

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ..... | (3) |
| Abstract..... | (5) |
| กิตติกรรมประกาศ..... | (7) |
| สารบัญ..... | (8) |
| รายการตาราง..... | (10) |
| รายการภาพประกอบ..... | (11) |
| รายการตารางภาคผนวก..... | (16) |
| รายการภาพประกอบภาคผนวก..... | (17) |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| ปัญหาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 3 |
| ขอบเขตงานวิจัย..... | 3 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... | 4 |
| นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 5 |
| 2. การวิจัยเอกสาร..... | 6 |
| ลักษณะบ่อบำบัดร่วมกับพีชลอยน้ำของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ | |
| เทศบาลนครหาดใหญ่..... | 6 |
| พีชน้ำที่พบในบ่อบำบัดร่วมกับพีชลอยน้ำของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ | |
| เทศบาลนครหาดใหญ่ปัจจุบัน..... | 9 |
| ทฤษฎีการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ..... | 11 |
| ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ..... | 38 |
| พลวัตระบบ (system dynamics)..... | 39 |
| 3. วิธีการวิจัย..... | 46 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4. ผลการวิจัย..... | 56 |
| สรุปลักษณะการเปลี่ยนรูป (ความสัมพันธ์) ของไนโตรเจนแต่ละรูป..... | 56 |
| ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องและสมมติฐานต่าง ๆ..... | 58 |
| โครงสร้างแบบจำลอง..... | 66 |
| ผลการทดสอบสมมติฐาน..... | 69 |
| ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริง..... | 92 |
| ผลการทดสอบความอ่อนไหวและสร้างสถานการณ์จำลอง..... | 102 |
| 5. บทวิจารณ์..... | 119 |
| 6. สรุปและเสนอแนะ..... | 124 |
| บรรณานุกรม..... | 133 |
| ภาคผนวก..... | 137 |
| ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์..... | 225 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 226 |

รายการตาราง

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| 1 แสดงความแตกต่างของโครงสร้างและการทำงานบึงประดิษฐ์..... | 1 |
| 2 สัดส่วนของไนโตรเจนแต่ละรูปในน้ำเสียชุมชนทั่วไป..... | 13 |
| 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนของ BOD ₅ ต่อ TKN กับ ปริมาณแบคทีเรียไนตริฟายด์..... | 25 |
| 4 ระดับอุณหภูมิ pH และ DO ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ ตัวแปรทางชีวภาพในบ่อบำบัด..... | 31 |
| 5 อุณหภูมิ pH และ DO ที่เปลี่ยนแปลงจากการทำงานของตัวแปรชีวภาพ ในการกำจัดไนโตรเจน..... | 32 |
| 6 อุปสรรคของกระบวนการกำจัดไนโตรเจน..... | 33 |
| 7 สมการสัมประสิทธิ์จลน์ของการหาอัตราการใช้ในไนโตรเจนของ แบคทีเรียไนตริฟายด์..... | 34 |
| 8 ค่าสัมประสิทธิ์จลน์สำหรับแบคทีเรียไนโตรโซโมนาส..... | 35 |
| 9 ค่าสัมประสิทธิ์จลน์สำหรับแบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์..... | 36 |
| 10 สมการสัมประสิทธิ์จลน์ของการหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน..... | 36 |
| 11 ค่าสัมประสิทธิ์จลน์สำหรับแบคทีเรียดีไนตริฟายด์..... | 37 |
| 12 ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการต่าง ๆ ในระบบบำบัด ที่อาศัยกระบวนการทางชีวภาพ | 38 |
| 13 พารามิเตอร์ของตัวแปรหลักและวิธีวิเคราะห์..... | 51 |
| 14 พารามิเตอร์ของตัวแปรสิ่งแวดล้อมและวิธีวิเคราะห์..... | 51 |
| 15 สรุปลักษณะการลดลงของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ ฯ..... | 56 |
| 16 สรุปลักษณะการเกิดของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ ฯ..... | 57 |
| 17 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อความเข้มข้นของ N ที่ปล่อยออกจาก บ่อในวันที่ 20 : กรณีทดสอบกับตัวแปรที่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี..... | 102 |
| 18 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อความเข้มข้นของ N ที่ปล่อยออกจาก บ่อในวันที่ 20 : กรณีทดสอบกับตัวแปรที่ไม่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี..... | 103 |

รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 1 แสดงปฏิกิริยาชีวเคมีในบ่อบำบัดน้ำเสีย..... | 6 |
| 2 ปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัด/ไม่มีออกซิเจน..... | 7 |
| 3 บ่อบำบัดร่วมกับพีชลอยน้ำ 1 – 5 ของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่.... | 8 |
| 4 ระบบการบำบัดของบึงประดิษฐ์ตามการออกแบบ..... | 9 |
| 5 ความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนแต่ละรูป กับระยะทางจากจุดปล่อยน้ำเสีย..... | 14 |
| 6 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ และบ่อบำบัด..... | 15 |
| 7 การเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียจากอิทธิพลของ pH..... | 18 |
| 8 ความแตกต่างของอัตราการเจริญเติบโตระหว่างแบคทีเรียไนโตรโซโมนาสและ แบคทีเรียไนโตรแบคเตอร์ในช่วง pH ที่เหมาะสม..... | 24 |
| 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชันกับ BOD ₅ ในน้ำเสียทั่วไป..... | 25 |
| 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันกับความเข้มข้น ของออกซิเจน | 26 |
| 11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและอายุสัปดาห์กับการเกิดกระบวนการ ไนตริฟิเคชันของระบบ..... | 27 |
| 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันกับ pH ในระบบ บำบัด | 27 |
| 13 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนของเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันกับ ความเข้มข้นของ DO..... | 28 |
| 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับอัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน จำเพาะสูงสุด | 29 |
| 15 สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแบบจำลองพลวัตระบบ..... | 41 |
| 16 ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของสาเหตุการปนเปื้อน Chlorinated ethene ในโซน methanogenic ในบึงประดิษฐ์ | 44 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 17 ผลความสัมพันธ์จากแบบจำลองของการลดปริมาณ ethene ในบึงประดิษฐ์..... | 45 |
| 18 กรอบแนวคิดในการวิจัย..... | 47 |
| 19 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนของบ่อบำบัดร่วมกับพีชลอยน้ำของ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครหาดใหญ่..... | 50 |
| 20 แผนผังการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริง..... | 53 |
| 21 รูปแบบของชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง..... | 59 |
| 22 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มหลัก..... | 68 |
| 23 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มรอง..... | 68 |
| 24 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับ การกำจัดไนโตรเจน..... | 69 |
| 25 แนวโน้มของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation และ Org N ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา ammonification..... | 70 |
| 26 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของ แบคทีเรีย nitrosomonas และ heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N..... | 71 |
| 27 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของ แบคทีเรีย nitrosomonas และ nitrobacter..... | 72 |
| 28 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตของ แบคทีเรีย denitrifying..... | 73 |
| 29 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ DO ต่ออัตราการเจริญเติบโตของ แบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N..... | 75 |
| 30 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ DO ต่ออัตราการเจริญเติบโต ของแบคทีเรีย denitrifying..... | 76 |
| 31 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อการใช้ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: กรณี แนวโน้มของสาหร่าย..... | 78 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| 32 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อการใช้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$: กรณีแนวโน้มของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้โดยสาหร่าย..... | 78 |
| 33 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่อการกำจัด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในรูปก๊าซ..... | 80 |
| 34 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ COD ต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน $\text{COD}:\text{NO}_3\text{-N}$ | 81 |
| 35 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ COD ต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราคาร์ดิซ $\text{NO}_3\text{-N}$ โดยแบคทีเรีย denitrifying..... | 82 |
| 36 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพีชต่อการตายของสาหร่ายในบ่อ : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพีชในบ่อ..... | 83 |
| 37 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพีชต่อการตายของสาหร่ายในบ่อ : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อ..... | 84 |
| 38 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูป N แต่ละรูปโดยแบคทีเรีย..... | 86 |
| 39 ผลการทดสอบสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อที่พิจารณา ในลักษณะการทำงานของบ่อ..... | 88 |
| 40 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อต่อ Org N ที่ลดลงในบ่อ และ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ และความสัมพันธ์ของ Org N ที่ลดลงในบ่อต่อ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ. : การเปลี่ยนแปลงของ Org N ที่ลดลงในบ่อ..... | 90 |
| 41 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อต่อ Org N ที่ลดลงในบ่อ และ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ และความสัมพันธ์ของ Org N ที่ลดลงในบ่อต่อ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ : การเปลี่ยนแปลงของ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ..... | 90 |
| 42 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้: แนวโน้มของตัวแปร Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ..... | 95 |
| 43 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้: แนวโน้มของตัวแปร $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อ..... | 96 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 44 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้: แนวโน้มของตัวแปร $\text{NO}_2\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อ..... | 97 |
| 45 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้: แนวโน้มของตัวแปร $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อ..... | 98 |
| 46 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของ pH ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ..... | 99 |
| 47 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้ ในการสังเคราะห์เซลล์..... | 100 |
| 48 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของ BOD_5 ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation..... | 101 |
| 49 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 106 |
| 50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อ จากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 106 |
| 51 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ pH ในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 107 |
| 52 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ ($\text{NH}_3\text{-N}$) จากการสร้าง สถานีการบำบัดน้ำ..... | 107 |
| 53 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 108 |
| 54 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายจากการ สร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 108 |
| 55 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่าย ในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 109 |
| 56 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายจากการ สร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 110 |
| 57 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Org N ในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 113 |
| 58 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อจากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 113 |
| 59 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NO}_2\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อ จากการสร้างสถานีการบำบัดน้ำ..... | 114 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 60 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2..... | 114 |
| 61 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณพีชในบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2..... | 115 |
| 62 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายที่ถูกกำจัดในบ่อ จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2..... | 116 |
| 63 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่าย จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2 | 116 |
| 64 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ (denitrification) จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2 | 117 |

รายการตารางภาคผนวก

| ตารางภาคผนวก | | หน้า |
|--------------|---|------|
| ก | | |
| 1 | ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการต่าง ๆ ในระบบบำบัดที่อาศัยกระบวนการทางชีวภาพ..... | 140 |
| 2 | สัดส่วนของไนโตรเจนในโมเลกุลของเซลล์ต่าง ๆ และอินทรีย์สาร..... | 151 |
| 3 | ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการลดลงและเกิดขึ้นของไนโตรเจนในบ่อ ๆ ด้วยสมการปฏิกิริยาชีวเคมี..... | 152 |
| ข | | |
| 1 | ค่าสัมประสิทธิ์จลน์สำหรับแบคทีเรีย heterotrophic..... | 156 |
| ค | | |
| 1 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 1 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 160 |
| 2 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 2 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 162 |
| 3 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 3 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 166 |
| 4 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 4 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 168 |
| 5 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 5 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 171 |
| 6 | ตัวแปร Y ในภาพประกอบภาคผนวก ค 10 และสมมติฐานการเปลี่ยนแปลง..... | 176 |
| 7 | ตัวแปรที่มีค่าเริ่มต้นจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำ..... | 180 |
| 8 | ค่าเริ่มต้นจากข้อมูลในอดีตที่ใช้สำหรับทดสอบสมมติฐาน..... | 182 |
| 9 | ค่าเริ่มต้นจากข้อมูลจริงของตัวแปรเหตุในแบบจำลอง..... | 184 |
| จ | | |
| 1 | ผลการตรวจวัดไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในตัวอย่างน้ำ..... | 205 |
| 2 | ผลการตรวจวัดไนโตรเจนรวมในตะกอนและความชื้น..... | 205 |
| 3 | ผลการตรวจวัดตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจนในตัวอย่างน้ำ..... | 206 |
| ฉ | | |
| 1 | ค่าที่ใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลอง..... | 218 |
| 2 | ค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย..... | 219 |

รายการภาพประกอบภาคผนวก

| ภาพประกอบภาคผนวก | หน้า |
|--|------|
| ก | |
| 1 สัดส่วนการลดลงของ Org N ในบ่อ..... | 138 |
| 2 สัดส่วนการกำจัด NH_4^+ -N ในบ่อ..... | 139 |
| 3 สัดส่วนการลดลงของ NO_2^- -N ในบ่อ..... | 141 |
| 4 สัดส่วนการลดลงของ NO_3^- -N ในบ่อ..... | 142 |
| 5 สัดส่วนของ TN ในตะกอน..... | 144 |
| 6 สัดส่วนการลดลงของ Org N ในตะกอน..... | 145 |
| 7 สัดส่วนการลดลงของ NH_4^+ -N ในตะกอน..... | 146 |
| 8 สัดส่วนการลดลงของ NO_2^- -N ในตะกอน..... | 146 |
| 9 สัดส่วนการลดลงของ NO_3^- -N ในตะกอน..... | 147 |
| 10 สัดส่วนการลดลงของ Org ในบ่อ..... | 147 |
| 11 สัดส่วนการลดลงของแบคทีเรียในบ่อ..... | 148 |
| 12 สัดส่วนการลดลงของสาหร่ายในบ่อ..... | 149 |
| 13 สัดส่วนการลดลงของพืชในบ่อ..... | 149 |
| 14 สัดส่วนการเกิด Org N ในบ่อ..... | 150 |
| 15 สัดส่วนการเกิด NH_4^+ -N ในบ่อ..... | 150 |
| 16 สัดส่วน N_2 ในอากาศที่เข้าสู่บ่อ..... | 151 |
| ข | |
| 1 การประยุกต์ใช้สัดส่วน $\text{BOD}_5:\text{TKN}$ จากตาราง 3 (ในบทที่ 2) | 157 |
| ค | |
| 1 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ Org N ในบ่อ ฯ..... | 159 |
| 2 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ NH_4^+ -N ในบ่อ ฯ..... | 161 |
| 3 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ NO_2^- -N ในบ่อ ฯ..... | 165 |

รายการภาพประกอบภาคผนวก (ต่อ)

| ภาพประกอบภาคผนวก | หน้า |
|---|------|
| ค (ต่อ) | |
| 4 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อ ฯ..... | 167 |
| 5 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ TN ในตะกอนของบ่อ ฯ..... | 170 |
| 6 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ N_2 ในอากาศบริเวณบ่อ ฯ..... | 172 |
| 7 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ Org ในบ่อ ฯ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจน..... | 173 |
| 8 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของแบคทีเรียในบ่อ ฯ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจน..... | 174 |
| 9 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของสาหร่ายในบ่อ ฯ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจน..... | 175 |
| 10 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของพีชลอยน้ำในบ่อ ฯ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับไนโตรเจน..... | 175 |
| 11 ความสัมพันธ์โดยรวมของชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง..... | 179 |
| ง | |
| 1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ Org N ในบ่อ ฯ..... | 186 |
| 2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ..... | 187 |
| 2-1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการเกิด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ | 188 |
| 2-2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการลด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ | 188 |
| 2-3 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการลดลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ โดยถูกกำจัดในรูปก๊าซและถูกตะกอนดูดซับ..... | 189 |
| 2-4 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการลดลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ โดยถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยแบคทีเรีย สาหร่าย และพีช..... | 190 |
| 2-5 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการลดลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ โดยเข้าสู่ปฏิกิริยา Nitritation | 190 |
| 3 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ในบ่อ ฯ..... | 191 |
| 4 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อ ฯ..... | 192 |
| 4-1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของการลดลงของ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อ ฯ..... | 193 |
| 5 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ TN ในตะกอนของบ่อ ฯ..... | 193 |

รายการภาพประกอบภาคผนวก (ต่อ)

| ภาพประกอบภาคผนวก | หน้า |
|--|------|
| ง (ต่อ) | |
| 5-1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ Org N และ NH_4^+ -N ในตะกอนของบ่อ ฯ..... | 194 |
| 5-2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ NO_2 -N และ NO_3 -N ในตะกอนของบ่อ ฯ..... | 194 |
| 6 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ N_2 ในอากาศ..... | 195 |
| 7 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ Org ในบ่อ ฯ..... | 196 |
| 8 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของแบคทีเรียในบ่อ ฯ..... | 197 |
| 9 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของสาหร่ายในบ่อ ฯ..... | 198 |
| 10 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของพืชลอยน้ำในบ่อ ฯ..... | 199 |
| จ | |
| 1 บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่บ่อที่ 1..... | 200 |
| 2 บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่บ่อที่ 2..... | 201 |
| 3 บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่บ่อที่ 3..... | 201 |
| 4 บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่บ่อที่ 4..... | 202 |
| 5 บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่บ่อที่ 5..... | 202 |
| 6 จุดน้ำทิ้งเข้าสู่บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่..... | 203 |
| 7 จุดน้ำทิ้งออกจากบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่..... | 204 |
| 8 เก็บตะกอนกลางบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ ฯ หาดใหญ่..... | 204 |
| ฉ | |
| 1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ BOD_5 ต่อการเกิดปฏิกิริยา nitrification..... | 209 |
| 2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพืชลอยน้ำต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification..... | 211 |
| 3 ทดสอบความสัมพันธ์ของความชื้นในตะกอนต่อพื้นที่ตะกอนที่มี โอกาสเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการ O_2 | 212 |

รายการภาพประกอบภาคผนวก (ต่อ)

| ภาพประกอบภาคผนวก | หน้า |
|--|------|
| ฉ (ต่อ) | |
| 4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพืชต่อโอกาสที่ Org N จากตะกอน ลอยตัวขึ้นสู่ชั้นน้ำ : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพืชในบ่อ..... | 214 |
| 5 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพืชต่อโอกาสที่ Org N จากตะกอน ลอยตัวขึ้นสู่ชั้นน้ำ : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ Org N จากตะกอนลอยตัวขึ้นสู่ชั้นน้ำ..... | 214 |
| 6 ผลจากการเพิ่มลดค่าตัวแปรในโตรเจนที่เข้าสู่บ่อ ในการทดสอบความอ่อนไหว | 216 |
| 7 การเปลี่ยนแปลงของ N ที่ปล่อยออกจากบ่อเมื่อเพิ่มลดค่าตัวแปร N ที่เข้าสู่บ่อ | 217 |
| 8 ผลของการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโต ของแบคทีเรีย nitrosomonas..... | 220 |
| 9 ผลของการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโต ของแบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N..... | 222 |
| 10 ผลของการทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโต ของแบคทีเรีย nitrosomonas (สมการใหม่)..... | 224 |