SS	Suspended Solids	ของแข็งแขวนลอย
TKN	Total Kjedal Nitrogen	เจลดาลห์ไนโตรเจน
TN	Total Nitrogen	ไนโตรเจนรวม
TP	Total Phosphorus	ฟอสฟอรัสรวม
VF	Vertical Flow	การไหลแนวดิ่ง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University