



ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ
และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน



โดย
นางสาวเกษรา รัตตะวัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร



ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ
และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

EFFECT OF NATURAL BINDER ON THE PHYSICAL PROPERTIES AND ENERGY
COSTS IN PELLETIZING PROCESS FROM KRATHIN-WOOD RESIDUEL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Engineering (ENERGY ENGINEERING)
Department of MECHANICAL ENGINEERING
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2018
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ
และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจาก
เศษไม้กระถิน

โดย เกษรา รัตตะวัน

สาขาวิชา วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกันท์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตินงค์ ไสภณพงศ์พิพัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ กนกศิลป์ธรรม)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทิพาพร คำแดง)

59406201 : วิศวกรรมพลังงาน แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : ระยะเวลาการหมัก, ตัวประสานทางธรรมชาติ, กระบวนการขึ้นรูป

นางสาว เกษรา รัตตะวัน: ผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกันท์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษไม้กระถิน วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือ เศษกระถิน ตัวประสานทางธรรมชาติคือ เหน้้ำมันสำปะหลัง โดยตัวประสานแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ เหน้้ำมันสำปะหลังไม่หมัก (0 วัน) และเหน้้ำมันสำปะหลังหมัก ในส่วนของกรณีหมักศึกษาที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบถูกผลิตโดยใช้เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดแม่พิมพ์หมุน คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา (PFI) ผลการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินและเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมตัวประสานมีค่าเท่ากับ 618.42 ± 0.05 , 642.62 ± 0.26 , 653.31 ± 0.31 , 668.77 ± 0.26 , 664.18 ± 0.44 และ 660.65 ± 0.19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบเท่ากับ 94.98 ± 0.32 , 98.28 ± 0.21 , 99.30 ± 0.16 , 99.56 ± 0.26 , 98.69 ± 0.23 และ 98.18 ± 0.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งจากการศึกษาการกิจกรรมของจุลินทรีย์พบว่ากรณีหมักเหน้้ำมันสำปะหลังเป็นผลทำให้เกิดไบโอฟิล์ม สามารถพบเห็นไบโอฟิล์มบนพื้นผิวของเหน้้ำมันสำปะหลังหมักได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งไบโอฟิล์มนั้นช่วยทำให้กลไกการประสานมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเหน้้ำมันสำปะหลังที่ไม่หมัก สามารถสรุปได้ว่าตัวประสานในงานวิจัยนี้ทั้งในกรณีไม่หมักและกรณีหมัก ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าตัวประสานทั้งในกรณีไม่หมัก และกรณีหมักสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ นอกจากนี้การผสมตัวประสานยังส่งผลให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบลดลง และเงื่อนไขของระยะเวลาการหมักตัวประสานทางธรรมชาติที่เหมาะสมคือ 3 วัน

59406201 : Major (ENERGY ENGINEERING)

Keyword : Fermentation time; Natural binder; Pelletizing

MISS KEDSARA RATTAWAN : EFFECT OF NATURAL BINDER ON THE PHYSICAL PROPERTIES AND ENERGY COSTS IN PELLETTIZING PROCESS FROM KRATHIN-WOOD RESIDUE THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. WEERANUT INTAGUN

The aim of this research is to investigate the effects of natural binder on the physical properties and energy costs in pelletizing process from krathin-wood residual. The main raw material is krathin-wood residual (*Acaacia mangium willd*). A natural binder is cassava rhizome (*Manihot esculenta*). The natural binders were divided into two cases: the case of non-fermentation (0 days) and fermentation. The fermentation case, the duration times of fermentation were at 1, 3, 5 and 7 days, respectively. The pellets were manufactured using a flat-die pellet mill machine. The study used the Pellet Fuels Institute (PFI) Standard Specification to verify the pellet bulk density and pellet durability. The results revealed that the pellet bulk density values of krathin-wood and krathin-wood mixing binder were 618.42 ± 0.05 , 642.62 ± 0.26 , 653.31 ± 0.31 , 668.77 ± 0.26 , 664.18 ± 0.44 and 660.65 ± 0.19 kg/m³, respectively. Moreover, the durability values of pellets were 94.98 ± 0.32 , 98.28 ± 0.21 , 99.30 ± 0.16 , 99.56 ± 0.26 , 98.69 ± 0.23 and 98.18 ± 0.18 percentage, respectively. Furthermore, the microorganism activity study was found that the fermentation of cassava rhizomes was effected biofilm formation. It can be seen that the biofilm were coats on surface of the fermented cassava rhizome particles by scanning electron microscope: SEM. The biofilm improves the binding mechanism of the fermented cassava rhizome. In this study, it can conclude that the binder as non-fermentation and fermentation case are improve the bulk density and durability. In addition, the mixing binder caused the decrease of total energy costs in the pellet production. The optimal duration times of natural binder is 3 day.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ผศ.ดร.วีระนุช อินทะกันท์ และ รศ.ดร.วิโรจน์ กนกศิลป์ธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาฯร่วม ที่แนะนำทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำงานวิจัยวิจัย อีกทั้งยังคอยติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ ที่รับเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ทิพาพร คำแดง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำในการแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนายไพศาล คำสว่าง และนายณัฐรัตน์ ฉัตรวิบูลกุล ที่ให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือด้านเทคนิคการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เบื้องต้น และช่วยในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับกำลังใจและความช่วยเหลือจาก บิดา มารดา และเพื่อน ๆ ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ไม่สามารถเอ่ยนามได้ทั้งหมด ผู้วิจัยรู้สึกขอบคุณในความกรุณา และความปรารถนาดีเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เกษรา รัตตะวัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนของการวิจัย.....	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย.....	4
1.7 ความจำกัดของการวิจัย.....	4
1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2	6
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ผลงานทดแทน.....	6
2.2 ศักยภาพชีวมวล	7
2.2.1 ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย	7
2.2.2 ค่าความร้อนของชีวมวล	9

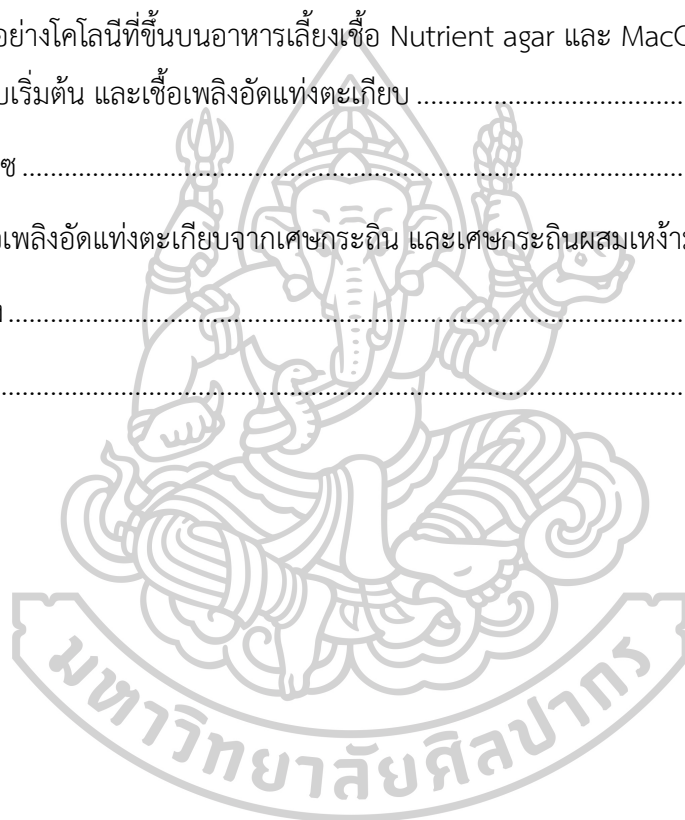
2.3 องค์ประกอบของชีวมวล	11
2.3.1 เซลลูโลส.....	11
2.3.2 เฮมิเซลลูโลส.....	12
2.3.3 ลิกนิน	12
2.3.4 แป้ง	13
2.3.5 โปรตีน.....	13
2.4 ชีวมวลอัดเม็ดหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ.....	14
2.4.1 หลักการอัดแท่งเชื้อเพลิง	15
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ.....	16
2.4.3 คุณสมบัติเฉพาะของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบตะเกียบ.....	16
2.4.4 ตัวประสาน.....	17
2.5 เหน้้ำมันสำปะหลัง	18
2.6 กระจิน.....	19
2.7 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	20
2.8 จุลินทรีย์.....	21
2.9 ไบโอฟิล์ม.....	22
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3	28
วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 แผนการวิจัย	28
3.1.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ.....	29
3.2 วัตถุประสงค์ชีวมวล	29
3.2.1 วัตถุประสงค์ชีวมวลหลัก.....	29
3.2.2 วัตถุประสงค์ตัวประสาน	30

3.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแห้งตะเกียบ.....	30
3.3.1 กระบวนการสับหยาบ.....	31
3.3.2 กระบวนการสียละเอียด.....	31
3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมการผสมชีวมวลก่อนกระบวนการขึ้นรูป.....	32
3.3.4 กระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแห้งตะเกียบ	32
3.3.5 กำหนดรหัสในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแห้งตะเกียบ	34
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแห้งตะเกียบ	34
3.4.1 การทดสอบค่าความทนทาน.....	34
3.4.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น.....	35
3.4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น.....	36
3.4.4 ค่าความร้อน.....	37
3.4.5 การหาปริมาณความชื้น	39
3.5 การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแห้ง.....	40
3.5.1 การวิเคราะห์กำลังการผลิต.....	40
3.5.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน	40
3.5.3. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต.....	40
3.5.4 การวิเคราะห์ผลได้เชิงมวล.....	41
3.6 การวิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์ในหมักน้ำส้มสุรา.....	41
3.6.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	41
3.6.2 การเจือจางตัวอย่าง	42
3.6.3 การนับจำนวนจุลินทรีย์ในอาหาร.....	42
3.7 การคำนวณการนับจำนวนเชื้อบริสุทธิ์.....	43
3.8 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM).....	44

3.8.1	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)	44
3.8.2	การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)	46
3.9	การทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง.....	47
3.9.1	อุปกรณ์และวิธีการเตรียมการทดลอง	48
3.9.2	ขั้นตอนในการทดลอง	49
3.10	สถานที่ทำการวิจัย	50
3.11	ระยะเวลาการวิจัย	50
3.12	การวางแผนการวิจัย	52
3.12.1	แผนการทดลอง.....	52
บทที่ 4	55
ผลการวิจัย	55
4.1	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ.....	55
4.2	ผลของตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ	56
4.2.1	ผลของค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ	56
4.2.2	ผลของค่าความทนทานและค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	58
4.2.3	ผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ.....	60
4.3	การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	62
4.3.1	กำลังการผลิตในกระบวนการการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ.....	62
4.3.2	ผลได้เชิงมวลในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	63
4.3.3	การใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	65
4.3.4	ต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	66
4.4	ผลการวิเคราะห์ต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ.....	67

4.5 ผลของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบต่อจำนวนแบคทีเรีย	68
4.6 กลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลังหมัก	71
4.6.1 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังกรณีไม่หมัก	71
4.6.2 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังในกรณีผ่านกระบวนการหมักที่ ระยะเวลา 3 วัน	73
4.6.3 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังในกรณีผ่านกระบวนการหมักที่ ระยะเวลา 12 วัน	74
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย	78
5.1 ตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ	78
5.2 ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	78
5.3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบต่อจำนวนแบคทีเรีย	78
5.4 กลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลังหมัก	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก	81
ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานในกระบวนการสับหยาบและสับละเอียด ชีวมวลเศษ กระถิน และเหง้ามันสำปะหลัง	81
ภาคผนวก ข	83
ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงาน และผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ของ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง	83
ภาคผนวก ค	91
ตัวอย่างการคำนวณการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง	91
ภาคผนวก ง	94
ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนพลังงานและต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง	94

ภาคผนวก จ	98
ตารางบันทึกผลการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test).....	98
ภาคผนวก ฉ	102
ตารางบันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบ และเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ	102
ภาคผนวก ช	110
รูปภาพตัวอย่างโคโลนีที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของ วัตถุดิบเริ่มต้น และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	110
ภาคผนวก ซ	113
รูปภาพเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถิน และเศษกระถินผสมแห้งมันสำปะหลัง	113
รายการอ้างอิง	121
ประวัติผู้เขียน	125



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556	8
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่าง ๆ	9
ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชีวมวลต่าง ๆ	14
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมชีวมวลก่อนกระบวนการขึ้นรูป	32
ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย	51
ตารางที่ 3.3 จำนวนการทดลองการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ	52
ตารางที่ 3.4 จำนวนการทดลองการแยกเชื้อบริสุทธิ์ในชีวมวลดิบและเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ	53
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	66
ตารางที่ 4.2 ต้นทุนพลังงานรวมที่ใช้ของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบแต่ละตัวอย่าง	68
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองการนับจำนวนด้วยวิธีการ Dilution & Spread plate technique บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar	69
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพ ผลได้เชิงมวล และความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง	76

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.....	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	12
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส (ไซแลน)	12
รูปที่ 2.4 โครงสร้างบางหน่วยของลิกนิน	13
รูปที่ 2.5 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ	14
รูปที่ 2.6 ลำต้น กิ่งและใบของต้นกระถิน	19
รูปที่ 2.7 เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการอัดแบบสมบูรณ์	24
รูปที่ 3.1 แผนการวิจัย.....	28
รูปที่ 3.2 แผนผังกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	29
รูปที่ 3.3 เศษไม้กระถิน	30
รูปที่ 3.4 เหมันสำหรับปะหลัง	30
รูปที่ 3.5 เครื่องสับหยาบ และส่วนที่ป้อนชีวมวลเข้าเครื่องสับหยาบ	31
รูปที่ 3.6 เครื่องสับละเอียด	31
รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล.....	33
รูปที่ 3.8 เครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชนิดแม่พิมพ์หมุน (Rotary flat die)	33
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบค่าความทนทาน	35
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความหนาแน่น	36
รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น.....	36
รูปที่ 3.12 Adiabatic Bomb Calorimeter	37
รูปที่ 3.13 ตู้อบความชื้น	39
รูปที่ 3.14 แผนผังการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์.....	41

รูปที่ 3.15 ตัวอย่างวัตถุดิบ 1 กรัมในสารละลาย 0.89% NaCl (10 มิลลิลิตร).....	42
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างโคโลนีที่ใช้นับจำนวน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar.....	43
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างโคโลนีที่ใช้นับจำนวน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MacConkey Agar.....	43
รูปที่ 3.18 เครื่องถ่ายภาพ Scanning electron microscope ยี่ห้อ Test scaw รุ่น Mira 3.....	44
รูปที่ 3.19 เครื่องเขย่าคัดแยกอนุภาค (Sieve Shaker) รุ่น XSZ-200.....	45
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างวัตถุดิบในขวดแก้ว Sterile Vial.....	45
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักและอบไล่ความชื้น.....	45
รูปที่ 3.22 (ก) เทปกาวคาร์บอน, (ข) ฐานอะลูมิเนียม (Stub) และ (ค) เทปกาวคาร์บอนที่แปะลงบน ฐานอะลูมิเนียม.....	46
รูปที่ 3.23 การเตรียมตัวอย่าง.....	46
รูปที่ 3.24 เครื่องเคลือบทอง Sputter coater.....	47
รูปที่ 3.25 ชีวมวลที่ผ่านการเคลือบทองโดยเครื่องเคลือบทอง Sputter coater.....	47
รูปที่ 3.26 ชุดการทดลองการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง.....	48
รูปที่ 3.27 ชุดการทดลองการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง โดยลูกศรสีแดงแสดงทิศทางของน้ำ ที่ซึมผ่านกระดาษทิชชูขึ้นมา.....	49
รูปที่ 4.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะกั่วจากเศษไม้กระถิน (REF) และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะกั่วจาก เศษไม้ กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน.....	56
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อ ค่าความ หนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะกั่วจากเศษไม้กระถิน.....	57
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อ ค่าความหนาแน่นและ เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะกั่วจากเศษไม้กระถิน.....	59
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อค่าความร้อน ของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะกั่วจากเศษไม้กระถิน.....	61
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อกำลังการผลิต ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะกั่วจากเศษไม้กระถิน.....	62

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการหมักเหง้ำมันสำปะหลังที่มีผลต่อที่มีผลต่อผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งเทียบกับเศษไม้กระถิน..... 63

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งเทียบกับเศษไม้กระถิน..... 65

รูปที่ 4.8 พื้นผิวของเหง้ำมันสำปะหลัง ที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (ก) แสดงพื้นผิวของเนื้อไม้ พบเม็ดแป้งกระจายอยู่บนไม้ และเปลือกไม้ที่ขอบด้านนอก มาตราส่วนแทนความยาว 100 μm สัญลักษณ์ : w แทน (wood) เนื้อไม้ ,sl แทน (starch layer) ชั้นแป้ง, sg แทน (starch granule) เม็ดแป้ง ตามที่ระบุ (ข) แสดงชั้นเปลือกไม้ และชั้นแป้ง มาตราส่วนแทนความยาว 100 μm (ค) แสดงชั้นเปลือก และชั้นแป้ง มาตราส่วนแทนความยาว 50 μm (ง) แสดงเม็ดแป้ง มาตราส่วนแทนความยาว 20 μm สัญลักษณ์: sg แทน (starch granule) เม็ดแป้ง ตามที่ระบุ (จ) แสดงเส้นใยของแบคทีเรีย (filamentous bacteria) ที่มีแขนงของสายสปอร์โคนิเดีย (conidial chain) มาตราส่วนแทนความยาว 20 μm และ(ฉ) แสดงกลุ่มเล็ก ๆ (microcolony) ของแบคทีเรียคอคคัส (coccal shaped bacteria) มาตราส่วนแทนความยาว 5 μm 72

รูปที่ 4.9 (ก) แสดงแผ่นเชื้อหรือไบโอฟิล์ม (biofilm) ปกคลุมวัตถุติดภายใต้พบแบคทีเรียรูปร่าง เส้นใยของแบคทีเรีย (filamentous bacteria) และ (ข) แสดงแผ่นเชื้อหรือไบโอฟิล์มปกคลุมวัตถุติดภายใต้พบแบคทีเรียรูปร่างแบคทีเรียรูปร่างเป็นท่อน (rod shaped bacteria) ที่มาตราส่วนแทนความยาว 10 μm 74

รูปที่ 4.10 เหง้ำมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักในระยะเวลา 12 วัน (ก) พื้นผิวและรูพรุน มาตราส่วนแทนความยาว 500 μm (ข) พื้นผิว และรูพรุน ส่วนขยายเพิ่ม มาตราส่วนแทนความยาว 200 μm (ค) เนื้อวัสดุที่ถูกย่อยจนผุ มาตราส่วนแทนความยาว 200 μm 75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากสถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบัน มีความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้น โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ การตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดความตื่นตัวในด้านพลังงานทางเลือกในแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อหาพลังงานทางเลือกมาทดแทนโดยพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด คือ พลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวล เป็นพลังงานที่น่าสนใจเนื่องจากประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งในแต่ละปีพบว่ามีเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือวัตถุดิบที่หลงเหลือจากกระบวนการผลิต และแปรรูปต่าง ๆ รวมถึงวัตถุดิบที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการบริโภคของมนุษย์ และสัตว์มีจำนวนมาก อาทิเช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และเหง้ำมันสำปะหลัง เป็นต้น ดังนั้นการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ในการผลิตเป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับประเทศไทย อีกทั้งยังช่วยขจัดปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เกษตรกรอีกด้วย และที่สำคัญคือช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศ เพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศหรือมีการนำเข้าเชื้อเพลิงที่น้อยลง[1]

ประเทศไทยเป็นอีกหนึ่งประเทศที่มีทรัพยากรทางธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะทรัพยากรป่าไม้ที่มีจำนวนอยู่ไม่น้อย ซึ่งพืชชนิดหนึ่งที่ที่น่าสนใจในประเทศไทย คือ กระจดิน (*Acaacia mangium willd*) เนื่องจากกระจดินเป็นไม้ที่เจริญเติบโตได้ดี ขยายพันธุ์ได้ง่ายในบริเวณกว้างพื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่ป่าถูกทำลาย ตั้งแต่พื้นที่ที่มีความแห้งแล้งสูงจนถึงพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้น อีกทั้งยังสามารถพบได้ทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่กระจดินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ลำต้นนำไปผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ ส่วนของใบกระจดินใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากใบกระจดินมีคุณค่าทางอาหารสูงคือมีโปรตีนอยู่ประมาณ 25 - 34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังเหลือส่วนที่เป็นเศษไม้กระจดิน ซึ่งพบว่ามีศักยภาพในการนำมาแปรรูปเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เพราะมีค่าความร้อนสูงถึง 15.91 – 20.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม[2, 3] แต่วิธีการกำจัดส่วนใหญ่โดยทั่วไปคือการเผาทิ้ง ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาและพัฒนาวิธีการนำเศษชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ให้เต็มศักยภาพมากขึ้น โดยวิธีการหนึ่งที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายได้แก่ วิธีการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่ง แต่อย่างไรก็ตามการนำเศษไม้กระจดินมาใช้เป็นชีวมวลในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ พบว่าใช้ต้นทุนพลังงานสูง ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่สูงจึง

จำเป็นต้องหาตัวประสานมาเพื่อช่วยในการลดการใช้พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง และช่วยลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งชีวมวลที่น่าสนใจในการนำมาเป็นตัวประสานได้แก่ เหง้ามันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเพาะปลูกและแปรรูปมันสำปะหลังซึ่งไม่มีราคามักจะเผาทิ้งอย่างไม่มีประโยชน์ เหง้ามันสำปะหลังมีศักยภาพในการให้ความร้อนสูง โดยเมื่อทำการแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งก็สามารถเพิ่มมูลค่าและเป็นการใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มศักยภาพ นอกจากนี้เหง้ามันสำปะหลังสามารถนำมาเป็นตัวประสานในวัตถุดิบที่ใช้พลังงานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบยาก เช่น เศษไม้กระถิน ขี้เลื่อย เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของเหง้ามันสำปะหลัง พบว่ามีองค์ประกอบของสารชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และแป้ง ซึ่งสารประกอบเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้วยกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อน (Biotransformation) โดยกระบวนการสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการอาศัยจุลินทรีย์ในการทำงานร่วมกัน[4, 5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน นอกจากนี้ยังทำการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก และกลไกในการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลังอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้ตัวประสานทางธรรมชาติจากเหง้ามันสำปะหลังในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินที่มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพ และต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิต

1.2.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาในการหมักของเหง้ามันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นตัวประสานทางธรรมชาติสำหรับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิงชีวมวล

1.2.4 เพื่อศึกษากลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลังหมัก

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 การใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นตัวประสานทางธรรมชาติ น่าจะสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบให้ดีขึ้น โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน (Pellet Fuels Institute: PFI) และน่าจะสามารถช่วยลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินได้

1.3.2 ในกรณีของการใช้ตัวประสานแบบหมักคาดว่าผลของระยะเวลาในการหมักจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ซึ่งส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 ชีวมวลหลักในการงานวิจัยนี้ คือ เศษไม้กระถิน
- 1.4.2 ชีวมวลที่ใช้เป็นตัวประสานทางธรรมชาติ ได้แก่ เหน้้ำมันสำปะหลัง
- 1.4.3 ตัวประสานทางธรรมชาติที่ศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ไม่การหมัก เหน้้ำมันสำปะหลังและกรณีที่มีการหมักเหน้้ำมันสำปะหลัง
- 1.4.4 ศึกษาระยะเวลาในการหมักของเหน้้ำมันสำปะหลังที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน
- 1.4.5 ขนาดอนุภาคของชีวมวลที่ศึกษามีขนาดเท่ากับ 5 มิลลิเมตร
- 1.4.6 อัตราส่วนการเติมตัวประสานที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
- 1.4.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ อ้างอิงตามมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแบบแท่งตะเกียบของประเทศสหรัฐอเมริกา (Pellet Fuels Institute: PFI) และค่าความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM-E711 และNBR 8633/84
- 1.4.8 เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแบบแท่งตะเกียบเป็นชนิดแม่พิมพ์หมุน (Rotary flat die)
- 1.4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานที่ใช้การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแบบแท่งตะเกียบ พิจารณาจาก 3 กระบวนการย่อยได้แก่ กระบวนการสับหยาบ, กระบวนการสับละเอียด และกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแบบแท่งตะเกียบ

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

- ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การผลิตขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ โดยมีขั้นตอนการวิจัยประกอบไปด้วย
- 1.5.1 ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ, การใช้ตัวประสานทางธรรมชาติ, คุณสมบัติทางกายภาพและการวิเคราะห์ต้นทุนพลังงาน รวมทั้งศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อการย่อยสลาย
 - 1.5.2 ทดลองหาเงื่อนไขในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินโดยปราศจากตัวประสาน (เพื่อใช้เป็นตัวแปรอ้างอิงในงานวิจัยนี้)
 - 1.5.3 ทดลองหาเงื่อนไขที่ใช้ตัวประสานทางธรรมชาติทั้ง 2 กรณี (กรณีที่ไม่มีการหมักและกรณีที่มีการหมัก) สำหรับผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินโดยใช้ตัวประสาน
 - 1.5.4 ทดลองเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบโดยใช้ตัวประสานทางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการหมักตามระยะเวลาที่ต้องการศึกษาในแต่ละกรณี

1.5.5 นำเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบที่ได้ในแต่ละกรณีมาทำการวิเคราะห์ผลของคุณลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ เช่น ค่าความหนาแน่น และค่าความทานทานตามมาตรฐาน PFI และในส่วนของค่าความร้อน ตามมาตรฐานด้วยมาตรฐาน ASTM-E 711 และ NBR 8633/84

1.5.6 นำข้อมูลด้านพลังงานที่ได้ในแต่ละกระบวนการมาวิเคราะห์ค่าต้นทุนพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีศึกษา

1.5.7 วิเคราะห์และสรุปผลของทั้งกรณีที่ไม่เติมตัวประสานและกรณี que เติมตัวประสานทางธรรมชาติในการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพและต้นทุนพลังงาน

1.5.8 นำเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งแบบเป็นชีวมวลเริ่มต้น และเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบในทุกกรณีมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

การศึกษาและทดลองสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ ได้ดำเนินการศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

1.7 ความจำกัดของการวิจัย

ศึกษาผลของการเติมตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน และวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล พร้อมทั้งศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในตัวประสานแบบกรณีที่มีการหมัก

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 ชีวมวล (Biomass) คือ สิ่งที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตเช่น ต้นไม้ ชานอ้อย มันสาปะหลัง ถ่าน ฟืน แกลบ หรือแม้กระทั่งขยะและมูลสัตว์เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้

1.8.2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ (Pellet) คือ การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุทางธรรมชาติอื่น ๆ มาลดขนาดและอัดให้เป็นแท่งผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเท่ากับขนาดของแท่งตะเกียบ

1.8.3 การขึ้นรูปอัดแท่ง (Pelletization) คือ การอัดหรือขึ้นรูปวัสดุเข้าไปในแม่พิมพ์ให้มีรูปร่างเป็นแท่ง

1.8.4 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Bulk density) คือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะขึ้นกับขนาดของอนุภาค โดยสัมพันธ์กับปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค

1.8.5 ค่าความร้อน (Heating value) คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิง 1 กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดองค์ความรู้และความเข้าใจ เกี่ยวกับเชื้อเพลิงชีวมวล การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ การใช้ตัวประสานทางธรรมชาติ การทดสอบและวิเคราะห์ผลของคุณลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานที่กระบวนการผลิต รวมทั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยในบทนี้ได้ทำการรวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โลกขับเคลื่อนไปข้างหน้า มนุษย์ค้นพบแหล่งพลังงานมานานแล้วเช่น พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งแปรรูปมาจากพลังงานธรรมชาติที่สะสมมานานนับศตวรรษ ได้แก่ปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ) ซึ่งพลังงานดังกล่าวผลักดันโลกให้พัฒนาก้าวไปข้างหน้าในทุก ๆ ด้าน จนกระทั่งในปัจจุบันกำลังจะหมดไป ส่งผลให้น้ำมันดิบมีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ทุก ๆ ประเทศพยายามที่จะคิดหาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างอื่นมาใช้แทนเพื่อให้ออกเพียงแก่ความต้องการ

พลังงานทดแทนสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลืองเป็นแหล่งพลังงานจากใต้พื้นดิน เมื่อใช้หมดแล้วไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือหามาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันตามความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว ต้องใช้เวลานานกว่าร้อยล้านปีที่จะสร้างขึ้นใหม่ได้ มีปริมาณจำกัด แต่ในทางตรงกันข้ามพลังงานทดแทนที่น่าสนใจอีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีกเรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ สามารถสร้างขึ้นใหม่เพื่อทดแทนได้ในช่วงเวลาระยะเวลาสั้น ๆ ด้วยตัวเองตามธรรมชาติหลังจากมีการใช้ไปคือ พลังงานทดแทนหรือพลังงานสะอาด เนื่องจากเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล เป็นต้น[6]

จากการค้นคว้าวิจัย และทดลองเพื่อการเสาะหาเชื้อเพลิงอื่นมาทดแทนน่าจะเป็นทางออกที่ดีที่สุด ปัจจัยสำคัญคือเชื้อเพลิงประเภทนั้นต้องราคาถูก มีปริมาณเพียงพอ จัดหาได้ง่าย และกรรมวิธีในการนำมาใช้ประโยชน์นั้นจะต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อน “เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง” จึงเป็นคำตอบของ

ประเภทพลังงานทดแทนใหม่นี้ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม อีกทั้งมีวัตถุดิบหรือวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก

2.2 ศักยภาพชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งเก็บกักพลังงานของธรรมชาติ ซึ่งได้จากสิ่งมีชีวิต พืช เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือ กากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ตัวอย่างเช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ ชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออกและเหง้ามันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ที่มา: www.kaewchem.wordpress.com

ชีวมวลเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจเนื่องจากปริมาณของชีวมวลมีจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การนำไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน ซึ่งการใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานสามารถทำได้หลากหลาย อาทิเช่น นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิต ไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ และอีกวิธีที่น่าสนใจคือการนำชีวมวลมาเปลี่ยนสภาพเป็นเชื้อเพลิงเช่น การนำมาอัดแท่งเชื้อเพลิงเป็นต้น ซึ่งการนำชีวมวลมาใช้แปลงสภาพผลิตเป็นเชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเอาเชื้อเพลิง อีกทั้งยังสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร นอกจากนี้การใช้งานพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก[1]

2.2.1 ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ส่งผลให้ประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านชีวมวลภายในประเทศ เพราะมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น ยางพารา น้ำมันปาล์ม

อ้อย แกลบ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น ผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปส่วนหนึ่งส่งออกไปยังต่างประเทศและสร้างรายได้ให้กับประเทศ อย่างไรก็ตามในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้จะมีวัสดุเหลือใช้ออกมาจำนวนหนึ่งด้วย ซึ่งปริมาณชีวมวลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ จะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิต ทางการผลิตของประเทศ แต่มีปริมาณที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556

ประเภทชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ton)	ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้ว (ton)	ค่าความร้อน (J)	เทียบเท่าน้ำมันดิบ (kton)	เทียบเท่าไฟฟ้า (GW-h)
1. ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	134,308.56	3,496.46	8,181,723.31
2. แกลบ	8,145,269.20	8,112,801.26	1,879.09	40.69	95,205.30
3. ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	234,843.37	5,575.58	13,046,853.89
4. ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0	0
6. ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	1,163.99	27.64	64,666.25
7. เหม้ามันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52	32,288.40	-	1,793,800.12
8. ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	15,985.00	379.51	888,055.83
9. ชี้อ้อยและเศษไม้ยางพารา	656,619.00	656,619.00	0	0	0
10. กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	393.89	9.35	21,882.79
รวม	84,463,480.85	50,135,274.83	420,862.30	9,529.23	24,092,187.49

ที่มา: ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556 (2556)

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าผลศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดนั้นพบว่าเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรมมีจำนวนรวมมากถึง 84,463,480.85 ตัน ซึ่งเหม้ามันสำปะหลังเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดและปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้วนั้นพบว่าการนำไปใช้ประโยชน์ยังมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ จากการศึกษาพบว่าเหม้ามันสำปะหลังเมื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการขึ้นรูปนั้น มีต้นทุนในกระบวนการผลิตที่ต่ำ และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน PFI Standard[7] จึงเป็นชีวมวลที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

2.2.2 ค่าความร้อนของชีวมวล

ค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานในการเผาไหม้แตกต่างกัน ตามลักษณะองค์ประกอบภายในต่าง ๆ ของชีวมวลแต่ละชนิด รวมไปถึงสัดส่วนความชื้นที่สะสมอยู่ในตัวชีวมวล และพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลแต่ละประเภท หรือค่าความร้อนของชีวมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

ค่าความร้อนต่ำ (Low heating value, LHV) เป็นค่าพลังงานจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งหักพลังงานที่ได้มาส่วนหนึ่งในระหว่างกระบวนการที่ใช้ในการระเหยน้ำที่สะสมอยู่ในตัวของชีวมวลออกไประหว่างการเผาไหม้ มีหน่วยเป็น (kJ/kg) หรือ (kcal/kg)

ค่าความร้อนสูง (High heating value, HHV) เป็นค่าพลังงานซึ่งจากการเผาไหม้ชีวมวล มีหน่วยเป็น (kJ/kg) หรือ (kcal/kg) จากการสำรวจคุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่าง ๆ จะได้คุณสมบัติเบื้องต้น และค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละประเภทดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่าง ๆ

คุณสมบัติชีวมวลต่าง ๆ	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Higher Heating Value (kJ/kg)	Lower Heating Value (kJ/kg)
แกลบ (Rice Husk)	12.00	12.65	56.46	18.88	14,755	13,517
ฟางข้าว (Rice Straw)	10.00	10.39	60.70	18.90	13,650	12,330
ชานอ้อย (Bagasse)	50.73	1.43	41.98	5.86	9,243	7,368
ไม้กระถินยักษ์ (White popinac)	0.63	1.78	81.00	16.59	20,100	15,910
ไม้กระถินเทพา (Brown salwood)	1.03	1.86	82.00	15.11	16,047	15,910
ใบอ้อย (Cane Trash)	9.20	6.10	67.80	16.90	16,794	15,479
ไม้ยางพารา (Para wood)	45.00	1.59	45.70	7.71	10,365	8,600

(มีต่อ)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่าง ๆ (ต่อ)

คุณสมบัติชีวมวลต่าง ๆ	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Higher Heating Value (kJ/kg)	Lower Heating Value (kJ/kg)
ซังข้าวโพด (Corncob)	40.00	0.90	45.42	13.68	11,298	9,615
เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava Rhizome)	59.40	1.50	31.00	8.10	7,451	5,494
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus Bark)	60.00	2.44	28.00	9.56	6,811	4,917

ที่มา: ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2555)

จากข้อมูลจากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นคุณสมบัติต่าง ๆ ของชีวมวลพบว่าชีวมวลที่น่าสนใจในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ คือไม้กระถิน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ เพราะเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนที่สูงเมื่อเทียบกับชีวมวลประเภทอื่น ๆ อีกทั้งอีกหนึ่งคุณสมบัติที่น่าสนใจนั้นคือมีปริมาณเถ้าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลประเภทอื่น ๆ ซึ่งทั้งสองคุณสมบัติที่กล่าวไปเบื้องต้นนั้นมีความสำคัญในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตามชีวมวลนั้นพบว่ายังมีข้อจำกัดซึ่งก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบอาทิเช่น

ขนาดของชีวมวลซึ่งเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญ โดยชีวมวลที่มีขนาดใหญ่หรือขาดไม่สมมาตร เช่นเศษไม้หรือปลายไม้จากสวนยางพารา ปีกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เศษไม้จากต้นกระถิน และเหง้ามันสำปะหลัง ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ควรจะนำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นแต่ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลดขนาดชีวมวลเพิ่มขึ้น

ความชื้นของชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล้า ซึ่งมีความชื้นประมาณร้อยละ 80 ถึง 90 ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรง เนื่องจากชีวมวลมีความชื้นสูงซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่ำและขณะที่เผาไหม้จะมีควันในปริมาณมาก นอกจากนี้ชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะเกิดการเน่าเสียง่ายจึงไม่สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานานได้

ชีวมวลมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บมากการนำไปใช้งานมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เพียงพอต่อการใช้งาน

ชีวมวลมีค่าความร้อนต่ำ ส่งผลให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องใช้ชีวมวลจำนวนมากในการเผาไหม้[8] อีกทั้งชีวมวลนั้นมีข้อดีคือ ชีวมวลเกิดจากการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิต ซึ่งเป็นวงจรการผลิตระยะสั้นจึงไม่มีวันหมดสิ้น สามารถผลิตได้ในประเทศทำให้เกษตรกรมีรายได้ และยังลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งการใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ อีกทั้งยังมีปริมาณกำมะถันที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก ดังนั้นพลังงานจากชีวมวลนั้นจึงไม่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก และไม่เป็นพิษต่ออากาศ ในกรณีที่มีการปลูกพืชทดแทน ช่วยลดภาวะในการกำจัดเช่น นำไปฝังกลบและเผาทิ้งเป็นต้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อให้ลดข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาข้างต้นโดยหนึ่งในเทคโนโลยีการแปรสภาพเชื้อเพลิงชีวมวลโดยวิธีที่น่าสนใจ คือ การแปรสภาพโดยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ สำหรับการขึ้นรูปชีวมวลอัดแท่งตะเกียบนั้น ชีวมวลดิบที่ผ่านการลดขนาด จะถูกอัดด้วยแม่พิมพ์โดยใช้ลูกกลิ้งในการอัดเพื่อทำให้ชีวมวลเป็นแท่งและมีรูปร่างทรงกระบอก ในการอัดแท่งชีวมวลจะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและผนัง ทำให้อุณหภูมิชีวมวลเพิ่มขึ้น 70-100 องศาเซลเซียส เป็นผลให้ส่วนประกอบลิกนินอ่อนตัวลง กลายเป็นตัวประสานยึดติดธรรมชาติ เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้นส่งผลให้ชีวมวลแข็งแรงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นสูงขึ้น ส่งผลให้ชีวมวลอ่อนตัวลงเนื่องจากความชื้นจะทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและผนังลดลง ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องพิจารณาในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลคือ อุณหภูมิแม่พิมพ์และปริมาณความชื้น

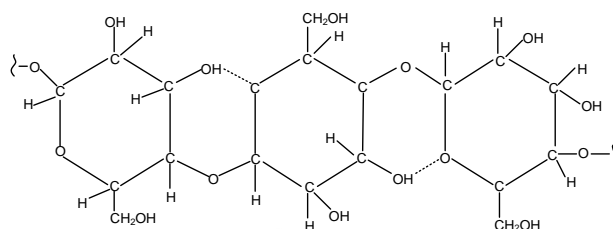
2.3 องค์ประกอบของชีวมวล

สารชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกัน องค์ประกอบขั้นต้นของสารชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง และโปรตีน รวมถึงต้นไม้ซึ่งมีองค์ประกอบของสารชีวมวลหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพียงแต่ปริมาณขององค์ประกอบของสารชีวมวลที่มีจะแตกต่างกัน สารชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีองค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น วัชพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสี้ยจากปศุสัตว์มีโปรตีนมาก เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน จากทัศนคติของการใช้พลังงานสารชีวมวลที่ประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส ซึ่งต้นไม้จะประกอบไปด้วยเซลลูโลส และลิกนินจำนวนมาก โดยองค์ประกอบของสารชีวมวลประกอบไปด้วย

2.3.1 เซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ในชีวมวลโดยส่วนใหญ่ในต้นฝ้ายมีมากถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พืชอื่นๆ มี 33 เปอร์เซ็นต์ สามารถเขียนเป็นสูตรเขียนอย่างง่ายคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งเซลลูโลสเป็นสายพอลิเมอร์ยาว และที่มีสายโซ่พอลิเมอร์ยาว มีองค์ของการพอลิเมอร์เซชันประมาณ ($>10,000$) และมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 มีโครงสร้างคริสตัลสองพันหน่วย

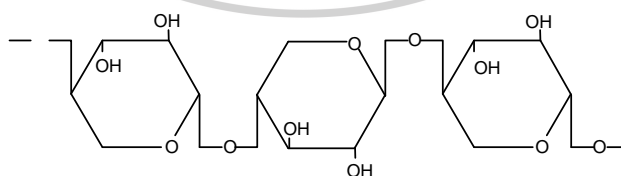
ซึ่งเกิดจากจำนวนโมเลกุลกลูโคส โครงสร้างนี้ทำให้มันมีความแข็งแรงสูงมีดีกลูโคส (d-glucose) เป็นส่วนประกอบเบื้องต้น ซึ่งเกิดจากจากคาร์บอน 6 หรือ เฮกโซน (Hexose sugars) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของไม้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็น 44 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ของพืช ในเฮมิเซลลูโลสจะมีการกระจายตัวอย่างอิสระเป็นโครงสร้างอะมอร์ฟัส (Amorphous) ที่มีความแข็งแรงน้อย มันเป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบไปด้วย โครงสร้างเป็นโซ่กิ่งและองศาของการพอลิเมอร์ไลเซชันสั้นกว่า (ประมาณ 100–200) สามารถเขียนเป็นสูตรเขียนอย่างง่าย ดังนี้ $(C_5H_8O_4)_n$ จากรูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส คือ ไซแลน มันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล นอกจากนี้ไซแลนแล้วภายในเฮมิเซลลูโลสยังมีส่วนประกอบของโมเลกุลของน้ำตาล ได้แก่ ดีไซโลส (d-xylose) ดีกลูโคส (d-glucose) ดีกาแล็กโทส (d-galactose) แอลอะลาบินโนส (l-arabinose) กรดดีกลูโคนิก (d-glucuronic acid) และ ดีแมนโนส (d-mannose) สำหรับปริมาณของเฮมิเซลลูโลสมีประมาณ 20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ขององค์ประกอบในไม้ทั้งหมด

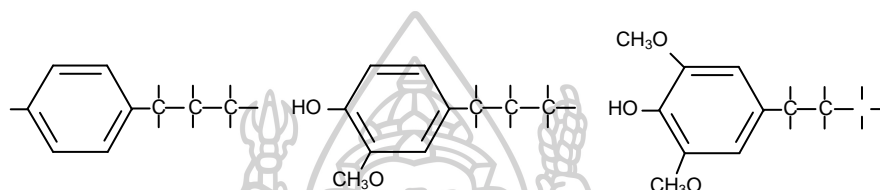


รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส (ไซแลน)

2.3.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์กิ่งที่มีความซับซ้อนสูงของฟีนอลโพรเพน (Phenyl propane) ซึ่งประกอบไปด้วย 4-โพรพานิลฟีนอล (4-propenyl phenol) 4-โพรฟีนิล-2-เมทอกซีฟีนอล

(4-propenyl-2-methoxy phenol) และ 4-โพรพีนิล-2,5-ไดเมท็อกซีฟีนอล (4-propenyl-2,5-dimethoxyl phenol) ซึ่งแสดงรูปที่ 2.4 ลิกนินเป็นส่วนที่สามที่สำคัญขององค์ประกอบของผนังเซลล์ของเนื้อไม้ซิวมวล ลิกนินเป็นตัวแทนซีเมนต์สำหรับยึดติดเส้นใยเซลลูโลสให้อยู่ด้วยกัน หน่วย โมนอเมอริก หลัก ๆ ในพอลิเมอร์เป็นวงเบนซีนคล้ายกับกาวที่ใช้ในการยึดกล่อง ตรงกลางโครงสร้างที่บาง ซึ่งมันประกอบด้วยลิกนินเป็นกาวกั้นเซลล์ที่ติดกันหรือ เป็นส่วนที่ช่วยลำเลียงน้ำ (Tracheids) ลิกนินไม่ละลายในกรดซัลฟูริกบรรจุในไม้เนื้ออ่อนประมาณ 18-25% ในขณะที่บรรจุในไม้เนื้อแข็ง 25-35% ด้วยน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างบางหน่วยของลิกนิน

2.3.4 แป้ง

แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยยูนิตของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟาไกลโคไซด์ิก เนื่องจากความต่างของโครงสร้างทางพันธะ เซลลูโลสละลายน้ำ แต่บางส่วนของแป้งจะละลายในน้ำร้อน (อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 จนถึง 50,000 ประมาณ 10%-20% ของแป้ง) และบางส่วนที่ไม่ละลาย (อะไมโลเพกซิน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000 ถึง 100,000 ประมาณ 80%-90% ของแป้ง) แป้งถูกพบในเมล็ด รากและลำต้น ซึ่งถือเป็นอาหาร

2.3.5 โพรตีน

โพรตีนเป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลีเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลีเมอร์ไรเซชัน และเป็นพอลิเมอร์ออสัญฐานโปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวล และมีสัดส่วนน้อยกว่าสามสารข้างต้นที่กล่าวมา[6]

จากข้อมูลที่กล่าวมาเบื้องต้นพบว่าชีวมวลแต่ละประเภทนั้นมีปริมาณขององค์ประกอบของสารชีวมวลที่มีจะแตกต่างกัน โดยชีวมวลต่างชนิดกันย่อมมีองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่งสารชีวมวลจะมีองค์ประกอบภายในเซลล์ คือเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของชีวมวลต่าง ๆ

ชีวมวล	ส่วนประกอบภายในเซลล์พืช		
	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ฟางข้าว	32.10	24.00	12.50
ฟางข้าวสาลี	30.50	28.40	18.00
ชานอ้อย	33.40	30.00	18.90
ซังข้าวโพด	45.00	35.00	15.00
ต้นปาล์ม	37.14	30.59	22.32
ต้นมันสำปะหลัง	32.20	13.85	26.96

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555)

2.4 ชีวมวลอัดเม็ดหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

ชีวมวลอัดเม็ดหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ (Wood pellets) มีลักษณะเป็นแท่งแบบตะเกียบ จะมีรูปแบบที่คล้ายกับแท่งตะเกียบตัดเป็นท่อนเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ถึง 8 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบจัดเป็นประเภทหนึ่งของเชื้อเพลิงที่ทำจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการผลิตในหลากหลายรูปแบบและยังมีคุณภาพสินค้าที่หลากหลายขึ้นอยู่กับการนำไปใช้เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้า การให้ความร้อนกับที่อยู่อาศัย และการใช้งานประเภทอื่น ๆ เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ มีความหนาแน่นสูงมากจากกระบวนการผลิต

และจากกระบวนการให้ความร้อนสูงทำให้มีความชื้นต่ำ (ต่ำกว่า 10%) ซึ่งช่วยให้เชื้อเพลิงแห้ง ตะเกียบสามารถที่จะก่อให้เกิดประสิทธิผลการเผาไหม้ที่สูงสำหรับคุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแห้งแบบตะเกียบ คือเมื่อติดไฟแล้วจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย ค่าความร้อนสูงกว่าไม้ฟืนทั่วไป ความหนาแน่นสูง การขนส่งและเก็บรักษาสะดวกขึ้น อีกทั้งยังง่ายต่อการประยุกต์ใช้กับเตาในครัวเรือน เตาเผาอุตสาหกรรมและหม้อน้ำ เป็นต้น

2.4.1 หลักการอัดแห้งเชื้อเพลิง

การอัดแห้งเป็นการใช้แรงกดต่ออนุภาคเล็ก ๆ ทำให้เกิดการอัดแน่นพอเหมาะที่จะรวมตัวกันเป็นก้อน โดยอาศัยหลักการคือสสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามของแรงดึงดูด (Attractive force) ความแข็งแรง (Strength) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาคของสนามของแรงนี้ล้อมรอบด้วยอะตอม โมเลกุล และสารแขวนลอย เป็นการเชื่อมต่อกันที่สำคัญเป็นพิเศษกับการเชื่อมติดกันแน่นของอนุภาคที่ถูกกดอัดเข้าด้วยกัน กระบวนการทำเชื้อเพลิงอัดแห้งประกอบด้วยการให้แรงดันแก่มวลของอนุภาค โดยอาจมีตัวประสาน หรือไม่มีตัวประสาน เพื่อให้มวลสารรวมตัวกันและเกาะกันได้ดี ซึ่งระหว่างกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแห้งตะเกียบนั้น กลไกการขึ้นรูปแห้งเชื้อเพลิงแบบแห้งตะเกียบถูกสร้างขึ้นด้วยการเกาะกันระหว่างอนุภาคและแรงที่กระทำภายในอนุภาค คือ กลไกการเชื่อมประสานของแข็ง (Solids bridges) เกิดจากอนุภาคของชีวมวลได้รับการบีบอัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้นและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันจนถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) สภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) และการเชื่อมประสานของเส้นใย (Fiber interlocking) เซลล์ของชีวมวลที่ประกอบด้วยช่องว่างภายใน (Vacuole) ขนาดใหญ่ก็จะถูกบีบอัดตัวลงทำให้องค์ประกอบของผนังเซลล์คือ ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ถูกปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับอนุภาครอบ ๆ ขณะที่ภายใต้สภาวะความร้อนและแรงบีบอัดสูง ลิกนินจะอ่อนตัวและไหลเป็นผลให้การแพร่ภายในโมเลกุลเปียกทั่วถึงและความซับซ้อนของสายโซ่โพลีเมอร์ระหว่างเส้นใยที่ติดกันดีขึ้น

แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง (Attractive forces between solid particles) เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดทำให้ระยะภายในอนุภาคเล็กลง แรงกระทำภายในโมเลกุลมีบทบาทในการประสานกันของอนุภาค แรงภายในโมเลกุลที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ แรงดึงดูดอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ (Valence attraction or electron sharing) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) และกลไกการเชื่อมประสานทางกล (Mechanical interlocking) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นขณะที่มีการอัดตัวของเส้นใยและให้ความแข็งแรงเชิงกลอย่างเพียงพอที่จะต้านทานแรงแตกตัวที่มีสาเหตุจากการกลับคืนสู่สภาพแบบยืดหยุ่นตามการบีบอัด

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแ่งเชื้อเพลิงแ่งตะเกียบ

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแ่งตะเกียบที่มีคุณภาพดีจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแ่งเชื้อเพลิง ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแ่งตะเกียบคือ ขนาดรูตะแกรงสำหรับสับย่อยชีวมวล เป็นชิ้นส่วนสำหรับเครื่องสับย่อยชีวมวลที่ทำหน้าที่กำหนดขนาดของชีวมวลหลังการสับย่อย ซึ่งพบว่าถ้าขนาดรูตะแกรงมีขนาดเล็กจะทำให้แ่งเชื้อเพลิงมีความความทนทานเชิงกล (Mechanical durability) มากกว่าแ่งเชื้อเพลิงที่ขึ้นรูปจากขนาดรูตะแกรงที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลต่อขนาดอนุภาคของชีวมวล เนื่องจากขนาดอนุภาคของชีวมวลที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแ่งตะเกียบแตกและหักได้ง่ายกว่าขนาดอนุภาคของชีวมวลที่มีขนาดเล็กเพราะเมื่อผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้น เชื้อเพลิงที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ยึดเกาะกันน้อยกว่าขนาดอนุภาคชีวมวลที่เล็ก อีกทั้งปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าความหนาแน่นก้อนมวลและค่าความทนทานของแ่งเชื้อเพลิง กล่าวคือถ้าเชื้อเพลิงอัดแ่งตะเกียบมีค่าความชื้นมากจะทำให้ค่าความหนาแน่นก้อนมวลและค่าความทนทานของแ่งเชื้อเพลิงมีค่าต่ำ

อุณหภูมิการขึ้นรูปแ่งเชื้อเพลิง เป็นค่าความร้อนที่ต้องทำการเตรียมสำหรับเครื่องอัดแ่งเชื้อเพลิงก่อนการอัด โดยจะอุ่นเครื่องก่อนการอัดที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส และอัดเชื้อเพลิงในช่วงอุณหภูมิ 75-85 องศาเซลเซียส เพราะเป็นช่วงที่ลิกนินของชีวมวลเริ่มละลายและไหลออกจากเส้นใยผนังเซลล์มาผสมกับอนุภาคอื่น ๆ ของชีวมวลขณะทำการอัดแ่งเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำให้ชีวมวลอัดรวมกันออกมาเป็นแ่งได้

2.4.3 คุณสมบัติเฉพาะของแ่งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบตะเกียบ

คุณสมบัติเฉพาะของเชื้อเพลิงแบบอัดแ่งตะเกียบเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาทั้งในด้านการประยุกต์ใช้งานจริงและด้านการค้าเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้มีการกำหนดมาตรฐานที่ใช้พิจารณาหลายมาตรฐานด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเฉพาะของเชื้อเพลิงแบบอัดแ่งตะเกียบที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ความยาวและขนาดของแ่งเชื้อเพลิง เป็นค่าที่บ่งบอกสัณฐานของแ่งเชื้อเพลิงซึ่งสามารถคาดเดาปริมาณของแ่งเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ขนาดและความยาวของแ่งเชื้อเพลิงยังช่วยป้องกันการเปียดซ้อนบรรจุเคลื่อนย้าย

2.4.3.2 ค่าปริมาณเถ้าเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความบ่อยครั้งของการซ่อมบำรุง (Maintenance frequency) ของอุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงอัดแ่งตะเกียบไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เนื่องจากเถ้าถ่านที่ได้จากการเผาไหม้มีส่วนประกอบของโพแทสเซียม (K) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และคลอรีน (Cl₂) โดยสารเหล่านี้จะยึดเกาะอยู่ที่ผนังของท่อและห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการเกาะของอุปกรณ์ และเกิดความเสียหายส่งผลให้ต้องมีการบำรุงรักษา

2.4.3.3 ค่าปริมาณความชื้น เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของน้ำที่แทรกอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งปริมาณความชื้นนี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ถ้าปริมาณความชื้นมากความร้อนขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงจะสูญเสียไปกับระเหยน้ำออกไปจากเชื้อเพลิง นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อการเก็บรักษาแท่งเชื้อเพลิงที่ขึ้นรูปแล้ว ถ้าแท่งเชื้อเพลิงมีความชื้นมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพคือ การเกิดเชื้อราและการเปื่อยยุ่ย

2.4.3.4 ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็ง (Hardness) และปริมาณพลังงาน (Energy content) ของแท่งเชื้อเพลิง ถ้าแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ใช้พื้นที่ในการเก็บมาก จึงทำให้การนำไปใช้งานมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เพียงพอต่อการใช้งาน ตรงกันข้ามกับก้อนชีวมวลมีความหนาแน่นสูง เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิง ทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดความต้องการของพื้นที่ในการจัดเก็บ

2.4.3.5 ค่าความร้อน เป็นค่าของพลังงานที่ถูกผลิตขึ้นต่อหน่วยมวลแสดงถึงประสิทธิภาพด้านพลังงานที่อยู่ภายในชีวมวลหรือแท่งเชื้อเพลิง กล่าวคือชีวมวลดิบนั้นมีค่าความร้อนต่ำ ส่งผลให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องใช้ปริมาณชีวมวลจำนวนมากในการเผาไหม้ แต่เมื่อชีวมวลดิบผ่านกระบวนการผลิตได้เป็นแท่งเชื้อเพลิงนั้น ส่งผลให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 และทำให้มีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบมีข้อดีคือสะดวกในการขนส่งประหยัดค่าขนส่งเนื่องจากมีความหนาแน่นสูง (Bulk density) ประมาณ 600-650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อีกทั้งยังสามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่ายเพราะมีขนาดที่เท่า ๆ กัน ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอและมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น

2.4.4 ตัวประสาน

ตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบให้มีลักษณะเป็นไปตามรูปแบบที่ต้องการให้อัดออกมาได้ และตัวประสานยังทำหน้าที่ประสานระหว่างอนุภาคของชีวมวลสองชนิดให้ยึดติด เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเช่น ความหนาแน่นระหว่างอนุภาคภายในของแท่งเชื้อเพลิง ความต้านทานต่อการเค้นอัด ความต้านทานแรงกระแทกเพื่อลดการแตกหักของแท่งเชื้อเพลิง รวมถึงสมบัติการต้านทานน้ำเนื่องจากการยึดติดระหว่างผิวของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ[9]

ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้น ควรจะมีคุณสมบัติดังนี้ คือ มีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูกหาได้ง่าย ไม่ดูดความชื้น ไม่สึกกร่อนง่าย ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือสารมลพิษขณะเผาไหม้ และถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรจะมีเขี้ยวน้อยที่สุด มิฉะนั้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนของ

เชื้อเพลิงอัดแท่งมีแนวโน้มลดลงไปด้วย ชนิดของตัวประสานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ อาทิเช่น ทาร์, แป้ง, สาหร่าย, มุลส์ตว์, เรซินตามธรรมชาติ และเรซินสังเคราะห์ และตัวประสานที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่ ดินเหนียว, โคลน, และซีเมนต์ เป็นต้น

การทำเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งโดยใช้ตัวประสานนั้นเป็นการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยมีตัวประสานเป็นสารที่เติมเข้าไปในกระบวนการอัดเพื่อที่จะทำให้อนุภาคของเชื้อเพลิงนั้นยึดติดกันได้ดีขึ้น เมื่อมีการใช้ตัวประสานอนุกรมและความดันที่ใช้ในการอัดก็จะลดลงด้วย[2] ซึ่งตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่งและเพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ความต้านทานแรงกระแทก ความเค้นอัด รวมถึงสมบัติความต้านทานน้ำ โดยส่วนใหญ่ตัวประสานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ พวกที่ผลิตจากธรรมชาติ เช่น Corn starch, Gelatin เป็นต้น และพวกที่ทำการสังเคราะห์ขึ้น เช่น Methyl cellulose (MC), Carboxyl methyl cellulose (CMC) เป็นต้น

2.5 เหง้ามันสำปะหลัง

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชเศรษฐกิจตัวหนึ่งของไทย โดยประเทศไทยมีการส่งเสริมการปลูกมันสำปะหลัง และมีการพัฒนาพันธุ์อย่างต่อเนื่อง ข้อมูลกรมเศรษฐกิจการเกษตรปี 2556 มีปริมาณการผลิตมันสำปะหลังราว 26 ล้านตัน ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณต้นมันสำปะหลังที่จะเก็บรวบรวมได้ราว 1.24 ล้านต้น และเหง้ามันสำปะหลังราว 2.6 ล้านตัน การปลูกมันสำปะหลังยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการบำรุงรักษาน้อยเมื่อเทียบกับพืชไร่อื่น ๆ และตลาดมีความต้องการสูงไม่ว่าจะสำหรับการทำแป้งมัน การผลิตมันเม็ดเป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้มีผลผลิตมากขึ้นจากการเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูก ในการปลูกมันสำปะหลังนั้นมีส่วนหนึ่งที่อยู่ที่ใต้ดิน คือ เหง้ามันสำปะหลัง (Cassava rhizome) เพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

เหง้ามันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งไม่สามารถใช้ประโยชน์ด้านการบริโภคของมนุษย์หรือสัตว์ได้ โดยในปัจจุบันได้มีการนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน และมีการเพิ่มพื้นที่ในการเพาะปลูกส่งผลให้มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งในการปลูกมันสำปะหลังนั้นมีที่อยู่ใต้ดินเรียกว่า “เหง้ามันสำปะหลัง”

ในเหง้ามันสำปะหลังมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน หรือกึ่งผลึกเมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะคล้ายยางเหนียว เป็นตัวประสานทางธรรมชาติทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคที่อยู่[10] จากข้อมูลกรมเศรษฐกิจการเกษตรปี 2556 พบว่าเหง้ามันสำปะหลัง (Cassava root) นั้นหากพิจารณาในด้านการให้พลังงานพบว่าสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ได้ อย่าง

มีคุณภาพ เนื่องจากมีค่าความร้อนสูง มีปริมาณเถ้าต่ำ จึงส่งผลทำให้ไม่มีปัญหาการเกิดมลภาวะจากเถ้าของเหง้ามันสำปะหลัง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเหง้ามันสำปะหลังมาหมักเพื่อเป็นตัวประสานชีวมวลเนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังมีปริมาณแป้งสูง จึงมีการตั้งสมมติฐานว่าเมื่อนำเหง้ามันสำปะหลังมาหมักจะทำให้เหง้ามันมีลักษณะเหนียวเหมาะแก่การเป็นตัวประสาน

2.6 กระจิน

กระจิน (*Acaacia mangium* willd) จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่มีการเจริญเติบโตเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาพดิน และทนต่อโรค แมลง และสภาพอากาศหนาวหรือแห้งแล้งได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถแพร่ขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถเติบโตได้แม้กระทั่งพื้นที่ที่มีหญ้ารกหรือต้นไม้อื่นปกคลุมแน่นหนา จึงมักพบเห็นต้นกระจินได้ในทุกสภาพพื้นที่ แต่เดิมกระจินจัดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนสำหรับสัตว์ในประเทศไทย และเป็นพืชที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ง่าย การปลูกและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ปัจจุบันในด้านการใช้เป็นพลังงาน สามารถตัดฟันไม้กระจินได้ทุก 6 เดือนถึง 1 ปี เกษตรกรจะได้ทั้งรายได้จากการจำหน่ายไม้เข้าสู่โรงงานไฟฟ้าชีวมวลเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีและผลผลิตที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน



รูปที่ 2.6 ลำต้น กิ่งและใบของต้นกระจิน

ที่มา: <http://ntutcm.wikifoundry.com/page/Leucaena+leucocephala>

ลักษณะโดยทั่วไปของกระจินประกอบไปด้วย ลำต้น กิ่ง ใบและดอก ซึ่งเป็นไม้ที่มีประโยชน์ เช่น ลำต้นนั้นนำไปผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า เปลือกเส้นใยของต้นกระจินสามารถนำไปทำเป็นเยื่อกระดาษได้ เปลือกต้นกระจินสามารถนำมาใช้เป็นสีย้อมผ้าได้ โดยให้สีน้ำตาล ส่วนใบและดอกของต้นกระจินได้รับความนิยมในการนำมาเลี้ยงสัตว์ เนื่องจากได้ยอมรับว่าเป็นอาหารที่มีประโยชน์สูงสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องเพราะมีโปรตีนและแร่ธาตุที่สูงมาก และสามารถนำไปทำปุ๋ยหมักได้ดี เนื่องจากใบกระจินอุดมไปด้วยธาตุไนโตรเจนและเกลือโพแทสเซียม อีกทั้งยังพบว่ากระจินเป็นไม้โตเร็วที่มีความเหมาะสม

ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนของอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เพราะค่าความร้อนเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการเลือกเชื้อเพลิงให้กับระบบการผลิต ซึ่งก็พบว่ากระถินมีค่าความร้อนสูงที่สุดประมาณ 15.91– 20.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่น ๆ [2] ทั้งนี้ยังมีส่วนของกิ่งกระถินที่ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาโดยจะนำมาใช้เป็นชีวมวลหลักในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

2.7 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบมีหลายแบบแตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปนั้นก็มีความแตกต่างกันเช่นกัน ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ใช้สัดส่วนของส่วนผสม ความรู้ความสามารถของผู้ดำเนินการขึ้นรูปอัดแท่ง อิทธิพลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ และชนิดของชีวมวล ทำให้ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันแบบไหนดีที่สุด เนื่องจากไม่มีข้อกำหนดที่ระบุไว้ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและเป็นไปในแนวทางที่เหมือนกันในระดับสากล จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบเพื่อให้กำหนดรูปแบบของเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป โดยมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งของต่างประเทศมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยสถาบัน Pellet Fuels Institute (PFI) โดยมาตรฐานได้แบ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งไว้ 3 เกรด คือเกรดพรีเมียม (PFI Super Premium) เกรดมาตรฐาน (PFI Premium) และเกรดใช้งานทั่วไป (PFI Standard) คุณสมบัติที่แตกต่างของแต่ละเกรดคือช่วงของค่าความหนาแน่น เเปอร์เซ็นต์เถ้า และความชื้นที่มีในเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การกำหนดมาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา

PFI Standard Specification for Residential / Commercial Densified Fuel					
Fuel property	PFI Super Premium	PFI Premium	PFI Standard	PFI Utility	Referenced Document
Bulk Density (lb./cubic foot)	40.0 – 46.0	40.0 – 46.0	38.0 – 46.0	38.0 – 46.0	ASTM E 873-82
Pellet Durability (%)	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 97.5	PFI Standard 6.1.4
Diameter, inches Diameter (mm)	0.250 – 0.285 6.35 – 7.25	0.250 – 0.285 6.35 – 7.25	0.250 – 0.285 6.35 – 7.25	0.250 – 0.285 6.35 – 7.25	PFI Standard 6.1.3
Pellet Durability (%)	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 97.5	≥ 97.5	PFI Standard 6.1.4
Fine (%) (at the mill gate)	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	PFI Standard 6.1.5
Length (%) greater than 1.50 inches	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	≤ 0.1	PFI Standard 6.1.7
Moisture (%)	≤ 0.6	≤ 0.8	≤ 0.8	≤ 10.0	ASTM E 871-82

ที่มา : รายงานโครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต, สำนักวิจัย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานคั้นคว่ำพลังงาน (2558)

2.8 จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ (Microorganism) สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าสามารถพบได้โดยทั่วไปบนโลกอาทิเช่น ในดิน ในน้ำ ในอากาศ หรือแม้กระทั่งในร่างกายของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ โดยชนิดของจุลินทรีย์ประกอบไปด้วยแบคทีเรีย (Bacteria), เชื้อรา (Fungi), โปรโตซัว (Protozoa) สาหร่าย (Algae), ไวรัส (Virus) ซึ่งสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามประเภทของเซลล์ คือ โปรคาริโอต คือ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น แบคทีเรียและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และยูคาริโอต คือ มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น เชื้อรา โปรโตซัว และสาหร่ายต่าง ๆ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ไซยาโนแบคทีเรีย)

สำหรับแบคทีเรีย (Bacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เจริญและแบ่งตัวจากเซลล์เดียวเป็นหลายๆเซลล์จนมีจำนวนมากเกิดเป็นโคโลนีและทำให้สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ โคโลนีจะมี

รูปร่างและสีที่แตกต่างกันเช่น สีขาว สีเหลือง อาจเป็นเมือก ผิวแห้งหรือผิวเรียบ โคนมน โคนโล้นอาจมีลักษณะเป็นเมือกหรือแผ่ลามลามไปถึงโคนอื่น

2.9 ไบโอฟิล์ม

แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ สามารถปรับกิจกรรมเมแทบอลิซึม โดยการยึดเกาะแบบถาวร เพื่อที่จะอาศัยและเจริญเติบโตอยู่ในถิ่นอาศัยที่เป็นพื้นผิวของแข็ง ทั้งในดิน ตะกอนกรวดตามพื้นลำธาร ก้อนหินในแหล่งน้ำ พื้นผิวภายในท่อระบายน้ำ อ่างน้ำ สะตืออ่าง พื้นห้องน้ำ พื้นผิวของชีวมวล เครื่องปรับอากาศ พื้นผิวของถิ่นที่อยู่อาศัยประเภทอื่น ๆ ที่เป็นของแข็ง รวมถึงและวัสดุทางการแพทย์ เช่น สายน้ำเกลือ และอุปกรณ์และเครื่องมือพลาสติก เป็นต้น แบคทีเรียและเชื้อโรควัยสามารถยึดเกาะกับอวัยวะของสิ่งมีชีวิตเพื่อก่อโรคและพยาธิสภาพ เช่น คราบจุลินทรีย์ที่เคลือบฟัน (Dental plaque) เป็นต้น คราบของแบคทีเรียบนพื้นผิวของชีวมวลทำให้เกิดการย่อยสลายของชีวมวล (ผุ เปราะ เนื่องจากโพลีเมอร์ถูกย่อยสลายไป)

แบคทีเรียสังเคราะห์สารพอลิเมอร์ คล้ายเมือก มีลักษณะเหนียว และหลั่งออกภายนอกเซลล์ ช่วยในการยึดเกาะกับพื้นผิวที่เป็นของแข็ง เรียกสารเมือกนี้ว่า “Extracellular Polymeric Substances” (EPS) สารเมือก EPS ช่วยให้เซลล์ของแบคทีเรียเกาะกับของแข็งเกิดเป็นไบโอฟิล์ม ปกคลุมพื้นผิว สารเมือก EPS ประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ชนิดต่าง ๆ โปรตีนชนิดต่าง ๆ โพลีนิวคลีโอไทด์ และไขมัน ไบโอฟิล์มที่เกิดจากแบคทีเรีย (Bacterial biofilm) เป็นประชาคมของแบคทีเรียที่เจริญเติบโตอยู่ภายในแหล่งกำเนิด (matrix) เช่น ไบโอฟิล์มที่เคลือบบนผิวของชีวมวลพืช เป็นชาคมของแบคทีเรียหลายชนิดที่เจริญอยู่ใต้แผ่นเชื้อไบโอฟิล์ม บทบาทของแผ่นเชื้อไบโอฟิล์มต่อประชาคมแบคทีเรียเพื่อช่วยให้แบคทีเรียสามารถใช้อาหารที่มีอยู่จำกัดได้ดี โดยคลุมแบคทีเรียให้ใกล้ชิดกับอาหารในชีวมวลและป้องกันแบคทีเรียจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม เก็บรักษาความชื้นป้องกันการแห้งและป้องกันการรื้อไหลของเอนไซม์ (ที่แบคทีเรียหลั่งออกมาเพื่อหาอาหาร) ทำให้แบคทีเรียและเอนไซม์ได้อยู่ใกล้ชิดกับอาหารและสารอาหารตั้งต้น (Substrate) ซึ่งเป็นของแข็ง (สารตั้งต้นเหล่านี้ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น) และช่วยรักษาผลผลิตที่เกิดจากการย่อยของเอนไซม์ (ทั้งนี้แบคทีเรียสามารถได้ประโยชน์สูงสุดจากการกินอาหารภายในแผ่นไบโอฟิล์ม) [11-14]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Warajanont and Soponpongpiat (2013) [15] ศึกษาผลของขนาดอนุภาค และความชื้นที่มีต่อการยอมรับได้มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ มีจุดประสงค์เพื่อรวบรวมมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ เปรียบเทียบเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบแต่ละมาตรฐาน และศึกษาขนาดอนุภาค และความชื้นที่

มีต่อการยอมรับได้มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ใช้ทดสอบเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ได้จากเหง้ามันสำปะหลังโดยกำหนดตัวแปร 2 ตัวแปร คือ ขนาดอนุภาคและปริมาณความชื้น ขนาดของอนุภาคกำหนดจากรูตะแกรงบดย่อยขนาด 1, 4 และ 10 มิลลิเมตร ความชื้นกำหนดด้วยปริมาณน้ำที่ผสมเหง้ามันสำปะหลังโดยมีสัดส่วนที่ 10, 20 และ 30% โดยมวล อุณหภูมิในการขึ้นรูปควบคุมให้อยู่ในช่วง 80 – 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปทดสอบตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา

กลไกการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนสำคัญคือ 1.การเชื่อมประสานของแข็ง 2.แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง 3.การเชื่อมประสานทางกล 4.แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวและแรงดันคาปิลารี และ 5.แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทั้งหมดนี้เป็นกลไกที่ทำให้ชีวมวลสามารถอัดตัวกลายเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้

การเชื่อมประสานของแข็ง เกิดจากอนุภาคของชีวมวลได้รับแรงบีบอัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้น และเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันจนถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบยืดหยุ่น สภาวะเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร และการเชื่อมประสานของเส้นใย แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดทำให้ระยะภายในอนุภาคลดลง แรงกระทำภายในโมเลกุลมีบทบาทในการประสานกันของอนุภาค แรงดึงดูดภายในอนุภาค ได้แก่ แรงดึงดูดอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ แรงแวนเดอร์วาลส์ และพันธะไฮโดรเจน การเชื่อมประสานทางกล เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมีการอัดตัวของเส้นใยและให้ความแข็งแรงเชิงกลอย่างเพียงพอที่จะต้านทานแรงแตกตัวที่มีสาเหตุจากการกลับคืนสู่สภาพแบบยืดหยุ่นตามการบีบอัด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิว และแรงดันคาปิลารี ถูกสร้างขึ้นจากสามสถานะที่แตกต่างกันขณะทำการอัดคือ สถานะแพนดูล่า สถานะพุนิคูลาร์ และสถานะคาปิลารี ที่เต็มไปด้วยของเหลว แรงดึงผิวภายในอนุภาค แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เป็นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของชีวมวลที่ถูกบีบอัด โดยทำให้พื้นผิวดูดซับอนุภาคภายในจะเพิ่มมากขึ้น หรือลดระยะห่างระหว่างอนุภาคภายในเพื่อช่วยในกลไกการรวมตัวของชีวมวล เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลังถูกทดสอบโดยมาตรฐาน PFI คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความยาว, ความชื้น, ความหนาแน่น, ค่าความร้อน และความหนาแน่น ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นตัวอย่างทั้งหมดของเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังผ่านเกณฑ์มาตรฐาน PFI และมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งอื่น ๆ จากผลแสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาค และค่าความชื้นไม่มีผลกระทบต่อส่วนประกอบที่แตกต่างกันของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง

Niedziółka et al. (2015) [16] ศึกษาเกี่ยวกับการวัดผลของพลังงานทางกล และคุณสมบัติทางกลของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตจากชีวมวลทางการเกษตร วัสดุที่นำมาใช้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบคือฟางข้าวสาลี และซังข้าวโพด จุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อตรวจสอบค่าความชื้น และ

ค่าความร้อน เพื่อทำการการวัดผลของพลังงานทางกล คุณสมบัติทางกลของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผลิตจากชีวมวลทางการเกษตร วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น และค่าความทนทานเชิงกลของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตด้วยเครื่องขึ้นรูปชนิดตั้งคงที่ และมีสองลูกกลิ้งดังแสดงในรูปที่ 2.7 ทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น และค่าความทนทานเชิงกลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง การขึ้นรูปของชีวมวลขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ เช่น ชนิดของชีวมวล องค์ประกอบความชื้นของชีวมวล ชีวมวลในระหว่างการเก็บเกี่ยวที่มักจะมีค่าความชื้นสูงซึ่งเป็นส่งต่อค่าความร้อน โดยความชื้นที่สูงส่งผลให้ค่าความร้อนในการเผาไหม้ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการอัดขึ้นรูป และการเก็บข้อมูลหลังการผลิต โดยตัวแปรเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และค่าความชื้นของชีวมวล ซึ่งถ้ามีความชื้นมากเกินไปทำให้เกิดการลดลงของค่าพลังงาน เช่นเดียวกับการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นของชีวมวล นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.7 เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยการอัดแบบสมบูรณ์

และประเมินผลคุณสมบัติทางกลของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผลิตจากชีวมวลทางการเกษตร ซึ่งวิธีการทดสอบหาค่าความหนาแน่น และค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าวสาเลี ฟางข้าว(เรพ) (Wheat Rape Straw) และซังข้าวโพด โดยการนำวัสดุทั้งสามชนิดมาผสมกัน ซึ่งจะใช้ฟางข้าวสาเลีผสมกับฟางเรพ ฟางข้าวสาเลีผสมกับซังข้าวโพด และฟางเรพผสมกับซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 50:50 โดยมีค่าความชื้นก่อนการขึ้นรูปที่ 16.5-18.5% จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าผลผลิตที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด คือเชื้อเพลิงอัดแท่งจากซังข้าวโพดผสมฟางข้าว(เรพ)เท่ากับ 16.22 MJ/kg ในขณะที่ข้าวสาเลีและฟางเท่ากับ 15.33 MJ/kg ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นต่ำสุดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือชีวมวลอัดแท่งที่ทำจากฟางข้าวสาเลีเท่ากับ 407.7 kgm³ ในขณะที่ค่าสูงสุด คือชีวมวลอัดแท่งที่ทำจาก

ซึ่งข้าวโพดเท่ากับ 566.9 kg/m^3 และสุดท้ายการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงกลพิสูจน์ให้เห็นว่าชีวมวลอัดแท่งที่มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือชีวมวลอัดแท่งที่ทำจากฟางเรพเท่ากับ (96.1%) และสูงสุดคือชีวมวลอัดแท่งที่ทำมาจากการผสมกันของฟางข้าวสาลี-ซึ่งข้าวโพดเท่ากับ (97.7%) [16]

Peng et al. (2015) [17] ศึกษาตัวประสานจากขี้เลื่อย โดยนำขี้เลื่อยที่ผ่านกระบวนการทอรีไพร์มาผสมกับตัวประสานอาทิเช่น ขี้เลื่อย แปะ และลิกนิน ในอัตราส่วนแตกต่างกันคือ 5-30 % โดยน้ำหนัก จากนั้นถูกนำไปอัดเป็นเม็ดใน single die เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการทำเม็ดทอรีไพร์จากผงทอรีไพร์ คุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงทอรีไพร์ทำการวิเคราะห์จากค่าความหนาแน่น ค่าความร้อนสูงสุด ค่าความหนาแน่น การดูดความชื้น และค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ พบว่าค่าความหนาแน่นของชีวมวลค่อยๆเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของตัวประสานที่เพิ่มขึ้น สามารถสังเกตเห็นได้ว่าตัวประสานจากขี้เลื่อยที่ผ่านกระบวนการทอรีไพร์ในช่วงอุณหภูมิ 280-300 องศาเซลเซียสสามารถขึ้นรูปได้ดีที่สุด อีกทั้งยังช่วยในการยึดเกาะได้ดีและมีต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปต่ำกว่าแปะและลิกนิน เนื่องจากขี้เลื่อยมีมากและราคาต้นทุนต่ำ

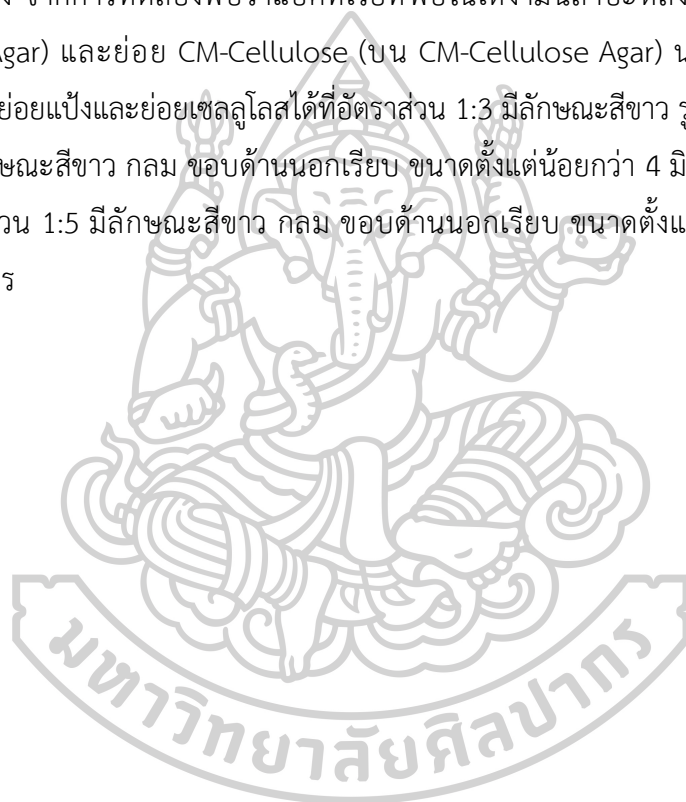
Said et al. (2015) [2] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยความหนาแน่นต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากฟางข้าว ซึ่งอาจการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งและเก็บรักษา ฟางข้าวเป็นจึงเป็นชีวมวลที่มีความน่าสนใจ การศึกษานี้ โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลองคือ ปริมาณความชื้นในการป้อนวัตถุดิบคือ 12%, 15% และ 17% โดยใช้แปะเป็นสารเติมแต่ง 3 อัตราส่วนคือ 0%, 1% และ 2% ทำการลดขนาดฟางข้าวเหลือ 4 มิลลิเมตรโดยใช้เครื่องตัดไฟฟ้า VIKING ซึ่งมีหน่วยย่อยและกำลังไฟ 2500 วัตต์ (GE150) ซึ่งกำหนดอุณหภูมิในการทำงานต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส และกำหนดแม่พิมพ์แบบแบน 3 ขนาด โดยมีความแตกต่างแตกต่างกันที่เส้นผ่านศูนย์กลาง/ความยาวของอัดคือ 6/20, 6/24 และ 8/32 มม./มม. ที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ ความหนาแน่น, ความแข็ง, ปริมาณความชื้น, ขนาด, ความหนาแน่นต่อหน่วย และความหนาแน่นรวม โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งถูกผลิตโดยใช้เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงแม่พิมพ์แบบแบน KAHL 14-175 ที่มีกำลังไฟ 3 กิโลวัตต์และอัตราการการป้อน 50 กก./ชม. ทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐาน UNE-EN 15103 (The european standard for non-woody biomass) ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการป้อนและเงื่อนไขการทำงานมีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความหนาแน่นและความหนาแน่นรวม ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดสำหรับคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยค่าความหนาแน่นที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้คือมีค่าความหนาแน่น 99.31% โดยมีอัตราส่วนแปะ 2% และความชื้นในการป้อน 17% ที่อุณหภูมิน้อยกว่า 50 องศาเซลเซียสและมีขนาดแม่พิมพ์ 8/32 มม./มม

Wolfgang (2010) [29] ทำการศึกษาค่าความแข็งแรง และค่าความสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ และกลไกของระยะห่างของพันธะการยึดเกาะ วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย ต้นปืช, ต้นสน และฟาง ที่เป็นตัวแทนประเภทของชีวมวลทั่วไป ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งของ ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน และหญ้า ผลการศึกษาพบว่าแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สูงกว่าทั่วไป สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อุณหภูมิสูง และสูงมากขึ้นสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไม้ที่มากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟาง โดยส่องกล้องจุลทรรศน์สแกนอิเล็กตรอนบนพื้นผิวรอยแตกของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากต้นปืชที่ถูกอัดด้วยอุณหภูมิสูง แสดงให้เห็นพื้นที่การยึดเกาะที่ล้มเหลวในพลังงานกลที่สูง อาจเพิ่มขึ้นอยู่กับ การไหลเวียนของลิกนิน และการแพร่ภายในระหว่างอนุภาคไม้ที่ติดกันที่ไม่มีอยู่ในเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสน และฟางข้าว ส่องกล้องอินฟราเรดเพื่อดูรอยแตกบนพื้นผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าว แสดงให้เห็นสิ่งที่น่าสนใจของการแทรกตัวของสารที่ไม่ชอบ สำหรับแรงกดต่ำเนื่องจากการมีอยู่ของระดับพันธะทางเคมีต่ำการจำกัดกลไกการยึดเกาะของแรงแวนเดอวาลส์ (Van Der Waals Force) ส่องกล้องไมโครอิเล็กตรอน แสดงให้เห็นรอยต่อกลไกความล้มเหลวที่สนับสนุนการค้นพบเหล่านี้ ส่องกล้องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีของรอยแตกบนพื้นผิวของชีวมวลอัดแท่งจากไม้อัดที่อุณหภูมิสูงไม่มีสัญญาณของการแทรกตัวของสารที่ไม่ชอบน้ำ แสดงให้เห็นว่าทั้งอุณหภูมิ และองค์ประกอบทางเคมี เช่น การปรากฏของการแทรกตัวของสารที่ไม่ชอบน้ำมีอิทธิพลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อคุณภาพของพันธะระหว่างอนุภาคของชีวมวลในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งในด้านแรงกดในการบีบอัด และการวิเคราะห์การแตกหักของพื้นผิวของการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ 20°C และ 100°C ทำให้เห็นข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับกลไกพันธะภายในแท่งเชื้อเพลิงที่ 20°C เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกแท่งมีความแข็งแรงทางกลค่อนข้างต่ำ และพื้นผิวแตกหัก การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีเพียงพันธะที่อ่อนแอที่อยู่ติดกันระหว่างอนุภาคเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในกรณีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากไม้เป็นการรวมตัวกันของพันธะแวนเดอวาลส์ และพันธะไฮโดรเจน ขณะที่แวกซ์บนพื้นผิวของฟางข้าวส่งผลให้มีแรงยึดเกาะน้อย (ที่อยู่เหนือแรงแวนเดอวาลส์) สันนิษฐานว่าเป็นเพราะชั้นพันธะที่อ่อนแอของแวกซ์

นิโลบล และอัญธิกา (2558) [30] ศึกษาการแยกเชื้อจุลินทรีย์ในหมักน้ำมันสำหรับปัสสาวะหมัก สำหรับเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ โดยพิจารณาถึงระยะเวลาในการหมักหมักน้ำมันสำหรับปัสสาวะ คือ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน ตามลำดับ ทำการติดตามนับจำนวนแบคทีเรียและยีสต์ด้วยวิธีการแยกเชื้อบริสุทธิ์ แบ่งกลุ่มตามลักษณะทางกายภาพของโคโลนี ศึกษารูปร่างและการติดสีย้อมแกรมของจุลินทรีย์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหมักหมักน้ำมันสำหรับปัสสาวะส่วนผสม 1:5 และ 1:3 (หมักน้ำมัน : น้ำกลั่น) สามารถแยกเชื้อบริสุทธิ์ได้ทั้งสิ้น 110 ไอโซเลท และ 26 ไอโซเลท จากการหมักในอัตราส่วน 1:5 และ 1:3 (หมักน้ำมัน : น้ำกลั่น) ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่ามีจำนวนและชนิดของ แบคทีเรียที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะการหมักที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน

เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำที่เปลี่ยนไปของการหมักเหง้ามันสำปะหลังในอัตราส่วน 1:5 มีปริมาณน้ำมากกว่าอัตราส่วน 1:3 ทำให้เกิดสภาวะการหมักที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อพีเอช จำนวน และชนิดของจุลินทรีย์ที่พบ

ปิยะธิดา และอารีศา (2558) [31] ศึกษาความสามารถในการย่อยแป้ง และเซลลูโลส ของจุลินทรีย์ที่แยกได้จากเหง้ามันสำปะหลังหมักที่อัตราส่วน 1:3 และ 1:5 (เหง้ามัน:น้ำกลั่น) และศึกษาการผลิตเอนไซม์อะไมเลสและเอนไซม์เซลลูเลส จากเชื้อบริสุทธิ์ โดยถูกทดสอบโดยใช้วิธี Point Inoculation บนอาหาร Starch Agar และ Carboxy Methyl Cellulose (CM-Cellulose) Agar ที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียที่พบในเหง้ามันสำปะหลังสามารถย่อยสลายแป้ง (บน Starch Agar) และย่อย CM-Cellulose (บน CM-Cellulose Agar) นอกจากนี้ลักษณะของโคโลนีที่มีการย่อยแป้งและย่อยเซลลูโลสได้ที่อัตราส่วน 1:3 มีลักษณะสีขาว รูปร่างไม่แน่นอน ขอบไม่เรียบ และลักษณะสีขาว กลม ขอบด้านนอกเรียบ ขนาดตั้งแต่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตรถึง 9 มิลลิเมตร และที่อัตราส่วน 1:5 มีลักษณะสีขาว กลม ขอบด้านนอกเรียบ ขนาดตั้งแต่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตรถึง 9 มิลลิเมตร



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาผลของระยะเวลาในการหมักเห้งงำมันสำปะหลังที่มีผลต่อของคุณสมบัติทางกายภาพ ต้นทุนในกระบวนการผลิตของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน และศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัตถุดิบเริ่มต้นและเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ รวมทั้งศึกษากลไกในการเป็นตัวประสานของชีวมวลเห้งงำมันสำปะหลังทั้งในกรณีที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักและกรณีที่ผ่านมากระบวนการหมักซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 แผนการวิจัย

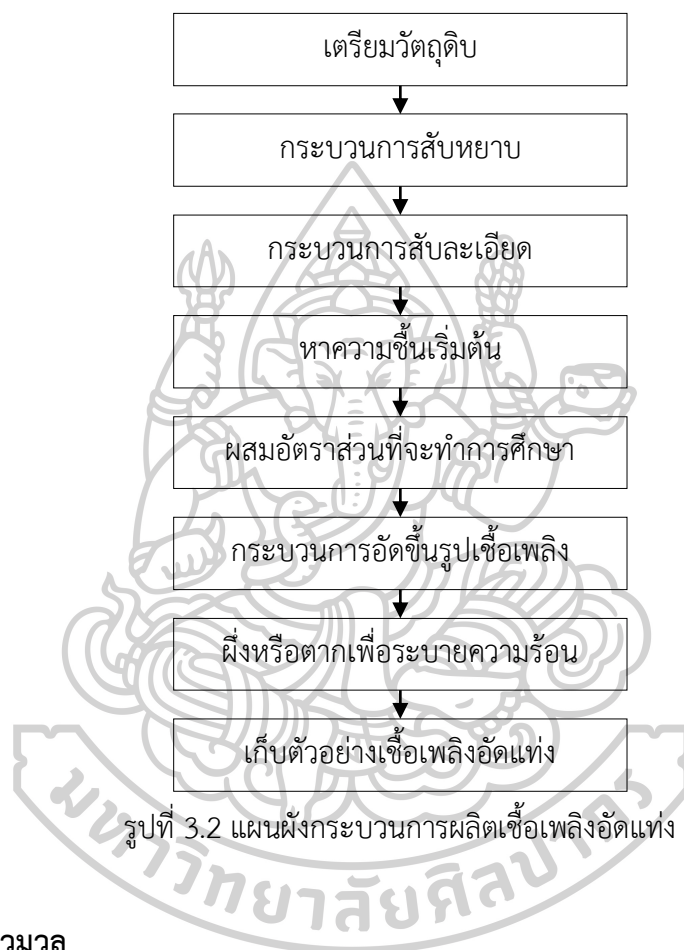
แผนการวิจัยในการดำเนินงาน ผลของระยะเวลาในการหมักเห้งงำมันสำปะหลังที่มีผลต่อของคุณสมบัติทางกายภาพ และต้นทุนในกระบวนการผลิตของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนคือ การผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ การวิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์และ การวิเคราะห์กลไกการเป็นตัวประสาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการวิจัย

3.1.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

สำหรับงานวิจัยนี้ ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย เศษไม้กระถิน และตัวประสานทางธรรมชาติคือ เหง้ามันสำปะหลัง โดยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจะมีขั้นตอนของการผลิตดังแสดงในรูปที่ 3.2 และมีรายละเอียดดังนี้



3.2 วัตถุดิบชีวมวล

3.2.1 วัตถุดิบชีวมวลหลัก

ชีวมวลกระถินนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก นำมาจากพื้นที่ในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการนำใบของต้นกระถินไปใช้เป็นอาหารสัตว์โดยส่วนที่เหลือนั้นเรียกว่า “เศษไม้กระถิน” เป็นส่วนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เศษไม้กระถิน

3.2.2 วัตถุดิบตัวประสาน

ชีวมวลเหง้ามันสำปะหลังที่นำมาศึกษาเป็นตัวประสานในงานวิจัยนี้ นำมาจากอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยนำเหง้ามันสำปะหลังที่ได้มาทำความสะอาด ขำระล้างเศษดิน จากนั้นขั้นตอนถัดมาคือ การลดขนาดโดยการสับด้วยมือแล้วจึงนำไปเข้าเครื่องสับหยาบ และเครื่องสับละเอียดในลำดับถัดไป



รูปที่ 3.4 เหง้ามันสำปะหลัง

3.3 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ

สำหรับในงานวิจัยนี้ กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการคือ กระบวนการสับหยาบ กระบวนการสับละเอียด และกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 กระบวนการสับหยาบ

นำเศษไม้กระถินและเหง้ามันสำปะหลังเข้าเครื่องสับหยาบดังแสดงในรูปที่ 3.5 เพื่อลดขนาดโดยอนุภาคจะลดลงอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 เซนติเมตร และในส่วนของชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง หลังจากสับหยาบเสร็จให้นำไปตากประมาณ 2 วัน เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปสับละเอียด



รูปที่ 3.5 เครื่องสับหยาบ และส่วนที่ป้อนชีวมวลเข้าเครื่องสับหยาบ

3.3.2 กระบวนการสับละเอียด

จากนั้นนำเศษกระถินและเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านการสับหยาบแล้ว มาทำการสับละเอียดโดยเครื่องสับละเอียด ดังแสดงไว้ในรูป 3.6 เพื่อให้ชีวมวลมีขนาดเล็กลงตามที่ใช้ในการศึกษา สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ตะแกรงที่มีขนาดอนุภาค 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 เครื่องสับละเอียด

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมการผสมชีวมวลก่อนกระบวนการขึ้นรูป

ขั้นตอนการเตรียมการผสมชีวมวลก่อนนำไปขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือพิจารณาที่วัตถุดิบเศษกระถินเพียงอย่างเดียว เพื่อนำมาเป็นตัวอ้างอิงในงานวิจัยนี้ และส่วนที่สองคือพิจารณาการผสมตัวประสานโดยทุกๆ เงื่อนไขจะผสมที่อัตราส่วน 7:3 (เศษกระถินและเหง้ามันสำหรับ) และศึกษาตัวประสาน 2 กรณีคือ กรณีเหง้ามันสำหรับไม่ผ่านกระบวนการหมัก และกรณีเหง้ามันสำหรับที่ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน โดยมีรายละเอียดสัดส่วนการผสมดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนการผสมชีวมวลก่อนกระบวนการขึ้นรูป

ชีวมวล	อัตราส่วน	น้ำหนักชีวมวล (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์การเติมน้ำ (20 เปอร์เซ็นต์)
เศษกระถิน	10	6	1.2
เศษกระถิน	7	4.2	0.84
เหง้ามันสำหรับ	3	1.8	0.6

ส่วนแรกคือนำเศษกระถินผสมน้ำที่ 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และส่วนที่สองคือ หมักตัวประสานตามระยะเวลาที่ศึกษาตามอัตราส่วนการผสมเปอร์เซ็นต์น้ำดังตารางที่ 3.1 จากนั้นนำมาผสมเศษกระถิน คลุกเคล้าให้เข้ากัน และนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบในขั้นตอนถัดไป

3.3.4 กระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ

ในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบนั้น เริ่มจากการนำชีวมวลที่ทำการศึกษาซึ่งน้ำหนักเริ่มต้น โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิทัลแบบวางพื้นยี่ห้อ AND รุ่น EM -150KAL ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เพื่อให้ได้น้ำหนักตามอัตราส่วนผสมที่ต้องการศึกษา จากนั้นทำการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแท่งตะเกียบด้วยเงื่อนไขตามที่กำหนด ซึ่งเครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบสำหรับงานวิจัยนี้คือเครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชนิดแม่พิมพ์หมุน (Rotary flat die) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จากนั้นจับเวลาในช่วงที่เริ่มทำการผลิต และเริ่มกระบวนการขึ้นรูป พร้อมทำการจดบันทึกค่าต่าง ๆ ได้แก่ การใช้พลังงานมวลที่ผลิตได้ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจึงนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มาฝั่งเพื่อระบายความร้อนที่อุณหภูมิห้อง รวมทั้งทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา (Pellet Fuels Institute: PFI)



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.8 เครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชนิดแม่พิมพ์หมุน (Rotary flat die)

ในงานวิจัยนี้พิจารณาเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากลักษณะทางกายภาพภายนอกที่อัดออกมาเป็นแท่งที่สมบูรณ์ มีความยาวสม่ำเสมอไม่เกิน 1.5 นิ้ว ตามเกณฑ์ใบตัดที่ถูกต้องไว้ของเครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง อีกทั้งผิวของแท่งเชื้อเพลิงมีความเรียบ ผิวมัน เงา และปริมาณฝุ่นน้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของแท่งเชื้อเพลิงทั้งหมด เพื่อที่จะนำไปทดสอบคุณสมบัติคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

3.3.5 กำหนดรหัสในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

การกำหนดรหัสตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบในเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อสะดวกในการศึกษาสามารถกำหนดได้ดังนี้

A หรือ REF : กระจิน (*Acacia mangium Willd*)

C : เหง้ามันสำปะหลัง (*Cassava rhizome*)

F : กระบวนการหมัก (Fermentation)

ตัวเลข : ระยะเวลาในการหมักตัวประสาน

ตัวอย่างรหัส A หรือ REF คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินเพียงอย่างเดียว

ACF0 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินผสม เหง้ามันสำปะหลังไม่ผ่านกระบวนการหมัก

ACF1 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 1 วัน

ACF3 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

ACF5 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 5 วัน

ACF7 คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระจินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 7 วัน

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ

3.4.1 การทดสอบค่าความทนทาน

การทดสอบค่าความทนทาน (Durability) เริ่มโดยนำตัวอย่างจำนวน 500 กรัม ใส่ในเครื่องทดสอบค่าความทนทาน และเปิดเครื่องให้หมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 1/8 นิ้ว และนำชีวมวลที่อยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก[18] เพื่อคำนวณหา ค่าความทนทาน ซึ่งเครื่องทดสอบค่าความทนทานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.9 และสามารถคำนวณค่าความทนทานจากสมการที่ (1)

$$PDI = \frac{WPW}{IW} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ	PDI	คือ ค่าความทนทานของแท่งเชื้อเพลิง (%)
	WPW	คือน้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์โดยผ่านตะแกรงร่อนแล้ว (g)
	IW	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างเชื้อเพลิง (g)



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบค่าความทนทาน

3.4.2 การทดสอบค่าความหนาแน่น

สำหรับการหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง เริ่มต้นด้วยการนำตัวอย่างใส่ลงไปในเครื่องวัดความหนาแน่น (Bulk Density) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งกล่องที่ใช้ในการทดสอบจะมีขนาด $305 \times 305 \times 305 \text{ kg/m}^3$ ตามมาตรฐาน ASTM 873-82[19] โดยขั้นตอนในการทดสอบเริ่มจากนำเชื้อเพลิงอัดแท่งลงในช่องทางเข้าด้านบน จากนั้นดึงตัวที่คั่นเชื้อเพลิงอัดแท่งออก เพื่อปล่อยให้เชื้อเพลิงอัดแท่งตกลงมาอย่างอิสระในกล่องที่ใช้บรรจุ ทำการเคาะโดยการปล่อยกล่องกระแทกพื้นจากความสูงประมาณ 1.5 นิ้ว จำนวน 25 ครั้ง และวัดความสูงจากระยะขอบด้านบนของกล่องจนถึงแท่งเชื้อเพลิง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความสูง สามารถคำนวณค่าความหนาแน่นรวมจากสมการ (2)

$$\rho_{bulk} = \left(\frac{m_t - m_b}{v_p} \right) \quad (2)$$

เมื่อ	ρ_{bulk}	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
	m_t	คือ มวลของกล่องรวมมวลของแท่งเชื้อเพลิงภายในกล่อง (kg)
	m_b	คือ มวลของกล่อง(kg)
	v_p	คือ ปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง (m^3)



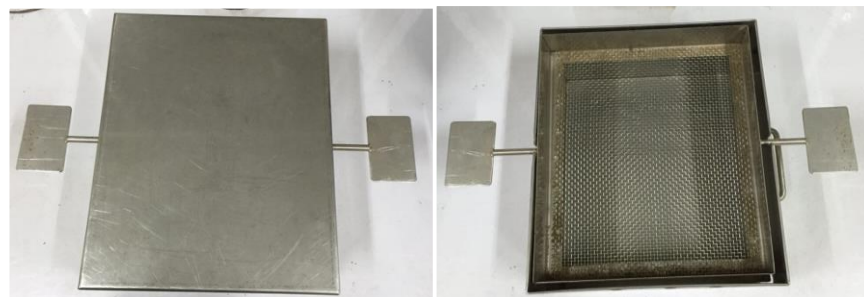
รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความหนาแน่น

3.4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น

ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (Fins percent) นำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผ่านการทดสอบค่าความทานทานมาร้อนผ่านตะแกรงขนาดรู 1/8 นิ้ว โดยแบ่งใส่ครั้งละ 500 กรัม จากนั้นทำการร่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจำนวน 10 ครั้ง (ไป-กลับนับเป็น 1 ครั้ง) และนำฝุ่นที่อยู่ในภาครองด้านล่างมาชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นจากสมการที่ (3)

$$\% F = \frac{(W_p + F) - W_i}{W_i} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ $\% F$ คือ ฝุ่น (%)
 W_p คือ น้ำหนักของจานรองเศษฝุ่น (g)
 W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างเชื้อเพลิง (g)



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น

3.4.4 ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถแสดงให้เห็นถึงปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของชีวมวลที่สมบูรณ์ โดยค่าความร้อนเป็นสมบัติเฉพาะตัวขึ้นอยู่กับชนิดของแต่ละชีวมวล และเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ซึ่งค่าความร้อนโดยทั่วไปของเชื้อเพลิงมีอยู่ 2 ประเภท คือค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value, LHV) โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ค่าความร้อนสูง (HHV) ในการพิจารณาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ตามมาตรฐาน ASTM –E 711[20], NBR 8633/84 [21] ที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ) โดยเชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกเผาไหม้ในภาชนะปิดที่แช่อยู่ในน้ำ หลังจากเชื้อเพลิงชีวมวลเผาไหม้แล้ว จะคายความร้อนให้แก่ น้ำ ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถหาปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลได้จากการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำ



รูปที่ 3.12 Adiabatic Bomb Calorimeter

3.4.3.1 การคำนวณอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่แท้จริง ได้ดังสมการ

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad (4)$$

- เมื่อ **a** คือ เวลาของการจุดระเบิด
b คือ เวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 60% ของที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด
c คือ เวลาที่เริ่มต้นของคาบ (หลังจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น) ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลายเป็นคงที่

- t คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ถูกต้อง ($^{\circ}\text{C}$)
- t_a คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่อ่านที่เวลาจุดระเบิด
- t_c คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่อ่านได้
- r_1 คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีก่อนจุดระเบิด ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
- r_2 คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีหลังจากเวลาที่เริ่มต้นของคาบ c ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)

3.4.3.2 การคำนวณค่าความร้อนกรอสของการเผาไหม้

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (5)$$

- เมื่อ H_g คือ ค่าความร้อนรวมจากการเผาไหม้ (J/g)
- w คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอริมิเตอร์ ($\text{Cal}/^{\circ}\text{C}$)
- m คือ มวลของตัวอย่างเป็น (g)
- e_1 คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO_3) 23.9 Cal
- e_2 คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (H_2SO_4) 13.7 Cal
- e_3 คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลวด (2.3 Cal/cm เมื่อใช้ Parr 45C10 สายฟิวนิกเกิลโครม)

3.4.3.3 การคำนวณค่ามาตรฐานคาลอริมิเตอร์

$$W = \frac{H_m + e_1 + e_3}{t} \quad (6)$$

- เมื่อ w คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอริมิเตอร์ ($\text{Cal}/^{\circ}\text{C}$)
- H คือ Heat of combustion of Standard benzoic acid (ให้พลังงาน 6318 Cal/g)
- m คือ มวลของตัวอย่าง (g)
- t คือ ผลรวมของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

e_1 คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO₃) 23.9 Cal

e_3 คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลวด

(2.3 Cal/cm เมื่อใช้ Parr 45C10 สายฟิวนิกเกิลโครม)

3.4.5 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ในเชื้อเพลิงแห้งตะเกียบจะเริ่มด้วยการนำเชื้อเพลิงตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนที่จะไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างออกจากตู้อบและนำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำไปชั่งน้ำหนักสุดท้าย เพื่อคำนวณหาค่าความชื้นในเชื้อเพลิงซึ่งหาได้จากสมการที่ (7)

$$\%M = \frac{(W_o - W_f)}{W_o} \times 100 \quad (7)$$

เมื่อ W_o คือ น้ำหนักเริ่มต้นของเชื้อเพลิง (g)

W_f คือ น้ำหนักสุดท้ายของเชื้อเพลิง (g)

M คือ ความชื้นฐานเปียก (%)



รูปที่ 3.13 ตู้อบความชื้น

3.5 การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การวิเคราะห์ต้นทุนในการทดลองมี 3 กระบวนการ คือ กระบวนการสับหยาบ กระบวนการสับละเอียด และกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยแต่ละกระบวนการจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนในแต่ละด้านซึ่งประกอบไปด้วยกำลังการผลิต (kg/h) พลังงานต่อหน่วย (kWh/kg) ต้นทุนการผลิต (บาทต่อกิโลกรัม) และผลได้เชิงมวล (%) โดยมีสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

3.5.1 การวิเคราะห์กำลังการผลิต

สำหรับการวิเคราะห์กำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ ทำได้โดยบันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต และน้ำหนักหลังขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ปราศจากฝุ่น ซึ่งกำลังการผลิตในงานวิจัยนี้พิจารณาพร้อมกับคุณสมบัติทางกายภาพประกอบไปด้วย ค่าความหนาแน่นและค่าความทนทาน ของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผ่านมาตรฐาน PFI โดยกำลังผลิตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$\text{กำลังการผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป(kg)}}{\text{เวลาที่ใช้ขึ้นรูปทั้งหมด(h)}} \quad (8)$$

(หมายเหตุ: กำลังการผลิตของแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ ศึกษาโดยใช้เครื่องขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบแบบแม่พิมพ์หมุนที่กำลังมอเตอร์ 7.5 กิโลวัตต์ และหมุนด้วยความเร็วรอบ 1140 รอบต่อนาที)

3.5.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยหาค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป เพื่อทราบถึงความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไปหน่วยเป็น (kWh/kg) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$\text{การใช้พลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kWh)}}{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป (kg)}} \quad (9)$$

3.5.3. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในกระบวนการขึ้นรูป เพื่อทราบถึงราคาต้นทุนต่อบาทของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้ มีหน่วยเป็น (บาท/กิโลกรัม) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kWh)}}{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป (kg)}} \times \text{ค่าไฟฟ้า (บาท)} \quad (10)$$

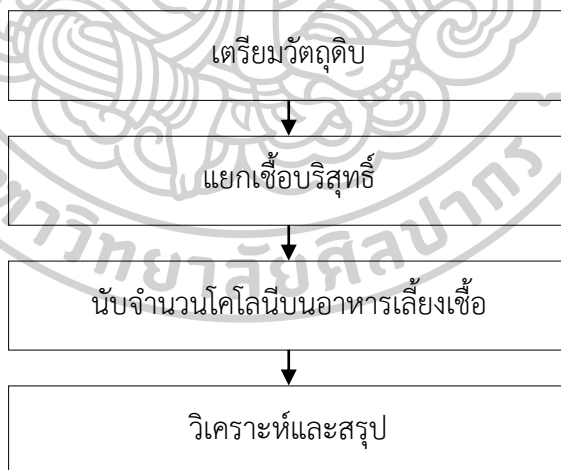
3.5.4 การวิเคราะห์ผลได้เชิงมวล

การวิเคราะห์ผลได้เชิงมวล จากการคำนวณหาผลสุทธิต่างที่ได้หลังจากกระบวนการขึ้นรูปเพื่อทราบประสิทธิภาพในการผลิต มีหน่วยเป็น (%) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$\text{ผลได้เชิงมวล} = \frac{\text{มวลเชื้อเพลิงที่ผลิตได้(kg)}}{\text{มวลตั้งต้น(kg)}} \times 100 \quad (11)$$

3.6 การวิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์ในเหง้ามันสำปะหลัง

การวิเคราะห์กิจกรรมของจุลินทรีย์ในส่วนนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือในวัตถุดิบเริ่มต้น และส่วนที่สองคือเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ โดยพิจารณาการนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 2 ชนิด แผนผังขั้นตอนการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์

3.6.1 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือวัตถุดิบที่เริ่มต้น และส่วนที่สองคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบโดยนำมามาบดให้ละเอียด จากนั้นทำการเจือจาง

(Dilution) ตัวอย่างที่ศึกษาครั้งละ 10 เท่า โดยทำการสูมตัวอย่างวัตถุบิสใส่ขวดแก้วปลอดเชื้อ (Sterile vial) ปริมาณ 1 กรัม แล้วทำการเติมน้ำเกลือปลอดเชื้อ (0.89% NaCl) 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างจะได้เป็นการเจือจางที่ 10^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างวัตถุบิส 1 กรัมในสารละลาย 0.89% NaCl (10 มิลลิลิตร)

3.6.2 การเจือจางตัวอย่าง

การเจือจางตัวอย่างโดยการดูด Normal Saline (0.89% NaCl) 9 มิลลิลิตร ใส่หลอดไมโครเซนตริฟิว (Sterile Micro-Centrifuge tube) จำนวน 9 หลอด และดูดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรจากหลอด 10^{-1} ถ่ายใส่หลอดที่ 10^{-2} และดูดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรจากหลอด 10^{-2} ถ่ายใส่หลอดที่ 10^{-3} จนถึง 10^{-9} ตามลำดับ

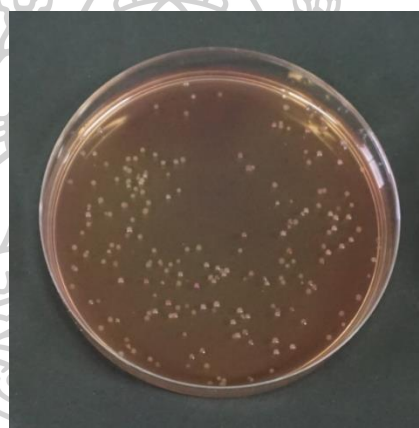
การสูมตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ที่ระดับ Dilution ที่เหมาะสมมาทำการ Spread-Plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Nutrient Agar: (NA) ทำซ้ำ 3 ครั้งต่อระดับ Dilution ทำเช่นเดียวกันบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด MacConkey Agar เมื่อเกลี่ยเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Spread-Plate) จนแห้ง นำมาทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง ก่อนนำไปนับจำนวนโคโลนี

3.6.3 การนับจำนวนจุลินทรีย์ในอาหาร

ในการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอนการเจือจาง (Dilution Spread-Plate) โดยนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ทำการบ่มไว้ 18-24 ชั่วโมง มาทำการนับจำนวนโคโลนีซึ่งโดยทั่วไปจำนวนโคโลนีที่เหมาะสมในการนับคือ 30-300 โคโลนี ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างโคโลนีที่ใช้นับจำนวน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างโคโลนีที่ใช้นับจำนวน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MacConkey Agar

3.7 การคำนวณการนับจำนวนเชื้อบริสุทธิ์

การนับจำนวนแบคทีเรียรายงานผลเป็น Colony Forming Unit (CFU) สามารถนับจากงานที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี โดยนำจำนวนที่นับได้ และระดับความเจือจางความเข้มข้นของตัวอย่างคำนวณดังสมการที่ (12)

$$BD = \frac{CFU_{average} \times DF}{V} \quad (12)$$

เมื่อ	BD	คือ ความหนาแน่นของแบคทีเรีย (bacterial density) CFU/g
	$CFU_{average}$	คือ จำนวนโคโลนีเฉลี่ยที่อยู่ในช่วง 30 – 300 CFU
	V	คือ ปริมาตรตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร

DF คือ ส่วนกลับของระดับความเจือจาง (dilution factor)

3.8 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพบนพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังในกรณีไม่หมัก และกรณีหมักที่ระยะเวลา 1, 3, 7 และ 12 วัน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุ่น Mira 3 ยี่ห้อ Test scaw) ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งสามารถขยายและถ่ายภาพลักษณะสัณฐานพื้นผิวของวัสดุในระดับจุลภาค ที่มีรายละเอียดที่เล็กมาก ๆ โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังนี้



รูปที่ 3.18 เครื่องถ่ายภาพ Scanning electron microscope ยี่ห้อ Test scaw รุ่น Mira 3

3.8.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังไม่หมักและเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมัก ในขั้นตอนแรกทำการคัดแยกขนาดอนุภาคโดยเครื่องเขย่าคัดแยกอนุภาคแบบตะแกรงร่อน (Sieve Shaker) รุ่น XSZ-200 ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ขนาดอนุภาคที่ใช้ในการศึกษาคือ 0.425 - 0.600 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.19 เครื่องเขย่าคัดแยกอนุภาค (Sieve Shaker) รุ่น XSZ-200

จากนั้นนำอนุภาคแห้งมาใส่ภาชนะหลังจากผ่านการคัดแยกมาหมักในขวดแก้ว (Sterile Vial) ที่อัตราส่วน 2:1 (ชีวมวลต่อน้ำ) ดังแสดงในรูปที่ 3.20 และหมักที่อุณหภูมิห้องตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา เมื่อครบระยะเวลาการหมักในวันต่าง ๆ ทำการสุ่มตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการหมักเข้าเตาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บใส่ถุงซิปล็อค ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างวัตถุดิบในขวดแก้ว Sterile Vial



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการหมักและอบไล่ความชื้น

3.8.2 การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

ในส่วนแรกคือการเตรียมตัวอย่างสำหรับศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีขั้นตอนคือ นำเทปกาวคาร์บอนแปะลงบนฐานสตัป (Stub) ดังแสดงในรูปที่ 3.22 สำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการสุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 3.22 (ก) เทปกาวคาร์บอน, (ข) ฐานอะลูมิเนียม (Stub) และ (ค) เทปกาวคาร์บอนที่แปะลงบน ฐานอะลูมิเนียม

จากนั้นสุ่มตัวอย่างโดยนำสตัปที่มีเทปกาวคาร์บอน แตะลงบนตัวอย่างแห้งมันสำปะหลังและแห้งมันสำปะหลังหมัก (ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ดังกล่าวข้างต้น) จะได้ตัวอย่างชีวมวลที่ติดกับเทปกาวคาร์บอน ดังแสดงรูปที่ 3.23 เมื่อเสร็จขั้นตอนในการสุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องเคลือบทอง Sputter coater เป็นเวลา 50 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.24 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าชีวมวลที่ผ่านการกระบวนการเคลือบทองที่ผิวจะมีสารสีทองเคลือบอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.25 การเคลือบทองเพื่อเป็นตัวนำสัญญาณอิเล็กตรอนและช่วยในการนำไฟฟ้า



รูปที่ 3.23 การเตรียมตัวอย่าง



รูปที่ 3.24 เครื่องเคลือบทอง Sputter coater



รูปที่ 3.25 ซิวมวลที่ผ่านการเคลือบทองโดยเครื่องเคลือบทอง Sputter coater

เมื่อซิวมวลผ่านกระบวนการเคลือบทอง จากนั้นนำตัวอย่างไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยภาพจะประมวลผลและแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

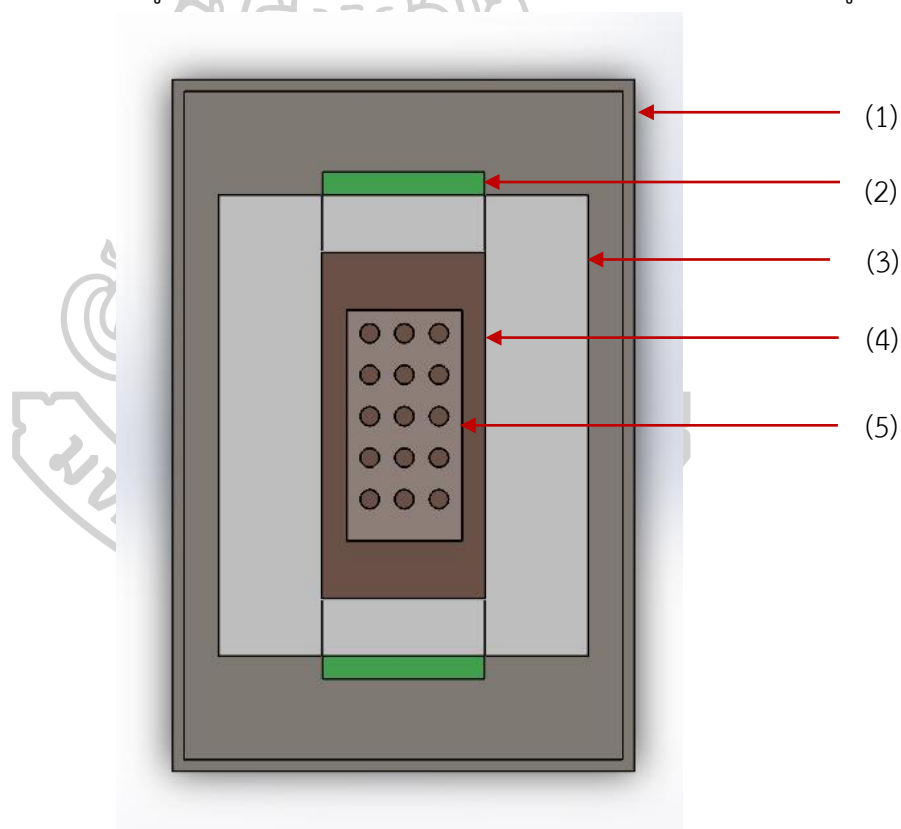
3.9 การทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง

การศึกษาการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test) แสดงให้ทราบถึงโครงสร้างภายในของแท่งเชื้อเพลิงว่ามีรูพรุนมากหรือน้อย ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงที่มีรูพรุนน้อยจะมีความแข็งแรงสูงเช่นเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่มีรูพรุนมากกว่าจะมีความแข็งแรงต่ำกว่า โดยสามารถทดสอบได้จากการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิง และวัดด้วยเวลาที่ใช้ในการซึมผ่านรูพรุน (แท่งเชื้อเพลิงที่เกาะกันแน่น จะใช้เวลาในการแพร่ของน้ำนาน) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

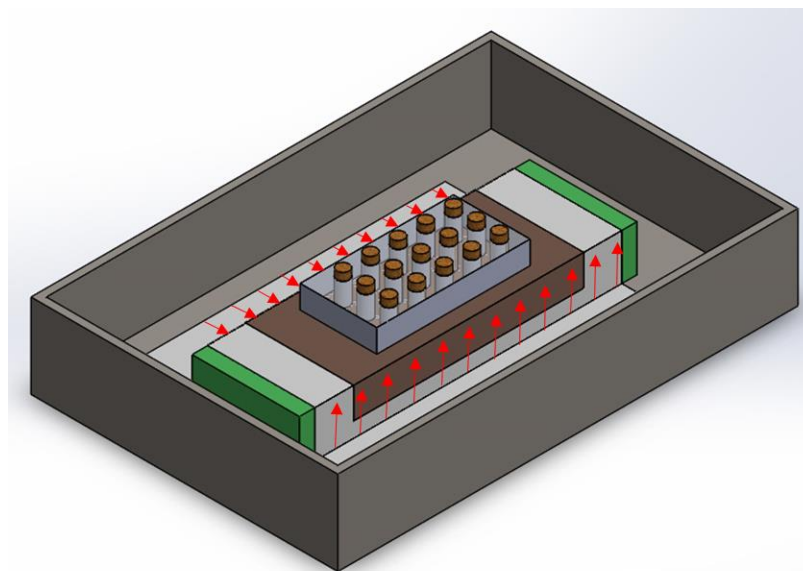
3.9.1 อุปกรณ์และวิธีการเตรียมการทดลอง

3.9.1.1 ชุดการทดลองและอุปกรณ์ในการทดสอบความพรุนภายในของแท่งเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

- ถาดสแตนเลสทรงลึก: ใช้สำหรับเป็นภาชนะใส่น้ำ (1)
- กระดาษทิชชูแบบหนาขนาด 22x20 เซนติเมตร (2)
- กระดาษวาดเขียนคุณสมบัติสามารถซึมน้ำ (3)
- แท่นทดลอง: คือบล็อกอะคริลิก ขนาด 5 x 10 x 1.5 เซนติเมตร (ก x ย x ส) เจาะรู 15 ช่อง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.2 มิลลิเมตร) เพื่อใช้ใส่ตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ (4)
- แท่งบล็อกฐานสี่เหลี่ยม (ก x ย x ส = 7 x 22 x 3 เซนติเมตร) พื้นเรียบทั้งสองด้าน: ใช้สำหรับเป็นฐานในการวางกระดาษทิชชูเพื่อให้น้ำซึมขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง และใช้วางแท่นทดลอง (5) ดังแสดงในรูปที่ 3.26 และ 3.27 แสดงทิศทางของน้ำที่ซึมผ่านกระดาษทิชชูขึ้นมา



รูปที่ 3.26 ชุดการทดลองการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.27 ชุดการทดลองการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง โดยลูกศรสีแดงแสดงทิศทางของน้ำที่ซึมผ่านกระดาษทิชชูขึ้นมา

3.9.1.2 การเตรียมตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิง

การเตรียมตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงสำหรับใช้ศึกษาโดยกำหนดขนาดแท่งเชื้อเพลิงสูง 2 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-0.7 มิลลิเมตร ขัดปลายแท่งเชื้อเพลิงด้วยกระดาษทราย (ยี่ห้อ TOA เบอร์ 240) เพื่อให้หน้าตัดของตัวอย่างเรียบเสมอกัน

3.9.2 ขั้นตอนในการทดลอง

3.9.2.1. นำแท่งบล็อกฐานสีเหลืองวางในภาตสแตนเลส เพื่อยกสูงจากภาตอย่างน้อย 2 เซนติเมตร จากนั้นเทน้ำลงไปในภาตสแตนเลสให้สูงจากแท่งบล็อกฐาน ประมาณ 1 เซนติเมตร (1 ลิตร)

3.9.2.2. นำกระดาษทิชชูเรียงซ้อนกันจำนวน 5 แผ่น จากนั้นวางทับบนแท่งบล็อกฐาน เพื่อให้ น้ำซึมขึ้นมาสม่ำเสมอ

3.9.2.3. นำกระดาษวาดเขียน (ตัดให้มีขนาดใกล้เคียงกับแท่งบล็อกฐาน) วางทับอีกหนึ่งชั้น (ข้อควรระวังควรใส่ฟองอากาศภายในกระดาษทิชชู่ออกให้หมดเพื่อป้องกันการขัดขวางการซึม)

3.9.2.4. วางแผ่นใสพลาสติกบนชั้นของกระดาษทิชชูและแผ่นกระดาษวาดเขียน (เพื่อป้องกันการแพร่ก่อนการทดลอง) ที่ซึมน้ำ

3.9.2.5. วางแท่นทดลอง (บล็อกอะคริลิก) แล้วนำตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงใส่ลงในรูของแท่นทดลองทั้งหมด (15 แท่ง) เมื่อเริ่มทำการทดลอง

3.9.2.6. ตึงแผ่นใสพลาสติกออก เพื่อให้ตัวอย่างแห้งเชื้อเพลิงสัมผัสกับชั้นของกระดาษ และเริ่มจับเวลาโดยจะหยุดเวลาเมื่อน้ำซึมผ่านแห้งเชื้อเพลิงขึ้นมาจนถึงปลายสุดของแห้งเท่านั้น (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) จากนั้นนำเวลาที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแห้งเชื้อเพลิง

3.10 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการนวัตกรรมเชื้อเพลิงและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

3.11 ระยะเวลาการวิจัย

แผนการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยนี้ มีระยะเวลาในการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งทำการทดลองตลอดจนวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง พร้อมเขียนรายงานการวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย

3.11.1 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งตะเกียบ กระบวนการหมัก รวมไปถึงจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแห้งมันสำปะหลัง

3.11.2 ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งตะเกียบ อาทิเช่น การเตรียมชีวมวล ค่าความชื้นเริ่มต้นของชีวมวล และเงื่อนไขในการขึ้นรูปชีวมวล เป็นต้น รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้งตะเกียบ เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัย

3.11.3 กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งตะเกียบ เช่น ค่าความหนาแน่นรวม ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแบบอัดแห้งตะเกียบ โดยอ้างอิงจาก มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งของประเทศสหรัฐอเมริกา (Pellet Fuels Institute: PFI)

3.11.4 การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแห้งตะเกียบ โดยงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการสับหยาบ กระบวนการสับละเอียด และกระบวนการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงค่าผลได้เชิงมวล และกำลังการผลิตในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแห้งตะเกียบอีกด้วย

3.11.5 ทดลองเบื้องต้นเพื่อหาตัวแปรควบคุมในการทดลอง อาทิเช่น ค่าความชื้นเริ่มต้นของชีวมวล และอุณหภูมิเริ่มต้นของแม่พิมพ์

3.11.6 วางแผนการทดลอง การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานและการทดลองด้านชีววิทยา รวมถึงการกำหนดขอบเขตการศึกษาวิจัยการเติมแห้งน้ำมันเป็นตัวประสานทางธรรมชาติ ในการปรับปรุงชีวมวลกระถินเพื่อใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

3.11.7 ทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบตามเงื่อนไขการขึ้นรูปที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งเริ่มจากการลดขนาดอนุภาคของชีวมวลดิบ ด้วยกระบวนการสับหยาบ และสับละเอียด

3.11.8 ศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่หนึ่งวัตถุดิบเริ่มต้น กรณีที่สองคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผสมตัวประสานทางธรรมชาติคือกรณีที่ใหม่หมัก และกรณีหมัก (1, 3, 5 และ 7 วัน) ทั้งสองกรณีศึกษาโดยวิธีการ Dilution Spread-Plate Technique บนอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิดคือ Nutrient Agar ในการนับจำนวนรวมจุลินทรีย์ทั้งหมด และ MacConkey Agar ในการนับจำนวนจุลินทรีย์แกรมลบ

3.11.9 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลแท่งตะเกียบตามมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งของประเทศสหรัฐอเมริกา (Pellet Fuels Institute: PFI) และวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ (กระบวนการสับหยาบ, กระบวนการสับละเอียด และกระบวนการขึ้นรูป)

3.11.10 สรุปผลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองทั้งทางด้านคุณสมบัติทางกายภาพ และการวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแท่งตะเกียบทั้งหมดรวมทั้งสรุปผลด้านจุลชีววิทยา โดยแผนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในตาราง 3.2 โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2560 จนถึงเดือนกันยายน ปี 2561

ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย

รายงานการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย
1. ทำการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ และทางด้านจุลชีววิทยา	มกราคม – กรกฎาคม 2560
2. ทดลองขึ้นรูปแท่งชีวมวล และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูป	สิงหาคม – กันยายน 2560
3. เริ่มทำการทดลองตามแผนการทดลองและเก็บข้อมูลการทดลอง	ตุลาคม – ธันวาคม 2560
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง	มกราคม – กุมภาพันธ์ 2561
5. สรุป อภิปรายผลการทดลอง และเขียนรายงานวิจัย	มีนาคม – พฤษภาคม 2561

3.12 การวางแผนการวิจัย

3.12.1 แผนการทดลอง

การทดลองการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบในงานวิจัยนี้ใช้ชีวมวล 2 ชนิด คือเศษไม้กระถิน และเหง้ามันสำปะหลัง โดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ ซึ่งศึกษาตัวประสาน 2 กรณีคือ กรณีที่ไม่หมัก และกรณีหมัก (1, 3, 5 และ 7 วัน) ศึกษาการเติมตัวประสานคือ 30% ต่อน้ำหนักแห้ง โดยทำการทดลอง และสามารถคำนวณการทดลองทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 จำนวนการทดลองการขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ

ชีวมวล	ตัวประสาน	ระยะเวลาการหมักตัวประสาน	เปอร์เซ็นต์การเติมตัวประสาน	จำนวนการทดลอง
กระถิน	-	2 ชั่วโมง	-	3
กระถิน	เหง้ามันสำปะหลัง (กรณีไม่หมัก)	0 วัน	30%	3
กระถิน	เหง้ามันสำปะหลัง (กรณีหมัก)	1 วัน	30%	3
กระถิน	เหง้ามันสำปะหลัง (กรณีหมัก)	3 วัน	30%	3
กระถิน	เหง้ามันสำปะหลัง (กรณีหมัก)	5 วัน	30%	3
กระถิน	เหง้ามันสำปะหลัง (กรณีหมัก)	7 วัน	30%	3
จำนวนการทดลองทั้งหมด				18

อีกทั้งจากการศึกษาระยะเวลาในการหมักเหง้ามันปะหลังนั้น ผู้วิจัยมีความสนใจในด้านของจุลชีววิทยา คือการศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ประกอบไปด้วย วัตถุประสงค์เริ่มต้นก่อนกระบวนการขึ้นรูป เปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังกรณีไม่หมักและกรณีหมัก (1, 3, 5 และ 7 วัน) ศึกษาด้วยวิธีการแยกเชื้อบริสุทธิ์โดยเทคนิค Dilution Spread-Plate บนอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิดคือ

Nutrient Agar ในการนับจำนวนรวมจุลินทรีย์ทั้งหมดและ MacConkey Agar ในการนับจำนวนจุลินทรีย์แกรมลบ สามารถคำนวณการทดลองทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 จำนวนการทดลองการแยกเชื้อบริสุทธิ์ในซีววมวลดิบและเชื้อเพลิงซีววมวลอัดแท่งตะเกียบ

ซีววมวล	ระยะเวลาการหมัก (ตัวประสาน)	แยกเชื้อบริสุทธิ์ บนอาหาร	จำนวนการทดลอง
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	3วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถิน (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	-	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
เหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	-	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	0วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	3วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	5วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบวัตถุดิบเริ่มต้น)	7วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถิน (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	-	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	0วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3

(มีต่อ)

ตารางที่ 3.4 จำนวนการทดลองการแยกเชื้อบริสุทธิ์ในชีวมวลดิบและเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบ (ต่อ)

ชีวมวล	ระยะเวลา การหมัก (ตัวประสาน)	แยกเชื้อบริสุทธิ์ บนอาหาร	จำนวน การทดลอง
กระถินผสมเห้งน้ำมันสำปะหลัง (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	1วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเห้งน้ำมันสำปะหลัง (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	3วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเห้งน้ำมันสำปะหลัง (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	5วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
กระถินผสมเห้งน้ำมันสำปะหลัง (แบบเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ)	7วัน	Nutrient Agar	3
		MacConkey Agar	3
จำนวนการทดลองทั้งหมด			78



บทที่ 4 ผลการวิจัย

การศึกษานี้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน โดยผสมตัวประสานทางธรรมชาติคือ เหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งพิจารณาระยะเวลาในการหมัก เหง้ามันสำปะหลังที่ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน ในอัตราส่วนผสมระหว่างกระถินและเหง้ามันสำปะหลังที่ 70:30 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, ค่าความทนทาน ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากประเทศสหรัฐอเมริกา (PFI Standard) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้อ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบด้วยมาตรฐาน ASTM-E711[20] และ NBR 8633/84[21] อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ รวมไปถึงศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการแสดงผลการทดลองและการอภิปรายผล ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพภายนอกของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผลิตจากเศษไม้กระถิน และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบผสม (เศษกระถินและเหง้ามันสำปะหลัง) โดยตัวประสานที่หมักด้วยระยะเวลาแตกต่างกันคือ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน ดังแสดงในรูป 4.1 สามารถสังเกตเห็นลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากเศษไม้กระถิน (REF) มีลักษณะเป็นแท่งที่เกาะตัวกันไม่แน่น และมีรอยแตกร้าวระหว่างแท่งเชื้อเพลิง ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (ACF0) และกรณีที่หมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน (ACF1, ACF3, ACF5 และ ACF7) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าแท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวกันแน่นมากขึ้น บริเวณผิวของแท่งเชื้อเพลิงมีความเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ผิวภายนอกมีลักษณะมันเงา เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินเพียงอย่างเดียว



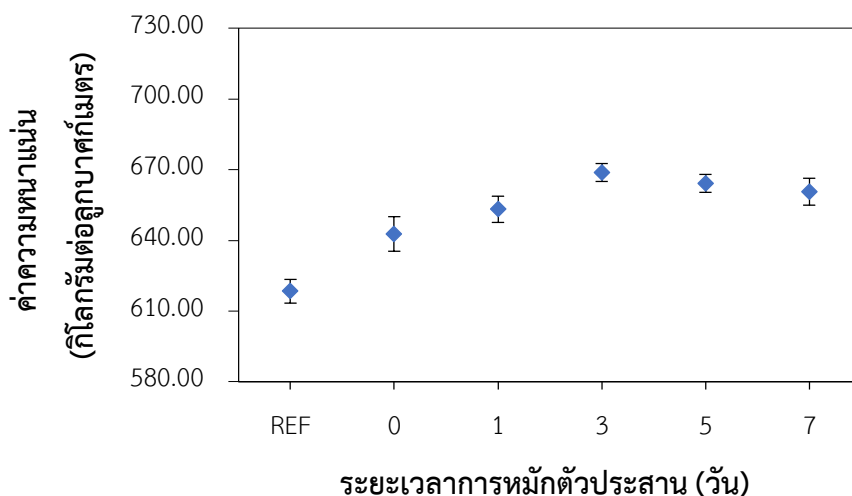
รูปที่ 4.1 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน (ACF0, ACF1, ACF3, ACF5 และ ACF7)

4.2 ผลของตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

งานวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) ใช้เป็นตัวอ้างอิง และส่วนที่สองคือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินที่มีการเติมตัวประสาน โดยกรณีที่มีการเติมตัวประสานแบ่งออกเป็น 2 กรณีย่อย ได้แก่ กรณีผสมตัวประสานที่ไม่หมัก (0 วัน) และกรณีผสมตัวประสานที่หมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน ซึ่งคุณสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ประกอบไปด้วยการทดสอบค่าความหนาแน่น, ความทนทาน, เเปอร์เซ็นต์ฝุ่น และค่าความร้อน ทำการทดสอบ ณ ศูนย์ทดสอบมาตรฐานชีวมวล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศิลปากร

4.2.1 ผลของค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

จากกราฟรูปที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 618.42 ± 4.99 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 642.62 ± 7.34 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเชื้อเพลิงจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 653.22 ± 5.57 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 668.77 ± 3.83 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 664.18 ± 3.78 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 660.65 ± 5.70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

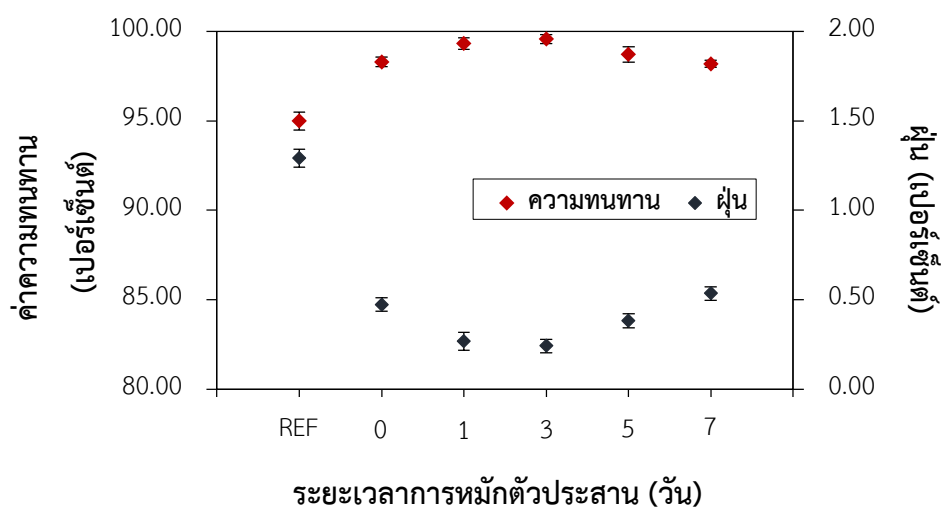
จากข้อมูลข้างต้นพบว่าเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 618.42 ± 4.99 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่เมื่อผสมตัวประสานในกรณีไม่หมักส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.76 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1 และ 3 วัน พบว่ามีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.23 เปอร์เซ็นต์ และ 7.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยไม้สนประดิพัทธ์ผสมเหง้ามันสำปะหลัง พบว่าเมื่อผสมตัวประสาน(เหง้ามันสำปะหลัง)สามารถปรับปรุงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากขี้เลื่อยไม้สนประดิพัทธ์ให้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น[32] แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาการหมักที่ 5 และ 7 วัน ส่งผลให้ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงลดลงเนื่องจากค่าความชื้นของตัวประสานเมื่อระยะเวลาการหมักนานส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตาม เป็นผลทำให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเรื่องปริมาณความชื้นที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากข้าวบาร์เลย์

(Barley) และข้าวข้าวสาลีประเภทหวีท (Wheat) โดยเมื่อชีวมวลเริ่มต้นมีค่าความชื้นที่มากส่งผลให้การเกาะตัวกันของชีวมวลในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปนั้นมีประสิทธิภาพที่ลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแห้งจะตกต่ำลงเมื่อความชื้นของชีวมวลเพิ่มขึ้น [7] โดยค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแห้งจะสัมพันธ์กับปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคชีวมวลทั้งสองชนิด เมื่อชีวมวลถูกบีบอัดจะเกิดแรงระหว่างอนุภาคของแข็ง (Attractive force between Solid particles) ทำให้ระยะห่างภายในอนุภาคลดลงและเกิดการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคเล็ก ๆ ของชีวมวลเข้าด้วยกัน โดยในระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปต้องอาศัยแรงกดระหว่างลูกหมุนอัดกับแผ่นรังผึ้ง เพื่อให้สามารถอัดผ่านรูและออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งแรงภายในโมเลกุลนี้คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น (Adhesive and Cohesive Force) ส่งผลให้ลดระยะห่างของอนุภาคภายในเพื่อช่วยให้เกิดกลไกการรวมตัวของอนุภาคชีวมวล [15] ซึ่งค่าความหนาแน่นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิง ทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดความต้องการของพื้นที่ในการจัดเก็บ

จากการศึกษาผลของตัวประสานที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น สามารถสรุปได้ว่าการผสมเหง้ามันสำปะหลังสามารถช่วยเพิ่มค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแห้งจากเศษไม้กระถินได้ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการผสมตัวประสานกรณีไม่หมักและหมัก พบว่ากรณีหมักมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า และสูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 3 วัน

4.2.2 ผลของค่าความหนาแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแห้งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแห้งตะเกียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่น และค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของเชื้อเพลิงแบบอัดแห้งตะเกียบ (เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อค่าความทนทานและเปอร์เซ็นต์ฟูนของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงค่าความทนทานของแท่งเชื้อเพลิงจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.98 ± 0.50 เปอร์เซ็นต์ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) มีค่าความทนทานเฉลี่ยเท่ากับ 98.28 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานด้วยระยะเวลาการหมัก 1, 3, 5 และ 7 วัน มีค่าความทนทานเฉลี่ยเท่ากับ 99.30 ± 0.31 เปอร์เซ็นต์, 99.56 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์, 98.69 ± 0.44 เปอร์เซ็นต์ และ 98.18 ± 0.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ฟูนของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบกระถินมีค่าเท่ากับ 1.29 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ฟูนของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) และกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 0.47 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์, 0.27 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์, 0.24 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์, 0.38 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ และ 0.54 ± 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นพบว่าค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 94.98 ± 0.50 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อผสมตัวประสานกรณีไม่หมักพบว่าค่าความทนทานของแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.35 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อผสมตัวประสานกรณีหมักที่ระยะเวลา 1 และ 3 วัน ส่งผลให้ความทนทานของแท่งชีวมวลเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็น 4.35 เปอร์เซ็นต์ และ 4.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยผสมเหง้ามันสำปะหลัง ที่กล่าวว่าเหง้ามันสำปะหลังสามารถช่วยปรับปรุงค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากขี้เลื่อย ส่งผลให้ค่าความทนทานจาก 93.50 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 98.98 เปอร์เซ็นต์ [32] อีกทั้งยังพบว่าการหมักเป็นปรับสภาพทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย

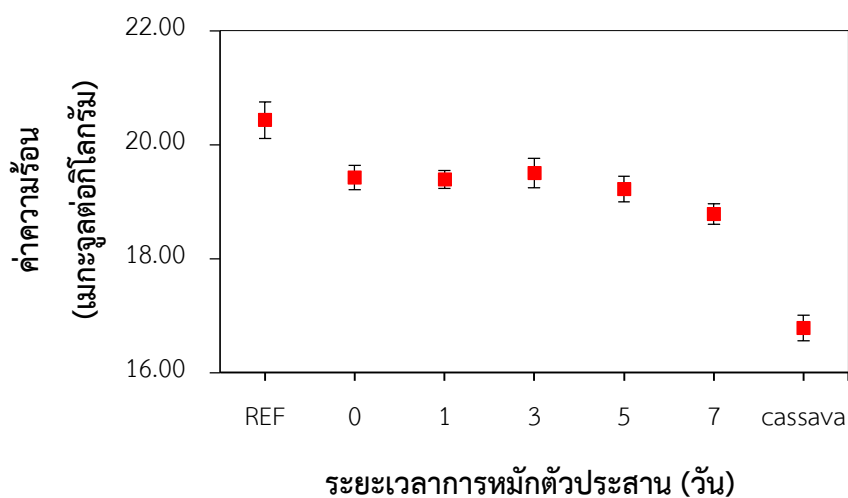
หรือแบบที่เรียเพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างของสารชีวโมเลกุลโพลีเมอร์ใน
 เหน้ไขมันสำปะหลัง[33] โดยการผสมตัวประสานที่ระยะเวลาการหมัก 3 วัน มีค่าความทนทานที่ดีที่สุด
 โดยค่าความทนทาน คือความสามารถในการคงทนต่อการสึกหรอการสลายตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 ซึ่งบ่งบอกถึงการเชื่อมประสานของแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งเชื้อเพลิง ภายใต้
 สภาวะความร้อนและแรงบีบอัดสูง ทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันมากขึ้นและเกิดแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างกัน
 เซลล์ของชีวมวลที่ประกอบด้วยช่องว่างภายในขนาดใหญ่จะถูกบีบอัดตัวลงทำให้องค์ประกอบของ
 ผงเซลล์ ภายใต้สภาวะความร้อนและแรงบีบอัดสูงลักษณะจะอ่อนตัวและแพร่ภายในโมเลกุลระหว่าง
 เส้นใย ส่งผลให้เกิดการเชื่อมประสานทางกลทำให้มีความแข็งแรงเชิงกลเพียงพอต่อการต้านทานการ
 แตกตัว[15] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความทนทานของแท่งเชื้อเพลิงมีผลต่อมีการขนการขนส่ง และ
 แดกหักระหว่างการเคลื่อนย้าย[22]

ในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเมื่อผสมตัวประสาน เนื่องจากแท่ง
 เชื้อเพลิงมีค่าความทนทานสูงส่งผลให้ต่อแรงเหวี่ยงในเครื่องทดสอบ และแตกหักเป็นฝุ่นลดลง
 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่นคืออนุภาคของชีวมวลที่ถูกกลขนาดในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และไม่สามารถ
 เกาะตัวกันเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความทนทาน เมื่อผสมตัวประสานสามารถปรับปรุง
 ค่าความทนทาน และสามารถช่วยลดเปอร์เซ็นต์ฝุ่นของแท่งเชื้อเพลิง

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินเพียงอย่างเดียวมี
 ค่าความทนทานที่ไม่ผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากประเทศสหรัฐอเมริกา (PFI Standard) โดย
 ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้จากการพิจารณาเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้
 กระถินที่ผสมตัวประสานทั้งในกรณีที่ไม่หมักและหมัก พบว่าตัวประสานในกรณีที่ไม่หมักสามารถช่วย
 เพิ่มค่าความทนทานให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ลดเปอร์เซ็นต์การเป็นฝุ่นของแท่งเชื้อเพลิงได้ และดีที่สุด
 คือกรณีผสมตัวประสานกรณีหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

4.2.3 ผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4
 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบ
 อัดแท่งตะเกียบ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

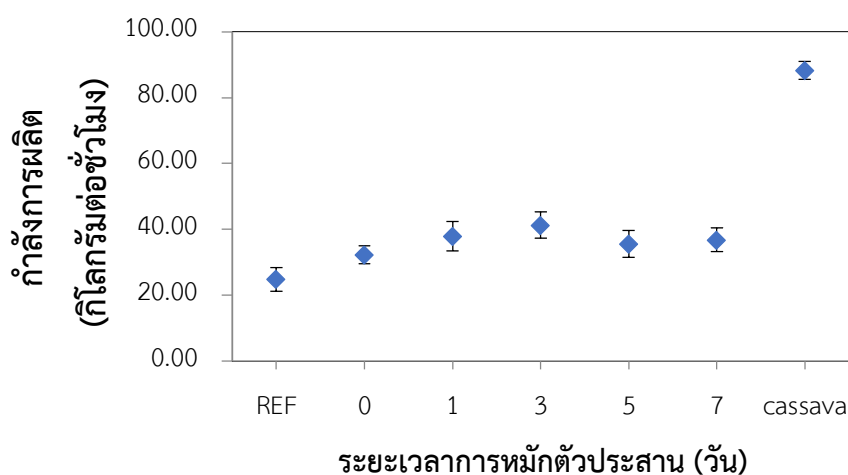
จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.43 ± 0.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบแห้งน้ำมันสำปะหลังที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 16.78 ± 0.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในส่วนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) มีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.42 ± 0.21 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 19.38 ± 0.16 เมกะจูลต่อกิโลกรัม, 19.50 ± 0.26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม, 19.22 ± 0.23 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 18.78 ± 0.18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาเบื้องต้นพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 20.43 ± 0.32 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ในขณะที่เมื่อผสมตัวประสานทั้งในกรณีหมัก และกรณีไม่หมักส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันของเศษไม้กระถินและแห้งน้ำมันสำปะหลังนำไปสู่การแปรผันของค่าความร้อน [22, 23] แต่อย่างไรก็ตามเมื่อผสมตัวประสานส่งผลให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 17 – 19 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่โดยทั่วไปสามารถยอมรับได้เนื่องจากอยู่ในช่วงค่าความร้อนที่ใช้ในการซื้อขายเชิงพาณิชย์ของเชื้อเพลิงเกรดคุณภาพสูงในประเทศไทยที่ค่าความร้อนเท่ากับ 16.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [33]

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

4.3.1 กำลังการผลิตในกระบวนการการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์กำลังการผลิตในกระบวนการการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อกำลังการผลิตของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อที่มีผลต่อกำลังการผลิตของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงกำลังการผลิตของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.84 ± 3.62 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในส่วนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก 0 วัน มีกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 32.26 ± 2.69 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีกำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 37.99 ± 4.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง, 41.34 ± 3.97 กิโลกรัมต่อชั่วโมง, 35.69 ± 4.10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 36.81 ± 3.62 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

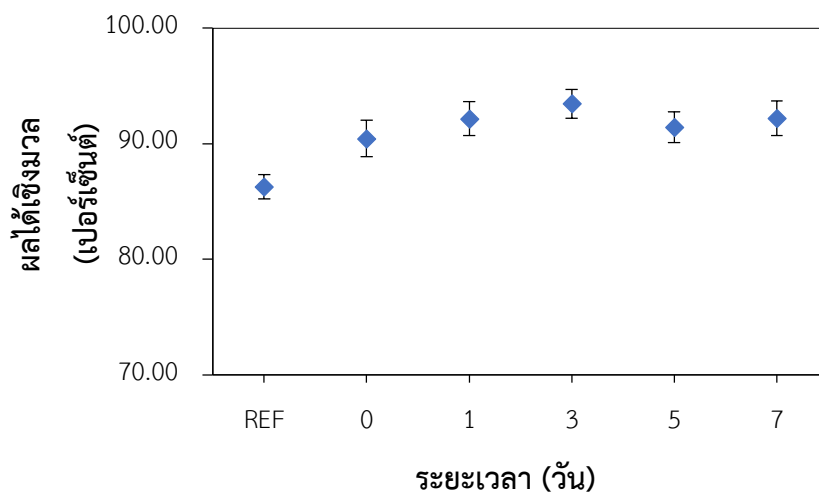
จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้นพบว่าเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีกำลังการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 24.84 ± 3.62 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปสูงถึง 14 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ผสมตัวประสานทั้งสองกรณี โดยเมื่อผสมตัวประสานกรณีไม่หมักพบว่ากำลังการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อผสมตัวประสานกรณีหมักที่ระยะเวลา 1 และ 3 วัน ส่งผลให้ความหนาแน่นของแท่งชีวมวลเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็น 34.61 เปอร์เซ็นต์และ 40.04 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเหง้ามัน

สำปะหลังทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการยึดเกาะวัสดุทั้งสองชนิดให้ติดและคงรูปไว้ได้ และมี ส่วนประกอบของแป้งคิดเป็น 25.87- 41.88%[24] ซึ่งแป้งมีคุณสมบัติเป็นการเมื่อได้รับความชื้นและความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ส่งผลให้ในระหว่างกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินที่ผสมกับตัวประสานสามารถอัดตัวผ่านรูแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้นและประสานเกาะกันระหว่างสองวัตถุดิบได้ดีและอัดออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้เร็วขึ้นส่งผลให้เวลาในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบลดลง และการที่วัตถุดิบเกาะตัวกันได้ดีมากขึ้น เป็นผลทำให้กำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้น[25]

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินเพียงอย่างเดียวมีกำลังในการผลิตที่ต่ำ นอกจากนี้จากการพิจารณากำลังการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินที่ผสมตัวประสานทั้งในกรณีที่ไม่หมักและหมัก พบว่าเมื่อผสมตัวประสานทั้งสองกรณีสามารถปรับปรุงกำลังการผลิตให้มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น และกำลังการผลิตที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมตัวประสานกรณีหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

4.3.2 ผลได้เชิงมวลในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์ผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ (เปอร์เซ็นต์)



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการหมักเห้ง้ามันสำปะหลังที่มีผลต่อผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

ผลได้เชิงมวลในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากชีวมวลที่อัดออกมาเป็นแท่งที่มีความยาว ≤ 1 นิ้ว ตามมาตรฐานPFI และร่อนฝุ่นออกก่อนทำการพิจารณา ซึ่งจะกำหนดผลได้เชิงมวลเริ่มต้นของ วัตถุประสงค์ก่อนเข้ากระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟรูปที่ 4.6 แสดงผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86.28 ± 1.04 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) มีผลได้เชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ 90.44 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีผลได้เชิงมวลเฉลี่ยเท่ากับ 92.17 ± 1.49 เปอร์เซ็นต์, 93.44 ± 1.27 เปอร์เซ็นต์, 91.44 ± 1.33 เปอร์เซ็นต์ และ 92.21 ± 1.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

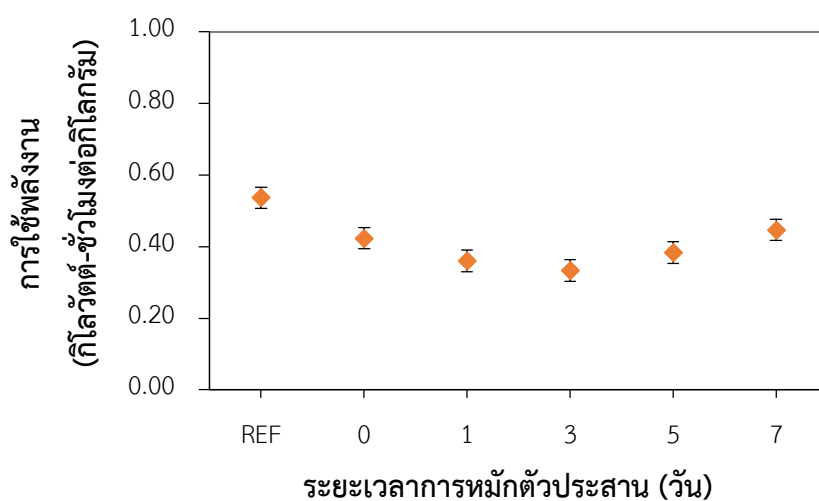
จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าในกระบวนการขึ้นรูปชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีผลได้เชิงมวลต่ำสุดเท่ากับ 86.28 ± 1.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมตัวประสานกรณีไม่หมักพบว่าผลได้เชิงมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคิดเป็น 4.82 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งในกรณีผสมตัวประสานกรณีหมักที่ 1 และ 3 วัน พบว่าสามารถช่วยปรับปรุงให้ผลได้เชิงมวลในกระบวนการขึ้นรูปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคิดเป็น 6.82 เปอร์เซ็นต์ และ 8.29 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการยึดเกาะวัสดุให้ติดและคงรูปไว้ได้ เป็นผลให้ในระหว่างกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบระหว่างเศษไม้กระถินกับตัวประสานสามารถอัดตัวผ่านรูแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้น และการที่วัตถุประสงค์เกะตัวกันได้ดีมากขึ้นส่งผลให้ค่าฝุ่นลดลงเป็นผลให้ผลได้เชิงมวลสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชังข้าวโพดโดยใช้แป้งข้าวโพดเป็นตัวประสาน ที่กล่าวว่า การเติมตัวประสานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและทำให้เปอร์เซ็นต์ฝุ่นของแท่งเชื้อเพลิงลดลง เป็นผลทำให้ผลได้เชิงมวลเพิ่มสูงขึ้น[25] ในทางตรงกันข้ามเมื่อระยะเวลาการหมักตัวประสานที่นานขึ้นในช่วง 5 และ 7 วัน สามารถสังเกตเห็นได้ว่าผลได้เชิงมวลมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากระยะเวลาในการหมักเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยผลกระทบขององค์ประกอบทางเคมีในการหมักเปลือกเหง้ามันสำปะหลัง ที่ได้กล่าวว่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก[26] เป็นผลทำให้ในระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้นด้วยความชื้นที่สูงส่งผลให้มีระยะเวลาในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งนานขึ้นเพื่อไล่ความชื้นจนกระทั่งอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแก่การเกาะตัวเป็นเม็ดเชื้อเพลิง แต่ในระหว่างการไล่ความชื้นนั้นพบว่าขนาดอนุภาคของ วัตถุประสงค์เริ่มต้นบางส่วนถูกบดจนมีลักษณะเป็นฝุ่นผง จนกระทั่งไม่สามารถเกาะกันและออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์น้อยจึงส่งผลให้มีผลได้เชิงมวลที่ต่ำลง

ดังนั้นผลได้เชิงมวลในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินเพียงอย่างเดียวมีผลได้เชิงมวลที่ต่ำที่สุดเมื่อผสมตัวประสานทั้งในกรณีที่ไม่หมักและหมัก พบว่าผลได้เชิงมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น และผลได้เชิงมวลที่ดีที่สุดคือเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมตัวประสานด้วยระยะเวลาการหมัก 3 วัน

4.3.3 การใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสาน (วัน) ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหมักตัวประสานที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน

จากกราฟรูปที่ 4.7 แสดงการใช้พลังงานในการผลิตของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (REF) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ± 0.03 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ในส่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (0 วัน) มีการใช้พลังงานในการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 ± 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม และเชื้อเพลิงจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานในกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีการใช้พลังงานในการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 0.36 ± 0.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม, 0.33 ± 0.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม, 0.38 ± 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม และ 0.45 ± 0.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ากระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีการใช้พลังงานในการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.54 ± 0.03 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม เมื่อผสมตัวประสานกรณีไม่หมักส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงคิดเป็น 22.22 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาการผสมตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1 และ 3 วัน พบว่าการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่ลดลงคิดเป็น

33.33 และ 38.89 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการยึดเกาะ เป็นผลให้อนุภาคของวัตถุติบสามารถประสานกันและอัดตัวผ่านรูแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้น ซึ่งการที่วัตถุติบ เกาะตัวกันได้ดีในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปนั้นส่งผลให้การใช้พลังงานลดต่ำลง ในทางตรงกันข้าม เมื่อระยะเวลาการหมักนานขึ้นหลักจาก 3 วัน พบว่าการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากระยะเวลาการหมักตัวประสานที่นานเกินไป ส่งผลให้มีความชื้นในวัตถุติบสูงขึ้น กล่าวคือถ้า วัตถุติบมีความชื้นสูงจะต้องใช้พลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มมากขึ้น เพื่อไล่ความชื้นให้อยู่ ในสภาวะที่เหมาะสมและสามารถอัดออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ดังนั้นการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินเพียงอย่างเดียวมีการใช้พลังงานที่สูงที่สุด เมื่อผสมตัวประสานทั้งในกรณีที่ไม่หมักและหมัก พบว่าการใช้พลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบมีแนวโน้มที่ลดลง และการผสมตัวประสานกรณีด้วยระยะเวลา 3 วันมีการใช้พลังงานที่ต่ำสุด

4.3.4 ต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

ต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถิน (A) และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมตัวประสานกรณีไม่หมัก (AFC0) และกรณีหมัก ด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน (AFC1, AFC3, AFC5 และ AFC7) มีค่าต้นทุนพลังงานดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 (อ้างอิงค่าพลังงานไฟฟ้ากิจการขนาดเล็กเท่ากับ 3.42 บาทต่อหน่วย :การไฟฟ้านคร หลวง)

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

ลำดับ	เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อกิโลกรัม)
1	A	1.84±0.10
2	ACF0	1.45±0.13
3	ACF1	1.23±0.17
4	ACF3	1.14±0.18
5	ACF5	1.31±0.13
6	ACF7	1.53±0.13

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีต้นทุนใน กระบวนการขึ้นรูปเท่ากับ 1.84 บาทต่อกิโลกรัม ในส่วนของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบเศษไม้

กระถินผสมกรณีไม่หมักมีต้นทุนพลังงานเท่ากับ 1.45 บาทต่อกิโลกรัม และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบเศษไม้กระถินผสมกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน มีต้นทุนพลังงานเท่ากับ 1.23 บาทต่อกิโลกรัม, 1.14 บาทต่อกิโลกรัม, 1.31 บาทต่อกิโลกรัม และ 1.53 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปสูงที่สุดเท่ากับ 1.84 บาทต่อกิโลกรัม ในขณะที่เมื่อผสมตัวประสานในกรณีไม่หมักส่งผลให้ต้นทุนพลังงานลดลงคิดเป็น 21.19 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเมื่อผสมตัวประสานกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1 และ 3 วัน พบว่าต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปมีแนวโน้มที่ลดลงคิดเป็น 33.15 และ 38.04 เปอร์เซ็นต์ และต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังที่ต่ำสุดคือที่กรณีผสมตัวประสานหมักด้วยระยะเวลา 3 วัน

4.4 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

ในหัวข้อนี้เป็นการจำแนกต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบของแต่ละตัวอย่างเชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบการใช้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยโดยประกอบไปด้วย ค่าวัตถุดิบต่อหน่วย ต้นทุนการใช้พลังงาน และค่าแรงงานต่อหน่วย เพื่อสรุปตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่มีความคุ้มค่าในด้านต้นทุน สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

ในส่วนแรกคือ พิจารณาต้นทุนวัตถุดิบ การคำนวณค่าวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ชีวมวลเศษกระถิน และตัวประสานเหง้ามันสำปะหลัง โดยราคาเศษไม้กระถินเท่ากับ 450 บาทต่อตัน คิดเป็นต่อกิโลกรัมเท่ากับ 0.45 บาทต่อกิโลกรัม (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่)[27] และราคาเหง้ามันสำปะหลังเท่ากับ 500 บาทต่อตัน คิดเป็นต่อกิโลกรัมเท่ากับ 0.50 บาทต่อกิโลกรัม (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่)[28]

ในส่วนถัดมาคือ การพิจารณาต้นทุนการใช้พลังงานรวมในการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบประกอบไปด้วยต้นทุนการใช้พลังงานทั้ง 3 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการสับหยาบ สับละเอียด และการขึ้นรูปอัดแท่งเชื้อเพลิง ในส่วนของกระบวนการสับหยาบและสับละเอียด จะทำการลดขนาดวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดในครั้งเดียว และในส่วนของกระบวนการสับละเอียด จะทำการสับละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตร (อ้างอิงค่าพลังงานไฟฟ้ากิจการขนาดเล็กเท่ากับ 3.42 บาทต่อหน่วย : การไฟฟ้านครหลวง)

ในส่วนสุดท้ายคือ การพิจารณาค่าแรงงาน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ค่าแรงงานในการสับหยาบ ค่าแรงงานในการสับละเอียด และค่าแรงงานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ โดยพิจารณาจากอัตราค่าจ้างขั้นต่ำในพื้นที่จังหวัดนครปฐมเท่ากับ 325 บาทต่อคนต่อวัน (ข้อมูลอ้างอิงจากกระทรวงแรงงานประกาศให้มีผลใช้บังคับ ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2561 เป็นต้นไป)

คิดจากแรงงาน 1 คน ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 40.6 บาทต่อชั่วโมง แล้วนำไปคิดเฉลี่ยกับกำลังการผลิตที่ทำได้ในแต่ละกระบวนการและแต่ละตัวอย่างชีวมวลที่ทำการศึกษาก็ได้เป็น บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนพลังงานรวมที่ใช้ของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบแต่ละตัวอย่าง

ต้นทุนการผลิต (บาทต่อกิโลกรัม)	ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ					
	REF	ACF0	ACF1	ACF3	ACF5	ACF7
ต้นทุนพลังงานกระบวนการสับหยาบ	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
ต้นทุนพลังงานกระบวนการสับละเอียด	0.25	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
ต้นทุนพลังงานกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง	1.84	1.45	1.23	1.14	1.31	1.53
ต้นทุนราคาเศษไม้กระถิน	0.45	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
ต้นทุนราคาเหง้ามันสำปะหลัง	-	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
ต้นทุนค่าแรงงานการสับหยาบ	0.39	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
ต้นทุนค่าแรงงานการสับละเอียด	0.41	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
ต้นทุนค่าแรงงานการขึ้นรูปอัดแท่ง	1.55	1.44	1.37	1.30	1.34	1.36
รวม	4.93	4.06	3.77	3.61	3.82	4.15

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีการใช้ต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตต่อหน่วยสูงสุดคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินเท่ากับ 4.93 บาทต่อกิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นพบว่าเมื่อเติมตัวประสานทั้งกรณีไม่หมัก และกรณีหมัก ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตรวมลดลง และต้นทุนการผลิตรวมที่ต่ำที่สุดคือ เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังกรณีหมักด้วยระยะเวลา 3 วัน เท่ากับ 3.61 บาทต่อกิโลกรัม

4.5 ผลของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบต่อจำนวนแบคทีเรีย

สำหรับในหัวข้อผลของการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบต่อจำนวนแบคทีเรียในงานวิจัยนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของวัตถุดิบเริ่มต้น และเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ สำหรับตัวอย่างวัตถุดิบเริ่มต้นและตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วย เศษไม้กระถิน (A) เศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังกรณีไม่หมัก (ACF0) และเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังกรณีหมักด้วยระยะเวลา 1, 3, 5 และ 7 วัน (ACF1, ACF3, ACF5 และ ACF7) ทำการหมักโดยเติมน้ำ และบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบระยะเวลาการหมักตามเงื่อนไขแล้วนั้นจะทำการพิจารณาโดยการนับจำนวนแบคทีเรียเปรียบเทียบกับก่อนและหลัง

กระบวนการขึ้นรูป โดยทำการศึกษานอาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ชนิดคือ Nutrient agar ซึ่งใช้นับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (รวมทั้งที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ) และ MacConkey agar ซึ่งใช้นับจำนวนแบคทีเรียแกรมลบ (เนื่องจาก MacConkey agar มีสารบางอย่าง เช่น เกลื่อน้ำดีและสีคริสตัลไวโอเลต ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมบวก โดยเฉพาะพวกที่มีเอ็นโดสปอร์จะไวต่อสารดังกล่าว) ผลของจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนอาหารทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองการนับจำนวนด้วยวิธีการ Dilution & Spread plate technique บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar

วัตถุดิบ	Nutrient agar, CFU/g (%)		MacConkey agar, CFU/g (%)		อุณหภูมิใน กระบวนการขึ้นรูป (°C)	
	วัตถุดิบเริ่มต้น	เชื้อเพลิงอัด แห้งตะเกียบ	วัตถุดิบเริ่มต้น	เชื้อเพลิงอัด แห้งตะเกียบ	ก่อน	หลัง
เหง้ามันสำปะหลัง	1.8×10 ⁹ (100 %)	#ND	5.1×10 ⁶ (0.3 %)	#ND	#ND	#ND
กระถิน (A)	1.2×10 ⁶ (100 %)	5.0×10 ² (0.04 %)	4.0×10 ⁴ (3 %)	*0 - 10	75	97
ACF0	5.0×10 ⁷ (100 %)	2.9×10 ³ (0.01 %)	5.3×10 ⁶ (10 %)	*0 - 10	75	95
ACF1	3.0×10 ⁸ (100 %)	2.4×10 ³ (0.001%)	1.3×10 ⁸ (40 %)	*0 - 10	75	95
ACF3	7.3×10 ⁸ (100 %)	4.0×10 ² (0.0001 %)	2.3×10 ⁸ (30 %)	*0 - 10	75	94
ACF5	2.1×10 ⁸ (100 %)	5.0×10 ² (0.0002 %)	8.7×10 ⁷ (40 %)	*0 - 10	75	94
ACF7	6.1×10 ⁸ (100 %)	2.4×10 ³ (0.0004 %)	1.0×10 ⁸ (16 %)	*0 - 10	75	95

หมายเหตุ: *0 - 10 หมายถึง ทำการทดลอง แต่ไม่พบแบคทีเรียเจริญบน MacConkey agar ในระดับ Dilution ที่ 10⁻¹

#ND หมายถึง not determine (ไม่ได้ทำการทดลอง)

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปตามธรรมชาตินั้น ในวัตถุดิบแห้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักพบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมดปนเปื้อนอยู่มากเฉลี่ยบน Nutrient agar ประมาณ 10^9 CFU/g ส่วนในวัตถุดิบเศษไม้กระถิน พบว่ามีแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่น้อยกว่าแห้งมันสำปะหลัง (ประมาณ 10^3 เท่า) เฉลี่ยบน Nutrient agar ประมาณ 10^6 CFU/g ในส่วนของแบคทีเรียที่เจริญบน MacConkey agar (แบคทีเรียแกรมลบ) คิดเป็น 0.3% และ 3% ของจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดก่อนขึ้นรูปตามลำดับ ผลการนับจำนวนแบคทีเรียในวัตถุดิบ (แห้งมันสำปะหลัง) แสดงว่าแห้งมันสำปะหลังมีแบคทีเรียปนเปื้อนสูง เนื่องจากแห้งมันสำปะหลังมีธาตุอาหารที่ดี เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

สำหรับวัตถุดิบกระถิน (ก่อนกระบวนการขึ้นรูป) พบว่าเศษไม้กระถินมีแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบน Nutrient agar ประมาณ 10^6 CFU/g และที่เจริญบน MacConkey agar คิดเป็น 3% ของแบคทีเรียทั้งหมด และเมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วพบว่ามีจำนวนแบคทีเรียลดลงอย่างมาก เหลือประมาณ 10^2 CFU/g ที่สามารถเจริญได้บน Nutrient agar (คิดเป็น 0.04%) ซึ่งแบคทีเรียที่เหลือเหล่านี้ไม่สามารถเจริญบน MacConkey agar จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีการลดลงของแบคทีเรียหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งแบคทีเรียที่ยังหลงเหลืออยู่นั้นน่าจะเป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อน รวมถึงแบคทีเรียแกรมบวกที่มีเอ็นโดสปอร์ (endospore forming bacteria) เช่นเดียวกับวัตถุดิบเศษไม้กระถินผสมแห้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก และเศษไม้กระถินผสมแห้งมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมัก 1 - 7 วัน พบว่ามีแบคทีเรียทั้งหมดที่เจริญบน Nutrient agar ประมาณ 10^7 - 10^8 CFU/g ซึ่งคิดเป็นแบคทีเรียที่เจริญบน MacConkey agar ประมาณ 10 - 40 % ของแบคทีเรียทั้งหมดก่อนขึ้นรูป (ตารางที่ 4.3) หลักจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปพบว่ามีจำนวนแบคทีเรียส่วนใหญ่ลดลงเหลือประมาณ 10^2 - 10^3 CFU/g คิดเป็นจำนวนแบคทีเรียน้อยกว่า 1 % ของของแบคทีเรียทั้งหมดก่อนขึ้นรูป ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้ไม่เจริญ MacConkey agar ดังนั้นผลการทดลองแสดงว่ากระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบชีวมวลสามารถลดจำนวนแบคทีเรียได้ >99% โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของชีวมวลกับผิวสัมผัสภายในเครื่องขึ้นรูป ส่งผลให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 94 - 97 องศาเซลเซียส ทั้งนี้จำนวนแบคทีเรียที่ทนความร้อนในกระบวนการผลิตหลงเหลืออยู่น้อยกว่า 1 % โดยที่แบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้บน MacConkey agar

จากการทดลองแสดงให้เห็นทราบว่าหลักจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนโคโลนี เนื่องจากก่อนเริ่มกระบวนการขึ้นรูปได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์เครื่องขึ้นรูปให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส และในระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิง จนกระทั่งอัดออกมาเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วง

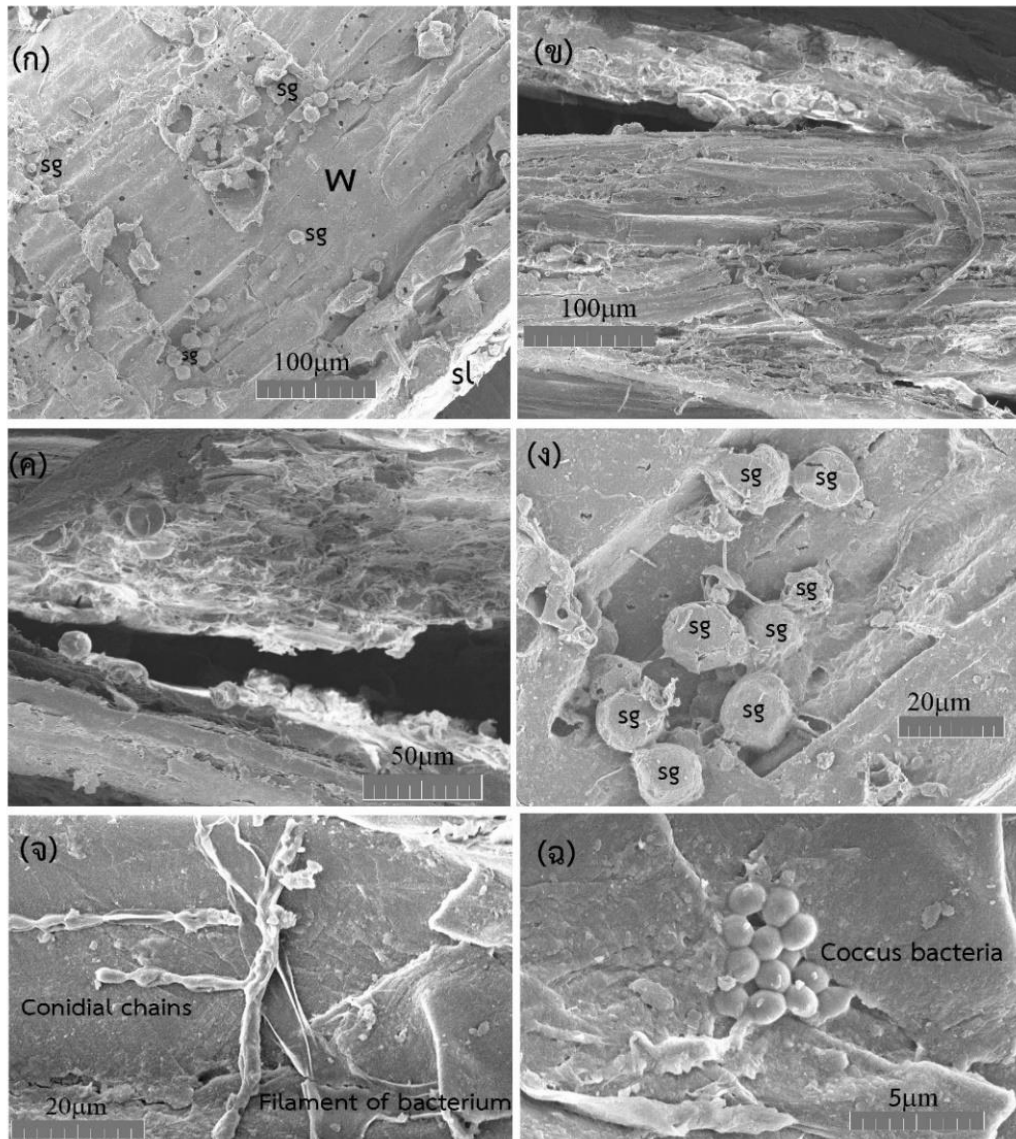
ระหว่าง 95-97 องศาเซลเซียส สามารถสังเกตเห็นได้ว่าในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปนั้นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นน่าจะมีผลในการทำลายแบคทีเรียบางชนิดที่ไม่ทนความร้อน แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบที่ปนเปื้อนติดมากับวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนการขึ้นรูป และรวมถึงแบคทีเรียแกรมบวกที่มีเอ็นโดสปอร์สามารถทนต่อสภาวะความร้อนในกระบวนการได้ แม้ว่ากระบวนการขึ้นรูปไม่สามารถก่อเกิดการสเตอริไลเซชัน จนปราศจากเชื้อ แต่จำนวนแบคทีเรียที่ลดลงสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการติดเชื้อของผู้ใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบได้

4.6 กลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลังหมัก

เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังหมักมีคุณสมบัติเป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบได้ดี เพื่อค้นหาและอธิบายกลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลังหมัก จึงทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวประสานทั้งสองกรณี โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในงานวิจัยนี้ตัวอย่างประกอบไปด้วยตัวประสานที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (0 วัน) และตัวประสานที่ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 1, 3, และ 12 วัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.1 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังกรณีไม่หมัก

ผลการศึกษาพื้นผิวของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากรูปที่ 4.8(ก) แสดงให้เห็นพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังซึ่งประกอบด้วยเนื้อไม้ (wood) ชั้นเปลือกไม้ (bark) และชั้นแป้ง (starch layer) ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างเนื้อไม้และเปลือกไม้ โดยที่ชั้นแป้งมีความหนาประมาณ 100 μm ดังแสดงรูปที่ 4.8(ข) และ (ค) และภายในชั้นแป้งพบเม็ดแป้ง (starch granule) กระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นดังแสดงในรูปที่ 4.8(ง) อีกทั้งส่วนใหญ่ของบริเวณพื้นผิวเหง้ามันสำปะหลังไม่พบแบคทีเรีย (ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน) แต่อาจพบแบคทีเรียได้เล็กน้อยประมาณ 0 – 2 เซลล์ กระจายอยู่ในบางแห่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8(จ) และ(ฉ) สามารถสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะทั่วไปของพื้นผิวเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักนั้นไม่พบไบโอฟิล์ม (biofilm) หรือสารเมือกปกคลุม



รูปที่ 4.8 พื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลัง ที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก (ก) แสดงพื้นผิวของเนื้อไม้ พบเม็ดแป้งกระจายอยู่บนไม้ และเปลือกไม้ที่ขอบด้านนอก มาตรฐานแทนความยาว 100 μm สัญลักษณ์ : w แทน (wood) เนื้อไม้ ,sl แทน (starch layer) ชั้นแป้ง, sg แทน (starch granule) เม็ดแป้ง ตามที่ระบุ (ข) แสดงชั้นเปลือกไม้ และชั้นแป้ง มาตรฐานแทนความยาว 100 μm (ค) แสดงชั้นเปลือก และชั้นแป้ง มาตรฐานแทนความยาว 50 μm (ง) แสดงเม็ดแป้ง มาตรฐานแทนความยาว 20 μm สัญลักษณ์: sg แทน (starch granule) เม็ดแป้ง ตามที่ระบุ (จ) แสดงเส้นใยของแบคทีเรีย (filamentous bacteria) ที่มีแขนงของสายสปอร์โคนิเดีย (conidial chain) มาตรฐานแทนความยาว 20 μm และ(ฉ) แสดงกลุ่มเล็ก ๆ (microcolony) ของแบคทีเรียคอคคัส (coccal shaped bacteria) มาตรฐานแทนความยาว 5 μm

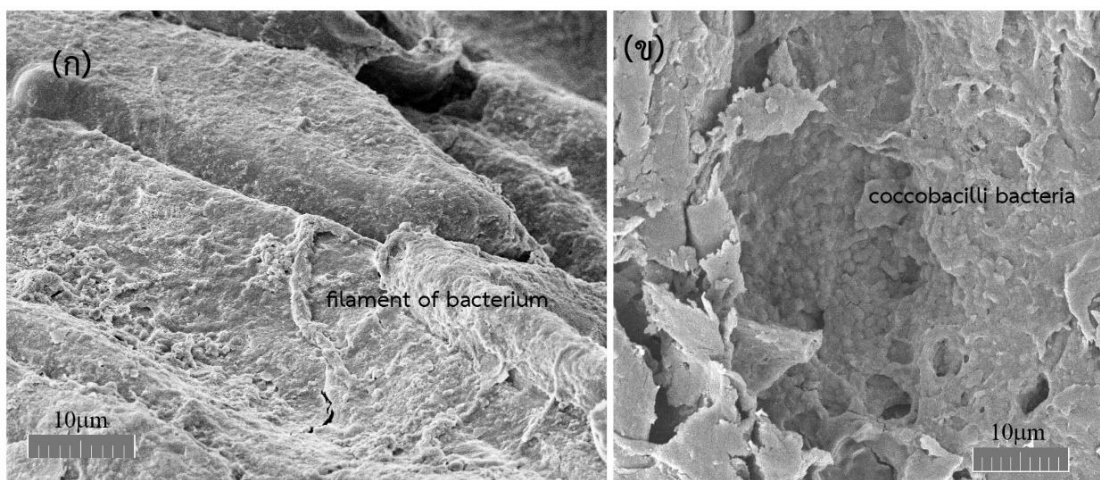
จากรูปที่ 4.8(ข) และ(ค) แสดงส่วนขยายของเปลือกไม้และชั้นแป้ง ภายในชั้นแป้งนั้น สามารถพบเม็ดแป้ง (starch grain) กระจายตัวอยู่หนาแน่นแทรกอยู่ภายในระหว่างชั้น เม็ดแป้งมีลักษณะรูปร่างเป็นรูปโดมสูง ปลายตัดด้านหนึ่งหรือเรียกว่า “hemispherical shaped granules” มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-10 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 4.8(ง) เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเป็นกาวเมื่อได้รับความชื้นและความร้อน ดังนั้นจึงคาดว่าเม็ดแป้งมีส่วนช่วยเป็นตัวประสานเมื่อได้รับความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป

ในส่วนของตัวประสานแห้งน้ำมันสำปะหลังในกรณีไม่ผ่านกระบวนการหมักนั้น พบว่ามีจุลินทรีย์กระจายตัวอยู่ปะปน ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มีลักษณะแห้งเหี่ยวแสดงให้เห็นว่ายังไม่เจริญเติบโต แสดงดังรูปที่ 4.8(ง) และ (จ) และจากรูปที่ 4.8(จ) แสดงแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย (filament of bacterium) และมีสายใยสปอร์โคโคนิเดีย (conidia) จากรูปที่ 4.8(ฉ) แสดงแบคทีเรียที่เรียกลูกเล็ก ๆ ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม (coccus) อยู่รวมกันเป็นพวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ประมาณ 1 μm นอกจากนี้บริเวณเนื้อไม้ ของชั้นแห้งน้ำมันสำปะหลังไม่พบแผ่นไบโอฟิล์มปกคลุมบนผิวของวัตถุดิบ ซึ่งไบโอฟิล์มคือ ชั้นบาง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นโดยเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียสามารถสร้างขึ้นเพื่อให้ทนต่อสภาวะภายนอก รักษาความชื้น ทำให้แบคทีเรียใกล้ชิดกับอาหาร ช่วยเก็บเอ็นไซม์ไว้ภายในไบโอฟิล์ม ๆ จึงทำให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อเชื้อแบคทีเรียที่เจริญเติบโตอยู่ภายใน ไบโอฟิล์ม เป็นสารเมือก ที่เป็นพอลิเมอร์ของซีวโมเลกุล มีคุณสมบัติ ชื่น เหนียว ช่วยให้แบคทีเรียยึดเกาะกับพื้นผิวที่เป็นของแข็ง [11-14]

4.6.2 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานแห้งน้ำมันสำปะหลังในกรณีผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

ไบโอฟิล์ม (biofilm) เป็นสารพอลิเมอร์ที่แบคทีเรียสังเคราะห์และหลั่งออกมาออกเซลล์ ปกคลุมแบคทีเรียซึ่งเจริญเติบโตอยู่ภายใน ไบโอฟิล์มมีลักษณะคล้ายเมือกมีคุณสมบัติเหนียวทำให้แบคทีเรียสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของแข็ง (ทั้งที่เป็นสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต) ได้ดี

ในการหมักแห้งน้ำมันสำปะหลัง เมื่อเติมน้ำในแห้งน้ำมันสำปะหลัง และทิ้งไว้ให้เกิดกระบวนการหมัก พบว่าแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตโดยใช้อาหารจากแห้งน้ำมันสำปะหลัง เช่น แป้งและสารอาหารอื่น ๆ ทำให้พบแบคทีเรียได้สูงถึง $10^8 - 10^9$ CFU/g ดังกล่าวได้แล้วข้างต้น (ตารางที่ 4.3)



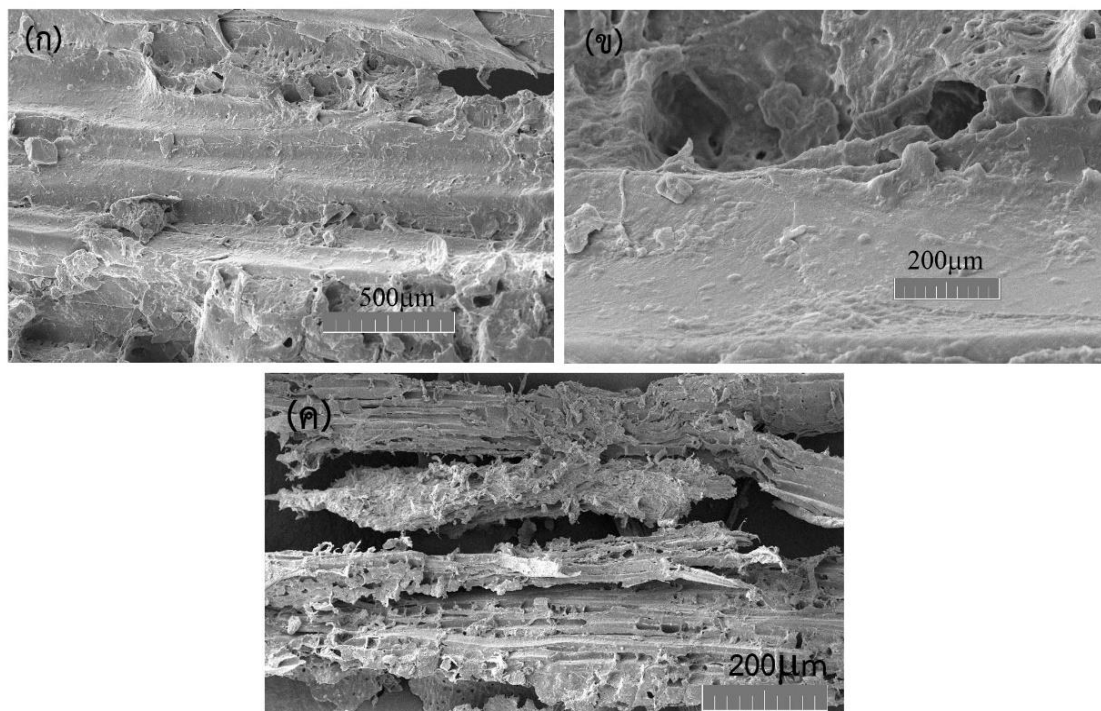
รูปที่ 4.9 (ก) แสดงแผ่นเชื้อหรือไบโอฟิล์ม (biofilm) ปกคลุมวัตถุติดภายใต้พบแบคทีเรียรูปร่างเส้นใยของแบคทีเรีย (filamentous bacteria) และ (ข) แสดงแผ่นเชื้อหรือไบโอฟิล์มปกคลุมวัตถุติดภายใต้พบแบคทีเรียรูปร่างแบคทีเรียรูปร่างเป็นท่อน (rod shaped bacteria) ที่มีความยาว 10 µm

การศึกษาด้วย SEM ของวัตถุติดเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักในระยะเวลา 3 วัน พบแผ่นไบโอฟิล์มคล้ายสารเมือกปกคลุมโดยทั่วพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลัง อีกทั้งยังพบว่ามีแบคทีเรียหลายชนิด เจริญอยู่หนาแน่น ภายใต้แผ่นไบโอฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ก) และ (ข) จากรูปที่ 4.9(ก) แสดงแผ่นไบโอฟิล์ม พบมีเส้นใยของแบคทีเรียยาวหลายสิบไมโครเมตร จนถึง >100 µm และแบคทีเรียรูปร่างเป็นท่อน (rod shaped bacteria) กระจายอยู่หนาแน่นภายใต้แผ่นไบโอฟิล์ม และรูปที่ 4.9(ข) แสดงโคโลนีของแบคทีเรียรูปร่าง (short rod shaped bacteria) เป็นท่อนสั้น ๆ (cocco bacteria)จำนวนมาก ขนาดของแบคทีเรียเหล่านี้ประมาณ 0.5-0.6 x 2 µm ซึ่งไบโอฟิล์มที่พบในเหง้ามันสำปะหลังหมักเป็นเวลา 3 วัน มีลักษณะเป็นแผ่นของชั้นเมือกหนา (และมีคุณสมบัติเกาะกับพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลัง)

4.6.3 ศึกษาโครงสร้างของตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังในกรณีผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 12 วัน

ในส่วนของวัตถุติดเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักในระยะเวลา 12 วัน แสดงดังรูปที่ 4.10 จากรูปที่ 4.10 พบว่าแบคทีเรียที่อยู่ภายใต้ชั้นไบโอฟิล์มมีจำนวนลดลง อีกทั้งชั้นของไบโอฟิล์มแห้งและบางกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ผ่านกระบวนการหมัก 3 วัน ดังกล่าวแล้วข้างต้น (รูปที่ 4.9) และพบว่าโครงสร้างของเหง้ามันสำปะหลังเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากหมักในระยะเวลาที่

น่าน สามารถสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะภายนอกของวัตถุบับนั้นมีรูพรุนจำนวนมากที่เกิดจากการย่อยสลายโดยเอ็นไซม์ของแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10(ค)



รูปที่ 4.10 เหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักในระยะเวลา 12 วัน (ก) พื้นผิวและรูพรุน มาตรฐานแทนความยาว 500 μm (ข) พื้นผิว และรูพรุน ส่วนขยายเพิ่ม มาตรฐานแทนความยาว 200 μm (ค) เนื้อวัสดุที่ถูกย่อยจนฟู มาตรฐานแทนความยาว 200 μm

เนื่องจากพบไบโอฟิล์มซึ่งเป็นสารเมือกที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น สารเมือกเหล่านี้มีคุณสมบัติคล้ายตัวประสาน มีความเหนียว จากการศึกษาด้วย SEM ของวัตถุบับเหง้ามันสำปะหลังทั้งสองกรณีซึ่งคาดว่าไบโอฟิล์มที่พบในเหง้ามันสำปะหลังหมักส่งผลให้เมื่อนำไปใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบเศษไม้กระถิน สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงได้ เพราะฉะนั้นจึงทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติ ซึ่งการทดลองส่วนนี้ได้ใช้วัตถุบับ (ชีวมวล) ใหม่ทั้งหมดเพื่อป้องกันปัจจัยอื่น ๆ อาทิเช่น ระยะเวลาและคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป รวมไปถึงความชื้นเริ่มต้นของชีวมวลเป็นต้น ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินและเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้กระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ 3 และ 12 วัน นอกจากทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและได้ทำการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (porosity test) เพิ่มเติม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพ ผลได้เชิงมวล และความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (Bulk density) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าความทนทาน (Durability) (เปอร์เซ็นต์)	ฝุ่น (Fins) (เปอร์เซ็นต์)	ผลได้เชิงมวล (Yield) (เปอร์เซ็นต์)	ความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test) (นาที)
A	620.58±6.03	94.25±1.55	1.24±0.38	81.94±2.56	6.00±0.48
ACF3	664.94±8.59	99.05±1.20	0.37±0.14	92.44±1.41	17.40±0.58
ACF12	652.41±7.50	96.39±0.70	0.86±0.25	87.73±1.09	8.86±0.38

หมายเหตุ: เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบกระถิน เมื่อน้ำซึมขึ้นมาได้ครึ่งแท่งพบว่าแท่งเชื้อเพลิงพองมากและแตก

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงเศษไม้กระถินมีค่าต่ำสุดที่ 620.58±6.03 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความทนทาน 94.25±1.55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ (PFI) อีกทั้งเมื่อทำการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิงพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีอัตราการดูดซึมน้ำของแท่งเชื้อเพลิงเร็วที่สุด แสดงให้เห็นว่าภายในแท่งเชื้อเพลิงมีช่องว่างจำนวนมากส่งผลให้การดูดซึมน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเฉลี่ยที่ 6.00±0.48 นาที แสดงถึงคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงซึ่งพบความหนาแน่นและทนทานที่ต่ำที่สุดในทางตรงกันข้ามสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อผสมตัวประสานกรณีหมัก 3 และ 12 วัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางการภาพของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นคิด อีกทั้งอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแท่งเชื้อเพลิงเกิดขึ้นช้ากว่า โดยตัวประสานหมัก 12 วันมีค่า 8.86±0.38 นาที และที่ดีที่สุดคือผสมตัวประสานหมัก 3 วัน เท่ากับ 17.40±0.58 นาที

โดยสรุปการศึกษาพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังหมักด้วยกลีงจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยภาพรวมขึ้นของวัสดุเหง้ามันสำปะหลัง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อไม้ ถัดมาเป็นชั้นแป้งและชั้นเปลือกตามลำดับ แสดงดังรูปที่ (ข) และ (ค) พื้นผิวของเหง้ามันไม่หมักและเหง้ามันหมักมีความแตกต่างของพื้นผิวระหว่างวัสดุทั้งสามประเภท กล่าวคือ พื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังไม่หมัก มีแบคทีเรียย่อย กระจายอยู่ประปราย พบได้เฉพาะในบางบริเวณเท่านั้น แต่ส่วนใหญ่ของพื้นผิวไม่มีแบคทีเรียซึ่งแบคทีเรียที่พบมีลักษณะคล้ายกับเซลล์ที่หยุดเจริญเติบโต (เซลล์เหี่ยวไม่สมบูรณ์) ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุแห้ง ขาดน้ำซึ่งจำเป็นต่อการงอกและกิจกรรมเมแทบอลิซึม (metabolic activities) พื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังหมัก 3 วัน และ 12 วัน มีชั้นเมือกของแผ่นฟิล์มของ

แบคทีเรีย (bacterial biofilm) ปกคลุมตลอดชั้นเหง้ามันสำปะหลัง โดยที่แผ่นฟิล์มนี้ในวันที่สามของการหมักมีแบคทีเรียหนาแน่นและแผ่นไบโอฟิล์มมีความหนาแสดงดังรูปที่ 4.9(ข) มากกว่าที่พบในแผ่นไบโอฟิล์มจากวันที่ 12 (รูปที่ 4.10) วัสดุที่ผ่านกระบวนการหมัก 12 วัน มีโครงสร้างที่ฝุ่กร่อน มีรูพรุนมากมายแสดงดังรูปที่ 4.10(ค) ทั้งนี้อาจเกิดจากมีการย่อยเซลลูโลสและลิกนิน (เพื่อเป็นอาหารในการเจริญเติบโต) เกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง ดังนั้นคาดว่าโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงของต้นไม้ จะถูกย่อยสลายไป ได้พอลิเมอร์ที่สั้นลงและละลายน้ำ ดังนั้นจึงคาดว่า เหง้ามันสำปะหลังที่หมักไว้ 12 วันจะมีคุณสมบัติการเป็นตัวประสานที่ลดลงและอาจทำให้ การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบมีคุณสมบัติทางกายภาพลดลงไปด้วย ขณะที่เหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักมีชั้นของแป้งปะปนอยู่ด้วยในชั้นวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.8(ข) และ(ค) ดังนั้นจึงคาดว่าเมื่อผสมเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักกับเนื้อไม้ในเศษไม้กระถิน แป้งในเหง้ามันสำปะหลังจะช่วยให้ การประสานของพอลิเมอร์ (เช่นเซลลูโลสและลิกนิน) ยึดกันได้ดีกว่า และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ (เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากไม้กระถินที่ไม่ผสมเหง้ามันสำปะหลัง) สุดท้ายเหง้ามันสำปะหลังที่หมักไว้ 3 วัน ซึ่งมีชั้นเมือกของไบโอฟิล์มหนา ดังนั้นความเหนียวของชั้นเมือกจึงสามารถช่วยประสานให้เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบยึดติดกัน



บทที่ 5

สรุปผลวิจัย

จากการศึกษาผลของตัวประสานทางธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและต้นทุนพลังงานในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษไม้กระถิน โดยผสมตัวประสานทางธรรมชาติคือ เหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งพิจารณาระยะเวลาในการหมักเหง้ามันสำปะหลัง คือ 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, ค่าความหนานาน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ รวมไปถึงศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น และกลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลังหมัก สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ตัวประสานที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินที่ผสมตัวประสานเหง้ามันสำปะหลังทั้งในกรณีที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก และผ่านกระบวนการหมัก สามารถช่วยปรับปรุงค่าความหนาแน่น ค่าความหนานาน และลดเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นที่ระยะเวลาการหมักตัวประสานที่ 3 วัน พบว่ามีค่าความหนาแน่นและค่าความหนานานที่สูงที่สุด

5.2 ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษไม้กระถินมีต้นทุนการผลิตสูงสุด เมื่อผสมตัวประสาน (เหง้ามันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลังหมัก) พบว่าต้นทุนพลังงานในการบวนการผลิตลดลง และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบมีต้นทุนต่ำที่สุดคือ อัตราส่วนระหว่างเศษไม้กระถินและเหง้ามันสำปะหลังที่ระยะเวลาการหมัก 3 วัน

5.3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบต่อจำนวนแบคทีเรีย

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่ามีการลดลงของแบคทีเรียหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูป เนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งแบคทีเรียที่ยังหลงเหลืออยู่นั้นน่าจะเป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อน รวมถึงแบคทีเรียแกรมบวกที่มีเอนโดสปอร์ (endospore forming bacteria) โดย

หลักจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปพบว่าจำนวนแบคทีเรียส่วนใหญ่ลดลงคิดเป็นจำนวนแบคทีเรียที่คงเหลือซึ่งมีจำนวนน้อยกว่า 1 % ของของแบคทีเรียทั้งหมดก่อนขึ้นรูป โดยแบคทีเรียเหล่านี้ไม่เจริญบน MacConkey agar ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบชีวมวลสามารถลดจำนวนแบคทีเรียได้ >99% โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสของชีวมวลกับผิวสัมผัสภายในเครื่องขึ้นรูป ส่งผลให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 94 – 97 องศาเซลเซียส

5.4 กลไกการเป็นตัวประสานของเหง้ามันสำปะหลัง และเหง้ามันสำปะหลังหมัก

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังและเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสถิตนั้น พบว่าชั้นส่วนของเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักโดยภาพรวมพบเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่ เมื่อผสมเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักกับเนื้อไม้ในเศษไม้กระถิน แป้งในเหง้ามันสำปะหลังสามารถช่วยให้การประสานระหว่างชีวมวลทั้ง 2 ยึดกันได้ดีกว่า และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ (เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากไม้กระถินที่ไม่ผสมเหง้ามัน) ในส่วนของพื้นผิวของเหง้ามันสำปะหลังหมัก 3 วัน และ 12 วัน พบว่ามีชั้นเมือกของแผ่นฟิล์มของแบคทีเรีย (bacterial biofilm) ปกคลุมตลอดชิ้นเหง้ามันสำปะหลัง โดยที่แผ่นฟิล์มที่พบในวันที่สามของการหมักนั้น มีแบคทีเรียอยู่หนาแน่นและแผ่นไบโอฟิล์มมีความหนาแน่นมากกว่าที่พบในแผ่นไบโอฟิล์มจากวันที่ 12 แต่ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่ผ่านกระบวนการหมัก 12 วันนั้นมีโครงสร้างที่ฝุ่กร่อน มีรูพรุนมากมาย แสดงให้เห็นว่าเหง้ามันสำปะหลังที่หมักไว้ในระยะเวลา 12 วันจะมีคุณสมบัติการเป็นตัวประสานที่ลดลงและอาจทำให้ การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบมีคุณสมบัติทางกายภาพลดลงไปด้วย และเหง้ามันสำปะหลังที่หมักไว้ 3 วันซึ่งมีชั้นเมือกของไบโอฟิล์มหนา ดังนั้นความเหนียวของชั้นเมือกจึงสามารถช่วยประสานให้เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบยึดติดกัน



ภาคผนวก ก
ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานในกระบวนการสับหยาบและสับละเอียด
ชีวมวลเศษกระถิน และเหง้ามันสำปะหลัง



ตารางที่ ก-1 บันทึกผลกระบวนการสับหยาบ

ชีวมวล	เวลา (min)	พลังงานใช้ไป (kW-h)	น้ำหนัก (kg)	
			ก่อน	หลัง
กระถิน	36.55	36.55	36.55	36.55
เหง้ามันสำปะหลัง	17.53	0.70	70.00	67.86

ตารางที่ ก-2 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับหยาบ

ชีวมวล	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
กระถิน	0.013	0.045	170.91	98.82
เหง้ามันสำปะหลัง	0.010	0.035	232.27	96.94

ตารางที่ ก-3 บันทึกผลกระบวนการสับละเอียด

ชีวมวล	เวลา (min)	พลังงานใช้ไป (kW-h)	น้ำหนัก (kg)	
			ก่อน	หลัง
กระถิน	173.78	9.90	101.76	93.24
เหง้ามันสำปะหลัง	19.64	0.70	47.67	45.68

ตารางที่ ก-4 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับละเอียด

ชีวมวล	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
กระถิน	32.19	0.106	0.414	91.63
เหง้ามันสำปะหลัง	0.015	0.059	193.55	95.83

ภาคผนวก ข
ตารางบันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงาน และผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
ของกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลัง



ชีวมวล เศษกระถิน

ความชื้นเริ่มต้นของกระถิน $12.86 \pm 2.03\%$ และแห้งน้ำมันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-1 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	616.23	95.14	1.29	20.79
ครั้งที่ 2	618.86	95.04	1.31	20.16
ครั้งที่ 3	620.18	94.75	1.27	20.35
ค่าเฉลี่ย	618.42	94.98	1.29	20.43

ตารางที่ ข-2 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.53	1.81	24.19	86.67
ครั้งที่ 2	0.55	1.88	26.51	85.83
ครั้งที่ 3	0.53	1.81	23.82	86.33
ค่าเฉลี่ย	0.54	1.84	24.84	86.28

ตารางที่ ข-3 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	98	6.00	5.10	3	14.49	2.20
ครั้งที่ 2	75	98	6.00	5.15	3	13.58	2.20
ครั้งที่ 3	75	98	6.00	5.12	3	14.01	2.40

ชีวมวล กระจิน:เหง้ามันสำปะหลัง (ไม่ผ่านกระบวนการหมัก)

อัตราส่วน 7:3 ความชื้นเริ่มต้นของกระจิน $12.86 \pm 2.03\%$ และเหง้ามันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-4 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	644.99	98.17	0.49	19.25
ครั้งที่ 2	639.31	98.30	0.46	19.36
ครั้งที่ 3	643.56	98.38	0.47	19.66
ค่าเฉลี่ย	642.62	98.28	0.47	19.42

ตารางที่ ข-5 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.42	1.44	31.26	91.17
ครั้งที่ 2	0.44	1.50	33.41	90.00
ครั้งที่ 3	0.41	1.40	32.12	90.17
ค่าเฉลี่ย	0.42	1.45	32.26	90.44

ตารางที่ ข-6 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	95	6.00	5.47	4	10.50	0.92
ครั้งที่ 2	75	95	6.00	5.35	4	11.45	0.95
ครั้งที่ 3	75	95	6.00	5.41	4	11.50	0.98

ชีวมวล กระจิน:เหง้ำมันสำปะหลัง (ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 1 วัน)

อัตราส่วน 7:3 ความชื้นเริ่มต้นของกระจิน $12.86 \pm 2.03\%$ และเหง้ำมันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-7 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	650.77	99.39	0.27	19.41
ครั้งที่ 2	653.70	99.16	0.29	19.22
ครั้งที่ 3	655.18	99.36	0.25	19.54
ค่าเฉลี่ย	653.22	99.30	0.27	19.39

ตารางที่ ข-8 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.38	1.30	36.08	91.50
ครั้งที่ 2	0.34	1.16	39.63	92.67
ครั้งที่ 3	0.36	1.23	38.25	92.33
ค่าเฉลี่ย	0.36	1.23	37.99	92.17

ตารางที่ ข-9 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	95	6.00	5.49	3	9.15	0.90
ครั้งที่ 2	75	94	6.00	5.56	3	10.54	0.93
ครั้งที่ 3	75	95	6.00	5.54	3	11.15	1.00

ชีวมวล ภาระดิน:เหง้ามันสำปะหลัง (ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 3 วัน)

อัตราส่วน 7:3 ความชื้นเริ่มต้นของภาระดิน $12.86 \pm 2.03\%$ และเหง้ามันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-10 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	670.31	99.53	0.24	19.70
ครั้งที่ 2	668.77	99.67	0.23	19.20
ครั้งที่ 3	667.23	99.47	0.26	19.60
ค่าเฉลี่ย	668.77	99.56	0.24	19.50

ตารางที่ ข-11 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.35	1.20	39.70	93.33
ครั้งที่ 2	0.31	1.06	41.43	94.00
ครั้งที่ 3	0.34	1.16	42.89	93.00
ค่าเฉลี่ย	0.33	1.14	41.34	93.44

ตารางที่ ข-12 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	94	6.00	5.60	4	9.17	0.90
ครั้งที่ 2	75	94	6.00	5.58	4	10.29	0.95
ครั้งที่ 3	75	95	6.00	5.56	4	8.00	0.85

ชีวมวล กระจิน:เหง้ามันสำปะหลัง (ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 5 วัน)

อัตราส่วน 7:3 ความชื้นเริ่มต้นของกระจิน $12.86 \pm 2.03\%$ และเหง้ามันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-13 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	665.70	98.50	0.38	19.18
ครั้งที่ 2	664.18	98.74	0.37	19.02
ครั้งที่ 3	662.66	98.84	0.40	19.47
ค่าเฉลี่ย	664.18	98.69	0.38	19.22

ตารางที่ ข-14 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.37	1.27	37.42	90.83
ครั้งที่ 2	0.40	1.37	34.14	91.83
ครั้งที่ 3	0.38	1.30	35.51	91.67
ค่าเฉลี่ย	0.38	1.31	35.69	91.44

ตารางที่ ข-15 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	94	6.00	5.39	4	11.10	1.00
ครั้งที่ 2	75	94	6.00	5.45	4	9.50	0.90
ครั้งที่ 3	75	94	6.00	5.44	4	11.06	1.05

ชีวมวล กระจิน:เหง้ำมันสำปะหลัง (ผ่านกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 7 วัน)

อัตราส่วน 7:3 ความชื้นเริ่มต้นของกระจิน $12.86 \pm 2.03\%$ และเหง้ำมันสำปะหลัง $11.91 \pm 1.68\%$

ตารางที่ ข-16 บันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)	Fine (%)	HHV (MJ/kg)
ครั้งที่ 1	661.15	98.08	0.54	18.70
ครั้งที่ 2	662.66	97.91	0.52	18.67
ครั้งที่ 3	658.15	98.55	0.55	18.99
ค่าเฉลี่ย	660.65	98.18	0.54	18.79

ตารางที่ ข-17 บันทึกผลการคำนวณต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	ต้นทุนพลังงาน (baht/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	ผลได้เชิงมวล (%)
ครั้งที่ 1	0.45	1.54	38.47	92.83
ครั้งที่ 2	0.43	1.47	35.75	91.63
ครั้งที่ 3	0.46	1.57	36.22	92.17
ค่าเฉลี่ย	0.45	1.53	36.81	92.21

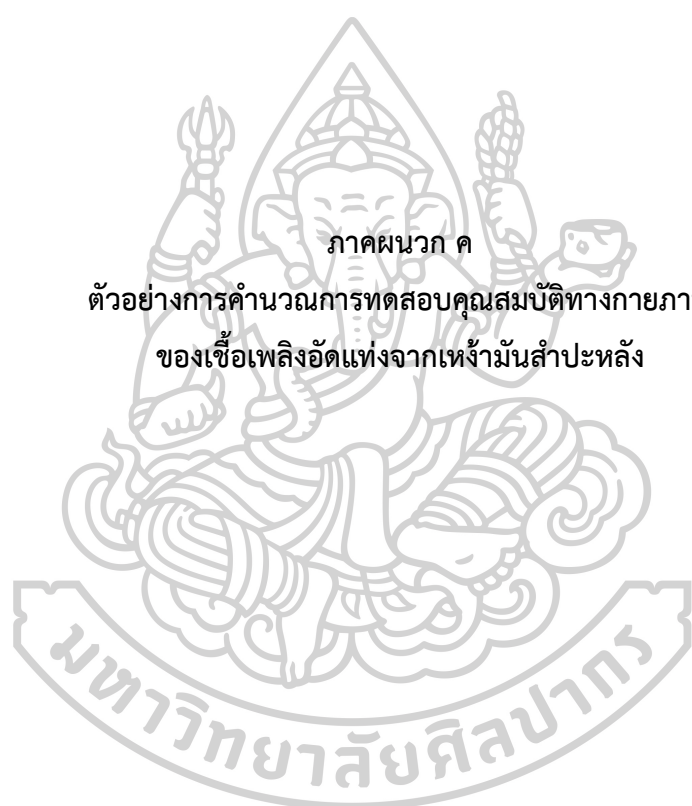
ตารางที่ ข-18 บันทึกข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ

กระบวนการขึ้นรูป เชื้อเพลิงอัดแท่ง ตะเกียบ	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)		น้ำหนัก (kg)		จำนวน รอบ	ระยะเวลา ในการผลิต	ค่าไฟ (kWh)
	(เริ่มต้น)	(เริ่มต้น)	(ก่อน)	(หลัง)			
ครั้งที่ 1	75	95	6.00	5.33	5	11.12	1.10
ครั้งที่ 2	75	95	6.00	5.39	5	12.56	1.13
ครั้งที่ 3	75	95	6.00	5.14	5	12.38	1.15

ตารางที่ ข-19 บันทึกข้อมูลค่าความชื้นของชีวมวลก่อนกระบวนการขึ้นรูป

ตัวอย่าง	A	ACF0	ACF1	ACF3	ACF5	ACF7
ซี้ 1	19.23	27.44	28.03	29.87	30.21	31.18
ซี้ 2	20.02	28.82	28.85	28.81	31.14	31.21
ซี้ 3	21.21	27.83	28.32	29.08	30.02	32.45
ค่าเฉลี่ย	20.15	28.03	28.40	29.25	30.46	31.61





รายการคำนวณ ค-1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกระถิน

1. ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

$$\text{วัดความสูงเฉลี่ยจากด้านบนกล่องถึงผิวมวลภายในกล่อง (cm)} = \frac{25.7+24.9+26.4+24.8+24.8+25.8+25.4+25.8+26.3}{9}$$

$$= 25.54 \text{ cm}$$

$$= 0.305 \text{ m} \times 0.305 \text{ m} \times (0.305 \text{ m} - 0.2554 \text{ m})$$

$$= 0.004610 \text{ m}^3$$

$$\frac{\text{น้ำหนักของ Pellet (kg)}}{\text{ปริมาตรของ Pellet (m}^3\text{)}}$$

$$= 0.004610 \text{ kg/m}^3$$

$$= 650.76 \text{ kg/m}^3$$

ปริมาตร (V)

Bulk density คำนวณจากสูตร

2. ค่าความทนทาน (Durability)

น้ำหนักเริ่มต้นของ Pellet ก่อนเข้าเครื่องทดสอบเท่ากับ 500.10 g และ 500 g

น้ำหนักหลังของ Pellet หลังออกจากเครื่องทดสอบเท่ากับ 479.10 g และ 472.40 g

$$\text{คำนวณจากสูตร } \frac{\text{น้ำหนัก Pellet หลัง}}{\text{น้ำหนัก Pellet เริ่มต้น}} \times 100 = \frac{479.10 \text{ g} + 472.40 \text{ g}}{500.10 \text{ g} + 500 \text{ g}} \times 100$$

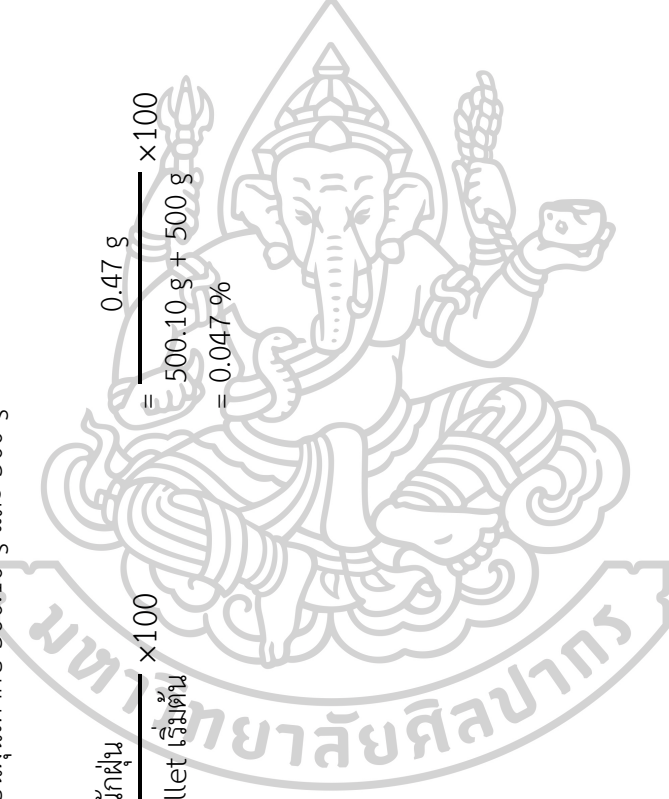
$$= 95.14 \%$$

3. ค่าเปอร์เซ็นต์ฝุ่น (Fine)

น้ำหนักของฝุ่นที่ร่อนได้เท่ากับ 0.47 g

น้ำหนักเริ่มต้นของ Pellet ก่อนนำไปร่อนฝุ่นเท่ากับ 500.10 g และ 500 g

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักฝุ่น}}{\text{น้ำหนัก Pellet เริ่มต้น}} \times 100 \\ & = \frac{0.47 \text{ g}}{500.10 \text{ g} + 500 \text{ g}} \times 100 \\ & = 0.047 \% \end{aligned}$$





รายการคำนวณ ง-1 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับหยาบกระถิน

1. ค่าพลังงาน

$$\text{คำนวณจากสูตร} \quad \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kW-h)}}{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ (kg)}} = \frac{1.38 \text{ kW-h}}{104.11 \text{ kg}} = 0.013 \text{ kW-h/kg}$$

2. ต้นทุนพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad \text{ค่าพลังงาน} \times \text{ค่าไฟฟ้า} &= 0.013 \text{ kW-h/kg} \times 3.42 \text{ baht/kg} \\ &= 0.045 \text{ baht/kg} \end{aligned}$$

3. กำลังการผลิต

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้สับหยาบทั้งหมด (h)}} &= \frac{104.11 \text{ kg}}{2193 \text{ s}} \times 3,600 \text{ s} \\ &= 107.906 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4. ผลได้เชิงมวล

$$\text{คำนวณจากสูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ (kg)}}{\text{น้ำหนักก่อนสับหยาบ (kg)}} \times 100 = \frac{104.11 \text{ kg}}{105.35 \text{ kg}} \times 100 = 98.823 \%$$

รายการคำนวณ ง-2 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับละเอียดกระถิน

1. ค่าพลังงาน

$$\text{คำนวณจากสูตร} \quad \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kW-h)}}{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด (kg)}} = \frac{13.9 \text{ kW-h}}{122.71 \text{ kg}} = 0.113 \text{ kW-h/kg}$$

2. ต้นทุนพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad \text{ค่าพลังงาน} \times \text{ค่าไฟฟ้า} &= 0.11 \text{ kW-h/kg} \times 3 \text{ baht/kg} \\ &= 0.33 \text{ baht/kg} \end{aligned}$$

3. กำลังการผลิต

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้สับละเอียดทั้งหมด (h)}} &= \frac{122.71 \text{ kg}}{12,673 \text{ s}} \times 3,600 \text{ s} \\ &= 34.85804466 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4. ผลได้เชิงมวล

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด (kg)}}{\text{น้ำหนักก่อนสับละเอียด (kg)}} \times 100 = \frac{122.71 \text{ kg}}{146.52 \text{ kg}} \times 100 \\ & = 83.749 \% \end{aligned}$$

รายการคำนวณ ง-3 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับหยาบเหง้ามันสำปะหลัง

1. ค่าพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kW-h)}}{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ(kg)}} = \frac{0.7 \text{ kW-h}}{67.86 \text{ kg}} = 0.010 \text{ kW-h/kg} \end{aligned}$$

2. ต้นทุนพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \text{ค่าพลังงาน} \times \text{ค่าไฟฟ้า} = 0.010 \text{ kW-h/kg} \times 3.42 \text{ baht/kg} \\ & = 0.035 \text{ baht/kg} \end{aligned}$$

3. กำลังการผลิต

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้สับหยาบทั้งหมด (h)}} = \frac{67.86 \text{ kg}}{1051.80 \text{ s}} \times 3,600 \text{ s} \\ & = 232.256 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4. ผลได้เชิงมวล

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังสับหยาบ (kg)}}{\text{น้ำหนักก่อนสับหยาบ (kg)}} \times 100 = \frac{67.86 \text{ kg}}{70.00 \text{ kg}} \times 100 = 96.943 \% \end{aligned}$$

รายการคำนวณ ง-4 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการสับละเอียดเหง้ามันสำปะหลัง

1. ค่าพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kW-h)}}{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด(kg)}} = \frac{13.9 \text{ kW-h}}{122.71 \text{ kg}} = 0.113 \text{ kW-h/kg} \end{aligned}$$

2. ต้นทุนพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \text{ค่าพลังงาน} \times \text{ค่าไฟฟ้า} = 0.11 \text{ kW-h/kg} \times 3 \text{ baht/kg} \\ & = 0.33 \text{ baht/kg} \end{aligned}$$

3. กำลังการผลิต

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้สับละเอียดทั้งหมด (h)}} = \frac{122.71 \text{ kg}}{12,673 \text{ s}} \times 3,600 \text{ s} \\ & = 34.858 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4. ผลได้เชิงมวล

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังสับละเอียด (kg)}}{\text{น้ำหนักก่อนสับละเอียด (kg)}} \times 100 = \frac{122.71 \text{ kg}}{146.52 \text{ kg}} \times 100 = \\ & 83.749 \% \end{aligned}$$

รายการคำนวณ ง-5 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกระถิน

1. ค่าพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{พลังงานที่ใช้ไป (kW-h)}}{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป (kg)}} = \frac{2.20 \text{ kW-h}}{5.10 \text{ kg}} \\ & = 0.43 \text{ kW-h/kg} \end{aligned}$$

2. ต้นทุนพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \text{ค่าพลังงาน} \times \text{ค่าไฟฟ้า} = 0.43 \text{ kW-h/kg} \times 3.9086 \text{ baht/kg} \\ & = 1.69 \text{ baht/kg} \end{aligned}$$

3. กำลังการผลิต

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้ขึ้นรูปทั้งหมด (h)}} = \frac{5.10 \text{ kg}}{869.4 \text{ s}} \times 3,600 \text{ s} \\ & = 24.84 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

4. ผลได้เชิงมวล

น้ำหนักก่อนขึ้นรูปคำนวณจาก น้ำหนักของชีวมวล 6 kg

$$\begin{aligned} \text{คำนวณจากสูตร} \quad & \frac{\text{น้ำหนักหลังขึ้นรูป (kg)}}{\text{น้ำหนักก่อนขึ้นรูป (kg)}} \times 100 = \frac{5.10 \text{ kg}}{6.00 \text{ kg}} \times 100 \\ & = 85.00\% \end{aligned}$$



ตารางที่ จ-1 บันทึกผลการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test) เชื้อเพลิงอัดแท่ง
ตะเกียบจากเศษกระถิน (A)

เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถิน (A)			
การทดลอง	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3
ครั้งที่ 1	7.32	4.35	5.48
ครั้งที่ 2	4.37	8.37	8.08
ครั้งที่ 3	6.48	3.97	4.98
ครั้งที่ 4	6.03	5.53	5.73
ครั้งที่ 5	8.85	7.22	4.38
ครั้งที่ 6	5.63	7.02	3.70
ครั้งที่ 7	5.30	5.87	7.35
ครั้งที่ 8	5.88	6.63	7.72
ครั้งที่ 9	5.13	6.88	4.95
ครั้งที่ 10	3.20	2.97	6.65
ครั้งที่ 11	6.72	5.07	6.30
ครั้งที่ 12	4.95	4.57	5.37
ครั้งที่ 13	9.82	7.85	7.02
ครั้งที่ 14	4.65	7.45	7.43
ครั้งที่ 15	5.02	3.70	8.02
ค่าเฉลี่ย	5.96	5.83	6.21

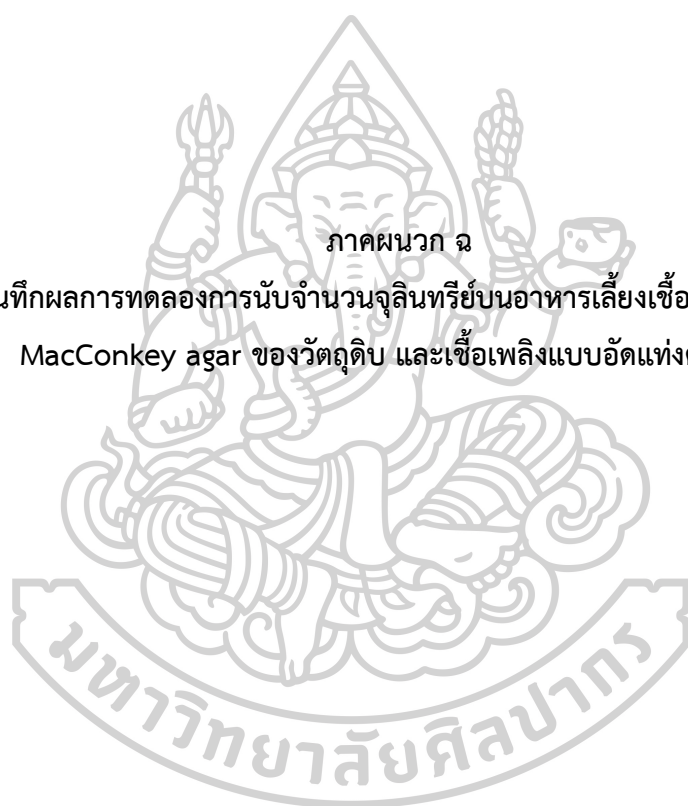
ตารางที่ จ-2 บันทึกผลการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test) เชื้อเพลิงอัดแท่ง
ตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 3 วัน (ACF3)			
การทดลอง	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3
ครั้งที่ 1	12.78	20.53	12.72
ครั้งที่ 2	18.68	22.05	24.23
ครั้งที่ 3	17.20	17.73	23.82
ครั้งที่ 4	15.87	22.70	16.73
ครั้งที่ 5	13.93	23.25	20.35
ครั้งที่ 6	22.80	13.03	18.55
ครั้งที่ 7	8.82	20.10	18.70
ครั้งที่ 8	14.82	7.97	13.22
ครั้งที่ 9	20.45	11.85	11.87
ครั้งที่ 10	17.97	12.80	7.37
ครั้งที่ 11	18.28	18.38	17.40
ครั้งที่ 12	21.88	12.36	21.70
ครั้งที่ 13	16.85	13.90	23.48
ครั้งที่ 14	21.02	16.75	16.55
ครั้งที่ 15	19.68	24.13	17.86
ค่าเฉลี่ย	17.40	17.17	17.64

ตารางที่ จ-3 บันทึกผลการทดสอบความพรุนของแท่งเชื้อเพลิง (Porosity test) เชื้อเพลิงอัดแท่ง
ตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 12 วัน

เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสม เหง้ามันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 12 วัน (ACF12)			
การทดลอง	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3
ครั้งที่ 1	6.90	6.73	8.28
ครั้งที่ 2	9.00	8.07	6.82
ครั้งที่ 3	10.32	9.40	11.7
ครั้งที่ 4	8.10	12.15	11.15
ครั้งที่ 5	9.85	10.05	12.53
ครั้งที่ 6	10.55	7.87	6.07
ครั้งที่ 7	7.02	8.03	9.98
ครั้งที่ 8	10.08	6.87	7.72
ครั้งที่ 9	8.25	7.13	10.38
ครั้งที่ 10	11.25	7.47	7.92
ครั้งที่ 11	6.62	9.65	10.78
ครั้งที่ 12	6.37	10.95	6.55
ครั้งที่ 13	11.52	6.13	9.57
ครั้งที่ 14	7.88	11.68	8.68
ครั้งที่ 15	8.78	8.72	7.30
ค่าเฉลี่ย	8.83	8.73	9.03

ภาคผนวก ฉ
ตารางบันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ
MacConkey agar ของวัตถุดิบ และเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ



ตารางที่ ๑-1 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษกระถิน (A)

Nutrient Agar				MacConkey Agar						
ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย	
10^{-3}	125	113	112	117	A	10^{-3}	2	4	5	
10^{-4}	6	7	89	34		10^{-4}	(2 ^P)	(3 ^P)	(4 ^P)	4
10^{-5}	4	10	8	17		10^{-5}	1	0	0	0
10^{-6}	5	5	1	10		0	0	0	0	0
10^{-7}	5	0	0	5						
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	10 ⁻⁵				Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	-				

ตารางที่ ๑-2 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบหมักน้ำสับหรั่ง (C)

Nutrient Agar				MacConkey Agar					
ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย
10^{-5}		>300			C	10^{-3}		>300	
10^{-6}	190	194	171	185		10^{-4}		>300	
10^{-7}	6	19	13	13		10^{-5}		>300	
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	1.8x10 ⁹				Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	-			

ตารางที่ ๑-3 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษอาหารแห้งมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 0 วัน

Nutrient Agar				MacConkey Agar			
ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3
	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย		เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย
10 ⁻⁶	49 (42 ^P)	62 (55 ^P)	40 (39 ^P)	50	80	40	39
10 ⁻⁷	3 (3 ^P)	3 (3 ^P)	5 (5 ^P)	4	15	8	7
10 ⁻⁸	>300 (9 ^P)	6 (7 ^P)	17 (9 ^P)	11	1	1	7
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	5.0x10 ⁸			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	5.3x10 ⁶		
0วัน				0วัน			

ตารางที่ ๑-4 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษอาหารแห้งมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 1 วัน

Nutrient Agar				MacConkey Agar			
ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3
	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย		เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย
10 ⁻⁶	22 (9 ^P)	31 (10 ^P)	36 (16 ^P)	30	>300	>300	>300
10 ⁻⁷	5 (5 ^P)	12 (7 ^P)	10 (4 ^P)	10	127	129	118
10 ⁻⁸	2 (2 ^P)	2 (5 ^P)	3 (3 ^P)	2	10	12	13
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	3.0x10 ⁸			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	1.3x10 ⁸		
1วัน				1วัน			

ตารางที่ ๑-5 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษกระถินผสมแห้งมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 3 วัน

Nutrient Agar						MacConkey Agar					
ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย		ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย	
	(53 ^P)	(40 ^P)	(35 ^P)	64	73		(10 ^P)	(9 ^P)	(8 ^P)	(7 ^P)	(6 ^P)
3วัน	10 ⁻⁶	92	64	64	73	3วัน	10 ⁻⁴	>300	>300	>300	>300
	10 ⁻⁷	6	10	11	3		10 ⁻⁵	232	223	238	231
	10 ⁻⁸	2	2	1	2		10 ⁻⁶	34	26	32	31
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)						Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)					
7.3x10 ⁸						2.3x10 ⁸					

ตารางที่ ๑-6 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษกระถินผสมแห้งมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 5 วัน

Nutrient Agar						MacConkey Agar					
ระดับความเจือจาง	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	เฉลี่ย		ระดับความเจือจาง	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	เฉลี่ย	
	(10 ^P)	(15 ^P)	(15 ^P)	20 <th>21 <th>(12^P)</th> <th>(9^P)</th> <th>(4^P)</th> <th>(8^P)</th> <th>(8^P)</th> <th>(14^P)</th> </th>	21 <th>(12^P)</th> <th>(9^P)</th> <th>(4^P)</th> <th>(8^P)</th> <th>(8^P)</th> <th>(14^P)</th>		(12 ^P)	(9 ^P)	(4 ^P)	(8 ^P)	(8 ^P)
5วัน	10 ⁻⁶	20	21	23	21	5วัน	10 ⁻⁴	>300	>300	>300	>300
	10 ⁻⁷	2	5	5	4		10 ⁻⁵	83	89	90	87
	10 ⁻⁸	10	2	2	4		10 ⁻⁶	12	17	12	14
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)						Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)					
7.3x10 ⁸						8.7x10 ⁷					

ตารางที่ ๑-7 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของวัตถุดิบเศษกระถินผสมแห้งน้ำหนักใส่ปะหลังหมักที่ระยะเวลา 7 วัน

Nutrient Agar				MacConkey Agar									
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	ระดับความเจือจาง	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	ระดับความเจือจาง	ซ้ำ1	ซ้ำ2	ซ้ำ3	เฉลี่ย				
		(13 ^P)	(11 ^P)	(39 ^P)		(90)	(114)	(103)					
7 วัน	10 ⁻⁶	58	62	64	10 ⁻⁴	90	114	103	>300				
	10 ⁻⁷	22	20	26						10 ⁻⁵	28	12	11
	10 ⁻⁸	28	8	4									
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)		6.1x10 ⁸			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)			1.0x10 ⁸					

ตารางที่ ๑-8 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบจากกระถินผสมแห้งน้ำหนักใส่ปะหลังหมักที่ระยะเวลา 0 วัน

Nutrient Agar (Pellet)				MacConkey Agar (Pellet)									
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	เฉลี่ย				
		(5 ^P)	(2 ^P)	(1 ^P)		(0)	(0)	(0)					
0 วัน	10 ⁻¹	7	4	5	10 ⁻¹	0	0	0	-				
	10 ⁻²	0	10	3						10 ⁻²	0	0	-
	10 ⁻³	1	5	59									
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)		(58 ^P)			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)			-					

ตารางที่ ๑-9 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะกั่วที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ระยะเวลา 0 วัน

Nutrient Agar (Pellet)				MacConkey Agar (Pellet)			
ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3
	0วัน	71	6		10	29	0
10^{-1}							
10^{-2}	2	1	8	4	0	0	0
10^{-3}	4	103	300	-	0	0	0
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	10^{-2}			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g) -			

ตารางที่ ๑-10 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะกั่วที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ระยะเวลา 1 วัน

Nutrient Agar (Pellet)				MacConkey Agar (Pellet)			
ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่3
	1วัน	13	32		27	24	0
10^{-1}	(5 ^P)	(24 ^P)	(15 ^P)	6			
10^{-2}	2	6	10	6	0	0	0
	(1 ^P)	(1 ^P)	(1 ^P)	6			
10^{-3}	46	6	0	-	0	0	0
		(6 ^P)					
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	10^{-2}			Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g) -			

ตารางที่ ๑-11 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการหมักน้ำส้มแก่ที่ระยะเวลา 3 วัน

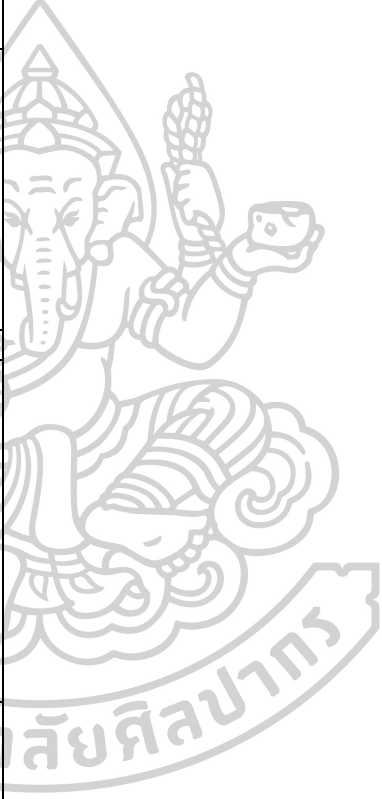
Nutrient Agar (Pellet)				MacConkey Agar (Pellet)			
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย
		จานที่3	เฉลี่ย	จานที่1	จานที่2	จานที่3	
3 วัน	10 ⁻¹	7	2	0	0	0	-
	10 ⁻²	6	1	0	0	0	-
	10 ⁻³	0	0	0	0	0	-
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)							
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)							

ตารางที่ ๑-12 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการหมักน้ำส้มแก่ที่ระยะเวลา 5 วัน

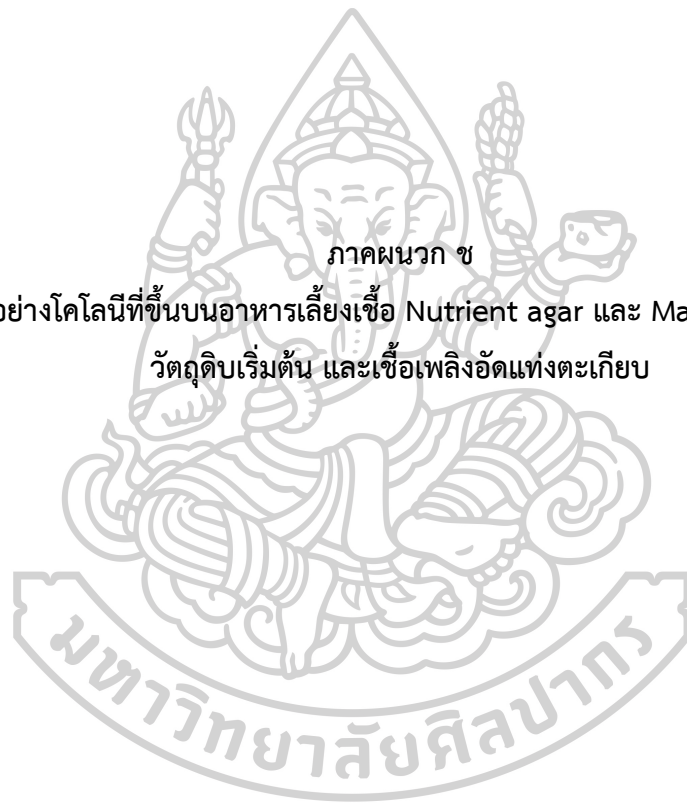
NA (Pellet)				MA (Pellet)			
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)	ระดับความเจือจาง	จานที่1	จานที่2	จานที่1	จานที่2	จานที่3	เฉลี่ย
		จานที่3	เฉลี่ย	จานที่1	จานที่2	จานที่3	
5 วัน	10 ⁻¹	5 (1 ^P)	4 (2 ^P)	0	0	0	-
	10 ⁻²	0	1 (1 ^P)	0	0	0	-
	10 ⁻³	1 (1 ^P)	3 (3 ^P)	0	0	0	-
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)							
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)							

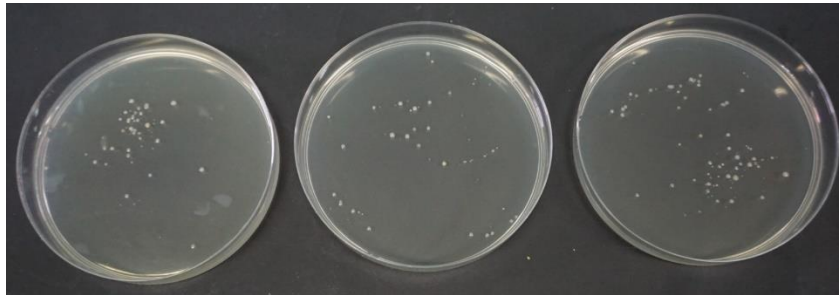
ตารางที่ ๑-13 บันทึกผลการทดลองการนับจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งที่เกี่ยวข้องจากกรณีผสมแก๊วมันสำปะหลังหมักที่ระยะเวลา 7 วัน

NA (Pellet)					MA (Pellet)						
7 วัน	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	เฉลี่ย	7 วัน	ระดับความเจือจาง	งานที่1	งานที่2	งานที่3	เฉลี่ย
	10 ⁻¹	227 (193 ^P)	36 (22 ^P)	11 (5 ^P)	24			10 ⁻¹	0	0	0
10 ⁻²	4 (3 ^P)	5 (3 ^P)	>300	-		10 ⁻²	0	0	0	-	
10 ⁻³	1 (1 ^P)	68 (56 ^P)	5 (5 ^P)	-		10 ⁻³	0	0	0	-	
Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)						Dilution ที่เหมาะสม (CFU/g)					

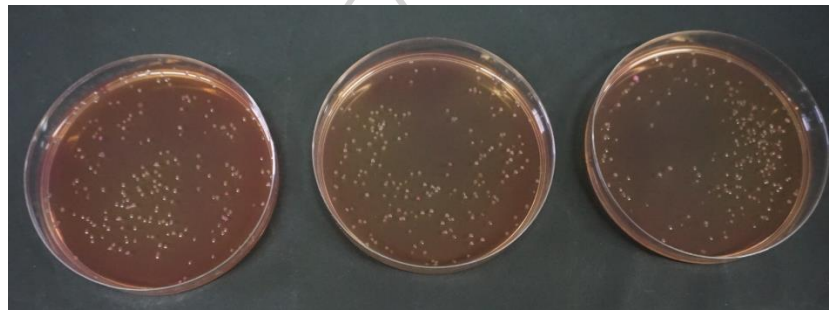


ภาคผนวก ข
รูปภาพตัวอย่างโคโลนีที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ MacConkey agar ของ
วัฏดุติบเริ่มต้น และเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ





รูปที่ ข-1 โคโลนีของวัตฤติบเริ่มต้นจากอัตราส่วนระหว่างเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 3 วัน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar ที่ Dilution⁶



รูปที่ ข-2 โคโลนีของวัตฤติบเริ่มต้นจากอัตราส่วนระหว่างเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 3 วัน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ MacConkey agar ที่ Dilution⁵

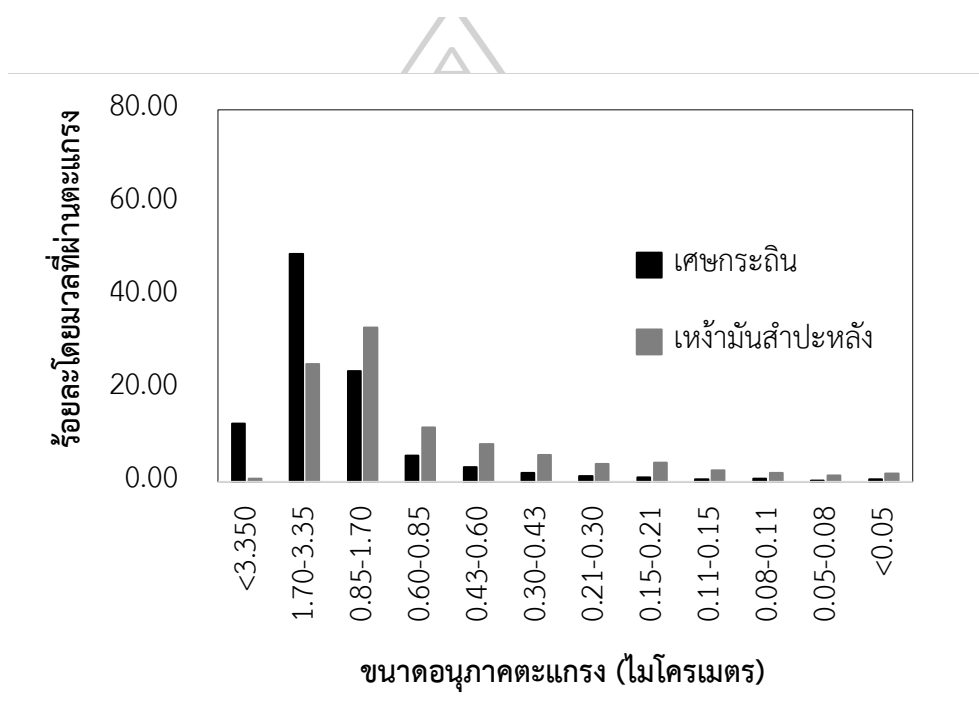


รูปที่ ข-3 โคโลนีของเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากอัตราส่วนระหว่างเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 7 วัน บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar ที่ Dilution¹

ผลของการกระจายของขนาดอนุภาคชีวมวล

การกระจายของขนาดอนุภาคของมวล (Particle size distribution) เนื่องจากชีวมวลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ชีวมวลเศษกระถินและเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการลดขนาดโดยเครื่องสับละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตร เพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแบบอัดแท่งตะเกียบ ซึ่งขนาดของชีวมวลที่ผ่านตะแกรงนั้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 5 มิลลิเมตร โดยผลของการกระจายอนุภาคของชีวมวลทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ ช-5

สำหรับการทดลองการกระจายอนุภาคของชีวมวล กำหนดให้แกนอนแสดงขนาดอนุภาคตะแกรง (มิลลิเมตร) และแกนตั้งแสดงร้อยละโดยมวลที่ผ่านตะแกรง



รูปที่ ช-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคตะแกรง ที่มีผลต่อร้อยละโดยมวลที่ผ่านตะแกรงของการกระจายตัวขนาดอนุภาคชีวมวล

จากกราฟรูปที่ ช-5 พบว่าชีวมวลเศษกระถินที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคชีวมวลที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 1.70-3.35 คิดเป็น 49 เปอร์เซ็นต์ และในช่วง 0.85-1.70 มิลลิเมตร คิดเป็น 24 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของเหง้ามันสำปะหลังมีการกระจายจากตัวของขนาดอนุภาคมากชีวมวลที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.85-1.70 มิลลิเมตร คิดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ และในช่วง 1.70-3.35 มิลลิเมตร คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์





รูปที่ ซ-1 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระดาษ



รูปที่ ซ-2 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระดาษผสมเหง้ามันสำปะหลังไม่ผ่านกระบวนการหมัก



รูปที่ ซ-3 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 1 วัน



รูปที่ ซ-4 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 3 วัน



รูปที่ ซ-5 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 5 วัน



รูปที่ ซ-6 เชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบจากเศษกระถินผสมเหง้ามันสำปะหลังหมัก 7 วัน



รายการอ้างอิง

- [1] S.-y. Yokoyama, T. Ogi, A. Nalampoon, Biomass energy potential in Thailand, *Biomass and Bioenergy*, 18 (2000) 405-410.
- [2] N. Said, M.M. Abdel daiem, A. García-Maraver, M. Zamorano, Influence of densification parameters on quality properties of rice straw pellets, *Fuel Processing Technology*, 138 (2015) 56-64.
- [3] S.N.M.a.D. Irawati, Basic properties of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* as a heating fuel, *Advances of Science and Technology for Society*, (2016) 130007-130001–130007-130007.
- [4] M.P. Vihinen M, Microbial amylolytic enzyme, *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 24 (1089) 329–418.
- [5] A.D.U.-A.J.C.L. Opara, Postharvest Handling and Storage of Fresh Cassava Root and Products: a Review, *Food and Bioprocess Technology*, 8 (2015) 729–748.
- [6] ฝ่ายกิจกรรมองค์กรและรัฐกิจสัมพันธ์ บริษัท เอสซี (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน), แนวโน้มพลังงานโลก – ภาพรวมถึงปี 2040, (2555)
- [7] S. Mani, L.G. Tabil, S. Sokhansanj, Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses, *Biomass and Bioenergy*, 30 (2006) 648-654.
- [8] D. Tarasov, C. Shahi, M. Leitch, Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review, 2013.
- [9] M. Soleimani, X.L. Tabil, R. Grewal, L.G. Tabil, Carbohydrates as binders in biomass densification for biochemical and thermochemical processes, *Fuel*, 193 (2017) 134-141.
- [10] ดุษฎี อุตภาพ, เคมีและคุณสมบัติของแป้ง, (2558)
- [11] H.-C.F.a.J. Wingender, The biofilm matrix. *Nat Rev Microbiol*, 8(9) (2010) 623-633.
- [12] T.R. Garrett, M. Bhakoo, Z. Zhang, Bacterial adhesion and biofilms on surfaces, *Progress in Natural Science*, 18 (2008) 1049-1056.
- [13] H.B.K.a.R.K. George O’Toole, Biofilm formation as microbial development, *Annu Rev Microbiol*, 54 (2000) 49-79.
- [14] J.W. Jachlewski S, Linne U, Bräsen C, Wingender J, Siebers B., Isolation of extracellular

polymeric substances from biofilms of the thermoacidophilic archaeon *Sulfolobus acidocaldarius*, *Bioeng. Biotechnol.*, (2015).

[15] S. Warajanont and N. Soponpongpiat, Effect of Particle Size and Moisture Content on Cassava Root Pellet Fuel' S Qualities Follow the Acceptance of Pellet Fuel Standard, *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 2 (2013) 74-79.

[16] I. Niedziółka, M. Szpryngiel, M. Kachel-Jakubowska, A. Kraszkiewicz, K. Zawisła, P. Sobczak, R. Nadulski, Assessment of the energetic and mechanical properties of pellets produced from agricultural biomass, *Renewable Energy*, 76 (2015) 312-317.

[17] J. Peng, X.T. Bi, C.J. Lim, H. Peng, C.S. Kim, D. Jia, H. Zuo, Sawdust as an effective binder for making torrefied pellets, *Applied Energy*, 157 (2015) 491-498.

[18] K.S. University, Pellet Institute Standard Operating Procedure for: Durability Testing Residential/ Commercial Pellet Fuels.

[19] ASTM International, Standard test method for bulk density of densified particulate biomass fuels, *Annual book of ASTM Standards*, (2013) 112–113.

[20] ASTM E711-87, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter, (2004).

[21] M. Erol, H. Haykiri-Acma, S. Küçükbayrak, Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data, *Renewable Energy*, 35 (2010) 170-173.

[22] Z. Liu, X.e. Liu, B. Fei, Z. Jiang, Z. Cai, Y. Yu, The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw, *Renewable Energy*, 55 (2013) 1-5.

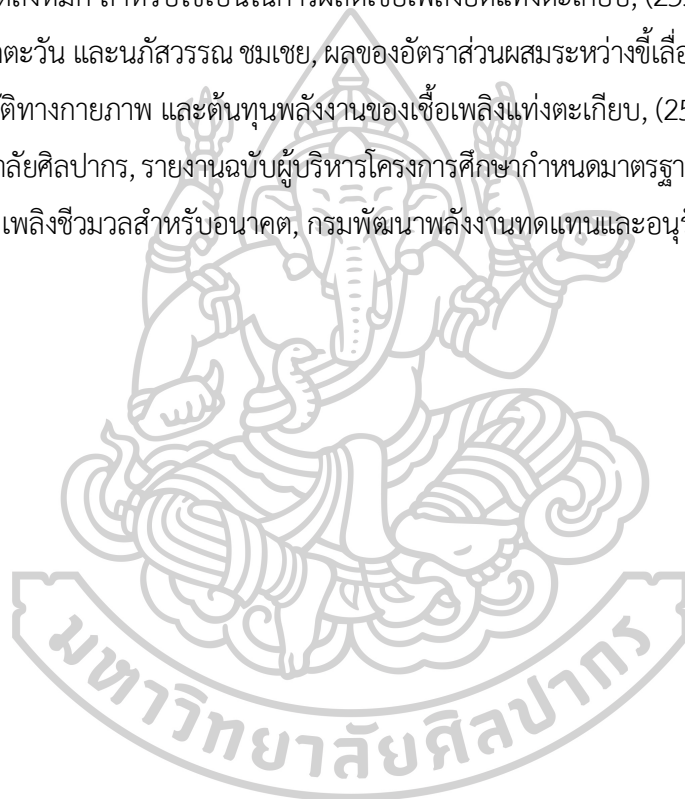
[23] C. Telmo, J. Lousada, Heating values of wood pellets from different species, *Biomass and Bioenergy*, 35 (2011) 2634-2639.

[24] สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และวราพันธ์ จิตณวิชญ์, การใช้ประโยชน์เศษเหลือจากมันสำปะหลัง, ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจฯ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (2011)

[25] C.C. Tumuluru JS, Hoover AN., Method to Produce Durable Pellets at Lower Energy Consumption Using High Moisture Corn Stover and a Corn Starch Binder in a Flat Die Pellet Mill., *Journal of Visualized Experiments*, (2016) 1-13.

[26] A.B. Adeleke BS, Olaniyi OO1 and Jeff-Agboola YA, Effect of Fermentation on Chemical Composition of Cassava Peels, *Asian Journal of Plant Science and Research*, 7(1) (2017) 31-38.

- [27] ส่วนปลูกป่าเอกชน กรมป่าไม้, รู้รอบด้านการปลูกไม้เศรษฐกิจ/ด้านการตลาด, (2561)
- [28] ไทยรัฐออนไลน์, พาณิชย์รุกหาพันธมิตรน้ำมันสำปะหลัง, (2555)
- [29] S. Wolfgang, Fuel Pellets from Biomass Processing, Bonding, Raw Materials, National Laboratory for Sustainable Energy, (2011) 24-45.
- [30] นิโบล พิมพ์สว่าง และอัญธิกา นงนุช, การแยกเชื้อจุลินทรีย์ในเหง้ามันสำปะหลังสำหรับเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงแบบอัดแท่งตะเกียบ, (2559)
- [31] ปิยะธิดา ประเสริฐพันธุ์ และอาริตา มะเต็น, การศึกษาความสามารถในการย่อยของจุลินทรีย์ในเหง้ามันสำปะหลังหมัก สำหรับใช้เป็นในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งตะเกียบ, (2559)
- [32] เกษรา รัตตะวัน และนภัสวรรณ ชมเชย, ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างขี้เลื่อยและเหง้ามันสำปะหลังที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และต้นทุนพลังงานของเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ, (2558)
- [33] มหาวิทยาลัยศิลปากร, รายงานฉบับผู้บริหารโครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ. 11 น. (2555)





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล เกษรา รัตตะวัน
วัน เดือน ปี เกิด 24052536
สถานที่เกิด โรงพยาบาลหัวเฉียว กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา ปริญญาบัณฑิต
ที่อยู่ปัจจุบัน 49/1 ซอยแมนไทย ถนนกรุงเกษม แขวงคลองมหานาค เขตป้อมปราบ
กรุงเทพ 10100

