

การบ่มักน้ำเสียจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง
โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองชั้นคอน

นายชากา นัครธานี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2531

ISBN 974 - 568 - 623 - 9

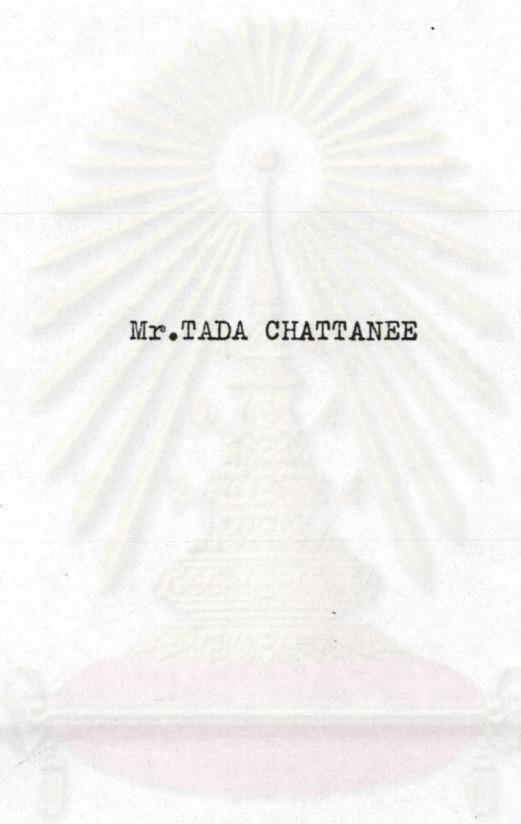
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014387

i17449522

TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY

A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS



Mr. TADA CHATTANEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974 - 568 - 623 - 9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง
โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน

โดย

นายชاکดา ฉัตรธานี

ภาควิชา

วิศวกรรมสุขาภิบาล

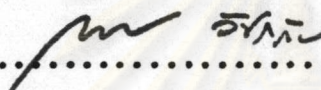
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์

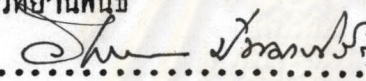
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.สุเมธ ชวเวช

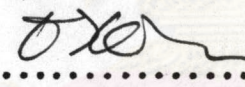
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

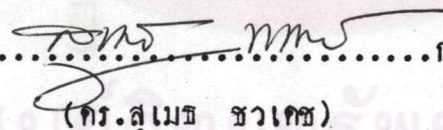
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

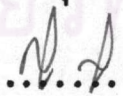
.....ประธานกรรมการ

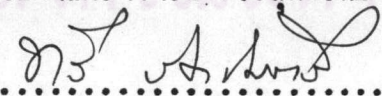
(รองศาสตราจารย์วิจิตร ภัทมาภิรัต)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สุเมธ ชวเวช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตคานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)



ชานดา ฉัตรธานี : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน (TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อ.ที่ปรึกษา
ร่วม : ดร.สุเมธ ชวเดช, 152 หน้า.

ในการศึกษาการทดลองงานวิจัยนี้ ใช้ระบบหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักแบบสองขั้นตอน เปรียบเทียบกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ที่ใช้ทดลองป้อนเข้าสู่ระบบ ถูกควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีคองที่ประมาณ 20,000 มก./ล.

จากผลการทดลองระบบหมักแบบสองขั้นตอน พบว่าขั้นตอนของการหมักกรดอินทรีย์มีสถานะเหมาะสมที่เวลาจำจัด 1 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 21-22 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน ส่วนขั้นตอนของการหมักมีเทน มีสถานะเหมาะสมที่เวลาจำจัด 5 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.06 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน คิดเป็นเวลาจำจัดรวมทั้งระบบ 6 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์รวมทั้งระบบ 3.63 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่คิดจากซีโอดีรวมในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (total effluent COD) เป็น 92.1% และที่คิดจากซีโอดีน้ำทิ้งส่วนที่ใส (centrifuged effluent COD) เป็น 97.1% โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 1.325 ม.³/ม.³-วัน และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนสูงสุด คิดเป็น 0.199 ม.³/กก.ของซีโอดีที่ถูกกำจัด สำหรับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวที่มีสภาวะที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพต่อการหมัก จะต้องใช้เวลาจำจัดสูงถึง 13 วัน หรือคิด เป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.64 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจาก ถังหมักมีเทน ในขั้นตอนที่สองยังมีเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพสูงถึง 61.7% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจาก ถังหมักในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว มีค่าสูงสุดเพียง 46.8% เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิติกร ชานดา ฉัตรธานี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

TADA CHATTANEE : TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : SUMAETH CHAVADEJ, Ph.D. 152 PP.

In these experimental studies, anaerobic activated sludge systems were used to study the process efficiency between the two-stage and the single stage anaerobic process. Tapioca wastewater was used to feed into the studied fermenters. The COD value of the wastewater was kept constant about 20,000 mg/l.

From experimental results of the two-stage anaerobic process, the optimum hydraulic retention time (HRT) for the acidogenic stage was 1 day corresponding to the organic loading between 21-22 kg COD/m³.d. and for methanogenic stage was 5 days corresponding to the organic loading of 3.06 kg COD/m³.d. Hence the optimum HRT for the overall process was 6 days corresponding to the organic loading of 3.63 kg COD/m³.d. Under these optimum conditions, the process had COD removal efficiency which calculated from total effluent COD was 92.1% and calculated from centrifuged effluent COD was 97.1%. These conditions gave the bio-gas production rate of 1.325 m³/m³.d and had the highest methane yield value of 0.199 m³/kg COD removed. Under the same optimum conditions, the single stage process must be 13 days of HRT corresponding to the organic loading of 1.64 kg COD/m³.d. The percentage of methane in the bio-gas generated from methane fermenter in the second stage was 61.7% while the single stage fermenter gave the highest percentage of methane in bio-gas only 46.8%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต ๕๑๐๓ ๕๑๑๓๗๔
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ๐๕๐

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ
ดร.สุเมธ ชวเวช อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนอาจารย์ภาค
วิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัย
ตลอดจนให้กำลังใจและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างมากแก่ผู้วิจัย

ค่าใช้จ่ายในการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการ
วิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ จึงขอแสดงความขอบคุณ
มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของ สว.สิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบัน
วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้อำนวยความสะดวกในการทดลองต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแก่บุพการี
ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

Amn - N	Ammonium - Nitrogen
COD	Chemical Oxygen Demand
Cent Eff	Centrifuged Effluent
Eff	Effluent
GPR	Gas Production Rate
Inf	Influent
MISS	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
Org - N	Organic - Nitrogen
SS	Suspended Solids
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VFA	Volatile Fatty Acids
VSS	Volatile Suspended Solids

คำศัพท์

กรดอินทรีย์	Volatile Fatty Acids
แบคทีเรียพวกสร้างกรด	Acid Formers
แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน	Methane Formers
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์	Organic Loading
เวลาในการกัก	Hydraulic Retention Time

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
คำย่อ คำศัพท์.....	ง
สารบัญเรื่อง.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....	3
3. ทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนอิสระ.....	4
3.1 กลลวงน้ำ.....	4
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระ.....	4
3.2.1 ปฏิกริยาชีวเคมีในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ใน สภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ.....	4
3.2.2 ปฏิกริยาชีวเคมีการย่อยทำลายซัลเฟต.....	9
3.2.3 ปฏิกริยาชีวเคมีการย่อยสลายไนเตรท.....	10
3.3 สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการหมัก.....	10
3.3.1 อุณหภูมิ.....	10
3.3.2 พีเอช.....	12
3.3.3 ความเป็นค่าง.....	12

	หน้า
3.3.4	กรรคอินทรีย์..... 13
3.3.5	ธาตุอาหารเสริมสร้าง..... 14
3.3.6	สารพิษ..... 14
3.3.7	การเค็ม..... 15
3.3.8	การกวนผสม..... 16
3.4	รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอิสระ..... 16
3.4.1	ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบกึ่ง เค็ม..... 16
3.4.2	ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบประสิทธิภาพสูง..... 19
3.5	ลักษณะการทำงานของระบบหมักแบบสองขั้นตอน..... 26
3.6	การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ทำมาแล้ว..... 29
4.	การวางแผนการทดลองและวิจัย..... 32
4.1	แผนการทดลอง..... 32
4.1.1	การทดลองขั้นตอนการหมักกรรคอินทรีย์..... 32
4.1.2	การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 32
4.1.3	การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 36
4.2	วิธีเริ่มการทดลอง..... 36
4.2.1	การทดลองขั้นตอนการหมักกรรคอินทรีย์..... 36
4.2.2	การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 37
4.2.3	การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 37
4.3	น้ำเสียที่ใส่ทดลอง..... 37

	หน้า
4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
4.4.1 ถังหมัก.....	38
4.4.2 ถังพักน้ำเสียแบ่งมันสำปะหลัง.....	38
4.4.3 ถังคกตะกอน.....	38
4.4.4 เครื่องสูบลำโพงอาหารและเครื่องสูบลำตะกอนกลับ.....	41
4.4.5 เครื่องตั้งเวลา.....	41
4.4.6 เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ.....	41
4.4.7 เครื่องควบคุมพีเอช.....	41
4.4.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.....	41
4.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	42
5. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	44
5.1 ระยะเวลาในการทดลอง.....	44
5.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	44
5.3 ผลการทดลอง.....	45
5.3.1 ผลการทดลองการหมักกรดอินทรีย์.....	46
5.3.1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์.....	47
5.3.1.2 อัตราการผลิตกรดอินทรีย์.....	51
5.3.1.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์.....	52
5.3.1.4 การเกิดก๊าซมีเทน.....	53
5.3.1.5 สภาพที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์.....	55
5.3.1.6 ของแข็งแขวนลอยในระบบ.....	55

	หน้า
5.3.1.7 การเปลี่ยนแปลงสารอาหาร เสริมในดั่งหมัก กรคอินทรีย์.....	57
5.3.1.8 อิทธิพลพีเอชต่อการหมักกรคอินทรีย์.....	59
5.3.1.9 เสถียรภาพการทำงานและปัญหา.....	61
5.3.2 ผลการทดลองการหมักมีเทน.....	62
5.3.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์.....	62
5.3.2.2 การผลิตก๊าซชีวภาพ.....	67
5.3.2.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน.....	67
5.3.2.4 ประสิทธิภาพการลดกรคอินทรีย์.....	69
5.3.2.5 ของแข็งแขวนลอยในระบบ.....	71
5.3.2.6 ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของระบบ.....	72
5.3.2.7 ค่าพีเอช.....	73
5.3.2.8 สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักมีเทน.....	75
5.3.2.9 การเปลี่ยนแปลงสารอาหาร เสริมในดั่งหมักมีเทน.....	75
5.3.2.10 เสถียรภาพการทำงาน.....	77
5.3.3 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรีย.....	77
5.3.3.1 แบคทีเรียพวกสร้างกรค.....	80
5.3.3.2 แบคทีเรียพวกสร้างมีเทน.....	81
5.3.4 ผลการทดลองระบบหมักแบบสองขั้นตอน.....	82
5.3.5 ผลการทดลองระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว.....	82
5.3.5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์.....	87


	หน้า
5.3.5.2	กรคอินทรีย์..... 90
5.3.5.3	การเกิดก๊าซชีวภาพ..... 92
5.3.5.4	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน. 92
5.3.5.5	ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ..... 94
5.3.5.6	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว 96
5.3.5.7	การเปลี่ยนแปลงสารอาหาร เสริม..... 97
5.3.5.8	เสถียรภาพการทำงาน..... 97
5.4	เปรียบเทียบระบบหมักแบบสองชั้นคอนกับระบบหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว.... 100
5.5	แนวทางประยุกต์ใช้หลักการหมักแบบสองชั้นคอน..... 103
6.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 105
6.1	สรุปผลการทดลอง..... 105
6.1.1	การทดลองชั้นคอนการหมักกรคอินทรีย์..... 105
6.1.2	การทดลองชั้นคอนการหมักมีเทน..... 106
6.1.3	การทดลองการหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว..... 106
6.1.4	เปรียบเทียบระบบหมักแบบสองชั้นคอนกับระบบหมักแบบชั้นคอน เดี่ยว..... 107
6.2	ข้อเสนอแนะ..... 107
เอกสารอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก.....	113
ประวัติผู้วิจัย.....	152

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3.1	ระดับความเข้มข้นสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อ แบคทีเรียในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระ.....	15
ตารางที่ 3.2	ประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อหมักสำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ...	18
ตารางที่ 3.3	ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Filter ชั้น ห้องปฏิบัติการ.....	21
ตารางที่ 3.4	ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Contact Process.....	22
ตารางที่ 3.5	ประสิทธิภาพระบบ UASB สำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ.....	24
ตารางที่ 3.6	ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Fluidized Bed สำหรับน้ำเสีย ต่าง ๆ	25
ตารางที่ 3.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบหมักแบบชั้นคอน เทียวกั บระบบหมักแบบสองชั้นคอน จากผลการทดลองในห้อง ปฏิบัติการ.....	29
ตารางที่ 4.1	แผนการทดลองชั้นคอนการหมักกรอินทรีย์.....	34
ตารางที่ 4.2	แผนการทดลองชั้นคอนการหมักมีเทน.....	34
ตารางที่ 4.3	แผนการทดลองการหมักแบบชั้นคอนเทียวก.....	36
ตารางที่ 4.4	ค่าครุชนิที่ทำการวิเคราะห์และควมดีในการวิเคราะห์.....	43
ตารางที่ 5.1	ลักษณะของน้ำเสีรรวมจากโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลังชนิดสลักแห้ง (เกรคหนึ่ง).....	45
ตารางที่ 5.2	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียแ่งมันสำปะหลังที่เก็บมาจากเครื่องแยก..	46
ตารางที่ 5.3	ค่าเฉลี่ยตัวแปรที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ ในการทดลองการหมัก กรอินทรีย์ โดยควบคุมพีเอชให้เป็นกลาง.....	48

ตารางที่ 5.4	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการผลิตกรคอินทรีย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรคอินทรีย์ เปอร์เซนต์ ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการ ทดลองการหมักกรคอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	49
ตารางที่ 5.5	การเปลี่ยนแปลงและการใช้สารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เวลา ในการกำจัดต่าง ๆ.....	58
ตารางที่ 5.6	ประสิทธิภาพการผลิตกรคอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัด 1 วัน ระหว่างระบบที่มีการควบคุมพีเอช และระบบที่ไม่มีการควบคุม พีเอช.....	60
ตารางที่ 5.7	ค่าเฉลี่ยตัวแปรที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ ในการทดลองการหมัก มีเทน.....	63
ตารางที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การผลิตก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพ การเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพการลด กรคอินทรีย์ ในการทดลองการหมักมีเทนที่เวลาในการกำจัด ต่าง ๆ.....	66
ตารางที่ 5.9	การเปลี่ยนแปลงสารอาหาร เสริมในการหมักมีเทน ที่เวลาในการ กำจัดต่าง ๆ	76
ตารางที่ 5.10	ผลการทดลองประสิทธิภาพระบบหมักแบบสองชั้นคอน ที่เวลาใน การกำจัดต่าง ๆ	83
ตารางที่ 5.11	ผลการทดลองประสิทธิภาพระบบหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว ที่เวลาใน การกำจัดต่าง ๆ.....	85
ตารางที่ 5.12	ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ กรคอินทรีย์ การเกิดก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็น ก๊าซมีเทน ในระบบหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว.....	88

	หน้า
ตารางที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงสารอาหาร เสริมในระบบหมักแบบชั้นคอนเดี่ยว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	98
ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองและประสิทธิภาพการทำงาน ระบบหมักแบบสอง ชั้นคอน ที่เวลาในการกำจัด 6 วัน.....	101
ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบหมักแบบสองชั้นคอนกับระบบหมัก แบบชั้นคอนเดี่ยว.....	102



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนชั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis	6
3.2 การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน อิสระ.....	8
3.3 อิทธิพลอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน อิสระ.....	11
3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบกึ่งเติม.....	17
3.5 ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบประสิทธิภาพสูง.....	20
3.6 ระบบ UASB แบบสองชั้นตอนสำหรับน้ำกากส่าโรงงานสุรา กรมสรรพสามิต	27
3.7 ระบบหมักแบบสองชั้นตอน	28
4.1 ระบบถังหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge	33
4.2 ด้งการคิดคั้งของระบบในชั้นตอนการหมักมีเทน (การหมักแบบสองชั้นตอน)	35
4.3 ขนาดและรูปร่างถังหมักที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.4 ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำความกระบอกแก้ว.....	40
4.5 ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำความแผ่นอาร์คิลิคใส.....	40
5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของชั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	50
5.2 อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ของชั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ที่เวลาในการ กำจัดต่าง ๆ.....	51
5.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ของชั้นตอนการหมัก กรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	52

รูปที่	หน้า
5.4 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของชั้นคอนการหมักกรคอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	54
5.5 แสดงช่วงสภาวะที่เหมาะสมในชั้นคอนการหมักกรคอินทรีย์ โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการผลิตกรคอินทรีย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรคอินทรีย์และการเกิดก๊าซมีเทน.....	56
5.6 ของแข็งแขวนลอยในระบบของชั้นคอนการหมักกรคอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	57
5.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของชั้นคอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	65
5.8 การผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของชั้นคอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	68
5.9 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนของชั้นคอนการหมักที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	69
5.10 ประสิทธิภาพการลดกรคอินทรีย์ ความเข้มข้นของกรคอินทรีย์ที่เข้าถังหมักและความเข้มข้นของกรคอินทรีย์ที่ออกจากถังคกตะกอน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	70
5.11 ของแข็งแขวนลอยในระบบของชั้นคอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	71
5.12 ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่เข้าถังหมักและของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งของระบบซึ่งผ่านถังคกตะกอนแล้วของชั้นคอนการหมักมีเทนที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	72
5.13 ค่าพีเอชในถังหมัก พีเอชในน้ำทิ้งที่บ่อนเข้าสู่ถังหมักและพีเอชในน้ำทิ้งที่ออกจากถังคกตะกอนของชั้นคอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ	74

รูปที่	หน้า
5.14	ความสามารถในการตกตะกอนของแบกที่เรียพวกสร้างกรด..... 78
5.15	ความสามารถในการตกตะกอนของแบกที่เรียพวกสร้างมีเทน..... 79
5.16	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักแบบขั้นตอน เดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 89
5.17	ปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัด ต่าง ๆ..... 91
5.18	การผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 93
5.19	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในระบบหมัก แบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 94
5.20	ของแข็งแขวนลอยในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัด ต่าง ๆ..... 95