

ผลของการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า



นางสาวอุษณีย์ นาคะภากร

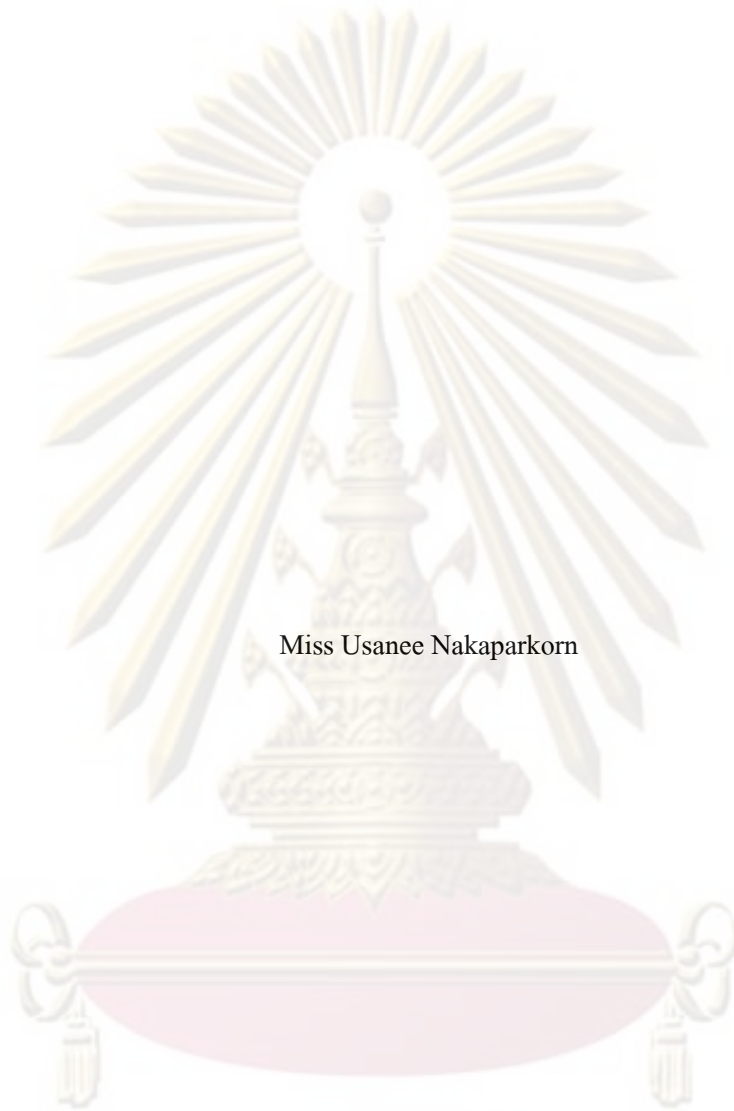
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF INTERNAL RECYCLE IN ANAEROBIC DIGESTER
ON BIOGAS PRODUCTION FROM SLOP WASTEWATER



Miss Usanee Nakaparkorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

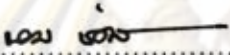
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

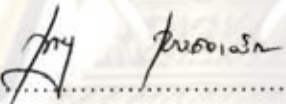
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

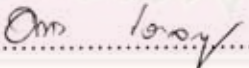
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนต่อการ
ผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า
โดย นางสาวอุษณีย์ นาคะภากร
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ลักษณะ พิ้งรัมย์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประหยัด โภคจิตติบุคค์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุษณีย์ นาคะภากร : ผลของการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า (EFFECT OF INTERNAL RECYCLE IN ANAEROBIC DIGESTER ON BIOGAS PRODUCTION FROM SLOP WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 122 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานสุรา โดยใช้ระบบถังหมักไร้ออกซิเจน ระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ถัง โดยให้น้ำเข้ามีความเข้มข้นซีโอดีคงที่เท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระยะเวลาพักชลศาสตร์คงที่ 20 วัน แล้วปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบที่อัตราไหลเข้าต่ออัตราไหลเวียนกลับ 4 ค่า เท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20

จากผลการทดลองพบว่าการหมุนเวียนน้ำเสียช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยที่อัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 41 57 62 72 และ 75 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48 72 74 77 และ 80 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.10 0.12 0.21 0.37 และ 0.48 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 45.14 53.96 52.23 54.23 และ 55.43 ตามลำดับ

เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 0.25 เป็น 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:20 พบว่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยนั่นคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 77 และ 76 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73 และ 74 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 2,961 และ 3,391 มิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.36 และ 0.21 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 64.24 และ 53.87 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิติศ.....*Amie* นาคะภากร.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*Amie*.....
ปีการศึกษา.....2551.....

##4970714921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIOGAS PRODUCTION / SLOP WASTEWATER / ANAEROBIC DIGESTER / INTERNAL RECYCLE

USANEE NAKAPARKORN : EFFECT OF INTERNAL RECYCLE IN ANAEROBIC DIGESTER ON BIOGAS PRODUCTION FROM SLOP WASTEWATER. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 122 pp.

This research was aimed to investigate the effect of internal recycle rate in anaerobic digester to COD removal efficiency and biogas production from distillery wastewater. There lab-bench scale anaerobic digesters with internal recycle wastewater were used in the experiments. The influent COD content was 5,000 mg/l on average, while the organic loading rate was 0.25 kg-COD/m³-day. The hydraulic retention time (HRT) was 20 days. The ratios of raw wastewater and recycle treated wastewater was varied ranged from 1:0, 1:5, 1:10, 1:15, and 1:20.

The results showed that COD and SS removal efficiency were increased with increased recycle treated wastewater ratios. The ratios of raw wastewater and recycle treated wastewater at 1:0, 1:5, 1:10, 1:15, and 1:20 have the COD removal efficiency of 41% 57% 62% 72% and 75%, respectively. The SS removal efficiency was 48%, 72%, 74%, 77%, and 80%, respectively. While the Biogas production yields was increased 0.10, 0.12, 0.21, 0.37, and 0.48 l/g COD removed, respectively. Moreover, the percentage of methane gas was 45.14, 53.96, 52.23, and 55.43, respectively. It shows that the maximum COD removal efficiency and maximum biogas production was achieved at the internal recycle rate of 1:20.

Furthermore, this study was investigated by increased OLR from 0.25 to 0.5 and 1.0 kg-COD/m³-day. At the wastewater circulation rate of 1:20, the result showed same the efficiency of COD and SS removal at every OLR. The COD removal efficiency was 77 and 76 percent, while the SS removal efficiency was 73 and 74 percent, respectively. The average of biogas production rate was 2,916 and 3,391 ml/day. The ratio of biogas production rate and COD removal was 0.36 and 0.21 l/g COD removed which sowed the percentage of methane gas was 64.24 and 53.87, respectively.

Department :.....Environmental Engineering.....Student's Signature : *Usanee Nakaparkorn*

Field of Study :..Environmental Engineering.....Advisor's Signature : *Orathai*

Academic Year :.....2008.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร. ורתัย ชวาลภาฤทธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร. ประหยัด โภคจิตติยกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณะ พึ่งรัสมิ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทสุรากระทิงแดง(1988) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่อง หัวเชื้อจุลินทรีย์ และน้ำเสียในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาจนประสบความสำเร็จ

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ สำหรับทุกๆ ความช่วยเหลือที่มีให้จนประสบความสำเร็จ

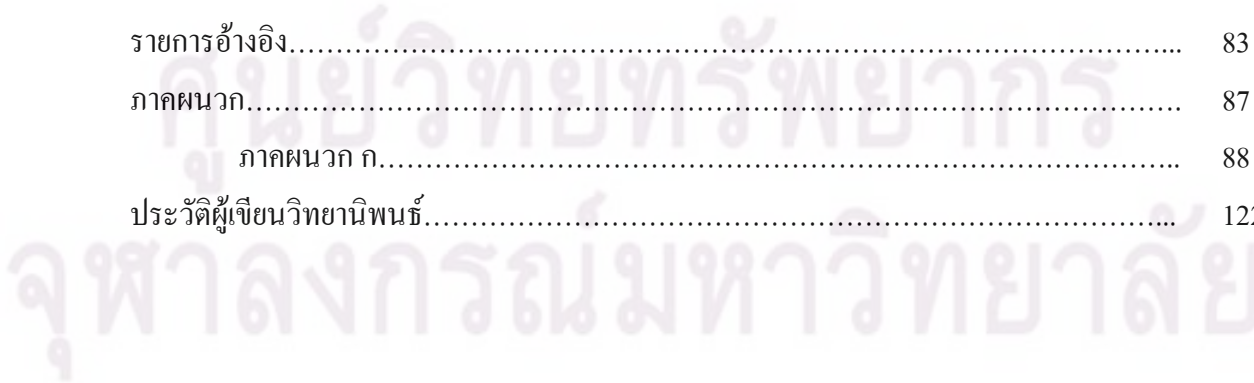
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....	4
2.2 กลไกการการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน.....	4
2.2.1 ไฮโดรไลซิส.....	4
2.2.2 การสร้างกรด	5
2.2.3 การสร้างกรดอะซิดิกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ	5
2.2.4 การสร้างมีเทน.....	6
2.3 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.3.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย.....	7
2.3.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิดิก.....	8
2.3.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน.....	9
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	11
2.4.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม.....	12
2.4.2 ปัจจัยทางด้านการทำงาน.....	16
2.5 ก๊าซชีวภาพ.....	18
2.6 รูปแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	18

2.7 ระบบบำบัดแบบถังหมักไร้ออกซิเจน.....	21
2.7.1 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	23
2.7.2 ข้อมูลการออกแบบระบบถังหมักไร้ออกซิเจน.....	24
2.7.3 การหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจน.....	25
2.8 การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย.....	26
2.9 น้ำเสียจากโรงงานผลิตสุรา.....	27
2.9.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....	27
2.9.2 กากน้ำตาล.....	27
2.9.3 กระบวนการผลิตสุรจากากน้ำตาล.....	28
2.9.4 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานสุรา.....	29
2.9.5 การใช้ประโยชน์จากกากสำในปัจจุบัน.....	31
2.9.6 การบำบัดน้ำกากสำ.....	32
2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
2.10.1 การบำบัดน้ำกากสำ.....	34
2.10.2 ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสีย.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 แผนการทดลอง.....	39
3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	42
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.4 วิธีการทดลอง.....	47
3.4.1 การเตรียมน้ำเสีย.....	47
3.4.2 การทดสอบระบบถังหมัก.....	48
3.4.3 การเริ่มต้นระบบ.....	48
3.4.4 การเดินระบบ.....	48
3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล.....	49
3.5.1 การเก็บตัวอย่าง.....	49
3.5.2 การวิเคราะห์.....	50

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
4.1 การเตรียมการทดลองก่อนเดินระบบบำบัด.....	51
4.1.1 ลักษณะน้ำเสีย.....	51
4.1.2 ลักษณะเชื้อจุลชีพ.....	53
4.1.3 การเริ่มเดินระบบ.....	53
4.2 การศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย.....	54
4.2.1 พีเอช.....	54
4.2.2 อุณหภูมิ.....	56
4.2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....	58
4.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย.....	61
4.2.5 ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด.....	64
4.2.6 การผลิตก๊าซชีวภาพ.....	68
4.2.7 การเปรียบเทียบอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสม.....	70
4.3 การศึกษาผลของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สารแขวนลอย และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	73
4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียด่างต่ำที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายใน ระบบกับงานวิจัยอื่นๆ.....	77
4.5 การศึกษาลักษณะของจุลชีพในระบบ.....	79
4.6 การประเมินราคาค่าใช้จ่ายค่าสารเคมี.....	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	122



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้..... 10
ตารางที่ 2.2	ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน..... 15
ตารางที่ 2.3	ข้อมูลการออกแบบระบบถังหมักไร้ออกซิเจน..... 25
ตารางที่ 2.4	ปริมาณผลิตภัณฑ์มีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน..... 26
ตารางที่ 2.5	แสดงลักษณะน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา..... 30
ตารางที่ 3.1	แผนการทดลองผลของอัตราการเวียนน้ำเสีย..... 39
ตารางที่ 3.2	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1..... 42
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2..... 43
ตารางที่ 3.4	การปรับเปลี่ยนอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียและปรับเปลี่ยนค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์..... 49
ตารางที่ 3.5	วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว..... 50
ตารางที่ 4.1	ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... 52
ตารางที่ 4.2	ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง..... 53
ตารางที่ 4.3	ค่าพีเอชเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ..... 58
ตารางที่ 4.4	ค่าซีโอดีเฉลี่ยและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ..... 61
ตารางที่ 4.5	ค่าสารแขวนลอยเฉลี่ย และประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ..... 62
ตารางที่ 4.6	ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพด่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ..... 65
ตารางที่ 4.7	ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ... 68
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสม..... 70
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ..... 75
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียกากส่า..... 78

ตารางที่ ก-13	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วน น้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:10	107
ตารางที่ ก-14	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วน น้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:15.....	110
ตารางที่ ก-15	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วน น้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:20	113
ตารางที่ ก-16	แสดงค่าซีไอดี และค่าสารแขวนลอยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัม ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียน น้ำเสียกลับ 1:20.....	116
ตารางที่ ก-17	แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตรา หมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20.....	117
ตารางที่ ก-18	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่อัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20.....	118
ตารางที่ ก-19	แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตรา หมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20.....	119
ตารางที่ ก-20	แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตรา หมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20.....	120
ตารางที่ ก-21	แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่อัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วน น้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20.....	121

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน..... 7
รูปที่ 2.2	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB..... 20
รูปที่ 2.3	ระบบ ADI-BVF..... 21
รูปที่ 2.4	ถังย่อยแบบอัตราค่า..... 22
รูปที่ 2.5	ถังย่อยแบบอัตราสูงชนิดชั้นตอนเดียว..... 22
รูปที่ 2.6	ถังย่อยแบบอัตราสูงชนิดสองชั้นตอน..... 23
รูปที่ 2.7	กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาลของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่..... 29
รูปที่ 3.1	แผนภาพขั้นตอนการทดลองที่ 1..... 40
รูปที่ 3.2	แผนภาพขั้นตอนการทดลองที่ 2..... 41
รูปที่ 3.3	แผนผังการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์และถังปฏิกริยาในงานวิจัยนี้..... 45
รูปที่ 3.4	รูปแบบของถังปฏิกริยาของระบบถังหมักไร้ออกซิเจน..... 46
รูปที่ 4.1	ลักษณะน้ำเสียด่างที่ใช้ในการทดลอง..... 52
รูปที่ 4.2	ค่าพีเอชน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ เทียบกับเวลา..... 55
รูปที่ 4.3	ค่าอุณหภูมิน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ เทียบกับเวลา..... 57
รูปที่ 4.4	ปริมาณซีโอดีและร้อยละของซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราส่วนหมุนเวียนน้ำเสียด่าง ต่างๆ..... 60
รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วนหมุนเวียน น้ำเสียด่างต่างๆ..... 61
รูปที่ 4.6	ปริมาณสารแขวนลอยและร้อยละของสารแขวนลอยที่ถูกกำจัดที่อัตราส่วนการ หมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ..... 63
รูปที่ 4.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วน การหมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ..... 64
รูปที่ 4.8	ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพด่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง ทั้งหมดตลอดการทดลองที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ..... 66
รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพด่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อ สภาพด่างทั้งหมดที่อัตราส่วนหมุนเวียนน้ำเสียด่างต่างๆ..... 67

รูปที่ 4.10	อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับ ต่างๆ.....	69
รูปที่ 4.11	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและประสิทธิภาพการसारแขวนลอย ของระบบที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.12	เปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ถูกกำจัดที่ อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ.....	73
รูปที่ 4.13	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร สภาวะของระบบ และอัตราการเกิด ก๊าซชีวภาพที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.14	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยที่อัตราการระบรทุก สารอินทรีย์ต่างๆ.....	76
รูปที่ 4.15	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และการผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ของก๊าซชีวภาพ และ ก๊าซมีเทนที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	76
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบค่ากรดไขมันระเหย สภาพค่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อ สภาพค่างทั้งหมดที่อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ.....	76
รูปที่ 4.17	ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตะกอนจุลชีพภายหลังสิ้นสุดการ ทดลอง.....	79



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากพลังงานจากก๊าซชีวภาพสามารถนำไปทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้เป็นอย่างดี โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 0.6 ลิตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) และนอกเหนือจากพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพแล้ว ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังมีผลพลอยได้อื่นๆตามมามากมาย เช่น ลดการเน่าเสียของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม่น้ำ ลำคลอง กลิ่นเหม็น เป็นต้น การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียนั้นมีศักยภาพในแง่ความคุ้มค่า เนื่องจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียได้นั้นมีผลพลอยได้เป็นการบำบัดและกำจัดของเสียอีกด้วย

กระบวนการผลิตสุราก่อให้เกิดน้ำเสีย(น้ำกากส่า)ปริมาณมาก และมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง ในบางโรงงานอาจมีค่าซีโอดีสูงถึง 300,000 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งมีค่าพีเอชเป็นกรด (พีเอชประมาณ 4) ซึ่งมีสภาวะไม่เหมาะสมในการเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากการผลิตก๊าซชีวภาพต้องการน้ำเสียที่มีค่าพีเอชเป็นกลางถึงด่าง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับสภาวะน้ำเสียให้เหมาะกับการเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้ซึ่งต้องมีการเติมสารด่างปริมาณสูงเพื่อปรับพีเอช ทำให้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมักจะมีค่าพีเอชเป็นด่าง และมีค่าความเป็นด่าง(Alkalinity) สูงหมุนเวียนกลับมาเจือจางน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีสภาวะเป็นด่าง นอกจากนี้การหมุนเวียนน้ำเสียยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ระบบบำบัดที่นิยมใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานสุรา ได้แก่ ระบบบ่อปิด (covered lagoon) ซึ่งเป็นระบบที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือสารพิษ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบสูง แต่ระบบนี้จะมีข้อจำกัดในด้านการผลิตก๊าซมีเทน เนื่องจากระบบนี้มีข้อด้อยในด้านการกวนผสมในระบบและการกระจายของน้ำเสียเข้าในบ่อ ทำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำกว่าแบบอื่นๆ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษหาอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียโรงงานสุรา โดยใช้ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนซึ่งมีการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพและความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยใช้ถังหมักไร้ออกซิเจน
2. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำกากส่าโดยใช้ถังหมักไร้ออกซิเจน
3. ศึกษาผลของอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดซีโอดีจากน้ำกากส่าโดยใช้ถังหมักไร้ออกซิเจน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังหมักไร้ออกซิเจนจำนวน 3 ถัง และมีการหมวนเวียนน้ำที่กลับเข้าสู่ระบบด้วยอัตราที่ต่างกัน 4 ค่า ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในการศึกษาวิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

1. น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงจากกระบวนการผลิตสุรา ที่มีการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ โดยทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ใช้ถังหมักไร้ออกซิเจน ปริมาตรความจุน้ำเสีย 20 ลิตร
3. หัวเชื้อ (seed) ที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินระบบฯ เป็นหัวเชื้อจุลชีพแบบไร้ออกซิเจนจากบริษัท สุรากระทิ้งแดง (1988) จำกัด
4. กำหนดระยะเวลาพักพักผลศาสตร์ครั้งที่ 20 วัน และปรับเปลี่ยนอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียเข้าระบบ 4 ค่า ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20 เท่าของอัตราไหลเข้าระบบ ตามลำดับ
5. พารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดี ไออาร์พี พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งแขวนลอย สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียจากโรงงานสุราโดยใช้ระบบ ถังหมักไร้ออกซิเจน ภายใต้สภาวะที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบ
2. ทราบถึงอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า รวมทั้งประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2542)

กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาที่ใช้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนหลายกลุ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และสลับซับซ้อนอันได้แก่คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ผลพลอยได้จากกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนคือ ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซซึ่งประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด โดยมีก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) มีปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร จึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนรถยนต์ หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนมีกระบวนการที่สลับซับซ้อนมาก โดยปฏิกิริยาทางชีวเคมีเกิดขึ้นนับร้อยกระบวนการซึ่งจะต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยาด้วย แม้ว่าการศึกษเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจะมีการศึกษากันมาอย่างยาวนาน แต่ในปัจจุบันการศึกษาทางด้านนี้ก็ยังไม่หยุดนิ่ง ยังคงมีการศึกษาเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทราบถึงกลไกและลักษณะการทำงานของแบคทีเรียเพื่อที่จะได้ออกแบบและควบคุมระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2.2 กลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2542)

2.2.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาว ตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัย

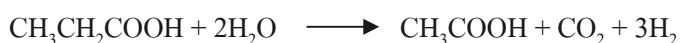
เอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อยสลายสารประกอบ โมเลกุลใหญ่ดังกล่าวจนมี โมเลกุลเล็กจนสามารถผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ภายในเซลล์แบคทีเรียสร้างกรดได้ ซึ่งขั้นตอนนี้จะ เกิดขึ้นค่อนข้างช้าจึงเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

2.2.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์เพื่อนำไปใช้เป็นอาหารและถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย เช่น อะซิติก บิวไทริก โพรไพโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็ก ชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของซับสเตรตและความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวถูกย่อยสลายกลายเป็นอะซิติกและไฮโดรคาร์บอนภายใต้สภาวะที่ความดันของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นบิวไทริกและโพรไพโอนิกเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นอะซิติก ไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิธี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำ หากไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงผลผลิตที่ได้ คือ กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

2.2.3 การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)

แบคทีเรียอะซิโตจีนิค (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนในการสร้างมีเทน การผลิตมีเทนโดยแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการซับสเตรตเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นซับสเตรตในการผลิตมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียอะซิโตจีนิค(ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศสำหรับการย่อยสลายกรดบิวไทริก และกรดโพรไพโอนิก ตามลำดับ



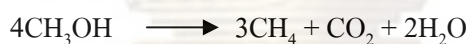
ขั้นตอนที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะในสถานะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกภายใต้สถานะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซิลสูง

2.2.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างก๊าซมีเทนภายใต้สถานะไร้ออกซิเจนอย่างเด็ดขาด

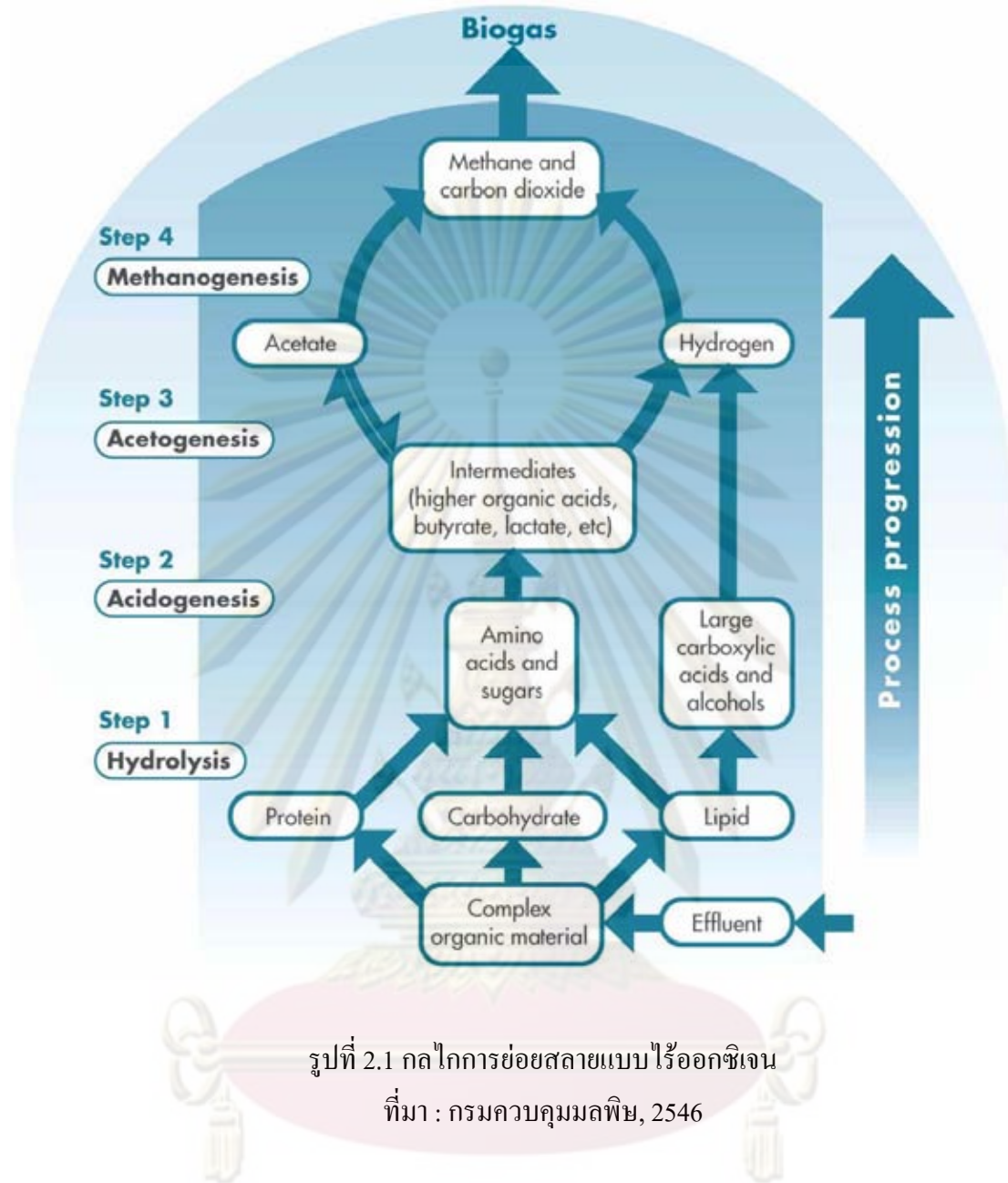


กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากกรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล กรดฟอร์มิก (HCOOH)



แผนภาพแสดงกลไกการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนแสดงในรูปที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2.3 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสามารถจำแนกได้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.3.1 แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria)

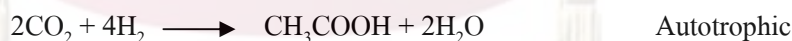
ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไร้ออกซิเจน กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาด (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้ เพราะแบคทีเรียชนิดเด็ดขาดมีจำนวนมากกว่า แบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาดที่มีบทบาทใน

การสร้างกรดไขมันระเหยก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบจึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดบิวไทริก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซีโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionic bacterium ที่ผลิตกรดโพรไพอิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลกติก

2.3.2 แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria)

เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลที่เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้อาจสามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- **แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดียว (Homoacetogenic Bacteria)** แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมา (เป็นกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน) ผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium acetivum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโตโทรฟิก (autotrophic) คือ ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน และก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทโรโทรฟิก (Heterotrophic) ก็ได้โดยการหมักน้ำตาลดังสมการ



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส Clostridium พบอยู่ทั้งในกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดไขมันระเหยทั่วไป (Acidogenic Bacteria) และกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จึงมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ

● **แบคทีเรียที่สร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (H₂-Producing Acetogenic Bacteria)** แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร และสร้างกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญเพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตามแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพังทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้นจะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและแบคทีเรียสร้างมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Syntrophy และต่างก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าอยู่เพียงลำพัง นั่นคือแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจะสร้างอาหารให้แบคทีเรียที่สร้างมีเทนส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนก็ช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียสร้างกรด

2.3.3 แบคทีเรียสร้างมีเทน

แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไม่ใช้ออกซิเจนชนิดเค็ดขาดไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้แม้มีเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทอโรโทรฟดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตโดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.1

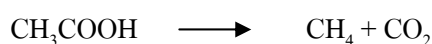
ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

สับสเตรตประเภทคาร์บอนไดออกไซด์	
คาร์บอนไดออกไซด์	
$\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^0 = -131 \text{ kJ/reaction}$
ฟอร์มेट, HCOO^-	
$4 \text{HCOO}^- + 4 \text{H}^+ \longrightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^0 = -145 \text{ kJ/reaction}$
คาร์บอนมอนอกไซด์, CO	
$4 \text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$; $\Delta G^0 = -210 \text{ kJ/reaction}$
สับสเตรตประเภทเมทิล	
Methanol, CH_3OH	
$4 \text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; $\Delta G^0 = -319 \text{ kJ/reaction}$
Methylamine, CH_3NH_2	
$4\text{CH}_3\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 4 \text{NH}_3$; $\Delta G^0 = -230 \text{ kJ/reaction}$
Dimethylamine, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	
$(\text{CH}_3)_2\text{NH} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2 \text{NH}_3$; $\Delta G^0 = -230 \text{ kJ/reaction}$
Trimethylamine, $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	
$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4 \text{NH}_3$; $\Delta G^0 = -666 \text{ kJ/reaction}$
Methylmercaptan, CH_3SH	
Dimethylsulfide, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$	
อะซิเตท	
Acetate, CH_3COO^-	
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$; $\Delta G^0 = -31 \text{ kJ/reaction}$

สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทริก หรือ โพรไพรอนิก ซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิคัลเฟด แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้

แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด ตามชนิดของสารอาหารที่ใช้ได้แก่

- เมทานोजินที่บริโภคนเฉพาะอะซิเตท (Obligate Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนที่ใช้กรดอะซิติกเป็นแหล่งพลังงาน ตามสมการดังนี้



● เมทานोजินที่บริโภคเฉพาะไฮโดรเจน (Obligate Hydrogenotrophic Methanogen หรือ Hydrogen Utilizer)

เป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน ตามสมการดังนี้



นอกจากก๊าซไฮโดรเจนแล้วแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถใช้กรดฟอร์มิกเป็นแหล่งอาหารเพียงอย่างเดียวได้เพราะกรดฟอร์มิกสามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

● เมทานोजินที่บริโภคได้ทั้งไฮโดรเจนและอะซิเตท (Hydrogenotrophic/Acetoclastic Methanogen) เป็นแบคทีเรียที่สร้างมีเทนได้ทั้งจากกรดอะซิติกหรือก๊าซไฮโดรเจน แต่ใช้ไฮโดรเจนได้ดีกว่า

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 กลุ่ม ที่เกี่ยวข้องกันได้แก่ แบคทีเรียพวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทนและแบคทีเรียพวกที่สร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่จะทำให้แบคทีเรียเหล่านี้อยู่ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ในการที่จะควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้แบคทีเรียนี้อยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และ ปัจจัยทางการทำงาน (Grady และคณะ, 1999 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546)

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental factor)

1) อุณหภูมิ (Temperature)

ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

- ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 50-65 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Thermophilic Bacteria
- ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Mesophilic Bacteria
- ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) จะมีอุณหภูมิประมาณ 5-15 องศาเซลเซียส โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า Psychrophilic Bacteria

สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ การทำงานของแบคทีเรียจะอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก และเทอร์โมฟิลิก การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงเทอร์โมฟิลิก แบคทีเรียจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าในช่วงมีโซฟิลิก โดยสามารถทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าช่วงมีโซฟิลิกประมาณร้อยละ 20-50 ดังนั้นสำหรับในต่างประเทศที่อยู่ในเขตนานจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำทิ้ง แต่สำหรับประเทศไทยนั้นระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกได้เองโดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วย แม้ว่าประสิทธิภาพของระบบในช่วงมีโซฟิลิกจะดีน้อยกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบในเรื่องของค่าใช้จ่าย พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนจะแพงมาก ทำให้ผู้ออกแบบในประเทศไทยไม่นิยมที่จะออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิก

นอกจากนี้แบคทีเรียยังมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในการออกแบบระบบจึงควรมีการป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิเพียง 2-3 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนอย่างมาก การรักษามุมของระบบให้มีความสม่ำเสมอ จึงมีความสำคัญมากกว่าการควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิอยู่ในจุดที่ให้อัตราการย่อยสลายสูงสุด (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2) พีเอช (pH)

แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogens) จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ (Methanogenesis) จะเกิดขึ้นได้ดีที่พีเอช 6.8–7.2 และพีเอชที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 7.0 (Diaz และคณะ, 1993) ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด (Acidogens) สามารถอาศัยอยู่ในสภาพที่พีเอชระหว่าง 5.0–8.0 นอกจากนี้ค่าพีเอชยังส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยจะส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นหรือออสโมลของสารต่างๆ เช่น กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid) แอมโมเนีย (NH_3) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะมีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียแตกต่างกัน ในการออกแบบระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ บางครั้งได้แยกขั้นตอนของการสร้างกรดและการสร้างมีเทนออกจากกัน (Two Stage Anaerobic Reactor) เพื่อที่จะทำให้สามารถย่อยสลายน้ำเสียที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือส่วนที่มีองค์ประกอบเป็นไฟเบอร์บางส่วนก่อน เช่น การหมักขยะอินทรีย์ เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

3) กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid: VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือ เมื่อมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง ระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออัตราส่วนของกรดโพรไพโอนิกต่อกรดอะซิติกเกิน 1.4 จะทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวได้ (Marchaim และ Krause, 1993 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546) อัตราของการเปลี่ยนกรดโพรไพโอนิกไปเป็นกรดอะซิติกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมดุลของระบบ โดยที่ถ้ามีกรดโพรไพโอนิกเหลืออยู่ในถังเป็นปริมาณมาก อัตราการเกิดก๊าซก็จะลดลงทำให้ระบบล้มเหลวได้

4) ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่างในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนตที่เกิดมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ความเป็นด่างนี้จะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีให้แก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของ

จุลินทรีย์ เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยภายในระบบเพิ่มสูงขึ้นความเป็นด่างไบคาร์บอเนตก็จะถูกทำลายไป การทำลายความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์นี้เป็นสาเหตุทำให้พีเอชลดลง

5) สารอาหาร (nutrient)

สารอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrient) ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) และสารอาหารรอง (micronutrient) ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิกเกิล (Ni) ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จุลินทรีย์ต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอย่างน้อยที่สุดต้องมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 150 : 1.1 : 0.2 (McCarty, 1964 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546) โดยใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์พลังงาน ไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก ดังนั้นในการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมจึงต้องใส่สารอาหารให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

6) สารพิษ (toxic substance)

สารบางอย่างถ้ามีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างสารพิษได้แก่

- อีออนประจุบวกของโลหะเบา (light metal cation) อีออนประจุบวกของโลหะเบา ได้แก่ โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชในระบบจะมีผลเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ซึ่งความเป็นพิษของมันเป็นปฏิกิริยาที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปริมาณของอีออนประจุบวกของโลหะเบาด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าใดแสดงดังตารางที่ 2.2

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีผลกระตุ้นและยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน (McCarty, 1964 อ้างถึงใน อาริยา วิรัชวรกุล, 2546)

ไอออนประจุบวก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	กระตุ้น	เริ่มยับยั้ง	ยับยั้งอย่างรุนแรง
โซเดียม	100 - 200	3,500 - 5,500	8,000
โพแทสเซียม	200 - 400	2,500 - 4,500	12,000
แคลเซียม	100 - 200	2,500 - 4,500	8,000
แมกนีเซียม	75 - 150	1,000 - 1,500	3,000

ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาแต่ละชนิดรุนแรงไม่เท่ากัน ไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์น้อยกว่าไอออนประจุบวกของโลหะเบาที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) จะมากกว่าพิษของโซเดียม (Na^+) และโพแทสเซียม (K^+) ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาจะเพิ่มขึ้นเมื่อวาเลนซ์สูงขึ้น ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาสามารถลดลงได้ถ้ามีไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วย โดยจะทำให้ความเป็นพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาชนิดแรกลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า แอนตาโกนิซึม (antagonism) แต่ในทางตรงกันข้ามไอออนประจุบวกของโลหะเบาบางชนิดจะไปเพิ่มพิษของไอออนประจุบวกของโลหะเบาอีกชนิดหนึ่งเมื่อมีอยู่ร่วมกัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ซินเนอจิสซึม (synergism)

● ก๊าซบางชนิด

- แอมโมเนีย (ammonia) เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยไนโตรเจนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เช่น โปรตีนเป็นแอมโมเนียในไนโตรเจน ซึ่งไนโตรเจนอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) โดยทั้งสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปมาได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมีแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่า แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมีก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) มากกว่าซึ่งจะยับยั้งการทำงานและมี

ความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์มากกว่าแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) จะเป็นพิษก็ต่อเมื่อมีความเข้มข้นประมาณ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในรูปของ NH_4^+ จะเป็นพิษเมื่อมีความเข้มข้นสูงเท่ากับ 7,000 - 9,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

- **ซัลไฟด์ (sulfide)** เกิดขึ้นในระบบไร้ออกซิเจนจากซัลเฟต (sulfate) ที่มีอยู่ในน้ำที่เข้าสู่ระบบ หรือเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์ เช่น โปรตีน ซึ่งซัลไฟด์ที่ละลายน้ำเท่านั้น และที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจึงจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ละลายน้ำขึ้นดังนั้นการเติมโลหะบางชนิด เช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลายได้ ซัลไฟด์จะถูกแยกออกมาอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ

- **โลหะหนัก (heavy metal)** ได้แก่ เหล็ก ดีบุก ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น ซึ่งไอออนของโลหะหนักเหล่านี้เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับว่าเกลือของโลหะหนักนั้นจะละลายน้ำได้มากน้อยเพียงใด และพิษของโลหะหนักจะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีอยู่ในของเสีย นั้น เพราะไฮโดรเจนซัลไฟด์จะรวมตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นเกลือซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำและตกตะกอน ถ้าของเสียมีปริมาณซัลไฟด์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนได้ก็จะต้องเติมเกลือซัลไฟด์หรือเกลือซัลเฟตลงไป เกลือทั้งสองชนิดจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ทำให้สามารถลดพิษของโลหะหนักลงได้

2.4.2 ปัจจัยทางการทำงาน (operational factor)

1) อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR)

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในระบบ และเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ต้องมีความเข้มข้นของแบคทีเรียในปริมาณพอเหมาะกับปริมาณสารอินทรีย์ จึงจะทำให้แบคทีเรียมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไปจะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง เนื่องจากแบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไปเพราะสภาพที่ไม่สมดุล ในทางตรงกันข้ามหากมีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบน้อยเกินไป จะทำให้การ

ใช้ถึงหมักไม่เต็มประสิทธิภาพไม่คุ้มค่าในการลงทุน และยังส่งผลให้แบคทีเรียในระบบปรับตัวเข้ากับสภาพสารอินทรีย์ที่มีปริมาณต่ำ ผลที่อาจจะตามมาคือระบบอาจจะล้มเหลวได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามธรรมชาติและชนิดของน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องปรับค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในการเดินระบบให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ใช้ด้วย สำหรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบ หาได้จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ หรือจากระบบจริงที่มีผู้เดินระบบสำเร็จมาแล้ว

2) เวลาพักพิชผลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อัตราเร็วของการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาพักพิชผลศาสตร์จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็ลดลงจนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ (wash out) ในอัตราที่เร็วกว่า จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลวได้ สามารถแก้ไขการที่จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบได้โดยการเพิ่มเวลาพักพิชผลศาสตร์ให้นานขึ้น นอกจากนี้เวลาพักพิชผลศาสตร์จะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบอีกด้วย

3) การกวน (mixing)

การกวนเป็นการทำให้ของเหลวและส่วนผสมที่อยู่ในระบบมีการผสมและกระจายตัวอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ช่วยให้ของเสียที่เข้ามาใหม่เข้าไปแทนที่ของเสียที่ถูกย่อยสลายแล้ว ทำให้ระบบมีการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การกวนยังช่วยป้องกันมิให้มีการแยกชั้นของของเสีย ซึ่งการแยกชั้นของของเสียจะสร้างปัญหาให้กับระบบ โดยตะกอนลอยด้านบนสุด (Scum) จะทำให้ประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนและเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในระบบลดลง ในทางปฏิบัติสามารถลดปัญหาการเกิดชั้นตะกอนลอยได้โดยการเพิ่มการกวนให้แก่ระบบ ถ้าหากระบบมีสภาพความเข้มข้นของแข็งต่ำ (ความเข้มข้นสารแขวนลอยน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีสารที่มีเส้นใยอยู่มากสามารถใช้การหมุนเวียนของเหลวหรือก๊าซที่เกิดขึ้นในถังเพื่อกวนผสมน้ำเสียได้ แต่หากระบบมีแนวโน้มการสะสมตัวของตะกอนลอยค่อนข้างสูง หรือสารแขวนลอยในน้ำเสียมามาก จำเป็นต้องใช้การกวนโดยใช้เครื่องมือทางกล เช่น ใบกวน เป็นต้น

2.5 ก๊าซชีวภาพ (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการย่อยสลาย และมีองค์ประกอบหลักคือก๊าซมีเทน (Methane; CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide; CO_2) ทั้งนี้ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถจุดติดไฟได้ และให้ค่าพลังงานความร้อนที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์

ก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้จากการหมักของเสีย น้ำเสีย รวมไปถึงวัตถุดิบทางการเกษตรที่เป็นสารอินทรีย์ โดยต้องเป็นการหมักภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ดังนั้นกระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจะอยู่ภายในภาชนะปิดหรือถังปิด นอกจากนี้อาจเกิดในบ่อน้ำที่มีความลึกมาก รวมไปถึงในชั้นตะกอนใต้บ่อ เป็นต้น วัตถุดิบที่สามารถใช้ในการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงมีมากมาย อาทิ มูลสัตว์ วัชพืช ขยะอินทรีย์ มันสำปะหลัง อ้อย น้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่เป็นสารอินทรีย์และมีค่าซีโอดีสูง โดยควรมีค่าซีโอดีสูงกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนมานานกว่า 10 ปี แต่เนื่องจากในอดีตราคาน้ำมันยังไม่สูงมากเมื่อเทียบกับในปัจจุบัน ทำให้ภาครัฐและเอกชนจึงไม่ค่อยให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ แต่ในสภาวะปัจจุบันที่ราคาน้ำมันมีความผันผวนและมีราคาสูง ทำให้ความต้องการพลังงานทดแทนราคาถูกรวมมากขึ้น

2.6 รูปแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

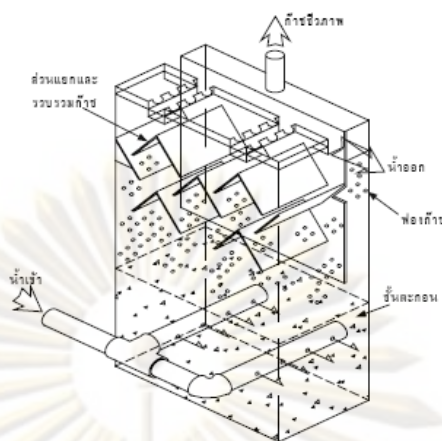
ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการกำจัดตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อลดปริมาตรและทำให้ตะกอนคงสภาพดีขึ้น ในประเทศเมืองหนาวจะนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปเผาในช่วง 20 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้จะนำไปใช้อุ่นน้ำเสียให้คงที่ประมาณ 37 ปีที่ผ่านมาได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายมากขึ้นอย่างมาก ด้วยเหตุผลหลักสองประการ คือช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถช่วยลดการใช้สารพลังงานของโรงงาน ระบบผลิตก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีรูปแบบหลัก 4 แบบ คือ ระบบหมักแบบตัวกลางกรอง (Anaerobic Filter; AF) ระบบหมักแบบคอนแทค (Anaerobic Contact; AC) ระบบหมักแบบยูเอเอสบี (Anaerobic Upflow Sludge Blanket; UASB) และระบบหมักแบบฟลูอิดไรซ์ (Anaerobic Fluidized Bed; AFB) โดยหลักการระบบหมักประสิทธิภาพสูงเหล่านี้ เป็นการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียให้สูงในถังหมัก

ระบบถังหมักแบบ AF ภายในจะบรรจุด้วยวัสดุกรอง (Packing media) ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีช่องว่างสูง โดยแบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกบนผิววัสดุกรอง นอกจากนี้พบว่าแบคทีเรียเป็นจำนวนมากอยู่ระหว่างช่องว่าง ข้อดีของระบบหมักนี้คือ สามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูงทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียและง่ายต่อการควบคุมระบบ แต่อย่างไรก็ตามระบบหมักนี้ก็มีข้อเสีย ได้แก่ ค่าก่อสร้างระบบสูงกว่าระบบอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากราคาของวัสดุกรองที่สูง และมีปัญหาอุดตันในระยะยาว ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้กับปริมาณน้ำเสียไม่สูงมากนัก และในการออกแบบระบบหมัก AF นี้จะต้องเลือกใช้วัสดุกรองที่มีช่องว่างและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และบรรจุเพียงร้อยละ 10-20 ของปริมาตรจุ ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน

ระบบถังหมักแบบ AC ซึ่งอาศัยหลักการนำตะกอนแบคทีเรียที่จมตัวในถังตกตะกอนย้อนกลับมาเติมในถังหมัก ซึ่งทำให้ถังหมักมีตะกอนแบคทีเรียสูง จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูง ระบบหมักแบบนี้มีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพสูง และค่าก่อสร้างระบบหมักไม่สูงมากนัก แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแลระบบ ทั้งนี้เนื่องจากต้องระวังในการควบคุมปริมาณแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสม ต้องมีการกวนผสมในถังหมักตลอดเวลา และตะกอนแบคทีเรียมีคุณสมบัติจมตัวยาก ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นที่ช่วยทำให้ตะกอนแบคทีเรียนี้จมตัวดีขึ้น ระบบถังหมัก AC นี้ มักใช้กับน้ำเสียปริมาณสูง ซึ่งทำให้ค่าก่อสร้างระบบต่ำกว่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมัก AF

ระบบหมักแบบยูเอสบี (UASB) เป็นระบบหมักที่ถูกพัฒนาในช่วงหลัง โดยอาศัยหลักการสร้างสภาวะในถังหมักให้เหมาะสม ทำให้แบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Granular bacteria) สามารถเจริญเติบโตและมีปริมาณสูงในถังหมัก เม็ดแบคทีเรียนี้มีความหนาแน่นสูงและมีปริมาณเซลล์สูง จึงทำให้ระบบหมักนี้มีประสิทธิภาพสูง ระบบหมัก UASB นี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในช่วงหลังมากกว่าระบบหมักแบบอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีค่าก่อสร้างต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากไม่ต้องการเครื่องกวนผสมและถังตกตะกอน และสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้สูง แต่อย่างไรก็ตามระบบหมัก UASB นี้มีข้อเสียคือมีความยุ่งยากในการเริ่มต้นเดินระบบ

ระบบหมักแบบ AFB มีหลักการที่ทำให้เม็ดวัสดุขนาดเล็กลอยตัวเป็นอิสระในถังหมัก (Fluidization) โดยแบคทีเรียจะเกาะเป็นเมือกบนผิวเม็ดวัสดุ ระบบหมักแบบนี้อาจกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก แต่มีข้อเสียที่มีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแล และมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งการก่อสร้างระบบหมักและการควบคุมดูแล ทั้งนี้เนื่องจากต้องมีการหมุนเวียนอัตราน้ำไหลขึ้นที่สูงและคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงทำให้ระบบหมักแบบนี้ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB

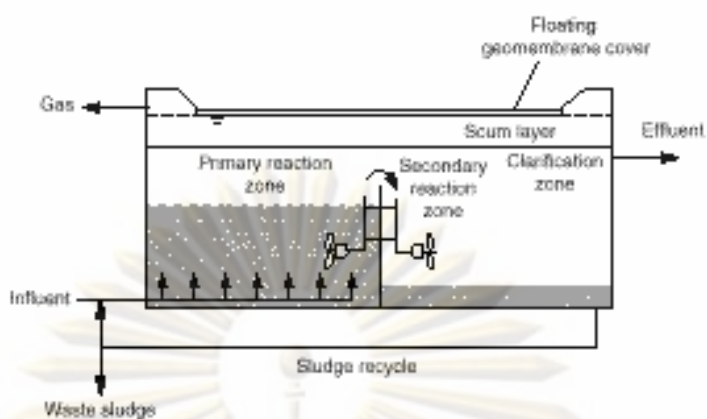
ที่มา : Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., 2005 อ้างถึงในกระทรวงพลังงาน,
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549

นอกจากหลักการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียในถังหมักดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้แก่ ระบบสองขั้นตอน (Two-Stage Process) การควบคุมระบบหมักอุณหภูมิสูง (Thermophilic Operation) ระบบผสม (Hybrid Process) และการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียโดยการกรอง (Membrane Filtration)

การควบคุมถังหมักที่อุณหภูมิสูง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพถังหมักได้โดยทำการควบคุมที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่แบคทีเรียอุณหภูมิสูง (Thermophiles) ทำงานได้ดีที่สุด การประยุกต์ใช้หลักการนี้จะเหมาะสมเมื่อน้ำเสียมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้ว เพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำเสีย

ส่วนการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียโดยการกรองนี้ กล่าวได้ว่าเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการเพิ่มปริมาณแบคทีเรีย และยังทำให้น้ำเสียที่ผ่านถังหมักแล้วมีคุณภาพดีที่สุด แต่การกรองนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานสูง จึงไม่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

ระบบ ADI-BVF เป็นระบบถังย่อยแบบอัตราต่ำ ซึ่งมีการกวนแบบไม่ต่อเนื่องและมีการหมุนเวียนสลัดจ์ ภายในถังย่อยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาที่บริเวณปลายทางน้ำเข้า และส่วนที่เกิดการตกตะกอนทำให้น้ำใสที่บริเวณปลายทางน้ำออก รูปแบบของถังปฏิกิริยาสามารถสร้างให้เป็นถังอยู่เหนือพื้นดิน หรือเป็นบ่อดินที่มีการปิดฝาด้วยเมมเบรนสำหรับนำก๊าซที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ใหม่ และเพื่อควบคุมอุณหภูมิและกลิ่น (Eckenfelder, 2000)



รูปที่ 2.3 ระบบ ADI-BVF

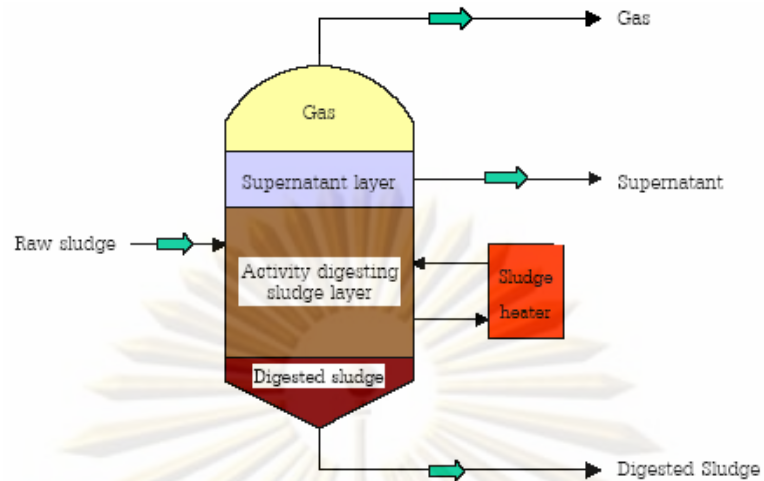
ที่มา : Metcalf และ Eddy, 2004

2.7 ระบบบำบัดแบบถังหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digester)

ถังหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digester) ทำหน้าที่ในการหมักย่อยของเสียทั้งในรูปของตะกอนและน้ำเสีย โดยมีผลพลอยได้เกิดขึ้นคือก๊าซชีวภาพ ในถังหมักไร้ออกซิเจนมีก๊าซอินทรีย์เกิดขึ้นจำนวนมากขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจากสารโมเลกุลใหญ่ โดยส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-65 และ CO_2 ประมาณร้อยละ 35-38 ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 2 จะเป็นก๊าซอื่นๆ ซึ่งได้แก่ NH_3 , CO , CS_2 , N_2 , N_2O , H_2 และ H_2S สัดส่วนของก๊าซขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในขณะที่เดินระบบ ได้แก่ อุณหภูมิ, องค์ประกอบของน้ำเสีย, พีเอช, สภาพค่า, ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (HRT), ระยะเวลาพักพักของแข็ง (SRT), สารพิษ, สารอาหารและธาตุอาหารเสริม (Metcalf และ Eddy, 2003; Gerardi, 2003)

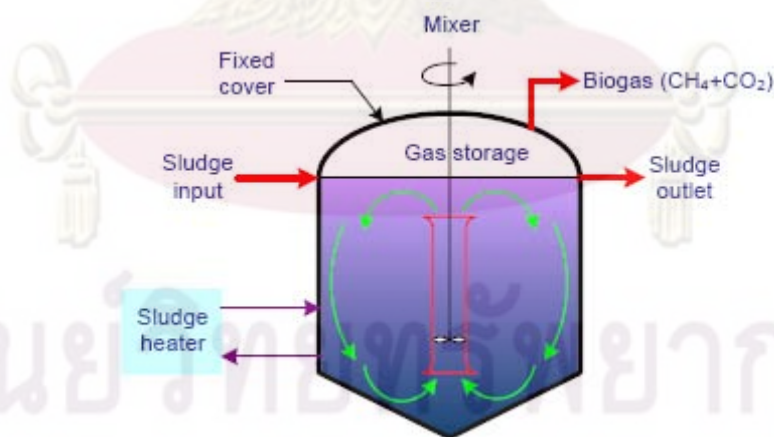
รูปแบบถังปฏิกริยาสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพอาจจะออกแบบเป็นขั้นตอนเดียว (Single-stage) หรือสองขั้นตอน (Two-stage) ดังรูปที่ 2.5-2.6 ซึ่งแต่ละรูปแบบสามารถแบ่งตามการระบายและเดินระบบได้ 2 ประเภทได้แก่

1) ถังย่อยแบบอัตราต่ำ (Low-Rate Digesters) เป็นถังปฏิกริยาแบบพื้นฐาน มีระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time; HRT) 30-60 วัน ภาระบรรทุก (Organic Loading Rate; OLR) 0.64-1.60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การเดินระบบอาจจะทำการผสม (Mixing) การเติมน้ำเสียและการเอาสลัดจ์ (Sludge) ออกเป็นครั้งคราว ถังปฏิกริยาชนิดนี้สามารถใช้ฝาปิดที่ลอยได้หรือแบบติดกับที่ แต่การใช้ฝาปิดชนิดติดกับที่จะไม่สะดวกในการเดินระบบหรือการทำงานของผู้เดินระบบ (Reynolde และ Richards, 1996) ดังรูปที่ 2.4

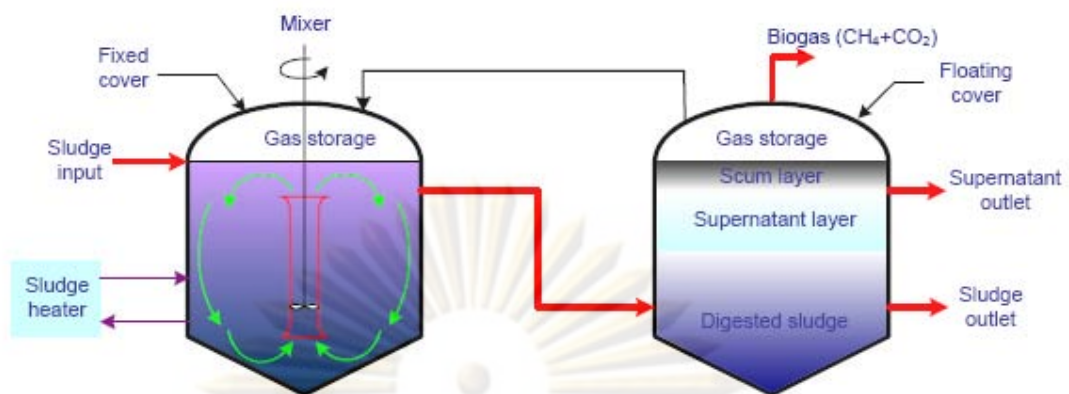


รูปที่ 2.4 ถังย่อยแบบอัตราต่ำ
ที่มา : มั่นสิน คัณกุลเวศม์, 2542

2) ถังย่อยแบบอัตราสูง (High-Rate Digesters) ถังปฏิกริยาชนิดนี้มีระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (HRT) 10-20 วัน ภาระบรรทุก 2.4-6.4 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน การเดินระบบจะทำการผสม เติมน้ำเสียและการทิ้งสลัดจ์อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปถังปฏิกริยาชนิดนี้มักจะใช้ฝาปิดแบบติดกับที่ (Reynolde และ Richards, 1996) ดังรูปที่ 2.5-2.6



รูปที่ 2.5 ถังย่อยแบบอัตราสูงชนิดชั้นตอนเดียว
ที่มา : Reynolde และ Richards, 1996



รูปที่ 2.6 ถังย่อยแบบอัตราสูงชนิดสองขั้นตอน

ที่มา : Reynolde และ Richards, 1996

2.7.1 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน (มันสิน ตันทุลเวศน์, 2542)

ระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายมีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าทำให้ช่วงการเริ่มเดินระบบ (Start up) ช้า อีกทั้งประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดต่ำจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของเหลว (Hydraulic Retention Time; HRT) นานขึ้น ระบบบำบัดจึงมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ระบบยังมีการปรับตัวไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และในระหว่างการบำบัดบางครั้งอาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) เกิดขึ้นด้วย ทำให้มีกลิ่นเหม็น ระบบนี้จึงมีข้อจำกัดการใช้งาน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบบำบัดแบบใช้อากาศ พบว่ามีข้อดีและข้อจำกัดดังนี้

- ข้อดีของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน

1. เกิดมวลตะกอนจุลินทรีย์น้อยมากจึงไม่เป็นภาระในการบำบัดตะกอน
2. ไม่ต้องใช้พลังงานในการเติมอากาศและได้ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงาน
3. สามารถใช้บำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เข้มข้นสูงได้
4. ระบบสามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ได้สูง
5. มีความต้องการสารอาหารต่ำ
6. ระบบตอบสนองต่อสารอินทรีย์ได้ไวหลังจากหยุดเติมสารอินทรีย์
7. ตะกอนที่เหลือมีสภาพคงตัวสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชได้

- **ข้อจำกัดของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน**

1. ใช้เวลาเริ่มต้นให้ระบบทำงาน (Start up) เพื่อสร้างมวลจุลินทรีย์นาน
2. ระบบต้องมีกำลังบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) สูงเพื่อไม่ให้ค่าพีเอชของระบบลดต่ำลงมากเกินไปซึ่งมีผลต่อแบคทีเรียในระบบได้
3. เกิดกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งมีสมบัติในการกัดกร่อนท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ได้
4. อ่อนไหวต่อสารพิษที่เข้ามาในระบบ
5. ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้
6. อ่อนไหวต่ออุณหภูมิที่ลดลงเป็นอย่างมาก จึงต้องเดินระบบในช่วงอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า โดยถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส อัตราการบำบัดจะลดต่ำลงมาก (Metcalf และ Eddy, 2004)
7. ในเขตหนาวต้องเสียค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนแก่ระบบ
8. คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง จึงต้องมีการบำบัดต่อด้วยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

2.7.2 ข้อมูลการออกแบบระบบถังหมักไร้ออกซิเจน

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบระบบถังหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digester) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการออกแบบระบบถังหมักไร้ออกซิเจน (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2547)

ตั้งย้อยแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digester)	ข้อมูลการออกแบบ	
1. สภาวะแวดล้อมที่ควรมี:		
พีเอช (pH)	> 6.0	
อุณหภูมิที่นิยมใช้ (°ซ)	35-40	
อุณหภูมิที่ทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (°ซ)	45-65	
2. ประเภทของระบบย่อยแบบไร้ออกซิเจน	อัตรามาตรฐาน	อัตราสูง
3. ระยะเวลาพักพักผลศาสตร์ (HRT) วัน	30-60	10-20
4. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	0.6-1.6	2.4-6.4
5. ก๊าซที่ผลิตได้จากระบบ:		
ก๊าซมีเทน (CH ₄)	60-70%	
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	25-30%	
ก๊าซอื่นๆ (H ₂ S, N ₂ ฯลฯ)	เล็กน้อย	

2.7.3 การหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจน

การหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจน เป็นการหมุนเวียนน้ำทิ้งบางส่วนจากทางน้ำออกของถังหมักไร้ออกซิเจนกลับไปยังทางเข้าของถังหมักไร้ออกซิเจนอีกครั้ง เพื่อ

1. เป็นเครื่องกวนผสมน้ำเสียให้กับถังหมัก ซึ่งการกวนผสมน้ำเสียนี้จะช่วยให้มีการสัมผัสกันระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ (seed) กับน้ำเสียเป็นไปอย่างทั่วถึง
2. ช่วยเจือจางน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง หรือน้ำเสียที่มีพิษก่อนเข้าระบบ ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

2.8 การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแบบไร้ออกซิเจนเริ่มนิยมแพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะสามารถประหยัดพลังงานในการเติมอากาศและยังได้พลังงานที่เกิดจากระบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ ก๊าซมีเทน เป็นต้น ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการหุงต้มทำอาหารได้และใช้ในการต้มน้ำในหม้อต้มน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมได้ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543)

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังนี้ คือ (อาริยา วิรัชวรกุล, 2546)

ก๊าซมีเทน (CH_4)	ร้อยละ 55 - 65
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	ร้อยละ 35 - 45
ก๊าซไนโตรเจน (N_2)	ร้อยละ 0 - 8
ก๊าซไฮโดรเจน (H_2)	ร้อยละ 0 - 1
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	ร้อยละ 0 - 1

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543)

สารอินทรีย์ในน้ำเสีย	ปริมาณผลิตก๊าซชีวภาพ
กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียที่ถูกกำจัด	0.38 ลบ.ม. มีเทน
กิโลกรัมซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	0.30 – 0.38 ลบ.ม. มีเทน 0.46 – 0.62 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ
กิโลกรัมวีเอสเอสเข้าระบบ	0.45 – 0.60 ลบ.ม. มีเทน 0.69 – 0.92 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ

2.9 นำเสียจากโรงงานผลิตสุรา

อุตสาหกรรมกลั่นสุราเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรหนึ่งที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศจำนวนมาก ปัจจุบันมีโรงงานกลั่นสุรา จำนวน 24 โรงงานซึ่งตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

2.9.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

สุรา เป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ (alcohol) น้ำและส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป สุราแบ่งตามประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรวบรวมไว้ได้ 3 ประเภท คือ (มาลี วิชาจารย์, 2530)

- 1) วัตถุดิบประเภทเมล็ดธัญพืช (Grain Distilleries) ได้แก่ สุราประเภทสก๊อชวิสกี้ (Scotch Whiskey) ผลิตจากเมล็ดธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเหนียว ข้าวเจ้า ข้าวบาเลย์ เป็นต้น
- 2) วัตถุดิบประเภทผลไม้ (Fruit Distilleries) เช่น สับปะรด องุ่น เป็นต้น ได้แก่ สุราประเภท ไวน์ (Wine) บรันดี (Brandy) แชมเปญ (Champagne)
- 3) วัตถุดิบประเภทกากน้ำตาล (Molasses Distilleries) เช่น สุราขาว สุราผสมรัม (Rum) เป็นต้น

2.9.2 กากน้ำตาล (Molasses)

กากน้ำตาล เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล โดยทั่วไป อ้อย 1 ตัน จะได้กากน้ำตาลประมาณ 50-58 กิโลกรัม ปริมาณการผลิตในแต่ละปีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของอ้อย ปริมาณกากน้ำตาลในปี 2548-2549 ได้ปริมาณกากน้ำตาลประมาณ 2.11 ล้านตัน กากน้ำตาลที่ผลิตได้จะใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออก การใช้ภายในประเทศส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสุราและแอลกอฮอล์ อีกทั้งยังใช้อุตสาหกรรมผลิตยีสต์ ซีอิ๊ว และผงชูรส

ในอนาคตคาดว่าจะการใช้กากน้ำตาลภายในประเทศจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะมีโครงการผลิตแอลกอฮอล์ขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นอีกหลายโครงการ

2.9.3 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล

กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้แก่

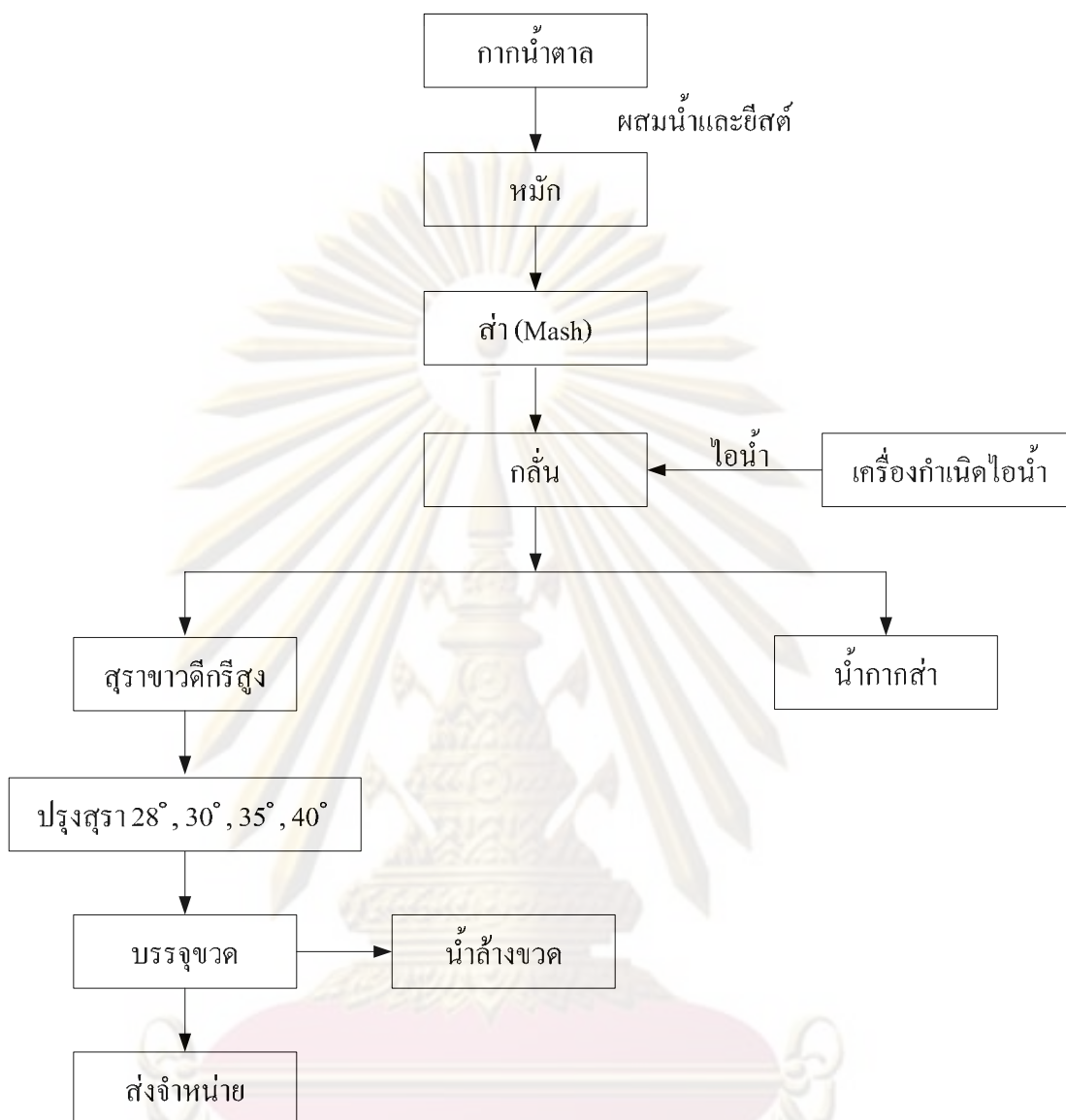
1) การหมักกากน้ำตาล (Fermentation) กากน้ำตาล (molasses) เป็นผลิตผลเหลือจากการผลิตของโรงงานน้ำตาล ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อัตราความเข้มข้นของน้ำตาลที่เหมาะสมในการหมักประมาณร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่า แล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) และอาหารเสริม การหมักใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่า เบียร์ (beer) หรือ แมช (mash) หรือน้ำสำ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

2) การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) น้ำกากสำถูกส่งมายังหอกลั่นแรก เพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้นี้ถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาว และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไป เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตร

3) การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรก จะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร หรือ 28° (28 degree) เรียกว่า สุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปิ้งให้ เหมาะสมและนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

4) การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สอง มาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตร หรือ 35° (35 degree) แล้วเติมสี สมนุไพร และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วัน ก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

สำหรับกระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาลของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่และแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากการกลั่นสุราดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาลของโรงงานสุรากลั่นขนาดใหญ่

ที่มา : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549

2.9.4 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานสุรา

น้ำเสียจากโรงงานสุรา แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) **น้ำเสียประเภทเข้มข้น** น้ำเสียส่วนนี้มีค่าบีโอดีสูงประมาณ 2,500 – 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ น้ำล้างถังหมัก และน้ำกากส่า แม้ว่าค่าบีโอดีจะแตกต่างกันประมาณ 14 เท่า แต่น้ำเสียทั้งสองนี้จะถูกนำไปบำบัดรวมกัน (สมศักดิ์ ดำรงเลิศ และมาลี วิศวจารย์, 2529)

2) **น้ำเสียประเภทเจือจาง** เป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีต่ำ ประมาณ 10 - 450 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น เป็นต้น น้ำเสียประเภทนี้ไม่นำมาบำบัดรวมกับน้ำกากส่า เนื่องจากมีค่าบีโอดีแตกต่างกันมากและมีปริมาณสูง

น้ำกากส่าเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ของโรงงาน เกิดจากกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ลักษณะของน้ำกากส่าจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาล โดยมีสารอาหารสำหรับพืชในปริมาณพอสมควรที่จะนำไปเป็นปุ๋ยหรืออาหารได้ ส่วนสีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่า นั้น เกิดจากสองสาเหตุด้วยกัน คือ เกิดจากสีของคาราเมลจากน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่มีเหลือในกากน้ำตาลที่ยีสต์ไม่ใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ซึ่งคาราเมลจากน้ำตาลนั้นเป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการที่น้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไป (วันชัย วงศ์เทียนชัย, 2545) และเกิดจากสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่างๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning Reaction) ซึ่งมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเข้ม และมีผลทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มด้วย สารนี้เป็นสารที่ถูกย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (ภาสศิลป์ ใจรังสี, 2547)

น้ำกากส่าแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากส่าขาว ได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากส่าแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากส่าแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เทต่อวัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (มาลี วิศวจารย์, 2530)

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา (กลุ่มบริษัทสุราทิพย์, 2542)

พารามิเตอร์น้ำเสียดิบ	ช่วงค่า	พารามิเตอร์น้ำเสียดิบ	ช่วงค่า
พีเอช	4.1-4.9	ไนโตรเจน (มก./ล.)	1,300-3,000
ซีโอดี (มก./ล.)	100,000-120,000	ซัลเฟต (มก./ล.)	4,000-9,800
ซีโอดีกรอง (มก./ล.)	80,000-91,000	ฟอสฟอรัส (มก./ล.)	100-180

2.9.5 การใช้ประโยชน์จากกากสำในปัจจุบัน

จากเอกสารการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียโรงงานผลิตสุรา กล่าวไว้ว่า การใช้ประโยชน์จากน้ำกากสำของโรงงานผลิตสุรา ขณะนี้มีการนำไปใช้ประโยชน์ยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบของน้ำกากสำจะพบว่าน้ำกากสำมีองค์ประกอบต่างๆ ที่ซับซ้อน ฉะนั้นการที่จะนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านจุลชีววิทยาก็ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถเฉพาะตัวในการที่จะใช้น้ำกากสำจากโรงงานผลิตสุราเป็นวัตถุดิบและให้ผลผลิตอื่นๆ อย่างไรก็ตามมีผู้นำน้ำกากสำมาใช้ประโยชน์บ้างดังต่อไปนี้

1) การนำน้ำกากสำมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ย โดยใช้หลักการ incineration ซึ่งกระทำได้โดยการใช้เครื่อง evaporator ที่ใช้ในโรงงานสุรบบางยี่ห้อ จังหวัดปทุมธานี ทำการเคี้ยวน้ำกากสำจนงวดแห้ง โดยให้มีเนื้อของแข็งประมาณร้อยละ 50 จากนั้นนำเนื้อของของแข็งดังกล่าวพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของหม้อน้ำ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และยังได้ผลพลอยได้ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีโปแตสเซียมในสัดส่วนที่สูงอีกด้วย ต่อมามีการนำหลักการดังกล่าวมาใช้กับน้ำกากสำที่ได้จากโรงงานผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสุรา

2) การนำน้ำกากสำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งปัจจุบันได้มีการค้นพบว่าจุลินทรีย์บางชนิด สามารถนำมาใช้สลายน้ำกากสำได้ ซึ่งใช้เวลาเพียง 1 เดือนเท่านั้น โดยมีวิธีการดังนี้ คือ นำน้ำกากสำดังกล่าวพ่นลงบนกองกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลหลังจากที่ตากกองกากอ้อยให้แห้งแล้ว กลับกองกากอ้อยด้วยรถแทรกเตอร์ แล้วพ่นน้ำกากสำลงบนกากอ้อยดังกล่าวอีก ทำดังที่กล่าวนี้สลับกันไป ก็จะได้ปุ๋ยหมักตามที่ต้องการ ซึ่งการผลิตปุ๋ยหมักดังกล่าวจะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากสำประมาณ 24 บาทต่อการบำบัดน้ำกากสำ 1 ลูกบาศก์เมตร

3) การนำน้ำกากสำมาราดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (road spray) ซึ่งพบเห็นทั่วไปในเขตใกล้เคียงที่มีโรงงานผลิตสุราตั้งอยู่ วิธีนี้แม้จะเป็นการลดฝุ่นของถนนลูกรังแต่ก็สามารถใช้ได้ ในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะในช่วงฤดูฝนน้ำกากสำเหล่านั้นจะถูกน้ำฝนชะล้างไป

4) การใช้น้ำกากสำในการเลี้ยงปลา (fish farming) จากการทดลองแม้ว่าจะใช้ได้ผลแต่ก็ใช้ในปริมาณที่จำกัด เนื่องจากหากใช้ในปริมาณที่มากไปแล้วจะเป็นอันตรายต่อปลาได้ ทั้งนี้เพราะจะทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลง

5) การนำน้ำกากสำมาเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว เนื่องจากในน้ำกากสำมีน้ำตาลฟรุคโตสเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งพบว่ามียีสต์หลายชนิดสามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ดี ฉะนั้นในการนำน้ำกากสำมาเลี้ยงยีสต์ดังกล่าวเพียงแต่เติมแหล่งไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต ยีสต์ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี หลังจากทำการแยกยีสต์ซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนออกไปแล้ว พบว่าน้ำกากสำดังกล่าวมีค่า บีโอดี และค่าซีโอดี ลดลง จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในน้ำกากสำได้อีกทางหนึ่งจากการเลี้ยงเชื้อ *S. cerevisiae* และ *Candida valida* ในน้ำกากสำสามารถผลิตโปรตีนได้ประมาณร้อยละ 45

6) การนำน้ำกากสำไปใช้ในการหมักก๊าซมีเทน การหมักดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์สาร โดยจุลินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน ซึ่งผลที่ได้คือ ก๊าซผสมซึ่งมีก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60 คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 30 และไฮโดรเจนซัลไฟด์กับ stabilized sludge (ซึ่งนำไปใช้เป็นปุ๋ย สำหรับก๊าซมีเทนที่ได้นั้นจะถูกนำไปใช้เผาไหม้ทำให้เกิดพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ของโรงงานต่อไป

7) มีการนำน้ำกากสำไปใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำ แต่มีอัตราส่วนการใช้น้อย เพราะอาจจะทำให้กุ้งตายได้ง่าย แต่ผลจากการใช้น้ำกากสำนี้จะให้อัตรการรอดของลูกกุ้งสูงขึ้นและกินอาหารได้ดี มีการเติบโตที่รวดเร็ว

2.9.6 การบำบัดน้ำกากสำ

เนื่องจาก โรงงานผลิตสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะเมื่อน้ำล้นคลองปนเปื้อน จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากสำที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน ซึ่งจะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิด และปริมาณน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบบำบัด (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2527 อ้างถึงใน วันชัย วงศ์เทียนชัย, 2545) โดยระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และทางชีวภาพ

1) กระบวนการบำบัดทางเคมี การตกตะกอนสีน้ำกากสำด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษาพบว่า สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำกากสำด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีน้ำกากสำ คือ สารส้ม 35 กิโลกรัมต่อน้ำกากสำสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาท

ต่อน้ำอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (สถาบันสิ่งแวดล้อม และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย, 2525)

2) **กระบวนการเคมีไฟฟ้า** กระบวนการนี้ใช้หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบ อิเล็กโทรไลติกเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว และสารละลายนำไฟฟ้า เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้า จะเกิดปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนัก หรือ องค์ประกอบของสีในน้ำ (ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2547) ซึ่งการนำกระบวนการนี้มาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำอากาศนั้น ส่วนใหญ่ใช้เพื่อการกำจัดสีใน น้ำอากาศ

3) **กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ** กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท หลักๆ คือ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งการบำบัด น้ำอากาศที่มีลักษณะสารอินทรีย์ในปริมาณสูงนั้น ทำให้กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้รับความสนใจมากกว่า ดังนั้น จึงนิยมใช้กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการแรกในการบำบัด และใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการบำบัดถัดไป (Nandy และคณะ, 2002 อ้างถึงใน Satyawali และ Balakrishman, 2008)

การใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว นั้น ไม่เหมาะสม เนื่องจาก กระบวนการดังกล่าวต้องการพลังงานปริมาณมากในการเติมอากาศ หรือ การทำให้เย็น (cooling) นอกจากนี้ ร้อยละ 50 ของปริมาณซีโอดี จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสลัดจ์ (Sennitt, 2005 อ้างถึงใน Satyawali และ Balakrishman, 2008) ซึ่งตรงข้ามกับกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจน ที่มีการเปลี่ยน ปริมาณซีโอดีมากกว่าร้อยละ 50 เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Wilkie และคณะ, 2004 อ้างถึงใน Satyawali และ Balakrishman, 2008)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 การบำบัดน้ำกากส่า

กัณทมาศ สุทธิเรืองวงศ์ (2538) ศึกษาการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำกากส่าด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ระบบการทดลองใช้เซลล์อิเล็กโทรด 3 ชนิด คือ ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ เหล็ก และอะลูมิเนียม จัดเรียงอิเล็กโทรดแบบโมโนพาร์ ทำการทดลองเป็นแบบกะและใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการทดลองที่อัตราเจือจางน้ำกากส่า 5, 10 และ 20 เท่า จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีและสารอินทรีย์ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า พื้นที่ผิวอิเล็กโทรด และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ระบบที่ใช้ไทเทเนียมเคลือบแพลทินัมสีดำ

เฉลิมเกียรติ อินทโชติ และสุรวินท์ กัดแก้ว (2541) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราที่ผ่านถึงสร้างกรดมาแล้วโดยระบบยูเอเอสบี การศึกษาได้ใช้แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการขนาดปริมาตร 22.3 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 นิ้ว สูง 5.0 เมตร จำนวน 1 ชุด ทำการทดลอง 2 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 ใช้เวลาสั้นเพื่อปรับสภาพตะกอน ระบบจึงไม่อยู่ในสภาวะคงที่ ส่วนการทดลองที่ 2 ทดลองจนเข้าสู่สภาวะคงที่ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจาก โรงงานสุราซึ่งจะถูกเจือจางด้วยน้ำประปาในอัตราส่วน น้ำเสียต่อน้ำประปา 1:10 และ 1:2 น้ำเสียจะถูกสูบเข้าถังสร้างกรด ขนาด 5.12 ลิตร มีเวลาเก็บกักน้ำ 1 วัน น้ำที่ผ่านถึงสร้างกรดจะมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 16,600 และ 83,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าพีเอชเฉลี่ย 4.6 จะถูกสูบเข้าสู่ถังยูเอเอสบี การเริ่มต้นระบบโดยใช้หัวเชื้อจากตะกอนบ่อเกรอะ ที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองเป็นเวลา 132 วัน ที่เวลากักเก็บน้ำในถังยูเอเอสบี 15.2 วัน มีอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ 1.1 และ 5.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดค่าซีโอดีและตะกอนแขวนลอยได้ร้อยละ 16.7-23.2 และ 35.6-48.4 ตามลำดับความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบมีค่า 200-389 ลิตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

ทรงพล ครามโกมุท (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดสีและซีโอดีของน้ำกากส่าด้วยระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศจำนวน 2 คอลัมน์ ซึ่งภายในคอลัมน์จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนที่แตกต่างกัน การทดลองจะใช้คอลัมน์จำนวน 2 ชุดที่ทำด้วยวัสดุพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร และสูง 2,800 มิลลิเมตร โดยภายในคอลัมน์ที่ 1 จะบรรจุตัวกลางโพลีเอทิลีนรูปวงแหวนที่มีพื้นที่ผิว 187 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลาง ในขณะที่ภายในคอลัมน์ที่ 2 จะบรรจุตัวกลางพลาสติกโพลีเอทิลีนรูปทรงกลมที่มีพื้นที่ผิว 135 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรของตัวกลาง และกำหนดให้ความสูงของชั้นตัวกลางภายในคอลัมน์ทั้งสองสูงเท่ากัน คือ 1.25 เมตร และทำการป้อนน้ำเสียกากส่าเป็นแบบ

ไหลขึ้นที่อัตราสูบ 7.5 ลิตรต่อวัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำกากสำเป็น 3,500 และ 4,500 ซึ่งคิดเป็นอัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่หนึ่งเท่ากับร้อยละ 58 และ 65 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 55 และ 65 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ และคอลัมน์ที่ 1 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 41 และ 45 และสำหรับคอลัมน์ที่ 2 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 45 และ 51 ที่อัตราภาระอินทรีย์ 2.33 และ 3 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

วันชัย วงศ์เทียนชัย (2545) ทำการศึกษาผลของสารอาหารปฐมภูมิที่มีผลต่อการกำจัดซีโอดีและซีไอโอดี ในน้ำกากสำ ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด ตามปริมาณสารอาหารที่ใช้ต่อซีโอดีน้ำกากสำ คือ 1: 1 1: 2 และ 1: 3 ตามลำดับ การทดลองทั้ง 3 ชุด ใช้น้ำกากสำเข้มข้นจากบ่อบำบัดไร้ออกซิเจน เจือจางให้มีซีโอดีประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร สารอาหารที่เติม ได้แก่ น้ำตาล¹ นมถั่วเหลือง และน้ำตาล² (เป็นน้ำตาลที่ใส่ในการทดลองเท่ากับปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในส่วนประกอบของนมถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ) ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ทำด้วยท่อพีวีซี รูปทรงกระบอกสูง 2 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.084 เมตร ภายในมีการบรรจุตัวกลางทรงกลม ให้ลอยอยู่ทางด้านบนของถังปฏิกิริยา โดยชั้นของตัวกลางมีความสูงทั้งหมด 0.7 เมตร ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองใช้ถังปฏิกิริยาแบบเดียวกัน จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเติมสารอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี โดยนมถั่วเหลืองให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกับน้ำตาล และการเพิ่มอัตราส่วนซีโอดีสารอาหารต่อซีโอดีน้ำกากสำนั้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นในสารอาหารประเภทนมถั่วเหลือง ส่วนในกรณีของ น้ำตาล¹ และน้ำตาล² ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ภาศัลย์ ใจรังสี (2547) ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนซึ่งจมตัวอยู่ในถังปฏิกิริยาชีวภาพ โดยศึกษาน้ำกากสำที่ออกจากหมัก โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลองในสัดส่วนของระบบทดลอง น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ นำมาจากน้ำกากสำที่ออกจากหมักแล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำประปา 227, 200 และ 133 เท่า สำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22, 0.25 และ 0.375 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอสต่อวัน ตามลำดับ ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ การทดลองที่ 1 ศึกษารอบการเติมอากาศที่ 60 นาที และ 90 นาที ผลปรากฏว่า การกำจัดซีโอดี ฟอสฟอรัส และสี มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่รอบการเติมอากาศ 90 นาที สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าเล็กน้อย คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศที่ 60 นาที

เพียงพอ ต่อการดำเนินการในงานวิจัยนี้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อระบบ ซึ่งใช้ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22, 0.25 และ 0.375 กิโลกรัมบีโอดีต่อกิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส ต่อวัน สามารถสรุปได้ว่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ คุณภาพน้ำออกในแต่ละชุดการทดลองผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุตะกอนที่มีต่อระบบ ผลปรากฏว่า อายุตะกอนที่ 50 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินการมากกว่า โดยที่คุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน และผ่านมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จากทั้ง 3 การทดลองสรุปได้ว่า ระบบที่เหมาะสมคือ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และควบคุมอายุตะกอนที่ 50 วัน ซึ่งสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 96.67 กำจัดไนโตรเจนได้ร้อยละ 87.77 กำจัดฟอสฟอรัสได้ร้อยละ 98.32 และลดสีได้ร้อยละ 32.39 และมีค่าใช้จ่ายโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

สุเมธ ขวเดช (2539) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบยูเอสบีในการบำบัดน้ำกากส่า โดยการควบคุมที่อุณหภูมิสูง ถึงยูเอสบีที่ใช้ในการศึกษานี้ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม มีขนาดจุ 34.7 ลิตร ความสูง 172 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร คอลัมน์ยูเอสบีมีช่องน้ำขึ้นนอกเพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 55 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือ 5.2 และ 7.1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับการกำจัดซีโอดีสูงสุด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ตามลำดับ ภายใต้สภาวะอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 10.1 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ระบบยูเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 44 และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.099 ลูกบาศก์เมตร กิโลกรัมซีโอดีในระบบ

Akunna และ Clark (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ (Granular-bed anaerobic baffled reactor: GRABBR) ในการบำบัดน้ำเสียจากการกลั่นสุรา พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงได้ดีและมีเสถียรภาพ กำจัดซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 80 เมื่อมีค่าภาระสารอินทรีย์ 4.75 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จุลชีพที่พบในระบบคือแบคทีเรียสร้างกรดและแบคทีเรียสร้างมีเทน โดยพบแยกกันในส่วนต้นและส่วนท้ายของระบบตามลำดับ ระบบ GRABBR มีการกักพักของตะกอนสูง และความเข้มข้นสารแขวนลอยที่วัดได้มีค่าประมาณ 80 มิลลิกรัมต่อลิตรในทุกสภาวะการทดลอง

Ratanatamskul และ Nuntiwawat (2006) ศึกษาผลของอัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและโครงสร้างของเม็ดตะกอนโดยระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา โดยกำหนดให้อัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์เข้าระบบมีค่าเท่ากับ 5, 10 และ 15 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ความเร็วไหลขึ้นของ

ถึงปฏิกรณ์เป็น 3 และ 5 เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าที่ความเร็วไหลขึ้น 3 เมตรต่อชั่วโมง ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 1.4, 4.5 และ 5.7 ลิตรต่อวัน เมื่อเปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นเป็น 5 เมตรต่อชั่วโมง ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเดียวกับที่ความเร็วไหลขึ้น 3 เมตรต่อชั่วโมง อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดอยู่ในช่วง 100-280 ลิตรต่อกิโลกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน ทั้งความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 เมตรต่อชั่วโมง และจากการทดลองได้เพิ่มอัตราการระบายทุกสารอินทรีย์จาก 15 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน เป็น 25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในถึงปฏิกรณ์เท่ากับ 9.0-9.5 ลิตรต่อวัน ทั้งสองความเร็วไหลขึ้น และส่งผลต่อโครงสร้างเม็ดตะกอน โดยจะทำให้โพรงช่องว่างมีขนาดใหญ่ขึ้น

2.10.2 ระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสีย

ชาลิต รัตนธรรมสกุล และสุชัญญา ทองเครือ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดแบบอีจีเอสบี โดยใช้ น้ำเสียชุมชนประเภทอาคารเรียน จากอาคารเจริญวิสุกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าเมื่อความเร็วไหลขึ้นคงที่เท่ากับ 4.5 เมตรต่อชั่วโมง และเปลี่ยนแปลงสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับเป็น 1:3, 1:7, 1:11 และ 1:15 ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 69.2 72.6 76.3 และ 74.6 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 72.7 73.5 76.6 และ 75.6 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 74.0 77.4 81.7 และ 73.3 ตามลำดับ และคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบอีจีเอสบีผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร

Jeison และ Chamy (1999) เปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียยูเอเอสบีและอีจีเอสบี โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์เจือจางด้วยน้ำประปาให้มีค่าชีโอดีเหลือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วไหลขึ้น 1.8-10.5 เมตรต่อชั่วโมง ในระบบอีจีเอสบีและความเร็วไหลขึ้น 0.6-1.3 เมตรต่อชั่วโมง ในระบบยูเอเอสบีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งสองระบบใกล้เคียงกันคือร้อยละ 80 ลักษณะชั้นตะกอนในระบบยูเอเอสบีอัดแน่นกว่าระบบอีจีเอสบี อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดในระบบอีจีเอสบีลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้น (Vup) มีค่า 0.4-0.25 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด เนื่องจากความปั่นป่วนของน้ำที่เกิดจากการเวียนน้ำเป็นผลทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นละลายลงในกระแส (Outlet stream) ส่วนระบบยูเอเอสบีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 0.25 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าอันดับดีที่สุดที่สุดในระบบอีจีเอสบีและระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีมากกว่าระบบยูเอเอสบีเพียงร้อยละ 5-10 สำหรับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

Lettinga และคณะ (1993) แนะนำให้ใช้น้ำเข้ามีค่าซีโอดีในขณะเริ่มต้นเดินระบบ อยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำเสียที่เข้มข้นสูงควรหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อเจือจาง น้ำเข้าระบบให้มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อลดปริมาณสภาพต่างที่ต้องเติมและ เพิ่มการสัมผัสระหว่างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และน้ำเสีย ใช้การหมุนเวียนน้ำกลับเพื่อฟื้นระบบ ยูเอเอสบีที่ล้มเหลว เนื่องจากมีกรดสะสมในระบบจำนวนมากในจำนวนมากในการบำบัดน้ำเสีย ชุมชน

Van der Last และ Lettinga (1992) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 250-350 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 120 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร และสูง 4 เมตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบีที่ใช้น้ำบำบัดน้ำเสียของโรงงานเยื่อกระดาษ และ ทำการปรับอัตราการสูบน้ำเวียนกลับ เพื่อให้ความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์อยู่ในช่วง 5-7 เมตรต่อ ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาพักน้ำเสีย 2 ชั่วโมง พบว่า ที่น้ำเสียเข้าระบบมีค่าซีโอดี 350 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ระบบสามารถลดค่าซีโอดีลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 84 และในขณะที่น้ำเสียเข้าระบบมีค่าซีโอดี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบสามารถลดค่าซีโอดีลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 69

Yacob และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบถังหมัก ไร้ออกซิเจนแบบปิดขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร เพื่อเป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในการบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และศึกษาเปรียบเทียบกับระบบถังหมัก ไร้ออกซิเจนแบบเปิดก่อนการ บำบัดจริง โดยมีการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากก้นถังกลับไปสู่ด้านบนของถังที่อัตรา 125 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง พบว่าระบบบำบัดแบบถังหมัก ไร้ออกซิเจนแบบปิดมีประสิทธิภาพดีที่ระยะเวลาพัก ชลศาสตร์ (HRT) 17 วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

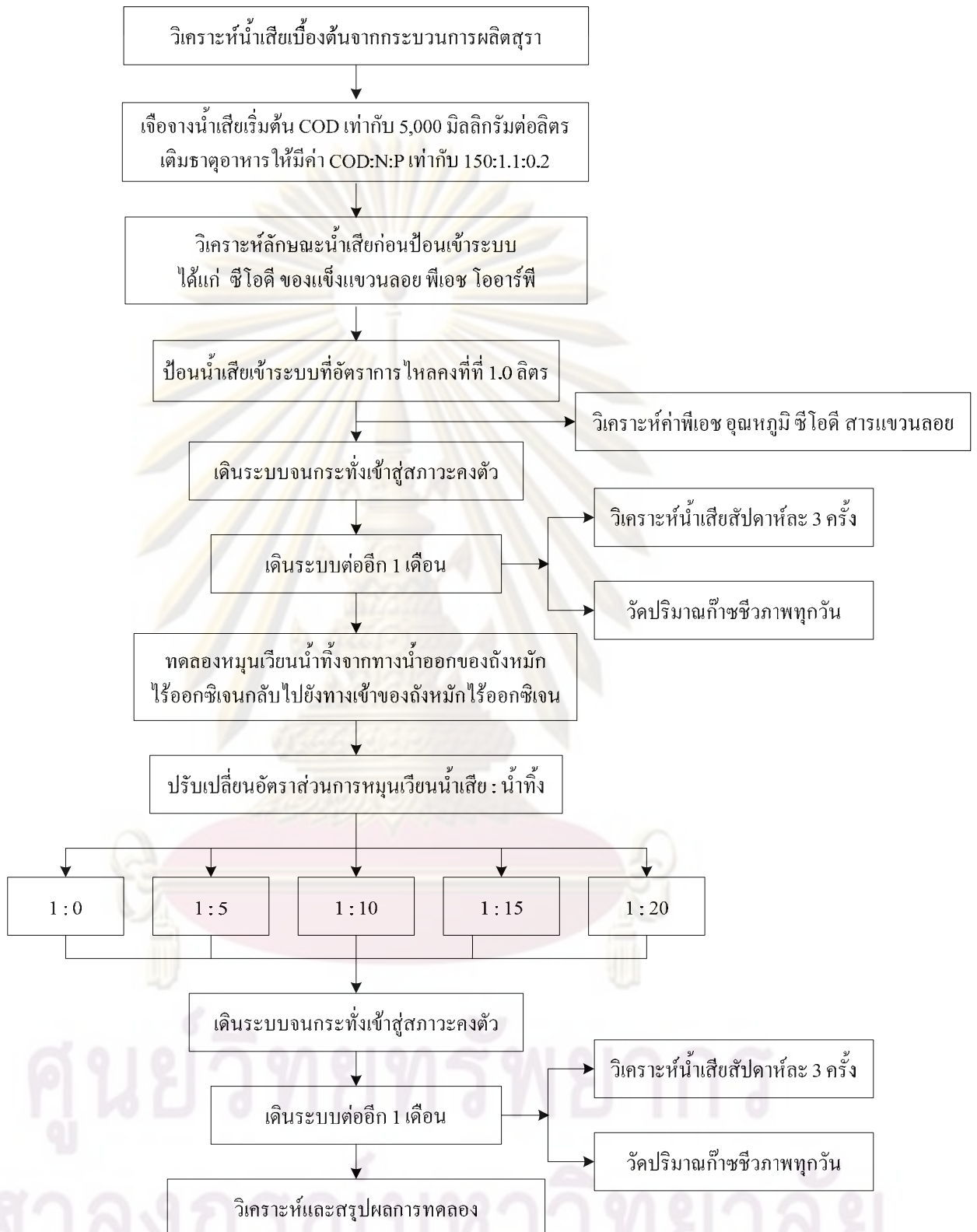
3.1 แผนการทดลอง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า โดยศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่มีต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยใช้ ถังหมักไร้ออกซิเจนและศึกษาผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองที่ อุณหภูมิห้อง โดยถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ปริมาตรการทำงานของถังหมักเท่ากับ 20 ลิตร จำนวน 3 ชุด ด้านบนของถังมีท่อนำก๊าซต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซแบบแทนที่น้ำ โดยการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาผลของอัตราการเวียนน้ำเสียต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองโดยใช้ค่า ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยกำหนดให้ระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ครั้งที่ 20 วัน และอัตราการไหลของน้ำเสียดิบเข้าระบบคงที่ 1.0 ลิตรต่อวัน ในทุกชุดการทดลอง จากนั้นเมื่อ ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ทำการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากทางน้ำออกของถังหมักไร้ออกซิเจนกลับไปยัง ทางเข้าของถังหมักไร้ออกซิเจน โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสีย: น้ำทิ้ง ในแต่ละชุด การทดลองดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

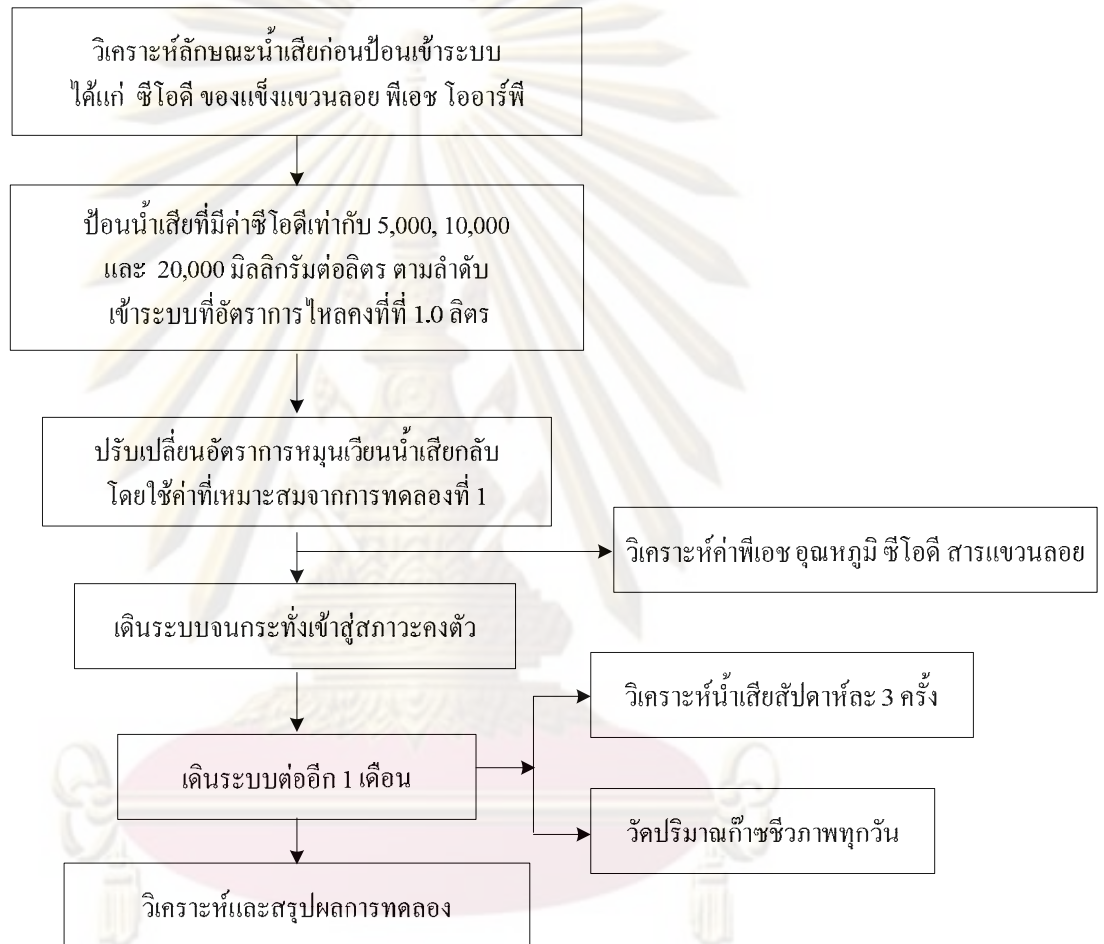
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองผลของอัตราการเวียนน้ำเสีย

ชุดการทดลองที่	อัตราส่วนน้ำเสีย ต่อ น้ำหมุนเวียน	อัตราไหลเข้า (ลิตรต่อวัน)	อัตราหมุนเวียนน้ำ เสียกลับ (ลิตรต่อวัน)	อัตราภาระบรรทุก สารอินทรีย์ (กิโลกรัมซีโอดีต่อ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)	ระยะเวลาพักพัก ชลศาสตร์ (วัน)	ค่าซีโอดีตั้งต้น ของน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1 (ชุดควบคุม)	1:0	1.0	-	0.25	20	5,000
2	1:5	1.0	5.0	0.25	20	5,000
3	1:10	1.0	10.0	0.25	20	5,000
4	1:15	1.0	15.0	0.25	20	5,000
5	1:20	1.0	20.0	0.25	20	5,000



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลองที่ 1

ส่วนที่ 2 เป็นการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ (ค่าความเข้มข้นชีโอดีเริ่มต้นจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยกำหนดให้ระยะเวลาพักพักชดสสารที่ 20 วัน และอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบคั้งที่ 1.0 ลิตรต่อวัน โดยใช้อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพขั้นตอนการทดลองที่ 2

3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ในการทดลองมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปรได้แก่ ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่ ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา และตัวแปรตามที่ทำกรวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1

ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ปริมาตรถังหมัก	20 ลิตร
ชนิดและองค์ประกอบของน้ำเสียตั้งต้น	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุรา
ซีโอดีน้ำเสียป้อนเข้าระบบ	5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ระยะเวลาพักพิภพศาสตร์	20 วัน
อัตราการป้อนน้ำเสีย	1.0 ลิตรต่อวัน
ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย	1:0 (ชุดควบคุม) 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20
ตัวแปรตามที่ทำกรวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด	หลักการแทนที่น้ำ
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี
ของแข็งแขวนลอย	วิธีอบแห้งที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส
ซีโอดีกรอง	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
ซีโอดี	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
สภาพต่าง	วิธีการไตเตรท
กรดอินทรีย์ระเหย	วิธีการไตเตรท
ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ไออาร์พี	เครื่องวัดไออาร์พี
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 2

ตัวแปรที่กำหนดให้คงที่	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ปริมาตรถังหมัก	20 ลิตร
ชนิดและองค์ประกอบของน้ำเสียตั้งต้น	น้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุรา
อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย	ค่าที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1
ระยะเวลาที่กักพักขลศาสตร์	20 วัน
อัตราการป้อนน้ำเสีย	1.0 ลิตรต่อวัน
ตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ซีไอดีน้ำเสียป้อนเข้าระบบ	10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรตามที่ทำการวิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด	หลักการแทนที่น้ำ
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี
ของแข็งแขวนลอย	วิธีอบแห้งที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส
ซีไอดีกรอง	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
ซีไอดี	วิธีรีฟลักซ์แบบปิด
สภาพต่าง	วิธีการไตเตรท
กรดอินทรีย์ระเหย	วิธีการไตเตรท
ค่าพีเอช	เครื่องวัดพีเอช
ไออาร์พี	เครื่องวัดไออาร์พี
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ทำการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์และถังปฏิกิริยาตามแผนผังที่แสดงในรูปที่ 3.3 โดยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

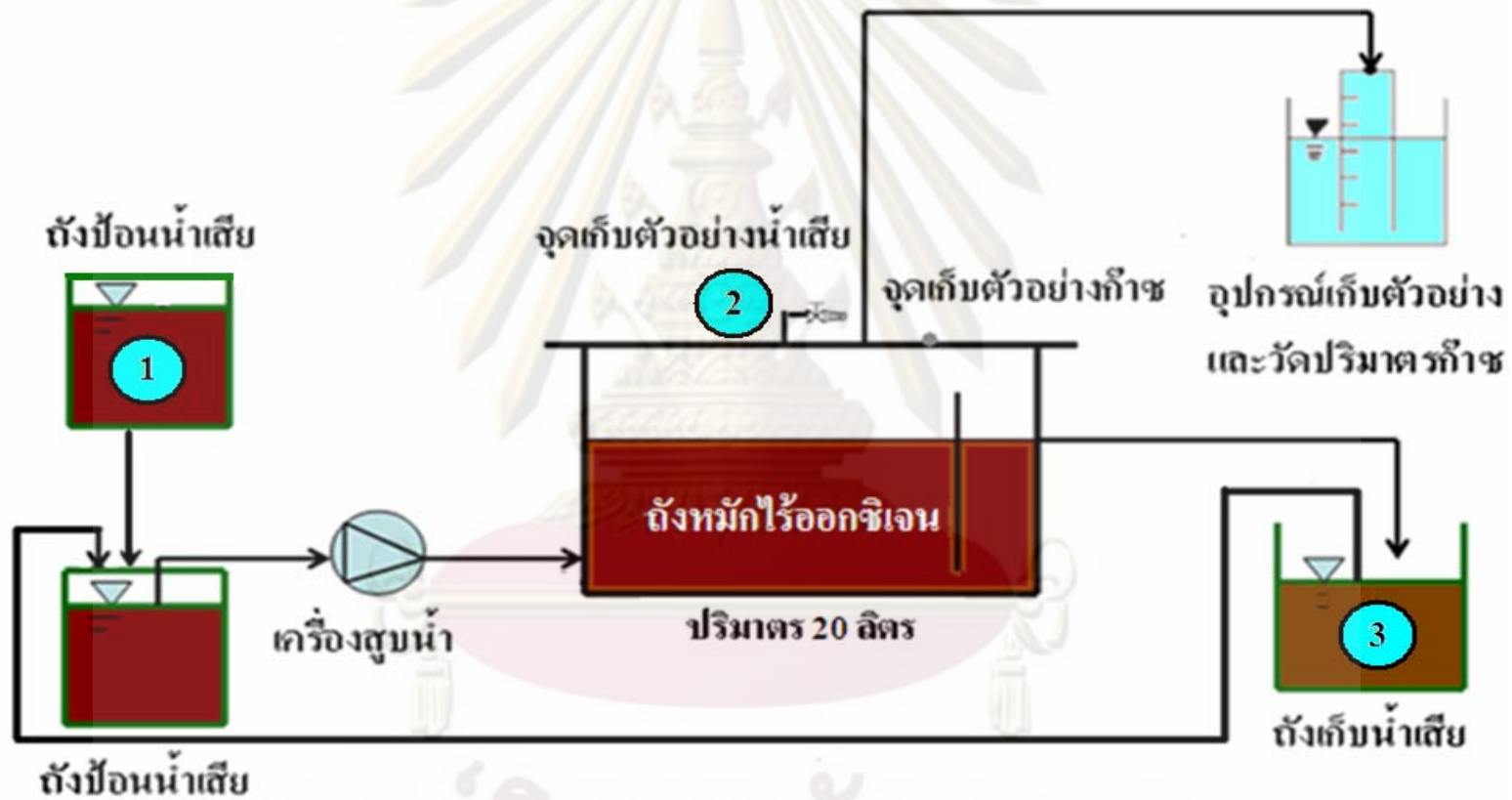
1) ถังหมักแบบไร้ออกซิเจน มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูปที่ 3.4 จำนวน 3 ถัง ปริมาตรการทำงานของถังหมักเท่ากับ 20 ลิตร (ความกว้าง 17 เซนติเมตร ความยาว 60 เซนติเมตร ความลึก 20 เซนติเมตร) ภายในถังหมักจะมีแผ่นกั้นแบ่งถังหมักออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาที่บริเวณปลายทางน้ำเข้า และส่วนที่เกิดการตกตะกอนทำให้น้ำใสที่บริเวณปลายทางน้ำออก โดยส่วนแรกจะมีการติดตั้งท่อที่มีรูสำหรับกระจายน้ำเสียที่เข้าสู่ถัง ด้านบนของถังมีท่อนำก๊าซต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซแบบแทนที่น้ำ และมีสายยางพลาสติกใสซึ่งจะมีวาล์วปิดเปิดใช้ในการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังหมักแบบต่อเนื่อง ก่อนที่จะนำถังหมักไปใช้ในการทดลองจะต้องมีการตรวจสอบรอยรั่วบริเวณรอยต่อให้ดีเสียก่อนเพื่อไม่ให้ก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ระบบได้โดย การใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่างๆ จากนั้นเป่าลมเข้าสู่ถังหมัก หากมีรอยรั่วฟองสบู่จะขยายขึ้นให้อุจรรอยรั่วโดยใช้กาวยางซีลิกอนและทำการตรวจสอบซ้ำอีก 2-3 ครั้ง

2) ถังป้อนน้ำเสีย น้ำเสียที่ทำการเจือจางให้มีความเข้มข้นของค่าซีโอดีเริ่มต้นเรียบร้อยแล้วจะถูกเก็บไว้ในถังป้อนน้ำเสีย

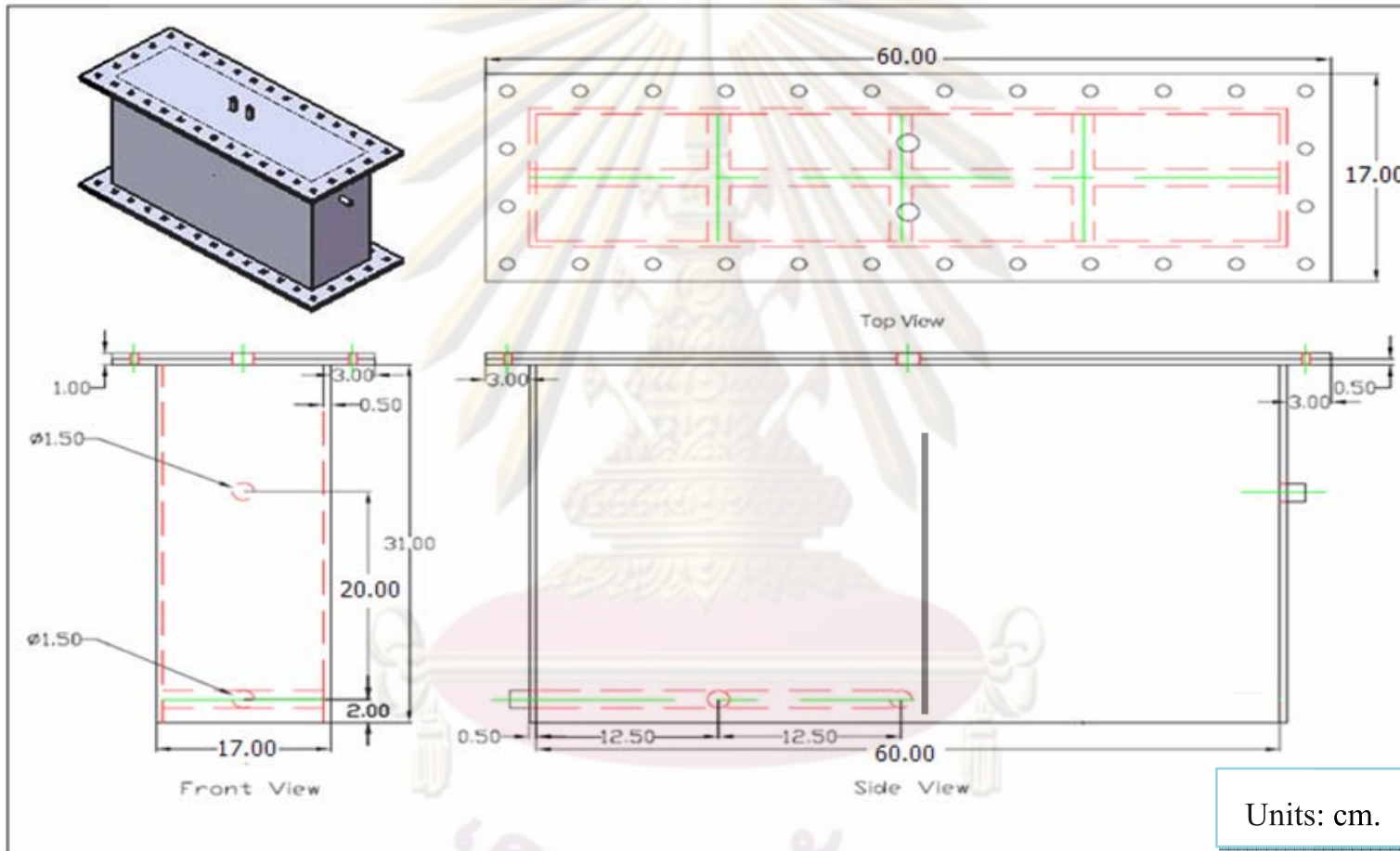
3) ระบบหมุนเวียนน้ำ เป็นการหมุนเวียนน้ำที่บางส่วนจากทางน้ำออกของถังหมักไร้ออกซิเจนกลับไปยังทางเข้าของถังหมักไร้ออกซิเจนอีกครั้ง และนอกจากนี้ยังช่วยกวนผสมน้ำเสียให้กับถังหมักอีกด้วย ซึ่งควบคุมการทำงานโดยใช้ปั๊ม

4) ถังป้อนน้ำเสียภายหลังการเวียนน้ำ เป็นถังผสมน้ำเสียระหว่างน้ำเสียดิบจากถังป้อนน้ำเสียกับน้ำเสียหมุนเวียนจากถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ก่อนการจ่ายน้ำกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยา

5) อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยการแทนที่น้ำ ประกอบด้วยสายยางพลาสติกใสและกระบอกตวง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซและวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น มีหลักการคือ ท่อก๊าซที่ออกจากถังหมักจะต่อเข้ากับสายยางพลาสติกและกระบอกตวงที่มีน้ำสภาพกรดอยู่เต็มกระบอก เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นก๊าซเข้าไปแทนที่น้ำในกระบอกตวง ซึ่งจะทำให้ทราบปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้โดยดูจากปริมาตรก๊าซในกระบอกตวง



รูปที่ 3.3 แผนผังการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์และถังปฏิบัติการในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.4 รูปแบบของถังปฏิกริยาของระบบถังหมักไร้ออกซิเจน

6) ถังเก็บน้ำเสีย เป็นถังที่ใช้สำหรับเก็บน้ำเสียที่ออกจากระบบถังหมัก เพื่อนำไปใช้เป็นน้ำหมวนเวียนในระบบถังหมักไร้ออกซิเจน

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมน้ำเสีย

1) ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบ

ทำการเจือจางน้ำเสียจากระบวนการผลิตสุราให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วน COD : N : P ของน้ำเสียแล้วทำการเติมสารอาหารเพื่อให้มีค่า COD : N : P เท่ากับ 150:1.1:0.2 (McCarty, 1964 อ้างถึงใน อาริยาวิรัชวรกุล, 2546) โดยแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ใช้ ได้แก่ ยูเรีย และ KH_2PO_4 ตามลำดับ เติมธาตุอาหารอื่นๆ ได้แก่ FeCl_2 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NaHCO_3 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อรักษาสภาพต่างในระบบ จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียเข้าระบบ ได้แก่ ซีโอดี พีเอช และอุณหภูมิ ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจน

2) ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียจริงจากระบวนการผลิตสุรา (น้ำกากส่า) โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งค่าซีโอดีเริ่มต้น 100,000 – 120,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทีเคเอ็น 1,300 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสเฟต 100 – 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองจะเจือจางน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ย 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนป้อนน้ำเสียเข้าระบบทดลองการทดลอง ส่วนที่ 2 จะทำการปรับเปลี่ยนค่าซีโอดีเริ่มต้นจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

น้ำเสียกากส่ามีค่าพีเอชเป็นกรด (4.1 – 4.9) จึงจำเป็นต้องเติม NaHCO_3 เพื่อปรับค่าพีเอชให้มีค่าเป็นกลาง (พีเอชประมาณ 7) ในช่วงแรกของการเดินระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัวทำนั้น ส่วนช่วงการปรับเปลี่ยนอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียเข้าระบบจะไม่มีเติม NaHCO_3 ส่วนธาตุอาหาร ได้แก่ N และ P มีปริมาณเหมาะสมในการบำบัดด้วยระบบไร้ออกซิเจน ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะใส่อาหารเสริมเพิ่มเติมในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Homg, 1989)

3.4.2 การทดสอบระบบถังหมัก

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งของถังหมักแบบไร้ออกซิเจนเพราะระบบนี้จำเป็นต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริง มิฉะนั้นแล้วก๊าซชีวภาพจะออกมาตามรอยรั่วต่าง ๆ ได้เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซ ทดสอบการรั่วของก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำสบู่ทาบริเวณรอยต่อต่าง ๆ แล้วเป่าลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยกาวซิลิโคน

3.4.3 การเริ่มต้นระบบ (Start up)

การเริ่มต้นระบบทำได้โดยการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนลงไปในถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่เตรียมไว้ในปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรถัง จากนั้นทำการป้อนน้ำเสียที่เตรียมไว้ซึ่งมีค่าซีโอดีเริ่มต้นประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชเป็นกลางลงในถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ไว้เรียบร้อยแล้ว ทำการเดินระบบต่อเนื่องโดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็น เช่น ค่าพีเอช ปริมาณสารแขวนลอย และค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบ เป็นต้น

3.4.4 การเดินระบบ

ส่วนที่ 1 การศึกษาอัตราการเวียนน้ำเสียที่เหมาะสม เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจึงเริ่มทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสีย: น้ำทิ้ง ให้มีค่าดังนี้คือ 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 สำหรับการทดลองที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.1 (หน้า 40)

ส่วนที่ 2 จะทำการปรับเปลี่ยนค่าซีโอดีเริ่มต้นจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.2 (หน้า 41) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก๊าซชีวภาพ มาทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เก็บผลการทดลองเป็นเวลา 4 - 8 สัปดาห์ แผนผังการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์และถังปฏิกริยาในงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.3 การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียและปรับเปลี่ยนค่าอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ แสดงในตารางที่ 3.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 การปรับเปลี่ยนอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียและปรับเปลี่ยนค่าอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์

ถังหมักที่	การทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน (ไม่เวียนน้ำ)	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน (เวียนน้ำ 1:15)	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน (เวียนน้ำ 1:20)	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 1 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน
2	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน (เวียนน้ำ 1:5)	-	-	-	-
3	อัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.25 กิโลกรัมซีไอดีต่อวัน (เวียนน้ำ 1:10)	-	-	-	-

3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

3.5.1 การเก็บตัวอย่าง

1) การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังหมัก

การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด ได้แก่ 1) จุดเก็บน้ำเสียบริเวณถังป้อนน้ำเสีย 2) จุดเก็บน้ำเสียบริเวณภายในถังหมักไร้ออกซิเจน และ 3) จุดเก็บน้ำเสียบริเวณท่อน้ำเสียที่ออกจากถัง ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย แต่ละจุดแสดงในรูปที่ 3.3 ในแต่ละจุดทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 100 มิลลิลิตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

ทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยดูจากปริมาตรก๊าซในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและวัดปริมาตรก๊าซโดยใช้การแทนที่น้ำมีหน่วยเป็นมิลลิตรต่อวัน ทำการเก็บข้อมูลทุกวัน ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการเก็บตัวอย่างเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างก๊าซ ณ จุดเก็บตัวอย่างก๊าซบริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์ แล้วนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพไปวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนต่อไป

3.5.2 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลทำโดยบันทึกปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพมาวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ส่วนตัวอย่างน้ำเสียจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 4 จุดนำวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

พารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง			ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์
	น้ำเข้าระบบ (จุดเก็บที่ 1)	น้ำในระบบ (จุดเก็บที่ 2)	น้ำออกจากระบบ (จุดเก็บที่ 3)		
ค่าพีเอช	/		/	ทุกวัน	pH meter
อุณหภูมิ	/		/	สัปดาห์ละ 3 ครั้ง	เทอร์โมมิเตอร์
ค่าซีไอดี	/		/	สัปดาห์ละ 3 ครั้ง	วิธีฟลักซ์แบบปิด
กรดอินทรีย์ระเหย		/		สัปดาห์ละ 3 ครั้ง	วิธีไตเตรท
ของแข็งแขวนลอย	/		/	สัปดาห์ละ 3 ครั้ง	วิธีอบแห้งที่ 103 – 105 ^o ซ
สภาพด่างทั้งหมด		/		สัปดาห์ละ 3 ครั้ง	วิธีไตเตรท
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	จุดเก็บก๊าซด้านบนของถังหมักไร้ออกซิเจน			ทุกวัน	หลักการแทนที่น้ำ
เชื้อจุลินทรีย์	ภายในถังหมักไร้ออกซิเจนทั้ง 2 ส่วน			หลังสิ้นสุดการทดลอง	ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเตรียมการทดลองก่อนเดินระบบบำบัด

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองเพื่อทำการศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนต่อการกำจัดซีโอดี และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียเข้าระบบ 4 ค่า ตั้งแต่ 5, 10, 15 และ 20 เท่าของอัตราไหลเข้าระบบ ตามลำดับ จากนั้นทำการเพิ่มค่าความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้ค่าอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสมจากการทดลองแรก

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากระบบถังย่อยแบบสัมผัส (Anaerobic Contact) จากโรงงานสุรากระเทียมแดง โดยนำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้ใส่เข้าระบบในแต่ละชุดการทดลองให้เท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองจุลินทรีย์ที่ใส่เข้าระบบ ทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าเฉลี่ย ประมาณ 60,000 มิลลิกรัมวีเอสเอสต่อลิตร จากนั้นเริ่มต้นเดินระบบโดยทำการป้อนน้ำเสียที่มีค่าเข้มข้นประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการเดินระบบให้เต็มปริมาตรถัง หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบในอัตราการไหลลงที่ 1 ลิตรต่อวัน ในทุกชุดการทดลอง เพื่อเป็นการปรับสภาพให้เชื้อจุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสีย เมื่อระบบเริ่มคงที่ ทำการดำเนินการตามแผนการที่เตรียมไว้ดังตารางที่ 3.1

ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง ใช้เวลาทั้งหมด ประมาณ 203 วัน

4.1.1 ลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำเสียกากส่า ที่นำมาจากโรงงานสุราในจังหวัดสมุทรสาคร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมา 2 ครั้ง ครั้งละประมาณ 75-100 ลิตร น้ำเสียที่นำมา มีลักษณะทั่วไปคือ มีสีน้ำตาลถึงดำเข้ม และมีกลิ่นเหม็น อีกทั้งยังมีสารแขวนลอยอนุภาคเล็กปริมาณมาก โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่า น้ำเสียมีค่าพีเอชในช่วง 4.08 – 4.53 ค่าซีโอดีกรองและค่าซีโอดีไม่กรอง มีค่าประมาณ 85,740 และ 104,570 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณสารแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยได้ เท่ากับ 12,575 และ 9,790 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตามลำดับ ไนโตรเจน 2,920 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัส 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งลักษณะสมบัติ น้ำเสียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 โดยตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บมาทั้ง 2 ครั้ง มีลักษณะโดยรวม ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ช่วงค่า
พีเอช	4.08 – 4.53
ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	104,570
ซีไอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	85,740
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	12,575
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	9,790
ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	2,920
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	110



รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียกากสำที่ใช้ในการทดลอง

4.1.2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสีย แบบถังย่อยแบบสัมผัสจากโรงงานสุรากระทิงแดง โดยนำมาประมาณ 100 ลิตร ภายหลังจากตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นำบริเวณส่วนล่างของเชื้อจุลินทรีย์ใส่เข้าไปในระบบร้อยละ 40 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ โดยเชื้อที่นำมามีลักษณะคล้ายโคลนข้นเหลว สีค่อนข้างดำเข้มกว่าน้ำเสีย เกิดฟองก๊าซบริเวณด้านบน มีกลิ่นฉุน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆก่อนที่จะนำไปใช้ในระบบ พบว่ามีค่าพีเอช ประมาณ 7.12 ค่าซีโอดีกรอง และค่าซีโอดีไม่กรอง มีค่าประมาณ 11,770 และ 89,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหยได้ เท่ากับ 91,450 และ 51,040 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งลักษณะเชื้อจุลินทรีย์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ช่วงค่า
พีเอช	7.12
ซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	89,700
ซีโอดีกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11,770
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	91,450
ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	51,040

4.1.3 การเริ่มเดินระบบ

การทดลองนี้จะเริ่มเดินระบบโดยการป้อนน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยอัตราไหลลงที่ 1 ลิตรต่อวัน ระยะเวลาที่กักพักชดสสาร 20 วัน เดินระบบจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในวันที่ 44 ของการเดินระบบ โดยพิจารณาจากค่าซีโอดีของน้ำทิ้งในแต่ละวันแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ดำเนินการเก็บตัวอย่างต่ออีก 20 วัน เพื่อนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของสมรรถภาพของระบบที่ภาวะซีโอดีนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การศึกษาผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย

ทำการทดลองโดยป้อนน้ำเสียจากโรงงานสุราที่เจือจางให้มีความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยอัตราไหลคงที่ 1 ลิตรต่อวัน คิดเป็นอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว แล้วจึงทดลองปรับเปลี่ยนอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียเข้าระบบแตกต่างกันตั้งแต่ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 ได้ผลการทดลองดังนี้

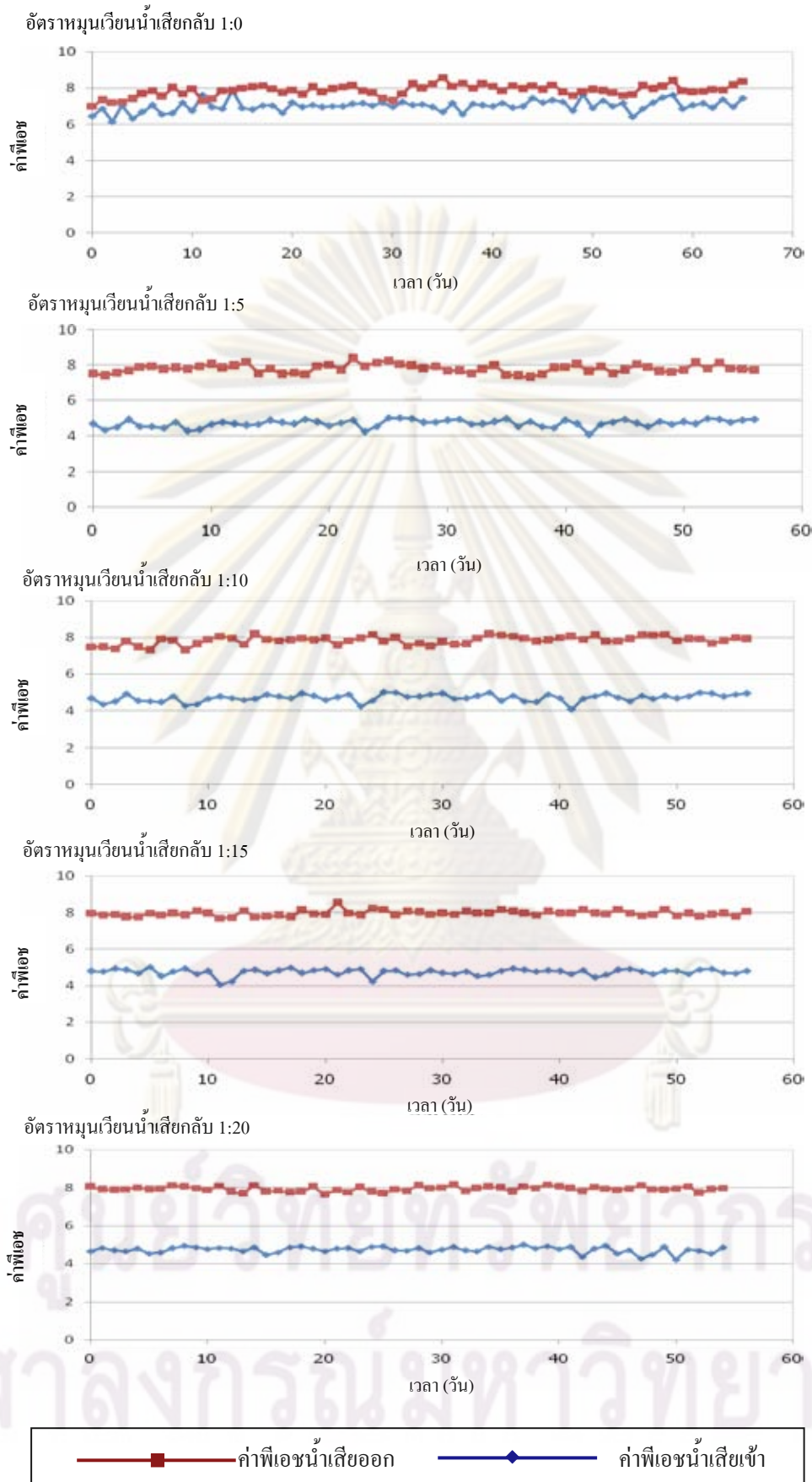
4.2.1 พีเอช

ค่าพีเอชเป็นค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ง่าย และเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างมีเทนซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในช่วงพีเอชเป็นกลางประมาณ 6.8-7.2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ส่วนอุณหภูมิที่แบคทีเรียกลุ่มมีโซฟิลิกสามารถทำงานได้ดีอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) โดยในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าพีเอชของน้ำออกจากระบบ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

ค่าพีเอชของน้ำออกแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าระหว่าง 7.0-8.6 แม้ว่าค่าพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบจะมีค่าค่อนข้างเป็นกรด (ประมาณ 4) แสดงว่าการเวียนน้ำกลับมีผลต่อค่าพีเอชในระบบ โดยค่าพีเอชที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 7.8-8.0 ถือว่าเพียงพอและเหมาะสมต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ดังรูปที่ 4.2



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



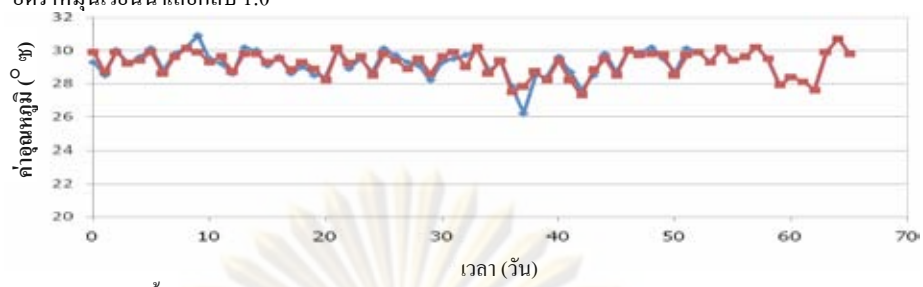
รูปที่ 4.2 ค่าพิเอชน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราหมวนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ เทียบกับเวลา

4.2.2 อุณหภูมิ

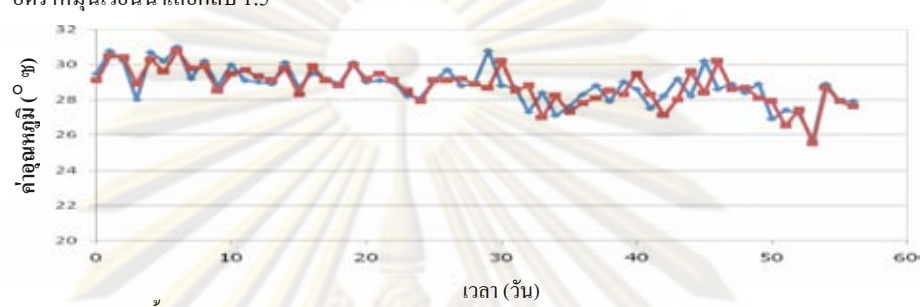
อุณหภูมิในน้ำออกมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้ามาก และเป็นสิ่งที่สังเกตว่าอุณหภูมิในทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 27.3-29.3 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียไร้ออกซิเจน โดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิมีโซฟิลิก คือช่วงที่มีอุณหภูมิประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543) แต่อย่างไรก็ตามการเวียนน้ำกลับในระบบส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบ และน้ำออกจากระบบไม่แตกต่างกันจนมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าแตกต่างกัน แต่ก็อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงมีโซฟิลิก โดยการทดลองที่ 4-5 จะมีบางช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการทดลองอื่น เนื่องจากในช่วงวันที่ 16-18 มกราคม 2552 เป็นช่วงที่อุณหภูมิจนของประเทศลดลง ซึ่งวัดน้ำออกจากระบบมีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 23.1 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิตลอดการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 4.3

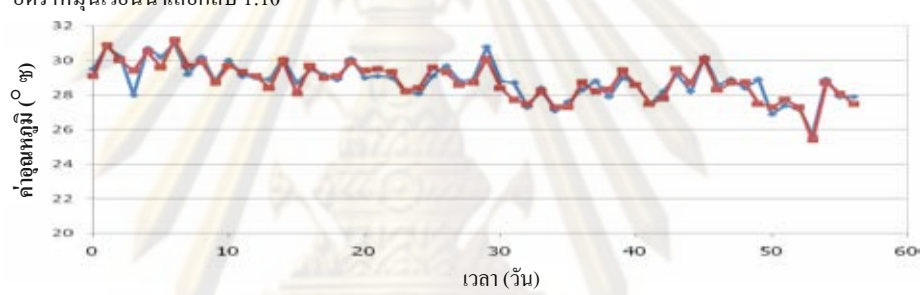
อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0



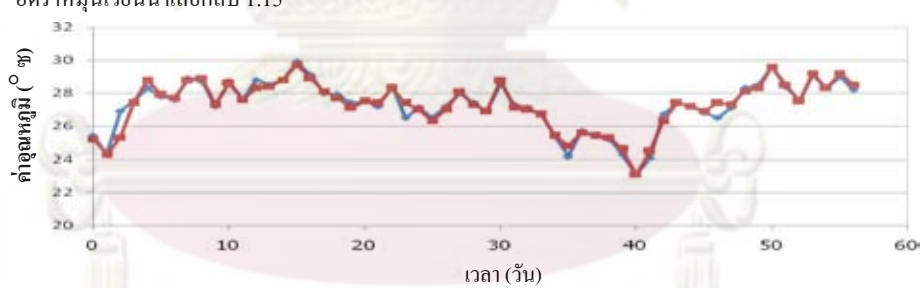
อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:5



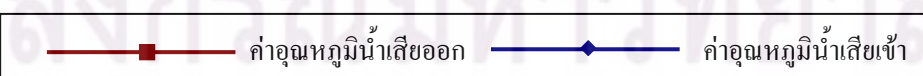
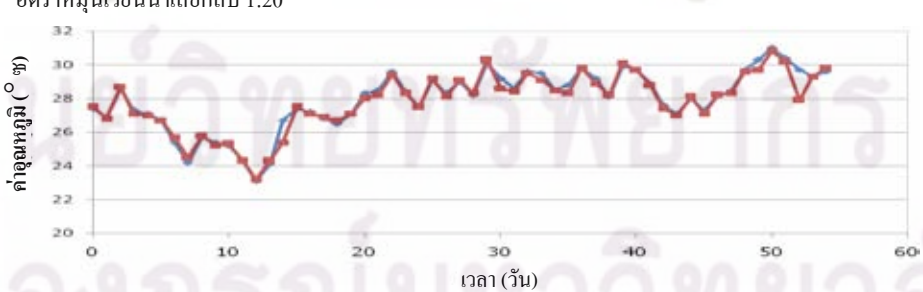
อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:10



อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:15



อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20



รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิน้ำเสียเข้าและออกจากระบบที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ เทียบกับเวลา

การทดลองป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างเดียวที่อัตราไหล 1 ลิตรต่อวัน โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสีย (ชุดควบคุม) พบว่า มีค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเสียออกจากระบบเท่ากับ 7.93 และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียออกจากระบบเท่ากับ 29.3 องศาเซลเซียส การทดลองที่ 2-5 ซึ่งมีการเวียนกลับน้ำเสียที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียคิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 พบว่า มีค่าเฉลี่ย พีเอชของน้ำเสียออกจากระบบเท่ากับ 7.81 7.90 7.98 และ 7.96 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียออกจากระบบเท่ากับ 28.2 28.3 27.3 และ 28.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าพีเอชเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

การทดลองที่	อัตราส่วนน้ำเสียต่อ น้ำหมุนเวียน	ค่าพีเอช		ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
		น้ำเสีย เข้าระบบ	น้ำเสียออก จากระบบ	น้ำเสีย เข้าระบบ	น้ำเสียออก จากระบบ
1 (ชุดควบคุม)	1:00	7.15	7.93	29.4	29.3
2	1:05	4.75	7.81	28.4	28.2
3	1:10	4.75	7.90	28.4	28.3
4	1:15	4.73	7.98	27.0	27.3
5	1:20	4.69	7.96	29.1	28.9

น้ำออกจากระบบของถังปฏิกรณ์ที่มีสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีค่าพีเอชเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก และค่อนข้างต่างจากน้ำเสียเข้า โดยมีค่าพีเอช ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 7.8-8.0 ถือว่าเพียงพอต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน และสาเหตุที่ทำให้ค่าพีเอชไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ที่เพียงพอ

4.2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

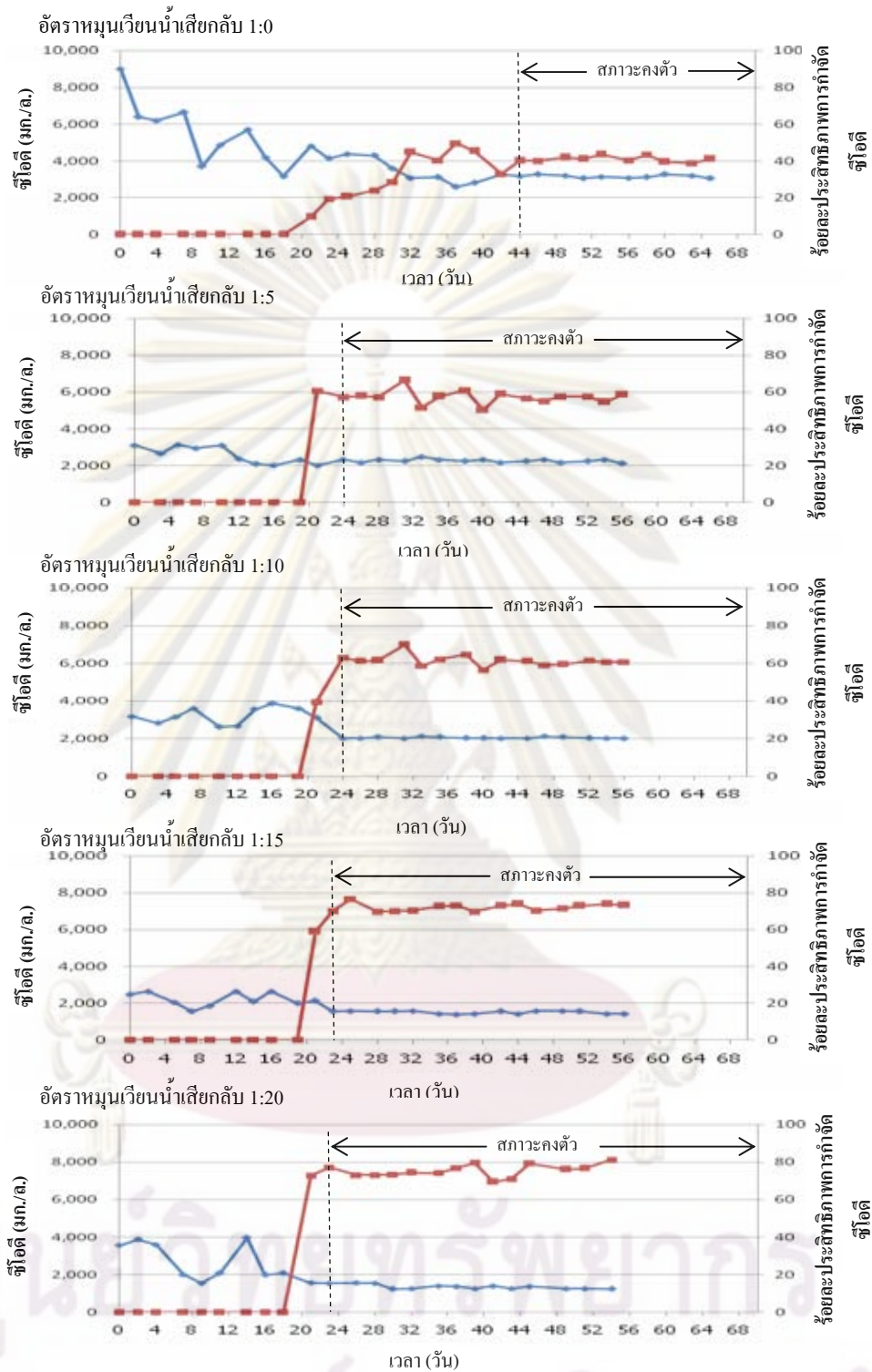
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็นค่าที่แสดงความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานได้ดี ย่อมทำให้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงตามไปด้วย ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบในการกำจัดมลสารในน้ำเสียจากลำที่อัตราภาระบรรทุก

สารอินทรีย์ 0.25 กิโลกรัมซีไอต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีดังนี้

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างเดียวที่อัตราไหล 1 ลิตรต่อวัน โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสีย (ชุดควบคุม) พบว่าช่วงแรกของการเดินระบบจะมีค่าซีไอดีน้ำออกสูงกว่าน้ำเข้าระบบ เนื่องจากหัวเชื้อจุลชีพในระบบต้องปรับตัวให้คุ้นเคยกับน้ำเสีย ประกอบกับมีหัวเชื้อจุลชีพหลุดออกมากับน้ำเสียด้วย จึงทำให้ค่าซีไอดีของน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยระบบจะใช้เวลาในการปรับตัวประมาณ 44 วัน ระบบจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ค่าซีไอดีของน้ำออกจะค่อยๆลดลง แล้วคงที่ ส่วนการทดลองที่ 2-5 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำเสียกลับ พบว่าค่าซีไอดีน้ำออกมีค่าแปรปรวนเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดลอง เนื่องจากจุลชีพคุ้นเคยกับน้ำเสียและอัตราการไหลเวียนกลับที่ป้อนเข้าระบบที่กำหนดให้ จากการหมุนเวียนน้ำเสียกลับ โดยใช้เวลาประมาณ 24 วัน ระบบจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว

จากการทดลองในรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อสัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียคิบบต่ออัตราน้ำไหลเวียนกลับมากขึ้น จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงขึ้นด้วย โดยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียคิบบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับเท่ากับ 1:20 มีผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียพบว่า มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงขึ้นร้อยละ 35 เนื่องจากมีอัตราไหลเข้าและอัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับที่เหมาะสมก่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับหัวเชื้อจุลชีพเป็นไปอย่างทั่วถึงและเพียงพอ และยังส่งผลให้มีการนำสารอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่ถึงปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายกลับเข้าสู่ระบบและเกิดการย่อยสลายอีกครั้ง (ชวลิต รัตนธรรมสกุล และสุชัยญา ทองเครือ, 2549)

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบในการกำจัดซีไอดีที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียต่างๆ พบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 น้ำเสียเข้าระบบจะมีค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 5,362 5,322 5,319 5,357 และ 5,378 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียออกจากระบบจะมีค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 3,161 2,266 2,044 1,495 และ 1,352 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคิดเป็นร้อยละ 41 57 62 72 และ 75 ตามลำดับ โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5

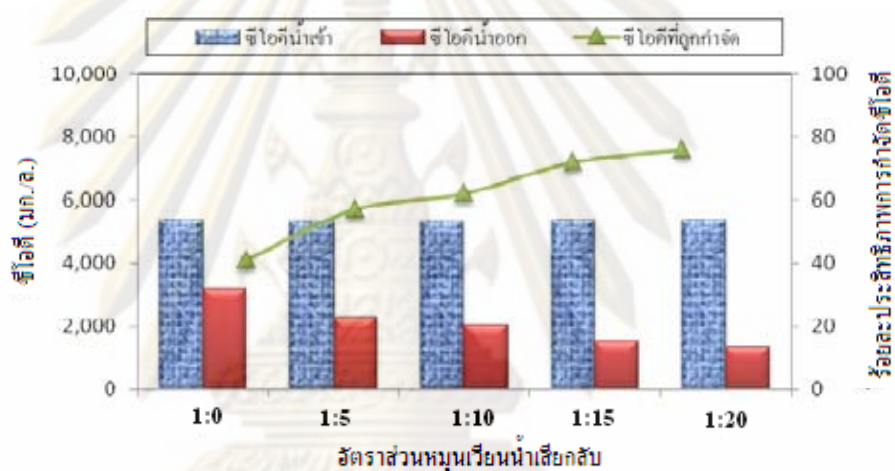


◆ ซีโอดีน้ำออก
 ■ ร้อยละของซีโอดีที่ถูกกำจัด

รูปที่ 4.4 ปริมาณซีโอดีและร้อยละของซีโอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราส่วนผสมน้ำเสียน้ำกลับต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่าซีไอดีเฉลี่ยและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

การทดลองที่	อัตราส่วนน้ำเสียดู่น้ำหมุนเวียน	ค่าเฉลี่ยซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี (ร้อยละ)
		น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบ	
1 (ชุดควบคุม)	1:0	5,362	3,161	41
2	1:5	5,322	2,266	57
3	1:10	5,319	2,044	62
4	1:15	5,357	1,495	72
5	1:20	5,378	1,352	75



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

4.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย

เมื่อพิจารณาปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าระบบ และน้ำเสียหลังผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบ จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.5 พบว่า การทดลองที่ 1 ที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างเดียวยที่อัตราไหล 1 ลิตรต่อวัน โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสีย (ชุดควบคุม) มีค่าสารแขวนลอยในน้ำออกจากระบบสูงในช่วงแรกของการทดลอง เนื่องจากอยู่ในระหว่างการปรับตัวของระบบจึงทำให้มีหัวเชื้อจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมากับน้ำเสีย เนื่องจากไม่สามารถอยู่ในสภาพความเร็วที่เพิ่มขึ้นจากการเวียนน้ำกลับได้ แต่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจะเห็นได้ว่าค่าสารแขวนลอยที่หลุดออกมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสารแขวนลอยของน้ำเสียเข้าระบบเท่ากับ 236

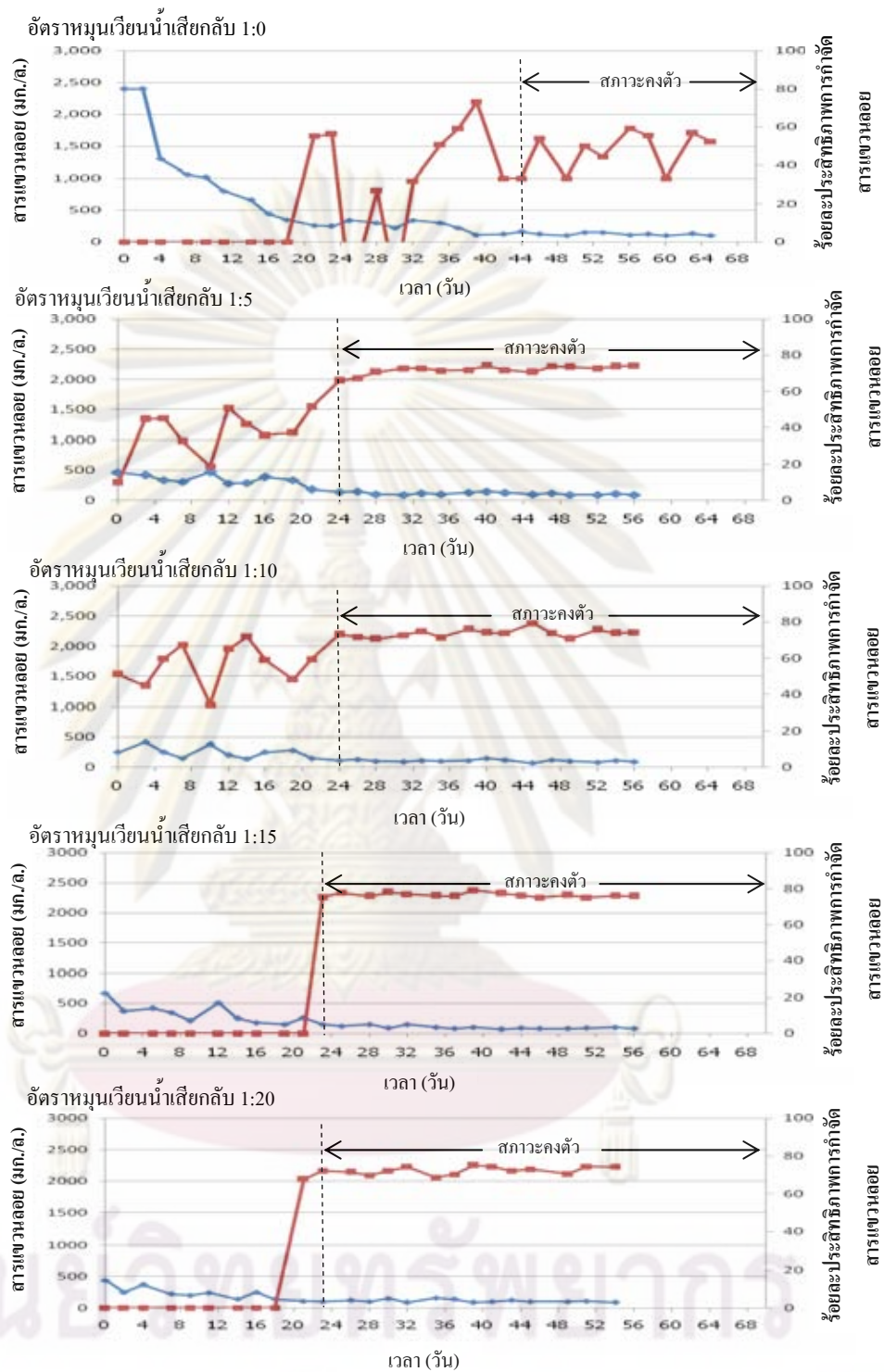
มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยสารแขวนลอยของน้ำเสียออกจากระบบเท่ากับ 124 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 48 ส่วนชุดการทดลองที่ 2-5 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบ พบว่ามีค่าเฉลี่ยสารแขวนลอยของน้ำเสียเข้าระบบใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 405-435 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มของประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยไม่แตกต่างกันมากนัก

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่อัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราน้ำไหลเวียน 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48 72 74 77 และ 73 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของสารแขวนลอยที่เหลือในน้ำออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 124 114 106 102 และ 112 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียดิบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7

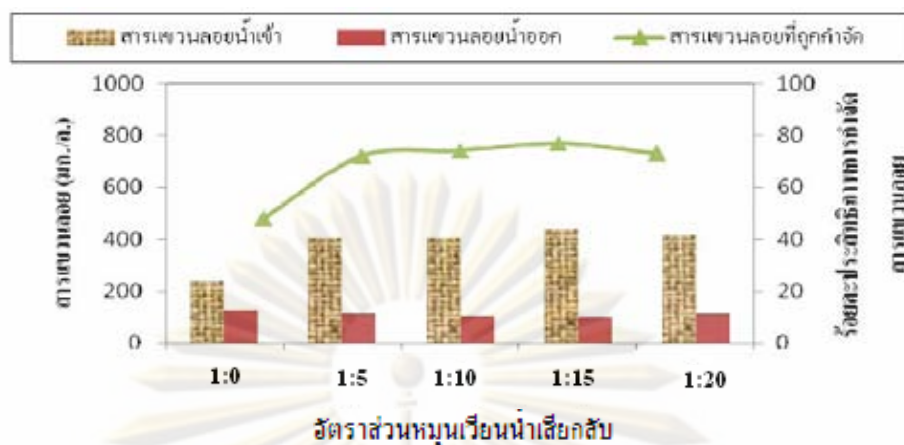
จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยของการทดลองที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียมียค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48 เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำเสียที่อัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราน้ำไหลเวียนกลับ 1:5 ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงขึ้นร้อยละ 24 และเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนกลับน้ำเสียมากขึ้นเป็น 1:10 และ 1:15 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการหมุนเวียนน้ำเสียมีผลต่อการกวนในระบบ และอาจทำให้จุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกจากระบบ และที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียดิบ 1:20 ระบบจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอยเริ่มลดลงเหลือร้อยละ 73 ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซชีวภาพเกิดมากขึ้น และก๊าซที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะพาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ด้านบนของถัง จึงทำให้สารแขวนลอยหลุดออกจากระบบมาก

ตารางที่ 4.5 ค่าสารแขวนลอยเฉลี่ย และประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียดิบต่างๆ

การทดลองที่	อัตราส่วนน้ำเสียดิบต่อน้ำหมุนเวียน	ค่าเฉลี่ยสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย (ร้อยละ)
		น้ำเสียเข้าระบบ	น้ำเสียออกจากระบบ	
1 (ชุดควบคุม)	1:0	236	124	48
2	1:5	405	114	72
3	1:10	405	106	74
4	1:15	435	102	77
5	1:20	413	112	73



รูปที่ 4.6 ปริมาณสารแขวนลอยและร้อยละของสารแขวนลอยที่ถูกกำจัดที่อัตราส่วนการหมวนเวียนน้ำเสียน้ำกลับต่างๆ



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยที่สภาวะคงตัวของอัตราส่วนการหมวนให้น้ำเสียกลับต่างๆ

4.2.5 ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด

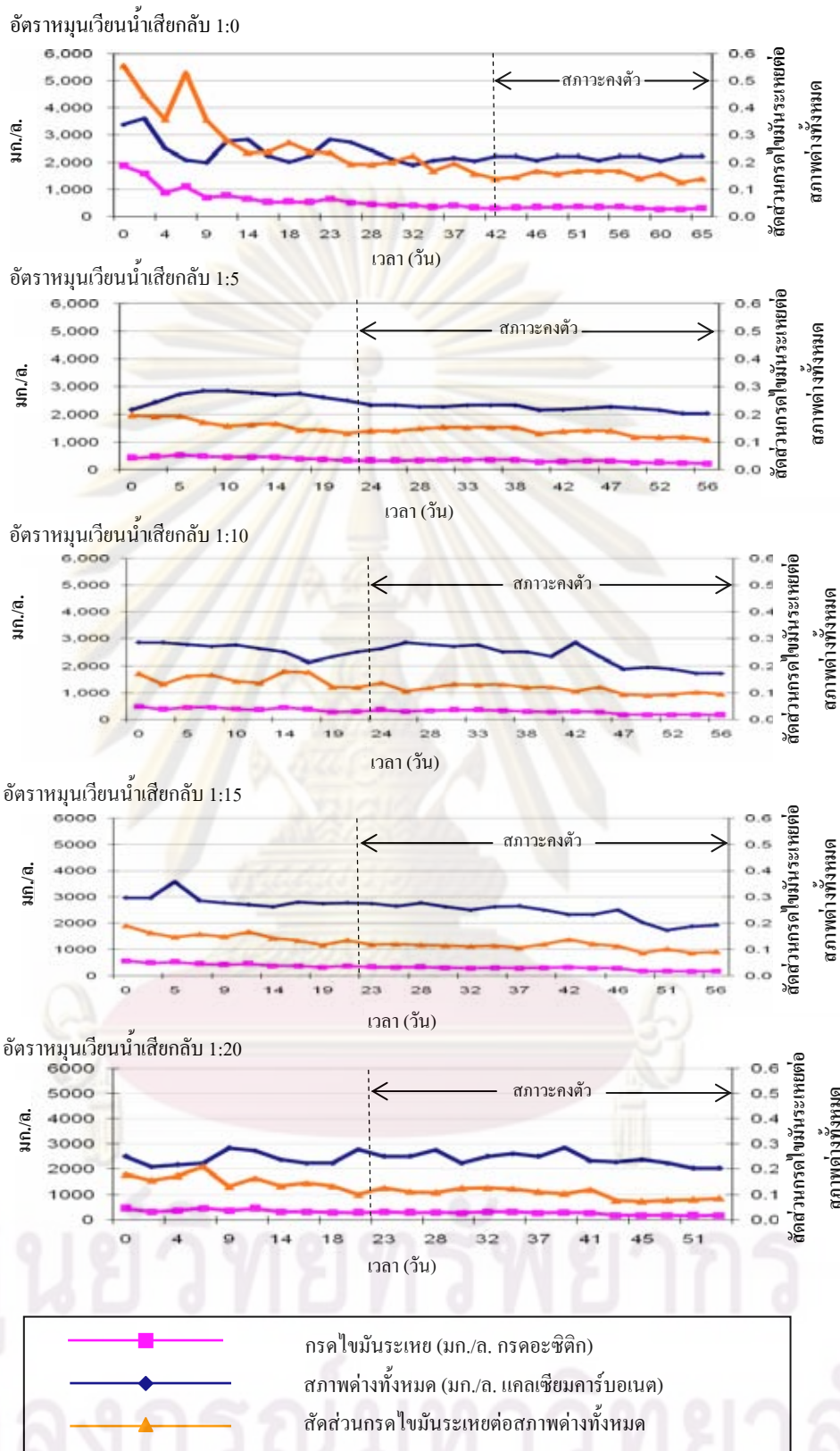
ในกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ให้กลายเป็นกรดไขมันที่ระเหยง่าย ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนได้ ซึ่งระบบที่ทำงานได้ดีจะมีการใช้กรดไขมันระเหยง่ายในการสร้างก๊าซมีเทนได้สูง จึงจะทำให้เกิดการตกค้างของกรดไขมันระเหยง่ายต่ำ และหากในระบบค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงจะส่งผลถึงค่าพีเอชในระบบด้วย โดยค่ากรดไขมันระเหยง่ายควรมีค่าไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อรรถัย ชาวลาภุทธิ, 2545) และถ้าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 200-400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่า ระบบสามารถทำงานได้ดี ส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนี้จะอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากสามารถเป็นบัฟเฟอร์ให้แก่ระบบได้ดี อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่สำคัญกว่าค่าสภาพต่างทั้งหมด คือ อัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด กรณีที่ระบบมีบัฟเฟอร์สูง อัตราส่วนนี้จะต่ำกว่า 0.4 (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2542) โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบ

จากการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียในระบบที่ค่าเฉลี่ยซีไอดีเท่ากับ 5,341 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในน้ำเสียในระบบ เท่ากับ 901 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก และมีค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในน้ำเสียในระบบ เท่ากับ 1,078 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต

จากตารางที่ 4.6 สรุปครดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และค่าครดไขมันระเหย ต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียต่างๆ พบว่าที่อัตราส่วน น้ำเสียดิบต่ออัตราน้ำไหลเวียนกลับ 1:0 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีค่าครดไขมันระเหยเฉลี่ยในระบบเท่ากับ 331 306 270 267 และ 254 มิลลิกรัมต่อลิตรของกรดอะซิติก ตามลำดับ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ทุกอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราน้ำไหลเวียนกลับมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือ ค่าครดไขมันระเหยจะมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับค่าครดไขมันระเหยน้ำเสียเข้าระบบ ค่าสภาพต่างทั้งหมดในระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,178 2,228 2,356 2,385 และ 2,406 มิลลิกรัมต่อลิตรของ แคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ทุกอัตราส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราน้ำไหลเวียนกลับมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือ ค่าสภาพต่างทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าครดไขมันระเหยน้ำเสีย เข้าระบบ ส่วนค่าครดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด พบว่าโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.15 0.14 0.11 0.11 และ 0.11 ตามลำดับจะเห็นได้ว่าค่าครดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 0.4 ตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบมีบีโอฟิล์มที่เพียงพอ โดยค่าครดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่าครดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8

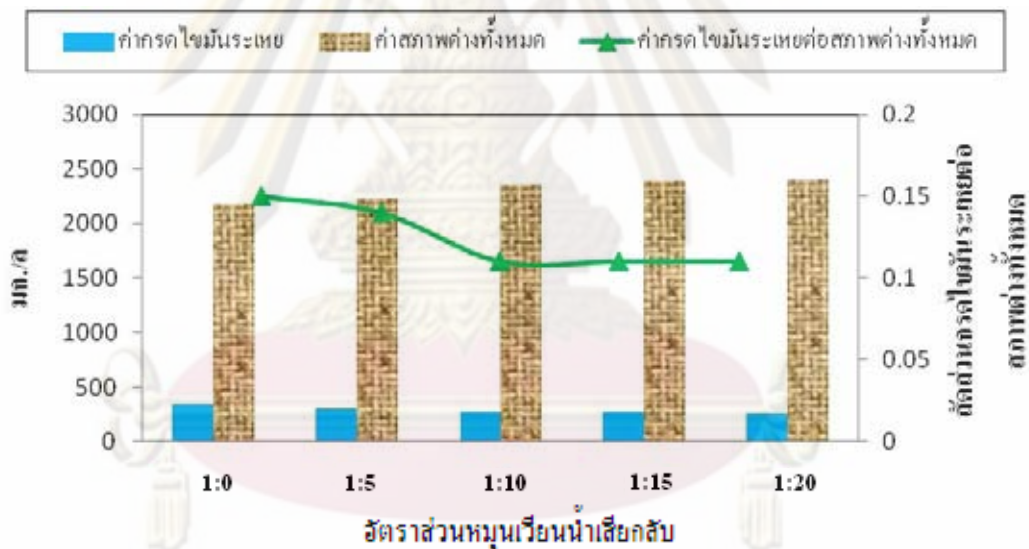
ตารางที่ 4.6 ค่าครดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่าครดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

การทดลองที่	อัตราส่วนน้ำเสีย ต่อน้ำหมุนเวียน	ค่าครดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)	ค่าครดไขมันระเหย ต่อสภาพต่างทั้งหมด
1 (ชุดควบคุม)	1:0	331	2,178	0.15
2	1:5	306	2,228	0.14
3	1:10	270	2,356	0.11
4	1:15	267	2,385	0.11
5	1:20	254	2,406	0.11



รูปที่ 4.8 ค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด ตลอดการทดลองที่อัตราส่วนการหมุนเวียนนํ้าเสียกลับต่างๆ

จากผลการทดลอง พบว่า กรดไขมันระเหยมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ โดยที่กรดไขมันระเหยที่อัตราเวียนน้ำกลับสูงจะมีค่าน้อยกว่าที่อัตราเวียนน้ำกลับต่ำ เนื่องจากการเวียนน้ำกลับที่อัตราส่วนสูงกว่าจะทำให้กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสกลับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้ง ส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดจะเห็นได้ว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเสียเข้าระบบ เนื่องจากน้ำเสียด่างค่ามีสารอินทรีย์ในโตรเจน ซึ่งแอมโมเนียในโตรเจนสามารถเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบได้ โดยแอมโมเนียในโตรเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มสภาพต่างได้ 3.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2545) ซึ่งการหมุนเวียนน้ำกลับที่อัตราเวียนกลับสูงจะทำให้ระบบรักษาเสถียรภาพของค่าต่างได้ดีกว่าระบบที่มีอัตราเวียนกลับต่ำ ส่วนค่าค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีบีโอฟลอร์สูง ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งสามารถสรุปได้โดยรวมว่าค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดอยู่ในช่วงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 การผลิตก๊าซชีวภาพ

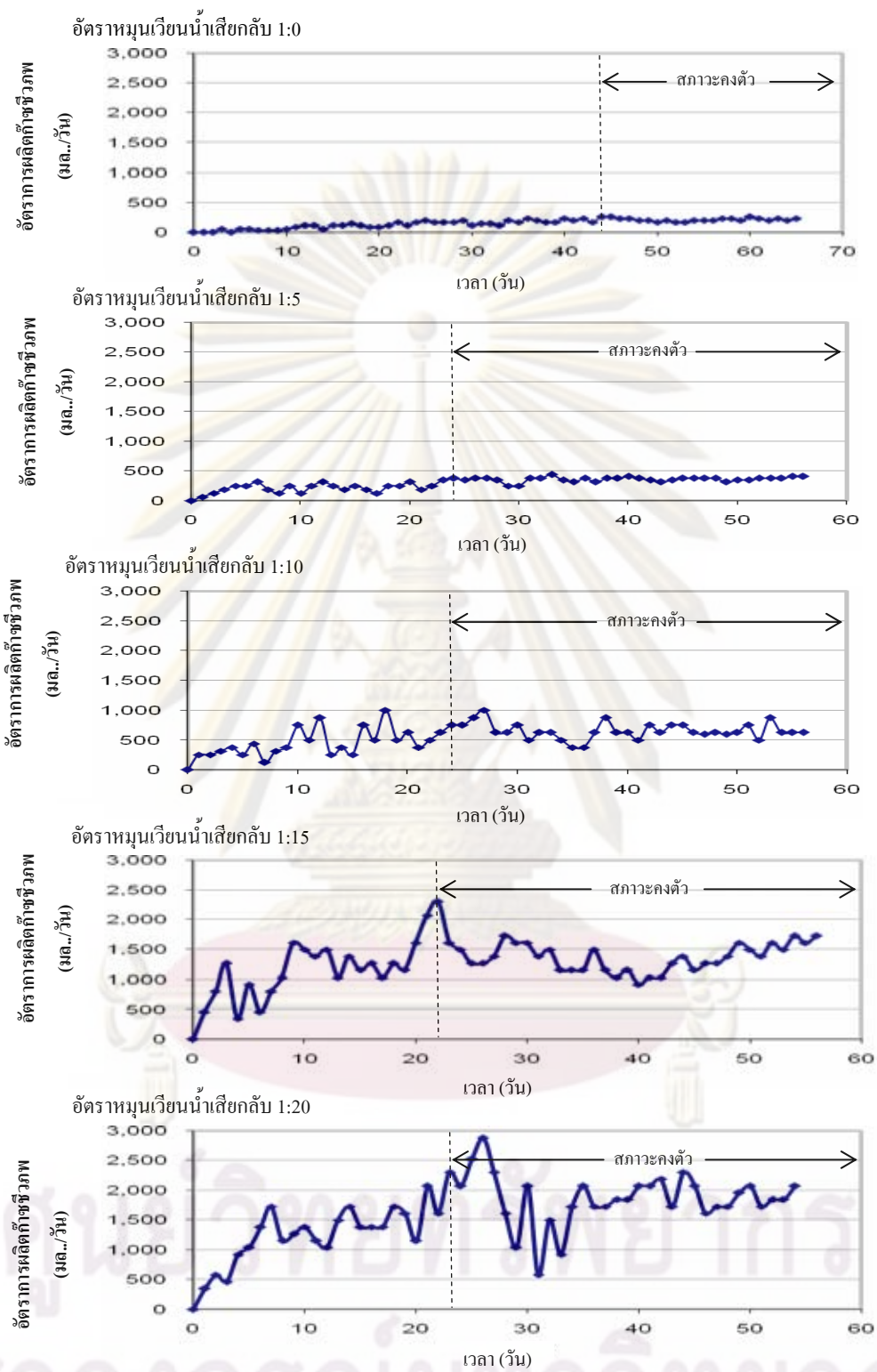
การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพขึ้นในระบบ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นผลผลิตที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในน้ำเสียภาคสำนี้ จัดเป็นน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตเนื่องจากใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการกลั่นสุรา ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยงานวิจัยนี้ได้ ทำการศึกษาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราส่วนการหมวนเวียนน้ำเสียต่างๆ ซึ่งผลที่ได้จากการ ทดลองมีดังนี้

การทดลองที่ 1 เมื่อป้อนน้ำเสียเข้าระบบ โดยไม่มีการหมวนเวียนกลับน้ำเสีย พบว่า เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 225 มิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็น 0.10 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด มีร้อยละก๊าซมีเทน 50.55 และเมื่อมีการเวียนกลับน้ำเสียในการ ทดลองที่ 2-5 พบว่า ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 369 674 1,409 และ 1,925 มิลลิลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 0.12 0.21 0.37 และ 0.48 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของ ก๊าซมีเทน 45.14 53.96 52.23 54.23 และ 55.43 ที่อัตราเวียนกลับน้ำเสีย 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 ตามลำดับ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่อัตราส่วนการหมวนเวียนน้ำเสียต่างๆ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.10

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัม ชีโอดีที่ถูกกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตรที่อัตราส่วนการหมวนเวียน น้ำที่ต่างๆ สามารถแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่อัตราส่วนการหมวนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

การทดลองที่	อัตราส่วน น้ำเสีย ต่อน้ำหมวนเวียน	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมชีโอดี ถูกกำจัด)	อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมชีโอดี ถูกกำจัด)	อัตราการผลิต ก๊าซมีเทน ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร
1 (ชุดควบคุม)	1:00	0.10	0.05	45.0
2	1:05	0.12	0.07	76.8
3	1:10	0.21	0.11	145.6
4	1:15	0.37	0.20	310.0
5	1:20	0.48	0.27	439.0



รูปที่ 4.10 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพตลอดการทดลองที่อัตราส่วนการผสมเวียนน้ำเสือกัลป์ต่างๆ

จากการทดลองพบว่า เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย กลับสูงจะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำเสีย กลับจะทำให้กรดไขมันระเหยที่ยังไม่ถูกย่อยสลายจนสมบูรณ์มีโอกาสกลับมาสัมผัสกับจุลินทรีย์ในระบบได้ใหม่อีกครั้งทำให้แบคทีเรียสามารถสร้างมีเทนเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20 จะให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 1,925 มิลลิลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 0.48 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตก๊าซในการบำบัดที่ไม่มีการเวียนน้ำกลับ พบว่ามีค่าสูงขึ้นถึงร้อยละ 88.31

4.2.7 การเปรียบเทียบอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสม

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่า อัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่ 1:20 มีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดสารแขวนลอย พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่ 1:5 และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการหมุนเวียนน้ำเสียที่ค่าต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย					ค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการเวียนน้ำ (%)			
	1:0	1:5	1:10	1:15	1:20	1:5	1:10	1:15	1:20
ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (%)	41	57	62	72	75	39.0	51.2	75.6	82.9
ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย (%)	48	72	74	77	73	50.0	54.2	60.4	54.2
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.10	0.12	0.21	0.37	0.48	20	110	270	380
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.05	0.07	0.11	0.20	0.27	20	120	300	440
องค์ประกอบก๊าซมีเทน (%)	45.14	53.96	52.23	54.23	55.43	19.54	15.71	20.14	22.80
สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด	0.15	0.14	0.11	0.11	0.11	-	-	-	-
ค่าชีโอดีน้ำออก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	3,161	2,266	2,044	1,495	1,352	-	-	-	-
ปริมาณสารแขวนลอยน้ำออก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	124	114	106	102	112	-	-	-	-

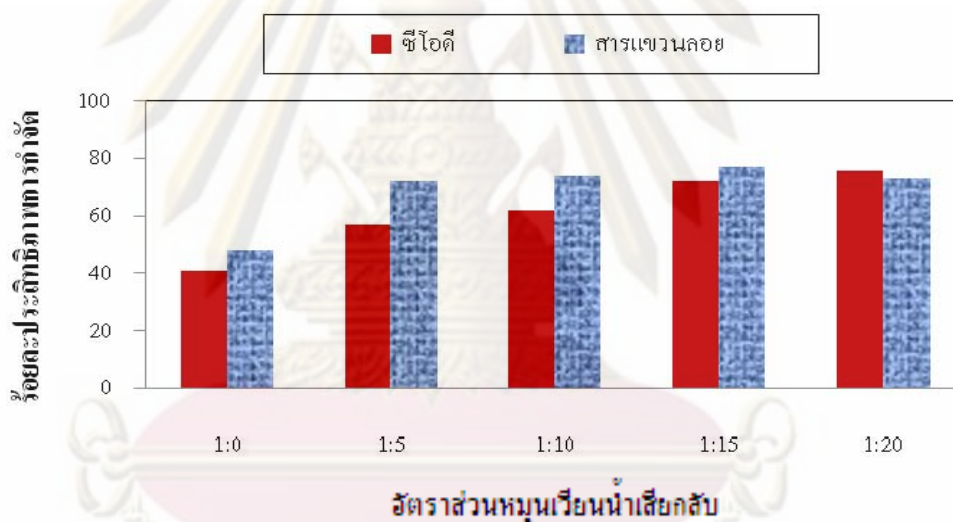
เมื่อเปรียบเทียบระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียบกับระบบมีการหมุนเวียนน้ำเสียบกลับเข้าระบบใหม่ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 พบว่า ที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับเท่ากับ 1:15 ถึง 1:20 มีความเหมาะสม เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียบมากขึ้นจาก 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีให้สูงขึ้นร้อยละ 39.0 51.2 75.6 และ 82.9 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียบเลย นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นจากที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับ 1:10 เป็น 1:15 ร้อยละ 24.4 แต่ที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับ 1:15 เป็น 1:20 มีค่าการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นร้อยละ 7.3 เท่านั้น บ่งชี้ว่าที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1:15 ถึง 1:20 มีความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียบกลับมากขึ้นจาก 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงขึ้นเป็นร้อยละ 50.0 54.2 60.4 และ 54.2 ตามลำดับ บ่งชี้ว่าที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับเท่ากับ 1:5 ถึง 1:15 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยสูงขึ้นแต่เมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียบกลับเท่ากับ 1:20 ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยกลับลดลงอาจเนื่องจากมีจุลชีพหลุดจากระบบมากขึ้น

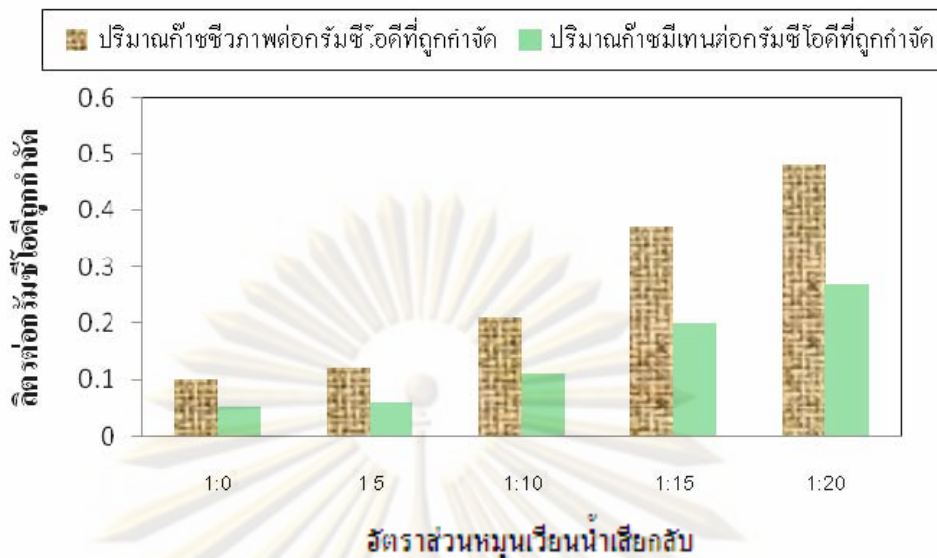
แต่เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า การหมุนเวียนน้ำเสียบกลับเข้าระบบใหม่ที่อัตราการเวียนน้ำกลับเท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 มีผลการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบมาก โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนน้ำเสียบมากขึ้น จาก 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 20 ถึง 380 โดยที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสียบ 1:20 มีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 380 หรือเท่ากับ 0.48 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกากสำมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่ กากน้ำตาล คาราเมลสารเมานอยดิน ลิกนิน และอื่นๆ เมื่อน้ำเสียบผ่านการย่อยสลายในถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน พบว่าสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 59 สำหรับระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำเสียบ) ยังย่อยสลายไม่หมดแต่อาจเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงและอาจจะเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยได้มากขึ้น เมื่อมีการเวียนน้ำเสียบกลับเข้าระบบมากขึ้นจึงทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นมากที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับเท่ากับ 1:10 ถึง 1:15 (+160%) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงที่อัตราการเวียนน้ำเสียบกลับเท่ากับ 1:15 ถึง 1:20 (+110%) เมื่อพิจารณาค่าสภาพต่างทั้งหมดของน้ำออกจากระบบ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเสียบเข้าระบบ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกากสำมีสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งแอมโมเนียในโตรเจนเมื่อเกิดการย่อยสลายจะสามารถเพิ่มสภาพต่างให้กับระบบ

ได้ โดยแอมโมเนียไนโตรเจน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มสภาพต่างได้ 3.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต (มันซิน ตันจุลเวศม์, 2545) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าสภาพต่างทั้งหมดของ น้ำออกจากระบบมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ เมื่อทำการเวียนน้ำเสียกลับที่อัตราการเวียนน้ำเสียกลับ มากกว่าจะทำให้ระบบสามารถรักษาเสถียรภาพของค่าได้ดีกว่าในกรณีของระบบที่มีอัตราการ เวียนน้ำเสียกลับน้อย เนื่องจากสภาพต่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายแอมโมเนียไนโตรเจนมี โอกาสหลุดออกจากระบบน้อยกว่า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และการกำจัดสารแขวนลอยที่ อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำที่ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ส่วนอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อ กรัมซีไอดีที่ถูกกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีไอดีที่ถูกกำจัดที่อัตราส่วนการ หมุนเวียนน้ำแยกกลับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



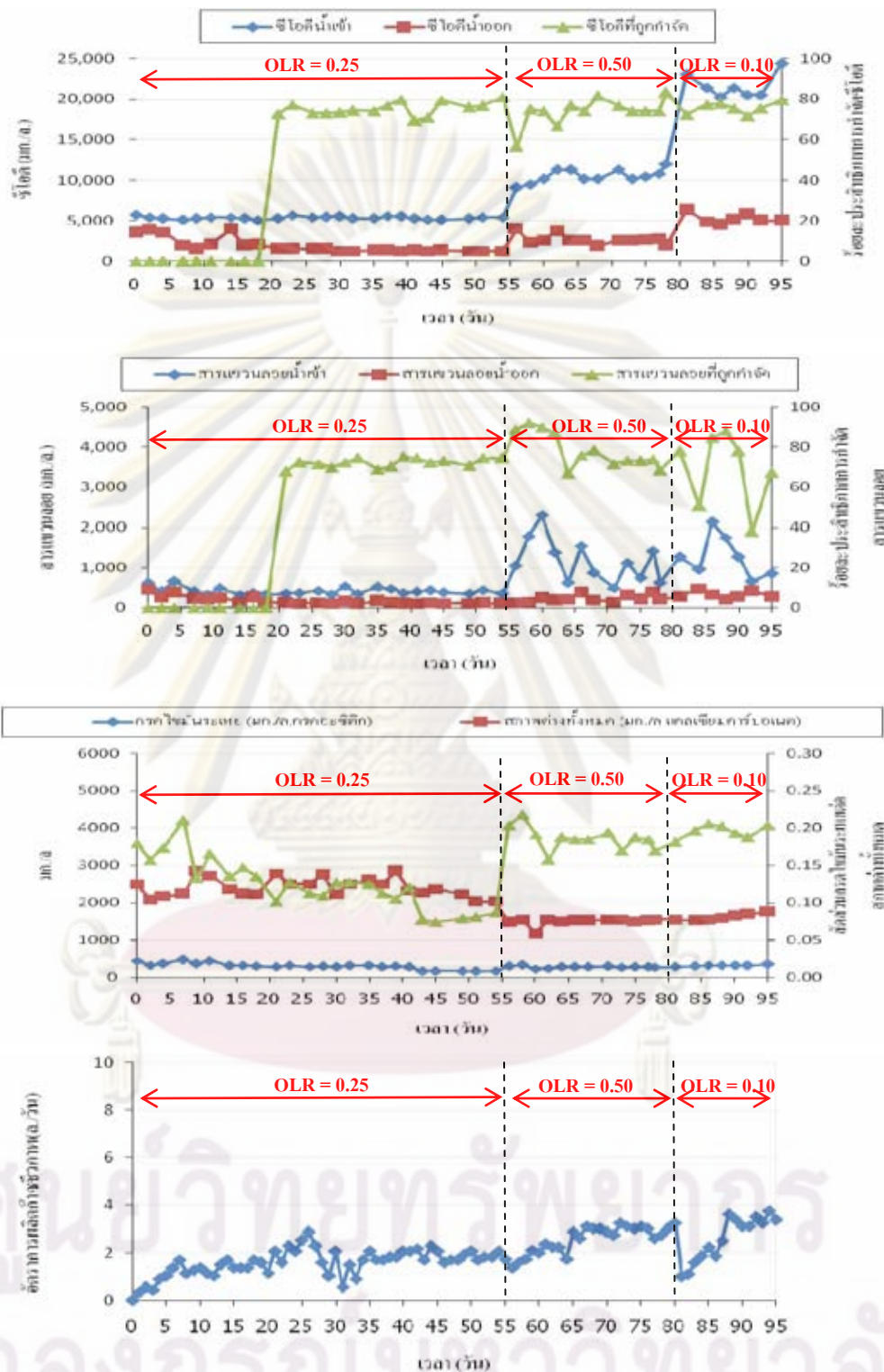
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและประสิทธิภาพการสารแขวนลอยของ ระบบที่อัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่ถูกกำจัด ที่อัตราหมวนเวียนน้ำเสียกลับต่างๆ

4.3 การศึกษาผลของอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี สารแขวนลอย และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากผลการทดลองเดินระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบ โดยการป้อนน้ำเสียโรงงานสุราที่เจือจางให้มีความเข้มข้นชีโอดีประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อวัน คิดเป็นอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.25 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และปรับเปลี่ยนอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียในระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่อัตราการเวียนน้ำเสียตั้งแต่ 1:0 ถึง 1:20 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าเหมาะสมที่อัตราการหมวนเวียนน้ำเสีย 1:15 ถึง 1:20 แต่เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ยังมีค่าต่ำมาก อาจเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบมีปริมาณต่ำ ดังนั้นจึงทดลองเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ โดยพิจารณาเลือกอัตราการหมวนเวียนน้ำเสียคงที่ตลอดการทดลองเท่ากับ 1:20 และปรับเปลี่ยนอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบจาก 0.25 เป็น 0.5 และ 1:0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ โดยการเพิ่มค่าชีโอดีน้ำเสียจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์มีผลทำให้ความเข้มข้นชีโอดี และสารแขวนลอยในน้ำออกมีค่าสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีและสารแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งอัตราส่วนค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.13



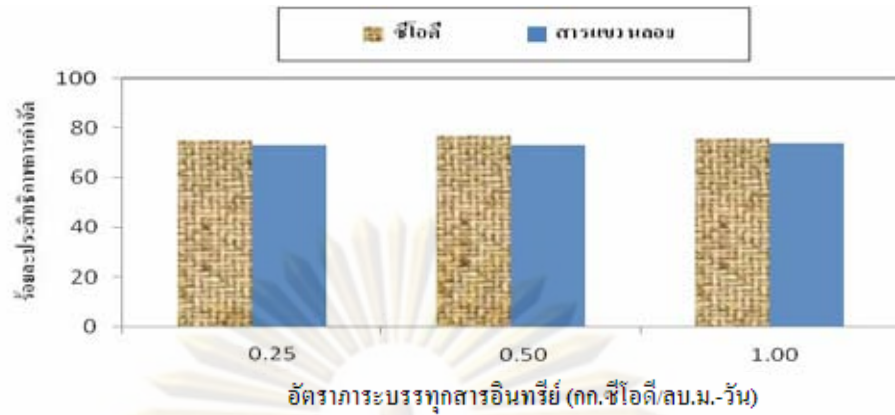
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร สถานะของระบบ และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบเมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ (ค่าความเข้มข้นชีโอดีเริ่มต้นจาก 5,000 เป็น 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ที่อัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียกลับที่ 1:20 โดยภาพรวมทั้งในด้านประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลสารต่างๆ สักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และลักษณะน้ำออกจากระบบ แสดงได้ดังตารางที่ 4.9

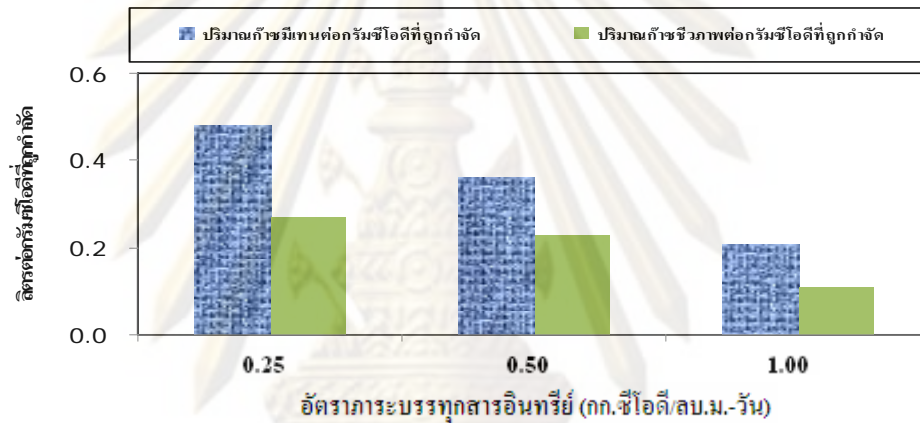
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ

พารามิเตอร์	อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน)		
	0.25	0.5	1.0
ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (%)	75	77	76
ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย (%)	73	73	74
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.48	0.36	0.21
อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.27	0.23	0.11
องค์ประกอบก๊าซมีเทน (%)	55.43	64.24	53.87
สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด	0.11	0.19	0.20
ค่าชีโอดีน้ำออก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,352	2,486	5,280
ปริมาณสารแขวนลอยน้ำออก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	112	247	295

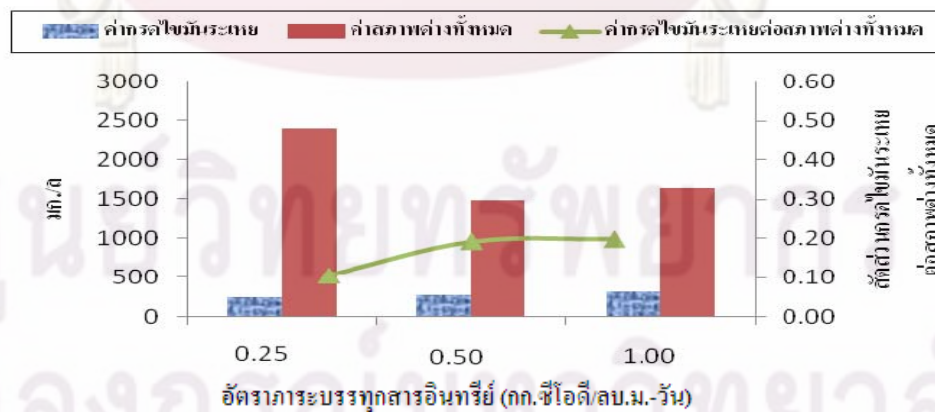
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากสาโดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบที่ 1:20 และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.25 - 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าที่ทุกอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและสารแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 75-77 และร้อยละ 73-74 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.14 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีค่าเท่ากับ 3,391 มิลลิตรต่อวัน ส่วนก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อชีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด มีค่าลดลงจาก 0.48 เป็น 0.36 และ 0.21 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด และ 0.27 เป็น 0.23 และ 0.11 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด ดังรูปที่ 4.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.15 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และการผลิตก๊าซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ของก๊าซชีวภาพ และก๊าซมีเทนที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ต่างๆ



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดที่อัตราภาระบรรจุสารอินทรีย์ต่างๆ

การเพิ่มอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรดที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งความเข้มข้นของซับสเตรดที่มากขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบให้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นของซับสเตรดที่มากขึ้นยังเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณาลักษณะน้ำออกจากระบบที่ทุกอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ พบว่าพีเอช สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดต่างมีค่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อระบบ

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดพบว่า มีแนวโน้มลดลง ส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าสูงสุดที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเริ่มมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการบรรทุกซีโอดีเป็น 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

ในกรณีที่ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดมีแนวโน้มลดลง อาจมีสาเหตุมาจากซับสเตรดเกิดการไฮโดรไลซิสไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ซับสเตรดบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนไม่ทัน หรืออาจเกิดจากความเข้มข้นของซับสเตรดบางชนิดอาจมีค่าสูงจนถึงจุดที่อาจเกิดการจำกัดอัตราการเจริญเติบโตแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่สูง ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนในระบบ ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด และร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จึงมีแนวโน้มลดลง

4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียกากส่าที่มีการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบกับงานวิจัยอื่นๆ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดน้ำเสียกากส่าด้วยระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบกับระบบอื่นๆ ที่มีการหมวนเวียนน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สารแขวนลอย และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียกากส่า ดังตารางที่ 4.10

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี สารแขวนลอย และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียกากส่าด้วยระบบถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่มีการหมวนเวียนน้ำเสียภายในระบบกับระบบอื่นๆ ที่มีการหมวนเวียนน้ำเสีย พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับการ

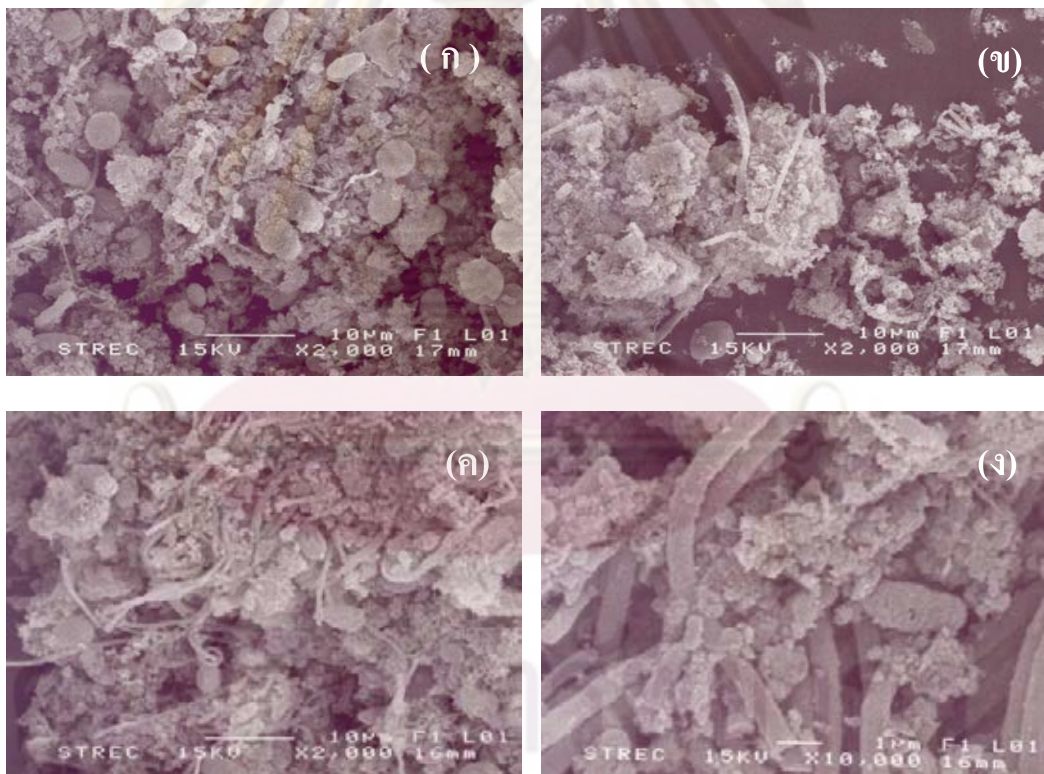
ทดลองอื่น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอยมีค่าสูงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น อาจเนื่องจากระบบมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียยาวนานกว่าและมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่า ส่วนอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าสูงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น อาจเนื่องจากระบบมีระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียยาวนานกว่า

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียดักล่า

ผู้วิจัย	ระบบบำบัด	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักพักขลศาสตร์ (วัน)	ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการกำจัดสารแขวนลอย (ร้อยละ)	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)
งานวิจัยนี้	ระบบถังหมักใรรู้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียภายในระบบ 20 เท่า	0.25	20	75	73	0.48
		0.50	20	77	73	0.36
		1.00	20	76	74	0.21
Boopathy, 1988	ยูเอเอสบี	6	-	85	-	-
Cheng, 1991	เทอร์โมฟิลิกยูเอเอสบี (55 องศาเซลเซียส)	2.2-25	0.4-5	50-60	-	-
West, 2004	ยูเอเอสบี	10	-	65-70	-	0.50
สุเมธ ชวเดช, 2539	ยูเอเอสบี	5.2-7.1	-	50.3-44	-	0.28-0.33
เฉลิมเกียรติ อินทโชติ และสุรวิทย์ กลัดแก้ว, 2541	ยูเอเอสบี	1.1-1.5	15.2	-	36-48	0.20-0.39
วันชัย วงศ์เทียนชัย, 2545	ยูเอเอสบีไฮบริดฟิลเตอร์+ ซับสเตรค (น้ำตาล)	1.83-3.24	3	60-78	-	-
อิสระ รัตนปริยานุช, 2546	ยูเอเอสบีไฮบริดฟิลเตอร์มีถังหมักกรดน้ำ+ ซับสเตรค (น้ำตาล)	4-7	3	52-66	-	-
พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์, 2546	อีจีเอสบี	5-25	0.33-1	48-55	27-59	0.25-0.38

4.5 การศึกษาลักษณะของจุลชีพในระบบ

เมื่อพิจารณาลักษณะเชื้อจุลชีพหลังสิ้นสุดการทดลองเดินระบบที่อัตราภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอไซด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:20 พบว่าเชื้อจุลชีพยังคงมีลักษณะคล้ายโคลนชั้นเหลวเช่นเดิม เมื่อนำเชื้อจุลชีพไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy; SEM) กำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่า ห้องแรกของถังหมักเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีรูปร่างหลากหลายชนิดอาศัยอยู่ร่วมกัน ได้แก่ แบคทีเรียรูปร่างแบบท่อน (rod shape) รูปร่างแบบกลม (spherical shape) แบคทีเรียกลุ่มเส้นใย (Filamentous) ดังรูปที่ 4.17 (ก) และ (ข) ส่วนห้องที่ 2 ของถังหมักพบกลุ่มแบคทีเรียที่มีรูปร่างแบบท่อน แบคทีเรียกลุ่มเส้นใย เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 2,000 เท่า ดังรูปที่ 4.17 (ค) แต่เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า จะพบแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยปริมาณมาก ซึ่งคาดว่าเป็นแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสายพันธุ์ *Methanosaeta* ดังรูปที่ 4.17 (ง)



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตะกอนจุลชีพภายหลังจากสิ้นสุดการทดลอง
 (ก) (ข) กลุ่มแบคทีเรียที่พบภายในห้องที่ 1 ของถังหมัก ไร้ออกซิเจนที่กำลังขยาย 2,000 เท่า
 (ค) กลุ่มแบคทีเรียที่พบภายในห้องที่ 2 ของถังหมัก ไร้ออกซิเจนที่กำลังขยาย 2,000 เท่า
 (ง) กลุ่มแบคทีเรียที่พบภายในห้องที่ 2 ของถังหมัก ไร้ออกซิเจนที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

4.6 การประเมินราคาค่าใช้จ่ายค่าสารเคมี

การหมุนเวียนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาช่วยควบคุมระบบให้มีพีเอชเป็นกลาง เป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายค่าสารเคมี ซึ่งการทดลองนี้จะใช้สารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัมต่อน้ำกากส่าสด 50 มิลลิลิตร ในการทดลองเจือจางน้ำกากส่าด้วยน้ำประปา 20 เท่า เพื่อปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้มีค่าพีเอชเป็นกลางก่อนทำการป้อนเข้าสู่ระบบ โดยสารเคมี โซเดียมไฮดรอกไซด์มีราคาเท่ากับ 30 บาทต่อกิโลกรัม (ปีพ.ศ. 2552) ดังนั้นระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำเสียในระบบสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายค่าสารเคมีได้เท่ากับ 0.06 บาทต่อลิตร หรือเท่ากับ 60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของการหมუნเวียนน้ำเสียภายในระบบและผลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่าโดยถังหมักไร้ออกซิเจนสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนที่มีการป้อนน้ำเสือกากส่าจากโรงงานสุราด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.25 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และระยะเวลาเก็บกัก 20 วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 41 และ 48 ตามลำดับ โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.1 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่อมีการหมუნเวียนน้ำเสียกลับเข้าระบบใหม่ที่อัตราการเวียนน้ำเสียกลับเท่ากับ 1:5 1:10 1:15 และ 1:20 พบว่าระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยสูงขึ้นเป็นร้อยละ 57-76 และ 72-77 ตามลำดับ และสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นถึง 2-38 เท่า โดยมีค่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 0.48 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราการหมუნเวียนน้ำเสีย 1:20

2. การหมუნเวียนน้ำเสียภายในระบบที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสือกากส่าจากโรงงานสุราด้วยระบบถังหมักไร้ออกซิเจนคือ ที่อัตราการหมუნเวียนน้ำเสีย 1:15 ถึง 1:20 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 72-76 และ 73-77 ตามลำดับ และมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงเท่ากับ 0.37-0.48 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด รวมทั้งมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงเท่ากับ 0.20-0.27 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการหมუნเวียนน้ำเสียพบว่าสถานะที่อัตราการหมუნเวียนน้ำเสีย 1:15 ถึง 1:20 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและสารแขวนลอยเพิ่มขึ้นจากระบบที่ไม่มีการหมუნเวียนน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 75.6-85.4 และ 52.1-60.4 ตามลำดับ และสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นถึง 27-38 เท่า

3. เมื่อทำการเพิ่มอัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์จาก 0.25 เป็น 0.5 และ 1.0 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อัตราการหมุนเวียนน้ำเสีย 1:20 พบว่าที่ทุกอัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดชีโอดีและสารแขวนลอยใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 75-77 และร้อยละ 73-74 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์สูงขึ้น (ร้อยละ 54 ถึง 76) ส่วนก๊าซชีวภาพและปริมาณก๊าซมีเทนต่อชีโอดีที่ถูกกำจัดมีแนวโน้มลดลง โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64 ที่อัตราภาระบรรทุสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน

4. การหมุนเวียนน้ำเสียในระบบมีส่วนช่วยเพิ่มค่าสภาพต่างของน้ำให้กับระบบทำให้อัตราส่วนกรดอินทรีย์ระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดมีค่าลดลง มีผลทำให้ค่าพีเอชเป็นกลาง และมีสถานะเหมาะสมต่อการทำงานของจุลชีพกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogens) ทำให้แบคทีเรียสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงขึ้น นอกจากนี้การหมุนเวียนน้ำเสียในระบบสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายค่าสารเคมี (สารต่าง) ได้เท่ากับ 0.06 บาทต่อลิตร หรือเท่ากับ 60 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้น้ำเสียจริงในการทดลองมีส่วนทำให้ค่าชีโอดีน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบเปลี่ยนแปลงไปบ้าง ดังนั้นควรมีการทำการตรวจสอบความเข้มข้นชีโอดีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อจะได้นำไปคำนวณใช้งานอย่างถูกต้อง บางครั้งจะมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมาพร้อมกับน้ำเสีย ซึ่งถ้ามีขนาดใหญ่จะขวางทางน้ำออก ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นผลทำให้น้ำเสียที่อยู่ภายในถังปฏิกรณ์ล้นออกมาไม่ได้ ดังนั้น ควรทำช่องน้ำออกจากระบบให้ใหญ่ขึ้น และหมั่นดูแลระบบอย่างสม่ำเสมอ

2. ศึกษาความเข้มข้นของชีโอดีน้ำเข้าระบบที่มากกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้มีค่าใกล้เคียงกับสภาพน้ำเสียจริง เพื่อลดอัตราส่วนการเจือจางน้ำก่อนเข้าระบบ

3. ศึกษาระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียที่เหมาะสม ที่อัตราส่วนน้ำเสียบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียบมากกว่า 1:20 เท่า เพื่อหาระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียและอัตราส่วนการหมุนเวียนน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำกากส่า

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัณทมาศ สุทธิเรืองวงศ์. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันค้นคว้า

และพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. การนำของเสียจากการผลิต

เอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. 2549. (รายงานบทสรุปผู้บริหาร)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. การออกแบบโรงบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: เอส. อาร์. พรินต์ติ้ง

แมสโปรดักส์, 2547.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย. เล่ม 4. นนทบุรี: เอส. อาร์. พรินต์ติ้ง

แมสโปรดักส์, 2543.

กลุ่มบริษัทสุราทิพย์. กระบวนการผลิตและบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสุราทิพย์. เอกสารกระบวนการ

ผลิตสุราขาวและสุราผสม, 2542.

ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร:

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาวิจัย

หลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาตโรงงานสุรากลั่น. กรุงเทพมหานคร:

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

เฉลิมเกียรติ อินทโชติ และสุรวิทย์ กลัดแก้ว. การบำบัดน้ำเสียโรงงานสุราที่ผ่านถึงสร้างครดมาแล้ว

โดยระบบยูเอเอสบี [ออนไลน์]. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ด้านวิศวกรรมพลังงานและ

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2541. แหล่งที่มา:

[http://teenet.chiangmai.ac.th/eng/research.php\[20](http://teenet.chiangmai.ac.th/eng/research.php[20) พฤษภาคม 2550]

ชวลิต รัตนธรรมสกุล และสุชัญญา ทองเครือ. ผลของสัดส่วนอัตราไหลเข้าต่ออัตราหมุนเวียนน้ำ

เสียกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดแบบอีจีเอสบี.

วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 28 (มกราคม-มิถุนายน 2549): 13-23.

ทรงพล ครามโกมุท. การกำจัดสีน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้

อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

- ปาริชาติ หมั่นสีทา. การกำจัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วน โดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. โครงการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลใน กทม. และเชียงใหม่ (เฟส 2) (ที่ปรึกษาเพื่อออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียพร้อมอุปกรณ์ประกอบ). กรุงเทพมหานคร, 2549.
- พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์. การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อ็อกซิเจนสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ภาศัลย์ ใจรังสี. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: แชน. อี.68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียรส์, 2542.
- มาลี วิชาจารย์. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- วันชัย วงศ์เทียนชัย. ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่า ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดอ็อกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- สถาบันสิ่งแวดล้อม และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. สรุปผลการทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ แนวทางการกำจัดจากโรงงานสุรา. หน้า 1-73 กรุงเทพมหานคร, 2525
- สุเมธ ชวเดช. การเพิ่มประสิทธิภาพระบบหมักแบบยูเอเอสบี โดยควบคุมอุณหภูมิในช่วงเทอร์โมฟิลิก [ออนไลน์]. รายงานวิจัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539. แหล่งที่มา: <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/219>[20 พฤษภาคม 2550]
- สมศักดิ์ ดำรงเลิศ และมาลี วิชาจารย์. การศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์และความต้องการในงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมจากของเสียในโรงงานสุราในประเทศไทย. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529

- อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: 2545
- อาริยา วิรัชวรกุล. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- อิสระ รัตนปริยานุช. การบำบัดน้ำเสียจากสาโดยใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดฟิลเตอร์ที่มีถังหมักกรดน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- อุตสาหกรรม, กระทรวง กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ข้อมูลโรงงานตามประเภทอุตสาหกรรม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://diw.go.th/diw_web/html/versionthai/data/-Download_fac2.asp [23 กรกฎาคม 2551]

ภาษาอังกฤษ

- Akunna, J. C. and Clark, M. Performance of a granular-bed anaerobic baffled reactor (GRABBR) treating whisky distillery wastewater. Bioresource Technology 74 (2000): 257-261.
- Boopathy, R., Larsen, V.F. and Senior, E. Performance of Anaerobic Baffled Reactor(ABR) in treating distillery wastewater from Scotch Whisky Factory. Biomass 16 (1988): 133-143.
- Cheng, R.M. High Rate Anaerobic treatment of Industrial Wastewater at Thermophilic condition. Biotechnology and Bioengineering 27, 10 (1991): 1,382-1,398.
- Eckenfelder, W. W. Industrial water pollution control. 3rd ed. Singapore. McGraw-Hill, 2000.
- Gerardi, M. H. The microbiology of anaerobic digesters. New Jersey: John Wiley & Son, 2003.
- Hong, Y.K. Characterization of Anaerobic Sludge for distillery Waste Treatment. Master of Engineering Thesis, Environmental Engineering Program, Asian Institute of Technology, 1989.
- Jeison, D. and Chamy, R. Comparison of the Behaviour of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) and Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors in dilute and concentrated Wastewater Treatment. Wat.Sci.Tech 40, 80 (1999): 91-98.
- Lettinga, G., De Man, A., Van Der Last, A.R.M., Wiegant, W., Van Knioenberg, K., Frijns, J., and Van Buuren, J.C.L. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor. Biotechnology and Bioengineering 25 (1993): 1701-1723.

- Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed. Boston. McGraw-Hill, 2003.
- Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. 4th ed. Singapore. McGraw-Hill, 2004.
- Ratanatamskul, C., and Nuntiwawat, P. Effect of organic loading rate and upflow velocity on biogas production and granular sludge structure by high rate EGSB system in treating distillery slop wastewater. ORBIT 2006 (2006): 771-778.
- Reynolds, T. D. and Richards, P. A. Unit operations and processes in environmental engineering. Boston: PWS, 1996
- Satyawali, Y. and Balakrishnan, M. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review. Journal of Environmental Management 86 (February 2008): 481-497.
- Van der Last, A.R.M. and Lettinga, G. Anaerobic treatment of domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. Water Science Technology 25, 7 (1992): 167-178.
- West, S. Co-Generation Opportunities Utilizing Sugar Industry Wastewater Through the Use of Biological Treatment Systems. [Online]. Philippines: Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia 14-16 January 2004. Available from: http://www.cogen3.net/doc/countryinfo/philippines/CogenOpporUtilizingSugarWastewater_steward.pdf [2007, October 13].
- Yacob, S., Shirai, Y., Hassan, M. A., Wakisaka, M., and Subash, S. Start-up operation of semi-commercial closed anaerobic digester for palm oil mill effluent treatment. Process Biochemistry 41 (2006): 962-964.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ผลการทดลองทุกชุดการทดลอง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก -1 แสดงค่าซีโอดีและค่าสารแขวนลอยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
4/8/51	0	8,325	9,000	900	2,400
6/8/51	2	8,000	6,400	720	2,400
8/8/51	4	8,903	6,194	733	1,300
11/8/51	7	6,645	6,645	580	1,060
13/8/51	9	5,032	3,710	840	1,020
15/8/51	11	5,581	4,871	1,020	800
18/8/51	14	5,250	5,684	860	660
20/8/51	16	5,149	4,188	620	440
22/8/51	18	5,160	3,168	460	350
25/8/51	21	4,896	4,814	580	260
27/8/51	23	5,293	4,148	570	250
29/8/51	25	5,472	4,378	270	340
1/9/51	28	5,521	4,294	410	300
3/9/51	30	5,200	3,596	180	220
5/9/51	32	5,581	3,077	500	340
8/9/51	35	5,160	3,127	610	300
10/9/51	37	5,521	2,596	540	220
12/9/51	39	5,440	2,814	410	110
15/9/51	42	5,228	3,284	180	120
17/9/51	44	5,200	3,168	240	160
19/9/51	46	5,545	3,284	260	120
22/9/51	49	5,032	3,200	150	100
24/9/51	51	5,581	3,059	300	150
26/9/51	53	5,250	3,148	270	150
29/9/51	56	5,200	3,077	270	110
1/10/51	58	5,545	3,127	270	120

ตารางที่ ก -1 แสดงค่าซีโอดีและค่าสารแขวนลอยที่ตัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
3/10/51	60	5,193	3,284	150	100
6/10/51	63	5,472	3,200	300	130
8/10/51	65	5,521	3,059	210	100
ค่าเฉลี่ย		5,362	3,161	236	124
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		161	83	55	23
n		10	10	10	10

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก -2 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:5

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
10/10/51	0	5,110	3,097	510	460
13/10/51	3	5,419	2,658	760	420
15/10/51	5	5,160	3,127	620	340
17/10/51	7	5,419	2,942	460	310
20/10/51	10	6,658	3,097	580	470
22/10/51	12	5,110	2,345	570	280
24/10/51	14	5,480	2,080	500	290
27/10/51	16	5,729	2,013	610	390
29/10/51	19	4,659	2,323	540	340
31/10/51	21	5,280	2,013	370	180
3/11/51	24	5,160	2,323	410	140
5/11/51	26	5,160	2,168	460	150
7/11/51	28	5,110	2,323	340	100
9/11/51	31	5,265	2,240	330	90
12/11/51	33	5,110	2,477	440	120
14/11/51	35	5,110	2,323	350	100
17/11/51	38	5,280	2,240	460	130
19/11/51	40	5,419	2,323	580	150
21/11/51	42	5,431	2,168	460	130
24/11/51	45	5,729	2,240	340	100
26/11/51	47	5,160	2,323	460	120
28/11/51	49	5,110	2,168	340	90
1/12/51	52	5,265	2,240	330	90
3/12/51	54	5,110	2,323	420	110
5/12/51	56	5,280	2,118	350	90
ค่าเฉลี่ย		5,322	2,266	405	114
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		439	92	73	22
n		15	15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก -3 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:10

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
10/10/51	0	5,110	3,168	510	250
13/10/51	3	5,419	2,814	760	420
15/10/51	5	5,160	3,148	620	250
17/10/51	7	5,419	3,596	460	150
20/10/51	10	6,658	2,615	580	380
22/10/51	12	5,110	2,658	570	200
24/10/51	14	5,480	3,561	500	140
27/10/51	16	5,729	3,871	610	250
29/10/51	19	4,659	3,596	540	280
31/10/51	21	5,280	3,097	370	150
3/11/51	24	5,160	2,013	410	110
5/11/51	26	5,160	2,013	460	130
7/11/51	28	5,110	2,080	340	100
9/11/51	31	5,265	2,013	330	90
12/11/51	33	5,110	2,118	440	110
14/11/51	35	5,110	2,080	350	100
17/11/51	38	5,280	2,033	460	110
19/11/51	40	5,419	2,033	580	150
21/11/51	42	5,431	2,013	460	120
24/11/51	45	5,729	2,013	340	70
26/11/51	47	5,160	2,118	460	120
28/11/51	49	5,110	2,080	340	100
1/12/51	52	5,265	2,033	330	80
3/12/51	54	5,110	2,013	420	110
5/12/51	56	5,280	2,013	350	90
ค่าเฉลี่ย		5,319	2,044	405	106
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		424	40	73	20
n		15	15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-4 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:15

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
8/12/51	0	5,110	2,477	860	670
10/12/51	2	5,419	2,632	620	370
13/12/51	5	5,160	2,033	460	480
15/12/51	7	5,419	1,548	580	350
17/12/51	9	6,658	1,858	570	210
20/12/51	12	5,110	2,632	720	510
22/12/51	14	5,480	2,080	650	250
24/12/51	16	5,729	2,632	400	180
27/12/51	19	4,659	1,994	330	150
29/12/51	21	5,280	2,118	500	260
31/12/51	23	5,160	1,548	610	150
2/1/52	25	5,160	1,564	540	120
5/1/52	28	5,110	1,548	620	150
7/1/52	30	5,265	1,548	410	90
9/1/52	32	5,110	1,412	650	150
12/1/52	35	5,110	1,564	420	100
14/1/52	37	5,280	1,412	330	80
16/1/52	39	5,419	1,375	480	100
19/1/52	42	5,431	1,412	310	70
21/1/52	44	5,729	1,564	380	90
23/1/52	46	5,280	1,548	320	80
26/1/52	49	5,061	1,564	340	80
28/1/52	51	5,674	1,548	360	90
31/1/52	54	5,110	1,412	420	100
2/2/52	56	5,480	1,412	330	80
ค่าเฉลี่ย		5,357	1,495	435	102
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		182	77	118	28
n		15	15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก -5 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
5/1/52	0	5,110	3,561	620	440
7/1/52	2	5,265	3,871	410	250
9/1/52	4	5,729	3,596	650	370
12/1/52	7	5,265	2,013	420	220
14/1/52	9	5,280	1,548	330	200
16/1/52	11	5,110	2,080	480	240
19/1/52	14	5,419	3,963	310	140
21/1/52	16	5,160	1,994	380	250
23/1/52	18	5,419	2,080	320	140
26/1/52	21	5,658	1,564	340	110
28/1/52	23	5,280	1,548	360	100
31/1/52	26	5,431	1,564	420	120
2/2/52	28	5,729	1,548	330	100
4/2/52	30	5,280	1,375	540	150
6/2/52	32	5,110	1,251	350	90
9/2/52	35	5,674	1,394	510	160
11/2/52	37	5,521	1,375	470	140
13/2/52	39	5,521	1,251	360	90
15/2/52	41	5,265	1,394	390	100
17/2/52	43	5,110	1,251	430	120
19/2/52	45	5,110	1,239	370	100
23/2/52	49	5,280	1,251	340	100
25/2/52	51	5,419	1,251	430	110
28/2/52	54	5,431	1,239	350	90
ค่าเฉลี่ย		5,378	1,352	413	112
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		183	125	66	23
n		14	14	14	14

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-6 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
4/8/51	0	1,882	3,382	0.56
6/8/51	2	1,607	3,607	0.45
8/8/51	4	893	2,500	0.36
11/8/51	7	1,107	2,089	0.53
13/8/51	9	712	2,000	0.36
15/8/51	11	778	2,778	0.28
18/8/51	14	667	2,833	0.24
20/8/51	16	533	2,233	0.24
22/8/51	18	550	2,025	0.27
25/8/51	21	533	2,233	0.24
27/8/51	23	667	2,833	0.24
29/8/51	25	528	2,722	0.19
1/9/51	28	467	2,433	0.19
3/9/51	30	425	2,113	0.20
5/9/51	32	425	1,900	0.22
8/9/51	35	350	2,075	0.17
10/9/51	37	425	2,163	0.20
12/9/51	39	325	2,050	0.16
15/9/51	42	313	2,225	0.14
17/9/51	44	325	2,225	0.15
19/9/51	46	350	2,075	0.17
22/9/51	49	350	2,225	0.16
24/9/51	51	375	2,225	0.17
26/9/51	53	350	2,075	0.17
29/9/51	56	375	2,225	0.17

ตารางที่ ก-6 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:0 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
1/10/51	58	313	2,225	0.14
3/10/51	60	281	2,050	0.16
6/10/51	63	281	2,225	0.13
8/10/51	65	313	2,225	0.14
ค่าเฉลี่ย		331	2,178	0.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		34	77	0.02
n		10	10	10

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-7 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:5

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
10/10/51	0	425	2,163	0.20
13/10/51	3	467	2,433	0.19
15/10/51	5	528	2,722	0.19
17/10/51	7	488	2,850	0.17
20/10/51	10	450	2,850	0.16
22/10/51	12	450	2,775	0.16
24/10/51	14	450	2,700	0.17
27/10/51	16	394	2,750	0.14
29/10/51	19	375	2,613	0.14
31/10/51	21	328	2,500	0.13
3/11/51	24	325	2,325	0.14
5/11/51	26	325	2,325	0.14
7/11/51	28	338	2,275	0.15
9/11/51	31	350	2,275	0.15
12/11/51	33	356	2,325	0.15
14/11/51	35	356	2,325	0.15
17/11/51	38	356	2,325	0.15
19/11/51	40	281	2,150	0.13
21/11/51	42	300	2,175	0.14
24/11/51	45	313	2,225	0.14
26/11/51	47	319	2,275	0.14
28/11/51	49	263	2,225	0.12
1/12/51	52	250	2,150	0.12
3/12/51	54	238	2,025	0.12
5/12/51	56	219	2,025	0.11
ค่าเฉลี่ย		306	2,228	0.14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		46	104	0.01
n		15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-8 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:10

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
10/10/51	0	488	2,850	0.17
13/10/51	3	375	2,850	0.13
15/10/51	5	450	2,775	0.16
17/10/51	7	450	2,700	0.17
20/10/51	10	394	2,750	0.14
22/10/51	12	356	2,613	0.14
24/10/51	14	450	2,500	0.18
27/10/51	16	375	2,125	0.18
29/10/51	19	281	2,325	0.12
31/10/51	21	300	2,500	0.12
3/11/51	24	356	2,613	0.14
5/11/51	26	300	2,850	0.11
7/11/51	28	328	2,775	0.12
9/11/51	31	356	2,700	0.13
12/11/51	33	356	2,750	0.13
14/11/51	35	328	2,500	0.13
17/11/51	38	300	2,500	0.12
19/11/51	40	281	2,325	0.12
21/11/51	42	300	2,850	0.11
24/11/51	45	281	2,325	0.12
26/11/51	47	175	1,875	0.09
28/11/51	49	175	1,950	0.09
1/12/51	52	175	1,875	0.09
3/12/51	54	175	1,725	0.10
5/12/51	56	163	1,725	0.09
ค่าเฉลี่ย		270	2,356	0.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		75	420	0.02
n		15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-9 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:15

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
8/12/51	0	563	2,964	0.19
10/12/51	2	483	2,958	0.16
13/12/51	5	525	3,571	0.15
15/12/51	7	450	2,850	0.16
17/12/51	9	413	2,775	0.15
20/12/51	12	450	2,700	0.17
22/12/51	14	375	2,625	0.14
24/12/51	16	375	2,800	0.13
27/12/51	19	319	2,750	0.12
29/12/51	21	375	2,775	0.14
31/12/51	23	325	2,750	0.12
2/1/52	25	319	2,650	0.12
5/1/52	28	325	2,775	0.12
7/1/52	30	300	2,625	0.11
9/1/52	32	281	2,500	0.11
12/1/52	35	300	2,625	0.11
14/1/52	37	281	2,650	0.11
16/1/52	39	300	2,500	0.12
19/1/52	42	319	2,325	0.14
21/1/52	44	281	2,325	0.12
23/1/52	46	281	2,500	0.11
26/1/52	49	175	2,025	0.09
28/1/52	51	175	1,725	0.10
31/1/52	54	163	1,875	0.09
2/2/52	56	175	1,925	0.09
ค่าเฉลี่ย		267	2,385	0.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		61	341	0.01
n		15	15	15

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-10 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
5/1/52	0	450	2,500	0.18
7/1/52	2	328	2,089	0.16
9/1/52	4	375	2,163	0.17
12/1/52	7	469	2,233	0.21
14/1/52	9	375	2,833	0.13
16/1/52	11	450	2,722	0.17
19/1/52	14	319	2,365	0.13
21/1/52	16	328	2,233	0.15
23/1/52	18	300	2,225	0.13
26/1/52	21	281	2,775	0.10
28/1/52	23	319	2,500	0.13
31/1/52	26	281	2,500	0.11
2/2/52	28	300	2,750	0.11
4/2/52	30	281	2,225	0.13
6/2/52	32	319	2,500	0.13
9/2/52	35	325	2,613	0.12
11/2/52	37	281	2,500	0.11
13/2/52	39	300	2,850	0.11
15/2/52	41	281	2,325	0.12
17/2/52	43	175	2,275	0.08
19/2/52	45	175	2,365	0.07
23/2/52	49	175	2,225	0.08
25/2/52	51	163	2,025	0.08
28/2/52	54	175	2,025	0.09
ค่าเฉลี่ย		254	2,406	0.11
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		64	244	0.02
n		14	14	14

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-11 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:0

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
4/8/51	0	0	6.46	7.00	29.3	29.9
5/8/51	1	0	6.87	7.33	28.5	28.7
6/8/51	2	0	6.15	7.20	30.0	29.9
7/8/51	3	58	7.03	7.24	29.2	29.2
8/8/51	4	0	6.32	7.40	29.6	29.4
9/8/51	5	58	6.68	7.67	30.1	29.9
10/8/51	6	58	7.05	7.86	28.8	28.6
11/8/51	7	35	6.55	7.54	29.8	29.6
12/8/51	8	35	6.61	8.02	30.2	30.1
13/8/51	9	29	7.20	7.70	30.9	29.9
14/8/51	10	58	6.74	7.96	29.5	29.3
15/8/51	11	86	7.62	7.31	29.2	29.6
16/8/51	12	115	6.95	7.42	28.6	28.7
17/8/51	13	115	6.87	7.87	30.2	29.8
18/8/51	14	58	7.86	7.84	30.0	29.8
19/8/51	15	115	6.90	7.99	29.1	29.3
20/8/51	16	115	6.81	8.05	29.6	29.5
21/8/51	17	144	7.03	8.14	28.6	28.8
22/8/51	18	115	7.04	7.96	29.0	29.3
23/8/51	19	86	6.63	7.75	28.5	28.9
24/8/51	20	86	7.19	7.90	28.4	28.2
25/8/51	21	115	6.95	7.64	30.1	30.1
26/8/51	22	173	7.08	8.05	28.9	29.2
27/8/51	23	115	6.95	7.79	29.5	29.6
28/8/51	24	173	7.00	7.95	28.7	28.5

ตารางที่ ก-11 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:0 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
29/8/51	25	201	6.98	8.06	30.1	29.8
30/8/51	26	173	7.12	8.12	29.7	29.4
31/8/51	27	173	7.15	7.86	29.3	28.9
1/9/51	28	173	7.04	7.75	29.1	29.5
2/9/51	29	201	7.19	7.45	28.2	28.6
3/9/51	30	115	6.96	7.30	29.3	29.6
4/9/51	31	144	7.23	7.69	29.5	29.9
5/9/51	32	144	7.05	8.23	29.7	29.0
6/9/51	33	115	7.11	7.98	30.1	30.2
7/9/51	34	201	6.95	8.25	28.8	28.6
8/9/51	35	173	6.68	8.59	29.3	29.4
9/9/51	36	230	7.15	8.11	27.8	27.5
10/9/51	37	201	6.56	8.28	26.2	27.8
11/9/51	38	173	7.13	7.99	28.5	28.7
12/9/51	39	173	7.05	8.22	28.4	28.2
13/9/51	40	230	6.98	8.11	29.6	29.4
14/9/51	41	201	7.17	7.86	28.7	28.2
15/9/51	42	230	6.91	8.14	27.6	27.3
16/9/51	43	173	6.99	7.95	28.5	28.8
17/9/51	44	259	7.45	8.13	29.8	29.5
18/9/51	45	259	7.19	7.92	28.7	28.5
19/9/51	46	230	7.33	8.18	30.0	30.0
20/9/51	47	230	7.24	7.79	29.9	29.7
21/9/51	48	201	6.75	7.59	30.2	29.8
22/9/51	49	201	7.65	7.83	29.5	29.7

ตารางที่ ก-11 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:0 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
23/9/51	50	173	6.90	7.91	28.7	28.5
24/9/51	51	201	7.31	7.85	30.1	29.7
25/9/51	52	173	7.01	7.76	29.9	29.9
26/9/51	53	173	7.16	7.58	29.3	29.3
27/9/51	54	201	6.41	7.65	30.1	30.1
28/9/51	55	201	6.87	8.12	29.4	29.4
29/9/51	56	201	7.19	7.95	29.6	29.6
30/9/51	57	230	7.48	8.08	30.2	30.2
1/10/51	58	230	7.62	8.40	29.5	29.5
2/10/51	59	201	6.86	7.86	27.9	27.9
3/10/51	60	259	7.05	7.79	28.4	28.4
4/10/51	61	230	7.15	7.82	28.1	28.1
5/10/51	62	201	6.91	7.94	27.6	27.6
6/10/51	63	230	7.38	7.89	29.9	29.9
7/10/51	64	201	6.96	8.15	30.7	30.7
8/10/51	65	230	7.45	8.37	29.8	29.8
ค่าเฉลี่ย		225	7.15	7.93	29.4	29.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		26	0.30	0.22	0.83	0.75
n		22	22	22	22	22

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-12 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:5

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
10/10/51	0	0	4.67	7.54	29.5	29.1
11/10/51	1	63	4.34	7.40	30.8	30.5
12/10/51	2	125	4.49	7.58	30.2	30.4
13/10/51	3	188	4.91	7.70	28.0	28.9
14/10/51	4	250	4.53	7.90	30.7	30.3
15/10/51	5	250	4.52	7.95	30.2	29.6
16/10/51	6	313	4.46	7.79	31.0	30.8
17/10/51	7	188	4.78	7.84	29.2	29.8
18/10/51	8	125	4.27	7.79	30.2	29.9
19/10/51	9	250	4.35	7.95	28.8	28.5
20/10/51	10	125	4.65	8.05	30.0	29.5
21/10/51	11	250	4.77	7.85	29.1	29.7
22/10/51	12	313	4.68	7.96	29.0	29.3
23/10/51	13	250	4.59	8.18	28.9	29.1
24/10/51	14	188	4.65	7.55	30.1	29.8
25/10/51	15	250	4.87	7.83	28.7	28.3
26/10/51	16	188	4.76	7.48	29.5	29.9
27/10/51	17	125	4.67	7.58	29.2	29.1
28/10/51	18	250	4.94	7.49	28.9	28.8
29/10/51	19	250	4.80	7.94	30.1	30.0
30/10/51	20	313	4.58	8.04	29.0	29.2
31/10/51	21	188	4.73	7.75	29.1	29.5
1/11/51	22	250	4.89	8.38	29.0	29.1
2/11/51	23	344	4.23	7.95	28.2	28.5
3/11/51	24	375	4.54	8.16	28.1	27.9

ตารางที่ ก-12 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:5 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
4/11/51	25	344	5.01	8.27	29.1	29.1
5/11/51	26	375	5.01	8.06	29.7	29.1
6/11/51	27	375	4.99	7.96	28.8	29.2
7/11/51	28	344	4.75	7.81	28.9	28.9
8/11/51	29	250	4.77	7.94	30.8	28.7
9/11/51	30	250	4.88	7.70	28.8	30.2
10/11/51	31	375	4.93	7.69	28.7	28.5
11/11/51	32	375	4.65	7.54	27.3	28.8
12/11/51	33	438	4.67	7.79	28.4	27.0
13/11/51	34	344	4.80	7.96	27.1	28.2
14/11/51	35	313	4.99	7.47	27.6	27.3
15/11/51	36	375	4.53	7.40	28.3	27.8
16/11/51	37	313	4.82	7.31	28.8	28.1
17/11/51	38	375	4.52	7.51	27.9	28.5
18/11/51	39	375	4.46	7.84	29.0	28.3
19/11/51	40	406	4.89	7.91	28.6	29.5
20/11/51	41	375	4.68	8.05	27.5	28.3
21/11/51	42	344	4.06	7.64	28.2	27.1
22/11/51	43	313	4.65	7.95	29.2	28.0
23/11/51	44	344	4.78	7.55	28.2	29.6
24/11/51	45	375	4.94	7.72	30.2	28.4
25/11/51	46	375	4.72	8.06	28.6	30.2
26/11/51	47	375	4.52	7.90	28.9	28.6
27/11/51	48	375	4.81	7.64	28.4	28.7
28/11/51	49	313	4.65	7.62	28.9	28.1

ตารางที่ ก-12 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:5 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
29/11/51	50	344	4.80	7.75	26.9	27.9
30/11/51	51	344	4.67	8.13	27.4	26.5
1/12/51	52	375	4.99	7.82	27.2	27.4
2/12/51	53	375	4.94	8.14	25.7	25.5
3/12/51	54	375	4.77	7.83	28.9	28.7
4/12/51	55	406	4.89	7.79	27.9	27.9
5/12/51	56	406	4.94	7.75	27.9	27.6
ค่าเฉลี่ย		369	4.75	7.81	28.4	28.2
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		40	0.20	0.23	0.98	0.99
n		33	33	33	33	33

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-13 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:10

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
10/10/51	0	0	4.67	7.49	29.5	29.1
11/10/51	1	250	4.34	7.47	30.8	30.9
12/10/51	2	250	4.49	7.39	30.2	30.0
13/10/51	3	313	4.91	7.79	28.0	29.4
14/10/51	4	375	4.53	7.48	30.7	30.5
15/10/51	5	250	4.52	7.31	30.2	29.6
16/10/51	6	438	4.46	7.94	31.0	31.2
17/10/51	7	125	4.78	7.86	29.2	29.7
18/10/51	8	313	4.27	7.31	30.2	29.9
19/10/51	9	375	4.35	7.65	28.8	28.7
20/10/51	10	750	4.65	7.90	30.0	29.7
21/10/51	11	500	4.77	8.06	29.1	29.3
22/10/51	12	875	4.68	7.96	29.0	29.1
23/10/51	13	250	4.59	7.62	28.9	28.4
24/10/51	14	375	4.65	8.18	30.1	30.0
25/10/51	15	250	4.87	7.90	28.7	28.1
26/10/51	16	750	4.76	7.83	29.5	29.7
27/10/51	17	500	4.67	7.85	29.2	29.0
28/10/51	18	1,000	4.94	7.96	28.9	29.1
29/10/51	19	500	4.80	7.85	30.1	29.9
30/10/51	20	625	4.58	7.95	29.0	29.4
31/10/51	21	375	4.73	7.58	29.1	29.5
1/11/51	22	500	4.89	7.83	29.0	29.3
2/11/51	23	625	4.23	7.95	28.2	28.2
3/11/51	24	750	4.54	8.16	28.1	28.4

ตารางที่ ก-13 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:10 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
4/11/51	25	750	5.01	7.79	29.1	29.6
5/11/51	26	875	4.99	7.98	29.7	29.3
6/11/51	27	1000	4.75	7.53	28.8	28.6
7/11/51	28	625	4.77	7.69	28.9	28.7
8/11/51	29	625	4.88	7.51	30.8	30.1
9/11/51	30	750	4.93	7.75	28.8	28.4
10/11/51	31	500	4.65	7.61	28.7	27.7
11/11/51	32	625	4.67	7.64	27.3	27.5
12/11/51	33	625	4.80	7.97	28.4	28.2
13/11/51	34	500	4.99	8.18	27.1	27.3
14/11/51	35	375	4.53	8.14	27.6	27.3
15/11/51	36	375	4.82	8.06	28.3	28.7
16/11/51	37	625	4.52	7.96	28.8	28.2
17/11/51	38	875	4.46	7.78	27.9	28.3
18/11/51	39	625	4.89	7.84	29.0	29.4
19/11/51	40	625	4.68	7.99	28.6	28.6
20/11/51	41	500	4.06	8.05	27.5	27.5
21/11/51	42	750	4.65	7.90	28.2	27.8
22/11/51	43	625	4.78	8.11	29.2	29.5
23/11/51	44	750	4.94	7.79	28.2	28.7
24/11/51	45	750	4.72	7.80	30.2	30.1
25/11/51	46	625	4.52	7.92	28.6	28.3
26/11/51	47	594	4.81	8.11	28.9	28.7
27/11/51	48	625	4.65	8.13	28.4	28.7
28/11/51	49	594	4.80	8.16	28.9	27.5

ตารางที่ ก-13 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:10 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
29/11/51	50	625	4.67	7.83	26.9	27.3
30/11/51	51	750	4.78	7.91	27.4	27.7
1/12/51	52	500	4.99	7.94	27.2	27.3
2/12/51	53	875	4.94	7.70	25.7	25.4
3/12/51	54	625	4.77	7.81	28.9	28.7
4/12/51	55	625	4.89	7.99	27.9	28.1
5/12/51	56	625	4.94	7.91	27.9	27.5
ค่าเฉลี่ย		674	4.75	7.90	28.4	28.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		137	0.20	0.19	0.98	0.95
n		33	33	33	33	33

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-14 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:15

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
8/12/51	0	0	4.80	7.97	25.4	25.2
9/12/51	1	460	4.77	7.86	24.3	24.3
10/12/51	2	805	4.94	7.91	26.9	25.3
11/12/51	3	1,265	4.86	7.75	27.5	27.4
12/12/51	4	345	4.67	7.76	28.3	28.8
13/12/51	5	920	5.02	7.98	27.8	27.9
14/12/51	6	460	4.52	7.86	27.6	27.7
15/12/51	7	805	4.77	7.95	28.9	28.8
16/12/51	8	1,035	4.93	7.85	28.7	28.9
17/12/51	9	1,610	4.65	8.10	27.2	27.3
18/12/51	10	1,495	4.79	7.95	28.7	28.6
19/12/51	11	1,380	4.06	7.69	27.6	27.6
20/12/51	12	1,495	4.23	7.73	28.8	28.3
21/12/51	13	1,035	4.82	8.11	28.5	28.4
22/12/51	14	1,380	4.86	7.76	28.8	28.8
23/12/51	15	1,150	4.68	7.79	29.9	29.7
24/12/51	16	1,265	4.83	7.85	29.1	28.9
25/12/51	17	1,035	4.99	7.75	28.0	28.1
26/12/51	18	1,265	4.70	8.12	27.9	27.7
27/12/51	19	1,150	4.84	7.94	27.4	27.1
28/12/51	20	1,610	4.91	7.90	27.5	27.5
29/12/51	21	2,070	4.60	8.53	27.2	27.4
30/12/51	22	2,300	4.83	7.98	28.4	28.3
31/12/51	23	1,610	4.91	7.85	26.5	27.4
1/1/52	24	1,495	4.23	8.25	27.1	27.0

ตารางที่ ก-14 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:15 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
2/1/52	25	1,265	4.79	8.18	26.5	26.3
3/1/52	26	1,265	4.84	7.85	27.2	27.0
4/1/52	27	1,380	4.60	8.06	28.0	28.1
5/1/52	28	1,725	4.65	8.02	27.4	27.3
6/1/52	29	1,610	4.83	7.91	26.9	26.9
7/1/52	30	1,610	4.70	7.95	28.6	28.8
8/1/52	31	1,380	4.65	7.90	27.3	27.1
9/1/52	32	1,495	4.78	8.05	27.1	27.0
10/1/52	33	1,150	4.53	7.95	26.7	26.7
11/1/52	34	1,150	4.60	7.96	25.4	25.4
12/1/52	35	1,150	4.82	8.18	24.2	24.8
13/1/52	36	1,495	4.94	8.06	25.7	25.6
14/1/52	37	1,150	4.86	7.95	25.4	25.4
15/1/52	38	1,035	4.77	7.87	25.2	25.3
16/1/52	39	1,150	4.83	8.05	24.3	24.6
17/1/52	40	920	4.80	7.95	23.1	23.1
18/1/52	41	1,035	4.65	7.96	24.1	24.5
19/1/52	42	1,035	4.84	8.18	26.7	26.3
20/1/52	43	1,265	4.46	7.95	27.4	27.4
21/1/52	44	1,380	4.60	7.94	27.2	27.2
22/1/52	45	1,150	4.86	8.18	26.8	26.9
23/1/52	46	1,265	4.91	7.97	26.5	27.4
24/1/52	47	1,265	4.78	7.84	27.1	27.3
25/1/52	48	1,380	4.65	7.90	28.3	28.1
26/1/52	49	1,610	4.79	8.18	28.5	28.3

ตารางที่ ก-14 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:15 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
27/1/52	50	1,495	4.82	7.83	29.6	29.6
28/1/52	51	1,380	4.65	7.96	28.4	28.5
29/1/52	52	1,610	4.89	7.79	27.5	27.5
30/1/52	53	1,495	4.91	7.89	29.1	29.2
31/1/52	54	1,725	4.70	7.95	28.3	28.3
1/2/52	55	1,610	4.68	7.80	29.0	29.2
2/2/52	56	1,725	4.82	8.07	28.2	28.5
ค่าเฉลี่ย		1,409	4.73	7.98	27.0	27.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		226	0.15	0.12	1.54	1.50
n		34	34	34	34	34

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-15 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ
ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
5/1/52	0	0	4.65	27.4	8.05	27.5
6/1/52	1	345	4.83	26.9	7.90	26.8
7/1/52	2	575	4.70	28.6	7.87	28.7
8/1/52	3	805	4.65	27.3	7.92	27.1
9/1/52	4	1,150	4.78	27.1	8.01	27.0
10/1/52	5	1,035	4.53	26.7	7.90	26.7
11/1/52	6	1,380	4.60	26.4	7.95	26.7
12/1/52	7	1,725	4.82	27.2	8.12	27.5
13/1/52	8	1,150	4.94	25.7	8.05	26.8
14/1/52	9	1,265	4.86	26.4	7.98	26.2
15/1/52	10	1,380	4.77	27.2	7.88	27.3
16/1/52	11	1,150	4.83	28.3	8.09	28.3
17/1/52	12	1,035	4.80	25.1	7.79	25.2
18/1/52	13	1,495	4.65	27.1	7.70	27.3
19/1/52	14	1,725	4.84	26.7	8.12	25.4
20/1/52	15	1,380	4.46	27.4	7.79	27.5
21/1/52	16	1,380	4.60	27.2	7.85	27.1
22/1/52	17	3,910	4.86	26.8	7.75	26.9
23/1/52	18	1,725	4.91	26.5	7.78	26.7
24/1/52	19	1,610	4.78	27.1	8.05	27.1
25/1/52	20	1,150	4.65	28.3	7.64	28.0
26/1/52	21	2,070	4.79	28.5	7.89	28.2
27/1/52	22	1,610	4.82	29.6	7.77	29.4
28/1/52	23	2,300	4.65	28.4	8.02	28.3
29/1/52	24	2,185	4.89	27.5	7.79	27.5

ตารางที่ ก-15 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียดิบ 1:20 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
30/1/52	25	1,955	4.91	29.1	7.69	29.2
31/1/52	26	1,840	4.70	28.3	7.92	28.1
1/2/52	27	2,070	4.68	29.0	7.83	29.1
2/2/52	28	1,955	4.82	28.2	8.11	28.3
3/2/52	29	1,725	4.59	30.1	7.97	30.3
4/2/52	30	1,610	4.74	29.2	8.00	28.6
5/2/52	31	1,380	4.88	28.6	8.18	28.4
6/2/52	32	1,495	4.70	29.6	7.82	29.5
7/2/52	33	1,610	4.65	29.5	7.96	29.1
8/2/52	34	1,725	4.89	28.5	8.05	28.5
9/2/52	35	1,725	4.76	28.8	7.99	28.3
10/2/52	36	1,610	4.84	29.8	7.79	29.8
11/2/52	37	1,725	4.99	29.2	8.07	28.9
12/2/52	38	1,840	4.80	28.1	7.98	28.2
13/2/52	39	1,840	4.92	29.9	8.15	30.1
14/2/52	40	2,070	4.77	29.7	8.05	29.7
15/2/52	41	2,070	4.87	28.9	7.96	28.8
16/2/52	42	2185	4.35	27.6	7.82	27.4
17/2/52	43	1,840	4.78	27.1	8.04	27.0
18/2/52	44	1,840	4.94	28.0	7.95	28.1
19/2/52	45	2,070	4.53	27.3	7.89	27.1
20/2/52	46	1,840	4.72	28.2	7.94	28.2
21/2/52	47	1,725	4.27	28.4	8.13	28.3
22/2/52	48	1,725	4.48	29.7	7.92	29.6
23/2/52	49	1,955	4.87	30.3	7.87	29.7

ตารางที่ ก-15 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบ ต่ออัตราหมวนเวียนน้ำเสียกลับ1:20 (ต่อ)

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
24/2/52	50	2,070	4.21	31.0	7.95	30.8
25/2/52	51	1,725	4.74	30.4	8.07	30.2
26/2/52	52	1,840	4.68	29.7	7.72	27.9
27/2/52	53	1,840	4.52	29.3	7.90	29.3
28/2/52	54	2,070	4.84	29.6	7.98	29.8
ค่าเฉลี่ย		1,925	4.69	7.96	29.1	28.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		445	0.16	0.12	1.75	1.70
n		32	32	32	32	32

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-16 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่อัตรากระแสน้ำไหล 0.5 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
8/3/52	0	9,109	5,149	1,620	1,040
10/3/52	2	9,109	3,960	1,050	120
12/3/52	4	9,505	2,376	1,770	140
14/3/52	6	10,125	2,625	2,280	230
16/3/52	8	11,250	3,750	1,380	180
18/3/52	10	11,250	2,625	630	210
20/3/52	12	10,125	2,625	1,530	370
22/3/52	14	10,125	1,875	870	190
24/3/52	16	11,250	2,625	490	140
27/3/52	19	10,125	2,625	1,120	300
29/3/52	21	10,452	2,710	740	200
31/3/52	23	10,800	2,800	1,410	370
2/4/52	25	12,000	2,000	630	200
ค่าเฉลี่ย		10,766	2,486	928	247
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		689	345	385	87
n		8	8	8	8

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-17 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
8/3/52	0	348	1,464	0.24
10/3/52	2	300	1,475	0.20
12/3/52	4	338	1,550	0.22
14/3/52	6	225	1,175	0.19
16/3/52	8	244	1,550	0.16
18/3/52	10	281	1,500	0.19
20/3/52	12	281	1,525	0.18
22/3/52	14	281	1,525	0.18
24/3/52	16	300	1,550	0.19
27/3/52	19	263	1,550	0.17
29/3/52	21	281	1,500	0.19
31/3/52	23	281	1,525	0.18
2/4/52	25	263	1,550	0.17
ค่าเฉลี่ย		284	1,495	0.19
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		34	97	0.02
n		8	8	8

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-18 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่อัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียดิบ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
8/3/52	0	0	4.48	7.69	29.7	30.1
9/3/52	1	1,375	4.57	7.72	28.9	29.1
10/3/52	2	1,625	4.63	7.75	30.1	29.8
11/3/52	3	1,750	4.84	7.74	29.7	29.3
12/3/52	4	2,125	4.83	7.81	29.3	30.1
13/3/52	5	2,000	4.92	7.71	30.3	31.2
14/3/52	6	2,375	4.48	7.62	30.6	30.8
15/3/52	7	2,250	4.94	7.77	30.8	31.0
16/3/52	8	2,250	4.19	7.46	30.8	30.9
17/3/52	9	1,750	4.20	7.46	31.2	31.8
18/3/52	10	2,875	4.18	7.43	30.7	32.1
19/3/52	11	2,625	4.17	7.77	31.1	31.0
20/3/52	12	3,125	4.18	7.68	31.7	31.4
21/3/52	13	3,000	4.40	7.89	30.2	29.4
22/3/52	14	3,000	4.40	7.93	30.3	30.1
23/3/52	15	2,875	4.41	7.83	30.8	32.2
24/3/52	16	2,750	4.45	7.88	31	31.1
25/3/52	17	3,250	4.46	7.87	29.8	28.9
26/3/52	18	3,125	4.42	7.93	30.3	29
27/3/52	19	3,000	4.53	7.86	29.8	29.9
28/3/52	20	3,125	4.42	7.71	30.1	29.3
29/3/52	21	3,000	4.47	7.64	30.5	29.5
30/3/52	22	2,625	4.46	7.60	29.9	30.3
31/3/52	23	2,750	4.51	7.63	30.1	29.9
1/4/52	24	3,000	4.53	7.62	30.2	30.9
2/4/52	25	3,250	4.45	7.76	30.5	30.1
ค่าเฉลี่ย		2,961	4.40	7.75	30.4	30.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		197	0.12	0.14	0.52	1.03
n		16	16	16	16	16

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ตารางที่ ก-19 แสดงค่าซีไอดีและค่าสารแขวนลอยที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัม ซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่าซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
		น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
3/4/52	0	22,970	6,337	1,270	280
6/4/52	3	21,375	4,875	950	470
9/4/52	6	20,250	4,500	2,120	330
11/4/52	8	21,375	5,250	1,750	210
13/4/52	10	20,516	5,806	1,270	280
15/4/52	12	20,516	5,032	660	410
18/4/52	15	24,387	5,032	850	280
ค่าเฉลี่ย		21,699	5,280	1,133	295
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1,837	366	484	83
n		4	4	4	4

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-20 แสดงค่ากรดไขมันระเหย ค่าสภาพต่างทั้งหมด และค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมดของน้ำเสียในระบบที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียกลับ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ค่ากรดไขมันระเหย (มก./ล. กรดอะซิติก)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด (มก./ล.แคลเซียมคาร์บอเนต)	สัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด
3/4/52	0	281	1,550	0.18
6/4/52	3	300	1,525	0.20
9/4/52	6	319	1,550	0.21
11/4/52	8	319	1,575	0.20
13/4/52	10	319	1,650	0.19
15/4/52	12	319	1,700	0.19
18/4/52	15	356	1,750	0.20
ค่าเฉลี่ย		328	1,669	0.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		19	75	0.01
n		4	4	4

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-21 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ค่าพีเอชและอุณหภูมิที่อัตราการบรรทุก๊าซอินทรีย์ 1.0 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันที่สัดส่วนอัตราส่วนน้ำเสียดิบต่ออัตราหมุนเวียนน้ำเสียดิบ 1:20

วันที่ทำการทดลอง	จำนวนวันที่ทำการทดลอง	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน (มิลลิตรต่อวัน)	พีเอช		อุณหภูมิ	
			น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ
3/4/52	0	0	4.51	7.67	31.1	31.5
4/4/52	1	1,000	4.45	7.77	30.1	30.4
5/4/52	2	1,125	4.40	7.53	29.8	29.9
6/4/52	3	1,625	4.57	7.46	30.5	30.1
7/4/52	4	1,875	4.48	7.41	29.8	30.1
8/4/52	5	2,250	4.48	7.46	30.1	30.8
9/4/52	6	1,875	4.58	7.70	29.7	29.5
10/4/52	7	2,500	4.59	7.66	29.8	29.2
11/4/52	8	3,625	4.67	7.76	30.0	29.5
12/4/52	9	3,375	4.60	7.60	30.3	30.3
13/4/52	10	3,125	4.64	7.78	29.9	29.8
14/4/52	11	3,125	4.75	7.63	30.4	31.2
15/4/52	12	3,500	4.24	7.76	31.1	30.1
16/4/52	13	3,250	4.27	7.72	31.8	31.3
17/4/52	14	3,750	4.26	7.58	31.5	30.8
18/4/52	15	3,375	4.29	7.50	31.8	31.0
ค่าเฉลี่ย		3,391	4.47	7.67	30.9	30.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		226	0.22	0.10	1	1
n		8	8	8	8	8

หมายเหตุ : n คือ จำนวนข้อมูลที่ทำกรทดลองในช่วงระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอุษณีย์ นาคะภากร เกิดเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย