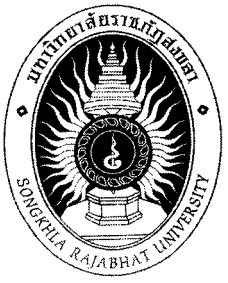
จำนวน 1 เล่ม



รายงานวิจัย

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

The Study of Optimum Temperature for Biogas Production from Palm Fiber by Pretreatment with Hot Water

กมลทรรศน์ สิบมอง
อัสวาณี เหมหวัง

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
2561

ใบรับรองงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่องงานวิจัย การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

The Study of Optimum Temperature for Biogas Production from Plam Fiber by Pretreatment with Hot Water

ชื่อผู้ทำงานวิจัย กมลทรรศน์ สิบมอง และอัสวาณี เหมหวัง

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.บุญญา ชาญนอก)

.....ประธานกรรมการสอบ
(อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สายสิริ ไชยชนะ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.บุญญา ชาญนอก)

.....ประธานหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุมัติ เดชนะ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เมื่อวันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อเรื่อง	การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน	
ชื่อผู้ทำงานวิจัย	นางสาวกมลทรรศน์ สิบมอง	รหัสนักศึกษา 574232001
	นางสาวอัสวาณี เหมหวัง	รหัสนักศึกษา 574232037
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.บุญญา ชาญนอก	
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต	สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา	
ปีการศึกษา	2561	

บทคัดย่อ

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน 2) เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยทำการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ คือ 170 190 และ 210 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการหมักก๊าซชีวภาพด้วยระบบหมักไร้อากาศแบบกะ ในอัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์ม 3:1 จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน พบว่า เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส มีการผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม เท่ากับ 77.64±3.29 L CH_4/kg VS มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.26 เท่า รองลงมาได้แก่ เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 75.09±2.63 และ 69.66±2.32 L CH_4/kg VS ตามลำดับ คิดเป็นศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.22 และ 1.13 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม เท่ากับ 61.41 L CH_4/kg VS

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, การปรับสภาพด้วยน้ำร้อน, การหมักแบบกะ, เส้นใยปาล์ม, สารอาหารเสริม, อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อสารตั้งต้น

มอ Bib# 1143227
วันที่ - 1 พ.ค. 2562
เลขเรียกหนังสือ 665.776

Study Title	The Study of Optimum Temperature for Biogas Production from Palm Fiber by Pretreatment with Hot Water
Authors	Miss Kamontath Sibmong Student ID 574232001
	Miss Assawanee Hamwang Student ID 574232037
Advisor	Dr. Sucheewan Yoyruroob
Co-advisor	Dr. Boonya Charnnok
Bachelor of Science	Environmental Science
Institution	Songkhla Rajabhat University
Academic year	2018

Abstract

The purpose of the research is 1) to study the optimum temperature for palm fiber pretreatment with hot water and 2) to study the potential of biogas production from palm fiber by pretreatment with hot water. Pretreatment palm fiber with hot water at a temperature of 170 190 and 210 $^{\circ}$C. After that, fermented with microorganisms from the biogas digester in the anaerobic system from oil palm plant. The fermentation ratio (microorganism to palm fiber) is 3:1 by batch fermentation. From the results of the study found that palm fiber that has been pretreatmented with hot water at a temperature of 210 $^{\circ}$C was the highest methane production with the cumulative methane content of 77.64 ± 3.29 L CH_4/kg VS, has the potential to increase methane production by 1.26 times. Followed by the palm fiber that has been pretreatmented with hot water at a temperature of 190 and 170 $^{\circ}$C, respectively with the cumulative methane content of 75.09±2.63 and 69.66±2.32 L CH_4/kg VS, respectively. The potential for increasing methane production were 1.22 and 1.13 times, respectively. While non-pretreated palm fibers have accumulated methane gas 61.41 L CH_4/kg VS.

Keywords : Biogas, Pretreatment with Hot Water, Batch Fermentation, Palm Fiber, Nutrient Solution, Inoculum to Substrate Ratio

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาการวิจัยเฉพาะทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ และ ดร.บุญญา ชาญนอก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยรวมถึงอาจารย์กาญจนา ขันทกะพันธ์ และอาจารย์ในโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุก ๆ ท่านที่คอยให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ และคอยให้คำแนะนำเพิ่มเติม

ขอขอบคุณบริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยปาล์มและหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจตลอดมาจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำของงานวิจัยในเล่มนี้

กมลทรรศน์ สิบมอง
อัสวาณี เหมหวัง
ธันวาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ตัวแปร	3
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 สมมติฐาน	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 ระยะเวลาในการทำวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ก๊าซชีวภาพ	5
2.2 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ	9
2.3 เทคโนโลยีการหมักร่วม	10
2.4 วิธีการหมักแบบกะ (Batch Fermentation)	11
2.5 ปาล์มน้ำมัน	12
2.6 วัสดุที่ใช้ในการหมัก	13

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 กระบวนการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	20
3.1 ขอบเขตการวิจัย	20
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	22
3.3 วิธีการวิเคราะห์	24
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	31
4.1 ผลวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ	31
4.2 ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการวิจัย	ผก-1
ภาคผนวก ข แบบเสนอโครงการวิจัย	ผข-1
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย	ผค-1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.7-1	ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	5
2.1-1	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas)	6
2.2-1	อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ	10
2.3-1	ข้อดีและข้อจำกัดของการหมักร่วมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ	12
2.5-1	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน	15
3.2-1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
3.2-2	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	25
3.3-1	การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ	27
4.1-1	ผลการศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเส้นใยปาล์ม	32

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ตารางที่		หน้า
2.1-1	ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ	9
3.1-1	ลักษณะของเส้นใยปาล์ม	22
3.1-2	ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์	23
3.3-1	วัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ	26
3.3-2	ขั้นตอนการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน	28
3.3-3	วิธีการหมักก๊าซชีวภาพ	30
4.1-1	การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารไนโตรเจนในเส้นใยปาล์ม	34
4.1-2	การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารฟอสฟอรัสในเส้นใยปาล์ม	35
4.1-3	การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารโพแทสเซียมในเส้นใยปาล์ม	36
4.1-4	การปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน	37
4.2-1	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ	38
4.2-2	ปริมาณมีเทนสะสมที่อุณหภูมิต่าง ๆ	39
4.2-3	ปริมาณมีเทนสะสมเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่าง ๆ	40

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาผลการวิจัย

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ดังนั้นจึงมีการให้ความสำคัญในการจัดการทางด้านพลังงานเพื่อให้มีพลังงานใช้อย่างเพียงพอ เมื่อความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่แหล่งพลังงานกลับลดลงและมีปริมาณจำกัด พลังงานจึงมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตและประสบปัญหาวิกฤติการณ์พลังงาน เมื่อราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกได้เพิ่มสูงขึ้นทำให้กลุ่มประเทศต่างๆ ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงานของไทยได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 โดยมีเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพประมาณ 600 เมกะวัตต์ (กระทรวงพลังงาน, 2559) ก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานทางเลือกทดแทนที่สำคัญแหล่งหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่ไม่อาศัยออกซิเจน โดยมีกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แอซิโดเอเนซิส (acidogenesis) อะซิโตเจเนซิส (acetogenesis) และเมทาโนเจเนซิส (methanogenesis) ก๊าซชีวภาพจะผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพอาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้วยังได้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ช่วยลดการเกิดสภาวะโลกร้อน ลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นอุตสาหกรรมชนิดเดียวของประเทศไทยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ จึงมีแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญของประเทศอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสตูล เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 8, 2555) พื้นที่ภาคใต้มีอุตสาหกรรมอยู่จำนวนมากโดยโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ ผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและมีรายได้เพิ่มจากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อสกัดน้ำมันปาล์มแล้วก็จะมีส่วนที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มออกมามาก และมีวัสดุเศษเหลือใช้ที่เป็นมวลชีวภาพประเภทลิกโนเซลลูโลส อาทิ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20, 12 และ 6 ตามลำดับ จากการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ร้อยละ 36.7 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 35.8 และลิกนิน

ร้อยละ 18.6 ซึ่งอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีมวลชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึงร้อยละ 80 (การเกตุ วัฒนสิทธิ์, 2556) การที่จะนำเส้นใยปาล์มมาผลิตก๊าซชีวภาพมันจะมีปัญหาในการย่อย เนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืชในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนที่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์ ทำให้เอนไซน์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้ กระบวนการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการปรับสภาพ เส้นใยปาล์มก่อนที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ (ปิยะนุช เปียคง, 2557)

การปรับสภาพด้วยวิธีการทางกายภาพ (physical pretreatment) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้โดยการนำชีวมวลที่ผ่านการหั่นและบดแล้วจะถูกปรับสภาพต่อด้วยน้ำร้อนที่ควบคุมด้วยความดันที่สูง หลังจากนั้นจึงลดความดันลง โดยส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิที่ 120-260 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงลดความดันลงให้เหลือเท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและการเปลี่ยนรูปลิกนิน เนื่องจากอุณหภูมิสูงและเป็นการเพิ่มศักยภาพในการย่อยเซลลูโลสด้วย ร้อยละ 70 เป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนนั้นจะมีผลโดยตรงกับวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เป็นไม้เนื้อแข็ง และวัตถุดิบพวกของเหลือใช้ทางการเกษตร แต่จะมีผลน้อยมากต่อวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เป็นไม้เนื้ออ่อน วัสดุที่ผ่านกระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการไฮโดรไลซิส แต่ข้อจำกัดของกระบวนการนี้ก็คือในการทำลายแยกส่วนประกอบของลิกนินมักเกิดไม่สมบูรณ์ และบางครั้งเกิดเป็นกลุ่มของสารประกอบที่ไปตัวยับยั้งการเกิดจุลชีพ ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนโดยการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพวัตถุดิบ ก่อนนำไปหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน โดยมีอัตราส่วนวัตถุดิบในการผลิตเหมาะสมมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและผลที่ได้ของก๊าซมีเทน โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

1.2.2 เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น : อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

ตัวแปรตาม : ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตัวแปรควบคุม : อัตราส่วนของวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ และวิธีการหมักก๊าซชีวภาพ

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศและใช้หัวเชื้อในการหมักก๊าซชีวภาพ

1.4.2 การปรับสภาพด้วยน้ำร้อน คือ เป็นกระบวนการนำชีวมวลที่มีขนาด 1-2 มิลลิเมตร มาปรับสภาพต่อด้วยน้ำร้อนที่ควบคุมด้วยความดันที่สูงโดยใช้เครื่อง hydrothermal treatment โดยใช้อุณหภูมิที่ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส

1.4.3 การหมักแบบกะ (batch) คือ การหมักที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวตลอดระยะเวลาในการหมักแล้วปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโต

1.4.4 เส้นใยปาล์ม (palm fiber) คือ ส่วนที่ได้จากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมัน ส่วนของเส้นใยปาล์มที่ใช้จะเป็นส่วนที่มีสีน้ำตาล

1.4.5 สารอาหารเสริม (nutrient solution) คือ สารอาหารที่ใช้เติมลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ช่วยให้การย่อยสลายในกระบวนการหมัก

1.4.6 อัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อสารตั้งต้น (Inoculum to Substrate Ratio : ISR) คือ อัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในอัตราส่วน 3:1

1.5 สมมติฐาน

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม ส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีต่อกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับเส้นใยปาล์มและการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

1.6.2 ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนเป็นการลดปริมาณของเสียจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

การศึกษานี้มีระยะเวลาดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม 2560 ถึงธันวาคม 2561 สำหรับแผนการดำเนินการศึกษาแสดงไว้ใน **ตารางที่ 1.7-1**

ตารางที่ 1.7-1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560											2561								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-12	1-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร	▬	▬	▬	▬																	
2. สอบโครงร่าง					▲																
3. การทดลองในห้องปฏิบัติการ						▬	▬	▬	▬	▬			▬	▬	▬	▬	▬	▬			
4. สอบรายงานความก้าวหน้า										▲											
5. วิเคราะห์และสรุปผล																	▬	▬			
6. การเขียนเล่มวิจัย																	▬	▬	▬		
7. สอบวิจัยฉบับสมบูรณ์																					
8. แก้ไขเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																				▲	▬

หมายเหตุ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึง เดือนมีนาคม 2561 อยู่ในช่วงของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนโดยการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม ก่อนนำไปหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของโรงงานปาล์มน้ำมัน โดยมีอัตราส่วนวัตถุดิบในการผลิตเหมาะสมมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและผลที่ได้ของก๊าซมีเทน โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (anaerobic) ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซขึ้นขณะเกิดการย่อยสลายประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เหลือจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) (**ตารางที่ 2.1-1**) ก๊าซมีเทนมีมากที่สุดมีคุณสมบัติติดไฟได้และไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เมื่อเผาไหม้รวมกับอากาศจะได้เปลวไฟสีน้ำเงิน

ตารางที่ 2.1-1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)
มีเทน	50-70
คาร์บอนไดออกไซด์	30-40
ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตเจน ไฮโดรเจนซัลไฟต์ และไอน้ำ	เล็กน้อย

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2556)

ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น การย่อยสลายอินทรียวัตถุสามารถให้ก๊าซชีวภาพ แต่จะเกิดก๊าซมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรียวัตถุที่ย่อยสลาย เช่น พืชสดจะเกิดก๊าซยากกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายมาบ้างแล้วจากสัตว์ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น

2.1.1 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นในกระบวนการดังกล่าวจึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่เหมาะสมหลายประการดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

1) อุณหภูมิ (temperature) โดยทั่วไปช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีอยู่ 3 ช่วง คือกลุ่มแบคทีเรีย Phychrophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ (5-15 องศาเซลเซียส) กลุ่มแบคทีเรีย Mesophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (35-37 องศาเซลเซียส) และกลุ่มแบคทีเรีย Thermophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง (50-55 องศาเซลเซียส) การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นในอัตราสูงมากในช่วงอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ถ้าต่ำกว่า 5 จะมีอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแต่แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์สามารถทนต่อสภาพเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย

3) อัลคาลินิตี้ (alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ถ้าค่าอัลคาลินิตี้ต่ำ จะมีแนวโน้มเป็นกรดได้ง่าย ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อระบบหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

4) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acid) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนแต่ถ้าใช้ไม่ทันจะเกิดการสะสมของกรด ส่งผลให้ค่า pH ลดลง ทำให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรีย โดยทั่วไปปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อาจทนได้ถึง 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5) สารอาหาร (nutrients) ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบ เพื่อให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ และผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีควรมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 100 : 2.2 : 0.4 หรือ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2

6) สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and toxic substances) การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอมโมเนียซัลไฟด์ และโลหะหนักบางตัว เช่น โซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำให้การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้

7) การกวน (mixing) การกวนผสมในถังหมักมีความสำคัญ เพราะจะทำให้แบคทีเรียมีโอกาสพบอาหารได้ทั่วถึง และสารอาหารต่าง ๆ ที่แบคทีเรีย ขับออกจะเกิดการกระจายได้ดีขึ้น

2.1.2 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

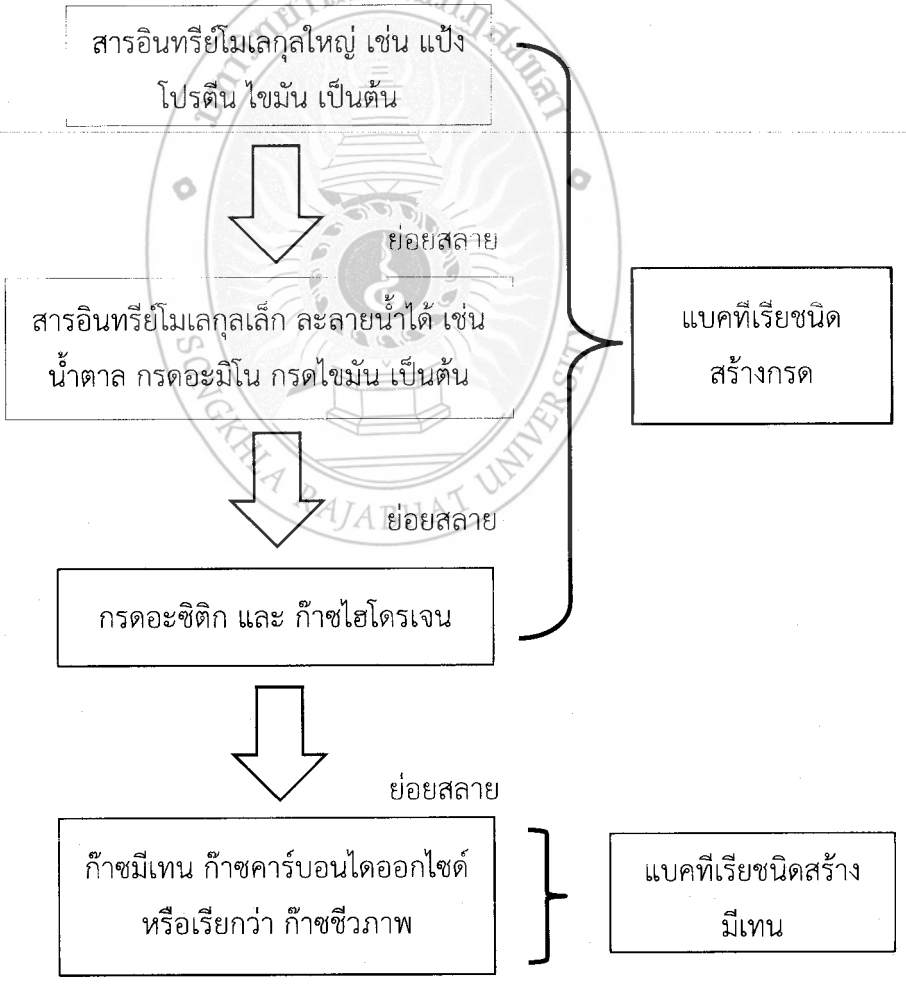
การเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์หลายชนิด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ การย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอื่น ๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาด ปลอดภัย มีการเจริญเติบโตของเซลล์น้อย ทำให้ลดการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพมีดังนี้ (**ภาพที่** 2.1-1)

ขั้นที่ 1 การสลายสารโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายสภาพเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์

ขั้นตอนที่ 2 และ 3 การสร้างกรด (acidogenesis and acetogenesis) สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (aciticv acid) กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) และกรดแลคติก (lactic acid) โดยแบคทีเรียสร้างกรดโดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิดซึ่งบางชนิดแบคทีเรียสร้างมีเทน ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้โดยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ ในระบบธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (acetogenesis) ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ

ขั้นที่ 4 การผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดโดยแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (methane former bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนโดยคิดเป็นร้อยละ70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ

ก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่เป็นตัวสร้าง ก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างก๊าซมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซีสและการสร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน (พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ, 2558) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำ ผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมกันเรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ” ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ แสดงใน**ภาพที่ 2.1-1**



ภาพที่ 2.1-1 ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.2 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (มีเทนร้อยละ 60) สามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และไฟฟ้า 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งโดยทั่วไปก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

2.2.1 ประโยชน์ด้านพลังงาน

เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดี และยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในรูปต่าง ๆ ได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เช่น หม้อต้มไอน้ำ (steam boiler) เป็นต้น เผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น เผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2556)

ตารางที่ 2.2-1 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของพลังงาน	**อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. (ที่มีก๊าซมีเทน 60%) จะสามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ดังนี้**
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ฟืนไม้	1.50 กิโลกรัม
ผลิตกระแสไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ที่ผลิตไฟฟ้า)	1.2-2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2556)

2.2.2 ประโยชน์ด้านการเกษตร

สำหรับเกษตรกรและฟาร์มทั้งหลาย สามารถใช้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้เกิดประโยชน์ 2 ทาง ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำได้เป็นอย่างดี และการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลง (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2554)

2.2.3 ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาคุณภาพชีวิต

การลดกลิ่นจากของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำเสียเหล่านั้นเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่ขยายเชื้อโรคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ และจะถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำภายนอกโดยไม่มีปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอีกต่อไป การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนลดลงช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน (กระทรวงพลังงาน, 2556)

2.3 เทคโนโลยีการหมักร่วม

การหมักร่วม (co-digestion) เป็นกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างสองวัตถุดิบหรือมากกว่า กระบวนการหมักแบบไร้อากาศในอดีตจะใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียวในการหมัก ทำให้ได้ผลของมีเทนน้อย ในปัจจุบันได้มีการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาหมักร่วมกัน หลักเกณฑ์พื้นฐานสำหรับการเลือกวัตถุดิบนั้นจะต้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรอง วัตถุดิบหลักส่วนใหญ่เป็นพวกมูลสัตว์และกากตะกอน (manure, sewage sludge) และวัตถุดิบรอง เป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณสูง เนื่องจากเส้นใยจะมีสารประกอบพวกเซลลูโลส ในปริมาณที่มากส่งผลให้การเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นโดยการหมักร่วมช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และช่วยเพิ่มค่า C/N Ratio ให้สูงขึ้นกว่าการหมักด้วยวัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยค่า C/N Ratio มีส่วนช่วยให้ยับยั้งการเปลี่ยนไนโตรเจนส่วนเกินไปเป็นแอมโมเนียอันเป็นตัวยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปค่า C/N Ratio ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศอยู่ช่วง 8-23 การหมักร่วมนอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ยังมีข้อดีและข้อจำกัดบางประการ (**ตารางที่ 2.3-1**)

ตารางที่ 2.3-1 ข้อดีและข้อจำกัดของการหมักร่วมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ข้อดี	ข้อจำกัด
ช่วยปรับปรุงความสมดุลของสารอาหารในการหมัก	เป็นการเพิ่มค่า COD ที่ปล่อยออกมา
ช่วยให้วัตถุดิบเกิดความเข้ากัน	ขึ้นอยู่กับพื้นที่และปริมาณของชีวมวลที่ใช้
ช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ	เป็นการเพิ่มกระบวนการผลิต
ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย	
ช่วยเพิ่มปริมาณปุ๋ยที่ได้เป็นการนำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์	

ที่มา: ชิตชนก คงแดง (2554)

2.4 วิธีการหมักแบบกะ (Batch Fermentation)

วิธีการหมัก (fermentation) ในทางชีวเคมี หมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากเอนไซม์แบบไม่ใช้ออกซิเจน การหมักแบ่งตามลักษณะของกระบวนการที่ใช้ได้เป็น 3 ชนิดคือ การหมักแบบกะ หรือแบบแบตช์ (batch fermentation), การหมักแบบต่อเนื่อง (continuous fermentation) และการหมักแบบกึ่งกะ (fed-batch fermentation) และไคเนติกส์ของกระบวนการหมักแต่ละชนิดนี้ก็จะแตกต่างกันไปโดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการศึกษาไคเนติกส์ของการหมัก (fermentation kinetic) เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เราทราบถึงธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก (พรทิพย์ พึ่งม่วง, 2556) กระบวนการหมักแบบกะหรือแบบแบตช์ (batch fermentation)เป็นการหมักที่มีการเติมสารอาหารลงไปครั้งเดียว การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น (สารอินทรีย์) การเกิดผลผลิต (ก๊าซชีวภาพ) การเปลี่ยนแปลงของ pH และอุณหภูมิโดยบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงเป็นตัวเลขอย่างแน่ชัด การหมักแบบกะเป็นระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบปิดที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด แล้วปล่อยให้ระบบเกิดการย่อยสลายไปจนถึงระยะเวลาที่ต้องการหรือจนหยุดกระบวนการแล้วจึงถ่ายสารออก (สมใจ ศิริโภค, 2547) เมื่อเริ่มระบบหมักแบบแบทช์ ช่วงแรกเป็นระยะที่จุลินทรีย์กำลังปรับตัวเซลล์จะยังไม่มีการเพิ่มจำนวน หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงสุดและคงที่ แต่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกจำกัดด้วยสารอาหาร เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโต

2.5 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยเป็นพืชที่ มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ ได้หลากหลายทั้งจากการแปรรูปโดยตรงและนำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในอุตสาหกรรมอุปโภคบริโภค และเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการแข่งขัน สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าพืชน้ำมันอื่นๆ มีต้นทุนการผลิตและราคาที่ต่ำกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น จึงทำให้น้ำมันปาล์มเป็นพืชน้ำมันที่มีส่วนแบ่งการผลิตสูงกวาอุตสาหกรรมน้ำมันชนิดอื่น (กรมวิชาการเกษตร, 2553) ในปี 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน จำนวน 4,315,725 ไร่ แบ่งออกเป็นพื้นที่ภาคใต้ จำนวน 3,666,133 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 84.95 ของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด ภาคกลาง จำนวน 517,496 ไร่ คิดเป็น ร้อยละ 11.99 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 102,778 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.38 และภาคเหนือจำนวน 29,318 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.68

ปาล์มน้ำมัน นั้นมีคุณประโยชน์มากมาย โดยน้ำมันปาล์มนั้นได้จาก 2 ส่วนของปาล์ม คือ ส่วนเปลือกนอกประมาณร้อยละ 16-25 ของน้ำหนักทะลาย และส่วนเนื้อในประมาณร้อยละ 3-5 ของน้ำหนักทะลาย นอกจากนี้ทุกๆ ส่วนของปาล์มน้ำมัน ยังนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรมพลังงาน เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมันนั้นเกิดจากการกระบวนการแปรรูปซึ่งได้ผลที่ทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้กากอุตสาหกรรมจากกระบวนการแปรรูปปาล์มน้ำมันยังสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ดังนี้

2.5.1 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)

1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เนยเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน สบู่ เป็นต้น

2) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป อุตสาหกรรมการผลิตเนยเทียม เนยขาว ครีมฉาบหน้าขนม ฯลฯ

3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่ อุตสาหกรรมโอลีโอเคมีคอล การผลิตวิตามิน E รวมถึง อุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล

2.5.2 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel oil)

1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น น้ำมันเมล็ดในปาล์ม ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมข้นหวาน ไอศกรีม เนยขาว ฯลฯ ใช้ในอุตสาหกรรมโอลีโอเคมีคอล อุตสาหกรรมโอลีโอเคมีคอล รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล

2) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเนยเทียม เนยขาว ครีมฉาบหน้าขนม ฯลฯ รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตสบู่โอลีโอเคมีคอล

3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดในปาล์ม ได้กากเมล็ดในปาล์ม ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

2.5.3 ทะลายปาล์มเปล่า (Empty Bunch) สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ

2.5.4. เส้นใย (Fiber) สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ

2.5.5 กะลา (Shell) สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ

2.5.6 น้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปปาล์มน้ำมัน สามารถหมุนเวียนนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

2.5.7 กากตะกอนน้ำมัน (Cake Decanter) สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์

2.5.8 ใบปาล์ม/ทางใบ (Palm leaf / Blade) ใช้ประโยชน์ในการคลุมผิวดินภายในสวนปาล์มน้ำมัน เพื่อรักษาความชื้นในดิน นอกจากนี้ หลัง 6 เดือน ทางใบจะย่อยสลายกลายเป็นอินทรียวัตถุที่เป็นประโยชน์ ต่อต้นปาล์มน้ำมันได้อีกด้วย

2.6 วัสดุที่ใช้ในการหมัก

อินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้ทุกชนิดสามารถใช้เป็นวัสดุหมักก๊าซชีวภาพ แต่วัสดุบางชนิดจะมีความเหมาะสมมากกว่าวัสดุบางชนิดด้วยเหตุผลทางต้นทุนและเทคนิคไม่ควรใช้วัสดุที่ต้องซื้อหรือมีราคาแพง เพราะจะทำให้ก๊าซชีวภาพมีต้นทุนสูงไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งของการผลิตก๊าซชีวภาพคือการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือนและชุมชนที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เปลี่ยนขยะหรือของเหลือทิ้งเป็นพลังงานที่มีค่า

2.6.1 เส้นใยปาล์ม (Palm pericarp fiber)

เป็นส่วนที่เหลือหลังจากกระบวนการผลิตของโรงงาน ได้จากส่วนเปลือกของผลปาล์ม มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว ทน อากาศไหลเวียนผ่านได้ดี จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตที่นอนและสามารถเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนได้ด้วย มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 19 ของทะลายปาล์มสด มีความชื้นประมาณร้อยละ 38.50 แต่อย่างไรก็ตามก็ยังก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมจากการศึกษาเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบของชีวมวลจากส่วนต่างๆ พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีมวลชีวภาพที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึงร้อยละ 80 (วิภาภรณ์ ณ ถลาง, 2555) และมีองค์ประกอบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (**ตารางที่ 2.5-1**)

ตารางที่ 2.5-1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	36.7
เฮมิเซลลูโลส	35.8
ลิกนิน	18.6

ที่มา : การเกตุ วัฒนสิทธิ์ (2556)

2.6.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว โดยความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกันและมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือเป็นกากตะกอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็จะไม่มีการเปลี่ยนสภาพ หลังจากที่ออกจากระบบแล้ว เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพต้องประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนบำบัดต่อเนื่อง เพื่อให้น้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

หัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มาที่มาจากบ่อล้น (expansion chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับตะกอนน้ำเสียที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมัก โดยการทำงานเป็นระบบไดนามิกเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันตะกอนน้ำเสียที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักอีกครั้ง เพื่อผลักดันก๊าซให้มี

ความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ มีค่า BOD อยู่ที่ 10,000-25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน จากบริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด

2.7 กระบวนการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินซึ่งมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินจึงเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม ขนาดรูพรุนของตัววัตถุดิบและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (cellulose crystallinity) ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงวัตถุดิบได้ง่ายขึ้นกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

1) การปรับสภาพด้วยวิธีการทางกายภาพ (physical pretreatment) การใช้เครื่องมือเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและลดขนาดอนุภาคของลิกโนเซลลูโลสนอกจากนี้ยังเป็นการลดผลึกของเซลลูโลสโดยมีวิธีดังต่อไปนี้

1.1) การใช้แรงทางกล (Mechanical communition)

วิธีการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทุบ การบด การโม่ การเขย่า วัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะมีผลให้ [illegible] การเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น ความสามารถในการลดขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุนั้นซึ่งปกติขนาดของเศษวัตถุดิบจะทำให้มีขนาดประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร (Sun and Cheng, 2002)

1.2) การไพโรไลซิส (Pyrolysis)

วิธีการอบที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ให้วัตถุดิบกลายสภาพเป็นแก๊สหรือของแข็ง กระบวนการจะทำได้ช้าและการระเหยจะต่ำถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ จากการวิจัยพบว่าการใช้อุณหภูมิมากไปหรือน้อยไปจะไม่เป็นผลดีจึงต้องมีการวิจัยที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างน้อย

1.3) การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water)

เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะใช้อุณหภูมิมากกว่า 150-220 องศาเซลเซียส แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อน ปัจจัยที่มีผลต่อการวิธีการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาด ของชิ้นชีวมวลและปริมาณตัวอย่างต่อปริมาณน้ำ เป็นต้น แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดการแยก

เอาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกจากกันที่อุณหภูมิสูง โดยส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะละลายในน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำปัจจัยที่มีผลในกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือ เวลาที่ใช้ อุณหภูมิ ขนาดของวัสดุตั้งต้นที่ใช้และ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบ

2) การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (chemical pretreatment) เป็นการใช้สารละลายกรดเพื่อเพิ่ม ความสามารถในการย่อยเฮมิเซลลูโลส เพราะเฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยสลายในสารละลายกรดได้ดีกว่า เซลลูโลส หรือใช้สารละลายด่างเพื่อเพิ่มปริมาณการละลายของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน หรืออาจใช้สารละลาย แอมโมเนียเพื่อกำจัดลิกนิน เป็นการน้ำวัตถุดิบใส่ในสารละลาย แอมโมเนียที่อุณหภูมิสูงและความดันสูงแล้วลดความดันอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะคล้ายกับการระเบิดด้วยไอน้ำ ใช้แอมโมเนีย อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กระทำในลักษณะเช่นเดียวกับการระเบิดด้วยไอน้ำและการระเบิดด้วยแอมโมเนียโดย CO_2 จะเหมือนกับกรดคาร์บอนิก การใช้เบส เช่น การใช้แอมโมเนีย ไฮดรอกไซด์เจือจางเตรียม ลิกโนเซลลูโลส จะทำให้เส้นใยพองตัว เพิ่มพื้นที่ผิว ลดความเป็นผลึก สลายการเป็นโพลีเมอร์ สลายโครงสร้างลิกนิน

3) การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological pretreatment) จุลินทรีย์สามารถใช้ในการปรับสภาพวัตถุดิบ ระบบลิกโนเซลลูโลสในช่วงที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ ในการใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพวัตถุดิบนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีที่ใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพวัตถุดิบ น้อยมากซึ่งเซลลูโลสมีความต้านทานในการถูกจุลินทรีย์ย่อยของจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนอื่นๆของลิกโนเซลลูโลส มีการใช้จุลินทรีย์ Brown-, White-, และ soft-rot fungi ในการปรับสภาพวัตถุดิบ White-rot fungi อาทิเช่น Phanerochaete chrysosporium, Ceriporia lacerata, Cyathus stercolerus, Ceriporiopsis subvermispora, Pycnoporus cinnarbarinus และ Pleurotus ostreaus เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Kumar et al., 2011; Sreenath et al.,2001; Slininger et al., 1982 อ้างถึงใน รัชพล พะวงรัตน์, 2558)

4) การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี (Physicochemical pretreatment) กลไกการทำงานของกระบวนการ Hydrothermal treatment (HTT) ชีวมวลที่ผ่านการหั่นและบดแล้วจะถูกปรับสภาพต่อด้วยไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันสูง หลังจากนั้นจึงลดความดันลง โดยส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิที่ 120-260 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.69-4.83 เมกะพาสคาล (MPa) ไว้ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจึงลดความดันลงให้เหลือเท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและการเปลี่ยนรูปลิกนิน เนื่องจากอุณหภูมิสูงและเป็นการเพิ่มศักยภาพในการย่อยเซลลูโลสด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดด้วยไอน้ำ ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาดของชิ้นชีวมวลและปริมาณตัวอย่างต่อปริมาณน้ำ เป็นต้น ข้อดีของการปรับสภาพด้วยวิธีนี้ คือ ใช้พลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการบดด้วยเครื่องจักรเพียงอย่างเดียวอย่างเดียวมีความคุ้มค่าเมื่อใช้ใน

การปรับสภาพไม้เนื้อแข็งและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แต่มีประสิทธิผลน้อยเมื่อใช้กับไม้เนื้ออ่อน ข้อจำกัดของวิธีนี้ (สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557)

การที่เลือกเส้นใยปาล์มมาเป็นวัตถุดิบในการปรับสภาพเนื่องจากการศึกษาเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และมีองค์ประกอบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ การนำเส้นใยปาล์มมาปรับสภาพด้วยน้ำร้อนเพื่อต้องการทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลสและมีผลดีทำให้ลิกนินเปลี่ยนรูป และย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดี

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shuofu Mi, et al (2016) ศึกษาการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนและการแตกตัวของปริมาณเอนไซม์ในลิกโนเซลลูโลสของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (PKC) การปรับสภาพที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงทางวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส ของแข็งที่ได้รับการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่ 160-200 องศาเซลเซียส การปรับสภาพน้ำร้อนและกัดดิสก์ทำหน้าที่ร่วมในการปรับปรุงกลูโคสและไซโลสโดยอัตราผลตอบแทนร้อยละ 89 และร้อยละ 134 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียว และตัวอย่างที่มีน้ำตาลกลูโคสและไซโลสสูงสุดต่ออัตราผลตอบแทนในทุก ๆ

สุเมธ เดชรักษา และคณะ (2556) ศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมสารตั้งต้นและเชื้อที่มาในชุดร่วมการย่อยอาหารของหญ้าและปุ๋ยคอก การศึกษาผลแสดงให้เห็นการผสมผสานของอัตราส่วนที่ใช้เป็นอัตราส่วน 3:1 ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับการย่อยอาหารของหญ้าขนและปุ๋ยมูลคอกโดยดำเนินการทดสอบก๊าซมีเทนทางเคมี ซึ่งพื้นผิวที่เป็นของแข็งจะตั้งต้นอัตราส่วนที่มากกว่า 3 และ 4 จะได้รับผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน โดยหัวเชื้อจากบ่อหมักรักษาพื้นผิวอาจจะไม่เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบของ BMP แม้ว่าจะมีมีเทนในเชื้อแบคทีเรียที่สามารถหมักและนำมาใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการทดสอบประเภทของการย่อยอาหาร

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไข่เส้ง (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน วิธีการหมักก๊าซชีวภาพโดยชั่งน้ำหนักวัสดุตามอัตราส่วนที่ต้องการลงในขวด แล้วเติม stock nutrient solution เติมบัฟเฟอร์ และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร วัด pH และปรับ pH ด้วย HCl ร้อยละ1 ให้ pH ประมาณ 6-7 การเริ่มต้นการหมักร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพนี้จะใช้มูลโคเป็นหัวเชื้อ โดยใช้อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิควบคุมในการทำการทดลองระยะเวลา 15 วัน ก๊าซมีเทนเริ่มผลิตได้เมื่อการทดลองผ่านไป 3 วัน ก๊าซมีเทนในวันที่ 10 ของการทดลองจะมีการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 15 ก๊าซมีเทนจะเริ่มมีการผลิตลดลง การหมักในการทดลองจะมีทั้งหมด 6 อัตราส่วน

(R หมายถึง ใบยางพารา และ W หมายถึง ผักตบชวา) คือ อัตราส่วน (R:W = 1:0) และ(R:W = 0:1) เป็นการหมักโดยใช้วัสดุหมักเพียงชนิดเดียว อัตราส่วน (R:W = 1:0) หมักโดยใช้ใบยางพาราเพียงอย่างเดียว อัตราส่วน (R:W = 0:1) หมักโดยใช้ผักตบชวาเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะมีปริมาณของวัสดุหมักที่เท่ากันเท่ากับ 0.3 g TS/g Fresh ส่วนในอัตราส่วน (R:W = 1:1) (R:W = 2:1) (R:W = 1:2) เป็นการหมักร่วมโดยใช้วัสดุหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวา ส่วนในอัตราส่วน (R:W = 0:0) เป็นการหมักที่ใส่มูลโคที่เป็นหัวเชื้ออย่างเดียวซึ่งจะเป็นชุดควบคุมในทุกๆ อัตราส่วนของการหมัก จะใช้มูลโคในปริมาณที่เท่ากัน เท่ากับ 0.3 g TS/g Fresh และมีปริมาณร่วมของวัสดุหมักเท่ากับ 0.9 g TS/g Fresh จากผลการศึกษาพบว่า การหมักโดยการใช้วัสดุหมักเพียงชนิดเดียว พบว่า ในอัตราส่วนที่ใส่ผักตบชวาเพียงอย่างเดียว (R:W = 0:1) จะมีผลผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าในอัตราส่วนที่ใส่ใบยางพาราเพียงอย่างเดียว (R:W = 1:0) การหมักร่วมโดยใช้วัสดุหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวา พบว่าการใช้วัสดุหมักผักตบชวาเป็น 2 เท่าของใบยางพารา (R:W = 1:2) เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด มีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด เมื่อมีการเปรียบเทียบผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวา อัตราส่วน (R:W = 1:2) จะมีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนใกล้เคียงกับการหมักผักตบชวาเพียงอย่างเดียว อัตราส่วน (R:W = 0:1)

การใช้ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศยังไม่มีการศึกษากันอย่างจริงจัง เพราะโครงสร้างผนังเซลล์พืชมีความซับซ้อน ทำให้ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ขบวนการปรับปรุงการย่อยสลายชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากตัวเส้นใยมีความซับซ้อนและโครงสร้างเคมีความหลากหลาย การจะปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมจึงต้องคำนึงถึงเส้นใยลิกโนเซลลูโลสที่จะนำมาใช้เป็นสำคัญ และยังพบว่าคุณสมบัติทางโครงสร้างและองค์ประกอบหลายประการมีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้การย่อยสลายยาก วิธีปรับสภาพด้วยน้ำร้อน (Liquid hot water หรือ LHW)' เป็นหนึ่งในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์โมไลซิส ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยสารเคมี อาศัยแรงดันของน้ำในสถานะของเหลวโดยคงไว้ที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำการสลายเพื่อลดขนาดของวัตถุดิบอย่างช้าๆ วัตถุดิบประเภทชีวมวลที่ต้มในน้ำเดือดภายใต้แรงดันน้ำสูง น้ำจึงสามารถเจาะเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้นๆ ได้ ทำให้เซลลูโลสเปียกชุ่มเฮมิกเซลลูโลสดูดซับน้ำและลิกนินค่อยๆ สลายตัวไปอย่างช้าๆ วิธีการ LHW นับว่ามีประสิทธิภาพสูง เพราะขยายพื้นที่พื้นผิวเกิดปฏิกิริยาและทำให้เซลลูโลสอ่อนตัวลง ทั้งยังช่วยให้จุลลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสง่ายขึ้นเปรียบเทียบกับไม่ใช้วิธีการนี้ วิธี LHW เหมาะสำหรับสารสกัดประเภทน้ำตาล วิธี LHW นำมาใช้ปรับปรุงปริมาณก๊าซมีเทนในชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เช่น ก้านดอกทานตะวัน ชานอ้อย เส้นใยปาล์ม และทะลายปาล์ม เป็นต้น เพื่อปรับปรุงผลผลิตก๊าซมีเทนให้เพิ่มมากขึ้น โดย

กำหนดเงื่อนไขการทดลองภายใต้อุณหภูมิสูงสุดที่ 200 องศาเซลเซียส แรงดันอิ่มตัวที่ 1.55 MPa เป็นเวลา 10-90 นาที ประสิทธิภาพของวิธี LHW นั้นแตกต่างตามวัตถุดิบชีวมวลที่เลือกใช้ และยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเชิงโครงสร้างและเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสม เมื่อลองเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ แล้ว พบว่า วิธีการ LHW นั้นเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนเลือกใช้อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลสได้ดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้เส้นใยปาล์มเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาง่ายในพื้นที่จังหวัดสตูล และได้ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม ก่อนนำไปหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพของโรงงานปาล์มน้ำมัน โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เส้นใยปาล์มจากกระบวนการบีบน้ำมัน ของโรงงานปาล์มไทยพัฒนา จำกัด นำมาทดสอบปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส แล้วนำไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ 3:1 และควบคุมอุณหภูมิในการหมัก 35±1 องศาเซลเซียส ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพหลังการหมักครบ 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี (GC)

3.1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

เส้นใยปาล์มจากกระบวนการบีบน้ำมัน

3.1.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

- **พื้นที่เก็บตัวอย่างวัสดุหมักและลักษณะของวัสดุ**

1) เส้นใยปาล์ม: เส้นใยปาล์มได้มาจากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์ม จากโรงงานปาล์มน้ำมันบริษัท ปาล์มไทยพัฒนาจำกัด ต.อุไดเจริญ อ.ควนกาหลง จ.สตูล (**ภาพที่ 3.1-1**)

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์: หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้มาจากบ่อพักน้ำเสียที่โดยถ่ายออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานปาล์มน้ำมัน จาก บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด (**ภาพที่3.1-2**)

(ก) ผลปาล์มสด

(ข) เส้นใยปาล์มที่เหลือจากโรงงานปาล์ม

(ค) เส้นใยปาล์มขนาด 1-2

ภาพที่ 3.1-1 ลักษณะของเส้นใยปาล์ม

(ก) ระบบก๊าซชีวภาพของ
โรงงานปาล์มน้ำมัน

(ข) บ่อพักตะกอน

(ค) หัวเชื้อจุลินทรีย์

ภาพที่ 3.1-2 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

3) สถานที่ทำการทดลอง

3.1) ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3.2) อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์สิรินธร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดง**ในตารางที่ 3.2-1** และ**ตารางที่ 3.2-2**

ตารางที่ 3.2-1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น
1) เครื่องชั่ง (balance) ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Mettler Toledo / al204
2) ตู้อบ (oven)	Memmert /UFE500
3) เตาเผา (muffle furnace)	Carboliter /WF 1100
4) ตู้ดูดความชื้น (desicator chamber)	Bossman /BK 98 (A)
5) กระดาษกรองเบอร์ 5	Whatman /NO.5
6) เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (hotplate stirrer)	IKA / C-MAG HS 7
7) เครื่องยูวี –วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer)	PG Istrument / T80
8) เครื่องย่อยไนโตรเจน	Buchi
9) เครื่องกลั่นไนโตรเจน	Buchi
10) เครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี่	Shimadzu Model GC-14
11) เครื่อง hydrothermal treatment	PT-Reactor
12) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)	Mettler Toledo/ SG2-FK SevenGo pH
13) หลอดเก็บตัวอย่าง	BD Vacutainer Serum
14) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert
15) หลอดฉีดยา	MIRA
16) เข็มฉีดยา เบอร์18	Terumo
17) ตะแกรงร่อน	-
18) เครื่องแก้วต่างๆ	-
19) กระดาษลิตมัส	-
20) ตู้บ่มเพาะเชื้อ	-
21) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ Autoclave	-

ตารางที่ 3.2-2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด
1) แอมโมเนียคลอไรด์	NH_4Cl	AR
2) ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต	K_2HPO_4	AR
3) แมกนีเซียมซัลเฟต	$MgSO_4 \cdot H_2O$	AR
4) แคลเซียมคลอไรด์	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	AR
5) Yeast extract	Yeast extract	AR
6) ไอร์ออน (II) คลอไรด์	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	AR
7) กรดบอริก	H_3BO_3	AR
8) ซิงค์ (II) คลอไรด์	$ZnCl_2$	AR
9) คอปเปอร์ (II) คลอไรด์	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	AR
10) แมงกานีสคลอไรด์	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	AR
11) แอมโมเนียโมลิบเดต	$(NH_4)6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	AR
12) อะลูมิเนียมคลอไรด์	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	AR
13) คาร์บอนิลคลอไรด์	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	AR
14) โซเดียมไบคาร์บอเนต	$NaHCO_3$	AR
15) ไฮโดรคลอริก	HCL	AR
16) แอมโมเนียมฟลูออไรด์	NH_4F	AR
17) กรดแอสคอร์บิก	Ascorbic acid	AR
18) โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	AR
19) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	KH_2PO_4	AR
20) โพแทสเซียมซัลเฟต	K_2SO_4	AR
21) กรดซัลฟูริก	H_2SO_4	AR
22) เมธิลเรด	Methyl red	AR

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ

วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เส้นใยปาล์ม และหัวเชื้อจุลินทรีย์โดยมีรายละเอียดดังนี้ (**ภาพที่ 3.3.1**)

1) เส้นใยปาล์ม

1.1) นำเส้นใยปาล์มที่ได้จากโรงงานปาล์มน้ำมัน บริษัทปาล์มไทยพัฒนา จำกัด ตำบลอุไดเจริญ อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล มาผึ่งแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.2) ชั่งน้ำหนักของเส้นใยปาล์มโดยแบ่งเส้นใยปาล์มออกเป็น 0.5 กิโลกรัม แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร เพื่อที่จะแยกขนาด 1-2 มิลลิเมตร จำนวน 5 ซ้ำ

1.3) นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร ไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงที่

1.4) นำเส้นใยปาล์มเก็บใส่ถุงซิป แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยปาล์มมีความชื้น

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์

2.1) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ได้จากโรงงานปาล์มน้ำมัน บริษัทปาล์มไทยพัฒนา จำกัด นำมาใส่ถังฝาปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2) เมื่อหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ แยกชั้นแล้วเอาส่วนน้ำทิ้ง แล้วเหลือไว้แต่ตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์

2.3) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่แยกชั้นแล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้องและปราศจากแสงเพื่อไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ตาย

(ก) เส้นใยปาล์ม (ข) หัวเชื้อจุลินทรีย์

ภาพที่ 3.3-1 วัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ

ดำเนินการวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบก่อนการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยมีรายละเอียดดัง**ตารางที่ 3.1-1**

ตารางที่ 3.3-1 การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีการ
ของแข็งทั้งหมด (Total solids :TS)	วิธี Gravimetric method
ของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids :TVS)	
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N)	วิธี Kjeldahl method
ปริมาณฟอสฟอรัส (P)	วิธี Bray II method
ปริมาณโพแทสเซียม (K) (ส่งวิเคราะห์หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)	วิธี Flame photometric method
ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ชุดอุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพ
ปริมาณก๊าซมีเทน	Gas Chromatography (GC)

3.3.3 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

การผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นโดยนำเส้นใยปาล์มไปปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 170 190 และ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมากรองแยกของแข็งกับของเหลว โดย นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งเส้นใยปาล์ม 15 กรัม เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ลงในกระบอกสแตนเลส แล้วประกอบเข้าในเครื่อง hydrothermal treatment **(ภาพที่ 3.3-2)**

1) ทำการตั้งค่าเครื่อง โดยตั้ง Pressure ที่ 1 barและตั้ง Temperature 170 190 และ 210 องศาเซลเซียส จากนั้นรอให้อุณหภูมิขึ้นถึงที่กำหนดไว้ แล้วจับเวลา 30 นาที

2) นำเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพแล้วมาแยกระหว่างเส้นใยกับของเหลวที่เป็นน้ำ แล้วนำส่วนเส้นใยไปล้างด้วยน้ำกลั่น

3) นำเส้นใยที่ล้างเรียบร้อยแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

- 1 พ.ค. 2562

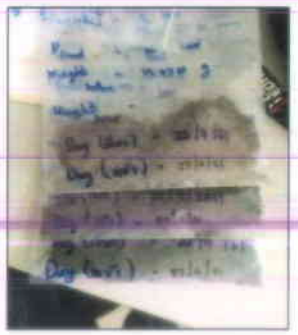
(ก) ตั้งค่าเครื่อง

(ข) เส้นใยปาล์ม 25 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร

(ค) ประกอบเครื่อง แล้วเริ่มจับเวลา

(ง) แยกเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพกับน้ำ

(จ) อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



(ฉ) เก็บใส่ถุงซิป

ภาพที่ 3.3-2 ขั้นตอนการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

3.3.4 การหมักก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ในอัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ ในอัตราส่วน ISR 3:1 และควบคุมอุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส โดยมีรายละเอียดดังนี้

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพการหมักชุดควบคุม โดยการหมักชุดควบคุมจำนวน 2 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 เป็นการหมักหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว
- ชุดที่ 2 เป็นการหมักเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์

3.3.5 วิธีการหมัก

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ดังแสดงใน **ภาพที่ 3.3-3** มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์มตามอัตราส่วนที่ต้องการใส่ลงในขวด (ก่อนนำตัวอย่างและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ใส่ขวด ต้องหาค่า TS และ VS)

3) นำหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์มากวนด้วย Magnatice Stirrer ดูดหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ด้วยหลอดฉีดยาตามปริมาตรที่คำนวณไว้ล่วงหน้า (รายละเอียดการคำนวณจะแสดงใน**ภาคผนวก ก**)

4) เติม Buffer Solution 6.0 มิลลิลิตร, Stock Solution 0.6 มิลลิลิตร (รายละเอียดวิธีการเตรียมสารใน**ภาคผนวก ก**) ก่อนจะเติมน้ำกลั่นปริมาตรน้ำกลั่นที่เติมโดยคำนวณตามสมการที่1

การคำนวณการเติมน้ำกลั่น (ml) = 60 – (ปริมาตร Buffer + Stock+Seed ที่ใช้) แล้วทำการปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.8 -7.2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก(HCl) ร้อยละ10

5) แล้วปิดฝาขวดล็อกฝาขวด ต่อเข็มและทรีเวย์ ก่อนนำขวดตัวอย่างเข้าตู้บ่มเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาเมื่อครบ 24 ชั่วโมง จะวัดก๊าซชีวภาพ ครั้งแรก บันทึกปริมาตรก๊าซชีวภาพ และใน 1 วันจะมีการเขย่าขวดทดลอง 3 ครั้ง (เช้า เที่ยง เย็น) เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้จุลินทรีย์และแบคทีเรียได้สัมผัสกับผิววัสดุหมักมากยิ่งขึ้น

(ก) ชั่งน้ำหนักชุดควบคุม

(ข) ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพ

(ค) ปรับปริมาตร 60 ml

(ง) วัด pH

(จ) ชุดขวดหมักก๊าซชีวภาพ

(ฉ) นำขวดตัวอย่างเข้าตู้บ่มเพาะเชื้อ

ภาพที่ 3.3-3 วิธีการหมักก๊าซชีวภาพ

3.3.6 การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

1. การวัดปริมาณก๊าซ

การวัดปริมาณก๊าซจะวัดหลังหมักครบ 24 ชั่วโมง โดยใช้กระบอกฉีดยา (Glass Syringe) จากนั้นเปิดวาล์ว เพื่อให้ก๊าซไหลเข้าสู่กระบอกฉีดยา แล้วทำการปิดวาล์วแล้วอ่านปริมาณก๊าซที่ไหลเข้าสู่กระบอกฉีดยา

2. การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

วิเคราะห์ปริมาณมีเทนโดยเครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี โดยเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน และชุดควบคุม โดยมีสภาวะและอุปกรณ์ ดังนี้

- คอลัมน์ WG-100 เส้นผ่านศูนย์กลาง ¼ มิลลิเมตร ความยาว 1.8 เมตร
- เครื่องตรวจวัดแบบ TCD
- อุณหภูมิ Colum oven, Injection port, Detector port 60 องศาเซลเซียส
- ก๊าซมาตรฐานที่ใช้ คือ ก๊าซผสม มีเทนร้อยละ 60 ไนโตรเจนร้อยละ 5 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 35

3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบพรรณนา เช่น ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซมีเทนและศักยภาพของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซมีเทน

2) การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติแบบ โดยคำสั่ง t-test Dependent (Paired Samples t-test) โดยทำการเปรียบเทียบเทียบระหว่างเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนกับเส้นใย

ปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170,190 และ 210 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตมีเทนที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยง่ายของวัตถุดิบ และปริมาณของธาตุอาหารที่มีในเส้นใยปาล์ม

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนและศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ

ในการศึกษาการหมักก๊าซชีวภาพ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์องค์ประกอบในเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน เส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนและหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids: TS) และปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids: TVS) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัส (P) และปริมาณโพแทสเซียม (K) การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร N, P และ K ในเส้นใยปาล์ม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเส้นใยปาล์ม

การศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมดในเส้นใยปาล์ม พบว่าเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.9999 g TS/ g fresh ส่วนเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.9847, 0.9851 และ 0.9922 g TS/ g fresh ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 4.1-1**

ตารางที่ 4.1-1 ผลการศึกษาปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยง่ายของเส้นใยปาล์ม

พารามิเตอร์	Un-EFB	การปรับสภาพด้วยน้ำร้อน°C		
		170	190	210
ของแข็งทั้งหมด (Total solids:TS) (g TS/ g Fresh)	0.9999	0.9847	0.9851	0.9922
ของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids: TVS) (g VS/ g TS)	0.9093	0.9239	0.9038	0.7874

หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

จากการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติโดยพบว่า เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 190 และอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

จากการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่ามีผลทำให้ของแข็งทั้งหมดหายไปร้อยละ 1.52, 1.48 และ 0.77 ตามลำดับ

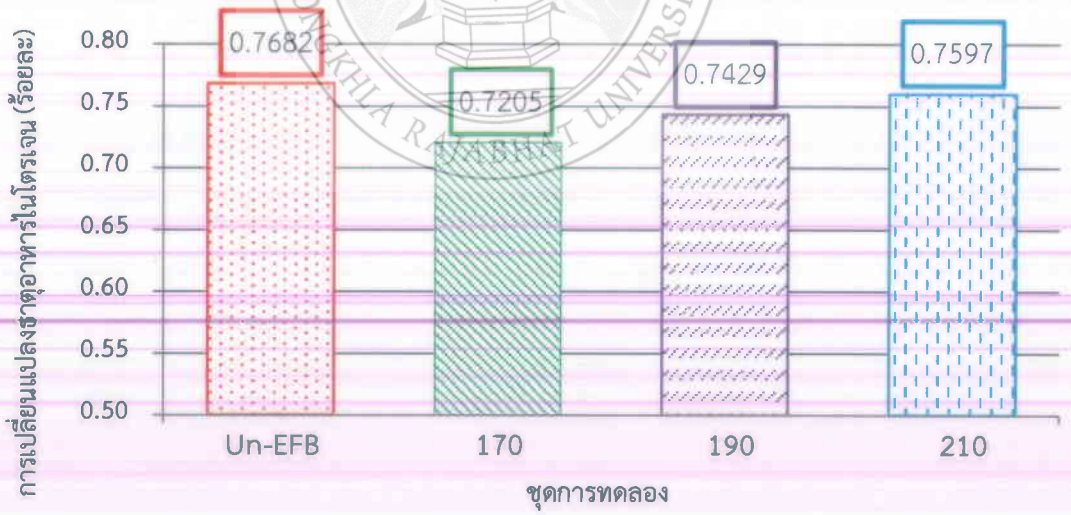
สำหรับปริมาณของแข็งระเหยง่าย จากการศึกษาพบว่าเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน มีปริมาณของแข็งระเหยง่าย 0.9093 g VS/ g TS ในขณะที่เส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งระเหยง่าย 0.9239, 0.9038 และ 0.7874 g VS/ g TS ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียด**ในตารางที่ 4.1-1** จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้นมีแนวโน้มให้ของแข็งระเหยง่ายลดลง เนื่องจากการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนนั้นมีผลทำให้สารอินทรีย์เกิดการเปลี่ยนรูปให้มีขนาดเล็กลงทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายกรดอะซิติก ทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างก๊าซมีเทนจึงมีผลให้ปริมาณก๊าซมีเทนเกิดได้สูงขึ้น

จากการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีผลทำให้ของแข็งระเหยง่ายหายไปร้อยละ 0.60 และ 13.40 ตามลำดับ ในขณะที่การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ทำให้ของแข็งระเหยง่ายไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 190 และอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ในเส้นใยปาล์ม

การศึกษาปริมาณไนโตรเจน (N) ซึ่งใช้สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนจากการศึกษาในเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.7682 ส่วนเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.7205, 0.7425 และ 0.7597 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดใน **ภาพที่ 4.1-1** จากการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติโดยใช้วิธีแบบ t-test Dependent (Paired Samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าไนโตรเจน (N) เมื่อเปรียบเทียบในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารไนโตรเจน (N) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนก่อนการปรับสภาพร้อยละ 0.7682 และหลังปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณไนโตรเจนลดลงร้อยละ 6.20, 3.29 และ 1.10 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีปริมาณไนโตรเจนหายไปเยอะที่สุด และมีผลต่อกระบวนการหมัก ก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเติมสารอาหารเสริมลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพเพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ช่วยให้การย่อยสลายในกระบวนการหมัก ดังแสดงรายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.1-1**



หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

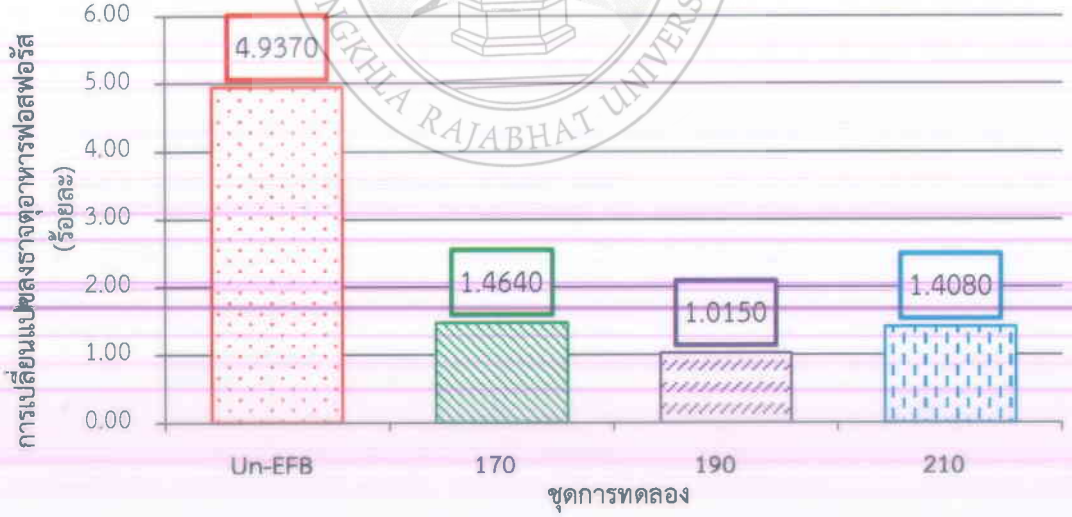
210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.1-1 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารไนโตรเจนในเส้นใยปาล์ม

4.1.3 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) ในเส้นใยปาล์ม

การศึกษาในเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ4.9370 ในเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 1.4640, 1.0105 และ 1.4080 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดใน**ภาพที่ 4.1-2** จากการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติโดยใช้วิธีแบบ t-test Dependent (Paired Samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าฟอสฟอรัส (P) เมื่อเปรียบเทียบในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสก่อนการปรับสภาพร้อยละ 4.9370 และหลังปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงร้อยละ 70.34, 79.44 และ 71.48 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส มีปริมาณฟอสฟอรัสหายไปเยอะที่สุด แต่ไม่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพเนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อัตราที่เหมาะสมของฟอสฟอรัสอยู่ที่ร้อยละ0.4 ถ้าธาตุอาหารในระบบการหมักไม่เพียงพอก็ส่งผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียไม่สมบูรณ์ (นรารัชต์พร นวลสวรรค์ และวนัสพรรัศม์ สวัสดิ์, 2561)
ดังแสดงรายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.1-2**



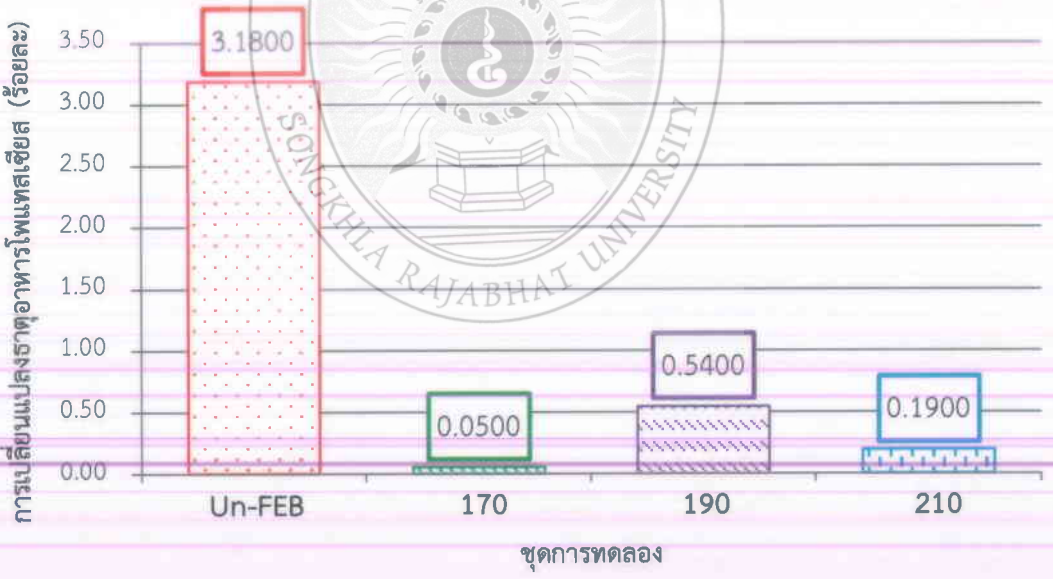
หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน
170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส
190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส
210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.1-2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารฟอสฟอรัสในเส้นใยปาล์ม

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) ในเส้นใยปาล์ม

การศึกษาในเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 3.1800 ในเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.0500, 0.5400 และ 0.1900 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดใน**ภาพที่ 4.1-3** จากการเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติโดยใช้วิธีแบบ t-test Dependent (Paired Samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าโพแทสเซียม (K) เมื่อเปรียบเทียบในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมก่อนการปรับสภาพร้อยละ 3.1800 และหลังปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณโพแทสเซียมลดลงร้อยละ 98.43, 83.02 และ 94.03 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีปริมาณโพแทสเซียมหายไปเยอะที่สุด แต่ไม่มีผลต่อการหมักก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่เป็นพิษถ้ามีมากก็จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ (นรารัชต์พร นวลสวรรค์ และวนัสพรรัศม์ สวัสดี, 2561) ดังแสดงรายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.1-3**



หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.1-3 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารโพแทสเซียมในเส้นใยปาล์ม

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการปรับสภาพสูงขึ้นมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในเส้นใยปาล์มลดลง ซึ่งมีผลให้แบคทีเรียมีสารอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเติมสารอาหารเสริมเพื่อไปช่วยในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพเพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ช่วยให้การย่อยสลายในกระบวนการหมัก เมื่อการสลายสารโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายสภาพเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก โดยแบคทีเรียสร้างกรดโดยกรดที่เกิดขึ้นจะช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบและช่วยส่งผลให้กับกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนได้ (นรารัชต์พร นวลสวรรค์ และวนัสพรรัศม์ สวัสดี, 2561)

(ก) เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

(ข) เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อน
ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

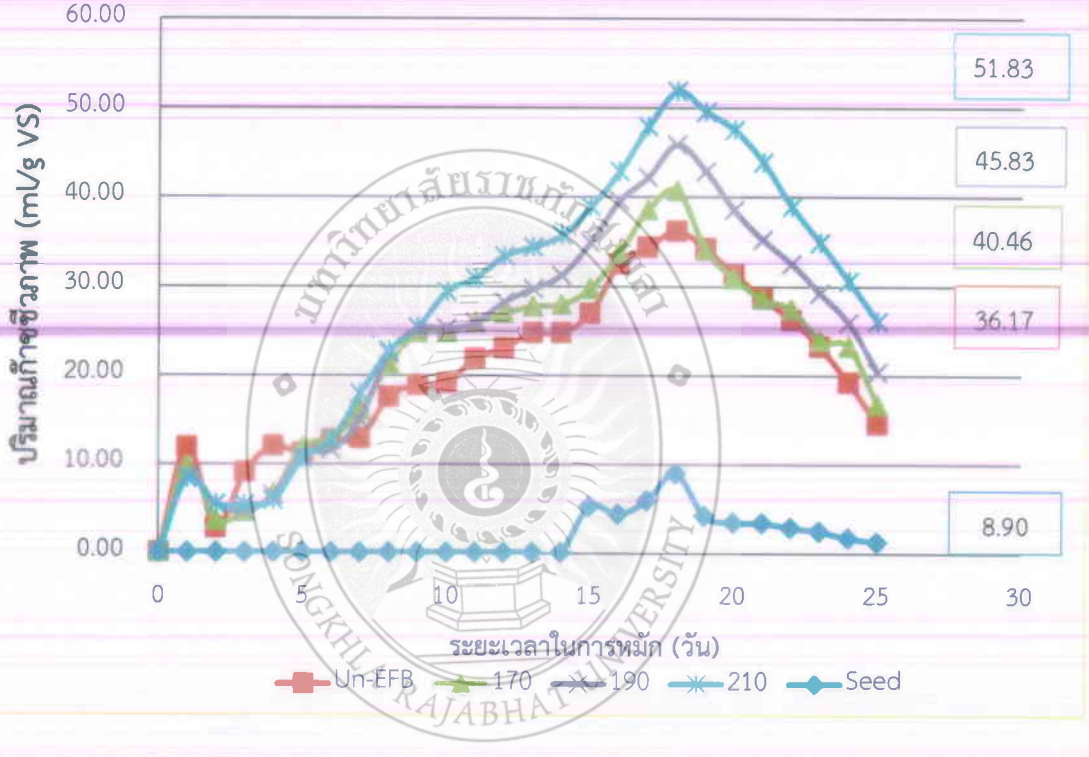
(ค) เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อน
ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.1-4 การปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.2 ผลการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

จากการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่าก๊าซชีวภาพเริ่มเกิดขึ้นในวันที่ 3 ของการหมักโดยจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 18 ของการหมัก ปริมาณก๊าซชีวภาพเริ่มลดลง ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.2-1** ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายของแบคทีเรียเริ่มน้อยลงหรือไม่มีการย่อยสลายของแบคทีเรียแล้วเนื่องมาจากสารอาหารสำหรับการเลี้ยงแบคทีเรียเริ่มลดลงหรือหมดแล้ว



หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

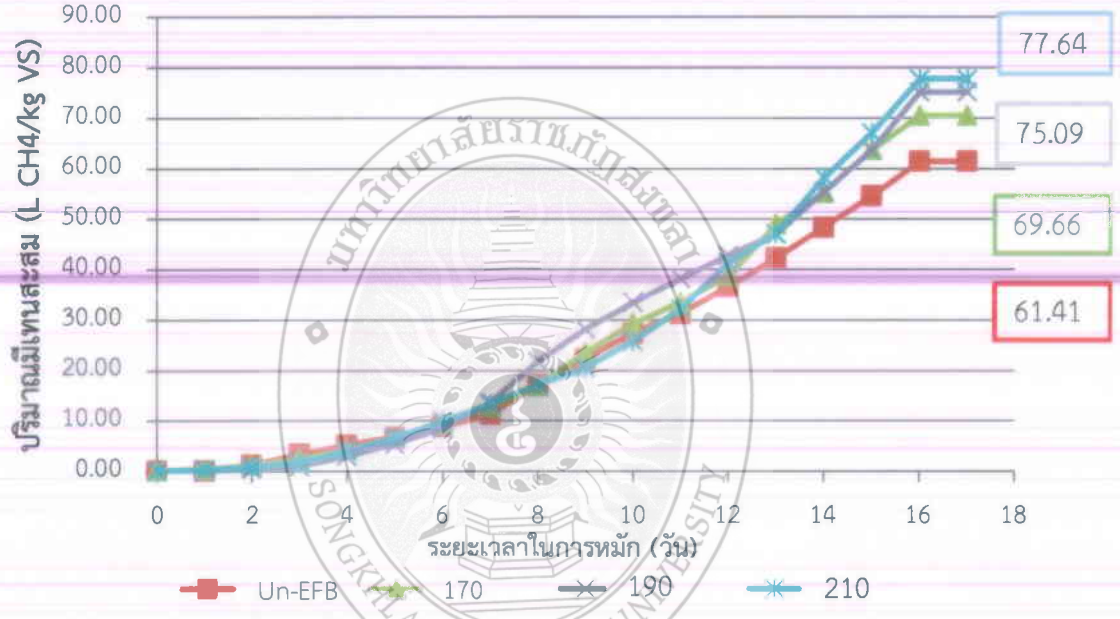
210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

Seed คือ หัวเชื้อจุลินทรีย์

ภาพที่ 4.2-1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

จากการศึกษาปริมาณก๊าซมีเทนสะสม พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมจากการหมักเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเท่ากับ 61.41 L CH_4/kg VS ในขณะที่การหมักโดยการใช้เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่า การหมักโดยใช้เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด โดยคิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 77.64 L CH_4/kg VS รองลงมา ได้แก่ เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 190 และ 210 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 75.09 และ 69.66 L CH_4/kg VS ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.2-2



หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

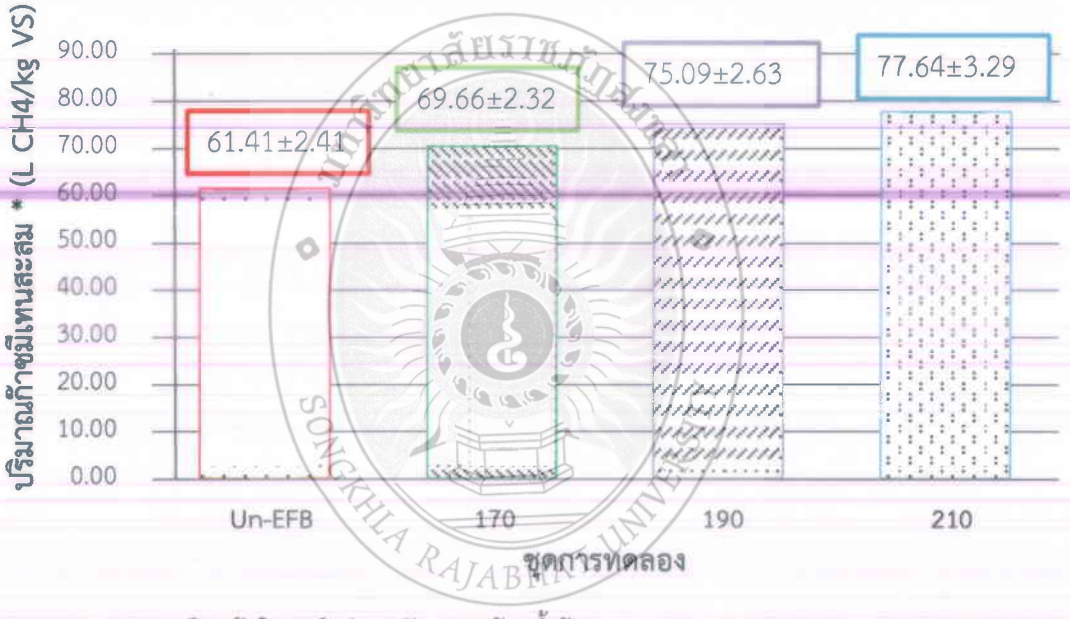
190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.2-2 ปริมาณมีเทนสะสมที่อุณหภูมิต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

จากการเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทน พบว่า เส้นใยปาล์มเมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีศักยภาพทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.13, 1.22 และ1.26 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพดังแสดงใน**ภาพที่4.2-3** และเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วย น้ำร้อนมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 และ 190 องศาเซลเซียส ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีศักยภาพในการผลิตมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



หมายเหตุ Un-EFB คือ เส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

170 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

190 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส

210 คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

* คือ Mean ± SD

ภาพที่ 4.2-3 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่มีความเหมาะสมต่อการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม คือ อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 77.64±3.29 L CH_4/kg VS ปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.26 เท่า หากนำไปปรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน 3 ช่วง คือ 170, 190 และ210องศาเซลเซียส และศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ โดยทำการหมักในระบบหมักไร้อากาศแบบกะ ที่อัตราส่วนของหัวเชื้อกับเส้นใย 3:1 ควบคุมอุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ว่า

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ ผลสรุปพบว่าเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.9999 g TS/ g Fresh ในขณะที่เส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 0.9847, 0.9851 และ 0.9922 g TS/ g fresh ตามลำดับ สำหรับปริมาณของแข็งระเหยง่าย พบว่าเส้นใยปาล์มก่อนปรับสภาพด้วยน้ำร้อนมีปริมาณของแข็งระเหยง่าย 0.9093 g VS/ g TS ในขณะที่เส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งระเหยง่าย 0.9239, 0.9038 และ 0.7874 g VS/ g TSตามลำดับ เมื่อพิจารณาร้อยละของแข็งระเหยหายที่หายไปพบว่าที่อุณหภูมิ 190 และ210 องศาเซลเซียส ของแข็งระเหยง่ายหายไปร้อยละ 0.60 และ 13.40 ตามลำดับ ในขณะที่การปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ของแข็งระเหยง่ายไม่หายไป

การศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน พบว่าการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส มีผลผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 69.66±2.32, 75.09±2.63 และ 77.64±3.29 L CH_4/kg VS ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม มีผลทำให้ผลผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 1.13, 1.22 และ 1.26 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมต่อการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม คือ อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด โดยหากนำไปปรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลส ลิกนิน ในเส้นใยปาล์มระหว่างก่อนหมัก ก๊าซชีวภาพและหลังหมักที่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน

2) ควรมีการศึกษาธาตุอาหารหลังหมัก เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อทางด้านการเกษตร เช่นการทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์ม ปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม* (ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก http://www2dede.go.th/km_ber/Attach/Biogaspresent.pdf?fbclid=IwAR3gukqYW0Vr_H3VPMk50naHolp-tp3AWBoOvd84-fBZJSKZMTEbomcShjI), กระทรวงพลังงาน. วันที่ 5 ธันวาคม 2561.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553). *คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม*.กระทรวงอุตสาหกรรม

กรมวิชาการเกษตร (2553). *องค์ความรู้ด้านการพัฒนาคุณภาพผลผลิตปาล์มน้ำมัน*.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงพลังงาน (2556). *คู่มือไบโอแก๊สเซฟตี้*.กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน (2559). พลังงานทดแทน.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

การเกตุ วัฒนสิทธิ์ (2556). *ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานน้ำมันปาล์มดิบและการหมักร่วมภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง*. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 16 ฉบับที่ 3

ชิตชนก คงแดง (2554). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นรารัชต์พร นวลสวรรค์ และวนัสพรรัศม์ สวัสดี (2561). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 14 ฉบับที่ 1.

นรารัชต์พร นวลสวรรค์และ วนัสพรรัศม์ (2561). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบาบัดน้ำเสีย*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปี ที่ 14 ฉบับที่ 1

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไข่เส้ง (2559). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน*. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

ปฏิรูป ผลจันทร์ และคณะ. (2557). *ผลของชนิดและปริมาณมูลสัตว์ระยะเวลาในการกวนผสมและความเข้มข้นของแข็งต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยะนุช เปียคง(2556). *การศึกษาการผลิตไซสจากทะลายปาล์มเปล่า.* ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ, ปิยะพงษ์ ปานแก้ว (2558). *การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ | Hydrogen sulfide removal from biogas by calcium hydroxide.* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

พรทิพย์ พึ่งม่วง (2556).*ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตกรดแกมมาลิโนเลนิกในมิวคอร์.* วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สำนักงานเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รัชพล พะวงรัตน์. *กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส.* Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University ISSN 2408 – 1248 ปีที่ 2 ฉบับที่ 1

วศนิ ตนัตระกูล. (2555). *อทิธิพลของอุณหภูมิต่อกระบวนการสกัดเส้นใยไผ่แบบHydrothermal treatment process ด้วยวิธีวิเคราะห์โดย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).* กรุงเทพมหานคร:ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพฯ.

วิเชียร สีสุข.(2532). *การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมด้วยเอนไซม์จาก Aspergillus fumigates Fresenius.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภาภรณ์ ณ ถลาง (2555). *การประเมินคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยของเปลือกผลปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.*การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, กรุงเทพมหานคร

สมใจ ศิริโภค. 2550. *การคัดเลือกและการจัดจาแนกชนิดแบคทีเรียแลคติกที่สร้างแบคทีริโอซินได้จากอาหารหมักและการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแบคทีริโอซินที่ผลิตได้.* วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 23 (2): 107-121.

สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน (สวค.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *การผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และ โรงงานอุตสาหกรรม.* กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 8 (2555). *รายงานประจำปี 2555 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.*

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สุเมธ เดชรักษา และคณะ (2556). *ผลของอัตราส่วนการผสมสารตั้งต้นและเชื้อที่มาในชุดร่วมการย่อยอาหารของหญ้าและปุ๋ยคอก*.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557. *การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ : 22 ฉบับที่ : 5 (พิเศษ) เลขหน้า : 641-649

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (2554). Biogas Production System : เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก http://www.erdi.cmu.ac.th/index.php/services/view?pid=1), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วันที่ 10 ธันวาคม 2561.

Kumar S, Singh, S.P., Mishra, I.M. and Adhikari, D.K. 2011. Continuous ethanol production by Kluyveromyces sp. IIPE453 immobilized on bagasse chips in packed bed reactor, Journal of Petroleum Technology and AlternativeFuels, 2(1), 1-6.

Parveen, K., Diane, M. B., Micheal, J. D. & Pieter, S. (2009). *Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production*. Industrial & Engineering Chemical Reserch, 48(8), 3713-3729

Sun, Y. and Cheng, J. 2002. Hydroloysis of lignocellulosic materials for bioethanol production: review. Bioresour. Technol. 83, 1-11.

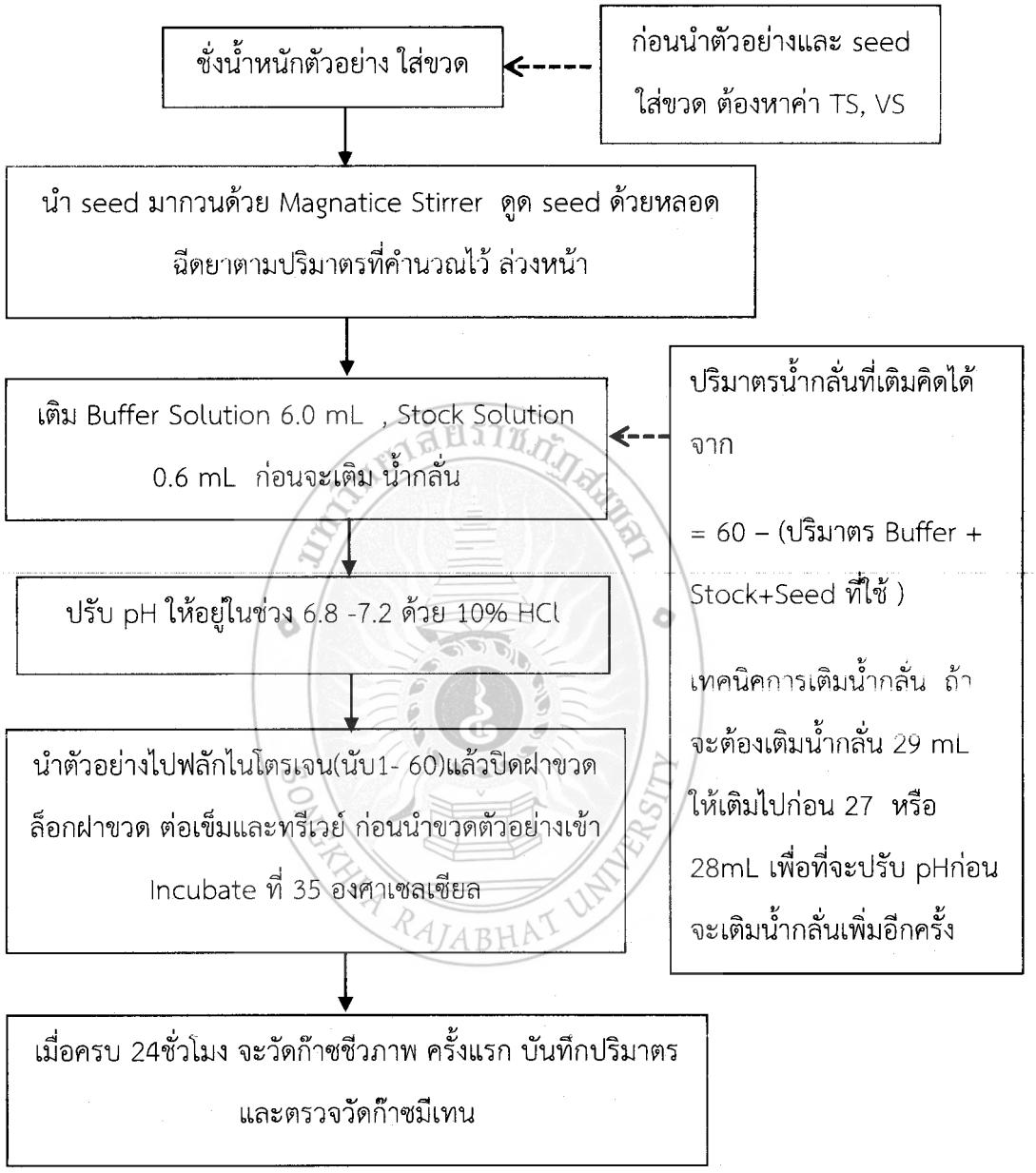
Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F. & Li, Y. (2014). *Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production*. Progress in energy and combustion Science, 42, 35-53.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการและผลการวิเคราะห์

ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ



(ก) ชั่งน้ำหนักวัสดุ

(ข) ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพ ปรับปริมาตร 60 ml

(ค) วัด pH

(ง) ชุดขวดหมักก๊าซชีวภาพ

(จ) เริ่มวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

(ฉ) เก็บก๊าซชีวภาพใส่หลอดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ ผก-1 ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

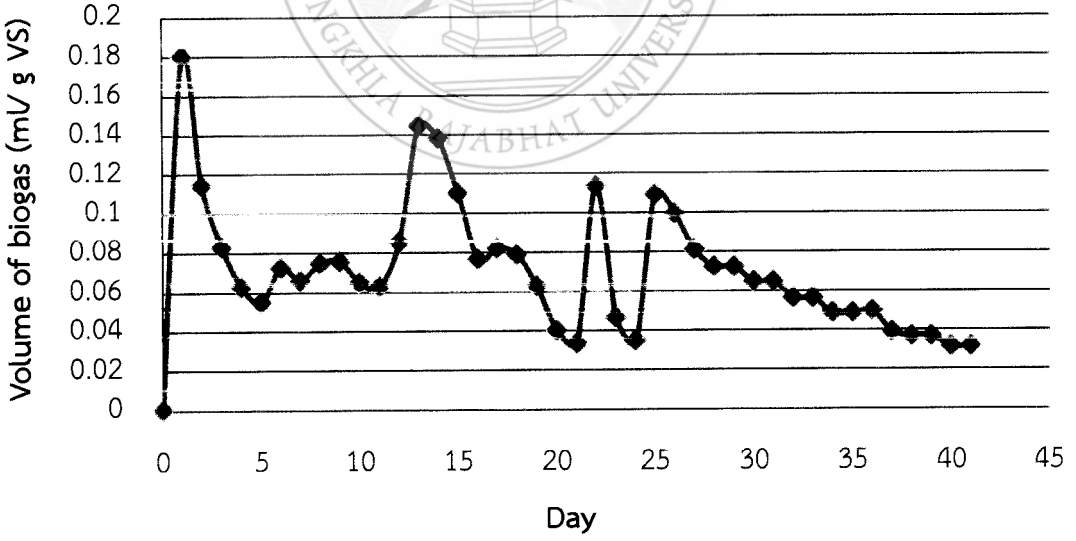
ผลการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 3 ผลการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

Day	volume of biogas (ml)					mean	SD	ml/ g VS
	1	2	3	4	5			
1	5.40	6.00	7.80	8.00	6.20	6.68	1.15	0.18
2	3.80	3.20	5.00	6.00	3.20	4.24	1.23	0.11
3	2.60	2.60	3.20	4.20	2.80	3.08	0.67	0.08
4	2.00	2.00	2.40	2.60	2.60	2.32	0.30	0.06
5	1.60	1.80	2.00	2.40	2.40	2.04	0.36	0.05
6	2.80	2.60	3.00	2.80	2.20	2.68	0.30	0.07
7	2.60	2.20	2.20	2.60	2.60	2.44	0.22	0.07
8	3.00	1.80	2.80	3.00	3.20	2.76	0.55	0.07
9	2.80	1.80	3.80	2.80	2.80	2.80	0.71	0.08
10	2.60	2.00	2.20	2.60	2.60	2.40	0.28	0.06
11	2.20	2.80	2.40	2.20	2.00	2.32	0.30	0.06
12	3.60	2.00	2.60	3.60	4.00	3.16	0.83	0.09
13	5.40	4.80	5.80	5.60	5.20	5.36	0.38	0.14
14	5.00	5.00	5.40	5.40	4.80	5.12	0.27	0.14
15	4.00	3.60	4.20	4.60	4.00	4.08	0.36	0.11
16	3.40	3.40	2.80	3.60	1.00	2.84	1.07	0.08
17	3.00	2.40	3.40	3.00	3.40	3.04	0.41	0.08
18	2.80	2.80	3.00	3.20	2.80	2.92	0.18	0.08
19	2.00	2.00	2.40	2.80	2.40	2.32	0.33	0.06
20	1.60	1.40	1.20	1.40	1.80	1.48	0.23	0.04
21	1.00	1.40	1.00	1.20	1.60	1.24	0.26	0.03
22	4.20	4.00	4.60	4.00	4.20	4.20	0.24	0.11
23	1.80	1.60	1.80	1.40	2.00	1.72	0.23	0.05
24	1.20	1.00	1.20	1.00	2.00	1.28	0.41	0.03
25	3.80	3.80	4.80	3.60	4.20	4.04	0.48	0.11
26	2.80	3.40	4.60	3.40	4.20	3.68	0.72	0.10
27	2.40	3.40	3.40	3.20	2.60	3.00	0.47	0.08
28	2.00	3.00	3.00	3.00	2.40	2.68	0.46	0.07
29	2.00	3.00	3.00	3.00	2.40	2.68	0.46	0.07

ตารางที่ 3 ผลการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ(ต่อ)

Day	volume of biogas (ml)					mean	SD	ml/ g VS
	1	2	3	4	5			
30	1.80	2.80	2.80	2.80	1.80	2.40	0.55	0.06
31	1.80	2.80	2.80	2.80	1.80	2.40	0.55	0.06
32	1.60	2.40	2.40	2.40	1.60	2.08	0.44	0.06
33	1.60	2.40	2.40	2.40	1.60	2.08	0.44	0.06
34	1.40	2.00	2.00	2.20	1.40	1.80	0.37	0.05
35	1.40	2.00	2.00	2.20	1.40	1.80	0.37	0.05
36	1.00	2.60	2.60	1.80	1.20	1.84	0.75	0.05
37	1.00	1.60	1.60	1.80	1.20	1.44	0.33	0.04
38	1.40	1.20	1.20	1.40	1.60	1.36	0.17	0.04
39	1.40	1.20	1.20	1.40	1.60	1.36	0.17	0.04
40	1.20	1.00	1.00	1.20	1.40	1.16	0.17	0.03
41	1.20	1.00	1.00	1.20	1.40	1.16	0.17	0.03



ภาพที่1 ผลการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่างๆ

Day	Volume of Biogas (L CH4/kg VS)			
	Un-EFB	170 °C	190 °C	210 °C
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.09	0.27	0.16	0.31
2	1.20	1.07	0.40	0.76
3	3.32	2.30	0.97	1.61
4	5.10	4.12	2.93	3.94
5	6.69	6.17	5.30	6.60
6	8.83	8.62	8.49	9.85
7	11.23	12.00	13.58	13.30
8	17.21	16.72	21.74	17.15
9	22.31	22.35	28.07	20.49
10	27.27	27.96	33.44	25.73
11	31.22	32.13	38.12	32.17
12	36.49	36.79	42.78	41.34
13	42.20	47.85	46.97	47.08
14	48.35	54.14	55.42	58.19
15	54.48	63.27	63.59	67.01
16	61.41	69.66	75.09	77.64
17	61.41	69.66	75.09	77.64

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สถิติแบบ t-test Dependent

(Paired Samples t-test)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัตถุดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.999900	3	.0000000	.0000000
	อุณหภูมิ170	.984667	3	.0072590	.0041910
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.999900	3	.0000000	.0000000
	อุณหภูมิ190	.985100	3	.0042930	.0024786
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.999900	3	.0000000	.0000000
	อุณหภูมิ210	.992167	3	.0038889	.0022452
Pair 4	อุณหภูมิ170	.984667	3	.0072590	.0041910
	อุณหภูมิ190	.985100	3	.0042930	.0024786
Pair 5	อุณหภูมิ170	.984667	3	.0072590	.0041910
	อุณหภูมิ210	.992167	3	.0038889	.0022452
Pair 6	อุณหภูมิ190	.985100	3	.0042930	.0024786
	อุณหภูมิ210	.992167	3	.0038889	.0022452

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ170	3	.	.
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ190	3	.	.
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ210	3	.	.
Pair 4	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ190	3	-.303	.804
Pair 5	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ210	3	-.878	.318
Pair 6	อุณหภูมิ190 & อุณหภูมิ210	3	.722	.486

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	.01523	.00725	.00419	-.00280	.03327	3.64	2	.068
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	.01480	.00429	.00248	.00414	.02546	5.97	2	.027
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	.00773	.00389	.00225	-.00193	.01739	3.44	2	.075
Pair 4 อุณหภูมิ170 อุณหภูมิ190	-.00043	.00949	.00548	-.02400	.02313	-.08	2	.944
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	-.00750	.01083	.00625	-.03441	.01941	-1.20	2	.353
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	-.00707	.00307	.00177	-.01470	.00057	-3.98	2	.058

ปริมาณของแข็งระเหยง่ายของวัตถุดิบ

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.909267	3	.0001155	.0000667
	อุณหภูมิ170	.923867	3	.0018339	.0010588
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.909267	3	.0001155	.0000667
	อุณหภูมิ190	.903767	3	.0438254	.0253026
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.909267	3	.0001155	.0000667
	อุณหภูมิ210	.787400	3	.0318711	.0184008
Pair 4	อุณหภูมิ170	.923867	3	.0018339	.0010588
	อุณหภูมิ190	.903767	3	.0438254	.0253026
Pair 5	อุณหภูมิ170	.923867	3	.0018339	.0010588
	อุณหภูมิ210	.787400	3	.0318711	.0184008
Pair 6	อุณหภูมิ190	.903767	3	.0438254	.0253026
	อุณหภูมิ210	.787400	3	.0318711	.0184008

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ170	3	.299	.807
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ190	3	.414	.729
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ210	3	-.226	.855
Pair 4	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ190	3	.992	.078
Pair 5	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ210	3	.862	.338
Pair 6	อุณหภูมิ190 & อุณหภูมิ210	3	.794	.416

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	-.01460	.00180	.00104	-.01907	-.01012	-14	2	.005
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	.00550	.04378	.02527	-.103250	.11425	.21	2	.848
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	.12187	.03190	.01842	.04263	.20110	6.62	2	.022
Pair 4 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ190	.02010	.04201	.02425	.084250	.12445	.83	2	.494
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	.13647	.03030	.01750	.06119	.21180	7.8	2	.016
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	.11637	.02682	.01548	.04974	.18299	7.52	2	.017

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร SAKONNAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

ปริมาณไนโตรเจน

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.349800	3	.2522224	.1456206
	อุณหภูมิ170	.720533	3	.0140930	.0081366
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.349800	3	.2522224	.1456206
	อุณหภูมิ190	.742933	3	.0276241	.0159488
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	.349800	3	.2522224	.1456206
	อุณหภูมิ210	.759733	3	.0258653	.0149333
Pair 4	อุณหภูมิ170	.720533	3	.0140930	.0081366
	อุณหภูมิ190	.742933	3	.0276241	.0159488
Pair 5	อุณหภูมิ170	.720533	3	.0140930	.0081366
	อุณหภูมิ210	.759733	3	.0258653	.0149333
Pair 6	อุณหภูมิ190	.742933	3	.0276241	.0159488
	อุณหภูมิ210	.759733	3	.0258653	.0149333

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ170	3	.626	.569
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ190	3	.361	.765
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ210	3	.968	.163
Pair 4	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ190	3	.953	.196
Pair 5	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ210	3	.803	.407
Pair 6	อุณหภูมิ190 & อุณหภูมิ210	3	.585	.602

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	-.37073	.24364	.14067	-.97597	.23451	-2.64	2	.119
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	-.39313	.24360	.14064	-.99828	.21201	-2.80	2	.108
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	-.40993	.22729	.13126	-.97455	.15468	-3.12	2	.089
Pair 4 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ190	-.02240	.01482	.00855	-.05921	.01440	-2.62	2	.120
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	-.03920	.01680	.00970	-.08094	.00253	-4.04	2	.056
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	-.01680	.02441	.01409	-.07744	.04384	-1.19	2	.355

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ปริมาณฟอสฟอรัส

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	5.226967	3	.6902887	.3985383
	อุณหภูมิ170	1.464168	3	.4218426	.2435509
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	5.226967	3	.6902887	.3985383
	อุณหภูมิ190	1.014950	3	.6685411	.3859824
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	5.226967	3	.6902887	.3985383
	อุณหภูมิ210	1.408016	3	1.3064434	.7542754
Pair 4	อุณหภูมิ170	1.464168	3	.4218426	.2435509
	อุณหภูมิ190	1.014950	3	.6685411	.3859824
Pair 5	อุณหภูมิ170	1.464168	3	.4218426	.2435509
	อุณหภูมิ210	1.408016	3	1.3064434	.7542754
Pair 6	อุณหภูมิ190	1.014950	3	.6685411	.3859824
	อุณหภูมิ210	1.408016	3	1.3064434	.7542754

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ170	3	-.991	.084
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ190	3	-.371	.758
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ210	3	.974	.145
Pair 4	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ190	3	.245	.842
Pair 5	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ210	3	-.996	.060
Pair 6	อุณหภูมิ190 & อุณหภูมิ210	3	-.152	.903

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				95% Confidence Interval of the Difference				
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	3.7628	1.10983	.64076	1.0058	6.5197	5.87	2	.028
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	4.2120	1.12517	.64962	1.4169	7.0071	6.48	2	.023
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	3.8189	.65273	.37686	2.1975	5.4404	10.13	2	.010
Pair 4 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ190	.4492	69754	40272	-1.2836	2.1820	1.12	2	.381
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	.0561	1.7268	.99700	-4.2335	4.3459	.056	2	.960
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	-.3931	1.5556	.89811	-4.2573	3.4712	-.44	2	.704

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ปริมาณโพแทสเซียม

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ไม่ปรับสภาพ	3.18	0.0306	0.0176
อุณหภูมิที่170	0.05	0.0100	0.0058
อุณหภูมิที่190	0.54	0.0153	0.0089
อุณหภูมิที่210	0.19	0.0252	0.0145

	Correlation	Sig.
ไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิที่170	-0.655	0.546
ไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิที่190	0.929	0.242
ไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิที่210	0.954	0.194
อุณหภูมิที่210 & อุณหภูมิที่190	0.997	0.048
อุณหภูมิที่210 & อุณหภูมิที่170	-0.397	0.740
อุณหภูมิที่190 & อุณหภูมิที่170	-0.327	0.788

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				95% Confidence Interval of the Difference				
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	3.1267	.0379	.0218	3.0326	3.2207	143	2	.000
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	2.6400	.0173	.0100	2.5969	2.6830	264	2	.000
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	2.9900	.01000	.0058	2.9651	3.014	517	2	.000
Pair 4 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ190	-.3500	.0100	00578	-.3748	-.3252	-60	2	.000
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	.1367	.0306	.0176	.0607	.21256	7.75	2	.016
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	.4867	.0208	.0120	.4349	.53838	40.50	2	.001

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	24.38	18	21.778	5.133
	อุณหภูมิ170	27.0328	18	25.28014	5.95859
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	24.38	18	21.778	5.133
	อุณหภูมิ190	28.4522	18	26.54972	6.25783
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ	24.38	18	21.778	5.133
	อุณหภูมิ210	27.8228	18	27.30128	6.43497
Pair 4	อุณหภูมิ170	27.0328	18	25.28014	5.95859
	อุณหภูมิ190	28.4522	18	26.54972	6.25783
Pair 5	อุณหภูมิ170	27.0328	18	25.28014	5.95859
	อุณหภูมิ210	27.8228	18	27.30128	6.43497
Pair 6	อุณหภูมิ190	28.4522	18	26.54972	6.25783
	อุณหภูมิ210	27.8228	18	27.30128	6.43497

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ170	18	.999	.000
Pair 2	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ190	18	.998	.000
Pair 3	เส้นใยไม่ปรับสภาพ & อุณหภูมิ210	18	.994	.000
Pair 4	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ190	18	.996	.000
Pair 5	อุณหภูมิ170 & อุณหภูมิ210	18	.997	.000
Pair 6	อุณหภูมิ190 & อุณหภูมิ210	18	.992	.000

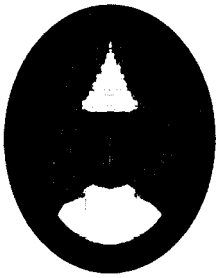
Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				95% Confidence Interval of the Difference				
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ170	-2.6544	3.6811	.8676	-4.4850	-.8238	-3.059	17	.007
Pair 2 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ190	-4.0739	5.0215	1.1835	-6.5710	-1.576	-3.442	17	.003
Pair 3 เส้นใยไม่ปรับสภาพ - อุณหภูมิ210	-3.4444	6.0917	1.4358	-6.4738	-.41507	-2.399	17	.028
Pair 4 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ190	1.4194	2.6498	.6245	.2.7372	.10169	2.273	17	.036
Pair 5 อุณหภูมิ170 - อุณหภูมิ210	-.7900	2.9691	.6998	-2.2665	.68651	-1.129	17	.275
Pair 6 อุณหภูมิ190 - อุณหภูมิ210	.6294	3.4801	.8202	-1.1012	2.36010	.767	17	.453

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

แบบเสนอโครงการวิจัย



โครงการวิจัยเฉพาะทางสิ่งแวดล้อม

1. **ชื่อโครงการ** การเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

2. **ชื่อผู้วิจัย** นางสาวกมลทรรศน์ สิบมอง รหัสนักศึกษา 574232001
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
นางสาวอัสวาณี เหมหวัง รหัสนักศึกษา 574232037
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.บุญญา ชาญนอก
สถาบันวิจัยระบบพลังงานสำนักวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ดังนั้นจึงมีการให้ความสำคัญในการจัดการทางด้านพลังงานเพื่อให้มีพลังงานใช้อย่างเพียงพอ เมื่อความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่แหล่งพลังงานกลับลดลงและมีปริมาณจำกัด พลังงานจึงมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต และประสบปัญหาวิกฤติการณ์พลังงาน เมื่อราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกได้เพิ่มสูงขึ้นทำให้กลุ่มประเทศต่างๆ ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงานของไทยได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 โดยมีเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพประมาณ 600 เมกะวัตต์ (กระทรวงพลังงาน, 2559) ก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานทางเลือกทดแทนที่สำคัญแหล่งหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่ไม่อาศัยออกซิเจน โดยมีกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แอซิโดเอเนซิส (acidogenesis) อะซิโตเจเนซิส (acetogenesis) และเมทาโนเจเนซิส (methanogenesis) ก๊าซชีวภาพจะผลิต ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพอาจเป็นแหล่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้วยังได้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ช่วยลดการเกิดสภาวะโลกร้อนลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นอุตสาหกรรมชนิดเดียวของประเทศไทยที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ จึงมีแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญของประเทศอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสตูล เป็นต้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 8, 2555) พื้นที่ภาคใต้มีอุตสาหกรรมอยู่จำนวนมากโดยโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ ผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและมีรายได้เพิ่มจากการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อสกัดน้ำมันปาล์มแล้วก็จะมีส่วนที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มออกมามาก และมีวัสดุเศษเหลือใช้ที่เป็นมวลชีวภาพประเภทลิกโนเซลลูโลส อาทิ ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20, 12 และ 6 ตามลำดับ จากการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ร้อยละ 36.7 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 35.8 และลิกนิน ร้อยละ 18.6 ซึ่งอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีมวลชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึงร้อยละ 80 (การเกตุ วัฒนสิทธิ์, 2556) การที่จะนำเส้นใยปาล์มมาผลิตก๊าซชีวภาพมันจะมีปัญหาในการย่อย เนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบใน

ปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืชในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนที่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์ ทำให้เอนไซน์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้ กระบวนการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการปรับสภาพ เส้นใยปาล์มก่อนที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ (ปิยะนุช เปียคง, 2557)

การปรับสภาพด้วยวิธีการทางกายภาพ (physical pretreatment) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้โดยการนำชีวมวลที่ผ่านการหั่นและบดแล้วจะถูกปรับสภาพต่อด้วยน้ำร้อนที่ควบคุมด้วยความดันที่สูง หลังจากนั้นจึงลดความดันลง โดยส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิที่ 120-260 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจึงลดความดันลงให้เหลือเท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและการเปลี่ยนรูปลิกนิน เนื่องจากอุณหภูมิสูงและเป็นการเพิ่มศักยภาพในการย่อยเซลลูโลสด้วย ร้อยละ 70 เป็นที่ทราบกันดีว่าวิธีการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนนั้นจะมีผลโดยตรงกับวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เป็นไม้เนื้อแข็ง และวัตถุดิบพวกของเหลือใช้ทางการเกษตร แต่จะมีผลน้อยมากต่อวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่เป็นไม้เนื้ออ่อน วัสดุที่ผ่านกระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการไฮโดรไลซิส แต่ข้อจำกัดของกระบวนการนี้ก็คือในการทำลายแยกส่วนประกอบของลิกนินมักเกิดไม่สมบูรณ์ และบางครั้งเกิดเป็นกลุ่มของสารประกอบที่ไปตัวยับยั้งการเกิดจุลชีพ ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนโดยการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพวัตถุดิบ ก่อนนำไปหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน โดยมีอัตราส่วนวัตถุดิบในการผลิตเหมาะสมมีผลต่อปริมาณก๊าซชีวภาพและผลที่ได้ของก๊าซมีเทน โดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

5. วัตถุประสงค์

5.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

5.2 เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

6. สมมติฐาน

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม ส่งผลให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น

7. ตัวแปร

7.1	**ตัวแปรต้น**	อุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม
7.2	**ตัวแปรตาม**	ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ
7.3	**ตัวแปรควบคุม**	อัตราส่วนของวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพและวิธีการหมักก๊าซชีวภาพ

8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

8.1. ทำให้ทราบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีต่อกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับเส้นใยปาล์มและการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

8.2. ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนเป็นการลดปริมาณของเสียจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

9. ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เส้นใยปาล์มจากกระบวนการบีบน้ำมัน ของโรงงานปาล์มไทยพัฒนา จำกัด นำมาทดสอบปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส แล้วนำไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ในอัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ 3:1 และควบคุมอุณหภูมิในการหมัก 35±1 องศาเซลเซียส ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพหลังการหมักครบ 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี (GC)

9.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

เส้นใยปาล์มจากกระบวนการบีบน้ำมัน

9.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

- พื้นที่เก็บตัวอย่างวัสดุหมักและลักษณะของวัสดุ

1) เส้นใยปาล์ม: เส้นใยปาล์มได้มาจากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์ม จากโรงงานปาล์มน้ำมันบริษัท ปาล์มไทยพัฒนาจำกัด ต.อุไดเจริญ อ.ควนกาหลง จ.สตูล (**ภาพที่ 9-1**)

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์: หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้มาจากบ่อพักน้ำเสียที่โดยถ่ายออกจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานปาล์มน้ำมัน จาก บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด (**ภาพที่ 9-2**)

(ก) ผลปาล์มสด

(ข) เส้นใยปาล์มที่เหลือจากโรงงานปาล์ม

(ค) เส้นใยปาล์มขนาด 1-2

ภาพที่ 9-1 ลักษณะของเส้นใยปาล์ม

(ก) ระบบก๊าซชีวภาพของโรงงานปาล์มน้ำมัน

(ข) บ่อพักตะกอน

(ค) หัวเชื้อจุลินทรีย์

ภาพที่ 9-2 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

3) สถานที่ทำการทดลอง

3.1) ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3.2) อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์สิรินธร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

10. นิยามศัพท์เฉพาะ

10.1 ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยน้ำร้อนโดยย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศและใช้หัวเชื้อในการหมักก๊าซชีวภาพ

10.2 การปรับสภาพด้วยน้ำร้อน คือ เป็นกระบวนการนำชีวมวลที่มีขนาด 1-2 มิลลิเมตร มาปรับสภาพต่อด้วยน้ำร้อนที่ควบคุมด้วยความดันที่สูงโดยใช้เครื่อง hydrothermal treatment โดยใช้อุณหภูมิที่ 170, 190 และ 210 องศาเซลเซียส

10.3 การหมักแบบกะ (batch) คือ การหมักที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวตลอดระยะเวลาในการหมักแล้วปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโต

10.4 เส้นใยปาล์ม (palm fiber)คือ ส่วนที่ได้จากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมัน ส่วนของเส้นใยปาล์มที่ใช้จะเป็นส่วนที่มีสีน้ำตาล

10.5 สารอาหารเสริม (nutrient solution) คือ สารอาหารที่ใช้เติมลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ช่วยให้การย่อยสลายในกระบวนการหมัก

10.6 Inoculum to Substrate Ratio (ISR) คือ อัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพในอัตราส่วน 3:1

11. ตรวจสอบเอกสาร

11.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (anaerobic) ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซขึ้นขณะเกิดการย่อยสลายประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เหลือจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) (**ตารางที่ 2.1-1**) ก๊าซมีเทนมีมากที่สุดมีคุณสมบัติติดไฟได้และไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เมื่อเผาไหม้รวมกับอากาศจะได้เปลวไฟสีน้ำเงิน

ตารางที่ 2.1-1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ชนิด	ปริมาณ (ร้อยละ)
มีเทน	50-70
คาร์บอนไดออกไซด์	30-40
ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตเจน ไฮโดรเจนซัลไฟต์ และไอน้ำ	เล็กน้อย

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2556)

ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น การย่อยสลายอินทรียวัตถุสามารถให้ก๊าซชีวภาพ แต่จะเกิดก๊าซมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรียวัตถุที่ย่อยสลาย เช่น พืชสดจะเกิดก๊าซยากกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายมาบ้างแล้วจากสัตว์ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น

1. ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นในกระบวนการดังกล่าวจึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่เหมาะสมหลายประการดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

1. อุณหภูมิ (temperature) โดยทั่วไปช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีอยู่ 3 ช่วง คือกลุ่มแบคทีเรีย Phychrophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ (5-15 องศาเซลเซียส) กลุ่มแบคทีเรีย Mesophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (35-37 องศาเซลเซียส) และกลุ่มแบคทีเรีย Thermophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง (50-55 องศาเซลเซียส) การย่อยสลายสารอินทรีย์ และการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นในอัตราสูงมากในช่วงอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ถ้าต่ำกว่า 5 จะมีอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแต่แบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์สามารถทนต่อสภาพเป็นกรดได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย

3. อัลคาลินิตี้ (alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ถ้าค่าอัลคาลินิตี้ต่ำ จะมีแนวโน้มเป็นกรดได้ง่าย ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อระบบหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

4. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile acid) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนแต่ถ้าใช้ไม่ทันจะเกิดการสะสมของกรด ส่งผลให้ค่า pH ลดลง ทำให้เกิดอันตรายต่อแบคทีเรีย โดยทั่วไปปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อาจทนได้ถึง 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5. สารอาหาร (nutrients) ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในระบบ เพื่อให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ และผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีควรมีอัตราส่วน COD : N : P เท่ากับ 100 : 2.2 : 0.4 หรือ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2

6. สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and toxic substances) การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอมโมเนียซัลไฟด์ และโลหะหนักบางตัว เช่น โซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำให้การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้

7. การกวน (mixing) การกวนผสมในถังหมักมีความสำคัญ เพราะจะทำให้แบคทีเรียมีโอกาสพบอาหารได้ทั่วถึง และสารอาหารต่าง ๆ ที่แบคทีเรีย ขับออกจะเกิดการกระจายได้ดีขึ้น

2. ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

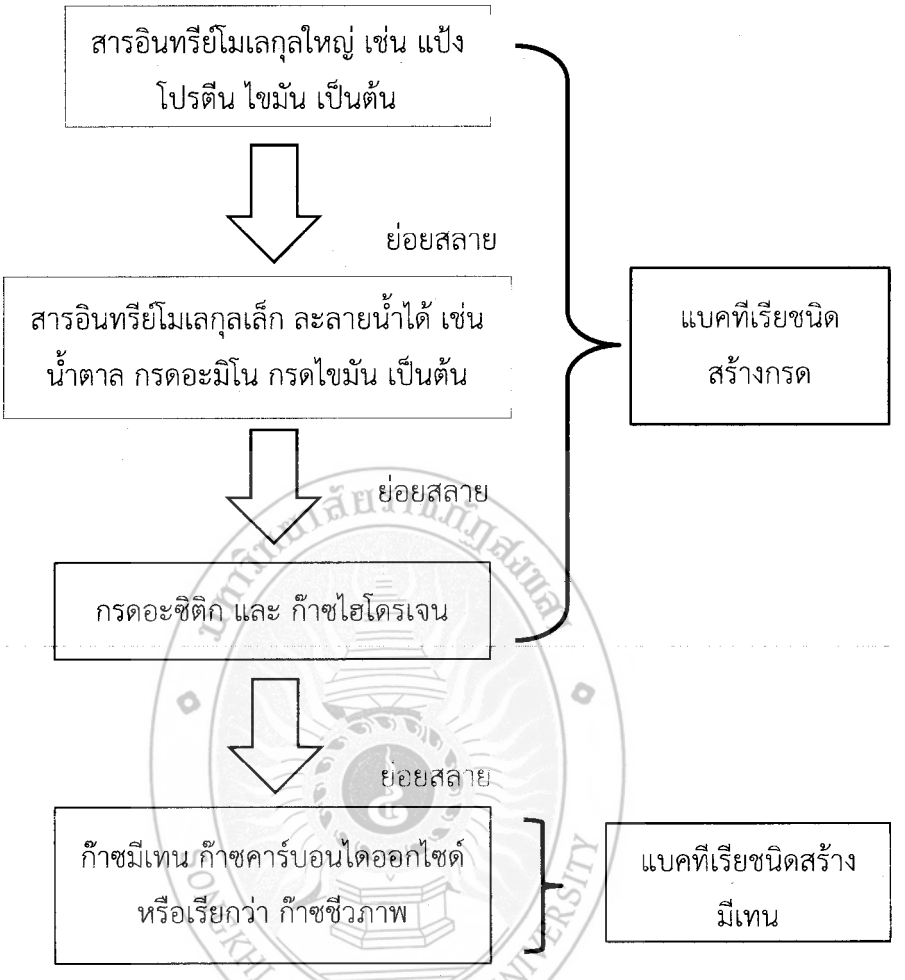
การเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์หลายชนิด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ การย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการหมุนเวียนคาร์บอนและธาตุอื่น ๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาด ปลอดภัย มีการเจริญเติบโตของเซลล์น้อย ทำให้ลดการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพมีดังนี้ (**ภาพที่ 2-1**)

ขั้นที่ 1 การสลายสารโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายสภาพเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์

ขั้นตอนที่ 2 และ 3 การสร้างกรด (acidogenesis and acetogenesis) สารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (aciticv acid) กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) กรดวาเลอริก (valeric acid) และกรดแลคติก (lactic acid) โดยแบคทีเรียสร้างกรดโดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้

ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิดซึ่งบางชนิดแบคทีเรียสร้างมีเทน ไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้โดยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ ในระบบธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (acetogenesis) ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ

ขั้นที่ 4 การผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดโดยแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (methane former bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนโดยคิดเป็นร้อยละ70 ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่เป็นตัวสร้าง ก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างก๊าซมีเทน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซีสและการสร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน (พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ, 2558) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำ ผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมกันเรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ” ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ แสดงใน**ภาพที่ 2-1**



ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.1 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (มีเทน 60%) สามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และไฟฟ้า 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งโดยทั่วไปก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1) ประโยชน์ด้านพลังงาน เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดี และยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในรูปต่าง ๆ ได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง เช่น หม้อต้มไอน้ำ (steam boiler) เป็นต้น เผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น เผาเพื่อให้ความร้อน และใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2556)

ตารางที่ 2.2-1 อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของพลังงาน	**อัตราการทดแทนการใช้พลังงานต่าง ๆ ของก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. (ที่มีก๊าซมีเทน 60%) จะสามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ดังนี้**
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ฟืนไม้	1.50 กิโลกรัม
ผลิตกระแสไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ที่ผลิตไฟฟ้า)	1.2-2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2556)

2) ประโยชน์ด้านการเกษตร สำหรับเกษตรกรและฟาร์มทั้งหลาย สามารถใช้กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้เกิดประโยชน์ 2 ทาง ได้แก่ การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน ทั้งในปุ๋ยแห้งและปุ๋ยน้ำได้เป็นอย่างดี และการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลง (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2554)

3) การลดกลิ่นจากของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำเสียเหล่านั้นเป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่ขยายเชื้อโรคน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว จะสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ และจะถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำภายนอกโดยไม่มีปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอีกต่อไป การแพร่กระจายของก๊าซมีเทนลดลงช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน (กระทรวงพลังงาน, 2556)

2.2 เทคโนโลยีการหมักร่วม

การหมักร่วม (Co-Digestion) เป็นกระบวนการหมักร่วมกันระหว่างสองวัตถุดิบหรือมากกว่า กระบวนการหมักแบบไร้อากาศในอดีตจะใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียวในการหมัก ทำให้ได้ผลของมีเทนน้อย ในปัจจุบันได้มีการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาหมักร่วมกัน หลักเกณฑ์พื้นฐานสำหรับการเลือกวัตถุดิบนั้นจะต้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรอง วัตถุดิบหลักส่วนใหญ่เป็นพวกมูลสัตว์และกากตะกอน (Manure, Sewage Sludge) และวัตถุดิบรอง เป็นพวกที่มีเส้นใยในปริมาณสูง เนื่องจากเส้นใยจะมีสารประกอบพวกเซลลูโลส ในปริมาณที่มากส่งผลให้การเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นโดยการหมักร่วมช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และช่วยเพิ่มค่า C/N Ratio ให้สูงขึ้นกว่าการหมักด้วยวัตถุดิบเพียงชนิดเดียว โดยค่า C/N Ratio มีส่วนช่วยให้ยับยั้งการเปลี่ยนไนโตรเจนส่วนเกินไปเป็นแอมโมเนียอันเป็นตัวยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไปค่า C/N Ratio ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศอยู่ช่วง 8-23 การหมักร่วมนอกจากช่วยเพิ่มผลผลิตของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ยังมีข้อดีและข้อจำกัดบางประการ (**ตารางที่ 2.3-1**)

ตารางที่ 2.2-1 ข้อดีและข้อจำกัดของการหมักร่วมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ข้อดี	ข้อจำกัด
ช่วยปรับปรุงความสมดุลของสารอาหารในการหมัก	เป็นการเพิ่มค่า COD ที่ปล่อยออกมา
ช่วยให้วัตถุดิบเกิดความเข้ากัน	ขึ้นอยู่กับพื้นที่และปริมาณของชีวมวลที่ใช้
ช่วยเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ	เป็นการเพิ่มกระบวนการผลิต
ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย	
ช่วยเพิ่มปริมาณปุ๋ยที่ได้เป็นการนำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์	

ที่มา : ชิตชนก คงแดง (2554)

2.3 วิธีการหมักแบบกะ (Batch Fermentation)

วิธีการหมัก (fermentation) ในทางชีวเคมี หมายถึง การสร้างพลังงานจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์เนื่องจากเอนไซม์แบบไม่ใช้ออกซิเจน การหมักแบ่งตามลักษณะของกระบวนการที่ใช้ได้เป็น 3 ชนิดคือ การหมักแบบกะ หรือแบบแบตช์ (batch fermentation), การหมักแบบต่อเนื่อง (continuous fermentation) และการหมักแบบกึ่งกะ (fed-batch fermentation) และไคเนติกส์ของกระบวนการหมักแต่ละชนิดนี้ก็จะแตกต่างกันไปโดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการศึกษาไคเนติกส์ของการหมัก (fermentation kinetic) เป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เราทราบถึงธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก (พรทิพย์ พึ่งม่วง, 2556) กระบวนการหมักแบบกะหรือแบบแบตช์ (batch fermentation)เป็นการหมักที่มีการเติมสารอาหารลงไปครั้งเดียว การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น (สารอินทรีย์) การเกิดผลผลิต (ก๊าซชีวภาพ) การเปลี่ยนแปลงของ pH และอุณหภูมิโดยบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงเป็นตัวเลขอย่างแน่ชัด การหมักแบบกะเป็นระบบการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบปิดที่มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด แล้วปล่อยให้ระบบเกิดการย่อยสลายไปจนถึงระยะเวลาที่ต้องการหรือจนหยุดกระบวนการแล้วจึงถ่ายสารออก (สมใจ ศิริโภค, 2547) เมื่อเริ่มระบบหมักแบบแบทช์ ช่วงแรกเป็นระยะที่จุลินทรีย์กำลังปรับตัวเซลล์จะยังไม่มีการเพิ่มจำนวน หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงสุดและคงที่ แต่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกจำกัดด้วยสารอาหาร เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการ

2.4 วัสดุที่ใช้ในการหมัก

อินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้ทุกชนิดสามารถใช้เป็นวัสดุหมักก๊าซชีวภาพ แต่วัสดุบางชนิดจะมีความเหมาะสมมากกว่าวัสดุบางชนิดด้วยเหตุผลทางต้นทุนและเทคนิคไม่ควรใช้วัสดุที่ต้องซื้อหรือมีราคาแพง เพราะจะทำให้ก๊าซชีวภาพมีต้นทุนสูงไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งของการผลิตก๊าซชีวภาพคือการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือนและชุมชนที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เปลี่ยนขยะหรือของเหลือทิ้งเป็นพลังงานที่มีค่า

2.5.1 เส้นใยปาล์ม (palm pericarp fiber) เป็นส่วนที่เหลือหลังจากกระบวนการผลิตของโรงงาน ได้จากส่วนเปลือกของผลปาล์ม มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว ทน อากาศไหลเวียนผ่านได้ดี จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตที่นอนและสามารถเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนได้ด้วย มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 19 ของทะลายปาล์มสด มีความชื้นประมาณร้อยละ 38.50 แต่อย่างไรก็ตามก็ยังก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมจาก

การศึกษาเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบของชีวมวลจากส่วนต่างๆ พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีมวลชีวภาพที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึงร้อยละ 80 (วิภาภรณ์ ณ ถลาง, 2555) และมีองค์ประกอบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ (**ตารางที่ 2.5-1**)

ตารางที่ 2.5-1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	36.7
เฮมิเซลลูโลส	35.8
ลิกนิน	18.6

ที่มา : การเกตุ วัฒนสิทธิ์ (2556)

2.5.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว โดยความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกัน และมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือเป็นกากตะกอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็จะไม่มีการเปลี่ยนสภาพ หลังจากที่ออกจากระบบแล้ว เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพต้องประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนบำบัดต่อเนื่อง เพื่อให้น้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

หัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มาที่มาจากบ่อล้น (expansion chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับตะกอนน้ำเสียที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมัก โดยการทำงานเป็นระบบไดนามิกเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันตะกอนน้ำเสียที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักอีกครั้ง เพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ มีค่า BOD อยู่ที่ 10,000-25,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน จากบริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด

2.5 กระบวนการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินซึ่งมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินจึงเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่ม ขนาดรูพรุนของตัววัตถุดิบและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (cellulose crystallinity) ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงวัตถุดิบได้ง่ายขึ้นกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

1) การปรับสภาพด้วยวิธีการทางกายภาพ (physical pretreatment) การใช้เครื่องมือเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและลดขนาดอนุภาคของลิกโนเซลลูโลสนอกจากนี้ยังเป็นการลดผลึกของเซลลูโลสโดยมีวิธีดังต่อไปนี้

1.1) การใช้แรงทางกล (Mechanical communition)

วิธีการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การทุบ การบด การโม่ การเขย่าวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการลดผลึก (cellulose crystallinity) และเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น ความสามารถในการลดขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุนั้นซึ่งปกติขนาดของเศษวัตถุดิบจะทำให้มีขนาดประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร (Sun and Cheng, 2002)

1.2) การไพโรไลซิส (Pyrolysis)

วิธีการอบที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ให้วัตถุดิบกลายสภาพเป็นแก๊สหรือของแข็ง กระบวนการจะทำได้ช้าและการระเหยจะต่ำถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ จากการวิจัยพบว่าการใช้อุณหภูมิมากไปหรือน้อยไปจะไม่เป็นผลดีจึงต้องมีการวิจัยที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างน้อย

1.3) การใช้น้ำร้อน (Liquid hot water)

เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะใช้อุณหภูมิมากกว่า 150-220 องศาเซลเซียส แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อน ปัจจัยที่มีผลต่อการวิธีการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาด ของชิ้นชีวมวลและปริมาณตัวอย่างต่อปริมาณน้ำ เป็นต้น แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดการแยกเอาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกจากกันที่อุณหภูมิสูง โดยส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะละลายในน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำปัจจัยที่มีผลในกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือ เวลาที่ใช้ อุณหภูมิ ขนาดของวัสดุตั้งต้นที่ใช้และ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบ

2) การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี (chemical pretreatment) เป็นการใช้สารละลายกรดเพื่อเพิ่ม ความสามารถในการย่อยเฮมิเซลลูโลส เพราะเฮมิเซลลูโลสสามารถย่อยสลายในสารละลายกรดได้ดีกว่า เซลลูโลส หรือใช้สารละลายด่างเพื่อเพิ่มปริมาณการละลายของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน หรืออาจใช้สารละลาย แอมโมเนียเพื่อกำจัดลิกนิน เป็นการนำวัตถุดิบใส่ในสารละลาย แอมโมเนียที่อุณหภูมิสูงและความดันสูงแล้วลดความดันอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะคล้ายกับการระเบิดด้วยไอน้ำ ใช้แอมโมเนีย อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กระทำในลักษณะเช่นเดียวกับการระเบิดด้วยไอน้ำและการระเบิดด้วยแอมโมเนียโดย CO_2 จะเหมือนกับกรดคาร์บอนิก การใช้เบส เช่น การใช้แอมโมเนีย ไฮดรอกไซด์เจือจางเตรียม ลิกโนเซลลูโลส จะทำให้เส้นใยพองตัว เพิ่มพื้นที่ผิว ลดความเป็นผลึก สลายการเป็นโพลีเมอร์ สลายโครงสร้างลิกนิน

3) การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological pretreatment) จุลินทรีย์สามารถใช้ในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสและยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในย่อยวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ ในการใช้จุลินทรีย์ในการปรับสภาพ มักยังย่อยลิกนิน รวมทั้งย่อยเฮมิเซลลูโลสด้วยส่วนเซลลูโลสถูกย่อยน้อยมากซึ่งเซลลูโลสมีความต้านทานในการถูกจุลินทรีย์ย่อยของจุลินทรีย์ได้มากกว่าส่วนอื่นๆของลิกโนเซลลูโลส มีการใช้จุลินทรีย์ Brown-, White-, และ soft-rot fungi ในการปรับสภาพวัตถุดิบ White rot fungi อาทิเช่น Phanerochaete chrysosporium, Ceriporia lacerata, Cyathus stercolerus, Ceriporiopsis subvermispora, Pycnoporus cinnarbarinus และ Pleurotus ostreaus เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (Kumar et al., 2011; Sreenath et al.,2001; Slininger et al., 1982 อ้างถึงใน รัชพล พะวงรัตน์, 2558)

4) การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี (Physicochemical pretreatment) กลไกการทำงานของกระบวนการ Hydrothermal treatment (HTT) ชีวมวลที่ผ่านการหั่นและบดแล้วจะถูกปรับสภาพต่อด้วยไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันสูง หลังจากนั้นจึงลดความดันลง โดยส่วนใหญ่จะควบคุมอุณหภูมิที่ 120-260 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.69-4.83 เมกะพาสคาล (MPa) ไว้ระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจึงลดความดันลงให้เหลือเท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและการเปลี่ยนรูปลิกนิน เนื่องจากอุณหภูมิสูงและเป็นการเพิ่มศักยภาพในการย่อยเซลลูโลสด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อการระเบิดด้วยไอน้ำ ได้แก่ ระยะเวลา อุณหภูมิ และขนาดของชิ้นชีวมวลและปริมาณตัวอย่างต่อปริมาณน้ำ เป็นต้น ข้อดีของการปรับสภาพด้วยวิธีนี้ คือ ใช้พลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการบดด้วยเครื่องจักรเพียงอย่างเดียวอย่างเดียวมีความคุ้มค่าเมื่อใช้ในการปรับสภาพไม้เนื้อแข็งและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แต่มีประสิทธิผลน้อยเมื่อใช้กับไม้เนื้ออ่อน ข้อจำกัดของวิธีนี้ (สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557)

การที่เลือกเส้นใยปาล์มมาเป็นวัตถุดิบในการปรับสภาพเนื่องจากการศึกษาเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และมีองค์ประกอบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ การนำเส้นใยปาล์มมาปรับสภาพด้วยน้ำร้อนเพื่อต้องการทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลสและมีผลดีทำให้ลิกนินเปลี่ยนรูป และย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสได้ดี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shuofu Mi, et al (2016) ศึกษาการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนและการแตกตัวของปริมาณเอนไซม์ในลิกโนเซลลูโลสของกากเนื้อเมล็ดในปาล์มน้ำมัน (PKC) การปรับสภาพที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเปลี่ยนแปลงทางวัตถุดิบลิกโนเซลลูโลส ของแข็งที่ได้รับการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนที่ 160-200 องศาเซลเซียส การปรับสภาพน้ำร้อนและกัดดิสก์ทำหน้าที่ร่วมในการปรับปรุงกลูโคสและไซโลสโดยอัตราผลตอบแทนร้อยละ 89 และร้อยละ 134 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียว และตัวอย่างที่มีน้ำตาลกลูโคสและไซโลสสูงสุดต่ออัตราผลตอบแทนในทุก ๆ การปรับสภาพ

สุเมธ เดชรักษา และคณะ (2556) ศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมสารตั้งต้นและเชื้อที่มาในชุดร่วมการย่อยอาหารของหญ้าและปุ๋ยคอก การศึกษาผลแสดงให้เห็นการผสมผสานของอัตราส่วนที่ใช้เป็นอัตราส่วน 3:1 ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับการย่อยอาหารของหญ้าขนและปุ๋ยมูลคอกโดยดำเนินการทดสอบก๊าซมีเทนทางเคมี ซึ่งพื้นผิวที่เป็นของแข็งจะตั้งต้นอัตราส่วนที่มากกว่า 3 และ 4 จะได้รับผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน โดยหัวเชื้อจากบ่อหมักรักษาพื้นผิวอาจจะไม่เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบของ BMP แม้ว่าจะมีมีเทนในเชื้อแบคทีเรียที่สามารถหมักและนำมาใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับการทดสอบประเภทของการย่อยอาหาร

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไข่เส้ง (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน วิธีการหมักก๊าซชีวภาพโดยชั่งน้ำหนักวัสดุตามอัตราส่วนที่ต้องการลงในขวด แล้วเติม stock nutrient solution เติมบัฟเฟอร์และเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร วัด pH และปรับ pH ด้วย HCL ร้อยละ1 ให้ pH ประมาณ 6-7 การเริ่มต้นการหมักร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพนี้จะใช้มูลโคเป็นหัวเชื้อ โดยใช้อุณหภูมิ 35 ±1 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิควบคุมในการทำการทดลองระยะเวลา 15 วัน ก๊าซมีเทนเริ่มผลิตได้เมื่อการทดลองผ่านไป 3 วัน ก๊าซมีเทนในวันที่ 10 ของการทดลองจะมีการผลิตมีเทนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งวันที่ 15 ก๊าซมีเทนจะเริ่มมีการผลิตลดลง การหมักในการทดลองจะมีทั้งหมด 6 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน (R:W = 1:0) (R:W = 0:1) เป็นการหมักโดยใช้วัสดุหมักเพียงชนิดเดียว อัตราส่วน (R:W = 1:0) หมักโดยใช้ใบยางพาราเพียงอย่างเดียว อัตราส่วน (R:W = 0:1) หมักโดยใช้ผักตบชวา

เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะมีปริมาณของวัสดุหมักที่เท่ากันเท่ากับ 0.3 g TS/g Fresh ส่วนในอัตราส่วน (R:W = 1:1) (R:W = 2:1) (R:W = 1:2) เป็นการหมักร่วมโดยใช้วัสดุหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวา ส่วนในอัตราส่วน (R:W = 0:0) เป็นการหมักที่ใส่มูลโคที่เป็นหัวเชื้ออย่างเดียวซึ่งจะเป็นชุดควบคุมในทุกๆ อัตราส่วนของการหมัก จะใช้มูลโคในปริมาณที่เท่ากัน เท่ากับ 0.3 g TS/g Fresh และมีปริมาณร่วมของวัสดุหมักเท่ากับ 0.9 g TS/g Fresh จากผลการศึกษาพบว่าการหมักโดยการใช้วัสดุหมักเพียงชนิดเดียว พบว่า ในอัตราส่วนที่ใส่ผักตบชวาเพียงอย่างเดียว (R:W = 0:1) จะมีผลผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าในอัตราส่วนที่ใส่ใบยางพาราเพียงอย่างเดียว (R:W = 1:0) การหมักร่วมโดยใช้วัสดุหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวา พบว่าการใช้วัสดุหมักผักตบชวาเป็น 2 เท่าของใบยางพารา (R:W = 1:2) เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด มีผลผลิตก๊าซมีเทนสูงที่สุด เมื่อมีการเปรียบเทียบผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักร่วมกันระหว่างใบยางพาราและผักตบชวาอัตราส่วน (R:W = 1:2) จะมีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนใกล้เคียงกับการหมักผักตบชวาเพียงอย่างเดียว อัตราส่วน (R:W = 0:1)

Yi Zheng (2014) ขบวนการปรับปรุงชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเพื่อเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพ การใช้ชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศยังไม่มีการศึกษากันอย่างจริงจัง เพราะโครงสร้างผนังเซลล์พืชมีความซับซ้อน ทำให้ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ขบวนการปรับปรุงการย่อยสลายชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากตัวเส้นใยมีความซับซ้อนและโครงสร้างเคมีความหลากหลาย การจะปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมจึงต้องคำนึงถึงเส้นใยลิกโนเซลลูโลสที่จะนำมาใช้เป็นสำคัญ และยังพบว่าคุณสมบัติทางโครงสร้างและองค์ประกอบหลายประการมีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้การย่อยสลายยาก วิธีปรับสภาพด้วยน้ำร้อน (Liquid hot water หรือ LHW)' เป็นหนึ่งในปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์โมไลซิส ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยสารเคมี อาศัยแรงดันของน้ำในสถานะของเหลวโดยคงไว้ที่อุณหภูมิสูงเพื่อทำการสลายเพื่อลดขนาดของวัตถุดิบอย่างช้าๆ วัตถุดิบประเภทชีวมวลที่ต้มในน้ำเดือดภายใต้แรงดันน้ำสูง น้ำจึงสามารถเจาะเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบนั้นๆ ได้ ทำให้เซลลูโลสเปียกชุ่ม เฮมิกเซลลูโลสดูดซับน้ำและลิกนินค่อยๆ สลายตัวไปอย่างช้าๆ วิธีการ LHW นับว่ามีประสิทธิภาพสูง เพราะขยายพื้นที่พื้นผิวเกิดปฏิกิริยาและทำให้เซลลูโลสอ่อนตัวลง ทั้งยังช่วยให้จุลลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลสง่ายขึ้นเปรียบเทียบกับไม่ใช้วิธีการนี้ วิธี LHW เหมาะสำหรับสารสกัดประเภทน้ำตาล วิธี LHW นำมาใช้ปรับปรุงปริมาณก๊าซมีเทนในชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เช่น ก้านดอกทานตะวัน ชานอ้อย เส้นใยปาล์ม และทะลายปาล์ม เป็นต้น เพื่อปรับปรุงผลผลิตก๊าซมีเทนให้เพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองภายใต้อุณหภูมิสูงสุดที่ 200 องศาเซลเซียส แรงดันอิ่มตัวที่ 1.55 MPa เป็นเวลา 10-90 นาที ประสิทธิภาพของวิธี LHW นั้นแตกต่างตามวัตถุดิบชีวมวลที่เลือกใช้ และยัง

ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเชิงโครงสร้างและเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสม เมื่อลองเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ แล้ว พบว่า วิธีการ LHW นั้นเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก

2.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.7.1 การเตรียมวัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ

วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เส้นใยปาล์ม และหัวเชื้อจุลินทรีย์โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เส้นใยปาล์ม

1.1) นำเส้นใยปาล์มที่ได้จากโรงงานปาล์มน้ำมัน บริษัทปาล์มไทยพัฒนา จำกัด ตำบลอุไดเจริญ อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล มาผึ่งแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.2) ชั่งน้ำหนักของเส้นใยปาล์มโดยแบ่งเส้นใยปาล์มออกเป็น 0.5 กิโลกรัม แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร เพื่อที่จะแยกขนาด 1-2 มิลลิเมตร จำนวน 5 ซ้ำ

1.3) นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร ไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำหนักคงที่

1.4) นำเส้นใยปาล์มเก็บใส่ถุงซิบ แล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยปาล์มมีความชื้น

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์

2.1) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ได้จากโรงงานปาล์มน้ำมัน บริษัทปาล์มไทยพัฒนา จำกัด นำมาใส่ถังฝาปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2) เมื่อหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ แยกชั้นแล้วเอาส่วนน้ำทิ้ง แล้วเหลือไว้แต่ตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์

2.3) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่แยกชั้นแล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิห้องและปราศจากแสงเพื่อไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ตาย

13.2 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับสภาพของเส้นใยปาล์มด้วยน้ำร้อน

การผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นโดยนำเส้นใยปาล์มไปปรับสภาพด้วยน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 170 190 และ 210 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมากรองแยกของแข็งกับของเหลว โดย นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ชั่งเส้นใยปาล์ม 15 กรัม เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร ลงในกระบอกสแตนแลส แล้วประกอบเข้าในเครื่อง hydrothermal treatment

1) ทำการตั้งค่าเครื่อง โดยตั้ง Pressure ที่ 1 bar และตั้ง Temperature 170 190 และ 210 องศาเซลเซียส จากนั้นรอให้อุณหภูมิขึ้นถึงที่กำหนดไว้ แล้วจับเวลา 30 นาที

2) นำเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพแล้วมาแยกระหว่างเส้นใยกับของเหลวที่เป็นน้ำ แล้วนำส่วนเส้นใยไปล้างด้วยน้ำกลั่น

3) นำเส้นใยที่ล้างเรียบร้อยแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

13.3 การหมักก๊าซชีวภาพของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ในอัตราส่วนหัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพ ในอัตราส่วน ISR 3:1 และควบคุมอุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส โดยมีรายละเอียดดังนี้

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพการหมักชุดควบคุม โดยการหมักชุดควบคุมจำนวน 2 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 เป็นการหมักหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว
- ชุดที่ 2 เป็นการหมักเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยน้ำร้อนหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์

13.4 วิธีการหมัก

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยน้ำร้อน โดยการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ดังแสดงใน **ภาพที่ 3.3-3** มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเส้นใยปาล์มขนาด 1-2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

2) ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์มตามอัตราส่วนที่ต้องการใส่ลงในขวด (ก่อนนำตัวอย่างและหัวเชื้อจุลินทรีย์ ใส่ขวด ต้องหาค่า TS และ VS)

3) นำหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์มากวนด้วย Magnatice Stirrer ดูดหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ด้วยหลอดฉีดยาตามปริมาตรที่คำนวณไว้ล่วงหน้า (รายละเอียดการคำนวณจะแสดงในภาคผนวก ก)

4) เติม Buffer Solution 6.0 มิลลิลิตร, Stock Solution 0.6 มิลลิลิตร (รายละเอียดวิธีการเตรียมสารในภาคผนวก ก) ก่อนจะเติมน้ำกลั่นปริมาตรน้ำกลั่นที่เติม คิดได้จาก = 60 – (ปริมาตร Buffer + Stock+Seed ที่ใช้)ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.8 -7.2 ด้วย 10% HCl

5) แล้วปิดฝาขวดล็อกฝาขวด ต่อเข็มและทรีเวย์ ก่อนนำขวดตัวอย่างเข้าตู้บ่มเพาะเชื้อที่ 35 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาเมื่อครบ 24 ชั่วโมง จะวัดก๊าซชีวภาพ ครั้งแรก บันทึกปริมาตรก๊าซชีวภาพ และใน 1 วันจะมีการเขย่าขวดทดลอง 3 ครั้ง (เช้า เที่ยง เย็น) เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้จุลินทรีย์และแบคทีเรียได้สัมผัสกับผิววัสดุหมักมากยิ่งขึ้น

13.5 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดง**ในตารางที่ 13.5-1**และ**ตารางที่ 13.5-2**

ตารางที่ 13.5-1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น
1) เครื่องชั่ง (balance) ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง	Mettler Toledo / al204
2) ตู้อบ (oven)	Memmert /UFE500
3) เตาเผา (muffle furnace)	Carboliter /WF 1100
4) ตู้ดูดความชื้น (desicator chamber)	Bossman /BK 98 (A)
5) กระดาษกรองเบอร์ 5	Whatman /NO.5
6) เครื่องกวนสารโดยใช้แม่เหล็ก (hotplate stirrer)	IKA / C-MAG HS 7
7) เครื่องยูวี –วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer)	PG Istrument / T80
8) เครื่องย่อยไนโตรเจน	Buchi
9) เครื่องกลั่นไนโตรเจน	Buchi
10) เครื่องก๊าซโครมาโทรกราฟฟี	Shimadzu Model GC-14
11) เครื่อง hydrothermal treatment	PT-Reactor
12) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)	ettler Toledo/ SG2-FK SevenGo pH
13) หลอดเก็บตัวอย่าง	BD Vacutainer Serum
14) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert
15) หลอดฉีดยา	MIRA
16) เข็มฉีดยา เบอร์18	Terumo
17) ตะแกรงร่อน	-
18) เครื่องแก้วต่างๆ	-
19) กระดาษลิตมัส	-
20) ตู้บ่มเพาะเชื้อ	-
21) หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ Autoclave	-

ตารางที่ 13.5-2 สารเคมี ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	เกรด
1) แอมโมเนียคลอไรด์	NH_4Cl	AR
2) ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต	K_2HPO_4	AR
3) แมกนีเซียมซัลเฟต	$MgSO_4•H_2O$	AR
4) แคลเซียมคลอไรด์	$CaCl_2•2H_2O$	AR
5) Yeast extract	Yeast extract	AR
6) ไอร์ออน (II) คลอไรด์	$FeCl_2•4H_2O$	AR
7) กรดบอริก	H_3BO_3	AR
8) ซิงค์ (II) คลอไรด์	$ZnCl_2$	AR
9) คอปเปอร์ (II) คลอไรด์	$CuCl_2•2H_2O$	AR
10) แมงกานีสคลอไรด์	$MnCl_2•4H_2O$	AR
11) แอมโมเนียโมลิบเดต	$(NH_4)6Mo_7O_{24}•4H_2O$	AR
12) อะลูมิเนียมคลอไรด์	$AlCl_3•6H_2O$	AR
13) คาร์บอนิลคลอไรด์	$CoCl_2•6H_2O$	AR
14) โซเดียมไบคาร์บอเนต	$NaHCO_3$	AR
15) ไฮโดรคลอริก	HCL	AR
16) แอมโมเนียมฟลูออไรด์	NH_4F	AR
17) กรดแอสคอร์บิก	Ascorbic acid	AR
18) โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH	AR
19) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	KH_2PO_4	AR
20) โพแทสเซียมซัลเฟต	K_2SO_4	AR
21) กรดซัลฟูริก	H_2SO_4	AR
22) เมธิลเรด	Methyl red	AR

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

การศึกษานี้มีระยะเวลาดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม 2560 ถึงธันวาคม 2561 สำหรับแผนการดำเนินการศึกษาแสดงไว้ใน **ตารางที่** 1.7-1

ตารางที่ 1.7-1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560												2561											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร	▬	▬	▬	▬																				
2. สอบโครงร่าง					▲																			
3. การทดลองในห้องปฏิบัติการ					▬	▬	▬	▬	▬	▬						▬	▬	▬	▬	▬	▬			
4 สอบรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย										▲														
5. วิเคราะห์และสรุปผล																				▬	▬			
6. การเขียนเล่มวิจัย																				▬	▬	▬		
7. สอบและแก้ไขเล่มวิจัย																							▲	
8. ส่งเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์																								▬

หมายเหตุ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึง เดือนมีนาคม 2561 อยู่ในช่วงของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

15 งบประมาณ

ตารางที่15-1 งบประมาณตลอดโครงการ

รายการ	งบประมาณตลอดโครงการ
ค่าใช้สอย	
ค่าบริการสืบค้นข้อมูล	100
ค่าวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	100
ค่าเช่ายานพาหนะเดินทางไปเก็บตัวอย่าง	500
ค่าวัสดุ	
ค่าน้ำมัน	500
ค่าอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	2,000
ค่าวัสดุสำนักงาน/ค่าถ่ายเอกสาร	200
ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ (แผ่นซีดี)	100
รวม	**3,500**

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

16 เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์ม ปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม* (ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก http://www2dede.go.th/km_ber/Attach/Biogaspresent.pdf?fbclid=IwAR3gukqYW0Vr_H3VPMk50naHolp-tp3AWBoOvd84-fBZJSKZMTEbomcShjI), กระทรวงพลังงาน. วันที่ 5 ธันวาคม 2561.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553). *คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม*.กระทรวงอุตสาหกรรม

กรมวิชาการเกษตร (2553). *องค์ความรู้ด้านการพัฒนาคุณภาพผลผลิตปาล์มน้ำมัน*.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กระทรวงพลังงาน (2556). *คู่มือไบโอแก๊สเชพตี้*.กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

กระทรวงพลังงาน (2559). พลังงานทดแทน.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

การเกตุ วัฒนสิทธิ์ (2556). *ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือโรงงานน้ำมันปาล์มดิบและการหมักร่วมภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง* วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 16 ฉบับที่ 3

ชิตชนก คงแดง (2554). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราโดยการหมักร่วมกับมูลสุกรสำหรับใช้ในครัวเรือน*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นรารัชต์พร นวลสวรรค์ และวนัสพรรัศม์ สวัสดี (2561). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 14 ฉบับที่ 1.

นรารัชต์พร นวลสวรรค์และ วนัสพรรัศม์ (2561). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบาบัดน้ำเสีย*. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปี ที่ 14 ฉบับที่ 1

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไข่เส้ง (2559). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน*. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

ปฏิรูป ผลจันทร์ และคณะ. (2557). *ผลของชนิดและปริมาณมูลสัตว์ระยะเวลาในการกวนผสมและความเข้มข้นของแข็งต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์โดยถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยะนุช เปียคง(2556). *การศึกษาการผลิตไซสจากทะลายปาล์มเปล่า*. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พลกฤษณ์ คุ้มกล่ำ, ปิยะพงษ์ ปานแก้ว (2558). *การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ | Hydrogen sulfide removal from biogas by calcium hydroxide*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

พรทิพย์ พึ่งม่วง (2556).*ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตกรดแกมมาลิโนเลนิกในมิวคอร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สำนักงานเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วศนิ ตนัตระกูล. (2555). *อทิธิพลของอุณหภูมติ่อกระบวนการสกัดเส้นใยไผ่แบบHydrothermal treatment process ด้วยวิธีวิเคราะห์โดย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).* กรุงเทพมหานคร:ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพฯ.

วิเชียร สีสุข.(2532). *การย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกรรมด้วยเอนไซม์จาก Aspergillus fumigates Fresenius*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภาภรณ์ ณ ถลาง (2555). *การประเมินคุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยของเปลือกผลปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ*.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, กรุงเทพมหานคร

สมใจ ศิริโภค. 2550. *การคัดเลือกและการจัดจำแนกชนิดแบคทีเรียแลคติกที่สร้างแบคทีริโอซินได้จากอาหารหมักและการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของแบคทีริโอซินที่ผลิตได้.* วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 23 (2): 107-121.

สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน (สวค.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *การผลิตก๊าซชีวภาพ จากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และ โรงงานอุตสาหกรรม.* กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเขต 8 (2555). *รายงานประจำปี 2555 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สุเมธ เดชรักษา และคณะ (2556). *ผลของอัตราส่วนการผสมสารตั้งต้นและเชื้อที่มาในชุดร่วมการย่อยอาหารของหญ้าและปุ๋ยคอก*.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สุภาวดี ผลประเสริฐ, 2557. *การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ : 22 ฉบับที่ : 5 (พิเศษ) เลขหน้า : 641-649

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (2554). Biogas Production System : เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ (ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก http://www.erdi.cmu.ac.th/index.php/services/view?pid=1), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วันที่ 10 ธันวาคม 2561.

Kumar S, Singh, S.P., Mishra, I.M. and Adhikari, D.K. 2011. Continuous ethanol production by Kluyveromyces sp. IIPE453 immobilized on bagasse chips in packed bed reactor, Journal of Petroleum Technology and AlternativeFuels, 2(1), 1-6.

Parveen, K., Diane, M. B., Micheal, J. D. & Pieter, S. (2009). *Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production*. Industrial & Engineering Chemical Reserch, 48(8), 3713-3729

Sun, Y. and Cheng, J. 2002. Hydroloysis of lignocellulosic materials for bioethanol production: review. Bioresour. Technol. 83, 1-11.

Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F. & Li, Y. (2014). *Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production*. Progress in energy and combustion Science, 42, 35-53.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้ทำวิจัย นางสาวกมลทรรศน์ สิบมอง

วันเดือนปีเกิด 29 เมษายน 2539

ที่อยู่ 83 หมู่ 5 ตำบลทุ่งพลา อำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี 94180

ประวัติการศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อผู้ทำวิจัย นางสาวอัสวาณี เหมหวัง

วันเดือนปีเกิด 21 เมษายน 2538

ที่อยู่ 55/4 หมู่1 ตำบลขอนคลาน อำเภอทุ่งหว้า จังหวัดสตูล 91120

ประวัติการศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา