



รายงานวิจัย

การเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล

Enhancing the Potential of Biogas Production from Palm Fiber

by Ethanol Pretreatment



สุพัตรา ชูเปีย

อรสา นาน้ำ

รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

เลขที่ # 113226
วันที่ 12 ต.ค. 2562
เลขที่ 665.976
NSAT



ใบรับรองงานวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่องงานวิจัย การเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล
Enhancing the Potential of Biogas Production from Palm Fiber by Ethanol Pretreatment

ชื่อผู้ทำงานวิจัย สุพัตรา ชูเปีย และอรสา นาน่าน

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....อาจารย์ที่ปรึกษาประธานกรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรัฐรอบ) (อาจารย์หิรัญวดี สวีบุญม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมกรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.บุญญา ชาญนอก) (อาจารย์ ดร.สายสิริ ไชยชนะ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์กมลนาวิณ อินทนูจิตร)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรัฐรอบ)

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

.....ประธานหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ชุนพิทักษ์)

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

เมื่อวันที่.....เดือน 28 ต.ค. 2561 พ.ศ.

ลิขสิทธิมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

| | |
|---------------------------|--|
| ชื่อเรื่อง | การเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล |
| ชื่อผู้ทำงานวิจัย | นางสาวสุพัตรา ชูเปีย รหัสนักศึกษา 574232033 นางสาวอรสา นานบ้าน รหัสนักศึกษา 574232036 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.สุชีวรรณ ยอยรัฐรอบ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร.บุญญา ชาญนอก |
| หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต | สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| สถาบัน | มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |
| ปีการศึกษา | 2561 |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการผลิตผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ควบคุมอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพ 30 นาที ทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในระบบไร้อากาศจากโรงงานปาล์มน้ำมัน ในอัตราส่วน (หัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์ม) 3:1 ทำการหมักแบบกะ จากการศึกษา พบว่าการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้สูงสุด เท่ากับ 168.77 L CH₄/kg-VS ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้ 2.1 เท่า

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ การปรับสภาพด้วยเอทานอล เส้นใยปาล์ม การหมักแบบกะ(แบตซ์)
สารอาหารเสริม

Title Enhancing the Potential of Biogas Production from Palm Fiber by Ethanol Pretreatment

Authors Miss. Supattra Choopia Student Code 574232033
Miss. Orasa Naban Student Code 574232036

Adviser Dr. Sucheewan Yoyrurob

Co-Advisor Dr. Boonya Charannok

Bachelor of Science Environmental Science

Institution Songkhla Rajabhat University

Academic year 2018

Abstract

This research studies the potential of biogas production from palm fiber by ethanol pretreatment with 10, 30, and 50 percent. Perform the pretreatment by controlling the temperature of 190° C with 30 minutes. 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 study, it was found that the refining of palm fiber with ethanol 50 percent is the best condition in the production of biogas from palm fiber. The potential to produce methane gas more than non-pretreated palm fibers with statistical significance at 95 percent, it can produce cumulative methane gas up to 168.77 L CH₄/kg-VS which can increase the potential for methane production by 2.1 times.

Keywords: Biogas, Ethanol Pretreatment, Palm Fiber, Batch Fermentation, Nutrient solution

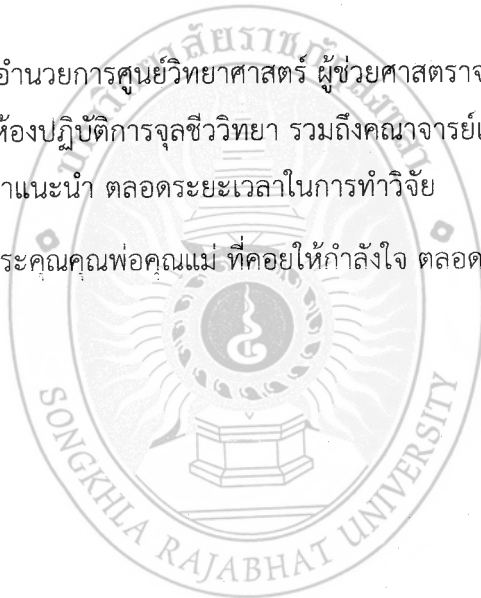
กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ ดร.บุญญา ชาญนอก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเรื่องการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง วิธีการและขั้นตอนการศึกษา ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการตรวจทาน แก้ไขงานวิจัยนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ประจำวิชา ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์เพื่อให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิสิน นาวารัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนการสนับสนุนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี



สุพัตรา ชูเปีย
อรสา นาน้ำน
ธันวาคม 2561

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ | ก |
| Abstract | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญภาพ | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 3 |
| 1.3 ตัวแปร | 3 |
| 1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย | 3 |
| 1.5 สมมติฐาน | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| 1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย | 4 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย | 5 |
| 2.2 ก๊าซชีวภาพ | 7 |
| 2.3 ปาล์มน้ำมัน | 11 |
| 2.4 วัสดุที่ใช้ในการหมัก | 17 |
| 2.5 การปรับสภาพวัสดุหมัก | 21 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 26 |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย | |
| 3.1 ขอบเขตการวิจัย | 28 |
| 3.2 อุปกรณ์และสารเคมี | 30 |

สารบัญ (ต่อ)

| | | |
|--|---|------|
| 3.3 | วิธีการทดลอง | 31 |
| 3.4 | ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ | 36 |
| 3.5 | การวิเคราะห์ผลทางสถิติ | 36 |
| บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล | | |
| 4.1 | ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย | 37 |
| 4.2 | การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม | 39 |
| 4.3 | ผลความเข้มข้นเอทานอลที่มีผลต่อการผลิตมีเทน | 42 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | | |
| 5.1 | สรุปผลการวิจัย | 46 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 46 |
| บรรณานุกรม | | |
| ภาคผนวก | | |
| | ภาคผนวก ก โครงร่างวิจัย | ผก-1 |
| | ภาคผนวก ข ภาพประกอบการดำเนินงานวิจัย | ผข-1 |
| | ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลการทดลอง | ผค-1 |
| | ภาคผนวก ง ผลวิเคราะห์ทางสถิติ | ผง-1 |
| | ภาคผนวก จ วิธีการเตรียม BMP Performance | ผจ-1 |
| | ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้ทำวิจัย | ผฉ-1 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 1.7-1 | ระยะเวลาที่ทำการวิจัย | 4 |
| 2.1-1 | แผนพัฒนาพลังงานและพลังงานทางเลือกปี พ.ศ. 2579 | 6 |
| 2.2-1 | องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ | 7 |
| 2.2-2 | ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ | 8 |
| 2.3-1 | เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2561 | 12 |
| 2.4-1 | ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยปาล์ม | 18 |
| 2.5-1 | การเปรียบเทียบกระบวนการปรับสภาพวัสดุชีวมวล | 24 |
| 3.2-1 | เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง | 30 |
| 3.2-2 | สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 31 |
| 3.1-1 | พารามิเตอร์ที่ใช้วัด ก่อน-หลัง การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม | 33 |
| 3.2-2 | อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อจุลินทรีย์กับเส้นใยปาล์ม | 34 |
| 4.1-1 | ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย | 38 |
| 4.2-1 | การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม | 41 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.2-1 | ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ | 11 |
| 2.3-1 | เนื้อที่ให้ผลและผลิตปาล์มน้ำมัน | 13 |
| 2.3-2 | การผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย | 14 |
| 2.3-3 | องค์ประกอบของทะลายปาล์ม | 16 |
| 2.4-1 | องค์ประกอบของเซลล์พืช | 19 |
| 2.4-2 | โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส | 19 |
| 2.4-3 | โครงสร้างทางเคมีของไซแทน | 20 |
| 2.4-4 | สูตรโครงสร้างของลิกนิน | 21 |
| 2.5-1 | การปรับสภาพของวัสดุลิกโนเซลลูโลส | 22 |
| 3.1-1 | ลักษณะของวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง | 28 |
| 3.3-1 | วัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ | 32 |
| 3.3-2 | วิธีการหมักก๊าซชีวภาพ | 35 |
| 4.1-1 | ลักษณะเส้นใยปาล์มก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยเอทานอล | 38 |
| 4.3-1 | ปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล และเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ | 43 |
| 4.3-2 | ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม | 44 |
| 4.3-3 | การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนสะสมระหว่างเส้นใยปาล์มที่ไม่ปรับ สภาพกับเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ | 45 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการลดลงของปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้ทุกประเทศให้ความสนใจกับการผลิตพลังงานทดแทนโดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อผลิตพลังงานมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยในปี พ.ศ. 2558 รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงาน จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี พ.ศ. 2558–2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยมีเป้าหมาย เพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็น ร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ภายในปี พ.ศ. 2579 ภายใต้ต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม และสร้างความพึงพอใจให้กับทุกภาคส่วนที่จะใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ 600 เมกะวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีของเสีย และวัสดุต่าง ๆ จากภาคเกษตรกรรมอยู่ทั่วไป เช่น น้ำเสีย ขยะจากอุตสาหกรรม มูลสัตว์ หรือพืชต่าง ๆ การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหล่านี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตปาล์มน้ำมันเพราะประเทศไทยมีภูมิภาคที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน และภูมิภาคที่ผลิตปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทย คือ ภาคใต้มีเนื้อที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันยืนต้น จำนวน 3,941,355 ไร่ จังหวัดที่มีเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันยืนต้นมากที่สุด คือ สุราษฎร์ธานี รองลงมา ได้แก่ กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้นที่อยู่ในตระกูล *Palmae* และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* สำหรับประเทศไทยปาล์มน้ำมันได้กลายเป็นพืชที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ปาล์มน้ำมันจะเป็นพืชอุตสาหกรรมที่จำเป็นและได้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยได้หันมาใช้พลังงานทดแทนจากพืช เพื่อช่วยลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียม โดยพลังงานทดแทนที่นิยมใช้ คือ ไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลนั้นส่วนใหญ่จะใช้ปาล์มน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลนั้นเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ โดยพลังงานจะมีศักยภาพสูงที่ไม่แตกต่างจากน้ำมันปิโตรเลียมมากนัก และที่สำคัญก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามการที่ผลิตน้ำมันจากปาล์มน้ำมัน มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น

แต่ผลที่ตามมาก็คือ วัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตก็จะมีเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งในกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันนั้นได้ปาล์มน้ำมันดิบอยู่ประมาณ ร้อยละ 18-22 ซึ่งจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับบริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง อุตสาหกรรมการสกัดปาล์มน้ำมัน พบว่ามีของเสียในกระบวนการสกัดน้ำมันมากกว่า ร้อยละ 70-80 ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใยเปลือกผลปาล์ม กากสลัดจ์ รวมถึงน้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม ซึ่งของเสียเหล่านี้จะนำไปหาต่อสภาพแวดล้อม (ธีระพงศ์ จันทรมิณ, 2551)

เส้นใยปาล์ม (Palm pericarp fiber) เป็นส่วนเปลือกนอกของผลปาล์มเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูก หรือแทบไม่มีราคาในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะมีเศษเหลือทิ้ง เป็นเส้นใยปาล์มเป็นจำนวนมาก ในอดีตเส้นใยปาล์มมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากเป็นที่วางไข่ของด้วงแรด ซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์ม และยอดมะพร้าว ในปัจจุบันโรงงานจะนำเส้นใยปาล์มไปเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้ยากเนื่องจากเส้นใยปาล์มมีความชื้นสูง ก่อให้เกิดของเสียในรูปของเถ้าเป็นจำนวนมาก เถ้าที่เกิดขึ้นมีขนาดอนุภาคเล็กน้ำหนักเบาจะเกิดการฟุ้งกระจายสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยปาล์ม เนื่องจากเส้นใยปาล์มมีปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูง ทำให้เส้นใยปาล์มเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ จากการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ร้อยละ 36.7 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 35.8 และลิกนิน ร้อยละ 18.6 แต่การที่จะนำเส้นใยปาล์มมาผลิตก๊าซชีวภาพมักจะมีปัญหาในการย่อย เนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติก ที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืชในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนที่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้ กระบวนการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นได้ยาก (ปิยะนุช เปี้ยคง, 2557) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการปรับสภาพเส้นใยปาล์มเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเน้นการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอลเป็นกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เข้าไปไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส ทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้ง่ายขึ้น เป็นวิธีการปรับสภาพที่มีข้อเสียน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Zhao et al., 2009) งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเอทานอลที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10 30 และ 50 ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ก่อนที่จะนำมาหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีการหมักร่วม ซึ่งใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากโรงงานปาล์มน้ำมันในการหมักร่วมกับเส้นใยปาล์ม เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การนำของเสียจากเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์นอกจากเป็นการป้องกัน

รักษาสภาพแวดล้อมแล้วยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายได้ดังกล่าวสามารถใช้เป็นต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ (ปาล์มทะเล) ในโอกาสต่อไปได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

1.2.2 เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับด้วย

เอทานอล

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

ตัวแปรตาม : ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตัวแปรควบคุม : วิธีการหมัก อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.1 ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากระบวนการหมักเส้นใยปาล์มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศ

1.4.2 การปรับสภาพด้วยเอทานอล คือ เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบด้วยเอทานอลร่วมกับการให้ความร้อนภายใต้แรงดันสูง

1.4.3 เส้นใยปาล์ม คือ ส่วนที่ได้จากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมัน ส่วนของเส้นใยปาล์มที่ใช้จะเป็นส่วนที่มีสีน้ำตาล

1.4.4 การหมักแบบกะ (แบตช์) คือ การหมักที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวตลอดระยะเวลาในการหมักแล้วปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโต

1.4.5 สารอาหารเสริม (Nutrient solution) คือ สารอาหารที่ใช้เติมลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่ NH_4Cl , K_2HPO_4 , MgSO_4 , yeast extract และ trace element solution เป็นต้น

1.5 สมมติฐาน

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

1.6.1 ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพตลอดจนเป็นการลดปริมาณของเสียจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1.6.2 ทำให้ทราบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีต่อกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับเส้นใยปาล์มและการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

การศึกษานี้มีระยะเวลาดำเนินการระหว่างเดือนมกราคม 2560 ถึง พฤศจิกายน 2561 สำหรับแผนการดำเนินการศึกษาแสดงไว้ใน ตารางที่ 1.7-1

ตารางที่ 1.7-1 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2560 | | | | | | | | | | 2561 | | | | | | | | |
|------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11-3* | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| รวบรวมข้อมูลและตรวจสอบเอกสาร | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| สอบโครงร่างวิจัย | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| สอบรายงานความก้าวหน้า | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| วิเคราะห์ผลและสรุปผล | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| การเขียนเล่มวิจัย | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| สอบและแก้ไขเล่มวิจัย | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

*หมายเหตุ : ดำเนินการฝึกประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2560 – มีนาคม 2561

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย

พลังงานเป็นเครื่องมือสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศมาโดยตลอดเป็นปัจจัยพื้นฐานต่อยอดสู่การพัฒนาทุกด้านทั้งภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม แรงงาน สังคม ตลอดจนภาคครัวเรือนล้วนต้องพึ่งพาพลังงานด้วยกันทั้งสิ้น ดังนั้นนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการผลักดันยุทธศาสตร์ไทยแลนด์ 4.0 จำเป็นต้องมีแนวทางการพัฒนาพลังงาน 4.0 ของกระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบายพลังงาน 4.0 เพื่อขับเคลื่อนและสนับสนุนเศรษฐกิจภายใต้หลักการคือ การยกระดับประสิทธิภาพของระบบพลังงาน และนำนวัตกรรมที่เหมาะสมมาใช้ในการพัฒนา ซึ่งต้องครอบคลุมทั้งระบบตั้งแต่ การผลิต จัดหา แปรรูป จนถึงการใช้ตามประเภทพลังงาน ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้า และต้องสอดคล้องกับการทำงานด้านประชารัฐด้วย สำหรับแนวทางการพัฒนาพลังงาน

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) กระทรวงพลังงานได้มีแนวทางและข้อพิจารณาในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP) ดังนี้ พลังงานทางเลือก หรือพลังงานทดแทน เริ่มเข้ามามีบทบาทในระบบไฟฟ้าของประเทศไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทางเลือกบางชนิดยังมีราคาสูงกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าหลักประเภทอื่น ๆ อาทิเช่น โรงไฟฟ้าถ่านหิน เทคโนโลยีสะอาด โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลให้ประเทศไทยจำเป็นต้องหันมาพิจารณาการใช้พลังงานทางเลือกคือ ปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก greenhouse gas (GHG) ซึ่งส่วนใหญ่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อันเกิดจากกระบวนการสันดาปของเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมประเภทใดไม่เว้นแต่อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าที่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นรัฐบาลแต่ละสมัยมีความพยายามในการผลักดันแผน AEDP ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น เพื่อการก้าวไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (low carbon society) และเป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กล่าวถึงประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทน โดยให้มีการใช้พลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาศัยมาตรการจูงใจให้มีการ รับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชน ระยะแรกมีการกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (adder) สำหรับการรับซื้อไฟฟ้าจาก

พลังงานทางเลือกทำให้มีนักลงทุนสนใจเป็นจำนวนมากเข้าร่วมโครงการผลิตไฟฟ้าได้ทำการยื่นคำร้องเสนอขายไฟฟ้าแก่การไฟฟ้าต่างๆ

สำหรับนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาครัฐในปัจจุบัน (2558) มุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาสังคมส่วนรวม ได้แก่ ปัญหาขยะชุมชน และผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นเหตุให้มีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้า โดยมียุทธศาสตร์ในการส่งเสริมพลังงานชีวภาพ ได้แก่ พลังงานจากขยะ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ เป็นอันดับแรก ซึ่งศักยภาพคงเหลือในปัจจุบัน สามารถผลิตไฟฟ้าจากขยะได้อีกประมาณ 500 เมกะวัตต์ และจากชีวมวลได้อีกประมาณ 2,500 เมกะวัตต์ และมีการประสานงานร่วมกับนโยบาย Zoning ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่จะต้องการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกอ้อย ปาล์ม และเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังจาก 3.5 ตัน/ไร่/ปี เป็น 7 ตัน/ไร่/ปี ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้อีก 1,500 เมกะวัตต์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในอนาคตที่อาจจะสามารถแข่งขันได้กับการผลิตไฟฟ้าจาก LNG ตลอดจนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าที่เกิดการสร้างชุมชนที่เข้มแข็ง และการลดการนำเข้าพลังงานจากฟอสซิลเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็น ร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายภายในปี พ.ศ. 2579 ภายใต้ต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม และสร้างความพึงพอใจให้กับทุกภาคส่วน ต้องการไฟฟ้ารวมของประเทศในปี พ.ศ. 2579 โดยจะมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรวม เท่ากับ 19,634.4 เมกะวัตต์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1-1

ตารางที่ 2.1-1 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2579

| พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (เมกะวัตต์) | ปี พ.ศ. 2557 | ปี พ.ศ. 2579 |
|---|---------------------|---------------------|
| แสงอาทิตย์ | 1,298.5 | 6,000.0 |
| พลังงานลม | 224.5 | 3,002.0 |
| พลังงานน้ำ | 3,048.4 | 3,282.4 |
| ขยะ | 65.7 | 500.0 |
| ชีวมวล | 2,541.8 | 5,570.0 |
| ก๊าซชีวภาพ | 311.5 | 600.0 |
| พืชพลังงาน | - | 680.0 |
| รวมทั้งหมด | 7,490.4 | 19,634.4 |
| | กำลังการผลิตติดตั้ง | กำลังการผลิตติดตั้ง |

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558)

2.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักและย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ในขณะที่ทำการย่อยสลายจะเกิดก๊าซขึ้นมากลุ่มหนึ่งประกอบด้วยมีเทน (CH_4) เป็นหลัก รองลงมาคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ออกซิเจน (O_2) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2-1 ก๊าซมีเทนมีมากที่สุด มีคุณสมบัติติดไฟได้และไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เมื่อเผาไหม้ร่วมกับอากาศจะได้เปลวไฟสีน้ำเงิน

ตารางที่ 2.2-1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

| ก๊าซ | ร้อยละ โดยปริมาตร |
|------------------|-------------------|
| มีเทน | 50-60 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 25-35 |
| ไนโตรเจน | 2-7 |
| ไฮโดรเจน | 1-5 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ | เล็กน้อย |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ | เล็กน้อย |
| ก๊าซอื่นๆ | เล็กน้อย |

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557)

ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติเมื่อแบคทีเรียและสารอินทรีย์อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในสภาวะไร้อากาศ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) และเมื่อหมักสารอินทรีย์เป็นเวลานานก็อาจเกิดก๊าซชีวภาพได้

2.2.1 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถชดเชยหรือทดแทนการใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ระดับครัวเรือน, ฟาร์มปศุสัตว์ ระดับชุมชน ตลอดจนถึงระดับอุตสาหกรรม โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1) การอนุรักษ์พลังงาน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2-2

ตารางที่ 2.2-2 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

| ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร | มีค่าความร้อนเทียบเท่า : ทดแทน |
|---------------------------|--------------------------------|
| ก๊าซหุงต้ม (LPG) | 0.46 กิโลกรัม |
| น้ำมันเบนซิน | 0.67 ลิตร |
| น้ำมันดีเซล | 0.60 ลิตร |
| น้ำมันเตา | 0.55 ลิตร |
| ฟืนไม้ | 1.50 กิโลกรัม |
| ไฟฟ้า (ค่าเฉลี่ย) | 1.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง |

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557)

2) ด้านสภาพแวดล้อม กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถบำบัด และลดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ตามที่กฎหมายกำหนด ลดปัญหามลพิษทางน้ำ ลดกลิ่นเหม็นลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนผลจากการหมักมูลสัตว์ในสภาวะไร้อากาศเป็นเวลานาน ๆ ทำให้ไข่พยาธิ และเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ถูกทำลาย ซึ่งเป็นการลดการแพร่กระจายเชื้อโรคจากมูลสัตว์ และยังสามารถลดการตัดไม้ทำลายป่าเพื่อนำมาทำฟืน และเผาถ่านได้นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการเพิ่ม carbon credit ของประเทศได้อีกด้วย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

3) ด้านการเกษตร กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ เนื่องจากการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น ใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงดิน นอกจากนี้การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศทำให้ปริมาณเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุของโรคพืชบางชนิดลดลง

4) ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร การใช้เทคโนโลยีที่มีการจัดการของเสียอย่างครบวงจรภายในฟาร์มและมีการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้อย่างคุ้มค่าหรือมีการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (waste minimize) ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

2.2.2 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เกิดจากจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ดังนั้นในกระบวนการดังกล่าวจึงต้องมีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยที่เหมาะสมหลายประการ ดังนี้ (สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, 2556)

1) อุณหภูมิ (temperature) โดยทั่วไปช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียมีอยู่ 3 ช่วงคือกลุ่มแบคทีเรีย Psychrophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ 5-15 องศาเซลเซียส กลุ่มแบคทีเรีย Mesophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิปานกลาง 35-37 องศาเซลเซียส และกลุ่มแบคทีเรีย Thermophillic จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง 50-55 องศาเซลเซียส ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซจะเกิดขึ้นในอัตราสูงมากในช่วงอุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง

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

3) อัลคาไลน์ตี (alkalinity) หมายถึงความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ถ้าค่าอัลคาไลน์ตีต่ำจะมีแนวโน้มเป็นกรดได้ง่าย ค่าอัลคาไลน์ตีที่เหมาะสมต่อระบบหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

4) สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and toxic substances) การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย แอมโมเนีย ซัลไฟด์ โลหะหนักบางตัว เช่น โซเดียมโพแทสเซียมธาตุ ไอออนและสารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะสามารถส่งผล ยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตแก๊สของแบคทีเรียได้

5) การกวน (mixing) การกวนผสมในถังหมักมีความสำคัญเพราะจะทำให้แบคทีเรียมีโอกาสพบอาหารได้ทั่วถึงและสารอาหารต่างๆ ที่แบคทีเรียขับออกจะเกิดการกระจายได้ดีขึ้น

6) สารอาหาร (nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม เป็นต้น

7) วัตถุดิบสารอินทรีย์ทุกชนิด เช่น มูลสัตว์ต่าง ๆ เศษพืชผักผลไม้ต่างๆ ฯลฯ สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ความยากง่ายในการหมักหรือปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อหน่วยน้ำหนักของสารอินทรีย์จะขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการสลายตัวของสารอินทรีย์ เช่น มูลสุกรมีสารอินทรีย์พวกแป้งและโปรตีนจึงสามารถย่อยสลายได้ง่าย เป็นต้น

2.2.3 ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ

การเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์หลายชนิด ผลิตแก๊สที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นกระบวนการหมักเวียนคาร์บอนและธาตุอื่น ๆ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดปลอดภัยมีการเจริญเติบโตของเซลล์น้อยทำให้ลดการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.2-1

1) การย่อย (Hydrolysis) สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลาย ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิและการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น

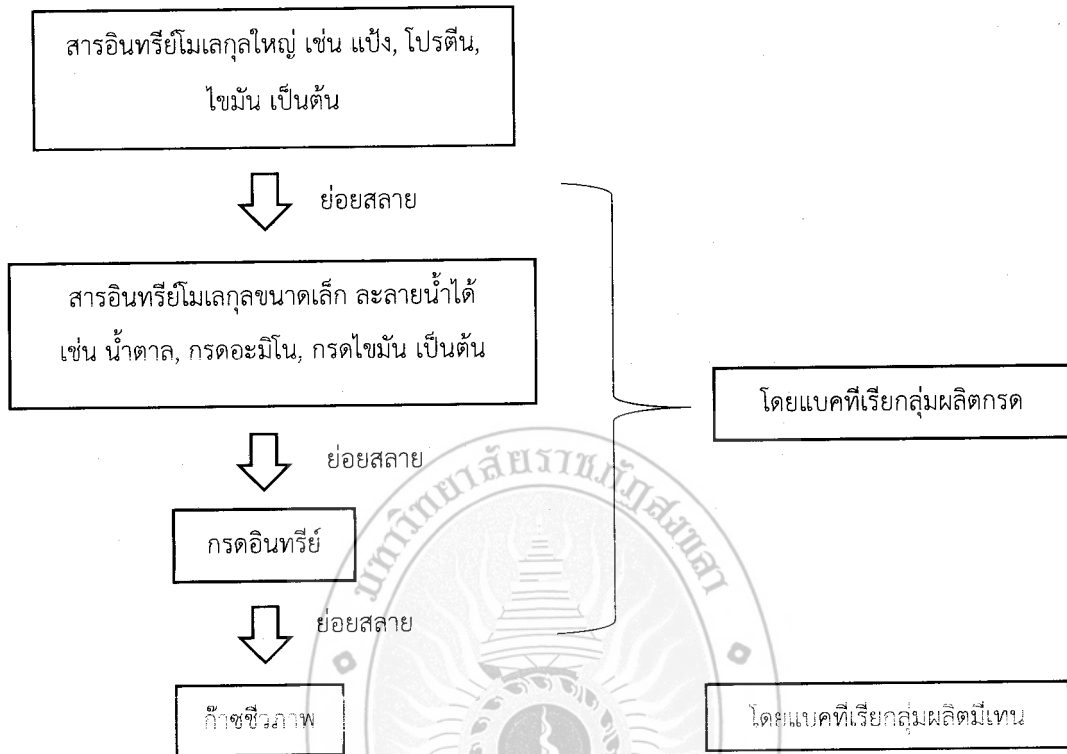
2) อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเชิงเดี่ยวถูกดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด ให้เป็นกรดระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เช่น กรดแอสติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ผลผลิตของปฏิกิริยา ได้แก่ แอลกอฮอล์ คีโตน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3) อะซิโดเจเนซิส (Acetogenesis)

การเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นกรดอะซิติก หรือเกลืออะซิเตต โดยการทำงานของอะซิโตจีนิกแบคทีเรีย (Acetogenic bacteria) เป็นปฏิกิริยาสำคัญในการไม่ให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย และก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมากพอที่จะยับยั้งกิริยาขั้นตอนต่อไป

4) การสร้างมีเทน (Methanogenesis) ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจากกรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสับกรด โดยแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (Methane Former Bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทนโดยคิดเป็น ร้อยละ 70 ก๊าซมีเทนเกิดขึ้นได้ในระบบอีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนแบคทีเรีย ที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้า และสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH ประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่ โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และการสร้างกรดโดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน

ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 2.2-1 ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553)

2.3 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา และได้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยผ่านทาง อินโดนีเซีย และมาเลเซีย เมื่อประมาณในปี พ.ศ. 2470 ที่สถานีทดลองยางคองหงษ์ จังหวัดสงขลา และสถานีสิกรรมพลั่ว จังหวัดจันทบุรี ส่วนการปลูกเพื่อเป็นการค้าเริ่มต้นภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ จังหวัดสงขลา แต่ก็ได้ล้มเลิกกิจการไปจนกระทั่งในปี พ.ศ. 2511 ได้มีการส่งเสริมอีกครั้งหนึ่ง และพื้นที่เพาะปลูกขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว ในปี พ.ศ. 2530 โดยแยกออกเป็นสวนปาล์มของบริษัท เอกชน และในสหกรณ์นิคมพื้นที่เพาะปลูกปาล์มยังขยายตัวออกไปอีกทุกปี ปาล์มน้ำมันเจริญเติบโต และให้ผลผลิตดีในสภาพอากาศที่ร้อน และชื้น มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 2,000 มิลลิเมตร ต่อปีขึ้นไปจึง ปลูกกันมากในภาคใต้ และชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย

2.3.1 การปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561) ได้กล่าวว่า สถานการณ์การผลิตปาล์มน้ำมัน มีเนื้อที่ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นทุก ๆ ภาคจากต้นปาล์มที่ปลูกใหม่เมื่อปี พ.ศ. 2558 เริ่มให้ผลได้ในปีนี้ สำหรับผลผลิตต่อไร่คาดว่าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพน้ำฝนเอื้ออำนวยปริมาณน้ำฝนในช่วง 1-2 ปี ที่ผ่านมาค่อนข้างมาก ทำให้โอกาสการเกิดจั่นตัวเมียเพิ่มขึ้นจำนวนทะลายปาล์มจึงเพิ่มขึ้นประกอบกับปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2561 มีมากเพียงพอต่อความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ต้นปาล์มสมบูรณ์ภาพรวมผลผลิตในปี พ.ศ. 2561 จึงเพิ่มขึ้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.3-1 และภาพที่ 2.3-1

ตารางที่ 2.3-1 เนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน ปี พ.ศ. 2561

| ปี พ.ศ. | เนื้อที่ให้ผล (ไร่) | ผลผลิต (ตัน) | ผลผลิตต่อไร่ (กก.) |
|---------|------------------------|--------------|--------------------|
| 2560 | 4,875,501 | 14,241,175 | 2,921 |
| 2561 | 5,090,658 | 15,399,299 | 3,025 |
| ผลต่าง | 215,157 | 1,158,124 | 104 |

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

ภาคเหนือ เนื้อที่ให้ผลเพิ่มขึ้นจากต้นปาล์มที่เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกใหม่เมื่อในปี พ.ศ. 2558 เริ่มให้ผลผลิตได้ในปีนี้ สำหรับผลผลิตต่อไร่ เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยปริมาณน้ำฝนเพียงพอ ต้นปาล์มสมบูรณ์ผลผลิตในภาพรวมจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื้อที่ให้ผลเพิ่มขึ้นจากต้นปาล์มที่ปลูกใหม่ในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเกษตรกรขยายพื้นที่แทนในที่นา และพื้นที่ว่างเปล่าเริ่มให้ผลผลิตได้ในปีนี้สำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากต้นปาล์มต้นใหญ่ขึ้นให้ผลผลิตทะลายใหญ่และน้ำหนักมากขึ้น ประกอบกับสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยผลผลิตในภาพรวมจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ภาคกลาง เนื้อที่ให้ผลเพิ่มขึ้นจากการปลูกใหม่ในปี พ.ศ. 2558 เริ่มให้ผลผลิตได้ในปีนี้สำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำฝนในช่วง 1-2 ปี ที่ผ่านมาเพียงพอต่อความต้องการของต้นปาล์ม ทำให้โอกาสการเกิดจั่นตัวเมีย จำนวนทะลายเพิ่มขึ้นที่จะเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2561 มีมากขึ้น ประกอบกับสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยมีฝนตกต่อเนื่องทำให้ต้นปาล์มสมบูรณ์ ผลผลิตในภาพรวมจึงเพิ่มขึ้น

ภาคใต้ เนื้อที่ให้ผลเพิ่มขึ้นจากการปลูกใหม่ในปี พ.ศ. 2558 เริ่มให้ผลผลิตได้ในปีนี้ โดยปลูกแทนไม้ผลไม้ยืนต้นอื่น ๆ เช่น เงาะ ล่องกอง มะพร้าว และ ยางพารา เป็นต้น และปลูกทดแทนสวนปาล์มน้ำมันที่มีอายุมาก ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำฝนต่อปี พ.ศ. 2561 เพียงพอต่อความต้องการของต้นปาล์ม ปริมาณฝนช่วงต้นปีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นปาล์มสมบูรณ์ สามารถให้ผลผลิตทะลวยใหญ่ขึ้น ประกอบกับปริมาณน้ำฝนในช่วง 1-2 ปี ที่ผ่านมาค่อนข้างมากทำให้โอกาสการเกิดจั่นตัวเมียเพิ่มขึ้น จำนวนทะลวยจึงเพิ่มขึ้นด้วย แหล่งผลิต 5 อันดับแรก ได้แก่ สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช และพังงา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)



ภาพที่ 2.3-1 เนื้อที่ให้ผลผลิต ปาล์มน้ำมัน
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2561)

2.3.2 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

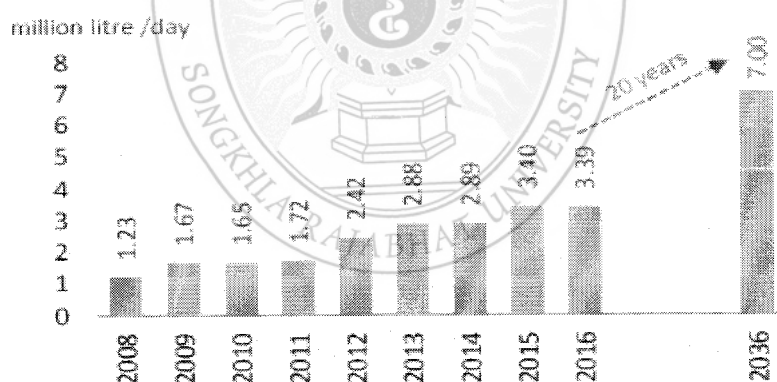
อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทยในปี พ.ศ. 2560-2562 มีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่องตามราคาน้ำมันปาล์มดิบที่มีทิศทางดีขึ้น และความต้องการน้ำมันปาล์มในประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไบโอดีเซล ยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มในปี พ.ศ. 2558-2569 ภายใต้การดำเนินการของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์การเกษตร มีเป้าหมายดังนี้

1) ขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันควบคู่กับการเพิ่มผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยจาก 3.2 ตันเป็น 3.5 ตัน และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตการแปรรูปให้ได้อัตราน้ำมัน ร้อยละ 20 ซึ่งจะส่งผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นรองรับความต้องการในอนาคต

2) เพิ่มอุปสงค์ในประเทศ โดยเพิ่มการใช้น้ำมันเพื่อการบริโภคเฉลี่ย ร้อยละ 3 ต่อปี และเพิ่มการใช้น้ำมันปาล์มเป็นพลังงานทดแทน ขณะเดียวกันจะรักษาระดับการส่งออกน้ำมันปาล์มประมาณ 3-7 แสนตันต่อปี

3) ภายในปี พ.ศ. 2562 รัฐจะผลักดันให้เกิดมาตรฐานน้ำมันปาล์มของอาเซียน (ASEAN Sustainable Palm Oil: ASPO) และผลักดันกฎหมายปาล์มน้ำมันให้มีโครงสร้างถาวรในการขับเคลื่อนวิจัยและพัฒนา

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในปี พ.ศ. 2558–2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) ภายใต้การดำเนินการของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงานกระทรวงพลังงาน ซึ่งอ้างอิงยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มในปี พ.ศ. 2558–2569 โดยพิจารณาจากผลผลิตปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศ และปริมาณน้ำมันปาล์มคงเหลือจากการบริโภค เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลของประเทศในอนาคต มีเป้าหมายการผลิตไบโอดีเซล 7 ล้านลิตรต่อวันในปี พ.ศ. 2579 (ภายใต้สมมติฐานราคาน้ำมันเฉลี่ย 50 เหรียญสหรัฐ/บาร์เรล) ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.3-2



Source: Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2016). Local Press compiled by Krungsri Research

ภาพที่ 2.3-2 การผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

ที่มา: เชษฐชดา เชื้อสุวรรณ (2561)

เกษตรกรปาล์มน้ำมัน : ได้อานิสงส์จากอุปสงค์ปาล์มน้ำมันในประเทศที่มีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่อง และราคาที่จะยังทรงตัวในเกณฑ์ดี อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันอิสระยังมีความเสี่ยงด้านตลาด เนื่องจากไม่มีตลาดรองรับที่แน่นอนเช่นเดียวกับเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน

ที่เป็นลูกไร่ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบและโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ อีกทั้งยังอาจถูกกดราคาจากพ่อค้าคนกลาง

โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบ : ได้อานิสงส์จากโครงสร้างธุรกิจที่เอื้อให้โรงสกัดน้ำมันปาล์มดิบสามารถปรับราคาจำหน่ายตามต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ และความต้องการน้ำมันปาล์มดิบที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แต่กำลังการผลิตส่วนเกินในธุรกิจจะมีผลให้การแข่งขันแย่งชิงวัตถุดิบยังมีอยู่สูง

โรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ : คาดธุรกิจจะยังมีผลกำไรดีตามอุปสงค์น้ำมันปาล์มในประเทศที่ยังเติบโตต่อเนื่อง แต่ราคาน้ำมันถั่วเหลือง (สินค้าทดแทน) ที่อยู่ในระดับต่ำ อาจมีผลให้อัตรากำไรสุทธิของตลาดน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่สูงมากนัก

ผู้ค้าพืชน้ำมันที่ใช้ในการผลิตน้ำมันพืช (ลานเทปาล์มน้ำมัน) : คาดว่าปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยที่เพิ่มขึ้นจะช่วยหนุนรายได้ของกิจการลานเท เนื่องจากเกษตรกรปาล์มน้ำมันในประเทศส่วนใหญ่เป็นรายย่อยพึ่งพาการขายปาล์มน้ำมันผ่านลานเท (สัดส่วนมากกว่า ร้อยละ 75 ของเกษตรกรสวนปาล์มน้ำมันทั่วประเทศ) แต่ความพยายามในการลดต้นทุน การผลิตของโรงกลั่น น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์อาจทำให้โรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์หันมารับซื้อผลผลิตโดยตรงจากเกษตรกรมากขึ้น (เชษฐชุตตา เชื้อสุวรรณ, 2561)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มขยายตัว และเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผลิตนั้นได้จากการนำผลปาล์มน้ำมันมาเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ โดยพื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมัน และโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย และบางส่วนอยู่ในภาคตะวันออกการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดของเสียขึ้นจากกระบวนการผลิตในปริมาณที่มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งหากไม่มีการบำบัดหรือกำจัดของเสียอย่างถูกต้องแล้ว ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

2.3.3 ของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดของเสียใน 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1) ของเสียในรูปของแข็ง เช่น ทะลายปาล์มเปล่า 1.41 ตัน/ตันผลผลิต เส้นใยปาล์ม 0.32 ตัน/ตันผลผลิต กะลาปาล์ม 0.19 ตัน/ตันผลผลิต (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) เป็นต้น ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.3-3 ซึ่งของเสียเหล่านี้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในส่วนหนึ่งของหม้อไอน้ำของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มและก่อให้เกิดของเสียในรูปของเถ้าเป็นจำนวนมากในที่สุด เถ้าที่เกิดขึ้นมีขนาดอนุภาคเล็กน้ำหนักเบา อาจจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายสู่

สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดอย่างถูกวิธีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษทางอากาศซึ่งอาจทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้



ภาพที่ 2.3-3 องค์ประกอบของกะลาปาล์ม

ที่มา: ดัดแปลงจาก เมมียะ ลาล่า (2016)

2) ของเสียในรูปของเหลว (น้ำเสีย) เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มมีการใช้น้ำเป็นปริมาณมาก ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจึงมีปริมาณมากเช่นกัน โดยขั้นตอนสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำเสีย คือ กระบวนการนึ่งและกระบวนการแยกน้ำมันออกจากน้ำมันปาล์มดิบ น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล ประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณสูง รวมทั้งค่า pH อยู่ระหว่าง 4.6-4.8 ค่าสารอินทรีย์ในรูปของ COD อยู่ระหว่าง 70,000-120,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าสารอินทรีย์ในรูปของ BOD อยู่ระหว่าง 30,000-40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากลักษณะ

น้ำเสียดังกล่าวนี้ จึงมีความจำเป็นต้องมีการนำน้ำเสียมาทำการบำบัดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม

2.3.5 แนวทางการนำของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์

1) ส่วนของเหลว (condensate) เป็นน้ำที่เกิดในหม้อหนึ่งทะลายที่มีความดัน ซึ่งใสภาวะความดันดังกล่าวจะทำให้แบ่งในแกนทะลายปาล์มแตกตัวเป็นน้ำตาลได้โดยปกติ ส่วนของเหลวจะถูกแยกน้ำมันออกแล้วระบายสู่บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ดังนั้นหากนำส่วนของเหลวมาทำให้เข้มข้นจะได้โมลาส (molasses) เช่นเดียวกับโมลาสที่ได้จากโรงงานหีบอ้อย

2) ทะลายเปล่า (empty fruit bunch: EFB) เป็นส่วนของทะลายที่สกัดผลปาล์มออกแล้ว ปัจจุบันได้ใช้ทะลายเปล่าเป็นวัสดุในการเพาะเห็ด แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าได้มากกว่าการเพาะเห็ด เนื่องจากในแกนทะลายเปล่านั้นมีเส้นใยที่เหนียวสามารถนำมาใช้ทดแทนเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวได้ นอกจากนี้ทะลายเปล่ายังมีปริมาณธาตุอาหารสูง ไนโตรเจน ประมาณร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสประมาณ ร้อยละ 0.7 และโพแทสเซียมประมาณ ร้อยละ 3 ซึ่งสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพได้

3) เส้นใยปาล์ม (mesocarp fiber) เป็นส่วนของเปลือกนอกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้ว โดยปกติในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลาย และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานเส้นใยเปลือกผลปาล์มมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับทะลายเปล่าแต่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยกว่า (โพแทสเซียมประมาณ ร้อยละ 0.5

4) กากสลัดจ์ (decantor cake) เป็นเศษของเปลือกผลปาล์มหรือสิ่งเจือปนต่างๆที่ปะปนอยู่ในน้ำมันปาล์ม สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกแยกออกในขั้นตอนสุดท้ายของการสกัดน้ำมัน กากสลัดจ์จะมีโปรตีนและแคลเซียมค่อนข้างสูงจะใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับวัวนมนอกจากนั้นยังใช้ผสมกับทะลายเปล่า เปลือกผลปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยหมักได้อีกด้วย

5) กะลา (shell) ในปัจจุบันใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อผลิตไอน้ำ (boiler) กะลาสามารถแปรรูปเป็นถ่านกัมมันต์ (activate carbon) ได้ (ธีระพงศ์ จันทนิยม, 2551)

2.4 วัสดุที่ใช้ในการหมัก

2.4.1 เส้นใยปาล์ม

เป็นส่วนหนึ่งของเปลือกชั้นนอกที่ล้อมรอบกะลาปาล์มไว้ด้านในมีสีเหลืองอมแดงชุ่มด้วยน้ำมันนำไปสกัดเป็นน้ำมันดิบออกมาจนหมดแล้ว ลักษณะเป็นเส้นฝอย หรือขุยเล็ก ๆ โดยปกติใน

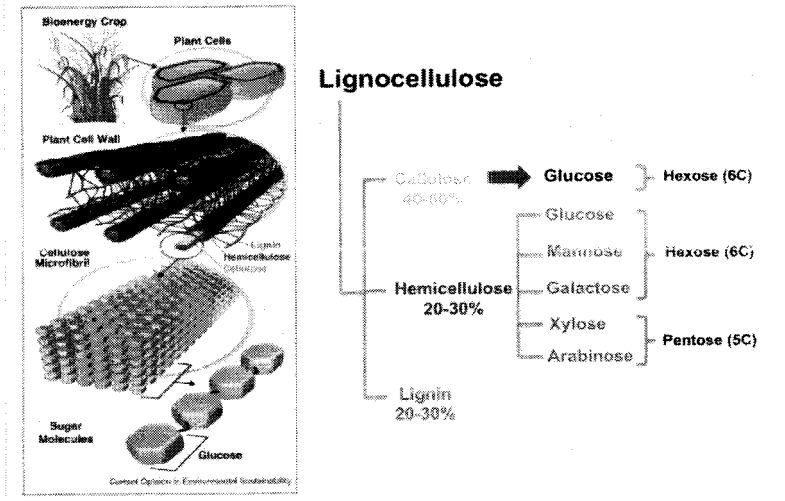
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลาย และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานก่อให้เกิดของเสียในรูปของเถ้าเป็นจำนวนมาก เถ้าที่เกิดขึ้นมีขนาดอนุภาคเล็กน้ำหนักเบา อาจเกิดการฟุ้งกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมจากการศึกษาเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบของชีวมวลจากส่วนต่าง ๆ พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีมวลชีวภาพที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์สูงถึง ร้อยละ 80 และมีองค์ประกอบที่มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เส้นใยเปลือกผลปาล์มมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับทะลายเปล่าแต่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่า (โพแทสเซียมประมาณ ร้อยละ 0.5) จากการสืบค้นข้อมูลพบว่านักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาค่าองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.4-1

ตารางที่ 2.4-1 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยปาล์ม

| องค์ประกอบ | ปริมาณ (ร้อยละ) | | |
|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| | Umikalsom และคณะ (1997) | Rahman และคณะ (2006) | Loboquerrero และคณะ (2007) |
| เซลลูโลส | 50.40 | 42.85 | 46.77 |
| เฮมิเซลลูโลส | 21.90 | 24.01 | 17.92 |
| ลิกนิน | 10.00 | 11.70 | 4.15 |
| เถ้า | 0.50 | 0.55 | - |
| ความชื้น | - | - | - |
| อื่นๆ | 17.20 | 20.92 | - |

2.4.2 องค์ประกอบของเซลล์พืช

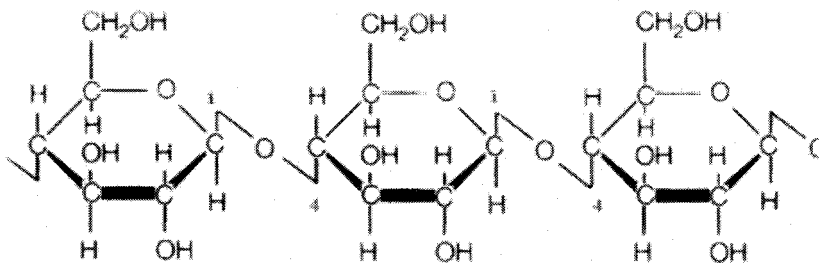
องค์ประกอบของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในอัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.4-1 โดยทั่วไปพบเซลลูโลส ร้อยละ 40-50 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 20-30 และ ลิกนิน ร้อยละ 20-30 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2555) โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.4-1 องค์ประกอบของเซลล์พืช

ที่มา: Lynn Yarris (2009)

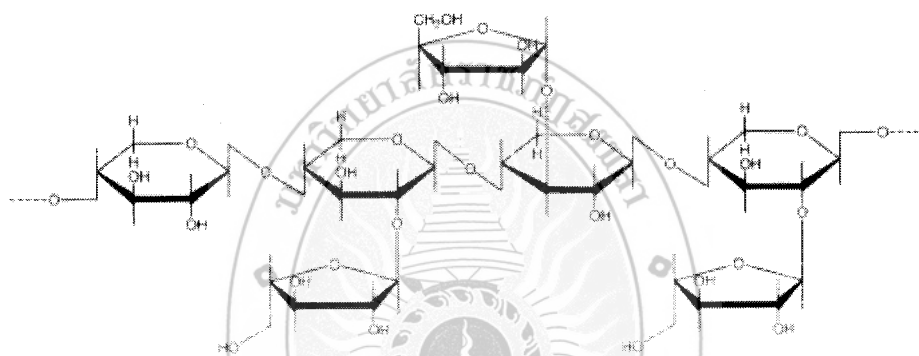
1) เซลลูโลส (Cellulose) เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืช อยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เนื้อไม้พบประมาณร้อยละ 40-50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98 เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-ดี-กลูโคไพรานอส (β -D-Glucopyranose) เชื่อมต่อด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ crystalline cellulose และ amorphous cellulose โดยส่วนของ crystalline cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า amorphous cellulose (เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และคณะ, 2556) สำหรับโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.4-2



ภาพที่ 2.4-2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ที่มา: วนิตา และคณะ (2550)

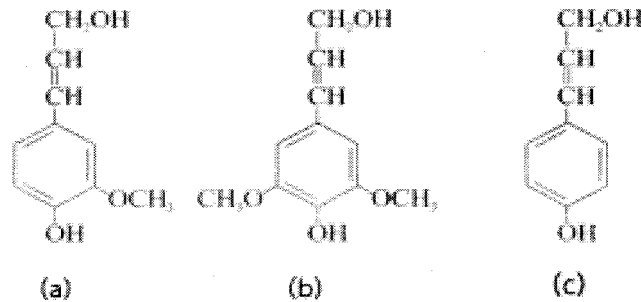
2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไฮโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน (Bastawde et al., 1992) มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไวแลนดี ไฮโลส มีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูคิควโรนิก กรดกาแลกตควโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไฮโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก (อ้างอิงใน Browning, 1963; Bastawde et al., 1992; Altintas et al., 2002) สำหรับโครงสร้างทางเคมีของไซแลนดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.4-3



ภาพที่ 2.4-3 โครงสร้างทางเคมีของไซแลน

ที่มา: Bastawde et al. (1992)

3) ลิกนิน (Lignin) ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืชพบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืชในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่ตกผลึก (Cheng et al., 2008) ประกอบด้วย สารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ประกอบด้วย tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol (Eriksson et al., 1990) นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย เช่น vanillin และ syringaldehyde (Yudkin and Offord, 1993) สูตรโครงสร้างของ tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.4-4



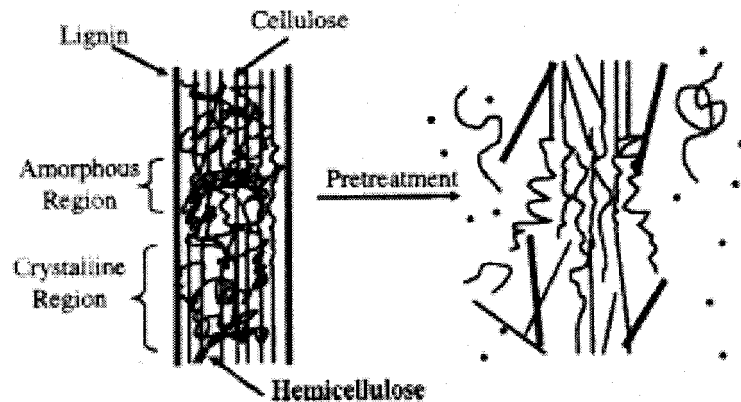
ภาพที่ 2.4-4 สูตรโครงสร้างของ (a) trans-coniferyl alcohol (b) trans-p-sinapyl alcohol และ (c) tran-pcoumaryl alcohol

ที่มา: Eriksson at el. (1990)

2.5 การปรับสภาพวัสดุหมัก

การปรับสภาพวัสดุหมัก (pretreatment) มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อส่งเสริมการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradability) และความพร้อมของวัสดุหมักสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพ (bioavailability) ในสภาวะไร้อากาศ โดยทั่วไปการปรับสภาพวัสดุหมักขั้นต้นช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas yield) ความเร็วในการผลิตก๊าซชีวภาพความสามารถในการย่อยสลายโดยทั่วไปแล้วการปรับสภาพวัสดุหมักจะใช้กับวัสดุที่เป็นของแข็งหรือชีวมวล ชีวมวลในการผลิตพลังงาน เช่น เศษเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษหญ้า ผลิตภัณฑ์ไม้ และพืชพลังงาน เป็นแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนซึ่งสะสมพลังงานจากแสงอาทิตย์ในรูปของพันธะเคมี (chemical bonds) ชีวมวลเหล่านี้ องค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน แตกต่างกันไปตามชนิด (สุเมธ ไชยประพัทธ์, 2560)

กระบวนการปรับสภาพ (pretreatment Process) วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส ในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านกายภาพ คือ ทำให้ชั้นแมทริกซ์ของวัสดุลิกโนเซลลูโลสถูกทำลาย มีผลทำให้เอนไซม์สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส สามารถทำงานได้ง่ายขึ้น กระบวนการปรับสภาพมีความสำคัญเป็นตัววัดความสำเร็จของเทคโนโลยีในการแปลงเซลลูโลส เป็นตัวช่วยแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางพาณิชย์ในการเปลี่ยนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จุดประสงค์ของการปรับสภาพวัตถุดิบ คือ เป็นการกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส และเพิ่มความพรุนให้แก่วัสดุซึ่งกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 2.5-1 และเปรียบเทียบกระบวนการปรับสภาพวัสดุชีวมวล ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.5-1 สามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีหลัก ๆ ดังนี้



ภาพที่ 2.5-1 การปรับสภาพของวัสดุลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Lee et al (2008)

2.5.1 วิธีการปรับสภาพวัสดุทางกายภาพ (Physical pretreatment)

1) การใช้แรงทางกล (mechanical comminution) วิธีการทำให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทุบ การบด การโม้ การเขย่าวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น ความสามารถในการลดขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุ และคุณสมบัติของวัสดุนั้นซึ่งปกติขนาดของเศษวัตถุดิบจะทำให้มีขนาดประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร

2) การไพโรไลซิส (pyrolysis) วิธีการอบที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงให้วัตถุดิบกลายเป็นแก๊สหรือของแข็ง กระบวนการจะทำได้ช้า และการระเหยจะต่ำถ้าใช้อุณหภูมิต่ำจากการวิจัย พบว่า การใช้อุณหภูมิมากไปหรือน้อยไปจะไม่เป็นผลดีจึงต้องมีการวิจัยที่เหมาะสม ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ยังมีข้อมูลที่ค่อนข้างน้อย

3) การใช้ความร้อน (thermal heat treatment) เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบเพื่อทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะใช้อุณหภูมิมากกว่า 150-180 องศาเซลเซียส แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยวัตถุดิบทางความร้อน

2.6.2 วิธีการทางชีวภาพ (biological pretreatment)

เป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส เช่น brown-fungi, white-fungi, และ soft-rot fungi โดย (Dashtban et al., 2009) พบว่ารา เช่น trichoderma reesei และ aspergillus niger สามารถผลิตเอนไซม์ extracellular cellulolytic เป็นจำนวนมาก ในขณะที่แบคทีเรียและราแบบไร้อากาศ 2-3 ชนิด สามารถผลิตเอนไซม์ cellulolytic ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้สามารถย่อยสลายวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสได้เป็นอย่างดี ข้อดีของกระบวนการนี้

คือ ใช้พลังงานน้อย ไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามอัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายและใช้พื้นที่ในการผลิตมาก

2.5.3 วิธีการทางเคมี (Chemical pretreatment)

1) การปรับสภาพด้วยโอโซน (ozonolysis) โอโซนเป็นตัวออกซิแดนท์ ที่มีประสิทธิภาพ และสามารถทำให้เกิดการแตกตัวของลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสในวัสดุพวกฟางข้าวได้ วิธีนี้มีจุดเด่นคือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเอาลิกนินออกได้ดีไม่มีสารพิษที่จะไปยับยั้งการทำปฏิกิริยาในส่วนต่างๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ผลเสียของวิธีนี้ คือค่าใช้จ่ายที่สูงมาก (Sun and Cheng, 2002)

2) การปรับสภาพด้วยกรด (acid pretreatment) กระบวนการปรับสภาพโดยการใช้กรดนั้นมีจุดประสงค์ คือเพื่อให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่สูง จากวัสดุชีวมวลชนิดของกรดที่นำมาปรับสภาพมีมากมายหลายประเภทได้แก่ กรดซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก หรือ ฟอสฟอริก ในกระบวนการปรับสภาพสามารถใช้ได้ทั้งกรดเข้มข้นและเจือจาง เพื่อเพิ่มการทำงานของกระบวนการไฮโดรไลซิสในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบ การใช้กรดเจือจางเป็นวิธีหนึ่งที่มีความสนใจศึกษากันมากและแพร่หลายที่สุด (Mussatto et al., 2005) การใช้กรดเจือจางเพื่อปรับสภาพวัสดุที่อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกมักจะถูกใช้สำหรับการเปลี่ยนวัสดุพวกลิกโนเซลลูโลส ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ ตามด้วยการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อให้เกิดเป็นกลูโคส (Silverstein et al., 2007) ในการใช้กรดเจือจางจะมีอยู่ 2 รูปแบบที่ใช้คือ (1) ปริมาณสารตั้งต้นน้อย (ร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 433 องศาเซลวิน) และ (2) ปริมาณสารตั้งต้นมาก (ร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 433 องศาเซลวิน)

3) การปรับสภาพด้วยด่าง (alkali pretreatment) การใช้ด่างในกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบมีผลต่อวัสดุจำพวกลิกโนเซลลูโลส และผลของด่างที่ใช้ในกระบวนการแปลงสภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของลิกนินที่มีอยู่ในวัสดุนั้นด้วยกลไกการทำงานของด่างนั้นเชื่อว่าจะไปเพิ่มการพองตัวของโมเลกุลภายในต่อสายพันธะภายในของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส ความพรุนของวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการกำจัดสายไซท์ที่เชื่อมต่อกันภายใน การใช้ด่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลส มีผลทำให้เกิดการบวมภายในเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นได้ ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน อย่างไรก็ตามการใช้ด่างเพื่อปรับสภาพมักจะไม่มีผลต่อวัสดุพวกไม้เนื้ออ่อนเท่าไม้เนื้อแข็ง

ต่างที่นิยมใช้ในการแยกกลินิน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Kim et al., 2008)

4) การปรับสภาพด้วยเทคนิคออร์แกนิกโซล्व (organicsolv) ในการแยกส่วนของชีวมวลที่เกาะกันแน่นเป็นโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และกลินินนั้น ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษซึ่งมีวัตถุประสงค์เป็นไม้ เทคนิคนี้จะคล้ายกับ hydrothermal pretreatment หรือ LHW ที่ได้กล่าวข้างต้น แต่จะแตกต่างกันที่มีการใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ในกระบวนการจึงเป็นที่มาของชื่อเทคนิค organicsolv โดยมีข้อได้เปรียบคือ ตัวทำละลายจะเข้าไปไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างกลินินกับเฮมิเซลลูโลส และทำให้สามารถที่จะแยกเอากลินินออกจากชีวมวลในรูปแบบสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพนำไปแยกเพื่อให้ได้สารกลินินบริสุทธิ์ที่มีมูลค่าสูงได้ต่อไป และตัวทำละลายอินทรีย์นี้ ยังสามารถที่จะถูกกลั่นแยกกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้มีข้อเสียน้อย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และโครงสร้างของชีวมวลที่ถูกทำให้มีปริมาตร และพื้นที่ผิวมากขึ้นนี้จะง่ายต่อการโจมตีของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย (Zhao et al., 2009) ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันคือ acetone, methanol, ethanol, butanol, ethylene glycol, formic acid, และ acetic acid ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 40-80 อุณหภูมิ 140-220 องศาเซลเซียส จุดเดือดของตัวทำละลายมีผลต่อความดันในถังปฏิกรณ์ และประสิทธิภาพในการทำละลายโครงสร้างแยกกลินินออกจากชีวมวล กระบวนการ สามารถประยุกต์ได้กับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพกลุ่มที่มีมูลค่าสูง เช่น แอลกอฮอล์ต่าง ๆ โดยการแยกทำลายโครงสร้างของชีวมวลจนได้เป็นเซลลูโลสสามารถที่จะนำไปสู่กระบวนการแปรรูปเป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) ตามด้วยการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.5-1 การเปรียบเทียบกระบวนการปรับสภาพวัสดุชีวมวล

| การปรับสภาพ | วิธีการ | จุดเด่น | จุดด้อย |
|-------------|------------------------|---|--|
| กายภาพ | -Chipping | -ลด cellulose crystallinity | -อาจใช้พลังงานสูงกว่าที่จะได้จากชีวมวล |
| | -Grinding | | |
| | -Milling | | |
| | -Microwave irradiation | -ไม่ต้องใช้สารเคมี | -วิธีเหล่านี้ยังใช้พลังงาน |
| | -Steam explosion | -เพิ่มพื้นที่ผิว และขนาดรูพรุนให้เข้าถึงได้ง่ายขึ้น | ค่อนข้างสูงไม่สามารถกำจัดกลินินได้ |
| | -Hydrothermal | -เกิด auto hydrolysis ในการให้น้ำ | -เกิดสารยับยั้งในกระบวนการต่อเนื่อง |
| | | -ลด cellulose crystallinity | |



ตารางที่ 2.5-1 การเปรียบเทียบกระบวนการปรับสภาพวัสดุชีวมวล (ต่อ)

| การปรับสภาพ | วิธีการ | จุดเด่น | จุดด้อย |
|----------------------|--|---|---|
| เคมี | Acid | -กำจัดเฮมิเซลลูโลสเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล และเปลี่ยนโครงสร้างลิกนิน | -การกัดกร่อนของเครื่องมือ -การก่อตัวของสารพิษในการใช้กรดปรับสภาพ |
| | -H ₂ SO ₄ | | |
| | -HCl | | |
| | Alkaline | -เพิ่มการย่อยสลายของชีวมวล | -เกลือตกค้างในชีวมวลในการใช้ต่างปรับสภาพ |
| | -CaCO ₃ | -เพิ่มพื้นที่ผิวเข้าถึงภายในโครงสร้างของชีวมวล | |
| | -NaOH | | |
| | -Urea | -ใช้ต่างกำจัดลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกได้ดี | |
| | Thermochemical | | |
| | -NaOH/H ₂ SO ₄ at 100 องศาเซลเซียส | -ลด cellulose crystallinity | |
| | H ₂ SO ₄ at 120 องศาเซลเซียส | -ลดระดับของ polymerization | |
| | Organosolv | -Organosolv เก็บกลับลิกนินสูง | |
| | -Hydrothermal + orgasolvent + acid | | |
| | ชีวภาพ | -Fungi (brown, white -and soft-rot fungi) | -ทำลายลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสได้ |
| -Lactic bacteria | | -ใช้พลังงานน้อย | -สูญเสียวัสดุจากการย่อยสลาย |
| -Hydrolytic bacteria | | -ทำให้สภาวะบรรยากาศ | เป็น CO ₂ |
| | | -ไม่เกิดสารยับยั้ง | |

ที่มา: สุเมธ ไชยประพัทธ์ (2560)

๑
๒๕๖๖
๓๔๕

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhao et al. (2009) ศึกษาความก้าวหน้าของกระบวนการ organosolv กระบวนการนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งมีเทคนิคคล้ายกับ hydrothermal pretreatment แต่จะต่างกันว่าตัวทำละลายเป็นสารอินทรีย์จึงเป็นที่มาของ ชื่อเทคนิค organosolv โดยมีข้อได้เปรียบคือ ตัวทำละลายจะเข้าไปไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลสและทำให้สามารถที่จะแยกเอาลิกนินออกจากชีวมวลในรูปแบบสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพนำไปแยกเพื่อให้ได้สารลิกนินบริสุทธิ์ที่มีมูลค่าสูงได้และตัวทำละลายอินทรีย์นี้ยังสามารถที่จะถูกกลั่นแยกกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้มีข้อเสียน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โครงสร้างของชีวมวลที่ถูกทำให้มีปริมาตรและพื้นที่ผิวมากขึ้นจะง่ายต่อการโจมตีของเอนไซม์ หรือจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย

Pan et al. (2007) ศึกษาการปรับสภาพต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยกระบวนการปรับสภาพ โดยใช้เทคนิค organosolv โดยทำการศึกษา (อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของเอทานอล, ปริมาณกรดซัลฟิวริก และเวลาในการทำปฏิกิริยา) โดยมีสภาวะที่อยู่ระหว่าง 173-207 องศาเซลเซียส 15-66 นาที ร้อยละ 2.3-5.7 บนไม้อบแห้ง (w/w) และความเข้มข้นของเอทานอล 33-67 (v/v) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ กรดซัลฟิวริก เอทานอล มีผลต่อผลผลิตสารประกอบของลิกนิน และน้ำตาล ช่วยเพิ่มการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของเอนไซม์โซลเวออลลิกนิน แต่ยังไม่ช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำตาลเพนโตส

Hesami et al. (2015) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้นทานตะวันแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำการศึกษาการปรับสภาพโดยใช้เทคนิค organosolv ที่อุณหภูมิ (140-200 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 และ 60 นาที โดยมีไม่มีการเติมกรดซัลฟิวริก ร้อยละ 1 สามารถทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงขึ้น ร้อยละ 45-124 จากการย่อยสลายของลำต้นทานตะวันที่ผ่านการใช้ isopropanol ร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถกำจัดลิกนินได้สูงที่สุด

Saeed et al. (2014) ศึกษาการปรับสภาพต้นข้าวฟ่างหวานเพื่อผลิตเอทานอล และก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคนิค organosolv ที่อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส ในกรณีที่มีหรือไม่มีกรดซัลฟิวริก (เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) โดยใช้เอทานอล (เป็นตัวทำละลายอินทรีย์) เป็นเวลา 30 นาที ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นระยะเวลา 50 วัน ได้ก๊าซมีเทน 278 L CH₄/g-VS เพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนได้ร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับผลผลิตของก๊าซมีเทนที่ได้จากต้นข้าวฟ่างหวานที่ไม่ปรับสภาพ และทำการผลิตเอทานอล จากต้นข้าวฟ่างหวาน ต้นข้าวฟ่างหวานที่ปรับสภาพมีผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุด (ร้อยละ 70) สามารถเพิ่มผลผลิตเอทานอลได้ ร้อยละ 65.7 เมื่อเทียบกับผลผลิตเอทานอลที่ได้จากต้นข้าวฟ่างหวานไม่ปรับสภาพ

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไช้เส้ง (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากไบโอยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและศักยภาพของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน อัตราส่วนที่ผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุดคือ อัตราส่วน 0.1 ที่ใช้วัสดุหมักผักตบชวาเพียงอย่างเดียวผลิตก๊าซมีเทนได้ $85.90 \text{ L CH}_4/\text{kg-TS}$ ซึ่งดีกว่าการใช้วัสดุหมักสองอย่างเพราะผักตบชวาให้จะให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่าไบโอยางพารา

Sumet et al. (2013) ศึกษาผลการผสมผสานของอัตราส่วนที่ใช้ อัตราส่วน 3:1 ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพของหญ้าพาราและปุ๋ยหมุ่คอก และทดสอบศักยภาพของก๊าซมีเทนที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อประเมินผลของอัตราส่วนของการผสมระหว่างหญ้าพารา และมูลสุกรร่วมด้วยการย่อยวิธีต่างๆ หัวเชื้อที่มีการผสมระหว่างหญ้าพารา และมูลสุกรมีความสามารถในการเกิดมีเทน $41.4 \text{ ml CH}_4/\text{g-VS}$ มากกว่าเชื้อจากฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว $37.3 \text{ ml CH}_4/\text{g-VS}$



บทที่ 3

วิธีการวิจัย

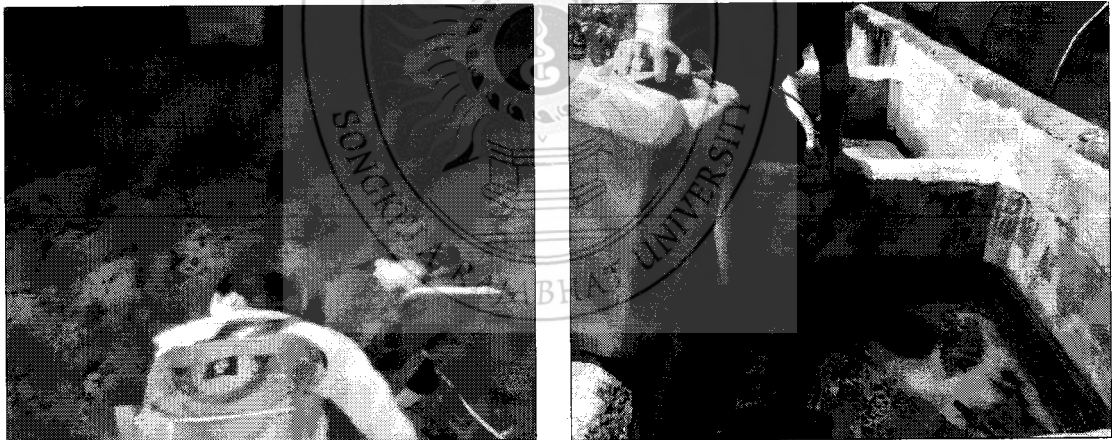
3.1 ขอบเขตการวิจัย

3.1.1 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

1) พื้นที่เก็บตัวอย่างวัสดุหมักและลักษณะของวัสดุ ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงาน ปาล์มน้ำมัน บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด ตำบลอุโดเจริญ อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล

1.1) เส้นใยปาล์ม : เส้นใยปาล์มได้มาจากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์ม ภาพที่ 3.1-1 (ก)

1.2) หัวเชื้อจุลินทรีย์ : ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากระบบบำบัดไร้อากาศ ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน ภาพที่ 3.1-1 (ข)



(ก) เส้นใยปาล์ม

(ข) ตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ภาพที่ 3.1-1 ลักษณะของวัสดุหมักที่นำมาใช้ในการทดลอง

2) สถานที่ทำการทดลอง

- ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
- อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์สิรินธร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.2 ประเด็นการศึกษา

1) การวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยปาล์มจากโรงงานปาล์ม นำมาร่อนแยกขนาด เลือกเส้นใยที่มีขนาด 1-2 มิลลิเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ เก็บในถุงพลาสติก ทำการวิเคราะห์ TS VS องค์ประกอบของธาตุ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เป็นต้น ก่อนนำไปใช้ในงานวิจัย

2) การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล

การศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในระบบหมักไร้อากาศแบบกะ โดยดำเนินการปรับสภาพโดยใช้เอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ควบคุมอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส ดำเนินการปรับสภาพเป็นเวลา 30 นาทีเมื่อทำการปรับสภาพเสร็จสิ้น ทำการกรองแยกตัวอย่างเพื่อของแข็งกับของเหลว นำของแข็งไปล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI) จนมีสภาวะเป็นกลาง นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง เก็บในถุงพลาสติก

3) การหมักก๊าซชีวภาพ

ทำการศึกษาการย่อยสลายและผลผลิตก๊าซมีเทนของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอลแล้ว โดยใช้วิธี Biochemical Methane Potential (BMP) เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการหมักแบบกะ

4) ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเมินความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายเส้นใยปาล์ม และการเพิ่มศักยภาพในการผลิตมีเทน

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.2-1 และ ตารางที่ 3.2-2
 ตารางที่ 3.2-1 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) | Bossmann /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) เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี | 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

| ชื่อสารเคมี | สูตรโมเลกุล/เกรด |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1) เอทานอล | C_2H_6O/AR |
| 2) แอมโมเนียคลอไรด์ | NH_4Cl /AR |
| 3) ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต | K_2HPO_4/AR |
| 4) แมกนีเซียมซัลเฟต | $MgSO_4 \cdot H_2O /AR$ |
| 5) แคลเซียมคลอไรด์ | $CaCl_2 \cdot 2H_2O/ AR$ |
| 6) Yeast extract | Yeast extract /AR |
| 7) ไอร์ออน (II) คลอไรด์ | $FeCl_2 \cdot 4H_2O /AR$ |
| 8) กรดบอริก | $H_3 BO_3 /AR$ |
| 9) ซิงค์ (II) คลอไรด์ | $ZnCl_2 /AR$ |
| 10) คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ | $CuCl_2 \cdot 2H_2O /AR$ |
| 11) แมงกานีสคลอไรด์ | $MnCl_2 \cdot 4H_2O /AR$ |
| 12) แอมโมเนียมโมลิบเดต | $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O/ AR$ |
| 13) อะลูมิเนียมคลอไรด์ | $AlCl_3 \cdot 6H_2O/AR$ |
| 14) คาร์บอนิลคลอไรด์ | $CoCl_2 \cdot 6H_2O /AR$ |
| 15) โซเดียมไบคาร์บอเนต | $NaHCO_3 /AR$ |
| 16. ไฮโดรคลอริก | HCl /AR |
| 17) แอมโมเนียมฟลูออไรด์ | NH_4F /AR |
| 18) กรดแอสคอร์บิก | Ascorbic acid /AR |
| 19) แอนทิโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรต | $K(Sbo)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O /AR$ |
| 20) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต | $KH_2 PO_4 /AR$ |
| 21) โพแทสเซียมซัลเฟต | $K_2 SO_4 /AR$ |
| 22) กรดซัลฟูริก | $H_2 SO_4 /AR$ |
| 23) โซเดียมไฮดรอกไซด์ | $NaOH /AR$ |
| 24) โบรมอกลิซอลกรีน | Bromocresol green /AR |
| 25) เมธิลเรด | methylred /AR |
| 26) โซเดียมคาร์บอเนต | Na_2CO_3 /AR |

3.3 วิธีการวิจัย

ดำเนินการวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3.3.1 การเตรียมวัสดุหมัก (เส้นใยปาล์ม)

1) เส้นใยปาล์ม ภาพที่ 3-1

1.1) นำเส้นใยปาล์มจากโรงงานปาล์มน้ำมัน มาผึ่งแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

1.2) ร่อนแยกขนาดเส้นใยปาล์ม ทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร เพื่อเลือกเส้นใยขนาด 1-2 มิลลิเมตร

1.3) นำเส้นใยขนาด 1-2 มิลลิเมตร ที่ได้ไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.4) นำเส้นใยปาล์มเก็บใส่ถุงซิปล็อค แล้วเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์ ภาพที่ 3.3-1

2.1) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์ มาบรรจุไว้ในถังฝาปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2) เมื่อหัวเชื้อจุลินทรีย์เกิดการแยกชั้นแล้ว รินน้ำเอาส่วนที่เป็นน้ำใสทิ้ง แล้วเหลือไว้แต่ตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์

2.3) ดำเนินการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ (วิธีการไล่ก๊าซออกจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ผค) หลังจากนั้นเก็บหัวเชื้อจุลินทรีย์ ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และปราศจากแสงเพื่อป้องกันไม่ให้หัวเชื้อจุลินทรีย์ตาย



(ก) เส้นใยปาล์มขนาด 1-2 mm



(ข) หัวเชื้อจุลินทรีย์

ภาพที่ 3.3-1 วัสดุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ

3.3.2 วิเคราะห์สมบัติของวัสดุในการหมักก๊าซชีวภาพ

วิเคราะห์สมบัติของวัสดุในการหมักก๊าซชีวภาพ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่

3.3-1

ตารางที่ 3.3 -1 พารามิเตอร์ที่วัด ก่อน-หลัง การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

| พารามิเตอร์ | วิธีการ |
|--|-------------------------------|
| ของแข็งทั้งหมด (Total solids :TS) | วิธี Gravimetric method |
| ของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids :TVS) | วิธี Gravimetric method |
| ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) | วิธี Kjeldahl method |
| ปริมาณฟอสฟอรัส (P) | วิธี Bray II method |
| ปริมาณโพแทสเซียม (ส่งวิเคราะห์ ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์ กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) | วิธี Flame photometric method |

3.3.3 การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

ดำเนินการศึกษาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม โดยเลือกความเข้มข้นเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ดำเนินการปรับสภาพโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากดำเนินการปรับสภาพเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการวิเคราะห์เส้นใยปาล์มหลังปรับสภาพ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3-1

3.3.4 การหมักก๊าซชีวภาพ

การหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มจากการปรับสภาพด้วยเอทานอล, ชุดควบคุม และชุดเปรียบเทียบ เลือกใช้อัตราส่วน (หัวเชื้อจุลินทรีย์:เส้นใยปาล์ม) 3:1 ควบคุมอุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3-2 มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ชุดควบคุม โดยหมักชุดควบคุมจำนวน 1 ชุด
 - ชุดที่ 1 หมักหัวเชื้อเชื้อจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว
- 2) ชุดเปรียบเทียบ โดยหมักชุดเปรียบเทียบจำนวน 1 ชุด
 - ชุดที่ 1 หมักเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพกับหัวเชื้อจุลินทรีย์
- 3) ชุดการทดลอง โดยหมักชุดการทดลองจำนวน 3 ชุด

- ชุดที่ 1 หมักเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลร้อยละ 10 กับหัวเชื้อจุลินทรีย์
- ชุดที่ 2 หมักเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 กับหัวเชื้อจุลินทรีย์
- ชุดที่ 3 หมักเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 กับหัวเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 3.3-2 อัตราส่วนระหว่างหัวเชื้อจุลินทรีย์กับเส้นใยปาล์ม

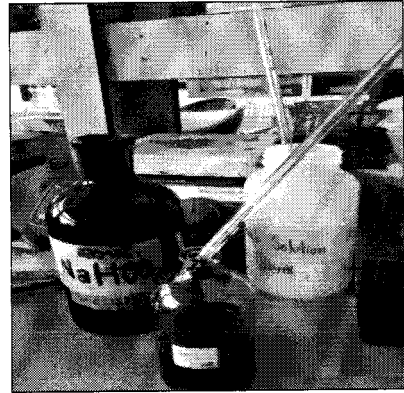
| การทดลองที่ | อัตราส่วนวัสดุหมัก | หัว | เส้นใยปาล์ม | เส้นใยปาล์ม |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | หัวเชื้อจุลินทรีย์ : เส้นใยปาล์ม | เชื้อจุลินทรีย์ (g VS/g TS) | ไม่ปรับสภาพ (g VS/g TS) | ปรับสภาพ (g VS/g TS) |
| ชุดควบคุม 1 | 3:0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 |
| ชุดเปรียบเทียบ 1 | 3:1 | 1.5 | 0.5 | 0.0 |
| ชุดการทดลอง 1 | 3:1 | 1.5 | 0.0 | 0.5 |
| ชุดการทดลอง 2 | 3:1 | 1.5 | 0.0 | 0.5 |
| ชุดการทดลอง 3 | 3:1 | 1.5 | 0.0 | 0.5 |

วิธีการหมักก๊าซชีวภาพ ดำเนินการดังนี้

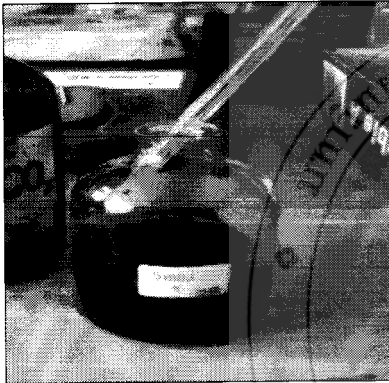
- 1) ชั่งน้ำหนักเส้นใยปาล์ม ตามอัตราส่วนที่ต้องการใส่ลงในขวดหมักก๊าซขนาด 120 ml โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ 1.5 g VS/g TS และเส้นใยปาล์ม 0.5 g VS/g TS
- 2) นำหัวเชื้อจุลินทรีย์มาควนด้วย Magnetic Stirrer ตูดหัวเชื้อจุลินทรีย์ด้วยปิเปตต์ ตามปริมาตรที่คำนวณไว้ล่วงหน้า
- 3) เติม Stock Solution 0.6 มิลลิลิตร, Buffer Solution 6.0 มิลลิลิตร ก่อนเติมน้ำกลั่น (ปริมาตรที่ทำการหมัก 60 มิลลิลิตร - (ปริมาณหัวเชื้อจุลินทรีย์+Stock Solution 0.6 มิลลิลิตร , Buffer Solution 6.0 มิลลิลิตร ที่ใช้) ปรับ pH ด้วย HCl ร้อยละ 7 ให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.2
- 4) ปิดฝาขวด ล็อคฝาขวด ต่อเข็ม และทรีเวย์ ก่อนนำตัวอย่างไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการหมักครบ 24 ชั่วโมง ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวันจนแน่ใจว่าปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.3-2



(ก) เติมวัสดุหมัก



(ข) เติม Stock Solution, Buffer Solution



(ค) ปรับปริมาตร 60 ml



(ง) วัด pH



(จ) ขูดขวดหมักก๊าซชีวภาพ



(ฉ) นำขวดหมักเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิ

ภาพที่ 3.3-2 วิธีการหมักก๊าซชีวภาพ

3.4 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.4.1 การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจะวัดหลังหมักครบ 24 ชั่วโมง โดยใช้กระบอกฉีดยาที่มีสเกลสามารถใช้อ่านค่าได้ การเก็บก๊าซชีวภาพทำได้โดยต่อกระบอกฉีดยาเข้ากับทรีเวย์ จากนั้นใช้มือข้างที่ถนัดปิดวาล์ว และใช้มืออีกข้างประคองหลอดแก้ว ก๊าซจะดันขึ้นไป เมื่อหลอดแก้วนิ่งให้ทำการปิดวาล์วที่ทรีเวย์แล้วดึงกระบอกฉีดยาออกมาต่อกับเข็มฉีดยาฉีดเข้าไปในหลอดเก็บตัวอย่างก๊าซ

3.4.2 การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน

วิเคราะห์ปริมาณมีเทนโดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟียี่ห้อ Shimadzu Model GC14 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 มีเทน ร้อยละ 60 ไนโตรเจน ร้อยละ 5 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 35

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ตัวอย่างใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) หาค่าแนวโน้มสู่ส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย; mean) การกระจายข้อมูล (เบี่ยงเบนมาตรฐาน; Standard Deviation; SD) และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค ANOVA

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมัน ในอัตราส่วน (หัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์ม) 3:1 เพื่อหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพ และให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด ซึ่งผลการศึกษา มีรายละเอียด ดังนี้

4.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย

ของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์จะถูกใช้เป็นส่วนอาหารของจุลินทรีย์ใช้ในการสร้างก๊าซมีเทน โดยการเดินระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนความเข้มข้นของแข็งไม่ควรเกิน ร้อยละ 10 (Total solids :TS) (สำนักงานวิจัยและค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

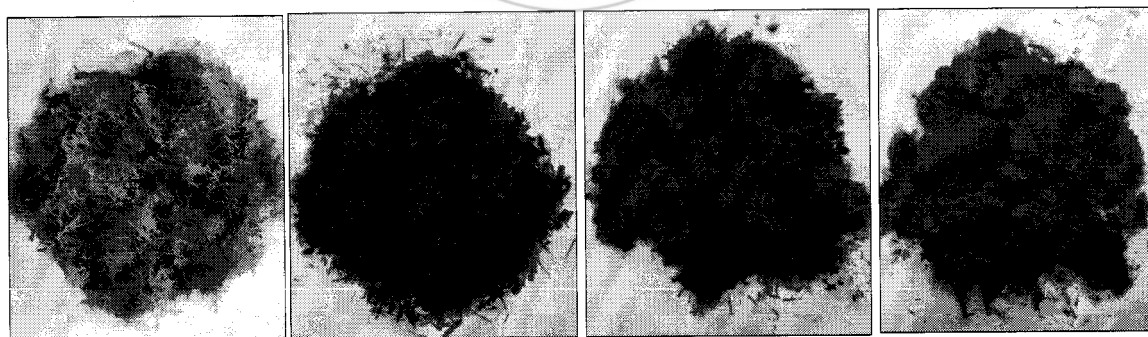
จากการศึกษา พบว่า เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 0.959 g TS/g Fresh ของแข็งระเหยง่าย 0.817 g VS/g TS อัตราส่วน เท่ากับ VS/TS 85.19 ส่วนเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล ร้อยละ 10, 30 และ 50 พบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่ายพบมากที่สุดในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 0.973 g TS/g Fresh ของแข็งระเหยง่าย 0.923 g VS/g TS อัตราส่วน VS/TS เท่ากับ 94.86 รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 0.972 g TS/g Fresh ของแข็งระเหยง่าย 0.922 g VS/g TS อัตราส่วน เท่ากับ VS/TS 94.86 และน้อยที่สุดในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 0.968 g TS/g Fresh ของแข็งระเหยง่าย 0.905 g VS/g TS อัตราส่วน เท่ากับ VS/TS 93.49 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1-1

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย ของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 กับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งระเหยง่าย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ตารางที่ 4.1-1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยง่าย

| พารามิเตอร์ | เส้นใยปาล์ม ความเข้มข้นของเอทานอลในการปรับสภาพ (ร้อยละ) | | | |
|--|---|------------|------------|------------|
| | ไม่ปรับสภาพ | เอทานอล 10 | เอทานอล 30 | เอทานอล 50 |
| ของแข็งทั้งหมด (Total solids :TS) (g TS/g Fresh) | 0.959 | 0.972 | 0.973 | 0.968 |
| ของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids : TVS) (g VS/g TS) | 0.817 | 0.922 | 0.923 | 0.905 |

เส้นใยปาล์มไปปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีลักษณะดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.1-1 จากนั้นนำมากรองแยกของแข็งกับของเหลว ของแข็งที่ได้จะนำไปทำการหมักก๊าซชีวภาพในขั้นตอนต่อไป



(ก) ไม่ปรับสภาพ (ข) เอทานอล ร้อยละ 10 (ค) เอทานอล ร้อยละ 30 (ง) เอทานอล ร้อยละ 50

ภาพที่ 4.1-1 ลักษณะเส้นใยปาล์มก่อน และหลังการปรับสภาพด้วยเอทานอล

4.2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม

ธาตุอาหารมีความจำเป็นต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ความเข้มข้นของธาตุอาหารมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระบบ การกำหนดช่วงค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ต้องการเป็นเรื่องยาก เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีความต้องการธาตุอาหารแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารจะต้องมีเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ทุกกลุ่ม เช่น กลุ่มไฮโดรไลซิส กลุ่มสร้างกรด กลุ่มผลิตอะซิเตท และกลุ่มผลิตมีเทน

4.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด (N)

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้ในการสร้างเซลล์และเอนไซม์ซึ่งเป็นพวกโปรตีน เพื่อใช้ในการดำเนินกิจกรรมภายในเซลล์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณไนโตรเจนพบสูงที่สุดในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีปริมาณไนโตรเจน ร้อยละ 0.72 รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 มีปริมาณไนโตรเจน ร้อยละ 0.66 0.64 และ 0.20 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2-1

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลง เนื่องจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพจะโดนความร้อนเข้าไปทำลายโครงสร้างของพืชจึงทำให้แร่ธาตุถูกชะออกมา จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลมีปริมาณลดลง เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 จะมีปริมาณไนโตรเจนหายไป ร้อยละ 8.33 11.11 และ 72.22 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล และเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 อย่างไรก็ตามการหายไปของปริมาณไนโตรเจนในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลจะไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมากนัก เนื่องจากถ้ามีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าความต้องการไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะไปยังยังการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และในกรณีที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงมากอาจทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลงอย่างรวดเร็วความต้องการไนโตรเจนของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศในการสร้างเซลล์นั้นจะต่ำมาก จุลินทรีย์ชนิด ไร้อากาศมีอัตราการเจริญและสร้างเซลล์ต่ำ หากเป็นการทดลองระยะสั้น ผลของการขาดแคลนธาตุอาหารจะยังไม่ปรากฏ การผลิตก๊าซมีเทน

จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสารอินทรีย์ในวัสดุหมักมากกว่า ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นสำคัญ ซึ่งจะเป็นแหล่งคาร์บอนที่จะนำไปสู่การสร้างมีเทน

4.2.2 ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสร้าง ATP (adenosine teiphosphate) และ NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณฟอสฟอรัส สูงสุดในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 7.58 รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 มีปริมาณฟอสฟอรัส ร้อยละ 3.65 3.35 และ 2.99 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2-1

ผลการศึกษา พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสจะพบสูงที่สุดในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีปริมาณฟอสฟอรัส ร้อยละ 7.58 รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 มีปริมาณฟอสฟอรัส ร้อยละ 3.65 3.35 และ 2.99 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2-1

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสลดลง เนื่องจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพจะโดนความร้อนเข้าไปทำลายโครงสร้างของพืชจึงทำให้แร่ธาตุถูกชะออกมา จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลมีปริมาณลดลง เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 จะมีปริมาณฟอสฟอรัสหายไป ร้อยละ 51.32 56.58 และ 60.53 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 กับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ ๑๐ อย่างไรก็ตามการหายไปของปริมาณฟอสฟอรัสของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล จะไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมากนัก เนื่องจากความต้องการฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศในการสร้างเซลล์นั้นจะต่ำมาก เนื่องจากจุลินทรีย์ไร้อากาศมีอัตราการเจริญและสร้างเซลล์ต่ำนั่นเอง หากเป็นการทดลองระยะสั้นผลของการขาดแคลนธาตุอาหารจะยังไม่ปรากฏ เนื่องจากเซลล์จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองยังมีธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาหมักร่วมได้ การผลิตก๊าซมีเทนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสารอินทรีย์ในวัสดุหมักมากกว่า ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นสำคัญ ซึ่งจะเป็นแหล่งคาร์บอนที่จะนำไปสู่การสร้างมีเทน

4.2.3 โฟแทสเซียม (K)

โฟแทสเซียมจะมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย ซึ่งถ้ามีความเข้มข้นพอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย แต่ถ้ามากเกินไปจนเกินไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ผลการวิเคราะห์ พบว่าปริมาณโฟแทสเซียม พบสูงที่สุดในเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีปริมาณโฟแทสเซียม ร้อยละ 3.18 รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 มีปริมาณโฟแทสเซียม ร้อยละ 0.11 0.06 และ 0.05 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2-1

จากการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มจะทำให้ปริมาณโฟแทสเซียมลดลง เนื่องจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพจะโดนความร้อนเข้าไปทำลายโครงสร้างของพืชจึงทำให้แร่ธาตุถูกชะออกมา จึงทำให้ปริมาณโฟแทสเซียมของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลมีปริมาณลดลง เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 จะมีปริมาณโฟแทสเซียมหายไป ร้อยละ 96.54 98.11 และ 98.43 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโฟแทสเซียมในเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 กับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 อย่างไรก็ตามการหายไปของปริมาณโฟแทสเซียมของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล จะไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากโฟแทสเซียมเป็นสารประกอบที่เป็นพิษจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ แต่ถ้ามีโฟแทสเซียมในปริมาณที่พอเหมาะจะเป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.2-1 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โฟแทสเซียม

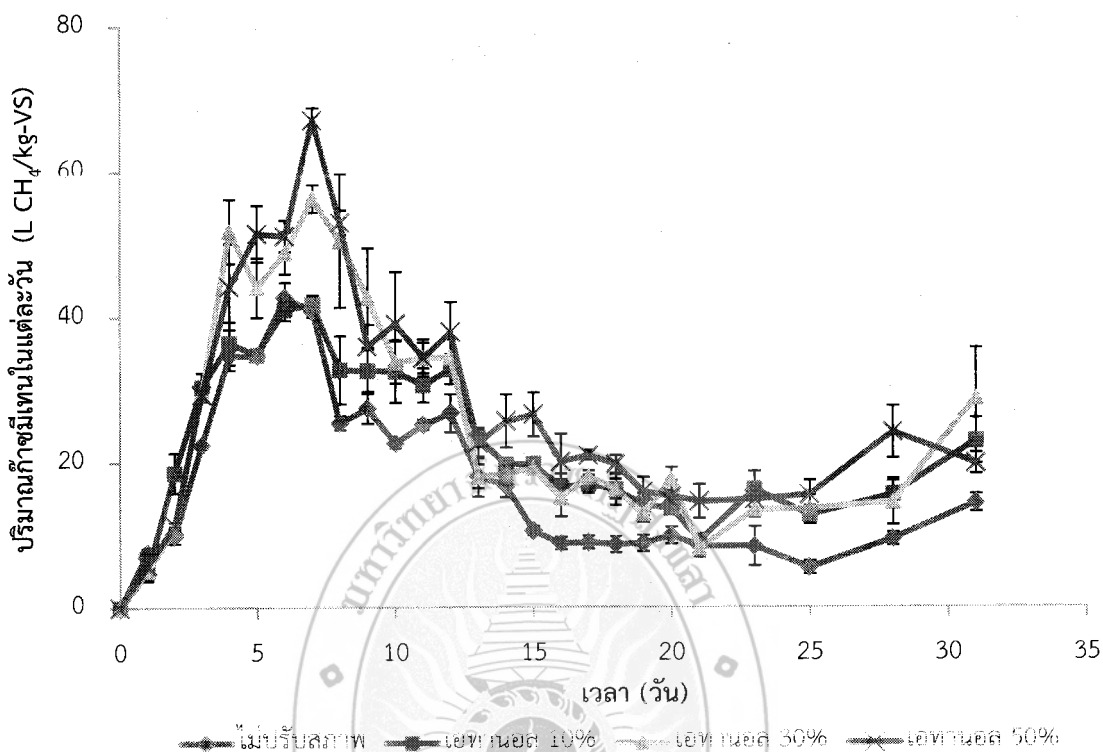
| ปริมาณธาตุอาหาร (ร้อยละ) | เส้นใยปาล์ม | องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์ม (ร้อยละ) | | |
|-----------------------------|-------------|--|------------|------------|
| | ไม่ปรับสภาพ | เอทานอล 10 | เอทานอล 30 | เอทานอล 50 |
| ไนโตรเจนทั้งหมด (N) | 0.72 | 0.66 | 0.6 | 0.20* |
| ฟอสฟอรัส (P) | 7.58 | 3.65* | 3.35* | 2.99* |
| โฟแทสเซียม (K) | 3.18 | 0.11* | 0.06* | 0.05* |

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 กับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

4.3 ผลความเข้มข้นเอทานอลที่มีผลต่อผลผลิตก๊าซมีเทน

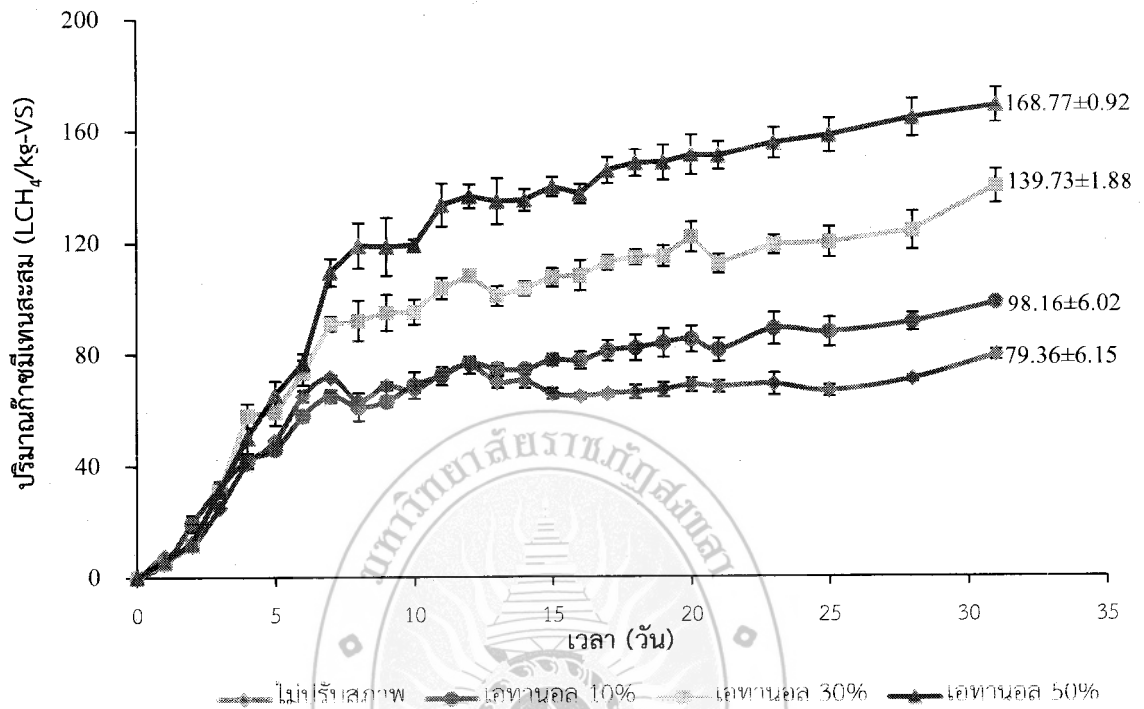
จากการศึกษาศักยภาพในการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน โดยหาได้จากการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน มาทำการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน โดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (GC) ก๊าซมาตรฐานที่ใช้ คือ ก๊าซผสมมีเทน ร้อยละ 60 ไนโตรเจน ร้อยละ 5 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 35 แล้วนำมาแสดงในรูปแบบของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.3-1 จากการศึกษาพบว่า เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลจะให้ผลผลิตก๊าซมีเทนที่สูงกว่าเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 จะเริ่มให้ผลผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 5.86 LCH₄/kg-VS ผลผลิตก๊าซมีเทนจะสูงที่สุดในช่วงวันที่ 5-8 เท่ากับ 67.14 L CH₄/kg-VS ปริมาณก๊าซมีเทนลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 14.57 L CH₄/kg-VS เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 จะเริ่มให้ผลผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 5.16 LCH₄/kg-VS ผลผลิตก๊าซมีเทนจะสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6-7 เท่ากับ 56.35 L CH₄/kg-VS จะมีปริมาณก๊าซมีเทนลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 8.09 L CH₄/kg-VS เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 จะเริ่มให้ผลผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 4.97 L CH₄/kg-VS ผลผลิตก๊าซมีเทนจะสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6-7 เท่ากับ 41.75 L CH₄/kg-VS จะมีปริมาณก๊าซมีเทนลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 9.20 L CH₄/kg-VS ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะเริ่มให้ผลผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 7.60 L CH₄/kg-VS ผลผลิตก๊าซมีเทนจะสูงที่สุดในช่วงวันที่ 6-7 เท่ากับ 42.69 L CH₄/kg-VS และปริมาณก๊าซมีเทนจะเริ่มลดลงต่ำที่สุดในช่วงวันที่ 11-13 ของการหมัก

เมื่อทำการศึกษาวัดผลผลิตปริมาณก๊าซมีเทนอย่างต่อเนื่อง พบว่า เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 ผลิตก๊าซมีเทนได้สูงที่สุด รองลงมาคือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 และ 10 ตามลำดับ เป็นเพราะว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้ทำการเปลี่ยนโครงสร้างของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลให้อยู่สภาวะที่เหมาะสมต่อการหมัก ซึ่งทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลล์ลูโลสได้ง่ายขึ้น ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จะมีผลผลิตก๊าซมีเทนลดลงจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายได้น้อยลง ทำให้ผลิตก๊าซมีเทนลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีนั้นถูกย่อยจนเกือบหมดแล้ว



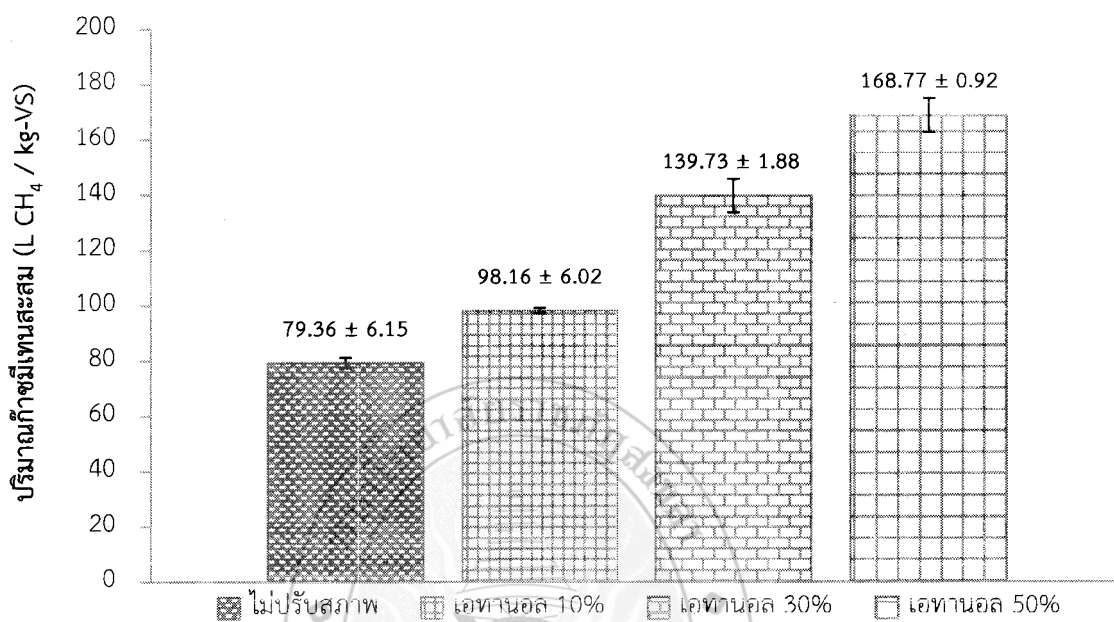
ภาพที่ 4.3-1 ปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนของเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล และเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

จากการศึกษาปริมาณก๊าซมีเทนสะสม พบว่า การปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 สามารถผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้สูงที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 168.77 L CH₄/kg-VS รองลงมา ได้แก่ การปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 และ 10 โดยมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 139.73 และ 98.16 L CH₄/kg-VS ตามลำดับ ภาพที่ 4.3-2 และ ภาพที่ 4.3-3 ในขณะที่เส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณก๊าซมีเทนสะสม 79.36 L CH₄/kg-VS จะเห็นได้ว่าการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล มีผลทำให้ความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.3-2 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

จากการศึกษาความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการปรับสภาพมีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบจากปริมาณผลผลิตก๊าซมีเทนสะสมที่ได้จากจากการหมักก๊าซชีวภาพ โดยใส่วัสดุหมักเป็นเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล กับเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 เป็นสภาวะที่ดีที่สุด สามารถผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้ 168.77 L CH₄/kg-VS ซึ่งเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้ 2.1 เท่า รองลงมา คือ เส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอล ร้อยละ 30 และ 10 ผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้ 139.73 และ 98.16 L CH₄/kg-VS ตามลำดับ และสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้ 1.7 และ 1.2 เท่า ตามลำดับ ซึ่งผลผลิตของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกับก๊าซมีเทนที่เกิดจากเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 4.3-3



ภาพที่ 4.3-3 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนสะสมระหว่างเส้นใยปาล์มที่ไม่ปรับสภาพ กับเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มศักยภาพในการผลิตผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ควบคุมอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการปรับสภาพ 30 นาที ทำการหมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในระบบไร้อากาศจากโรงงานปาล์มน้ำมัน ในอัตราส่วน (หัวเชื้อจุลินทรีย์ต่อเส้นใยปาล์ม) 3:1 ทำการหมักแบบกะ จากการศึกษา พบว่า การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล ร้อยละ 50 เป็นสถานะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถผลิตก๊าซมีเทนสะสมได้สูงสุด เท่ากับ 168.77 L CH₄/kg-VS ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนได้ 2.1 เท่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ลูลอส ลิกนิน ในเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอล ระหว่างก่อนหมักก๊าซชีวภาพและหลังหมักที่ส่งผลต่อปริมาณการผลิตก๊าซมีเทน

5.2.2 ควรมีการศึกษาทำการแยกเอาลิกนินออกจากของเหลวที่ได้จากกระบวนการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล เพื่อให้ได้ลิกนินบริสุทธิ์ที่มีมูลค่าสูงได้ต่อไป

5.2.3 ควรมีการศึกษาการกลั่นตัวทำละลายอินทรีย์กลับมาใช้ใหม่ เพื่อทำให้มีของเสียน้อยลง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

5.2.4 ควรมีการศึกษาเพื่อนำวัสดุหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยไปปรับปรุงดินหรือตกแต่งเป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้ เนื่องจากวัสดุหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยจากระบบมีความเสถียร เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เน่าเสียได้ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพหมดแล้ว ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายไม่มีกลิ่น และได้ dig estate กากหรือน้ำที่เหลือจากระบบมีธาตุอาหาร (N, P และK) สามารถนำวัสดุไปปรับปรุงดินได้

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 2558-2579 (Online). <http://www.dede.go.th>, 15 สิงหาคม 2560.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน. พลังงานก๊าซชีวภาพ (Online). <http://www.dede.go.th>, 15 สิงหาคม 2560.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (Online). http://www.diw.go.th/km/safety/pdf/biogas_2.pdf, 10 มีนาคม 2561
- กรีน เอ็นเนอร์ยี เน็ทเวอร์ค จำกัด. ระบบก๊าซชีวภาพ. ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ (Online). <http://www.greenenergynet.net/th/biogassystem>, 15 สิงหาคม 2560.
- เชษฐชุกดา เชื้อสุวรรณ. (2561). อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม. วิจัยกรุงศรี (Online) https://www.krungsri.com/Oil_Palm_2018_IH.aspx, 15 สิงหาคม 2560.
- ธีระพงศ์ จันทนิยม. (2551). กระบวนการรั่วของเสียในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม. หาดใหญ่วิชาการ (Online). <http://www.natres.psu.ac.th>, 10 สิงหาคม 2560.
- นิรารรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไช้เส็ง. (2559). การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน. ปริญาวิทยาสตรบัณฑิต โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- ปิยนุช เปี้ยคง. (2557). การศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากทะเลสาบปาล์มเปล่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เมมมิยะ ลาล่า. (2016). องค์ประกอบของทะเลสาบปาล์ม (Online). <https://prezi.com>, 5 พฤศจิกายน 2560
- วนิดา ปานอุทัย, นิคม แหลมสัก, และประมุข ภระกุลสุขสถิตย์. (2553). การผลิตเอทานอลจากไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาล และหมักพร้อมกัน. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร: กรุงเทพฯ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และ รัชพล พะวงศรีรัตน์. (2555). การปรับสภาพผักตบชวาและจอกด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับด่างและกระบวนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เพื่อการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ ปีที่ (10), 173-184
- สุภาวดี ผลประเสริฐ. (2557). “การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล”. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ (22), 641-649.
- สุเมธ ไชยประพัทธ์. (2560). เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพประยุกต์ เพื่อบำบัดของเสียผลิตพลังงานและหมუნเวียนทรัพยากรชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สหมิตรพัฒนาการพิมพ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2561). ปาล์มน้ำมัน (Online). <http://www.oae.go.th>, 10 มีนาคม 2561
- Bastawde, K.B. (1992). Xylan structure microbial xylanases and their mode of action. *J. of Microbiol. and Biotechnol.* 8: 355-368
- Boopathy, R., (1998). **Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors.** *Bioresour. Technol.* 64, 1-6.
- Browing, B.L. (1963). **Method in wood chemistry**, pp.389-407. Interscience Publishers, New York, London.
- Cheng, K.K., J.A. Zhang., W.X. Ping., and J.M. Xu. (2008). Sugarcane Bagasse Mild Alkaline/Oxidative Pretreatment for Ethanol Production by Alkaline Recycle Process. *Biochem Biotechnol.* 151: 43-50.
- Dashtban, M., Schraft, H. and Qin, W., (2009). **Fungal bioconversion of lignocellulosic residues; opportunities & perspectives.** *Int. J. Biol. Sci.* 5: 578-595
- Dechrugsa, S., Kantachote, D., and Chaiprapat, S. (2013). Effects of inoculum to substrate mix ratio and inoculum source on batch co-digestion of grass and pig manure. Bangkok Thailand.
- Eriksson, K.E.L. (1990). **Biotechnology in the pulp and paper industry.** *Wood Science and Technology* 24: 79-101

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Hesami, S.M., Zilouei, H., K. and Asadinnezhad, A. (2015). Enhanced biogas Production from sunflower stalks using hydrothermal and organosolv pretreatment. **Industrial Crops and Products** 76: 449-445.
- Kim, T.H., F. Taylor and K.B. Hicks. 2008. **Bioethanol Production from Barley Hull Using SSA (Soaking in Aqueous Ammonia) Pretreatment**. *Bioresource Technology*. 99:5694-5702.
- Lee, J.S., B. Parameswaran., J.P. Lee and S.C. Park. (2008). Recent Developments of Key Technologies on Cellulosic Ethanol Production. **Journal of Scientific & Industrial Research**. 67:865-873.
- Lynn Yarris. (2009). องค์ประกอบของเซลล์พืช (Online). <https://www2.lbl.gov/Publications>, 15 สิงหาคม 2560.
- Mussatto, S.I., G. Dragone and I.C. Roberto. (2005). Influence of the toxic compounds present in brewer's spent grain hemicellulosic hydrolysate on xylose-to-xylitol bioconversion by *Candida guilliermondii*. **Process Biochem.** 40: 3801-3806.
- Pan, X., Xie, D., Yu, R., Lam, D. and Saddler, J.N. (2007). Pretreatment of lodgepole Pine killed by mountain pine beetle using the ethanol organosolv process: fractionation and process optimization. **Industrial & Engineering Chemistry**. 46 (8): 2609-2617.
- Rahman S.H.A., Choudhury J.P., Ahmad A.L and Kamaruddin A.H., **Optimization Studies on acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch fiber for Production of xylose**. *Bioresource Technology*. 98 (2007) 554-559.
- Saeed. O., Keikhosro. K., and Akram. Z. (2015). Efficient conversion of sweet sorghum stalks to biogas and ethanol using organosolv pretreatment. **Chemical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan**. 66 (5): 170-177

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Silverstein, R.A., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R.R., Boyette, M.D., Osborne, J., (2007).
A comparison of chemical pre-treatment methods for improving
saccharification of cotton stalks. *Bioresource Technology*, 98, 3000-3011
- Sun, Y. and Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for bioethanol
production. *Bioresour. Technol.* 83, 1-11.
- Umikalsom M.S., Ariff A.B., Zulkifli H.S., Tong C.C., Hass M.A. and Karim M.I.A. (1997).
The Treatment of oil palm empty fruit bunch for subsequent as
substrate for Cellulose production by *Chaetomium globosum*. *Bioresource
Technology*, 62: 1-9.
- Yudkin, M. and Offord, R. (1973). *Comprehensible biochemistry*. American ed **Biochemistry
Bibliography**. 547-550.
- Zhao, X., Cheng, K. and Liu, D. (2009). Organosolv pretreatment of lignocellulosic
enzymatic hydrolysis. *Applied Micrology and Biotechnology*. 82 (5): 815.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

แบบเสนอโครงร่างวิจัย



โครงร่างวิจัยเฉพาะทาง

1. **ชื่อโครงการ** การเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มโดยการปรับสภาพด้วยเอทานอล
Enhancing the Potential of Biogas Production from Palm Fiber by Ethanol Pretreatment
2. **สาขาวิชา** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)
3. **ชื่อผู้วิจัย** นางสาว สุพัตรา ชูเปีย รหัสนักศึกษา 574232033
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
นางสาว อรสา นาน่าน รหัสนักศึกษา 574232036
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
4. **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

| | |
|-----------------------------|--|
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | ดร. สุชีวรรณ ยอยรัฐรอบ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร. บุญญา ชาญนอก สถาบันวิจัยระบบพลังงาน สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

5. ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการลดลงของปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้ทุกประเทศให้ความสนใจกับการผลิตพลังงานทดแทน โดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศ เพื่อผลิตพลังงานมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยในปี พ.ศ. 2558 รัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงาน จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2558–2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) เพื่อกำหนดกรอบและทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ โดยมีเป้าหมาย เพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ภายในปี พ.ศ. 2579 ภายใต้ต้นทุนพลังงานที่เหมาะสม และสร้างความพึงพอใจให้กับทุกภาคส่วนที่จะใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายจะผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ 600 เมกะวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเสีย และวัสดุต่าง ๆ จากภาคเกษตรกรรมอยู่ทั่วไป เช่น น้ำเสีย ขยะจากอุตสาหกรรม มูลสัตว์ หรือพืชต่าง ๆ การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหล่านี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตปาล์มนี้ เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิภาคที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน และภูมิภาคที่ผลิตปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทย คือ ภาคใต้มีเนื้อที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันยืนต้น จำนวน 3,941,355 ไร่ จังหวัดที่มีเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมันยืนต้นมากที่สุด คือ สุราษฎร์ธานี รองลงมาได้แก่ กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช พังงา ตรัง สตูล และระนอง ตามลำดับ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้นที่อยู่ในตระกูล *Palmae* และชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* สำหรับประเทศไทยปาล์มน้ำมันได้กลายเป็นพืชที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ปาล์มน้ำมันจะเป็นพืชอุตสาหกรรมที่จำเป็นและได้มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยได้หันมาใช้พลังงานทดแทนจากพืช เพื่อช่วยลดการใช้ น้ำมันปิโตรเลียม โดยพลังงานทดแทนที่นิยมใช้ คือ ไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลนั้นส่วนใหญ่จะใช้ปาล์มน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลนั้นเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ โดยพลังงานจะมีศักยภาพสูงที่ไม่แตกต่างจากน้ำมันปิโตรเลียมมากนัก และที่สำคัญก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามการผลิตน้ำมันจากปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นแต่ผลที่ตามมาคือ วัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตก็จะมีเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งในกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันนั้นได้ปาล์มน้ำมันดิบอยู่ประมาณ ร้อยละ 18-22 ซึ่งจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับบริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง อุตสาหกรรมสกัดปาล์ม น้ำมัน พบว่ามีของเสียในกระบวนการสกัดน้ำมันมากกว่า 70-80% ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใยเปลือกผลปาล์ม กากสลัดจ์ รวมถึงน้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม ซึ่งของเสียเหล่านี้จะเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อม (ธีระพงศ์ จันทนิยม, 2551)

เส้นใยปาล์ม (Palm pericarp fiber) เป็นส่วนเปลือกนอกของผลปาล์มเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาถูก หรือแทบไม่มีราคาในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะมีเศษเหลือทิ้ง เป็นเส้นใยปาล์มเป็นจำนวนมาก ในอดีตเส้นใยปาล์มมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากเป็นที่วางไข่ของด้วงแรด ซึ่งเป็นแมลงที่กัดกินยอดปาล์ม และยอดมะพร้าว ในปัจจุบันโรงงานจะนำเส้นใยปาล์มไปเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้ยากเนื่องจากเส้นใยปาล์มมีความชื้นสูง ก่อให้เกิดของเสียในรูปของเถ้าเป็นจำนวนมาก เถ้าที่เกิดขึ้นมีขนาดอนุภาคเล็กน้ำหนักเบาจะเกิดการฟุ้งกระจายสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยปาล์ม เนื่องจากเส้นใยปาล์มมีปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูง ทำให้เส้นใยปาล์มเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพได้ จากการศึกษาของค้ประกอบของเส้นใยปาล์มพบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ร้อยละ 36.7 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 35.8 และลิกนิน ร้อยละ 18.6 แต่การที่จะนำเส้นใยปาล์มมาผลิตก๊าซชีวภาพมันจะมีปัญหาในการย่อย เนื่องจากลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติก ที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืชในธรรมชาติ ลิกนินเป็นส่วนที่มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์ ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสได้ กระบวนการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นได้ยาก (จีณะนุช เป็ยคง, 2557) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการปรับสภาพเส้นใยปาล์มเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยเน้นการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอลเป็นกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เข้าไปไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส ทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น เป็นวิธีการปรับสภาพที่มีข้อเสียน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Zhao et al., 2009) งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 30 และ 50 ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ก่อนที่จะนำมาหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีการหมักร่วม ซึ่งใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศจากโรงงานปาล์มน้ำมันในการหมักร่วมกับเส้นใยปาล์ม เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การนำของเสียจากเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์นอกจากเป็นการป้องกันรักษาสภาพแวดล้อมแล้วยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม รายได้ดังกล่าวสามารถใช้เป็นต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ (ปาล์มทะเล) ในโอกาสต่อไปได้อีกด้วย

6. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม
2. เพื่อศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับด้วย

เอทานอล

7. สมมติฐาน

การปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มได้

8. ตัวแปร

ตัวแปรต้น : ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

ตัวแปรตาม : ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตัวแปรควบคุม : วิธีการหมัก อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม
2. ทำให้ได้ผลผลิตก๊าซชีวภาพตลอดจนเป็นการลดปริมาณของเสียจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
3. ทำให้ทราบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีต่อกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์ม โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากปอหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์มน้ำมันหมักร่วมกับเส้นใยปาล์มและการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

10. ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยปาล์มจากโรงงานปาล์ม นำมาร้อนแยกขนาดอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ เก็บในถุงพลาสติกก่อนนำไปใช้ในงานวิจัย ทำการวิเคราะห์ TS VS องค์ประกอบของธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น

2. การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในระบบหมักไร้อากาศแบบกะ บังคับที่ทำการศึกษามีดังนี้

เอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ดำเนินการปรับสภาพโดยผสมเส้นใยปาล์มกับเอทานอล จากนั้นบรรจุลงใน ถังปฏิกรณ์ขนาด 500 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการปรับสภาพเสร็จสิ้น ทำการกรองแยกตัวอย่างเพื่อของแข็งกับของเหลว นำของแข็งไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) จนมีสภาวะเป็นกลางอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จนแห้ง เก็บในถุงพลาสติกก่อนนำไปใช้ในงานวิจัย ทำการวิเคราะห์ TS VS องค์ประกอบของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น

3. ศึกษาศักยภาพการย่อยสลายของวัสดุหมักแบบกะเพื่อผลิตมีเทน

ทำการศึกษาการย่อยสลายและผลผลิตก๊าซมีเทนของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอลแล้ว โดยใช้วิธี Biochemical Methane Potential (BMP) เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการหมักแบบกะ

4. ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเมินความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม การเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายเส้นใยปาล์ม และการเพิ่มศักยภาพในการผลิตมีเทน

11. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักเส้นใยปาล์มร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยไม่ใช้อากาศ
2. การปรับสภาพด้วยเอทานอล คือ เป็นการปรับสภาพของวัตถุดิบด้วยเอทานอลร่วมกับการให้ความร้อนภายใต้แรงดันสูง
3. เส้นใยปาล์ม คือ ส่วนที่ได้จากกระบวนการบีบหรือการสกัดน้ำมัน ส่วนของเส้นใยปาล์มที่ใช้จะเป็นส่วนที่มีสีน้ำตาล
4. การหมักแบบกะ (แบตช์) คือ การหมักที่มีการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียวตลอดระยะเวลาในการหมักแล้วปล่อยให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจนหมด เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลงอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดการเจริญเติบโต
5. สารอาหารเสริม (Nutrient solution) คือ สารอาหารที่ใช้เติมลงในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ ได้แก่ NH_4Cl , K_2HPO_4 , MgSO_4 , yeast extract และ trace element solution เป็นต้น

12. ตรวจสอบเอกสาร

Zhao et al. (2009) ศึกษาความก้าวหน้าของกระบวนการ organosolv กระบวนการนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งมีเทคนิคคล้ายกับ Hydrothermal pretreatment แต่จะต่างกันว่าตัวทำละลายจะใช้เป็นสารอินทรีย์ จึงเป็นที่มาของ ชื่อเทคนิค organosolv โดยมีข้อได้เปรียบคือ ตัวทำละลายจะเข้าไปไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างลิกนินกับเฮมิเซลลูโลส และทำให้สามารถที่จะแยกเอาลิกนินออกจากชีวมวลในรูปแบบสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปแยกเพื่อให้ได้สารลิกนินบริสุทธิ์ที่มีมูลค่าสูงได้และตัวทำละลายอินทรีย์นี้ยังสามารถที่จะถูกกลั่นแยกกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้มี

ข้อเสียน้อยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โครงสร้างของชีวมวลที่ถูกทำให้มีปริมาตรและพื้นที่ผิวมากขึ้นจะง่ายต่อการโจมตีของเอนไซม์หรือจุลินทรีย์เข้าย่อยสลาย

Pan et al. (2007) ศึกษาการปรับสภาพต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยกระบวนการ organosolv โดยทำการศึกษา (อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเอทานอล ปริมาณกรดซัลฟิวริก และเวลาในการทำปฏิกิริยา) โดยมีสภาวะที่อยู่ระหว่าง 173-207 องศาเซลเซียส 15-66 นาที ร้อยละ 2.3-5.7 บนไม้อบแห้ง (w/w) และความเข้มข้นของเอทานอล 33-67 (v/v) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิกรดซัลฟิวริก เอทานอลมีผลต่อผลผลิตสารประกอบของลิกนิน และน้ำตาล ช่วยเพิ่มการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของเอ็นไซม์โซลเวอลลิกนิน แต่ยังช่วยเพิ่มผลผลิตน้ำตาลเพนโตส

Hesami et al. (2015) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากต้นทานตะวันแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำการศึกษาการปรับสภาพโดยใช้กระบวนการ organosolv ที่อุณหภูมิ (140-200 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 และ 60 นาที โดยมีไม่มีการเติมกรดซัลฟิวริก ร้อยละ 1 จากการหมักหลังการทำ organosolv สามารถทำให้ได้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงขึ้น ร้อยละ 45-124 จากการย่อยสลายของลำต้นทานตะวัน ที่ผ่านการใช้ isopropanol ร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่สามารถกำจัดลิกนินได้สูงที่สุด

Saeed et al. (2014) ศึกษาการปรับสภาพต้นข้าวฟ่างหวานเพื่อผลิตเอทานอล และก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคนิค organosolv ที่อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส ในกรณีที่มีหรือไม่มีกรดซัลฟิวริก (เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) โดยใช้เอทานอล (เป็นตัวทำละลายอินทรีย์) เป็นเวลา 30 นาที ทำการหมักก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 50 วัน ได้ก๊าซมีเทน 278 ml CH₄/g-VS เพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนได้ ร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับผลผลิตของก๊าซมีเทนที่ได้จากต้นข้าวฟ่างหวานที่ไม่ปรับสภาพ และทำการผลิตเอทานอล จากต้นข้าวฟ่างหวาน ต้นข้าวฟ่างหวานที่ปรับสภาพมีผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุด (ร้อยละ 70) สามารถเพิ่มผลผลิตเอทานอลได้ ร้อยละ 65.7 เมื่อเทียบกับผลผลิตเอทานอลที่ได้จากต้นข้าวฟ่างหวานไม่ปรับสภาพ

นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไช้เส้ง. (2559) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากไบโอยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและศักยภาพของอัตราส่วนวัสดุหมักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน อัตราส่วนที่ผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุดคืออัตราส่วน 0:1 ที่ใช้วัสดุหมักผักตบชวาเพียงอย่างเดียว สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 85.90 L CH₄/kg-TS ซึ่งดีกว่าการใช้วัสดุหมักสองอย่างเพราะผักตบชวาให้จะให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่าไบโอยางพารา

Dechruga et al. (2013) ศึกษาผลการผสมผสานของอัตราส่วนที่ใช้ อัตราส่วน 3:1 ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพของหญ้าพาราและปุ๋ยหมูกอก และทดสอบศักยภาพของก๊าซมีเทน (BMP) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อประเมินผลของอัตราส่วนของการผสมระหว่างหญ้าพาราและมูลสุกรร่วมด้วยการย่อยวิธีต่างๆ หัวเชื้อที่มีการผสมระหว่างหญ้าพาราและมูลสุกรมีความสามารถในการเกิดมีเทน 41.4 ml CH₄/g-VS มากกว่าเชื้อจากฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว 37.3 ml CH₄/g-VS

13. วิธีการดำเนินงานวิจัย

13.1 วิธีดำเนินการ

1) เตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้เส้นใยปาล์มจากโรงงานปาล์มนำมาร่อนแยกขนาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ เก็บในถุงพลาสติกก่อนนำไปใช้ในงานวิจัย ทำการวิเคราะห์ TS VS องค์ประกอบของธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น

2) การปรับสภาพเส้นใยปาล์ม

เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในระบบหมักไร้อากาศแบบกะ ปัจจัยที่ทำการศึกษา มีดังนี้

เอทานอล ร้อยละ 10 30 และ 50 ดำเนินการปรับสภาพโดยผสมเส้นใยปาล์มกับเอทานอล จากนั้นบรรจุลงใน ถังปฏิกรณ์ขนาด 500 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการปรับสภาพเสร็จสิ้น ทำการกรองแยกตัวอย่างเพื่อของแข็งกับของเหลว นำของแข็งไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) จนมีสภาวะเป็นกลาง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งเก็บในถุงพลาสติก ก่อนนำไปใช้ในงานวิจัย ทำการวิเคราะห์ TS VS องค์ประกอบของธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น

3) ศึกษาศักยภาพการย่อยสลายของวัสดุหมักแบบกะเพื่อผลิตมีเทน

ทำการศึกษาการย่อยสลายและผลผลิตก๊าซมีเทนของเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอทานอลแล้ว โดยใช้วิธี Biochemical Methane Potential (BMP) เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการหมักแบบกะ

4) ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเมินความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยปาล์มการเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายเส้นใยปาล์ม และการเพิ่มศักยภาพในการผลิตมีเทน

13.2 วัสดุอุปกรณ์

ตารางที่ 13.-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) | Bossmann /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 Instrument / T80 |
| 8. เครื่องย่อยไนโตรเจน | Buchi |
| 9. เครื่องกลั่นไนโตรเจน | Buchi |
| 10. เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี | 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 | |

13.3 สารเคมี

ตารางที่ 13-2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

| ชื่อสารเคมี | สูตรโมเลกุล/เกรด |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. เอทานอล | C_2H_6O/AR |
| 2. แอมโมเนียมคลอไรด์ | NH_4Cl /AR |
| 3. ไดโพแทสเซียมฟอสเฟต | K_2HPO_4/AR |
| 4. แมกนีเซียมซัลเฟต | $MgSO_4 \cdot H_2O /AR$ |
| 5. แคลเซียมคลอไรด์ | $CaCl_2 \cdot 2H_2O/ AR$ |
| 6. Yeast extract | Yeast extract /AR |
| 7. ไอร์ออน (II) คลอไรด์ | $FeCl_2 \cdot 4H_2O /AR$ |
| 8. กรดบอริก | $H_3 BO_3 /AR$ |
| 9. ซิงค์ (II) คลอไรด์ | $ZnCl_2 /AR$ |
| 10. คอปเปอร์ (II) คลอไรด์ | $CuCl_2 \cdot 2H_2O /AR$ |
| 11. แมงกานีสคลอไรด์ | $MnCl_2 \cdot 4H_2O /AR$ |
| 12. แอมโมเนียมโมลิบเดต | $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O/ AR$ |
| 13. อะลูมิเนียมคลอไรด์ | $AlCl_3 \cdot 6H_2O/AR$ |
| 14. คาร์บอนิลคลอไรด์ | $CoCl_2 \cdot 6H_2O /AR$ |
| 15. โซเดียมไบคาร์บอเนต | $NaHCO_3 /AR$ |
| 16. ไฮโดรคลอริก | HCL /AR |
| 17. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ | $NH_4 F /AR$ |
| 18. กรดแอสคอร์บิก | Ascorbic acid /AR |
| 19. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์ทเรต | $K(Sbo)C_4H_4O_6 \cdot 5H_2O /AR$ |
| 20. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต | $KH_2 PO_4 /AR$ |
| 21. โพแทสเซียมซัลเฟต | $K_2 SO_4 /AR$ |
| 22. กรดซัลฟูริก | $H_2 SO_4 /AR$ |
| 23. โซเดียมไฮดรอกไซด์ | $NaOH /AR$ |
| 24. โบรมอกีซอลกรีน | Bromocresol green /AR |
| 25. เมธิลเรด | methylred /AR |
| 26. โซเดียมคาร์บอเนต | Na_2CO_3 /AR |

14. แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2560 | | | | | | | | | | 2561 | | | | | | | | |
|------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11-3* | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| รวบรวมข้อมูลและตรวจสอบเอกสาร | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| สอบโครงร่างวิจัย | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| สอบรายงานความก้าวหน้า | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| วิเคราะห์ผลและสรุปผล | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| การเขียนเล่มวิจัย | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| สอบและแก้ไขเล่มวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

*หมายเหตุ : ดำเนินการฝึกประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560-มีนาคม 2561

15. งบประมาณ

| รายการ | งบประมาณตลอดโครงการ |
|--------------------------------------|---------------------|
| ค่าใช้สอย | |
| ค่าบริการสืบค้นข้อมูล | 1,000 |
| ค่าวิเคราะห์ข้อมูล | 5,000 |
| ค่าวัสดุ | |
| ค่าน้ำมันรถ | 1,000 |
| ค่าอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย | 3,000 |
| ค่าวัสดุสำนักงาน/ค่าถ่ายเอกสาร | 2,000 |
| รวม | 12,000 |

16. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 2558-2579** (Online). <http://www.dede.go.th>, 15 สิงหาคม 2560.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน. พลังงานก๊าซชีวภาพ** (Online). <http://www.dede.go.th>, 15 สิงหาคม 2560.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม** (Online). http://www.diw.go.th/km/safety/pdf/biogas_2.pdf, 10 มีนาคม 2561
- นิรวรรณ ยิ้มมงคล และเสาวลักษณ์ ไช้เส้ง. (2559). **การผลิตก๊าซชีวภาพจากใบยางพาราและผักตบชวาโดยการหมักร่วมกับมูลโคสำหรับใช้ในครัวเรือน**. ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- ปิยนุช เปี้ยคง. (2557). **การศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากทะเลสาบปาล์มเปล่า**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Dechruaga, S., Kantachote, D., and Chaiprapat, S. (2013) **Effects of inoculum to, substrate mix ratio and inoculum source on batch co-digestion of grass and pig manure**. Bangkok Thailand.
- Hesami, S.M., Zilouei, H., K. and Asadinnezhad, A. (2015). **Enhanced biogas Production from sunflower stalks using hydrothermal and organosolv pretreatment**. **Industrial Crops and Products** 76: 449-445.
- Pan, X., Xie, D., Yu, R., Lam, D. and Saddler, J.N. (2007). **Pretreatment of lodgepole Pine killed by mountain pine beetle using the ethanol organosolv process: fractionation and process optimization**. **Industrial & Engineering Chemistry**. 46 (8): 2609-2617.
- Saeed, O., Keikhosro, K., and Akram, Z. (2015). **Efficient conversion of sweet sorghum stalks to biogas and ethanol using organosolv pretreatment**. **Chemical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan**. 66 (5): 170-177
- Zhao, X., Cheng, K. and Liu, D. (2009). **Organosolv pretreatment of lignocellulosic enzymatic hydrolysis**. **Applied Micrology and Biotechnology**. 82 (5): 815.



ภาคผนวก ข

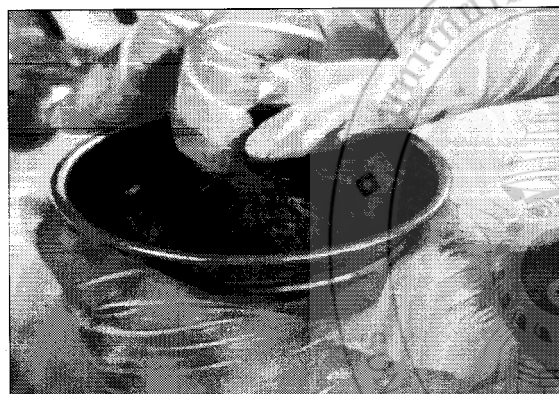
ภาพประกอบการดำเนินงานวิจัย



ก. เส้นใยปาล์มจากโรงงานปาล์มน้ำมัน



ข. นำเส้นใยปาล์มมาผึ่งแดด 48 hr



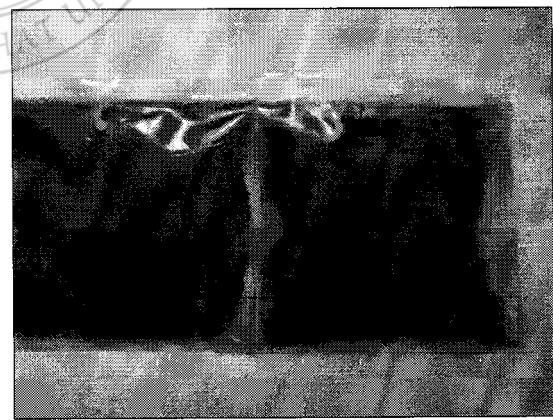
ค. ร่อนแยกขนาดเส้นใยปาล์ม



ง. เลือกเส้นใยขนาด 1-2 mm

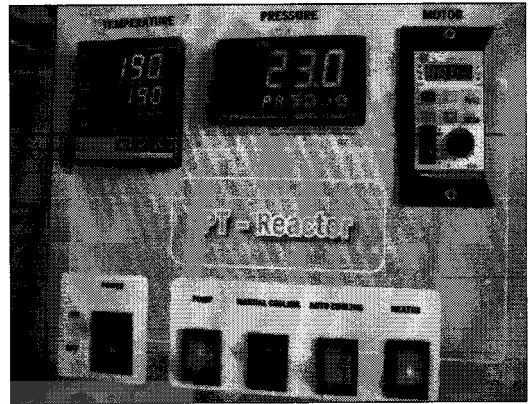
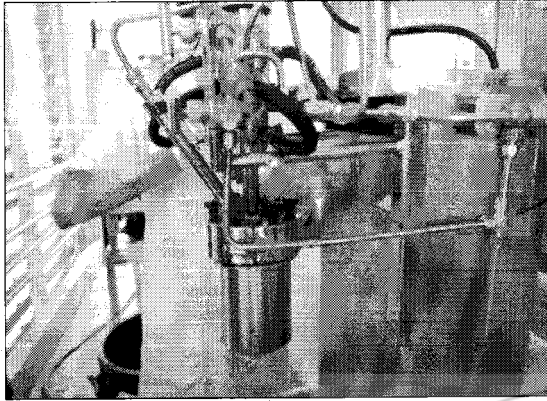


จ. อบแห้งเส้นใยปาล์ม ที่อุณหภูมิ 60°C

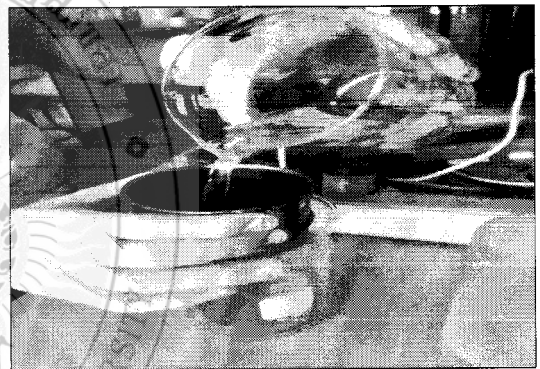
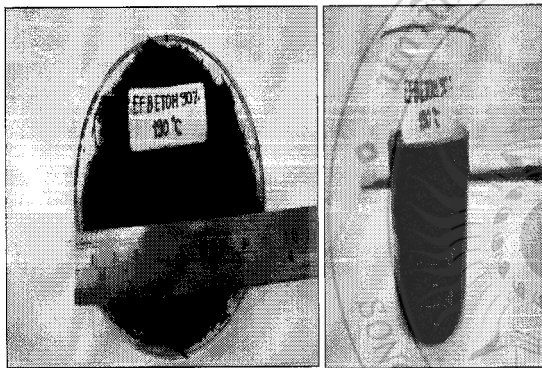


ฉ. ชั่งน้ำหนัก บรรจุไว้ในถุงซิปล

ภาพที่ ผข-1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยปาล์ม

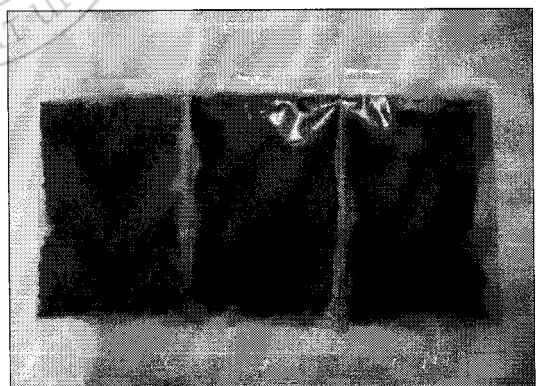


ก. บรรจุเส้นใยปาล์ม และเอทานอล ลงในถังปฏิกรณ์ ข. ควบคุมอุณหภูมิที่ 190°C 30 min



ค. กรองแยกของแข็ง กับของเหลว

ง. ล้างของแข็งด้วยน้ำ DI จนมีสถานะเป็นกลาง



จ. อบของแข็งที่อุณหภูมิ 60°C

ฉ. ชั่งน้ำหนัก บรรจุไว้ในถุงซิปล

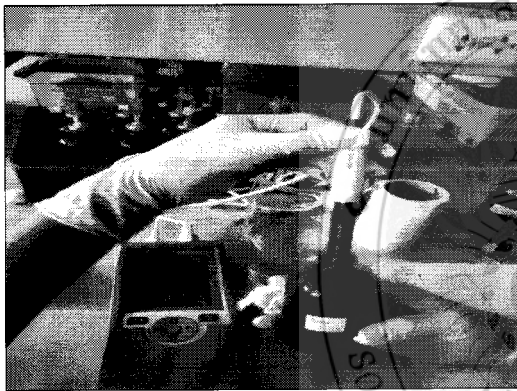
ภาพที่ ผข-2 ขั้นตอนการปรับสภาพเส้นใยปาล์มด้วยเอทานอล



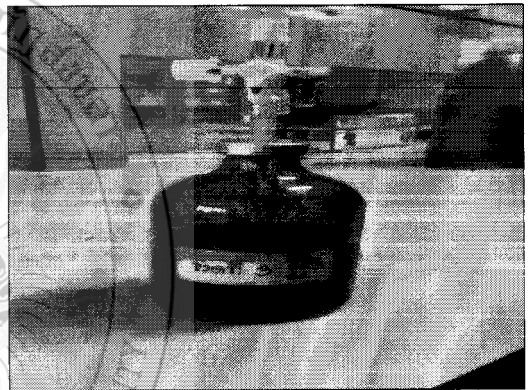
ก. เติมวัสดุหมัก ตามที่ได้คำนวณไว้



ข. เติม เติม Stock Solution, Buffer Solution



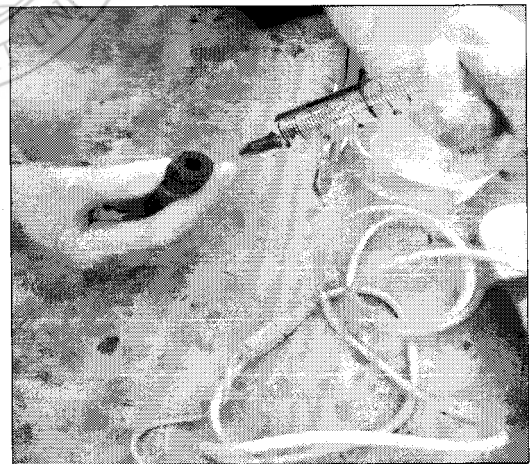
ค. ปรับ pH ด้วย HCl 7%



ง. ปิดขวดหมัก ต่อเชื่อม ทรีเวย์



จ. เริ่มวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ



ฉ. เก็บก๊าซชีวภาพใส่หลอดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ ผข-3 ขั้นตอนการหมักก๊าซชีวภาพ



ภาคผนวก ค

ตารางบันทึกผลการทดลอง

หัวเชื้อจุลินทรีย์

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายๆ กลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว โดยความสามารถในการย่อยสลายของแต่ละกลุ่มก็จะมีผลซึ่งกันและกัน และมีผลต่อความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือเป็นกากตะกอนอินทรีย์และสารอินทรีย์ก็จะมีไม่มีการเปลี่ยนแปลง หลังจากที้ออกจากระบบแล้ว เทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพต้องประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนบำบัดต่อเนื่อง เพื่อให้ น้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

หัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มาจากบ่อล้น (Expansion Chamber) เป็นพื้นที่สำหรับรับตะกอนน้ำเสียที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมัก โดยการทำงานจะเป็นระบบไดนามิกเมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันตะกอนน้ำเสียที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้น เมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักอีกครั้ง เพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ มีค่า BOD อยู่ที่ 10.000-25.000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพในโรงงานปาล์ม น้ำมันจาก บริษัท ปาล์มไทยพัฒนา จำกัด

ผลการทดลอง

ตาราง ผค-1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวเชื้อจุลินทรีย์

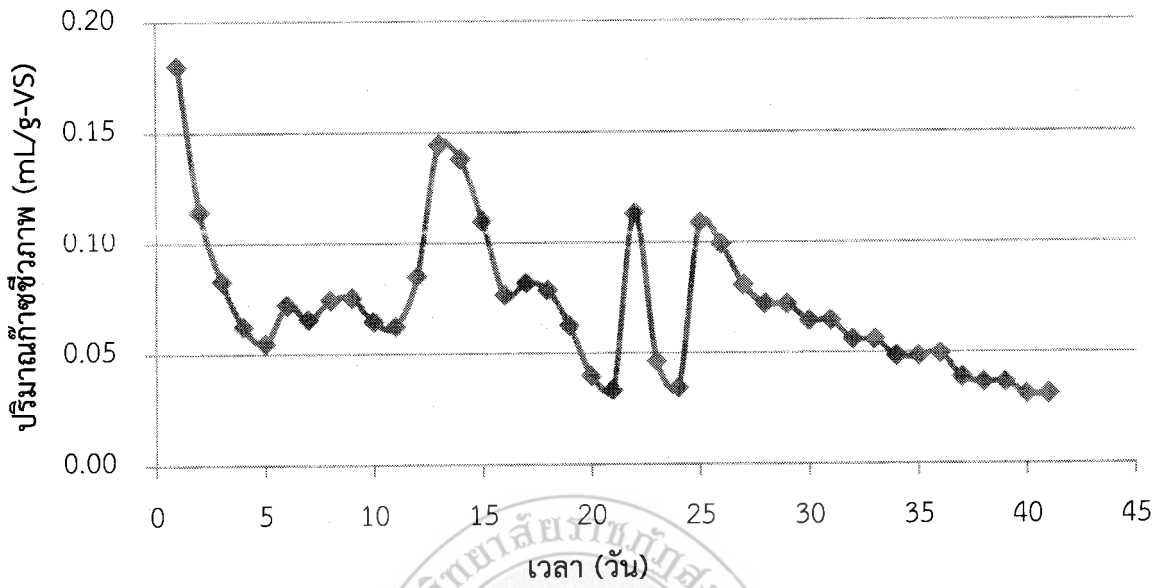
| พารามิเตอร์ | องค์ประกอบทางเคมีของหัวเชื้อจุลินทรีย์ |
|---|--|
| ของแข็งทั้งหมด (Total solids :TS) (g TS/g Fresh) | 0.053 |
| ของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solids : TVS) (g VS/g TS) | 0.037 |
| ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) (%) | 0.31 |
| ปริมาณฟอสฟอรัส (P) (%) | 0.25 |
| ปริมาณโพแทสเซียม (K) (%) | 3.62 |

ตารางที่ ผค-2 ผลการ degassing ตะตอนหัวเชื้อจุลินทรีย์

| day | Time | volume of biogas | | | | | mean | SD | mL/g VS |
|-----------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 6/7/2561 | 1 | 5.40 | 6.00 | 7.80 | 8.00 | 6.20 | 6.68 | 1.15 | 0.18 |
| 6/8/2561 | 2 | 3.80 | 3.20 | 5.00 | 6.00 | 3.20 | 4.24 | 1.23 | 0.11 |
| 6/9/2561 | 3 | 2.60 | 2.60 | 3.20 | 4.20 | 2.80 | 3.08 | 0.67 | 0.08 |
| 6/10/2561 | 4 | 2.00 | 2.00 | 2.40 | 2.60 | 2.60 | 2.32 | 0.30 | 0.06 |
| 6/11/2561 | 5 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.40 | 2.40 | 2.04 | 0.36 | 0.05 |
| 6/12/2561 | 6 | 2.80 | 2.60 | 3.00 | 2.80 | 2.20 | 2.68 | 0.30 | 0.07 |
| 6/13/2561 | 7 | 2.60 | 2.20 | 2.20 | 2.60 | 2.60 | 2.44 | 0.22 | 0.07 |
| 6/14/2561 | 8 | 3.00 | 1.80 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 2.76 | 0.55 | 0.07 |
| 6/15/2561 | 9 | 2.80 | 1.80 | 3.80 | 2.80 | 2.80 | 2.80 | 0.71 | 0.08 |
| 6/16/2561 | 10 | 2.60 | 2.00 | 2.20 | 2.60 | 2.60 | 2.40 | 0.28 | 0.06 |
| 6/17/2561 | 11 | 2.20 | 2.80 | 2.40 | 2.20 | 2.00 | 2.32 | 0.30 | 0.06 |
| 6/18/2561 | 12 | 3.60 | 2.00 | 2.60 | 3.60 | 4.00 | 3.16 | 0.83 | 0.09 |
| 6/19/2561 | 13 | 5.40 | 4.80 | 5.80 | 5.60 | 5.20 | 5.36 | 0.38 | 0.14 |
| 6/20/2561 | 14 | 5.00 | 5.00 | 5.40 | 5.40 | 4.80 | 5.12 | 0.27 | 0.14 |
| 6/21/2561 | 15 | 4.00 | 3.60 | 4.20 | 4.60 | 4.00 | 4.08 | 0.36 | 0.11 |
| 6/22/2561 | 16 | 3.40 | 3.40 | 2.80 | 3.60 | 1.00 | 2.84 | 1.07 | 0.08 |
| 6/23/2561 | 17 | 3.00 | 2.40 | 3.40 | 3.00 | 3.40 | 3.04 | 0.41 | 0.08 |
| 6/24/2561 | 18 | 2.80 | 2.80 | 3.00 | 3.20 | 2.80 | 2.92 | 0.18 | 0.08 |
| 6/25/2561 | 19 | 2.00 | 2.00 | 2.40 | 2.80 | 2.40 | 2.32 | 0.33 | 0.06 |
| 6/26/2561 | 20 | 1.60 | 1.40 | 1.20 | 1.40 | 1.80 | 1.48 | 0.23 | 0.04 |
| 6/27/2561 | 21 | 1.00 | 1.40 | 1.00 | 1.20 | 1.60 | 1.24 | 0.26 | 0.03 |
| 6/28/2561 | 22 | 4.20 | 4.00 | 4.60 | 4.00 | 4.20 | 4.20 | 0.24 | 0.11 |
| 6/29/2561 | 23 | 1.80 | 1.60 | 1.80 | 1.40 | 2.00 | 1.72 | 0.23 | 0.05 |
| 6/30/2561 | 24 | 1.20 | 1.00 | 1.20 | 1.00 | 2.00 | 1.28 | 0.41 | 0.03 |
| 7/1/2561 | 25 | 3.80 | 3.80 | 4.80 | 3.60 | 4.20 | 4.04 | 0.48 | 0.11 |

ตารางที่ ผค-2 ผลการ degassing ตะตอนหัวเชื้อจุลินทรีย์ (ต่อ)

| day | Time | volume of biogas | | | | | mean | SD | mL/ g VS |
|-----------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 7/2/2561 | 26 | 2.80 | 3.40 | 4.60 | 3.40 | 4.20 | 3.68 | 0.72 | 0.10 |
| 7/3/2561 | 27 | 2.40 | 3.40 | 3.40 | 3.20 | 2.60 | 3.00 | 0.47 | 0.08 |
| 7/4/2561 | 28 | 2.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.40 | 2.68 | 0.46 | 0.07 |
| 7/5/2561 | 29 | 2.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.40 | 2.68 | 0.46 | 0.07 |
| 7/6/2561 | 30 | 1.80 | 2.80 | 2.80 | 2.80 | 1.80 | 2.40 | 0.55 | 0.06 |
| 7/7/2561 | 31 | 1.80 | 2.80 | 2.80 | 2.80 | 1.80 | 2.40 | 0.55 | 0.06 |
| 7/8/2561 | 32 | 1.60 | 2.40 | 2.40 | 2.40 | 1.60 | 2.08 | 0.44 | 0.06 |
| 7/9/2561 | 33 | 1.60 | 2.40 | 2.40 | 2.40 | 1.60 | 2.08 | 0.44 | 0.06 |
| 7/10/2561 | 34 | 1.40 | 2.00 | 2.00 | 2.20 | 1.40 | 1.80 | 0.37 | 0.05 |
| 7/11/2561 | 35 | 1.40 | 2.00 | 2.00 | 2.20 | 1.40 | 1.80 | 0.37 | 0.05 |
| 7/12/2561 | 36 | 1.00 | 2.60 | 2.60 | 1.80 | 1.20 | 1.84 | 0.75 | 0.05 |
| 7/13/2561 | 37 | 1.00 | 1.60 | 1.60 | 1.80 | 1.20 | 1.44 | 0.33 | 0.04 |
| 7/14/2561 | 38 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.40 | 1.60 | 1.36 | 0.17 | 0.04 |
| 7/15/2561 | 39 | 1.40 | 1.20 | 1.20 | 1.40 | 1.60 | 1.36 | 0.17 | 0.04 |
| 7/16/2561 | 40 | 1.20 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.40 | 1.16 | 0.17 | 0.03 |
| 7/17/2561 | 41 | 1.20 | 1.00 | 1.00 | 1.20 | 1.40 | 1.16 | 0.17 | 0.03 |



ภาพที่ ผค-1 ผลการ degassing ตะตอนหัวเชื้อจุลินทรีย์





ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ผง-1 สถิติ SPSS ของปริมาณไนโตรเจนในเส้นใยปาล์มก่อน และหลังการปรับสภาพด้วย
เอทานอล

Dependent Variable: ปริมาณไนโตรเจน

LSD

| (I) กลุ่ม | | Mean | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-------------|-----------|---------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Difference (I-J) | Lower Bound |
| ไม่ปรับสภาพ | เอทานอล10 | .05400 | .04221 | .237 | -.0433 | .1513 |
| | เอทานอล30 | .08133 | .04221 | .090 | -.0160 | .1787 |
| | เอทานอล50 | .52033* | .04221 | .000* | .4230 | .6177 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ผง-2 สถิติ SPSS ของปริมาณฟอสฟอรัสในเส้นใยปาล์มก่อน และหลังการปรับสภาพด้วยเอทานอล

Dependent Variable: ปริมาณฟอสฟอรัส

LSD

| (I) กลุ่ม | | Mean | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-------------|-----------|---------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Difference (I-J) | Lower Bound |
| ไม่ปรับสภาพ | เอทานอล10 | 3.92667 | .23295 | .000* | 3.3895 | 4.4639 |
| | เอทานอล30 | 4.23333 | .23295 | .000* | 3.6961 | 4.7705 |
| | เอทานอล50 | 4.65667 | .23295 | .000* | 4.1195 | 5.1939 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ผง-3 สถิติ SPSS ของปริมาณโพแทสเซียมในเส้นใยปาล์มก่อน และหลังการปรับสภาพด้วย
เอทานอล

Dependent Variable: โพแทสเซียม

LSD

| (I) กลุ่ม | | Mean | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-----------------|-----------|---------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Difference (I-J) | Lower Bound |
| ไม่ปรับ สภาพ | เอทานอล10 | 3.07267 | .00589 | .000* | 3.0591 | 3.0862 |
| | เอทานอล30 | 3.12333 | .00589 | .000* | 3.1098 | 3.1369 |
| | เอทานอล50 | 3.12667 | .00589 | .000* | 3.1131 | 3.1402 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ ผง-4 สถิติ SPSS ของการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนสะสมระหว่างเส้นใยปาล์มที่ไม่ปรับสภาพ
กับเส้นใยปาล์มที่ปรับสภาพด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Dependent Variable: ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม

LSD

| (I) กลุ่ม | | Mean | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-----------------|-----------|-----------|------------|-------|-------------------------|-------------|
| | | | | | Difference (I-J) | Lower Bound |
| ไม่ปรับ สภาพ | เอทานอล10 | -20.23000 | 3.61650 | .001* | -28.5697 | -11.8903 |
| | เอทานอล30 | -55.75333 | 3.61650 | .000* | -64.0930 | -47.4137 |
| | เอทานอล50 | -84.54667 | 3.61650 | .000* | -92.8863 | -76.2070 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.



ภาคผนวก จ

วิธีการเตรียม BMP Performance

วิธีการเตรียม BMP Performance

1. Prepare trace elements solution in 125 mL Volumetric Flask.

| No | Chemical | Amount |
|----|---|--------|
| 1 | $\text{FeCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 0.5 |
| 2 | H_3BO_3 | 0.0125 |
| 3 | ZnCl_2 | 0.0125 |
| 4 | $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 0.0095 |
| 5 | $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.125 |
| 6 | $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.0125 |
| 7 | $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 0.0225 |
| 8 | $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 0.5 |

2. Prepare Stock solution in 500 mL Volumetric Flask

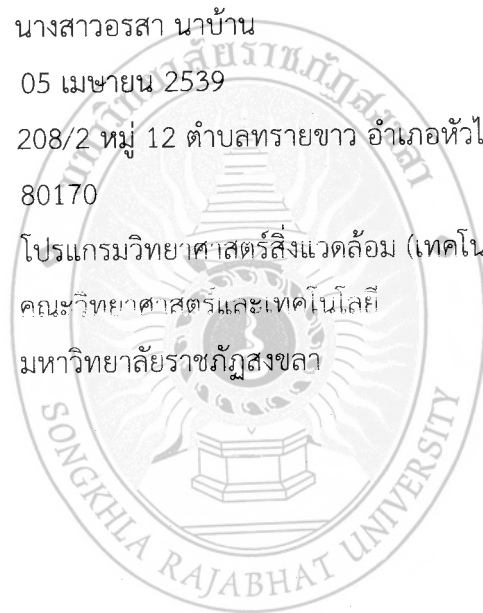
| No | Chemical | Amount |
|----|--|--------------|
| 1 | NH_4Cl | 0.14 |
| 2 | K_2HPO_4 | 0.125 |
| 3 | $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0.05/0.08906 |
| 4 | $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 0.005 |
| 5 | Yeast extract | 0.05 |
| 6 | Trace element solution | 0.5 |

3. Prepare NaHCO_3 Solution 50 g/L buffer solution into 1000 mL Volumetric Flask .

Measure 50 g of NaHCO_3 , Dissolve in a beaker with Deionized Water and pour into 1000 mL flask by adding Water to reach desire volume

ประวัติผู้วิจัย

| | |
|-------------------------|--|
| ชื่อผู้ทำวิจัย | นางสาวสุพัตรา ชูเปีย |
| วันเดือนปีเกิด | 16 กันยายน 2538 |
| ที่อยู่ | 157/3 หมู่ 3 ตำบลตะเคียน อำเภอรอนดง จังหวัดสงขลา 90140 |
| ประวัติการศึกษานักศึกษา | โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |
| ชื่อผู้ทำวิจัย | นางสาวอรสา นาน้ำ |
| วันเดือนปีเกิด | 05 เมษายน 2539 |
| ที่อยู่ | 208/2 หมู่ 12 ตำบลทรายขาว อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช 80170 |
| ประวัติการศึกษานักศึกษา | โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |





ภาคผนวก ฉ

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

| | |
|-------------------------|--|
| ชื่อผู้ทำวิจัย | นางสาวสุพัตรา ชูเปีย |
| วันเดือนปีเกิด | 16 กันยายน 2538 |
| ที่อยู่ | 157/3 หมู่ 3 ตำบลตะเคียน อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา 90140 |
| ประวัติการศึกษานักศึกษา | โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |
| ชื่อผู้ทำวิจัย | นางสาวอรสา นานัน |
| วันเดือนปีเกิด | 05 เมษายน 2539 |
| ที่อยู่ | 208/2 หมู่ 12 ตำบลทรายขาว อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช 80170 |
| ประวัติการศึกษานักศึกษา | โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |

