# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| สารบัญภาพ | ญ |
| สารบัญตาราง | ฎ |
| อักษรย่อและสัญลักษณ์ | ฌ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 2 |
| 1.2 แผนการศึกษาและขอบเขต | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ขบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน | 4 |
| 2.2 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นฟิล์มชีวะ | 5 |
| 2.3 กลไกในการกำจัดสารอินทรีย์ของฟิล์มชีวะ | 9 |
| 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ | 12 |
| 2.5 จลน์ศาสตร์จุลินทรีย์ (Kinetic of Microorganims) | 20 |
| 2.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 28 |
| บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง | 32 |
| 3.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ | 32 |
| 3.2 แบบจำลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย | 32 |
| 3.3 วัสดุตัวกลาง | 36 |
| 3.4 การเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ | 36 |
| 3.5 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา | 36 |
| 3.6 การระบายตะกอนในระบบเพื่อให้ได้ค่าอายุตามที่ต้องการ | 39 |
| 3.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ | 43 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง | 46 |
| 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์คาร์บอนในรูป COD | 46 |

| | หน้า |
|---|---|
| 4.2 จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ | 53 |
| 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 60 |
| 4.4 ค่าจลน์ศาสตร์ (Y, $k_d$ และ Yobs) ของระบบที่ได้จากการทดลอง | 72 |
| 4.5 การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้สมการพื้นฐานของ Monod ในการอธิบายการใช้สารอาหารของจุลชีพในระบบ | 84 |
| 4.6 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เข้าและออกจากถังปฏิกริยา | 90 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 92 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 92 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 94 |
| เอกสารอ้างอิง | 95 |
| ภาคผนวก ก.ข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดตั้งแต่เริ่มดำเนินระบบจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะคงที่ | 99 |
| ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองเฉพาะในช่วง 7 วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ | 132 |
| ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณค่าอายุตะกอนที่แท้จริงในระบบของข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่วง 7 วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ | 173 |
| ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ทางสถิติช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของประสิทธิภาพการบำบัด FCOD และ TCOD เฉพาะในช่วง 7 วัน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ | 177 |
| ประวัติการศึกษา | 188 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

# สารบัญภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 การย่อยสลายของสารคาร์บอนอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ | 4 |
| 2.2 แสดงการจำแนกประเภทของโปรติส | 6 |
| 2.3 แสดงลักษณะการขนส่งสารต่าง ๆ ภายในฟิล์มชีวะ | 10 |
| 2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ Mesophillic Microorganism | 13 |
| 2.5 แสดงขอบเขตสำหรับหาค่าอายุตะกอนในระบบตะกอนเร่ง | 17 |
| 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของจุลินทรีย์กับความเข้มข้นของสารอาหารที่จำกัด | 21 |
| 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $1/\theta c$ กับค่า U เพื่อหาค่า Y และ $k_d$ | 27 |
| 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า 1/U กับค่า 1/S เพื่อหาค่า $K_s$ และ k | 27 |
| 3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัย | 34 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา | 35 |
| 3.3 วัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา | 36 |
| 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัด FCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบ | 47 |
| 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบ | 47 |
| 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัด FCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบภายในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของการวิเคราะห์ทางสถิติ | 48 |
| 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ กันของระบบภายในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของการวิเคราะห์ทางสถิติ | 48 |
| 4.5 น้ำหนักตะกอนอินทรีย์รวมในระบบ | 54 |
| 4.6 ตะกอนอินทรีย์ในน้ำทิ้ง (VSS) ที่ผ่านการบำบัดจากระบบ | 54 |
| 4.7 ค่า SVI ของตะกอนที่แขวนลอยในถังปฏิกริยา | 56 |
| 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า $NH_3$-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 61 |
| 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่า $NO_x$ ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 62 |

| รูป | หน้า |
|---|---|
| 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่า Org-N ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 65 |
| 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่า TN ในน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 68 |
| 4.12 การวิเคราะห์หาค่า Y และ $k_d$ ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยา | 73 |
| 4.13 การวิเคราะห์หาค่า Y และ $k_d$ ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 5 | 73 |
| 4.14 การวิเคราะห์หาค่า Y และ $k_d$ ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 10 | 74 |
| 4.15 การวิเคราะห์หาค่า Y และ $k_d$ ของระบบที่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 15 | 74 |
| 4.16 ผลของปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่อค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Yobs) ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ | 77 |
| 4.17 ผลของปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่อค่าปริมาณตะกอนส่วนเกินในระบบที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ | 80 |
| 4.18 การวิเคราะห์หาค่า $K_s$ และ k ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยา | 83 |
| 4.19 การวิเคราะห์หาค่า $K_s$ และ k ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 5 | 83 |
| 4.20 การวิเคราะห์หาค่า $K_s$ และ k ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 10 | 84 |
| 4.21 การวิเคราะห์หาค่า $K_s$ และ k ของระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาเท่ากับร้อยละ 15 | 84 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 แสดงประเภทของถังปฏิกริยาและความหนาของฟิล์มชีวะ | 11 |
| 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุตัวกลางที่ใช้ในระบบ Trickling Filter | 18 |
| 2.3 แสดงชนิดตัวกลางที่สำรวจพบในประเทศสหราชอาณาจักร | 19 |
| 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง | 26 |
| 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา | 33 |
| 3.2 แผนการดำเนินการวิจัย | 38 |
| 3.3 ปริมาณตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ที่นับออกและทดแทนในแต่ละวัน | 38 |
| 3.4 ปริมาณตะกอนส่วนแขวนลอยที่ระบายออกจากระบบในแต่ละวัน | 39 |
| 3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ | 40 |
| 3.6 วิธีการวิเคราะห์และการเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง | 41 |
| 4.1 ค่า COD ของน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 43 |
| 4.2 ความเข้มข้นของตะกอนอินทรีย์ในถังปฏิกริยาที่ดำเนินการทดลอง | 50 |
| 4.3 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ในระบบของการทดลองภายหลังที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วเป็นเวลา 7 วันต่อเนื่อง | 53 |
| 4.4 การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในน้ำที่เข้าและออกจากระบบที่ดำเนินการทดลอง | 58 |
| 4.5 ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ Y และ $k_d$ | 72 |
| 4.6 ค่าคงที่จลน์ศาสตร์ Y และ $k_d$ ที่ได้จากการศึกษา | 75 |
| 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตปรากฏ (Yobs) จากการทดลอง | 76 |
| 4.8 ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินในระบบที่ทำการศึกษา | 79 |
| 4.9 ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าคงที่จลน์ศาสตร์ k และ $K_s$ | 82 |
| 4.10 ค่าคงที่จลน์ศาสตร์ k และ $K_s$ ที่ได้จากการศึกษา | 85 |
| 4.11 ผลของปริมาณวัสดุตัวกลางฟองน้ำสังเคราะห์ต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ($\mu m$) | 86 |

ตารางที่ หน้า

4.12 ปริมาณตะกอนอินทรีย์ที่เข้าและออกจากระบบ 87

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

# อักษรย่อและสัญลักษณ์

| | | |
|---|---|---|
| COD | : | Chemical Oxygen Demand |
| TCOD | : | Total Chemical Oxygen Demand |
| FCOD | : | Filtrated Chemical Oxygen Demand |
| DO | : | Dissolved Oxygen |
| SS | : | Suspended Solids |
| MLSS | : | Mixed Liquor Suspended Solids |
| MLVSS | : | Mixed Liquor Volatile Suspended Solids |
| $\theta_c$ | : | Sludge age or Mean Cell Residence Time or Sludge Retention Time (SRT.) |
| SVI | : | Sludge Volume Index |
| TKN | : | Total Kjedahl Nitrogen |
| TN | : | Total Nitrogen |
| TP | : | Total Phosphorus |
| Y | : | Maximum Yield Coefficient |
| k | : | Maximum Rate of Substrate Utilization per Unit Mass of Microorganisms |
| $k_d$ | : | Endogenous Decay Coefficient |
| $K_s$ | : | Half-Velocity Constant |
| $\mu$ | : | Specific Growth Rate |
| $\mu_m$ | : | Maximum Specific Growth Rate |
| U | : | Specific Substrate Utilization Rate |
| S | : | Substrate Concentration |
| Inf. | : | Influent |
| Eff. | : | Effluent |