

55

ระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี แบบอนุทมิสูง ชนิดสองชั้นตอน
สำหรับบำบัดน้ำกากส่า



นางสาว นาฏนดา ชรินทร์วรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-463-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16796123

**TWO-STAGE THERMOPHILIC FILTER-UASB SYSTEM FOR
DISTILLERY WASTE TREATMENT**

Miss Natnada Tarinvorakup

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemical Technology**

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

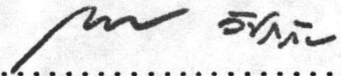
ISBN 974-584-463-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี แบบอุณหภูมิตั้งสองชั้นตอน สำหรับ
บำบัดน้ำอากาศ

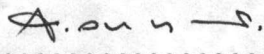
โดย นางสาว นาฏนดา ชรินทร์วรกุลต์
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร. สุ่มเมธ ชวเดช

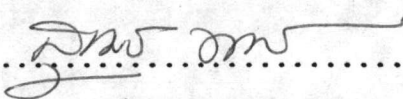


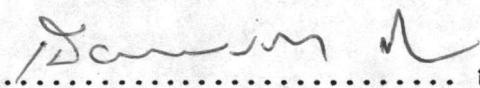
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

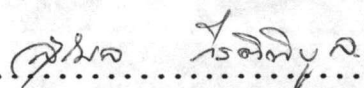

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. กาวร วิษรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ กัญญา บุญเกียรติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุ่มเมธ ชวเดช)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพ็ชรพรรค ทิศกร)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุมิต กীরติพิบูล)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นางนงคา ชรินทร์วรกุลปต์ : ระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี แบบอุณหภูมิสูงชนิดสองขั้นตอนสำหรับ
บำบัดน้ำกากส่า (TWO-STAGE THERMOPHILIC FILTER-UASB SYSTEM FOR DISTILLERY
WASTE TREATMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร. สุเมธ ชวเดช, 260 หน้า.

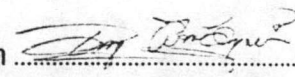
ISBN 974-584-463-2

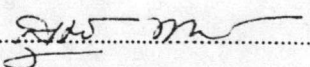
ระบบตัวกลางกรอง-ยูเอเอสบี แบบอุณหภูมิสูง (55 °C) ที่ทำการศึกษานี้เป็นการนำเทคนิค
การบำบัดน้ำเสียถึง 3 ส่วนมาผสมผสานกัน คือ ระบบสองขั้นตอน, ระบบหมักประสิทธิภาพสูง และการ
ควบคุมที่อุณหภูมิสูง (55 °C) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำ
การทดลองกับน้ำกากส่าที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก (COD ประมาณ 90,000-120,000 มก./ล.)
มีการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาเป็นสองขั้นตอนในถังหมัก 2 ถังที่ต่อเนื่องกัน คือ ถังหมักกรดขนาด 6.8 ลิตร
เป็นแบบตัวกลางกรอง ส่วนถังหมักมีเทนขนาด 35 ลิตรเป็นแบบยูเอเอสบี โดยควบคุมอุณหภูมิตั้งหมักทั้งสอง
ถังที่ 55 °C งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสม สำหรับการลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำกากส่าและ
การผลิตก๊าซชีวภาพ และพิจารณาถึงเสถียรภาพของระบบ จากการศึกษา พบว่าระบบที่มีเสถียรภาพสูง
สามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงถึง 10.96 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน ช่วงอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่
เหมาะสมสำหรับระบบหมักนี้คือ 6.38-10.02 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน โดยให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
สูงสุด 0.13 ม.³/กก.ซีโอดี ที่ป้อน ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 6.38 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน สัดส่วนของ
ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซที่ผลิตได้เป็น 30% และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักยูเอเอสบีแบบชั้น-
ตอนเดียวที่อุณหภูมิสูง พบว่า ประสิทธิภาพของระบบไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมัก
สองขั้นตอนที่อุณหภูมิปานกลาง (30 °C) พบว่า ระบบหมักที่ทำการศึกษานี้มีประสิทธิภาพสูงกว่า

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



##C425597 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION / THERMOPHILIC / FILTER-UASB
NATNADA TARINVORAKUP : TWO-STAGE THERMOPHILIC FILTER-UASB SYSTEM
FOR DISTILLERY WASTE TREATMENT . THESIS ADVISOR :
DR. SUMAETH CHAVAJEJ, Ph.D. 260 pp. ISBN 974-584-463-2

The thermophilic filter-UASB system studied was to integrate the three treatment method ; two-stage, a high rate anaerobic processes and thermophilic operation, in order to improve the treatment efficiency and biogas production. The distillery waste containing COD of 90,000-120,000 mg/l was used in this experimental study. The studied system consisted of two fermenters connected in series. The acidogenic fermenter with 6.8 l holding volume was filled partially with packing media. The methanogenic had 35 l holding volume. The two fermenters operated at constant temperature of 55 ° C. The purpose of this experimental study was to find the optimum conditions for the maximum organic removal and biogas production and also to determine the process stability of the studied system. From the experimental results, it was found that the system had considerably high degree of process stability and it could take a COD loading up to 10.96 kg/m³ .d. The optimum COD loading range for this system was 6.38-10.02 kg/m³ .g and the optimum COD loading for both maximum COD reduction and biogas production was 6.38 kg/m³ .d. The studied system had a biogas yield at optimum loading of 0.13 m³ /kg COD fed. Carbondioxide content in the produced biogas was 30 %. Comparing with thermophilic single-stage UASB, found that they gave the same efficiency. However when to compare with the mesophilic two-stage system, it appeared that the studied system could yield a better efficiency than the mesophilic process.

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....
ปีการศึกษา.....2536.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นรวมถึงการซ่อมแซมอุปกรณ์เหล่านั้น ขอขอบคุณนางสาวสายเทคโนโลยี โรงงานสุรา บริษัทแสงโสม จำกัด ที่เอื้อเฟื้อในด้านน้ำเสียที่ใช้ทดลองงานวิจัย ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และช่วยเหลือด้านแรงงานเป็นอย่างดี และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช และบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นางนดา ธรรมรัตน์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ง
คำย่อและคำนิยาม.....	จ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 หลักการพื้นฐาน.....	4
2.1.1 ปฏิกริยาชีวเคมีในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	4
2.1.2 ลักษณะการเติบโตของแบคทีเรีย.....	13
2.1.3 การเกิดก๊าซมีเทน.....	15
2.1.4 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อระบบการย่อยสลายในสภาวะ ไม่ใช้ออกซิเจน.....	16
2.1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการบ่งบอกการทำงานของกระบวนการหมัก ยูเอเอสบี.....	21
2.2 รูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	22
2.2.1 ระบบแอนเนโรบิคคอนแทค.....	22
2.2.2 ระบบหมักตัวกลางกรอง.....	24
2.2.3 ระบบหมักยูเอเอสบี.....	26
2.2.4 ระบบแอนเนโรบิกฟลูอิดเบด.....	27
2.3 การเกิดเม็ดตะกอนแบคทีเรีย.....	27

2.4	การเริ่มต้นการทำงานของระบบหมัก.....	30
2.5	การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดแบบประสิทธิภาพสูง	32
2.5.1	การแยกการเกิดปฏิกิริยาออกเป็นสองชั้นส่วน.....	33
2.5.2	การทำงานในช่วงอุณหภูมิสูง 50-60 °ซ.....	40
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัย.....	49
บทที่ 3	อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการทดลอง.....	71
3.1	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	71
3.2	ตะกอนแบคทีเรียที่ใช้เริ่มต้น.....	71
3.3	อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง.....	71
3.4	การทำงานของระบบ.....	78
3.5	เงื่อนไขและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง.....	81
3.6	การเก็บตัวอย่าง.....	82
3.7	การวิเคราะห์.....	83
3.8	การประเมินเสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบ.....	84
3.9	การเริ่มต้นการทำงานของระบบหมัก.....	84
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์.....	87
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	139
	รายการอ้างอิง.....	142
	ภาคผนวก.....	147
	ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์ค่าครรชนีต่าง ๆ สำหรับน้ำเสียใน งานวิจัย.....	148
	ภาคผนวก ข. การคำนวณอัตราการป้อนสารอินทรีย์.....	158
	ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลอง.....	161
	ภาคผนวก ง. ค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูล.....	259
	ประวัติผู้เขียน.....	260

สารบัญตาราง

			หน้า
ตารางที่ 2.1	ลักษณะสำคัญของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะอุณหภูมิปานกลาง.....		9
ตารางที่ 2.2	เปรียบเทียบค่าครรชนในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปกติและสภาวะที่ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงาน.....		9
ตารางที่ 2.3	สมการปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและค่าพลังงานอิสระ (ΔG°) ที่สภาวะมาตรฐาน.....		10
ตารางที่ 2.4	ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....		20
ตารางที่ 2.5	ปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงที่แบคทีเรียมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพของน้ำเสียใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนองค์ประกอบและ/หรือความเข้มข้นรวมทั้งมาตรการแก้ไข.....		31
ตารางที่ 2.6	เปรียบเทียบการทำงานของระบบประสิทธิภาพสูงและระบบสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเครื่องดื่มน้ำที่ 35 °C.....		39
ตารางที่ 2.7	ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....		44
ตารางที่ 2.8	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบสองขั้นตอน.....		50
ตารางที่ 2.9	ข้อมูลที่ได้จากทดลองระบบบำบัดแบบสองขั้นตอนกับตะกอนแบบเร่ง		50
ตารางที่ 2.10	เปรียบเทียบลักษณะของระบบขึ้นตอนเดียวและระบบสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจาก screened dairy manure.....		54
ตารางที่ 2.11	การกระจายของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการหมักกรดในช่วงอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง.....		59
ตารางที่ 2.12	ตัวแปรต่าง ๆ จากระบบหมักยูเอเอสบีซึ่งใช้ตะกอนแบคทีเรียชนิดอุณหภูมิสูง และสิ่งป้อนที่มีกรดไขมันระเหยเป็นองค์ประกอบหลัก.		63

ตารางที่ 2.13	การประยุกต์ใช้ถังหมักแบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ.....	68
ตารางที่ 2.14	การประยุกต์ใช้ถังหมักแบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ ในระดับขยายขนาด.....	68
ตารางที่ 2.15	ประสิทธิภาพในการใช้ระบบหมักแบบสองขั้นตอนสำหรับบำบัดน้ำเสีย ประเภทต่าง ๆ.....	69
ตารางที่ 2.16	ประสิทธิภาพในการใช้ถังหมักยูเอเอสบีสำหรับบำบัดน้ำเสียในระบบ แบบสองขั้นตอน.....	70
ตารางที่ 3.1	ลักษณะสมบัติของน้ำกากส่า.....	72
ตารางที่ 3.2	สภาวะการทดลองระบบหมักในงานวิจัย.....	81
ตารางที่ 3.3	ครรชนีและจำนวนครั้งในการตรวจวิเคราะห์.....	83
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยครรชนีต่าง ๆ ของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ต่าง ๆ ภายใต้สภาวะคงตัว	88
ตารางที่ 4.2	ประสิทธิภาพของระบบหมักภายใต้สภาวะคงตัวที่อัตราการป้อนสาร อินทรีย์ต่าง ๆ.....	89
ตารางที่ 4.3	ปริมาณตะกอนแบบคที่เรีกับความเสี่ยงของถังหมักที่อัตราการป้อนสาร อินทรีย์ต่าง ๆ.....	96
ตารางที่ 4.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมักยูเอเอสบีแบบขั้นตอนเดียว ที่อุณหภูมิสูงกับระบบหมักที่ทดลองในการบำบัดน้ำกากส่า.....	134
ตารางที่ 4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมักชนิดสองขั้นตอนแบบอุณหภูมิ ปานกลางกับระบบหมักที่ทดลองในการบำบัดน้ำกากส่า.....	136

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นส่วนสำคัญในเทคโนโลยีของการบำบัดและการนำเอาน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์...	4
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	7
รูปที่ 2.3 การเกิดมีเทนโดยการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนของโพลีแซคคาไรด์, โปรตีน, ไขมัน และสารประกอบอื่น ๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อน.....	8
รูปที่ 2.4 การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย.....	14
รูปที่ 2.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดประสิทธิภาพสูง.....	23
รูปที่ 2.6 ลักษณะของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนชนิดสองขั้นตอน....	36
รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงในถังหมักกรด.....	37
รูปที่ 2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	43
รูปที่ 2.9 อุณหภูมิกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย.....	45
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเติบโตของแบคทีเรียเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น...	46
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์กับอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวภายใต้สภาวะที่มีการป้อนอย่างต่อเนื่อง.....	47
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและความเร็วในการจมตัวของอนุภาค 30 °ซ และ 55 °ซ.....	48
รูปที่ 2.13 อัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระที่ค่า pH ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 35 °ซ และ 55 °ซ.....	49
รูปที่ 2.14 ค่าคงที่อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา (k) การย่อยสลายอะซิเตต...	52
รูปที่ 2.15 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซที่อุณหภูมิ 20 °ซ, 30 °ซ และ 50 °ซ.....	55

รูปที่ 2.16	ปริมาณกรดอินทรีย์กับค่า pH ของระบบและความเข้มข้นของไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 20 °ซ, 30 °ซ และ 50 °ซ.....	56
รูปที่ 2.17	ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 37 °ซ และ 65 °ซ.....	57
รูปที่ 2.18	เปรียบเทียบอัตราการรับสารอินทรีย์เมื่อใช้ถังหมักแบบถังกวน, แบบท่อไหล และแบบตัวกลางกรอง.....	61
รูปที่ 2.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำกากส่ากับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยและอัตราการผลิตก๊าซมีเทน.....	64
รูปที่ 2.20	ผลของการนำน้ำเสียจากถังหมักมีเทนกลับมารีไซเคิลต่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในถังหมักกรด และประสิทธิภาพในการใช้กรดอินทรีย์ในถังหมักมีเทน.....	66
รูปที่ 2.21	ผลของการนำน้ำเสียจากถังหมักมีเทนกลับมารีไซเคิลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซที่ได้จากถังหมักกรดและถังหมักมีเทน.....	67
รูปที่ 3.1	ถังหมักแบบตัวกลางกรอง.....	73
รูปที่ 3.2	ตัวกรองภายในถังหมักกรด.....	74
รูปที่ 3.3	ถังหมักแบบยูเอเอสบี.....	75
รูปที่ 3.4	กรวยแยกตะกอนในถังหมักยูเอเอสบี.....	76
รูปที่ 3.5	ภาพรวมแสดงรายละเอียดของถังหมักยูเอเอสบี.....	76
รูปที่ 3.6	ถังตกตะกอน.....	77
รูปที่ 3.7	เครื่องมืออุปกรณ์และการทำงานของระบบหมักที่ใช้ในงานวิจัย.....	79
รูปที่ 3.8	เครื่องวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น.....	80
รูปที่ 4.1	ระยะเวลาที่เก็บน้ำกากส่าในระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.	92
รูปที่ 4.2	ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.	93

รูปที่ 4.3	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำากาส่งที่เข้าสู่ระบบและในน้ำากาส่งที่ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	94
รูปที่ 4.4	ปริมาณตะกอนแบคทีเรียในถังหมักมีเทนแบบยูเอเอสบีที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	97
รูปที่ 4.5	ปริมาณตะกอนแบคทีเรียโดยเฉลี่ยในถังหมักมีเทนแบบยูเอเอสบีที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ.....	97
รูปที่ 4.6	ปริมาณตะกอนในถังหมักยูเอเอสบีกับความสูงของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	99
รูปที่ 4.7	ค่า pH ในน้ำากาส่งที่เข้าสู่ระบบและน้ำากาส่งที่ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	102
รูปที่ 4.8	ปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำากาส่งที่เข้าสู่ระบบและในน้ำากาส่งที่ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	104
รูปที่ 4.9	ค่าสภาพความเป็นด่างในน้ำากาส่งที่เข้าสู่ระบบและในน้ำากาส่งที่ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	108
รูปที่ 4.10	ค่า COD ในน้ำากาส่งที่เข้าสู่ระบบและในน้ำากาส่งที่ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	111
รูปที่ 4.11	ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	111
รูปที่ 4.12	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากถังหมักกรด, ถังหมักมีเทน และปริมาณโดยรวมทั้งระบบ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	113
รูปที่ 4.13	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังหมักกรดและถังหมักมีเทนที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ	117
รูปที่ 4.14	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยพิจารณาเทียบกับกก. COD ที่ป้อนเข้าระบบ.....	121
รูปที่ 4.15	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ พิจารณาเทียบกับกก. COD ที่ถูกกำจัด.....	123

	หน้า
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพพิจารณาเทียบกับปริมาณดังหมักที่ อัตราการผลิตก๊าซอินทรีย์ต่าง ๆ	125
รูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าระบบที่ อัตราการผลิตก๊าซอินทรีย์ต่าง ๆ	126
รูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนต่ออัตราการผลิตก๊าซอินทรีย์ต่าง ๆ พิจารณาเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด	128
รูปที่ 4.19 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาณดังหมักที่อัตราการผลิต อินทรีย์ต่าง ๆ	130

คำย่อและนิยาม

1. ALK Alkalinity
สภาพด่างหรือค่าความเป็นด่าง หมายถึง ความสามารถของสารละลายในการรับโปรตอน เกิดจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-)
2. COD Chemical Oxygen Demand
เป็นดัชนีในการวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์
3. Eff Effluent
ในที่นี้หมายถึง น้ำกากส่าที่ออกจากถังหมักแต่ละถัง
4. GC Gas Composition
องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
5. GPR Gas Production Rate
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ คิดเป็น มิลลิลิตรต่อวัน
6. HRT Hydraulic Retention Time
ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำกากส่า หมายถึง ระยะเวลาโดยทฤษฎีที่ของเหลวอยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับปริมาตรของถังหมักที่ใช้งาน หารด้วยปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน

7. Inf Influent
ในที่นี้หมายถึง น้ำากาล้ำที่เข้าสู่ระบบ
8. MLSS Mixed Liquor Suspended Solid
หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังหมัก คิดเป็นน้ำหนักแห้งของสารแขวนลอยของน้ำตะกอน (Mixed Liquor) ซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
9. pH เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคโปรตอน $[H^+]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$pH = - \log [H^+]$$
เมื่อ $[H^+]$ = ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตร
ในทางปฏิบัติ ค่าพีเอชแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทั้ง
10. SS Suspended Solid
ปริมาณของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
11. VFA Volatile Fatty Acid
กรดไขมันระเหย เป็นกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 6, ละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กรดอะซิติก, กรดบิวทิริก และสามารถกลั่นได้ด้วยความดันบรรยากาศ โดยคำนวณในรูปกรดอะซิติก มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

12. **COD Loading** อัตราการป้อนสารอินทรีย์ ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ให้กับระบบ เมื่อคิดเทียบกับปริมาตรถังหมักใน 1 หน่วยเวลา ในที่นี้มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ซีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
13. **Gas Yield** ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ เป็น दरชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบหมัก อาจคำนวณในรูปของ ลูกบาศก์เมตรของก๊าซที่ผลิตได้ต่อกิโลกรัมซีโอดี ที่ป้อนเข้าระบบ หรือ ลูกบาศก์เมตรของก๊าซที่ผลิตได้ต่อกิโลกรัมซีโอดี ที่ถูกกำจัด หรือ ลูกบาศก์เมตรของก๊าซที่ผลิตได้ต่อปริมาตรถังหมักก็ได้