

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



208822



ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งบลังก์รีแอกเตอร์ (เอเอ็มบีอาร์)

ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล

ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

EFFICIENCY OF ANAEROBIC MIGRATING BLANKET REACTOR SYSTEM (AMBR)

FOR TREATING ORGANIC POLLUTANTS FROM ETHANOL INDUSTRIAL

WASTEWATER USING MOLASSES AS RAW MATERIALS

นางวรรณภา กิตติวิวัฒน์

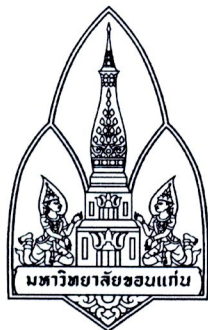
วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

๖๐๐๕๔๐๘๙

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งแบลงค์เก้ตริแอกเตอร์ (เอเอ็มบีอาร์)
ในการกำจัดสารอินทรีย์ ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล
ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

EFFICIENCY OF ANAEROBIC MIGRATING BLANKET REACTOR SYSTEM (AMBR)
FOR TREATING ORGANIC POLLUTANTS FROM ETHANOL INDUSTRIAL
WASTEWATER USING MOLASSES AS RAW MATERIALS



นางวาสนา กิตติวัฒน์

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

๖๐๐๕๕๗๐๘๙

ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติงแบลงค์เกิดรีแอกเตอร์ (เอเอ็มบีอาร์)
ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล
ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

นางวาสนา กิตติวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

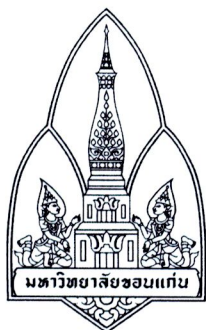
พ.ศ. 2554

**EFFICIENCY OF ANAEROBIC MIGRATING BLANKET REACTOR SYSTEM (AMBR)
FOR TREATING ORGANIC POLLUTANTS FROM ETHANOL INDUSTRIAL
WASTEWATER USING MOLASSES AS RAW MATERIALS**

MRS. WASSANA KITTIWAT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF PUBLIC HEALTH
IN ENVIRONMENTAL HEALTH
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2011



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
ศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม

ชื่อวิทยานิพนธ์: ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งแบบลงค์เก้ตรีแอกเตอร์
(เอเอ็มบีอาร์) ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล
ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางสาวสนา กิตติวัฒน์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์: ดร. ชัชชาย แจ่มใส	ประธานกรรมการสอบ
ผศ. ดร. กาญญิศา กรองธรรมชาติ	กรรมการสอบ
ดร. สมชาย คารารัตน์	กรรมการสอบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาญญิศา กรองธรรมชาติ)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมาคย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....
(รองศาสตราจารย์พิษณุ อุดมมะเวทิน)
คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

วาสนา กิตติวัฒน์. 2554. ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งแบลงค์เก็ทรีแอคเตอร์ (เอเอ็มบีอาร์) ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาล เป็นวัตถุดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาญจนิกา กรองธรรมชาติ

บทคัดย่อ

208822

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไมเกรตติ้งแบลงค์เก็ทรีแอคเตอร์ (Anaerobic Migrating Blanket Reactor System : AMBR) ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโรงงานผลิตเอทานอลระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังปฏิกรณ์เอเอ็มบีอาร์ปริมาตร 22.5 ลิตร ตะกอนหัวเชื้อเริ่มต้นเป็นตะกอนเม็ดความเข้มข้น 30,000 มิลลิกรัม/ลิตร ดำเนินระบบที่ระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time ; HRT) 144 ชั่วโมง ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rates : OLRs) 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน

ผลการศึกษา พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 144 ชั่วโมง และที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีทั้งหมด สูงสุดร้อยละ 85.55, 57.33, 55.84, 56.11 และ 55.43 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีสูงสุดที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน เท่ากับ 92.48, 92.21, 88.44, 84.39 และ 85.77% ตามลำดับ และพบว่าระบบเอเอ็มบีอาร์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยละเอียดง่ายที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.67 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน เท่ากับร้อยละ 47.39 และ 48.22 ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดการดำเนินระบบเท่ากับ 31.2 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5 -7.2 และ 7.5 – 8.6 ตามลำดับ และนอกจากนี้ ปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายโดยเฉลี่ยในน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดมีค่าระหว่าง 153.02 - 1,156.93 มิลลิกรัม/ลิตร วัดในรูปกรดอะซิติก พบว่าความสามารถของจุลินทรีย์ผลิตมีเทนหรือค่า SMA มีค่าเท่ากับ 0.0050 กรัมมีเทน-ชีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน จากการทดลองความเป็นพิษของน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลต่อตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นชีโอดีทั้งหมด 15,000, 37,500

208822

และ 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นชีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 60,000 มิลลิกรัม/ลิตรมีความเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ โดยมีค่า SMA เท่ากับ 0.0036 กรัมมีเทน-ชีโอดี/กรัมวีเอสเอส-วัน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนการทดลองมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีสีน้ำตาลเทา มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.0 - 3.0 มิลลิเมตร ผิวด้านนอกพบจุลินทรีย์ที่หลากหลายชนิด อาทิ แบบท่อนเกลียว กลม สายยาว เส้นใย เมื่อสิ้นสุดการทดลองเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังการดำเนินระบบมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีสีน้ำตาลเข้มดำ ผิวเรียบและมันเงาขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์โดยรวมจะเล็กลงมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.8 - 2.5 มิลลิเมตร ผิวด้านนอกพบปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีจำนวนลดลง แต่พบจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น คาดว่าน่าจะเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม *Clostridium* ส่วนโครงสร้างภายในแกนกลางของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์พบเฉพาะจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นท่อนยาวคาดว่าน่าจะเป็นจุลินทรีย์ผลิตมีเทนที่มีชื่อเรียกว่า *Methanotrix* และระบบมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.63 - 35.65 และ 5.92 - 24.45 ลิตร/วัน ตามลำดับ พบว่าใน 1 วันระบบเอเอ็มบีอาร์มีความสามารถนำสารอินทรีย์ปริมาตร 1 กรัมชีโอดีไปสร้างมีเทนได้เฉลี่ย 0.361 ลิตร

Wassana Kittiwat. 2011. **Efficiency of Anaerobic Migrating Blanket Reactor System (AMBR) for Treating Organic Pollutants from Ethanol Industrial Wastewater Using Molasses as Raw Materials.** Master of Public Health Thesis in Environment Health, Graduate School, Khon Kean University.

Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Kannitha Krongthamchat

ABSTRACT

208822

The aim of this research was to investigate the efficiency of laboratory-scale Anaerobic Migrating Blanket Reactor (AMBR) to remove organic pollutants from an ethanol industrial wastewater. The AMBR had the working volume of 22.5 liters. The anaerobic granular sludge was inoculated into the reactor at the concentration of 30,000 mg/l. The AMBR was operated at hydraulic retention times (HRT) of 144 hours at the organic loading rates (OLRs) of 0.83, 1.67, 2.5, 3.75 and 5.83 gCOD/L-d.

The result showed that at the HRT of 144 hours with the of OLRs 0.83, 1.67, 2.5, 3.75 and 5.83 gCOD/L-d, the maximum total COD efficiencies were 85.55, 57.33, 55.84, 56.11 and 55.43%, respectively. The highest BOD reduction efficiency when treating wastewater at the OLRs 0.83, 1.67, 2.5, 3.75 and 5.83 gCOD/L-d were 92.48, 92.21, 88.44, 84.39 and 85.77%, respectively. The highest of suspended solids and the volatile suspended solids reduction efficiency at the OLRs 1.67 gCOD/L-d were 47.39 and 48.22%, respectively. The average temperature in this experiment was 31.2 °C. The influent and effluent pH were between 6.5-7.2 and 7.5 – 8.6, respectively. Furthermore, the average effluent volatile fatty acids or concentration was between 153.02 - 1,156.93 mg/L as acetic acids, respectively. The experiment also showed the Specific Mathanogenic Activity (SMA) value was 0.0050 gCH₄-COD/gVSS-day. The toxicity of wastewater was tested at the concentration of 15,000, 37,500 and 60,000 mgTCOD/L, It indicated that the total COD of 60,000 ml/L was toxic to the microorganisms and the SMA was 0.0036 gCH₄-COD/gVSS-day. The characteristic of granular sludge before starting was sphere shape, light-brown in color and 2.0 – 3.0 mm. in diameter. The internal granular sludge had rod,

208822

sphere and filamentous shape. After the end of experiment, the granules were round shape, black in color and 0.8-2.5 mm. in diameter. The inside granular biomass found more rod shape and had the bigger size which could expected to Clostridium group. The internal biomass structure showed that granular was the rod shape. It expected that this microorganisms were *Methanotrix*. The biogas and methane production from the system was approximately 8.63-35.65 L/d and 5.92-24.45 L/d, respectively. The AMBR was able to produce the average methane around 0.361 gCH₄ -TCOD_{removed} -day.

งานวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีแด่บุพการี และคณาจารย์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา ครอบธรรมชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ และ ดร. สมชาย คารารัตน์ ผู้ทรงคุณวุฒิจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรสาขารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้และประสบการณ์อันมีคุณค่าสูงยิ่งแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชัชชาย แจ่มใส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. สมชาย คารารัตน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้เสียสละเวลาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจสอบข้อมูลและให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากร และทุนการศึกษาวิจัยจาก โครงการการสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท – เอก แก่สถาบันการศึกษา ขอขอบพระคุณโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน) จังหวัดปทุมธานี และคณะเจ้าหน้าที่ที่อำนวยความสะดวกให้เข้าเยี่ยมชมโรงงาน และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาทำการวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนค่าลงทะเบียนในการนำเสนอผลงานในโครงการสนับสนุน และเผยแพร่ผลงานวิจัย การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 10 ณ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี รวมทั้งขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ให้กำเนิดรวมถึงครอบครัว ผู้ที่ให้ความรัก ความหวังดี ความห่วงใย เป็นกำลังใจและแรงบันดาลใจให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ จนผู้วิจัยสามารถสำเร็จการศึกษา ความดีและประโยชน์ใด ๆ ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอบแต่พระคุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดระยะเวลาการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
คำอุทิศ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. คำถามงานวิจัย	3
3. วัตถุประสงค์	3
4. ขอบเขตของการวิจัย	3
5. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	4
6. ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
1. การย่อยสลายเซลล์โลสในพืช	5
2. กระบวนการชีวเคมีของการผลิตเอทานอล	7
3. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเอทานอล	15
4. การใช้ประโยชน์ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล	16
5. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	19
6. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	20
7. ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ	26
8. ข้อดีระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	30
9. ข้อเสียระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	30
10. ระบบเอเอ็มบีอาร์	30
11. ลักษณะสมบัติของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	32
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	36
1. รูปแบบการศึกษา	36
2. ตัวแปรที่ศึกษา	36
3. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	37
4. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	38
5. ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง	38
6. วิธีดำเนินการทดลอง	39
7. ฟังการทดลอง	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	47
1. ผลจากขั้นเตรียมการทดลอง	48
2. ผลจากขั้นการทดลอง	48
3. ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมืงตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัด	72
4. ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนจากการบำบัดน้ำเสีย	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	85
1. สรุปผลการศึกษา	85
2. ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก อุปกรณ์แบบจำลองระบบเอเอ็มบีอาร์ในห้องปฏิบัติการ	94
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์สภาพความเป็นด่างและกรดไขมันระเหยง่าย	98
ภาคผนวก ค การคำนวณค่า SMA เพื่อประเมินความเป็นพิษของน้ำเสียต่อจุลินทรีย์	101
ภาคผนวก ง การคำนวณการเติมตะกอนจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบเอเอ็มบีอาร์และการคำนวณการเติมตะกอนจุลินทรีย์เพื่อศึกษาค่า SMA	105
ภาคผนวก จ ตารางแสดงผลการทดลองค่าบีโอดีและค่าซีโอดีที่ HRT 144 ชั่วโมงที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	108
ภาคผนวก ฉ การคำนวณอัตราการเจริญเติบโตสุทธิของจุลินทรีย์	126

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ธาตุอาหารที่สำคัญอยู่ในตัวแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจน
ตารางที่ 2	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน
ตารางที่ 3	ค่าการทำงานของระบบเอเอ็มบีอาร์
ตารางที่ 4	แผนการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการตรวจวิเคราะห์
ตารางที่ 5	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ สูตร Vanderbilt Media Solusion
ตารางที่ 6	ระยะเวลาการเก็บน้ำและค่าการะบรทุกที่ใช้ในการทดลอง
ตารางที่ 7	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากโรงงาน
ตารางที่ 8	ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียที่นำเข้าสู่ระบบบำบัดเอเอ็มบีอาร์
ตารางที่ 9	ค่าเฉลี่ยของ TCOD และ SCOD ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบในช่วง สภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน
ตารางที่ 10	ค่าเฉลี่ยของบีโอดี ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการ บำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน
ตารางที่ 11	ค่าเฉลี่ยของ TKN ในน้ำเสียที่เข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน
ตารางที่ 12	ค่าร้อยละประสิทธิภาพการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสีย ในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน
ตารางที่ 13	ความเข้มข้นเฉลี่ย TS และ TVS ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะ คงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน
ตารางที่ 14	ความเข้มข้นเฉลี่ย SS และ VSS ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในช่วงสภาวะ คงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 15	ค่า pH ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบ ที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน	64
ตารางที่ 16	ช่วงและค่าเฉลี่ยของ VFAs ของน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน	66
ตารางที่ 17	ช่วงและค่าเฉลี่ยของ ALK ของน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะคงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน	68
ตารางที่ 18	อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง (VFAs/ALK)	71
ตารางที่ 19	ค่า SMA เพื่อประเมินความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ	75
ตารางที่ 20	ปริมาณก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ HRT 144 ชั่วโมง ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน	82
ตารางที่ 21	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเสียแต่ละภาระบรรทุกเมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงที่	84
ตารางที่ 22	ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	109
ตารางที่ 23	ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.67 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	111
ตารางที่ 24	ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.50 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 25 ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.75 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	113
ตารางที่ 26 ค่าบีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	114
ตารางที่ 27 ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	115
ตารางที่ 28 ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.67 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	118
ตารางที่ 29 ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.50 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	121
ตารางที่ 30 ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.75 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	123
ตารางที่ 31 ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบเอเอ็มบีอาร์ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	124
ตารางที่ 32 ค่า Yield coefficients ที่ใช้การคำนวณในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ	126

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างของเซลลูโลส	5
ภาพที่ 2 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	6
ภาพที่ 3 โครงสร้างของน้ำตาล Pyranose form และ Furanose form	6
ภาพที่ 4 โครงสร้าง Pectic acid และ Pectin	7
ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลัง	13
ภาพที่ 6 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล	14
ภาพที่ 7 ลำดับขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ	20
ภาพที่ 8 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของเซลล์	21
ภาพที่ 9 กระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์พวก Anaerobe ในการย่อยสลายสารอินทรีย์	28
ภาพที่ 10 แบบจำลองระบบเอเอ็มบีอาร์ในห้องปฏิบัติการ (AMBR System Model)	31
ภาพที่ 11 แบบจำลองโครงสร้างของเม็คตะกอนจุลินทรีย์	33
ภาพที่ 12 ระบบเอเอ็มบีอาร์ในห้องปฏิบัติการหลังจากการทดสอบระบบ	39
ภาพที่ 13 รูปแบบการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบของระบบเอเอ็มบีอาร์	46
ภาพที่ 14 ความเข้มข้นของ TCOD และ SCOD ที่เข้าและออกจากระบบ ของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	51
ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพในการกำจัด TCOD และ SCOD ของการบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	52
ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของบีโอดี ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมชีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	54
ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ของการบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 18 ความเข้มข้น TKN ในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ในช่วงสภาวะ คงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	56
ภาพที่ 19 ความเข้มข้น SS ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	60
ภาพที่ 20 ความเข้มข้น VSS ที่เข้าและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	61
ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพในการกำจัด SS และ VSS ของการบำบัดน้ำเสีย ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	62
ภาพที่ 22 แสดงระดับอุณหภูมิภายในระบบบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	63
ภาพที่ 23 แสดงค่า pH ภายในระบบบำบัดน้ำเสียขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	65
ภาพที่ 24 ความเข้มข้น VFAs ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของการบำบัดน้ำเสีย ในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	66
ภาพที่ 25 ความเข้มข้น VFAs(mg/L) เข้าระบบและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียขณะ ดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	67
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของ ALK ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบในช่วงสภาวะ คงที่ของการบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดี ทั้งหมด/ลิตร-วัน	69
ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของALK ในน้ำเสียเข้าและออกจากระบบขณะดำเนินระบบที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	70
ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของ VFAs/ALK ในน้ำเสียเข้าระบบและออกจากระบบของการ บำบัดน้ำเสียในช่วงสภาวะคงที่ของ การบำบัดน้ำเสีย 3 รอบ HRT ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 กรัมซีโอดีทั้งหมด/ลิตร-วัน	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 29 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อเวลาของการศึกษา SMA เพื่อการประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน	74
ภาพที่ 30 ภาพเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ที่สังเกตรด้วยตา	76
ภาพที่ 31 ภาพถ่ายเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ ด้วยเครื่อง SEM	77
ภาพที่ 32 ภาพถ่ายผาครึ่งของเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM	78
ภาพที่ 33 ภาพถ่ายผิวของเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM	79
ภาพที่ 34 ภาพขอบด้านนอกของเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM	80
ภาพที่ 35 ภาพแกนกลางของเม็ดยกตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเครื่อง SEM	81
ภาพที่ 36 ปริมาณการเกิดก๊าซเฉลี่ยจากการบำบัดน้ำเสียในระบบเอเอ็มบีอาร์เมื่อระบบเข้าสู่ สภาวะคงที่ ที่ HRT 144 h ที่ OLR 0.83, 1.67, 2.50, 3.75 และ 5.83 gTCOD/L-day	83
ภาพที่ 37 แบบจำลองถังปฏิกริยาระบบเอเอ็มบีอาร์ในห้องปฏิบัติการ	95
ภาพที่ 38 รูปเครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งออกจากระบบ	95
ภาพที่ 39 มอเตอร์ควบคุมใบกวนของ IKA LABORATECHNIK	96
ภาพที่ 40 ชุดวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพ	96
ภาพที่ 41 ชุดวัดอุณหภูมิ	97
ภาพที่ 42 โปรแกรมคำนวณค่าสภาพความเป็นด่างและกรดไขมันระเหยง่ายด้วยวิธีไทเทรตแบบ 3 จุด	99
ภาพที่ 43 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่คำนวณได้กับค่าจริง	99
ภาพที่ 44 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อเวลาและกราฟความชันสูงสุดในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด 15,000 มิลลิกรัม/ลิตร	102
ภาพที่ 45 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อเวลาและกราฟความชันสูงสุดในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด 37,500 มิลลิกรัม/ลิตร	103
ภาพที่ 46 ปริมาตรก๊าซมีเทนสะสมต่อเวลาและกราฟความชันสูงสุดในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมด 60,000 มิลลิกรัม/ลิตร	104
ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับค่า Yield coefficients	127