

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



242318

รหัสโครงการ SUT3-304-48-24-28

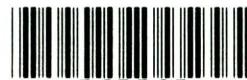
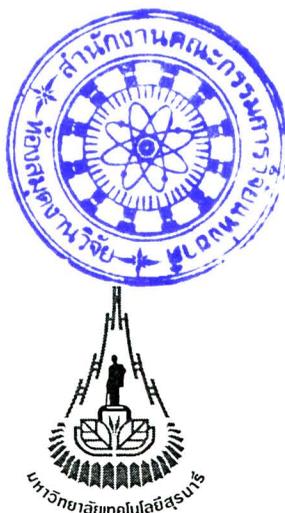


## รายงานการวิจัย

# การพัฒนาระบบกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนภายใน (Development of Biological Nutrient Removal System by Using Internal Carbon Sources)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รหัสโครงการ SUT3-304-48-24-28

## รายงานการวิจัย

# การพัฒนาระบบกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนภายใน (Development of Biological Nutrient Removal System by Using Internal Carbon Sources)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร กาญจนทวี

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายปฏิกรณ์ แสนสิ่ง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2554

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548 และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณมานพ จร โศภกรวด ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการทำงานทุกอย่างให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร กาญจนทวี

## การพัฒนาระบบกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนภายใน

### Development of Biological Nutrient Removal System

#### by Using Internal Carbon Sources

สุนทร กาญจนทวี

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพโดยใช้แหล่งคาร์บอนและไนโตรเจนภายใน เทคนิควิธีการวัดการหายใจและการประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ที่สำคัญด้วยข้อมูลจากการวัดอัตราการหายใจ ระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องกระบวนการสายหลักและกระบวนการสาขารองใช้รูปแบบกระบวนการ MLE แต่มีทิศทางการไหลตรงกันข้าม ขั้นตอนแรกศึกษาประสิทธิภาพและการตอบสนองของระบบเฉพาะในกระบวนการสายหลักและหลังจากนั้นศึกษาการตอบสนองของระบบที่มีการเพิ่มพูนจุลินทรีย์จากกระบวนการสาขารองโดยใช้น้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิกเป็นแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน โดยจำลองการเดินระบบภายใต้สภาวะคงที่และผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในรอบวันเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ความเข้มข้นซีโอดี ทีเคเอ็น และฟอสฟอรัสเฉลี่ย 239, 32.5 และ 4.4 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งออกทุก 2 ชม. ในช่วงระยะเวลา 24 ชม.

รูปแบบกระบวนการที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกขึ้นจากร้อยละ 79.9 เป็นร้อยละ 98.8 เปรียบเทียบกับการเดินระบบแบบพื้นฐานที่อายุสลัดจ์ระบบเฉลี่ย 5 วัน เท่ากัน ปริมาตรถังปฏิกรณ์สำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ร้อยละ 4.5 เปรียบเทียบกับกระบวนการสายหลัก การเพิ่มพูนจุลินทรีย์ช่วยทำให้กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์มีประสิทธิภาพธาตุอาหารสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีศักยภาพในการลดการแปรปรวนของค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์  $Y_H$ ,  $K_S$ ,  $b_H$  และ  $\mu_{\max H}$  มีค่าเฉลี่ย 0.69 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม 19.1 มิลลิกรัม/ลิตร 0.3 วัน<sup>-1</sup> และ 2.2 วัน<sup>-1</sup> ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์  $Y_{AOB}$ ,  $K_{NH}$ ,  $b_A$  และ  $\mu_{\max AOB}$  มีค่าเฉลี่ย 0.22 มิลลิกรัม/มิลลิกรัม 0.35 มิลลิกรัม/ลิตร 0.21 วัน<sup>-1</sup> และ 0.9 วัน<sup>-1</sup> ตามลำดับ และพบว่าผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) และนักวิจัยคนอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าเทคนิควิธีการทดลองและการแปลผลจากข้อมูลวัดอัตราการใช้ออกซิเจนมีความถูกต้อง เชื่อถือได้

## Development of Biological Nutrient Removal System by Using Internal Carbon Sources

Sunthorn Kanchanatawee

School of Biotechnology, Institute of Agricultural Technology  
Suranaree University of Technology

This research aims to development the new configuration of biological nutrients removal process by using internal carbon and nitrogen sources and the methodology to estimate the essential kinetic parameters of activated sludge based on respirometric measurement. The configuration of main-stream and side-stream of pilot wastewater treatment plant using Modified Ludzack-Ettinger (MLE) process with cross hydraulic flow. The first step only main-stream process response was investigated and then combined main-stream process with bio-augmentation in side-stream process was evaluated. The side-stream process was use internal carbon and nitrogen from supernatant of anaerobic digester. The pilot plant was operated under conditions of constant and diurnal variation of organic loading. The experimental set-up was fed with municipal synthetic wastewater. The concentration of COD, TKN and TP were 239, 32.5 and 4.4 mg/L respectively. The experimental data and effluent samples were collected every 2 hr period for 24 hrs.

The nitrogen removal efficiency of a new process under diurnal variation of organic loading of main-stream with basic operation strategy compared to bio-augmentation operation strategy were 79.9% and 98.8% based on 5 days average sludge age are equal. The volume of bio-augmentation reactor was 4.5% compared with volume of main-stream process. There is a statistically significant of bio-augmentation process to enhance nitrogen removal efficiency and it has a potential to reduce the variance of nitrogen in effluent effectively.

The coefficient of kinetic parameters  $Y_H$ ,  $K_S$ ,  $b_H$  and  $\mu_{\max H}$  were 0.69 mg/mg, 19.1 mg/L, 0.31 d<sup>-1</sup> and 2.2 day<sup>-1</sup> respectively. The coefficient of kinetic parameters  $Y_{AOB}$ ,  $K_{NH}$ ,  $b_A$  and  $\mu_{\max AOB}$  were 0.22 mg/mg, 0.35 mg/L, 0.21 d<sup>-1</sup> and 0.9 day<sup>-1</sup> respectively. The results kinetic parameters were close to the default values in Activated Sludge Model no.1 and other researcher. These results show that the respirometric experimental methodology is correct and reliable.

Keywords: activated sludge; bio-augmentation; kinetic; nutrient; respirometric

# สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฐ
สารบัญรูป .....	ฒ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ถ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย .....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	5
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>7</b>
2.1 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ .....	7
2.2 รูปแบบกระบวนการสำหรับกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ .....	8
2.3 การผันแปรของปริมาณการไหลและลักษณะน้ำเสียในรอบวัน .....	9
2.4 การตอบสนองของกระบวนการแยกที่เวตส์สลัดจ์ภายใต้สภาวะผันแปรของ ปริมาณการไหลและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในรอบวัน .....	9
2.5 ผลกระทบของสภาวะการผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน .....	12
2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้กระบวนการ เพิ่มพูนจุลินทรีย์ (Bio-Augmentation).....	12
2.7 แหล่งของสารอาหารสำหรับกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ .....	13

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8	การเพิ่มจำนวนของออโตโทรฟิกลงแบบที่เรียในกระบวนสายรอง.....	14
2.9	กระบวนการ BABE (Bio-Augmentation Batch Enhanced).....	15
2.10	การเพิ่มศักยภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการแยกที่เวเต็ดสตัดจ์ ภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....	18
2.11	พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการแยกที่เวเต็ดสตัดจ์.....	19
2.12	เครื่องวัดอัตราการหายใจแบบไฮบริด (Hybrid respirometer) .....	21
2.13	หลักการวัดด้วยเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบไฮบริด .....	22
2.14	กราฟแสดงอัตราการหายใจ (Respirogram) .....	23
2.15	การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรโทรฟิกลงแบบที่เรีย .....	25
2.15.1	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยี่ลค์ของเฮเทอโรโทรฟิกลง แบบที่เรีย ( $Y_H$ ).....	25
2.15.2	การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของเฮเทอโรโทรฟิกลง แบบที่เรีย ( $K_S$ ).....	26
2.15.3	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำเปื้อยของเฮเทอโรโทรฟิกลง แบบที่เรีย ( $b_H$ ).....	27
2.15.4	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ของเฮเทอโรโทรฟิกลงแบบที่เรีย ( $\mu_{maxH}$ ).....	29
2.16	การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของออโตโทรฟิกลงแบบที่เรีย.....	31
2.16.1	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยี่ลค์ของออโตโทรฟิกลง แบบที่เรีย ( $Y_A$ ).....	31
2.16.2	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของ แอมโมเนียมออกซิไดซิงแบบที่เรีย ( $K_{NH}$ ).....	33
2.16.3	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำเปื้อยของแอมโมเนียม ออกซิไดซิงแบบที่เรีย ( $b_A$ ).....	33
2.16.4	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของ แอมโมเนียมออกซิไดซิงแบบที่เรีย ( $\mu_{maxAOB}$ ).....	34

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.17	สรุป..... 36
<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย..... 39</b>
3.1	ขั้นตอนการวิจัย..... 39
3.2	รูปแบบวิธีการและอุปกรณ์การทดลอง..... 40
3.2.1	การเริ่มเดินระบบและพารามิเตอร์ควบคุมการทำงาน ..... 41
3.2.2	การเตรียมน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง..... 42
3.2.3	การป้อนน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียนำร่อง..... 42
3.2.4	การทดลองหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะ ผันแปรของภาระบรรทุกใน ไตรเจน ..... 44
3.2.5	การทดลองการตอบสนองของระบบกรณีหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการ บำบัดสลัดจ์กลับเข้ามาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง ..... 45
3.2.6	การทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการ การแยกที่เวตต์สลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 45
3.2.7	การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของตัวอย่างสลัดจ์ในระบบ ..... 46
3.2.8	การเตรียมตัวอย่างสลัดจ์ ..... 47
3.2.9	การเตรียมสารอาหารสำหรับเติมให้กับตัวอย่างสลัดจ์ ..... 47
3.3	การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง..... 48
3.4	เครื่องมือสำหรับการทำวิจัย..... 48
3.5	สถานที่ทำการวิจัย ..... 48
3.6	สรุป..... 49
<b>4</b>	<b>ผลการทดลองและอภิปรายผล..... 51</b>
4.1	การทดลองหาอายุสลัดจ์ของระบบที่ตอบสนองต่อสภาวะผันแปร ของภาระบรรทุกใน ไตรเจน ..... 51
4.2	การทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวม ในกระบวนการสายหลักโดยตรง ..... 57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	การทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการ แยกทิวเต็ดสลัดจ์ด้วยกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์.....	62
4.3.1	การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ค่อน้ำทิ้ง จากการบำบัดสลัดจ์ 0.2 : 1 (Bio0.2:1).....	65
4.3.2	การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ค่อน้ำทิ้ง จากการบำบัดสลัดจ์ 1 : 1 (Bio1:1).....	67
4.3.3	การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ค่อน้ำทิ้ง จากการบำบัดสลัดจ์ 3 : 1 (Bio3:1).....	69
4.3.4	การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์ในสัดส่วนสลัดจ์ค่อน้ำทิ้ง จากการบำบัดสลัดจ์ 5 : 1 (Bio5:1).....	73
4.4	การประเมินประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบ.....	75
4.5	การประเมินประสิทธิภาพล้งปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์ .....	79
4.6	การประยุกต์กระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์.....	80
4.7	การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย ( $X_{BH}$ ).....	82
4.7.1	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยี่ลด์ของเฮเทอโรทรอฟิก แบคทีเรีย ( $Y_H$ ).....	82
4.7.2	การประมาณค่าคงที่อิ่มตัวสำหรับสารอาหารของเฮเทอโรทรอฟิก แบคทีเรีย ( $K_S$ ).....	83
4.7.3	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำเปื้อยของเฮเทอโรทรอฟิก แบคทีเรีย ( $b_H$ ) .....	84
4.7.4	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ของเฮเทอโรทรอฟิกแบคทีเรีย ( $\mu_{maxH}$ ).....	87
4.8	การประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ของแอมโมเนียออกซิไดซิง แบคทีเรีย ( $X_{AOB}$ ).....	88
4.8.1	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลได้หรือยี่ลด์ของแอมโมเนีย ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ( $Y_{AOB}$ ).....	88

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.2	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่อิมิตัวสำหรับสารอาหาร ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย ( $K_{NH}$ ).....	90
4.8.3	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การนำเปื่อยของแอมโมเนียม ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ( $b_A$ ) .....	91
4.8.4	การประมาณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ของแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย ( $\mu_{maxAOB}$ ) .....	92
4.9	สรุปผลการทดลอง .....	94
5	สรุปผลการวิจัย.....	97
5.1	กระบวนการกำจัดธาตุอาหาร (ไนโตรเจน) รูปแบบใหม่ .....	97
5.2	เทคนิควิธีการวัด แปรผลและการประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ ของจุลินทรีย์โดยใช้เทคนิคการวัดอัตราการหายใจ .....	99
5.3	ข้อจำกัดของการวิจัย.....	100
5.4	สภาพปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา .....	101
5.5	การประยุกต์ผลการวิจัย .....	102
5.6	ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....	103
	บรรณานุกรม.....	105
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระบวนการแยกที่เวเต็คสลัดจ์ที่ 1 (ASM1) .....	111
	ภาคผนวก ข. องค์ประกอบน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง .....	117
	ภาคผนวก ค. วิธีการทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนโดยเครื่องวัดอัตราการหายใจ.....	121
	ภาคผนวก ง. ผลการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t-test.....	137
	ประวัตินักวิจัย .....	141

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบการปรับปรุงกระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์ด้วยวิธีการบำบัดแบบ ธรรมดาและกระบวนการเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 17
2.2	พารามิเตอร์จลนศาสตร์กระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์ที่ 1 ..... 20
2.3	เปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดอัตราการหายใจ..... 22
2.4	กระบวนการเจริญเติบโตและการนำเป็ยของเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย ..... 25
2.5	กระบวนการเจริญเติบโตและการนำเป็ยของออโตโทรฟิกแบคทีเรีย ..... 31
3.1	รายละเอียดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องกระบวนการสายหลักและ กระบวนการสาขารอง ..... 41
3.2	พารามิเตอร์สำหรับควบคุมการเดินระบบ ..... 42
3.3	การทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 46
3.4	วิธีการทดลองและข้อมูลสำหรับการแปลผลเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์จลนศาสตร์ ของตัวอย่างสลัดจ์ ..... 47
4.1	การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและตัวอย่างน้ำทิ้งจากการทดลองการเดินระบบ ในรูปแบบพื้นฐาน ..... 52
4.2	รายละเอียดการทดลองหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมใน กระบวนการสายหลักโดยตรง..... 58
4.3	รายละเอียดการทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 64
4.4	ลักษณะน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์ส่วนเกินแบบแอนแอโรบิก..... 64
4.5	ค่าการออกแบบถึงปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 65
4.6	พารามิเตอร์ควบคุมการเดินระบบถึงปฏิกิริยาสำหรับการเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 65
4.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการสายหลักของ ทุกการทดลอง ..... 76
4.8	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในถึงปฏิกิริยาสำหรับเพิ่มพูนจุลินทรีย์..... 79
4.9	สรุปค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์จลนศาสตร์ของเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย ( $X_{BH}$ ) และ แอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย ( $X_{AOB}$ )..... 94

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ลักษณะการผันแปรปริมาณการไหลของน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียจริงในช่วง 4 วันที่มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน ..... 1
1.2	เปรียบเทียบลักษณะการผันแปรของปริมาณการไหลของน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียในรอบวันที่ไม่ผ่านและผ่านถึงปรับสภาพการไหล..... 2
2.1	กระบวนการ Pre-denitrification..... 8
2.2	กระบวนการ Post-denitrification ..... 9
2.3	ลักษณะการผันแปรของปริมาณการไหลของน้ำเสียชุมชนในรอบวันหรือในช่วงระยะเวลา 24 ชม. วันที่ 20 ธันวาคม ค.ศ. 1999 ..... 10
2.4	เปรียบเทียบลักษณะแนวโน้มการผันแปรของปริมาณการไหลน้ำเสียชุมชนระหว่างวันทำการและวันหยุดทำการในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์ ..... 10
2.5	รูปแบบกระบวนการ BABE ..... 16
2.6	รูปแบบเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบไฮบริด ..... 21
2.7	ตำแหน่งขั้ววัดออกซิเจนเครื่องวัดอัตราการหายใจไฮบริดแบบธรรมดา (เส้นประ) และเครื่องวัดอัตราการหายใจแบบอัลติเมทไฮบริด (เส้นทึบ)..... 23
2.8	กราฟแสดงอัตราการหายใจ (Respirogram)..... 24
2.9	รูปแบบการเกิดยีสต์ของเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย ..... 26
2.10	แนวคิดการนำเปื่อยแบบดั้งเดิมที่ไม่รวมการใช้สารอาหารจากการนำเปื่อย..... 28
2.11	แนวคิดการนำเปื่อยแบบ Death-regeneration ..... 28
2.12	รูปแบบการเกิดยีสต์ของออโตโทรฟิกแบคทีเรีย ..... 32
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง..... 39
3.2	รูปแบบกระบวนการบำบัดน้ำเสียนำร่องที่รวมกระบวนการสายหลักและกระบวนการสายรอง ..... 40
3.3	แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ) ..... 43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ) .....	44
3.5 แนวโน้มการผันแปรความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำเสียเข้าทุก 15 นาที ที่ป้อนเข้ากระบวนการสายหลักด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ข้อมูลได้จากการคำนวณ) .....	44
4.1 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องและรายละเอียดทางศาสตร์ของกระบวนการสายหลัก (กระบวนการ MLE).....	51
4.2 แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	53
4.3 แนวโน้มของค่าซีโอดีการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	53
4.4 แนวโน้มของค่าทีเคเอ็นการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	54
4.5 แนวโน้มของค่าทีเคเอ็นการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	54
4.6 แนวโน้มของค่าฟอสฟอรัสการทดลองภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	55
4.7 แนวโน้มของค่าฟอสฟอรัสการทดลองภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์อายุสัปดาห์ระบบ 5 และ 7 วัน เติกระบบในรูปแบบพื้นฐาน .....	55
4.8 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องที่มีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง .....	58
4.9 เปรียบเทียบแนวโน้มของค่าซีโอดีภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง.....	59
4.10 เปรียบเทียบแนวโน้มของค่าซีโอดีภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง.....	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.11	เปรียบเทียบแนวโน้มของค่าไนโตรเจนภายใต้สภาวะคงที่ของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง.....	60
4.12	เปรียบเทียบแนวโน้มของค่าไนโตรเจนภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างการเดินระบบแบบพื้นฐานและการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากการบำบัดสลัดจ์กลับมาบำบัดรวมในกระบวนการสายหลักโดยตรง.....	61
4.13	รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียนำร่องที่รวมกระบวนการสายหลักเข้ากับกระบวนการสายรอง.....	63
4.14	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio0.2:1 .....	66
4.15	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio0.2:1.....	66
4.16	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio1:1 .....	67
4.17	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio1:1.....	68
4.18	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1 .....	69
4.19	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1.....	70
4.20	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1-2TKN.....	71
4.21	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1-2TKN.....	71
4.22	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio3:1-syn.....	72
4.23	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio3:1-syn.....	73
4.24	แนวโน้มค่าซีโอดีการทดลอง Bio5:1 .....	74
4.25	แนวโน้มค่าไนโตรเจนการทดลอง Bio5:1.....	74
4.26	เปรียบเทียบแนวโน้มค่าไนโตรเจนในน้ำทิ้งออกจากการเดินระบบภายใต้สภาวะผันแปรของภาระบรรทุกสารอินทรีย์การทดลอง 5d-SRT, 5d-SRT-Ana และ Bio3:1.....	77
4.27	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการทดลองการเพิ่มพูนจุลินทรีย์.....	78
4.28	แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนการทดลองสำหรับประมาณค่า $Y_H$ .....	83
4.29	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง OC และความเข้มข้นของค่าซีโอดี.....	83

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30	กราฟแสดงผลการจำลองสถานการณ์การประมาณค่า $K_S$ ..... 84
4.31	แนวโน้มการลดลงของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในช่วงเวลา 9 วัน ของ เฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย ..... 85
4.32	การลดลงของปริมาณ MLVSS ในช่วงระยะเวลา 9 วัน ..... 85
4.33	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR_{end}$ และเวลาของเฮเทอโรโทรฟิค แบคทีเรีย ..... 86
4.34	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR_{max}$ และของเฮเทอโรโทรฟิค แบคทีเรีย ..... 86
4.35	แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนการทดลองสำหรับประมาณค่า $\mu_{maxH}$ ..... 87
4.36	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR$ และเวลาสำหรับประมาณค่า $\mu_{maxH}$ ..... 88
4.37	แนวโน้มอัตราการใช้ออกซิเจนสำหรับประมาณค่า $Y_{AOB}$ ..... 89
4.38	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง OC และค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียม ..... 89
4.39	กราฟแสดงผลการจำลองสถานการณ์การประมาณค่า $K_{NH}$ ..... 90
4.40	กราฟอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดในช่วงระยะเวลา 9 วันของแอมโมเนียม ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ..... 91
4.41	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR_{max}$ และเวลาของแอมโมเนียม ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ..... 92
4.42	การทดลองวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสำหรับประมาณค่า $\mu_{maxAOB}$ ..... 93
4.43	กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $\ln OUR$ และเวลาสำหรับประมาณค่า $\mu_{maxAOB}$ ..... 93
5.1	กระบวนการแยกทีเวเต็คสตัคซ์สำหรับกำจัดธาตุอาหารรูปแบบใหม่ ..... 98

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$a$	=	Slope
$b$	=	y intercept
$b$	=	Decay rate ( $d^{-1}$ )
$b_A$	=	Autotrophic decay coefficient ( $d^{-1}$ )
$b_H$	=	Heterotrophic decay coefficient ( $d^{-1}$ )
$CHO_3^-$	=	Bicarbonate ion
$C_5H_7O_2N$	=	Cell molecule
$CO_2$	=	Carbondioxide
$f_P$	=	Inert particulate fraction of the biomass
$i$	=	Component
$i_{XB}$	=	Nitrogen content of the biomass (mg N/mg COD) in biomass
$i_{XP}$	=	Nitrogen content of the biomass (mg N/mg COD) in products from biomass
$j$	=	Process
$K$	=	Saturation constant for substrate (mg/L)
$k_a$	=	Ammonification rate constant (L.COD/mg.d)
$k_h$	=	Hydrolysis constant (mg slowly biodeg. COD/mg cell COD)
$K_{La}$	=	Mass transfer coefficient
$K_{NH}$	=	Saturation constant for ammonium (mg $NH_4$ -N/L)
$K_{NO_2}$	=	Saturation constant for nitrite (mg $NO_2$ -N/L)
$K_{NO_3}$	=	Saturation constant for nitrate (mg $NO_3$ -N/L)
$K_{OA}$	=	Switch function (mg $O_2$ /L)

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$K_{OH}$	=	Switch function (mg O <sub>2</sub> /L)
$K_S$	=	Saturation constant for substrate (mg COD/L)
$k_X$	=	Hydrolysis constant (mg slowly biodeg. COD/mg cell COD)
NH <sub>4</sub> Cl	=	Ammonium chloride
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	=	Ammonium nitrogen ion
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	=	Diammonium sulfate
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	=	Nitrite nitrogen ion
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	=	Nitrate nitrogen ion
$\mu_H$	=	Specific growth rate of heterotrophic bacteria (d <sup>-1</sup> )
$\mu_{max}$	=	Maximum specific growth rate (d <sup>-1</sup> )
$\mu_{maxAOB}$	=	Maximum specific growth rate of ammonium oxidizing bacteria (d <sup>-1</sup> )
$\mu_{maxH}$	=	Maximum specific growth rate of heterotrophic bacteria (d <sup>-1</sup> )
$\mu_{maxNOB}$	=	Maximum specific growth rate of nitrite oxidizing bacteria (d <sup>-1</sup> )
$\eta$	=	Correction factor for anoxic growth and hydrolysis
O <sub>2</sub>	=	Oxygen
OUR <sub>ex</sub>	=	Exogenous oxygen uptake rate (mg O <sub>2</sub> /L.min)
OUR <sub>end</sub>	=	Endogenous oxygen uptake rate (mg O <sub>2</sub> /L.min)
OUR <sub>max</sub>	=	Maximum oxygen uptake rate (mg O <sub>2</sub> /L.min)
Q	=	Liquid flow rate (L/min)
Q <sub>Ave</sub>	=	Average liquid flow rate (L/min)
Q <sub>feed</sub>	=	Concentrate synthetic wastewater flow rate (mL/min)
Q <sub>tap</sub>	=	Tap water flow rate (L/min)
$\rho$	=	Process rate
S <sub>ND</sub>	=	Organic nitrogen (mg/L)
S <sub>NH</sub>	=	Ammonium substrate (mg/L)
S <sub>NO</sub>	=	Nitrite substrate (mg/L)
S <sub>O</sub>	=	Oxygen substrate (mg O <sub>2</sub> /L)
S <sub>S</sub>	=	Readily biodegradable substrate (COD) (mg/L)

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$t$	=	Time
$V$	=	Volume (L)
$X_{AOB}$	=	Ammonium oxidizing bacteria (mg/L)
$X_{BA}$	=	Autotrophic bacteria (mg/L)
$X_{BH}$	=	Heterotrophic bacteria (mg/L)
$X_{ND}$	=	Slowly biodegradable organic nitrogen (mg/L)
$X_{NOB}$	=	Nitrite oxidizing bacteria (mg/L)
$X_p$	=	Produced inert suspended organic matter (mg/L)
$X_s$	=	Slowly biodegradable substrate (mg/L)
$Y$	=	Yield coefficient (mg/mg)
$Y_H$	=	Yield coefficient of heterotrophic (mg/mg)
$Y_A$	=	Yield coefficient of autotrophic (mg/mg)
$Y_{AOB}$	=	Yield coefficient of ammonium oxidizing bacteria (mg/mg)
$Y_{NOB}$	=	Yield coefficient of nitrite oxidizing bacteria (mg/mg)
5d-SRT	=	5 days solids retention time experimental
5d-SRT-Ana	=	5 days solids retention time experimental with return reject water
7d-SRT	=	7 days solids retention time experimental
A/D	=	Analog to digital
Ana	=	Aanaerobic supernatant
AOB	=	Ammonium oxidizing bacteria
ASM	=	Activated sludge model
ASM1	=	Activated sludge model no.1
ASM3	=	Activated sludge model no.3
BABE	=	Bio-Augmentation Batch Enhanced
Bio0.2:1	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 0.2 : 1
Bio1:1	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 1 : 1
Bio3:1	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 3 : 1

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Bio3:1-2TKN	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 3 : 1 with 2 time TKN concentration of influent
Bio3:1-sys	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 3 : 1 with synthetic reject water
Bio5:1	=	Bio-augmentation experimental; return sludge to reject water ratio 5 : 1
BOD	=	Biological oxygen demand
COD	=	Chemical oxygen demand (mg/L)
DAQ	=	Data acquisition
DNB	=	Denitrifying bacteria
DO	=	Dissolved oxygen (mg/L)
Dyn	=	Dynamic or variation condition
EQ	=	Equalizing tank
HCl	=	Hydrochloric acid
hr	=	Time (hour)
HRT	=	Hydraulic retention time (hrs)
I/O	=	Input/output port
IWA	=	International Water Association
LabVIEW	=	Laboratory Virtual Instrument Engineering Work Bench
ln	=	Natural logarithm
mg	=	Weight (milligram)
min	=	Time (minute)
MLE	=	Modified Ludzack-Ettinger
MLSS	=	Mixed liquor suspended solids (mg/L)
MLVSS	=	Mixed liquor volatile suspended solids (mg/L)
mol	=	Molar
N <sub>2</sub>	=	Nitrogen gas
N <sub>2</sub> O	=	Nitrus oxide

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NaOH	=	Sodium hydroxide
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	=	Nitrite (mg/L)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	=	Nitrate (mg/L)
NOB	=	Nitrite oxidizing bacteria
OC	=	Oxygen consume (mg/L)
OUR	=	Oxygen uptake rate (mg O <sub>2</sub> /L.min)
PC	=	Personal computer
Pre-DN	=	Pre-denitrification
Post-DN	=	Post-denitrification
rbCOD	=	Readily biodegradable COD (mg/L)
sec	=	Time (second)
SHARON	=	Single Reactor High Ammonium Removal Over Nitrite
SRT	=	Solid retention time (day)
ss	=	Steady state condition
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen (mg/L)
TN	=	Total nitrogen
TP	=	Total phosphorus (mg/L)
UASB	=	Upflow anaerobic sludge blanket
USB	=	Universal serial bus
VDC	=	Direct current voltage
VSS	=	Volatile suspended solids