

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



249019



ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยระบบยูเอสบี

2 เฟส 2 สเตจ

TREATMENT EFFICIENCY OF CANE MOLASSES ALCOHOL
DISTILLERY WASTEWATER BY 2 PHASES 2 STAGES UASB

นายปิ่นพงศ์ สุวรรณศรี

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

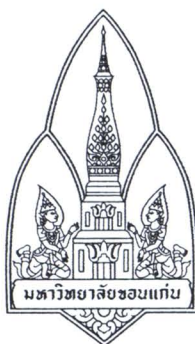
พ.ศ. 2553

600253731

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249019



ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยระบบยูเอสบี

2 เฟส 2 สเตจ

TREATMENT EFFICIENCY OF CANE MOLASSES ALCOHOL
DISTILLERY WASTEWATER BY 2 PHASES 2 STAGES UASB



นายปิยพงศ์ สุวรรณศรี

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2553

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยระบบยูเอเอสบี
2 เฟส 2 สเตจ

นายปิยพงศ์ สุวรรณศรี

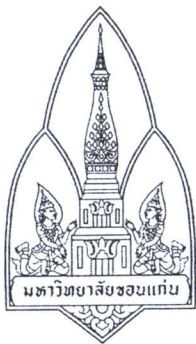
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

**TREATMENT EFFICIENCY OF CANE MOLASSES ALCOHOL
DISTILLERY WASTEWATER BY 2 PHASES 2 STAGES UASB**

MR. PIYAPONG SUWANNASRI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENTS OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2010



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ชื่อวิทยานิพนธ์: ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาล
โดยระบบยูเอเอสบี 2 เฟส 2 สเตจ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายปิยพงศ์ สุวรรณศรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ.ศุภฤกษ์ สิ้นสุพรรณ
Dr. Kazuaki Syutsubo
ดร.ไพบรียา เฉยไสย
ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล

ประธานกรรมการ
กรรมการ
กรรมการ
กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

.....
(ดร.ไพบรียา เฉยไสย)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่่นมาตย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมนึก ชีระกุลพิสุทธิ์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปิยพงศ์ สุวรรณศรี. 2553. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยระบบยูเอสบี

2 เฟส 2 สเตจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ดร. ไพรัชญา เฉยไสย

บทคัดย่อ

249019

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอสบี 2 เฟส 2 สเตจ ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยนำน้ำเสียจริงจากโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลมาเจือจางด้วยน้ำประปา ไม่มีการเติมสารปรับสภาพต่างและสารอาหารอื่นๆเพิ่มเติม ป้อนเข้าระบบซึ่งไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยถังปฏิกรณ์หมักกรดปริมาตร 5.4 ลิตร 1 ถัง และถังปฏิกรณ์ยูเอสบี ปริมาตร 8.2 ลิตร จำนวน 2 ถัง ต่อเนื่องกันตามลำดับ ป้อนน้ำเสียเข้าระบบด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 4.6 ลิตร/วัน ตะกอนเชื้อที่ใช้ในระบบยูเอสบีเป็นตะกอนเม็ดจากระบบยูเอสบีที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของโรงงานเบียร์ การทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วงการทดลอง โดยการทดลองช่วงที่ 1 เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 139 วัน ที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าระบบสูงสุด 20,000 มก./ลิตร ระบบมีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีรวม ร้อยละ 82 น้ำออกกระบบมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ย 539 มก./ลิตรในรูปของกรดอะซิติก อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค่าทั้งหมด คือ 0.4 อัตราร้อยละของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าเฉลี่ย 64 ในการทดลองช่วงที่ 2 เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะของระบบในการรองรับอัตราการระบายทุกอินทรีย์ พบว่า ระบบล้มเหลวเมื่อเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าที่ 40,000 มก./ลิตร โดยน้ำออกกระบบมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงสุด 10,250 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายต่อสภาพค่าทั้งหมดเพิ่มขึ้นถึง 1.58 ทำให้ระบบไม่สามารถรักษาสมดุลพีเอชไว้ได้

Piyapong Suwannasri. 2010. **Treatment Efficiency of Cane Molasses Alcohol Distillery Wastewater by 2 phases 2 stages UASB**. Master of Engineering Thesis in Environmental Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Dr. Pairaya Choeisai

ABSTRACT

249019

This study was to investigate the performance of 2 phases 2 stages UASB system for treatability of cane-molasses alcohol distillery wastewater. Wastewater from cane-molasses alcohol distillery plant was diluted by tap water without addition of nutrient supplement and alkalinity. The system composes of a 5.4 liter acidification tank and 8.2 liter UASB 2 reactors in line order. The flow rate of 4.6 l/day was fed into the system without temperature control. Seed sludge was granular sludge of a brewery's ambient UASB. The studies were runned in two periods. First experiment was studied the process performance of 139 day operation with maximum COD influent of 20,000 mg/l resulting that COD removal efficiency was 82%, Volatile Fatty Acid (VFA) in effluent was 539 mg/l as acetic acid. VFA and alkalinity ratio was 0.4 and methane composition in biogas was 64%. The second experiment was focused on process capability under organic loading rate increment. When COD was increased up to 40,000 mg/l the system failure was reached with a maximum VFA in effluent of 10,250 mg/l as acetic acid. VFA and alkalinity ratio of 1.58 was found and made the system failed due to an uncontrollable pH.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้ความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร. ไพทยา เฉยไสย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้แนะนำความรู้ความเข้าใจในเชิงวิชาการและข้อคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์มาก ในงานวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด รวมถึงตรวจแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่ ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ รศ.สุกฤษฎ์ สีนสุพรรณ Dr. Kazuaki Syutsubo และ ดร.วิลาสินี อยู่ชัชวาล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานเพโทรกรีน จ.ชัยภูมิ ที่อนุเคราะห์น้ำกากส่า และ บริษัท โรงงานเบียร์ ขอนแก่น ที่อนุเคราะห์เชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากระบบ UASB ตลอดจนระยะเวลาในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ให้คำปรึกษาแนะนำ และอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณศูนย์การจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยส่วนหนึ่งในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และทุกสิ่งทุกอย่างที่ทำให้มีความสำเร็จในวันนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยเหลือในทุกๆด้านจนสำเร็จการศึกษา

ปิยพงศ์ สุวรรณศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	2
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
1. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน (Anaerobic treatment)	3
2. กระบวนการเปลี่ยนรูปในระบบไร้ออกซิเจน	5
2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)	5
2.2 อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis)	6
2.3 อะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis)	6
2.4 เมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis)	6
3. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกระบวนการไร้ออกซิเจน	7
3.1 อุณหภูมิ	7
3.2 พีเอช (pH)	7
3.3 ความเข้มข้นของไขมันระเหย	8
3.4 ระดับสภาพค่าง	8
3.5 โออาร์พี (ORP)	8
3.6 ประเภทสารอาหารในน้ำเสีย (Substrate)	8
3.7 สารอาหารที่จำเป็น (Nutrients)	8
3.8 สารพิษ (Toxic)	9
3.8.1 กรดไขมันระเหย	9
3.8.2 แอมโมเนีย	9
3.8.3 ซัลไฟด์	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8.4 อีออนและโลหะหนัก	9
3.8.5 สารอินทรีย์	9
4. ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)	10
4.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี	10
4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี	10
4.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี	12
4.4 Granular sludge ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	12
4.5 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลินทรีย์ (Granules)	13
4.6 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	14
5. การแยกการเกิดปฏิกิริยาออกเป็นสองส่วน (Two-Phase Process)	14
5.1 ข้อดีข้อเสียของระบบหมักแบบ 2 เฟส	15
5.2 เทคนิคในการแยกออกเป็น 2 เฟส	15
5.3 ลักษณะการทำงานของระบบ	16
6. การพัฒนาระบบ อื่นๆจากระบบ UASB	17
6.1 ระบบยูเอเอสบีแบบ 2 เฟส (two-phase UASB)	17
6.2 ระบบอีจีเอสบี (EGSB)	17
6.3 ระบบ UASB-IC (Internal Circulation)	18
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
1. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียกากส่าที่ใช้ในการทดลอง	20
2. การเติมเชื้อตะกอน	20
3. เครื่องมือและอุปกรณ์	21
4. วิธีการทดลอง	23
5. วิธีการเก็บตัวอย่าง	24
6. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	27
1. ผลการทดลอง ช่วงที่ 1	27
1.1 อุณหภูมิในการทดลองช่วงที่ 1	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2 ประสิทธิภาพของระบบ ในการทดลองช่วงที่ 1	30
1.2.1 ความเข้มข้นชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบและภาระบรรทุกอินทรีย์ในการทดลองช่วงที่ 1	30
1.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด ในการทดลองช่วงที่ 1	31
1.2.3 พีเอช ในการทดลองช่วงที่ 1	32
1.2.4 กรดไขมันระเหย ในการทดลองช่วงที่ 1	33
1.2.5 สภาพค่างทั้งหมด ใน การทดลองช่วงที่ 1	34
1.2.6 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด ในการทดลองช่วงที่ 1	35
1.2.7 อัตราส่วนค่าตะกอนแขวนลอยกับค่าตะกอนแขวนลอยระเหย ในการทดลองช่วงที่ 1	36
1.2.8 ร้อยละก๊าซมีเทน ในการทดลองช่วงที่ 1	37
1.3 ปริมาณเชื้อตะกอนในระบบ ในการทดลองช่วงที่ 1	38
1.4 สมดุลย์มวลสารในรูปชีโอดี (COD balance) ใน การทดลองช่วงที่ 1	38
2. ผลการทดลองช่วงที่ 2	41
2.1 อุณหภูมิ ในการทดลองช่วงที่ 2	41
2.2 ประสิทธิภาพของระบบ การทดลองช่วงที่ 2	44
2.2.1 ความเข้มข้นชีโอดีน้ำเสียเข้าระบบและภาระบรรทุกอินทรีย์ ในการทดลองช่วงที่ 2	44
2.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด ในการทดลองช่วงที่ 2	45
2.2.3 พีเอช ในการทดลองช่วงที่ 2	47
2.2.4 กรดไขมันระเหย ในการทดลองช่วงที่ 2	48
2.2.5 สภาพค่างทั้งหมด ในการทดลองช่วงที่ 2	49
2.2.6 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด ในการทดลองช่วงที่ 2	49
2.2.7 อัตราส่วนค่าตะกอนแขวนลอยกับค่าตะกอนแขวนลอยระเหยในการทดลองช่วงที่ 2	51
2.2.8 ร้อยละก๊าซมีเทน ในการทดลองช่วงที่ 2	51
2.3 ปริมาณเชื้อตะกอนของระบบ ในการทดลองช่วงที่ 2	52
2.4 สมดุลย์มวลสารในรูปชีโอดี (COD balance) ในการทดลองช่วงที่ 2	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. เปรียบเทียบผลการทดลองช่วงที่ 1 และ 2	58
3.1 อุณหภูมิ	58
3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	59
3.3 พีเอช	60
3.4 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายกับสภาพด่างทั้งหมด	61
3.5 อัตราส่วนค่าตะกอนแขวนลอยกับค่าตะกอนแขวนลอยระเหย	62
3.6 ร้อยละก๊าซมีเทน	63
3.7 เปรียบเทียบผลการทดลองจากการศึกษาวิจัยกับผลการวิจัยที่ศึกษาผ่านมา	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
1. สรุปผลการวิจัย	66
2. ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับโรงงานผลิตเอทานอล	72
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วงที่ 1	77
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วงที่ 2	91
ภาคผนวก ง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ฉบับร่างภาษาอังกฤษ	101
ประวัติผู้เขียน	104

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาล
ตารางที่ 3-2	ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าและภาระบรรทุกอินทรีย์ ในการทดลองช่วงที่ 1
ตารางที่ 3-3	ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าและภาระบรรทุกอินทรีย์ ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 3-4	พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์
ตารางที่ 4-1	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 5,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 1
ตารางที่ 4-2	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 10,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 1
ตารางที่ 4-3	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 20,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 1
ตารางที่ 4-4	ความเข้มข้นซีโอดีและร้อยละการกำจัดซีโอดี ที่ความเข้มข้นซีโอดี 20,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 1
ตารางที่ 4-5	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 5,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 4-6	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 10,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 4-7	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 20,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 4-8	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 40,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 4-9	ความเข้มข้นซีโอดีและร้อยละการกำจัดซีโอดี ในการทดลองช่วงที่ 2
ตารางที่ 4-10	การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เคยศึกษาผ่านมากับการทดลองวิจัยครั้งนี้

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 ปฏิกริยารีดอกซ์ในน้ำเสีย	4
ภาพที่ 2-2 ลักษณะของระบบไร้ออกซิเจนต่างๆ	5
ภาพที่ 2-3 การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการไร้ออกซิเจน	7
ภาพที่ 2-4 ส่วนประกอบของระบบยูเอสบี	11
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของเม็ดยูลินทรีย์ในระบบยูเอสบีบำบัดน้ำเสียกลูโคส	13
ภาพที่ 2-6 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และอัตราการบรรทุกอินทรีย์ระหว่างเฟส การเกิดเม็ดยูลินทรีย์ในถังยูเอสบี	14
ภาพที่ 2-7 ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนชนิด 2 เฟส	17
ภาพที่ 3-1 ภาพแสดงมาตราส่วน (a) ถังหมักกรด และ (b) ถังยูเอสบี	21
ภาพที่ 3-2 ภาพถ่าย (a) ปัมป์ peristaltic และ (b) เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ ที่ใช้ในการทดลอง	22
ภาพที่ 3-3 ภาพถ่ายชุดถึงปฏิกรณ์ ทดลองระบบยูเอสบี 2 เฟส 2 สเตจ	22
ภาพที่ 3-4 ค่ำภาพแสดงการไหลของระบบยูเอสบี 2 เฟส 2 สเตจ	24
ภาพที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของระบบที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 40,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2	28
ภาพที่ 4-2 ความเข้มข้นซีโอดีและร้อยละการกำจัดซีโอดี ในการทดลองช่วงที่ 2	30
ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เคยศึกษาผ่านมากับการทดลองวิจัยครั้งนี้	32
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 1	33
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง กรดไขมันระเหย กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 1	34
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพด่าง กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 1	35
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายและสภาพด่างทั้งหมดกับเวลา ในการทดลองช่วงที่ 1	36
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยระเหยกับ เวลาในการทดลองช่วงที่ 1	37
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละมีเทน กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 1	38
ภาพที่ 4-10 อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละขั้นตอน ในการทดลองช่วงที่ 1	40
ภาพที่ 4-11 สมดุลยมวลสารในรูปซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 20,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 1	41
ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	42
ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ซีโอดี กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	46
ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	47
ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่าง กรดไขมันระเหย กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	48
ภาพที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพต่างทั้งหมด กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	49
ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนกรดไขมันระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมดกับเวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	50
ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยระเหยกับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	51
ภาพที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละมีเทน กับ เวลา ในการทดลองช่วงที่ 2	52
ภาพที่ 4-21 การย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละขั้นตอน	54
ภาพที่ 4-22 สมดุลย์มวลสารในรูปซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 5,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2	56
ภาพที่ 4-23 สมดุลย์มวลสารในรูปซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 10,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2	56
ภาพที่ 4-24 สมดุลย์มวลสารในรูปซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 20,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2	57
ภาพที่ 4-25 สมดุลย์มวลสารในรูปซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสียเข้าระบบ 40,000 มก./ลิตร ในการทดลองช่วงที่ 2	57
ภาพที่ 4-26 เปรียบเทียบอุณหภูมิ ที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	59
ภาพที่ 4-27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	60
ภาพที่ 4-28 เปรียบเทียบพีเอช ที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	61
ภาพที่ 4-29 เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันระเหยง่ายกับสภาพต่างทั้งหมดที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	62
ภาพที่ 4-30 เปรียบเทียบอัตราส่วนค่าตะกอนแขวนลอยกับค่าตะกอนแขวนลอยระเหยที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	63
ภาพที่ 4-31 เปรียบเทียบร้อยละก๊าซมีเทน ที่ค่าความเข้มข้นซีโอดี 20, 000 มก./ลิตร	64