

การกำจัดสีจากน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ



นายทรงพล ครามโกมุท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0451-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

120555003

**COLOUR REMOVAL OF DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY USING
ANAEROBIC HYBRID FILTER**

MR. SONGPON KHRAMKOMUTH

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering**

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001


ISBN 974-03-0451-6

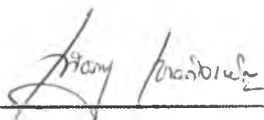
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสีจากน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับ
ระบบกรองไร้อากาศ
โดย นายทรงพล ครามโกมุท
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ

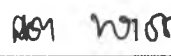
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



_____ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


_____ ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)


_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ)


_____ กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุธา ชาวเขียว)


_____ กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชกรกิจ)

ทรงพล ครามโกมุท : การกำจัดสีจากน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ (COLOUR REMOVAL OF DISTILLERY SLOP WASTEWATER BY USING ANAEROBIC HYBRID FILTER). อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ , 150 หน้า. ISBN 974-03-0451-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดสีและซีโอดีของน้ำเสียจากสาด้วยระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์ทั้งสองจะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซีใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มม. และสูง 2800 มม. โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว $187 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ของตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว $135 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ของตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองสูงเท่ากันคือ 1.25 เมตร และทำการป้อนน้ำเสียจากสาเป็นแบบไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการแปรเปลี่ยนค่าซีโอดีของน้ำจากสาเป็น 3500 และ 4500 ซึ่งคิดเป็นอัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 58% และ 65% และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 55% และ 65% ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีร้อยละ 45 และ 51 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ส่วนค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งของคอลัมน์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 198 และ 110 มก./ล. ส่วนคอลัมน์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 137 และ 63 มก./ล. ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากคอลัมน์ที่ 1 เฉลี่ยเป็น 4.6 และ 6.9 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 57.43 และ 66.76 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ส่วนคอลัมน์ที่ 2 จะเกิดก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 และ 8.2 ลิตรต่อวัน ซึ่งมีปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 56.70 และ 71.77 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าคอลัมน์ที่ 1 และคอลัมน์ที่ 2 จะมีแนวโน้มในการกำจัดซีโอดีและสีที่ใกล้เคียงกัน รวมไปถึงค่าตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงตัวของทั้งสองคอลัมน์ก็จะใกล้เคียงกันด้วย แต่คอลัมน์ที่ 2 จะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บเซลล์ได้ดีกว่าคอลัมน์ที่ 1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของตัวกลางจะมีผลต่อการกักเก็บเซลล์ภายในคอลัมน์ และเมื่อมีการเพิ่มอัตราภาระอินทรีย์จะพบว่าระบบก็ยังสามารถดำเนินไปได้ ส่วนในจากการทดลองที่ระยะความสูงต่างๆของคอลัมน์ พบว่าการกำจัดซีโอดีและสีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของคอลัมน์ในส่วนของชั้นตะกอนแบคทีเรียเนื่องจากน้ำเสียที่เข้ามามีปริมาณของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายอยู่มาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) จะพบว่าแบคทีเรียที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ทั้งสอง เป็นแบคทีเรียที่มีหลากหลายสายพันธุ์อาศัยอยู่ร่วมกัน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

##4170314821 : MAJOR Environmental Engineering

KEY WORD : Anaerobic / Methane / Polyethylene Plastic Media / Colour

SONGPON KHRAMKOMUTH : COLOUR REMOVAL OF DISTILLERY SLOP
WASTEWATER BY USING ANAEROBIC HYBRID FILTER

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON. Ph.D
150 PP. ISBN 974-03-0451-6

This academic research concerned the comparative studies of the efficiency of anaerobic hybrid filter system in the COD and color removals of distillery slop wastewater by using two columns of anaerobic hybrid filter reactors, in both of which the different polyethylene plastic media were installed. In the experiments, two reactors of anaerobic hybrid filter, made of 70 mm diameter x 2800 mm PVC cylinder, were used. Contained in the first reactor was the ring-shaped Polyethylene plastic media with the surface area of $187 \text{ m}^2/\text{m}^3$ while the other reactor contained those with the surface area of $135 \text{ m}^2/\text{m}^3$. The height of media in both reactors was positioned at 1.25 m, and the feeding direction of wastewater was up flow at the preset rate of 7.5 liters per day. During the experiments, The organic loading rate had changed to 2.33 and 3 $\text{kgCOD}/\text{m}^3\text{-day}$. According to the studies, the COD removal efficiency were 58 and 65 % and the color removal efficiency were 45 and 51% at the first reactor, for the other reactor, the COD removal efficiency was 55 and 65 % and the color removal efficiency was 45 and 51% at the organic loading rate of 2.33 and 3 $\text{kgCOD}/\text{m}^3\text{-day}$ respectively. The suspended solids of effluent were 198 and 110 mg/l in the reactor number one, and 137 and 63 mg/l in the reactor number two at the organic loading rate of 2.33 and 3 $\text{kgCOD}/\text{m}^3\text{-day}$ respectively. In addition, it was found that the biochemical gas in the first reactor was generated at the average rate of 4.6 and 6.9 liters per day, containing 57.43% and 66.76% methane gas respectively. And, such gas also existed in the other reactor at the average rate of 5.2 and 8.2 liters per day, containing 56.70% and 71.77% methane gas respectively. After the experiments, the result indicated that both anaerobic hybrid filter reactor number one and number two were able to treat wastewater at the same level. However, the reactor number two had a greater efficiency in correcting microorganisms than did the reactor number one. This was due to media structure. Furthermore, despite the increasing organic loading rate, it was found that the system still proceeded and kept working well. Based on the experiment with the different heights in the anaerobic hybrid filter reactor, it showed that the process of both COD and color removals often took place at the bottom of the tank because of high substrate in wastewater, in which a variety of bacteria species, discovered by Scanning Electron Microscope (SEM), resided.

Department Environmental Engineering Student's signature
Field of study Environmental Engineering Advisor's signature
Academic year 2001

Songpon Kramkomuth
Chawakit Chareon P

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาทางวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ อย่างมากมาย จนงานวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอ กราบขอบพระคุณในความเมตตาการุณาของอาจารย์มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่างๆ แก่ผู้วิจัย และ ขอขอบพระคุณ ทนอุดหนุนการวิจัยต่างๆ ได้แก่ ทนวิจัยบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ทนชิน โสภณพนิช ประจำปี 2542 ที่ได้มอบเงินอุดหนุนการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณโรงงานแสงโสม สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยนี้ และขอพระขอบคุณบริษัท บุญรอด บริเวอรี่ ที่มอบตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบ ขอขอบคุณสำหรับกำลังใจอันแสนอบอุ่น และความช่วยเหลือต่างๆ มากมาย รุ่นพี่ โดยเฉพาะ พี่เอ ลัดดา ยาวีรัช รวมถึงเพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคน ในภาควิชาฯ รวมทั้งน้องๆ จากสหสาขาฯ ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 จุลชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ	3
2.2 มลพิษของน้ำที่เกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานสุรา	3
2.2.1 กรรมวิธีการผลิตสุรา	6
2.2.2 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา	6
2.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน	7
2.3.1 ระยะ Non-methanogenic	8
2.3.2 ระยะ Methanogenic	10
2.4 ชีวเคมีของกระบวนการสร้างมีเทน	11
2.4.1 รูปแบบของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน	11
2.5 ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	14
2.6 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	15
2.6.1 อุณหภูมิ	16
2.6.2 สารอาหารจำเป็นสำหรับการสร้างเซลล์จุลินทรีย์	16
2.6.3 สภาพความเป็นกรดและด่าง	16
2.6.4 สภาพไม่ใช้ออกซิเจน	17
2.6.5 สารพิษ	17
2.7 สาเหตุของการเสียดุลของปฏิบัติการในระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับ ระบบกรองไร้อากาศ	18
2.7.1 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์	20
2.7.2 ระดับความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.3 ระดับพีเอช	21
2.7.4 อัตราการผลิตมีเทน	21
2.7.5 ค่าโออาร์พี (ORP)	22
2.7.6 สัญญาณอื่น	22
2.8 ข้อดี-ข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	23
2.9 การบำบัดน้ำกากส่า	24
2.9.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี	24
2.9.2 กระบวนการบำบัดแบบเคมีไฟฟ้า	24
2.9.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	24
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย	33
3.1 แผนการทดลอง	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2.1 ถังปฏิกรณ์ (ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ)	34
3.2.2 ถังพักน้ำเสียสังเคราะห์	34
3.2.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์	34
3.2.4 เครื่องวัดก๊าซ	34
3.2.5 ตัวกลางภายในถังกรอง	37
3.3 การดำเนินการทดลอง	38
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย	38
3.5 วิธีที่ใช้วิเคราะห์	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	41
4.1 ผลการทดลองของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศต่อ อัตราภาระอินทรีย์	41
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบ กรองไร้อากาศ	45
4.2.1 ค่าพีเอช อุณหภูมิ และค่าโออาร์พี	45
4.2.2 กรดระเหยง่ายและสภาพต่างทั้งหมด	50
4.2.3 ตะกอนแขวนลอย และตะกอนโคลาไทล์	52
4.2.4 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี	57
4.2.5 ความเข้มข้นและประสิทธิภาพการกำจัดสี	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ	63
4.3 ผลการทดลองตามความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	65
4.3.1 ค่าพีเอช และ ไออาร์พี	65
4.3.2 ปริมาณกรดระเหยง่าย สภาพต่างทั้งหมด และ อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างทั้งหมด	68
4.3.3 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนไวลาไทล์	72
4.3.4 ซีไอดี	72
4.3.5 สี	76
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	77
4.4.1 อิทธิพลของอัตราการอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และสี	77
4.4.2 อิทธิพลของตัวกลางต่อประสิทธิภาพการเก็บกักเซลล์แบคทีเรียในระบบ	78
4.4.3 ลักษณะของเซลล์แบคทีเรียภายในถังระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
รายการอ้างอิง	91
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองของถังระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	99
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองตามความสูงของถังระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	131
ภาคผนวก ค. สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงที่ ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	134
ภาคผนวก ง. เปอร์เซนต์มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับคอลัมน์ที่ 1 และคอลัมน์ที่ 2	137
ภาคผนวก จ. ค่าตะกอนแขวนลอยต่อพื้นที่ผิวตัวกลางและตะกอนไวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลางที่ใช้งานทั้งสองชนิด ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	148
ประวัติผู้เขียน	150

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆของโรงงานของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง ทั่วราชอาณาจักร	5
ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะของน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลอง	7
ตารางที่ 2.3 ค่าไออาร์พีของปฏิกริยาประเภทต่างๆ	22
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดในแต่ละชุดการทดลอง	33
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์	40
ตารางที่ 4.1 สรุปรูปชุดการทดลอง	42
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของระบบ	45
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ในสภาวะคงตัวของระบบ	47
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีในสภาวะคงตัวของระบบ	50
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของระบบ	50
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยสภาพความเป็นด่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบ	52
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของระบบ	54
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลาทิลในสภาวะคงตัวของระบบ	54
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีในสภาวะคงตัวของระบบ	60
ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดในสภาวะคงตัวของระบบ	63
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของระบบ	65
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยไออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของระบบ	66
ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายและค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดที่ตำแหน่งต่างๆ ตาม ความสูงของระบบ	69
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดที่ตำแหน่งต่างๆ ตาม ความสูงของระบบ	71
ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยและค่าเฉลี่ยตะกอนโวลาทิล ที่ตำแหน่งต่างๆ ตาม ความสูงของระบบ	73
ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยซีไอดีที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของระบบ	75
ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของระบบ	76

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา	4
รูปที่ 2.2 แสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ใน sludge โดยแบคทีเรียในระยะ non-methanogenic และระยะ methanogenic	7
รูปที่ 2.3 การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียของไฮโดรเจนมีค่าต่ำและสูง	9
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจน	12
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างๆที่ก่อให้เกิดการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์	13
รูปที่ 3.1 ถึงปฏิกรณ์ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	35
รูปที่ 3.2 ก๊าซมิเตอร์ (GAS METER)	36
รูปที่ 3.3 ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่ใช้ในการวิจัย	37
รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการไหลของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	39
รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ	42
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	46
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	48
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีของน้ำเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	49
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันระเหยง่ายของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	51
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	52
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	55
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนโวลไทล์ของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	56
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงซีไอดีเข้าและออกจากระบบที่อัตราภาวะอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	58

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	59
รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงลิเข้าและออกจากระบบที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	61
รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	62
รูปที่ 4.13 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	64
รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับ ระบบกรองไร้อากาศ ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	67
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงไออาร์พีตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับ ระบบกรองไร้อากาศ ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	67
รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดระเหยง่าย ตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบี ที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ ที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	70
รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างทั้งหมดตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงาน ร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	70
รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ากรดระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตามระยะความสูงของระบบ ยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	71
รูปที่ 4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงตะกอนแขวนลอยตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงาน ร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	74
รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงตะกอนโวลลาไทล์ตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงาน ร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	74

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	75
รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นตามระยะความสูงของระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศที่อัตราการอินทรีย์ 2.33 และ 3 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ของคอลัมน์ที่ 1 และ 2	77
รูปที่ 4.23 รูปถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะของพื้นผิวของตัวกลางพลาสติกจากห้องตลาดที่กำลังขยาย 350 และ 15000 เท่า	81
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอน UASB ของคอลัมน์ที่ 1 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	81
รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอน UASB ของคอลัมน์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 100 เท่า	82
รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะภายในของเม็ดตะกอน UASB ที่ได้ทำการผ่าตามขวาง ของคอลัมน์ที่ 1 ที่กำลังขยาย 200 และ 5000 เท่า	83
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะภายในของเม็ดตะกอน UASB ที่ได้ทำการผ่าตามขวาง ของคอลัมน์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 100 และ 5000 เท่า	84
รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอน UASB ของคอลัมน์ที่ 1 และ คอลัมน์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 5000 เท่า	85
รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะของเซลล์แบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนตัวกลางของคอลัมน์ที่ 1 ที่กำลังขยาย 200 และ 5000 เท่า	86
รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะของเซลล์แบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนตัวกลางของคอลัมน์ที่ 2 ที่กำลังขยาย 1000 และ 5000 เท่า	87