

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



250319

ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลัง
โดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

สุพรรณาวดี ศิริโสม

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สิงหาคม 2554



ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหีวมันสำปะหลัง
โดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน



สุพรรณวดี ศิริโสม

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สิงหาคม 2554

ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลัง
โดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

สุพรรณวดี ศิริโสม

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
.....ประธานกรรมการ

.....
.....

รองศาสตราจารย์ ดร.เสนีย์ กาญจนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิรูป ผลจันทร์

.....กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์

.....กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิรูป ผลจันทร์

.....กรรมการ

รองศาสตราจารย์ สมใจ กาญจนวงศ์

26 สิงหาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิรูป ผลจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาและตรวจแก้ไขจน วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัทธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เสนีย์ กาญจนวงศ์ และรองศาสตราจารย์ สมใจ กาญจนวงศ์ ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ประสบการณ์และอบรมสั่งสอนด้วยดี เสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่สาว ที่ให้ชีวิต โอกาสทางการศึกษา ทุนทรัพย์ นอกจากนี้ยังคอยเป็นกำลังใจและดูแลผู้เขียนเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ข้อเสนอแนะและความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผู้สนับสนุนเบื้องหลังทุกท่านที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือและเป็นแรงผลักดัน ให้แก่กันมาโดยตลอด

ท้ายสุดนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอภัยเป็นอย่างสูงและหวังว่าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ส่วนรวม ไม่น่าก็น้อย

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	ผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลัง โดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน
ผู้เขียน	นางสาว สุพรรณวดี ศิริโสม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฎิรูป ผลจันทร์

บทคัดย่อ

250319

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากหัวมันสำปะหลัง โดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน โดยใช้แบบจำลองถังปฏิกรณ์กวน สมบูรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 3 ชุด ซึ่งประกอบด้วยถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน ปริมาตรใช้งานเท่ากับ 10 และ 20 ลิตร ตามลำดับ ใช้ตะกอนจุลชีพแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากถังหมัก ระบบกวนสมบูรณ์ โดยเดินระบบที่สภาวะอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับถังสร้างกรด และใช้ตะกอนจุลชีพที่มาจากน้ำเสีย ฟาร์มสุกรแบบบ่อหมักแบบรางตามด้วยถังยูเอเอสบี ของภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับถังสร้างก๊าซมีเทน การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเริ่มต้นระบบ เพื่อให้สามารถเดินระบบได้ที่เวลาเก็บกักรวมเท่ากับ 20 วัน ทำการแปรค่าเวลาเก็บกักในถังสร้างกรดที่ 1 และ 3 วันและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ 19 และ 17 วัน โดยทำการปรับรูปแบบของเติมสารเพิ่มความเป็นด่างจากการเติมแบบครั้งเดียวเป็นการเติมพร้อมสารป้อน การเปลี่ยนความถี่ในการป้อนสารเข้าสู่ระบบจากเดิมที่ป้อนสารเข้าระบบวันหนึ่งครั้งเป็นวันละสองครั้ง และปรับวิธีการเดินระบบจากระบบกวนสมบูรณ์เป็นระบบเอเอสบีอาร์ เมื่อปรับสภาวะดังกล่าวพบว่าระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาผลของของเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบเท่ากับ 20 วัน ทำการแปรค่าเวลาเก็บกักในถังสร้างกรดที่ 1, 2 และ 3 วันและถังสร้างก๊าซมีเทนที่ 19, 18 และ 17 วัน(ชุดการทดลอง 2A, 2B และ 2C ตามลำดับ) โดย

250319

พบว่าระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมสำหรับถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน ในการทดลองที่ 2 คือ ชุดการทดลอง 2A ซึ่งค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของชุดการทดลอง 2A, 2B และ 2C มีค่าเท่ากับ 0.27 ± 0.02 , 0.19 ± 0.03 และ 0.22 ± 0.04 ลิตรต่อกรัม ซึ่งเห็นได้ชัดว่าชุด 2A เป็นชุดที่ให้ค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงสุด การทดลองที่ 3 ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักของถังสร้างก๊าซมีเทนต่อประสิทธิภาพในการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทำการเพิ่มและลดระยะเวลาเก็บกักในถังสร้างก๊าซมีเทนให้มีค่าเท่ากับ 25, 14.5 และ 12 วัน (ชุดการทดลอง 3A, 3B และ 3C) เพื่อศึกษาถึงผลของระยะเวลาเก็บกักในถังดังกล่าว และควบคุมให้ถังสร้างกรดที่ทำงานคู่กับถังสร้างก๊าซมีเทน มีระยะเวลาเก็บกัก 1 วันเท่ากันทุกชุดการทดลอง โดยพบว่า ชุดการทดลอง 3A, 3B และ 3C มีค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.18 ± 0.01 , 0.10 ± 0.01 และ 0.19 ± 0.01 ลิตรต่อกรัมตามลำดับ โดยชุดการทดลอง 3C ให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงสุด แต่ยังมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง 2A ที่มีค่าปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.27 ± 0.02 ลิตรต่อกรัมซึ่งมีระยะเวลาเก็บกักของถังสร้างกรดเท่ากับ 1 วันและถังสร้างก๊าซมีเทนเท่ากับ 19 วัน การทดลองที่ 4 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้กระบวนการแบบ Single-stage ที่สภาวะ Thermophilic และ Mesophilic ที่เวลาเก็บกักต่างกัน ทดลองโดยใช้ค่าเวลาเก็บกักเท่ากับ 20 และ 13 วัน พบว่าที่ระยะเวลาเก็บกักที่ 20 วัน ถึงปฏิกรณ์แบบหนึ่งขั้นตอนที่สภาวะเทอร์โมฟิลิกให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดสูงกว่าที่สภาวะเมโซฟิลิก อย่างเห็นได้ชัด และยังมีค่าน้อยกว่าชุดการทดลอง 2A ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลองต่างๆ อาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักย่อยครั้งนี้คือ 20 วันและการใช้ถังปฏิกรณ์แบบสองขั้นตอนสามารถรับอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าถังปฏิกรณ์แบบหนึ่งขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักเท่ากัน

Thesis Title Effect of Retention Time on Biogas Production from Cassava
by Two-stage Anaerobic Process

Author Ms. Supanwadee Sirisom

Degree Master of Engineering (Environmental Engineering)

Thesis Advisor Assis. Prof. Dr. Patiroop Pholchan

Abstract

250319

The aim of this study was to determine the suitable start-up conditions for biogas production from cassava using two-stage thermophilic acid tank and mesophilic methane tank anaerobic process. Three set of lab-scale reactors were used, including acid tank and methane tank which having effective volume 10 and 20 liters, respectively. The acid tanks were seeded with CSTR reactor which operated at thermophilic condition from ERDI and methane tanks were seeded with CD-UASB from faculty of Agriculture, CMU. Experiment 1 was conducted with conditions studied were pattern of alkaline addition, frequency of system feeding, and pattern of reactor operation. After already adjust all condition, system has more stability which benefited the system efficiency and the biogas production rate. Experiment 2 was conducted with total HRT 20 day including 1,2 and 3 day for HRT of acid tank and 19, 18 and 17 day for HRT of methane tank(set 2A, 2B and 2C).The suitable retention time for experiment 2 is 2A which has the highest methane yield. Methane yield of set 2A, 2B and 2C are 0.27 ± 0.02 , 0.19 ± 0.03 and 0.22 ± 0.04 l/g, respectively. Experiment 3 was conducted with fixed HRT of acid tank for 1 day to working with the various HRT of methane tank at 25, 14.5 and 12 days (set 3A, 3B and 3C). The methane yields are 0.18 ± 0.01 , 0.10 ± 0.01 and 0.19 ± 0.01 l/g, respectively. The methane yield of 3A is the highest set of this experiment but it still less than set 2A. The last experiment , experiment 4,

250319

which conducted by using the single-stage reactors at different temperature and HRT. The set of this experiment operated at thermophilic and mesophilic condition and operated at different HRT, 20 and 13 day. The result shown that the single-stage reactor at themophilic condition has more biogas yield the the single-stage reactor at mesophilic at the same HRT, 20 day, but sill less than set 2A in the experiment 2. The comparison of all experiment shown that the suitable HRT for this studied is 20 days and the two-stage reactors have more efficiency of biogas production than single-stage reactors.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แบบที่เรีย	5
2.2 กระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเกิดก๊าซชีวภาพ	7
2.2.1 การย่อยสลายแบบไม่มีการสร้างก๊าซมีเทน	7
2.2.2 การย่อยสลายแบบที่มีการสร้างก๊าซมีเทน	9
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	10
2.3.1 พีเอช	10
2.3.2 สภาพความเป็นกรดและความเป็นด่าง	10
2.3.3 อุณหภูมิ	12
2.3.4 สารพิษและสารยับยั้งปฏิกิริยา	13
2.4 รูปแบบของถังปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ	20
2.5 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์แบบ 2 ชั้นตอน	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา	32
3.1 ของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	32
3.2 ระบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2.1 แบบจำลองของถังปฏิกรณ์	36
3.2.2 อุปกรณ์เก็บก๊าซชีวภาพ	38
3.3 การดำเนินการทดลอง	39
3.3.1 การเริ่มต้นระบบ	39
3.3.2 แผนการดำเนินการทดลอง	39
3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์	43
3.5 สมการการคำนวณ	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเริ่มต้นระบบ	46
4.1.1 รูปแบบการเติมต่าง	46
4.1.2 ความถี่ในการเติมสารป้อน	49
4.1.3 การปรับวิธีการเดินระบบจากระบบกวนสมบูรณ์ เป็นระบบเอเอสปีอาร์	50
4.2 การศึกษาผลของของเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบเท่ากับ 20 วัน	52
4.2.1 พีเอช	52
4.2.2 สภาพค่างและกรดไขมันระเหย	53
4.2.2.1 สภาพค่างที่พบในระบบ	53
4.2.2.2 ความสามารถในการสร้างกรดไขมันระเหยและ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่พบในระบบที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ	54
4.2.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด	56
4.2.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	57
4.2.5 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและของแข็งระเหยที่เดิม	59

4.3 การศึกษาผลของเวลาเก็บกักในถังสร้างก๊าซมีเทนเมื่อใช้เวลาเก็บกัก ในถังสร้างกรด 1 วัน	61
4.3.1 พีเอช	61
4.3.2 สภาพต่างและกรดไขมันระเหย	62
4.3.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด	64
4.3.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	65
4.3.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและของแข็งที่เดิม	67
4.4 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้กระบวนการ แบบ Single-stage ที่สภาวะ Thermophilic และ Mesophilic ที่เวลาเก็บกักต่างกัน	68
4.4.1 พีเอช	69
4.4.2 สภาพต่างและกรดไขมันระเหย	70
4.4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	72
4.4.4 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดและของแข็งที่เดิม	74
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	78
5.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเริ่มต้นระบบ	78
5.2 การศึกษาผลของเวลาเก็บกักต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้ระยะเวลาเก็บกักรวมของระบบเท่ากับ 20 วัน	78
5.3 การศึกษาผลของเวลาเก็บกักในถังสร้างก๊าซมีเทนเมื่อใช้เวลา เก็บกักในถังสร้างกรด 1 วัน	79
5.4 การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดย ใช้กระบวนการแบบหนึ่งขั้นตอนสภาวะเทอร์โมฟิลิกและเมโซฟิลิก ที่เวลาเก็บกักแตกต่างกัน	79
บรรณานุกรม	80
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบการทดลองที่ 1 และ 2	83
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบการทดลองที่ 3	109
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบการทดลองที่ 4 (เทอร์โมฟิลิก)	115
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบการทดลองที่ 4 (เมโซฟิลิก)	119

ภาคผนวก จ การเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองทางสถิติ	123
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณ	133
ประวัติผู้เขียน	136

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ปริมาณชีวมวลที่สำคัญในประเทศไทย	3
2.1 ความเข้มข้นของอ็อกซอนบวกที่กระตุ้นและยังยับยั้งปฏิกิริยา	13
2.2 โลหะหนักที่พบในระบบแบบไม่ใช้ออกซิเจน	14
2.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่สามารถยับยั้งการทำงานของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน	14
2.4 ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียอ็อกซอน	15
3.1 ลักษณะสมบัติของมันสำปะหลังหมัก	31
3.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัด	32
3.3 ลักษณะสมบัติของมันสำปะหลังหมักผสมกับน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว	32
3.4 ลักษณะสมบัติของของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ	33
3.5 สภาพที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบของการทดลองที่ 1	38
3.6 การทำงานและการควบคุมถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนของการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4	42
3.7 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างและความถี่	44
4.1 การทำงานและการควบคุมถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทน	52
4.2 พีเอชของน้ำเข้าและออกจากถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซมีเทนในชุดการทดลองต่างๆ	53
4.3 สภาพการเดินระบบในการศึกษาผลของเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ	61
4.4 พีเอชของชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักที่เปลี่ยนไป	62
4.5 สภาพการเดินระบบในการศึกษาผลของเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ	69
4.6 พีเอชของชุดการทดลองต่างๆในการศึกษาผลของอุณหภูมิและลักษณะถังปฏิกรณ์ที่ใช้	70

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ขั้นตอนการเกิดกระบวนการหมักย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและการเกิดก๊าซชีวภาพ	6
2.2 ถังปฏิกริยาแบบ Complete Mix Digester	20
2.3 ถังปฏิกริยาแบบ Anaerobic Contact	20
2.4 ถังปฏิกริยาแบบ Anaerobic Filter	21
2.5 ถังปฏิกริยาแบบ Fluidized Bed	22
2.6 ถังปฏิกริยาแบบ Anaerobic Hybrid Reactor	23
2.7 ถังปฏิกริยาแบบ Two Stage Anaerobic Reactor	23
3.1 ไดอะแกรมของระบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้	33
3.2 ภาพจำลองถังสร้างกรด	34
3.3 ลักษณะและการติดตั้งถังสร้างกรด	34
3.4 ภาพจำลองถังสร้างก๊าซมีเทน	35
3.5 ลักษณะและการติดตั้งถังสร้างก๊าซมีเทน	35
3.6 ลักษณะและการติดตั้งถังเก็บก๊าซชีวภาพ	36
3.7 (ก. และ ข.) ชุดมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ	36
4.1 การเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างในระบบ	48
4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ	48
4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวัน	49
4.4 ความเข้มข้นของ VSS ในถังสร้างก๊าซมีเทน	51
4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	51
4.6 สภาพต่างในถังสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทน	54
4.7 ปริมาณกรดไขมันระเหยในถังสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทน	55
4.8 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทน	57
4.9 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากชุดการทดลองต่างๆ	58
4.10 ความแปรปรวนของปริมาณซีโอดีในระบบ	59

4.11 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีไอดีที่ถูกกำจัด	60
4.12 ปริมาณสภาพต่างจากการเพิ่มและลดระยะเวลาเก็บกัก	63
4.13 ปริมาณกรดไขมันระเหยจากการเพิ่มและลดระยะเวลาเก็บกัก	64
4.14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในถังสร้างกรดและสร้างก๊าซมีเทน	65
4.15 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มและลดระยะเวลาเก็บกัก	66
4.16 ความแปรปรวนของปริมาณซีไอดีในระบบ	66
4.17 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อซีไอดีที่ถูกกำจัดเมื่อเวลาเก็บกักเปลี่ยนไป	67
4.18 สภาพต่างในระบบโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบหนึ่งขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักและอุณหภูมิต่างกัน	70
4.19 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบหนึ่งขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักและอุณหภูมิต่างกัน	72
4.20 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากชุดการทดลองเทอร์โมฟิลิกและเมโซฟิลิก	73
4.21 ปริมาณซีไอดีจากชุดการทดลองเทอร์โมฟิลิกและเมโซฟิลิกที่ระยะเวลาเก็บกักต่างๆ	73
4.22 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อปริมาณซีไอดีที่ถูกกำจัดโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบหนึ่งขั้นตอนที่ระยะเวลาเก็บกักและอุณหภูมิต่างกัน	75
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของจุลชีพกลุ่มต่างๆกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	76