เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

นางสาวเกวลิน ไชยอำพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FUEL PELLETS OF PALM FIBER AND PALM SHELL

Miss Kawalin Chaiyaomporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม
โดย	นางสาวเกวลิน ไชยอำพร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

เกวลิน ไชยอำพร : เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม. (FUEL PELLETS OF PALM FIBER AND PALM SHELL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 143 หน้า.

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มมาผสมกับน้ำและใช้ของเสียกลีเซอรอลมาเป็นตัวประสานโดยศึกษาผลขนาดอนุภาค อัตราส่วนผสม(วัสดุต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอล) อุณหภูมิของตัวประสาน และอัตราส่วนของวัสดุ(ปริมาณเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม)ที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยปรับเปลี่ยนขนาดอนุภาค 3 ช่วง(ขนาด < 0.5 มม., 0.5-1.0 มม.และ < 2.0 มม.) ปริมาณวัสดุ 4 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึง 80 ปริมาณน้ำ 3 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 20 ปริมาณของเสียกลีเซอรอล 5 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 50 อุณหภูมิของตัวประสาน(อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 75^{O}C) และอัตราส่วนเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม 4 ค่า(ร้อยละ 100:0, 90:10, 80:20 และ70:30) โดยพิจารณาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากร้อยละการอัดเป็นเม็ด ความหนาแน่นรวมทั้งก้อน ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และคาร์บอนคงตัว

จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวมีค่าคุณสมบัติต่างๆผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดยกเว้นปริมาณเถ้า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว คือ อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล) เท่ากับ 50:10:40 โดยใช้เส้นใยปาล์มขนาด < 2.0 มม.ผสมกับน้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนที่เป็นตัวประสาน มีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ด 62.6 ความหนาแน่นรวม 982.2 kg/m^3 ค่าความร้อน 22.5 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 5.9194 ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 88.2573 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.5894 และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.2339 ซึ่งปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด การนำกะลาปาล์มมาผสมกับเส้นใยปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อลดปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้ โดยอัตราส่วนเส้นใยปาล์มร้อยละ 80 ต่อ กะลาปาล์มร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มเนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นลดลงเหลือร้อยละ 2.5247 ซึ่งยังคงสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดแต่มีค่าได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง ร้อยละการอัดเป็นเม็ด 70.5 ความหนาแน่นรวม 774.8 kg/m^3 ค่าความร้อน 19.71 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 9.8137 ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 86.2259 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.4356 และความสามารถในการรับแรง 4.83 N โดยราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 1.14 บาท/กก.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2551

4870648021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEYWORDS : FUEL PELLETS / BRIQUETTE / PELLETIZING / SPECIFIC DENSITY
KAWALIN CHAIYAOMPORN:FUEL PELLETS OF PALM FIBER AND PALM SHELL. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 143 pp.

In this research palm fiber and palm shell were used as raw materials to produce pelletized fuel, and waste glycerol were used as adhesive to reduce palm oil production waste. The aim of this research is to find optimum ratio of raw material (ratio of palm fiber and palm shell), raw material size distribution, adhesive temperature, and ratio of ingredients (ratio of raw material, waste glycerol, and water). To find the optimum ratios and temperature of adhesive; particle size distribution was varied into 3 sizes (less than 0.5 mm, 0.5 to 1.0 mm, and smaller than 2.0 mm), raw material ratios were varied for 4 values from 50 to 80%, water ratios were varied for 3 values from 0 to 20%, waste glycerol ratios were varied into 5 values from 0 to 50%, temperatures of adhesive were varied into room and 75 ^{O}C, and raw material ratios of palm fiber and palm shell were varied into 4 ratios (100:0, 90:10, 80:20, and 70:30 palm fiber and palm shell respectively. The fuel optimum ratio was considered by pelletizing ratio, specific density, heating value, ash content, moisture content, volatile matters, and fix carbon.

According to pelletized fuel characteristic and chemical analysis, pelletized fuel produced by palm fiber meet fuel standard requirements but ash content is higher than the standard. The optimum ratio of pelletized fuel made only by palm fiber was 50:10:40; palm fiber, water, and waste glycerol respectively. In the best practice condition; particle size was smaller than 2 mm, adhesive glycerol was heated. From the explained optimum ratio and ingredient, pelletizing ratio was 62.6%, specific density was 982.2 kg/m^3, heating value was 22.5 MJ/kg, moisture content was 5.9194%, volatile matter was 88.2573%, fix carbon content was 1.5894%, and ash content was 4.2339% which was higher than the standard. Mixing palm shell into palm fiber raw material reduced ash content of the pellets. The optimum raw material ratio, which minimizes ash content, was 80 to 20 palm fiber and palm shell respectively. Adding palm shell reduced ash content to be 2.5247% which was higher than pelletized fuel standard but followed cubed fuel. At this raw material ratio, pelletizing ratio was 70.5%, specific density was 774.8 kg/m^3, heating value was 19.71 MJ/kg, moisture content was 9.8137%, volatile matter was 86.2259%, fix carbon content was 1.4356%, and compressive force was 4.83 N. Pelletized fuel cost at optimum condition was 1.14 baht/kg.

Department Environmental Engineering Student's Signature …..……..
Field of Study Environmental Engineering Advisor's Signature ……....
Academic Year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอนจนเคี่ยวเข็ญและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล และอาจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้ และให้คำปรึกษาอันเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบรูณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร และรองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิจัยของห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย และห้องปฏิบัติการมูลฝอยและหน่วยวิจัยการจัดการของเสียอุตสาหกรรม

ขอขอบพระคุณบริษัทสุขสมบรูณ์น้ำมันปาล์ม และบริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด ที่ให้วัตถุดิบในการทำวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ อุทัย คันโธ อาจารย์ภาควิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(กำแพงแสน) ให้คำปรึกษาในด้านการอัดเม็ด บัณฑิตวิทยาลัยและสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน) ที่สนับสนุนด้านการเงินในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ไม่อาจกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย แนะนำการใช้เครื่องมือและความรู้ต่างๆอีกมากมาย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัวที่เป็นผู้ช่วยส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง…… ฌ

สารบัญภาพ……... ฒ

บทที่ 1 บทนำ…… 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย…… 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย…… 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……. 4

2.1 ชีวมวล…….…… 4

2.2 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม……. 9

2.3 เชื้อเพลิงอัดเม็ด…….. 18

2.4 ตัวประสาน……. 25

2.5 อุปสรรคในการใช้พลังงานชีวมวล……... 26

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 27

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย…….. 35

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย…….. 35

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย……..….. 35

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล…… 45

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม……..... 45

4.2 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว……... 48

หน้า

4.3 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม..... 74
4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงของเชื้อเพลิงอัดเม็ด..... 76
4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าที่ได้การเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ด..... 77
4.6 ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์มที่มีน้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน..... 77
4.7 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง..... 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 81
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 81
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 82
รายการอ้างอิง..... 83
ภาคผนวก..... 87
ภาคผนวก ก วิธีทดสอบที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด..... 88
ภาคผนวก ข มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด..... 89
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม 90
ภาคผนวก ง รูปภาพแสดงลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด..... 135
ภาคผนวก จ ผลวิเคราะห์การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเส้นใยและกะลาปาล์ม.. 139
ภาคผนวก ฉ รายการคำนวณ..... 141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย…….	7
2.2	การเปรียบเทียบราคาของชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย…….	9
2.3	เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ของปาล์มน้ำมันระดับประเทศและภาค…….	10
2.4	ลักษณะทางเคมีและส่วนประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ด……...	21
2.5	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด……	21
2.6	เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง……...	24
2.7	คุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากชีวมวล……	24
2.8	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล…….	26
3.1	อัตราส่วนการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม……...	39
3.2	วิธีการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ…….	44
3.3	จำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์……..	44
4.1	การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม……..	47
4.2	ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม……..	48
4.3	สรุปประสิทธิภาพการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิง…….	51
4.4	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……..	52
4.5	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……..	53
4.6	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5-1.0 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……..……...	55
4.7	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน…….....	56
4.8	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……	57
4.9	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……..	58

ตารางที่		หน้า
4.10	ลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน…….……	60
4.11	ค่าความหนาแน่นรวมทั้งก้อน(Bulk density)……..	63
4.12	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน……..	65
4.13	องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้เส้นใยปาล์ม และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……	72
4.14	องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอ รอลร้อน(อุณหภูมิ 75^{O}C)เป็นตัวประสาน……..……..	73
4.15	ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม…….……..	75
4.16	องค์ประกอบของเถ้าจากการเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ด……..	77
4.17	ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 10 กิโลกรัม……..	78
4.18	เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวล……	80
ข - 1	มาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม……...	89
ค - 1	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	90
ค - 2	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน……	91
ค - 3	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที….	91
ค - 4	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…..	92
ค - 5	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที.	92
ค - 6	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…….....	93
ค - 7	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	93

ตารางที่		หน้า
ค - 8	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	94
ค - 9	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน……..	96
ค - 10	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค <0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…..	97
ค - 11	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	98
ค - 12	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที	99
ค - 13	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	100
ค - 14	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	101
ค - 15	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	102
ค - 16	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน….	102
ค - 17	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	103
ค - 18	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	103
ค - 19	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	104
ค - 20	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	104
ค - 21	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและ ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……....	105

ตารางที่		หน้า
ค - 22	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	106
ค - 23	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำ และ ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน……	107
ค - 24	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	108
ค - 25	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม.ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	109
ค - 26	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลบางจากร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	110
ค - 27	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำ และ ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	111
ค - 28	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	112
ค - 29	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	113
ค - 30	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน……	115
ค - 31	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……....	116
ค - 32	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	117
ค - 33	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…….....	118
ค - 34	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม.ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…….....	119
ค - 35	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำ และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	120

ตารางที่		หน้า
ค - 36	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	121
ค - 37	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน	122
ค - 38	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	123
ค - 39	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…..	124
ค - 40	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	125
ค - 41	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	126
ค - 42	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	127
ค - 43	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	128
ค - 44	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน…..	128
ค - 45	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……....	129
ค - 46	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที…..	129
ค - 47	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……	130
ค - 48	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	130

ตารางที่		หน้า
ค - 49	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที……..	131
ค - 50	ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานใน อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……..	131
ค - 51	ความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)….	132
ค - 52	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานใน อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……	132
ค - 53	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานใน อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……	133
ค - 54	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานใน อัตราส่วน (เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……	133
ค - 55	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค<2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……	134
ค - 56	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานใน อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)……	134
จ - 1	การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์ม……..	139
จ - 2	การกระจายตัวขนาดอนุภาคของกะลาปาล์ม……..	140

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงสีข้าว.....	4
2.2	กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล.....	5
2.3	กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงเลื่อยไม้.....	5
2.4	กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....	6
2.5	กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก.....	11
2.6	สมดุลมวลสารของวัตถุดิบและพลังงาน.....	16
2.7	สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิต(โดยน้ำหนักแห้).....	17
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	36
3.2	เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงาน.....	38
3.3	ส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม.....	41
3.4	เครื่องอัดเม็ด.....	42
3.5	การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม.....	43
4.1	Particle size distribution ของเส้นใยปาล์มที่บดละเอียด.....	45
4.2	Particle size distribution ของกะลาปาล์มที่บดละเอียด.....	46
4.3	การอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน.....	49
4.4	การอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน.....	50
4.5	ค่าความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน.....	61
4.6	ค่าความหนาแน่นรวมทั้งก้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน.....	62
4.7	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน.....	64
4.8	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน....	64
4.9	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน.....	66
4.10	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน....	67
4.11	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน.....	67

ภาพที่		หน้า
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……..	68
4.13	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……	68
4.14	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน…...	69
4.15	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……	70
4.16	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……	70
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……	71
4.18	ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน……	71
4.19	องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาด < 2.0 มม.ที่อัตราส่วนผสม F(50):W(10):GH(40)…….....	74
4.20	องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยผสมกะลาปาล์มโดยเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว……..	76
4.21	ความสามารถในการรับด้านข้างของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม……	76
ก - 1	เครื่อง Automated Materials Testing System……..	88
ก - 2	แรงกดด้านข้างของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ……..	88
ง - 1	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……..	135
ง - 2	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……..	137
ง - 3	ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน……	138

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ(2551) กล่าวว่าพลังงานเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนและปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม เนื่องจากประเทศไทยมีพลังงานเชื้อเพลิงภายในประเทศไม่เพียงพอกับความต้องการทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงจากต่างประเทศประมาณร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชื้อเพลิงทั้งหมด ดังนั้นแนวทางการพัฒนาพลังงานเชื้อเพลิงของประเทศจึงต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยต้องเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูก มีปริมาณที่เพียงพอ และต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่กำลังพัฒนามีผลผลิตทางเกษตร ทำให้การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจะมีวัสดุเหลือใช้หรือกากของเสียจากกระบวนการผลิตออกมาจำนวนหนึ่ง และรัฐบาลมีนโยบายให้เพิ่มพื้นที่การปลูกปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในปีพ.ศ.2550 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2 ล้านไร่ ผลผลิตจากการปลูกปาล์ม 5.275 ล้านตัน จะมีเส้นใยปาล์มจากกระบวนการผลิต 738.5 ล้านกิโลกรัม และกะลาปาล์มอีก 316.5 ล้านกิโลกรัม ซึ่งจากนโยบายของรัฐในการเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันขึ้นอีกในปี พ.ศ.2551-54 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2.5 ล้านไร่ และปลูกทดแทนสวนปาล์มเก่าด้วยปาล์มพันธุ์ดีอีก 0.50 ล้านไร่ ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 3.0 ตันต่อไร่ต่อปี เป็น 3.50 ตันต่อไร่ต่อปี เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจึงมีศักยภาพใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้อีก ในปัจจุบันพบว่าวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ประโยชน์บางส่วนเรียบร้อยแล้ว เช่น กะลาปาล์มถูกขายไปเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมอื่นได้แก่ โรงงานปูนซีเมนต์หรือนำไปทำถ่านอัดแท่ง ถ่านกัมมันต์ ส่วนทะลายปาล์มมีการขายให้ชาวสวนปาล์มไปเพาะเห็ดฟาง เส้นใยปาล์มซึ่งถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำใช้ภายในโรงงาน แต่เนื่องจากยากแก่การขนย้ายเพราะอนุภาคมีขนาดเล็ก ฟุ้งกระจายง่าย มีเหลือเป็นจำนวนมาก จึงนำมาทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อสะดวกแก่การป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาแบบอัตโนมัติในโรงงานเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในปัจจุบันโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันหลายแห่งมีการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มโดยการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจะมีของเสียจากกระบวนการผลิต คือ กลีเซอรอล ประมาณร้อยละ 10 ของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น กลีเซอรอลสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นอีกทางเลือกการทำพลังงานทดแทนในรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม กะลาปาล์มและของเสียกลีเซอรอล ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของขนาดวัสดุและอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนวัสดุ ต่อ ปริมาณน้ำ ต่อ ของเสียกลีเซอรอล และอุณหภูมิความร้อนที่ให้กับของเสียกลีเซอรอลที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดและนำข้อมูลสำหรับการผลิตเพื่อใช้เป็นประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไปในระดับอุตสาหกรรม มีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

1) วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้ทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

2) ขนาดของวัสดุที่ใช้ทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร และขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร(คละขนาด)

3) ตัวประสานที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ ของเสียกลีเซอรอลจากการทำไบโอดีเซล

4) อัตราส่วนเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์มในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด 4 ค่า คือ ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 โดยมวลของวัสดุ

5) ปริมาณวัสดุ คือ เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม ใช้ 4 ค่า ได้แก่ ร้อยละ 80, 70, 60 และ 50 โดยมวลรวมทั้งหมด

6) ปริมาณน้ำ (water content) ใช้ 3 ค่า คือ ร้อยละ 0, 10, 20 โดยมวลรวมทั้งหมด

7) ปริมาณของเสียกลีเซอรอล ใช้ 5 ค่า คือ ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยมวลรวมทั้งหมด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในอนาคตเพื่อหาพลังงานทดแทนที่มีราคาถูกกว่าพลังงานที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิงเช่น ถ่านหิน ไม้ ก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงต่างๆ

1.4.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรโดยนำมาทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.4.3 ลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากกระบวนการการผลิตหรือสกัดน้ำมันปาล์มโดยนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

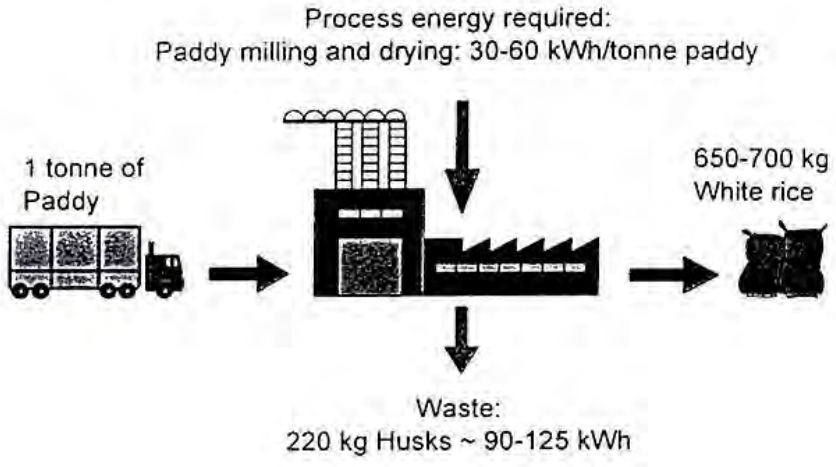
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร

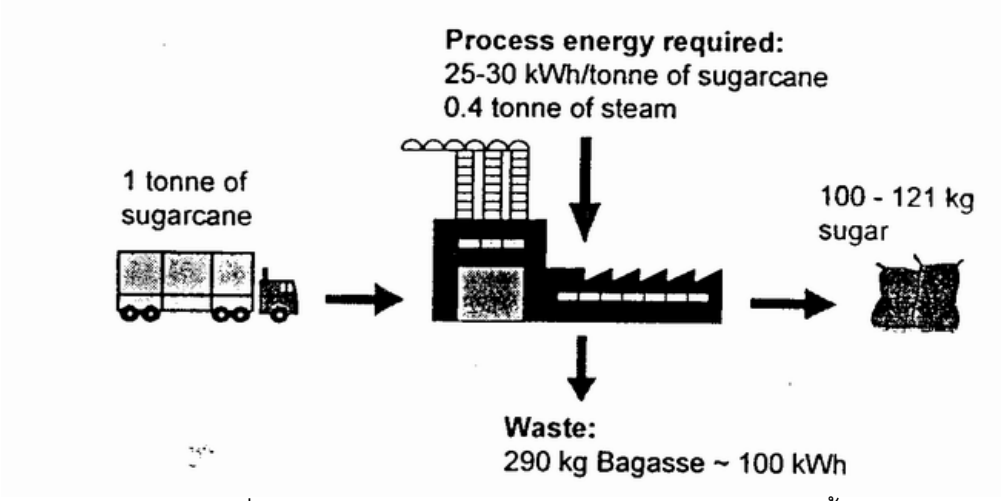
2.1.1 ชนิดของชีวมวล

1) **แกลบ** เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงสีข้าว เมื่อนำข้าวเปลือก 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 30-60 kWh เพื่อให้ได้ข้าวประมาณ 650-700 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือแกลบ ประมาณ 220 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 90-125 kWh ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงสีข้าว
(ที่มา:สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551)

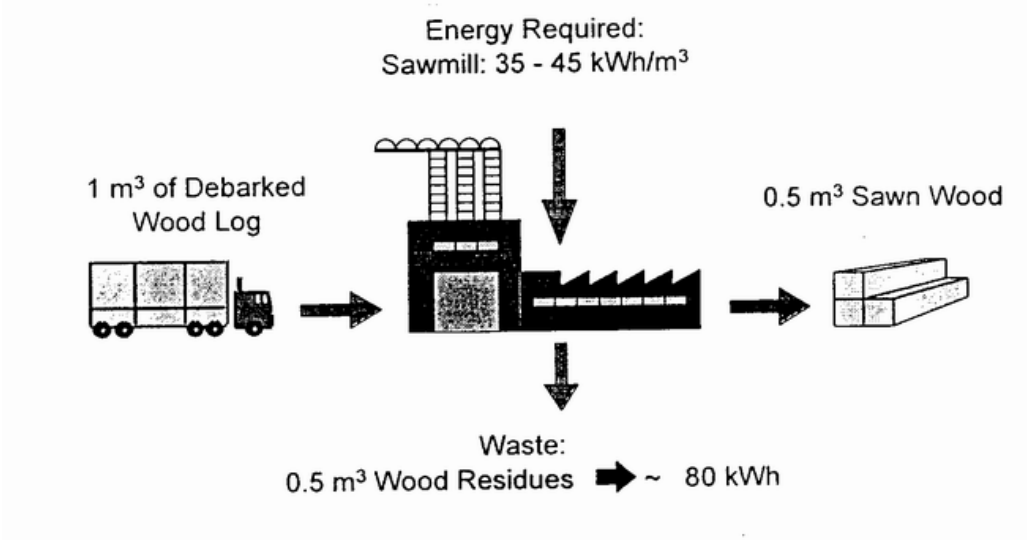
2) **กาก(ชาน)อ้อย** เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานน้ำตาล เมื่อนำอ้อย 1 ตัน ผ่านกระบวน การแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 25-30 kWh และใช้ไอน้ำอีก 0.4 ตัน เพื่อให้ได้น้ำตาลทรายประมาณ 100-121 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือกากอ้อยประมาณ 290 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 100 kWhดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงงานน้ำตาล

(ที่มา:สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551)

3) **เศษไม้** เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ เมื่อนำไม้ 1 ลูกบาศก์เมตร ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 35-45 kWh เพื่อให้ได้ไม้แปรรูปประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือเศษไม้ ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 80 kWhดังรูปที่ 2.3

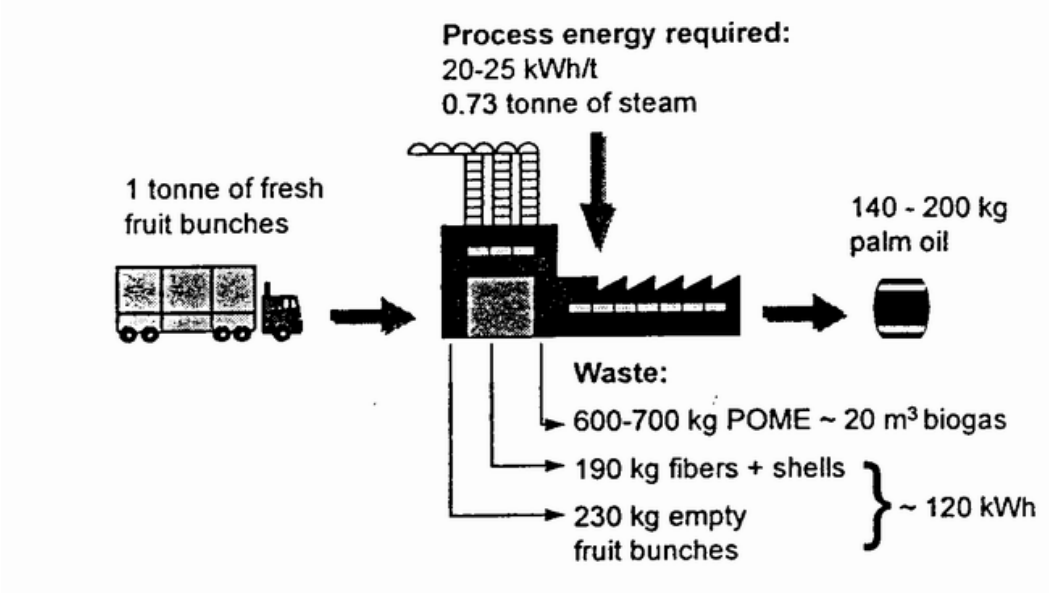


รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงเลื่อยไม้

(ที่มา:สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551)

4) **เปลือกปาล์ม** กะลาปาล์มและทะลายปาล์ม เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อนำปาล์ม 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 20-25 kWh และใช้ไอน้ำอีก 0.73 ตัน เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มประมาณ 140-200 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่

เหลือจากกระบวนการผลิตหรือเปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม ประมาณ 190 กิโลกรัม และได้เป็นทะลายปาล์ม 230 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 120 kWh และมีน้ำเสียจากโรงงานคิดเทียบเท่าก๊าซชีวภาพได้ 20 ลูกบาศก์เมตรดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตและวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

(ที่มา:สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2551)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศเข้ามาพัฒนากระบวนการในการผลิตหรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทำให้มีของเสียจากกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆ ที่ผลิตได้ในประเทศไทย

ชนิดของชีวมวล	ผลผลิต (ตัน/ปี)	ปริมาณชีวมวล (ตัน/ปี)	ปริมาณการใช้ชีวมวล (ตัน/ปี)	คงเหลือ (ตัน/ปี)	ปริมาณที่นำมาใช้ (ตัน/ปี)	พลังงานคงเหลือ (Ktoe)
แกลบ	36,507,164	8,250,619	5,942,635	2,307,984	2,077,186	715
ฟางข้าว	36,507,164	43,443,525	18,751,512	24,692,013	12,346,007	4,034
ซังข้าวโพด	5,295,895	1,000,924	498,582	502,342	452,108	180
ยอดและใบอ้อย	75,610,632	15,424,569	4,012,136	11,412,433	7,988,703	3,055
กากอ้อย	75,610,632	22,910,021	22,910,021	0	0	0
เหง้ามันสำปะหลัง	20,809,437	1,893,659	47,446	1,864,213	1,476,970	563
กะลามะพร้าว	2,415,714	596,681	509,829	86,852	69,482	30
เส้นใยปาล์ม	3,978,285	592,764	579,877	12,887	12,887	5
กะลาปาล์ม	3,978,285	513,199	496,852	16,347	16,347	7
ทะลายปาล์ม	3,978,285	855,337	618,046	237,285	213,557	83
ถ่านไม้	5,124,835	1,522,076	1,184,015	338,061	304,255	218
ไม้ฟืน	5,124,835	1,270,959	1,639,111	368,152	368,152	147
เศษไม้	5,124,835	517,608	594,147	76,539	68,885	28
ขี้เลื่อย	5,124,835	174,244	57,241	117,003	93,603	37

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, อัดสำเนา)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าการประเมินศักยภาพของชีวมวล โดยการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลอุปทานและอุปสงค์รวมในการใช้ชีวมวล ซึ่งชีวมวลบางประเภทมีการใช้อย่างกว้างขวางและมีปริมาณคงเหลือไม่มากหรือบางชนิดขาดแคลน ส่วนใหญ่ชีวมวลเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมโดยผู้ประกอบการได้หาแนวทางในการใช้ การกำจัด และลดต้นทุนในการผลิตของตนเอง ด้วยการใช้แทนเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์จนปัจจุบันมีการซื้อ-ขายเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์

ส่วนชีวมวลอีกหลายประเภทพบว่ามีปริมาณคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากมีการใช้อยู่ในวงจำกัดหรือไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

2.1.2 ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล

ประโยชน์จากพลังงานชีวมวล สามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อนไอน้ำหรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกและการนำชีวมวลมาใช้เป็นการลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิง ปัจจุบันประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรปริมาณมากที่ยังไม่ได้ศึกษาการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานโดยมวลแต่มักมีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆได้แก่

1) แกลบนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมลงดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก
2) กากอ้อยใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำตาลดิบ
3) เศษไม้ยางพารานำส่วนของขี้เลื่อยไปเพาะเห็ด ทำฐูปใช้คลุมเผาถ่านและใช้เป็นเชื้อเพลิง
4) เปลือกและกากมันสำปะหลัง สามารถนำกากมันผสมเป็นอาหารสัตว์ ส่วนเปลือกมันเอาไปทำปุ๋ย
5) ซังข้าวโพด นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปเลี้ยงสัตว์
6) ใบปาล์มและต้นปาล์ม สามารถนำทางปาล์มไปใช้ประโยชน์ในการคลุมดิน
7) กากปาล์มนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำมันปาล์ม

จากตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์อุปสงค์และอุปทานของชีวมวลสามารถจัดกลุ่มประเภทของชีวมวลได้ 2 กลุ่มหลักๆดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550)

(1) ประเภทที่อุปทานมากกว่าอุปสงค์ ได้แก่ พวกที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมเท่านั้น เช่น ยอดและใบอ้อย, ฟางข้าว, เหง้ามันสำปะหลัง และพวกที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิง เช่น แกลบ, เส้นใยปาล์ม, กะลาปาล์ม, ทะลายปาล์ม, ซังข้าวโพด, กะลามะพร้าว, ไม้ฟืน, เศษไม้, ถ่านไม้ และขี้เลื่อย

(2) ประเภทที่อุปสงค์มากกว่าอุปทาน ได้แก่ กากอ้อยเป็นชีวมวลที่ถูกนำไปใช้ภายในโรงงานจนหมด ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะส่งเสริมให้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน เนื่องจากไม่มีปริมาณเหลือมากพอ

นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดต้องทำการพิจารณาด้านราคา โดยพิจารณาจากราคาต่อหน่วยความร้อนซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ราคาต่อหน่วยความร้อน คือ ต้นทุนในการผลิตพลังงานความร้อนดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบราคาของชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย

ประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล	การเปรียบเทียบด้านราคา				
	ค่าความร้อน LHV (MJ/Kg)	ค่าความร้อน HHV (MJ/Kg)	ค่าความชื้น (%)	ราคาของเชื้อเพลิง (บาท/ตัน)	ราคาต่อค่าความร้อน (บาท/MJ)
แกลบ	14.54	15.06	9.60	500	0.034
ฟางข้าว	13.80	14.78	13.56	600	0.043
ซังข้าวโพด	16.78	17.91	10.50	500	0.030
ยอดและใบอ้อย	16.15	17.61	25.22	600	0.037
เหง้ามันสำปะหลัง	16.11	17.45	21.29	500	0.032
กะลามะพร้าว	18.26	19.53	15.99	500	0.027
เส้นใยปาล์ม	17.25	18.71	16.10	500	0.029
กะลาปาล์ม	18.53	19.96	13.70	500	0.027
ทะลายปาล์ม	16.32	17.83	22.43	500	0.031
ถ่านไม้	30.20	31.16	4.95	1,500	0.050
ไม้ฟืน	16.85	18.29	30.85	800	0.047
เศษไม้	17.30	18.63	23.75	500	0.029
ขี้เลื่อย	16.65	17.97	18.80	500	0.030

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยพิจารณาด้านต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 จะเห็นว่า กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม เศษไม้ เส้นใยปาล์ม ซังข้าวโพด และขี้เลื่อย จะมีราคาต่อค่าความร้อนต่ำสุด (0.027 - 0.030 บาท/MJ) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ คือ น้ำมันเตาและถ่านหินซึ่งมีราคาต่อหน่วยความร้อน เท่ากับ 0.201 - 0.606 บาท/MJ พบว่าต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลต่ำกว่าเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ งานวิจัยนี้จึงเลือกเส้นใยและกะลาปาล์มเป็นวัตถุดิบทำเชื้อเพลิงชีวมวล

2.2 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2.2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของ

ประเทศบริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยจังหวัดกระบี่ปลูกมากที่สุดจำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.40 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.70 และ 15.89 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ โดยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้นประมาณ 1,364,332 ในปี 2548 เนื้อที่ให้ผลปาล์มน้ำมัน 2.032 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปีที่แล้วร้อยละ 4.99 หรือเพิ่มขึ้น 96,600 ไร่ ผลผลิตปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่ 1 มกราคม - 31 ธันวาคม 2548 ประมาณ 5.513 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีที่แล้ว 331,200 ตัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ของปาล์มน้ำมันระดับประเทศและภาค

ประเทศ/ภาค/จังหวัด	เนื้อที่ให้ผล (พันไร่)			ผลผลิต (พันตัน)			ผลผลิตต่อไร่ (กก.)		
	2547	2548	% + / -	2547	2548	% + / -	2547	2548	% + / -
รวมทั้งประเทศ	1,935.09	2,031.69	4.99	5,181.80	5,513.00	6.39	2,678	2,714	1.34
ภาคกลาง	136.133	145.877	7.16	317.789	344.564	8.43	2,334	2,362	1.2
ภาคใต้	1,798.96	1,885.81	4.83	4,864.01	5,168.44	6.26	2,704	2,741	1.37

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548

2.2.2 ประเภทของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสามารถแบ่งออกตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก

โรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ไอน้ำและความร้อนและจะมีการสกัดน้ำมันปาล์มแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่และมีกำลังการผลิตสูงจากกระบวนการผลิตจะมีน้ำเสียออกมาปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีอยู่ในรูปเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำได้ส่วนทะลายเปล่าสามารถนำมาใช้เพาะเห็ดและกากตะกอนน้ำมันปาล์มสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

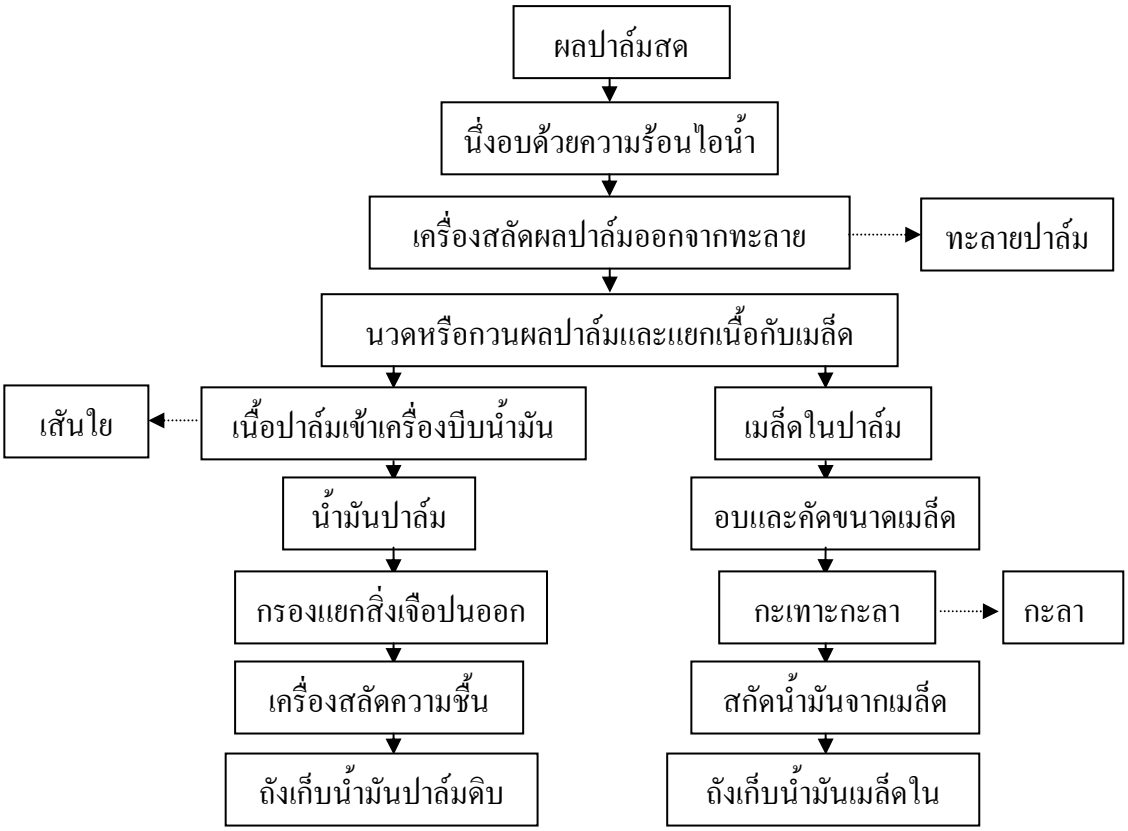
2.2.2.2 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่กระบวนการผลิตแบบหีบแห้งหรือสกัดรวม

โรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มที่ใช้น้ำปริมาณน้อยและในการสกัดน้ำมันปาล์มจะสกัดน้ำมันจากผลปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดในซึ่งน้ำมันที่ได้จะมีราคาต่ำกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว ในส่วนของของเหลือจากกระบวนการผลิตจะอยู่ในรูปกากปาล์มซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกหรือสกัดแยก เนื่องจากมีของเหลือจากกระบวนการผลิตปริมาณมากสามารถนำกลับมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้

2.2.3 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีกระบวนการผลิตแบบหีบเปียก

กระบวนการผลิตแบบหีบเปียกนั้นจะใช้ไอน้ำในการอบนึ่งผลปาล์มให้เปื่อยนิ่มจากนั้นแยกทะลายปาล์มออกและหีบสกัดน้ำมันปาล์มออกมาน้ำมันที่ได้จะแยกเอาสิ่งเจือปนและทำให้สะอาดยิ่งขึ้นจนได้น้ำมันดิบเพื่อจำหน่ายต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก

(เศรษฐกาญจน์ อนุวัตรวงศ์, 2549)

1) **การรับผลปาล์มและชั่งน้ำหนัก**

ผลปาล์มที่ทางโรงงานรับซื้อส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปทะลายปาล์มสดซึ่งจะต้องมีการชั่งน้ำหนักและตรวจวัดคุณภาพผลปาล์มสดจากนั้นก็จัดเก็บบนลานเพื่อรอสกัดน้ำมันต่อไป

2) **การอบและนึ่งผลปาล์ม**

ผลปาล์มสดที่ผ่านการชั่งและส่งขึ้นลานเทปาล์มจะถูกบรรจุลงในกระบะบรรจุปาล์มและเคลื่อนผ่านรางเข้าสู่หม้ออบนึ่งไอน้ำที่ความดัน 3 บาร์ ใช้เวลาประมาณ 70-90 นาที โดยในขั้นตอนนี้จะทำให้ผลปาล์มนุ่มง่ายต่อการหีบและเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาไลโปไลซีสที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

3) **การนวดแยกทะลายจากผลปาล์ม**

ผลปาล์มที่อบนึ่งสุกแล้วจะถูกส่งเข้าหม้อกวนซึ่งในระหว่างการกวนจะมีการเพิ่มความร้อนด้วยไอน้ำเพื่อแยกส่วนที่เป็นน้ำมันหรือเนื้อเยื่อผลปาล์มออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดในสะดวกต่อการหีบหรือบีบน้ำมันออกในขั้นตอนต่อไป

4) **การหีบหรือบีบน้ำมันจากผลปาล์ม**

ผลปาล์มที่ผ่านการกวนจนนิ่มหรือเละแล้วจะถูกป้อนเข้าเครื่องบีบน้ำมัน (Screw Press) เพื่อแยกน้ำมันออกจากส่วนที่เป็นเมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือก สำหรับน้ำมันปาล์มในส่วนเส้นใยจะถูกส่งผ่านตะแกรงกรองน้ำมันเพื่อสกัดเส้นใยและสิ่งเจือปนออกก่อนนำไปผ่านกรรมวิธีกรองแยกเส้นใยจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ เมล็ดในที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือกจะผ่านกรรมวิธีการอบกะเทาะและแยกเมล็ดใน

5) **การกรองแยกน้ำมันปาล์มออกจากสิ่งเจือปน**

น้ำมันปาล์มที่ผ่านตะแกรงกรองน้ำมันจะถูกส่งขึ้นถังกรองแยกและเพิ่มอุณหภูมิหรือทำน้ำมันให้ร้อนโดยการเพิ่มน้ำร้อนให้น้ำมันลอยตัวแล้วใช้กรวยดักเก็บน้ำมันเพื่อลดปริมาณความชื้นและสิ่งเจือปนเหลือเพียงประมาณร้อยละ 0.5 หลังจากนั้นน้ำมันปาล์มก็จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ขจัดความชื้นโดยใช้สุญญากาศดูดความชื้นและสิ่งเจือปนให้ลดลงเหลือประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วเป็นน้ำมันดิบที่มีคุณภาพได้มาตรฐานแล้วจะถูกส่งเข้าถังเก็บเพื่อรอส่งจำหน่ายต่อไปสำหรับน้ำมันปาล์มที่ปนมากับน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์แยกน้ำ Sludge Separator หรือ Sludge Centrifuge เพื่อนำน้ำมันส่วนนี้กลับเข้าสู่กรรมวิธีกรองแยกอีกครั้งหนึ่ง

6) **การอบ กะเทาะ และแยกเม็ดใน**

เมล็ดในปาล์มที่ยังไม่ได้กะเทาะเปลือกจะถูกส่งเข้าไซโลอบเมล็ดในเพื่ออบให้เปลือกและกะลาแห้งและกรอบสะดวกต่อการกะเทาะเมล็ดใน จากนั้นจึงแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกันโดยผ่านเครื่องแยกกะลาออกจากเมล็ดใน ทั้งนี้กะลาปาล์มจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิง

เสริมสำหรับหม้อไอน้ำส่วนเมล็ดในที่กะเทาะเปลือกแล้วจะถูกส่งขึ้นถังอบให้แห้งก่อนจะบรรจุกระสอบส่งจำหน่ายต่อไป

7) **การบีบน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ**

เมล็ดในที่ผ่านการกะเทาะเปลือกและอบแห้งแล้วจะถูกนำไปตีให้แตกด้วยเครื่องตีเมล็ดในแล้วบดด้วยเครื่องบดเมล็ดในก่อนนำเข้าเครื่องบีบเมล็ดใน กากของเมล็ดในจะถูกนำไปบรรจุกระสอบส่งขายเป็นอาหารสัตว์ ส่วนน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปกรองเพื่อทำความสะอาดด้วยเครื่องกรองน้ำมันเมล็ดในก่อนนำน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ได้บรรจุถังเพื่อรอจำหน่าย

2.2.4 **สมดุลมวลสารของวัตถุดิบและพลังงาน** (Chavalparit, 2006)

สมการทรงมวลของแต่ละกระบวนการผลิตซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1) **สเตอริไรด์** คือ วิธีการนำปาล์มน้ำมันเข้าเครื่องอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำใช้ในการฆ่าเชื้อโรคโดยนำปาล์มน้ำมัน 20-30ตัน มาอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 120-130°C (ความดัน3บาร์) เป็นเวลา 75 นาที วัตถุประสงค์ของกระบวนการสเตอริไรด์เพื่อ

- ยับยั้งการเพิ่มของกรดไขมันอิสระในปาล์มน้ำมัน
- ความสะดวกในการแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มได้ง่าย
- ทำให้เมล็ดปาล์มน้ำมันเกิดการแตกน้อยที่สุดระหว่างกระบวนการผลิต

หลังการสเตอริไรด์ไอน้ำจะถูกปล่อยออกเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อลดความดันในเครื่องอบความร้อนสูงของเหลวที่ถูกควบแน่น หลังการสเตอริไรด์จะถูกปล่อยด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและนำไปเก็บไว้ในบ่อ ปาล์มน้ำมัน 1 ตันทำให้เกิดน้ำเสีย 0.12 ลบ.ม.ที่ประกอบด้วยน้ำมัน 0.74 กก.ของเหลวที่ควบแน่นจะถูกปั๊มเพื่อนำกลับมาใช้ในเครื่องอัดแบบหมุนเกลียวตะแกรงร่อนและเครื่องแยกเพื่อลดการใช้น้ำในการกระบวนการต่างๆ และเป็นการนำน้ำมันจากน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์

2) **กระบวนการนวดผลปาล์มน้ำมัน** คือ การแยกผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการสเตอริไรด์ออกจากทะลายปาล์มโดยใช้เครื่องหมุน(Rotary drum) การนวดปาล์มขั้นที่1เป็นการแยกทะลายปาล์มเปล่าออก และทะลายปาล์มเปล่าจากขั้นที่1 จะถูกป้อนเข้าสู่ขั้นที่ 2 เพื่อนำผลปาล์มที่ติดทะลายปาล์มกลับมาทำให้เกิดการสูญเสียผลปาล์มน้อยที่สุด วิธีนี้สามารถเพิ่มน้ำมันจากการผลิตได้ร้อยละ 10 กระบวนการนี้จะได้ทะลายปาล์มเปล่า 230 กก./ตันของปาล์มสด

3) **กระบวนการบดย่อย** ผลปาล์มน้ำมันจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องนวดทรงกระบอกตั้งที่ทำให้ร้อนด้วยไอน้ำในเครื่องย่อยสลายในกระบวนการนี้ผลปาล์มน้ำมันจะถูกบด

ย่อยโดยอัตโนมัติเปลี่ยนจากผลปาล์มน้ำมันให้กลายเป็นมวลขนาดเล็กที่มีน้ำมันซึ่งเป็นเนื้อเดียวกัน อุณหภูมิที่ใช้ในถูกควบคุมคงที่ 90^{0}C ไอน้ำจะถูกปั๊มเข้าไปในเครื่องบดย่อยเพื่อทำให้มวลขนาดเล็กและน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายขึ้น โคลนเป็นสิ่งที่ได้มาจากการสกัดน้ำมัน

4) การสกัดน้ำมันปาล์มและของเสียที่เป็นของแข็งโดย การแยกผลผลิต น้ำมันปาล์มจะถูกสกัดโดยเครื่องอัดแบบหมุนเกลียวที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง น้ำมันที่สกัดได้จะถูกเก็บและส่งไปยังกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยการแยกน้ำและน้ำมันที่แขวนลอยอยู่ออก น้ำร้อนจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องอัดแบบหมุนเกลียว เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำมันน้อยที่สุดในชั้นของการรวมตัวระหว่างเส้นใยและเปลือกปาล์ม นอกจากนี้เส้นใยและเปลือกปาล์มจะถูกขนส่งไปยังระบบแยกส่วนประกอบโดยเครื่องแยกของแข็งด้วยอากาศและการหมุนเหวี่ยงเพื่อนำเปลือกและเส้นใยปาล์มกลับมาใช้ใหม่ เปลือกและเส้นใยปาล์มจะถูกทำให้แห้งระหว่างกระบวนการแยกด้วยอากาศร้อนโดยใช้ไอน้ำที่มีความร้อน 135^{0}C เนื้อในของปาล์มน้ำมันจะถูกนำมาจากเครื่องเหวี่ยงแยกเปลือกและเนื้อในจะถูกขายให้กับโรงงานสกัดน้ำมัน ส่วนเส้นใยปาล์มจะส่งไปเผาเพื่อผลิตไอน้ำ นอกจากนี้ขี้เถ้าจากการเผามีปริมาณ 50 กก./ตันของปาล์มน้ำมัน

5) การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ โดยน้ำมันดิบที่เป็นวัตถุดิบจะถูกปั๊มไปที่ตะแกรงร่อนและถูกส่งต่อไปยังเครื่องหมุนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง(ไซโคลน)เพื่อแยกเส้นใยปาล์มและทรายออกจากของเหลวก่อนส่งไปยังถังตกตะกอน กฎทรงมวลของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

(1) เครื่องร่อนตะแกรง น้ำมันดิบที่เป็นวัตถุดิบจะไหลไปที่ตะแกรงร่อนเพื่อแยกของแข็งแบบหยาบออกก่อน ของแข็งบนตะแกรงร่อนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่เนื่องจากมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบสูง และจะถูกขนส่งกลับไปที่เครื่องย่อยสลายเพื่อปรับปรุงการแยกน้ำมันออกเป็นหมวดหมู่ ส่วนน้ำมันที่เพิ่มเข้าไปให้กับน้ำมันดิบก็จะผ่านตะแกรงร่อนได้

(2) เครื่องแยกทราย น้ำมันดิบถูกปั๊มไปที่เครื่องแยกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกทรายละเอียดเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการทำให้อุปกรณ์ถูกกัดกร่อน ซึ่งทรายจะถูกเก็บและระบายออกทุกๆ 30 นาที

(3) ถังตกตะกอน เป็นวิธีธรรมดาในการแยกน้ำมันออกจากน้ำและของแข็งแขวนลอยหลังจากนั้นทำการปิดไอน้ำร้อนที่ให้แก่น้ำมันดิบเพื่อสะดวกในการแยกน้ำมันด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกและนำไปเก็บไว้ที่ปล่องของระบบและส่งไปยังระบบอื่นเพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป การตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีน้ำมันจะถูกเก็บไว้ในถังตกตะกอนและดำเนินการต่อไปในขวดของของเหลวและเครื่องแยก

(4) ถังทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ น้ำมันจากถังแยกน้ำมันจะถูกป้อนเข้าถังน้ำมันดิบเพื่อทำให้บริสุทธิ์ต่อไป โดยการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ประกอบด้วย 2 ช่วง คือ ช่วงแรกใช้เครื่องแยกของแข็งด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และช่วงที่ 2 ทำให้น้ำมันดิบมีของแข็งแขวนลอยน้อยที่สุดโดยทำให้เกิดน้ำเสียปริมาตรน้อยที่สุด

(5) ถังสุญญากาศ ความชื้นในน้ำมันปาล์มจะถูกกำจัดโดยระบบระเหยแบบสุญญากาศ น้ำมันดิบแบบแห้งจะถูกเก็บไว้ในถังและขายแก่โรงกลั่นน้ำมัน

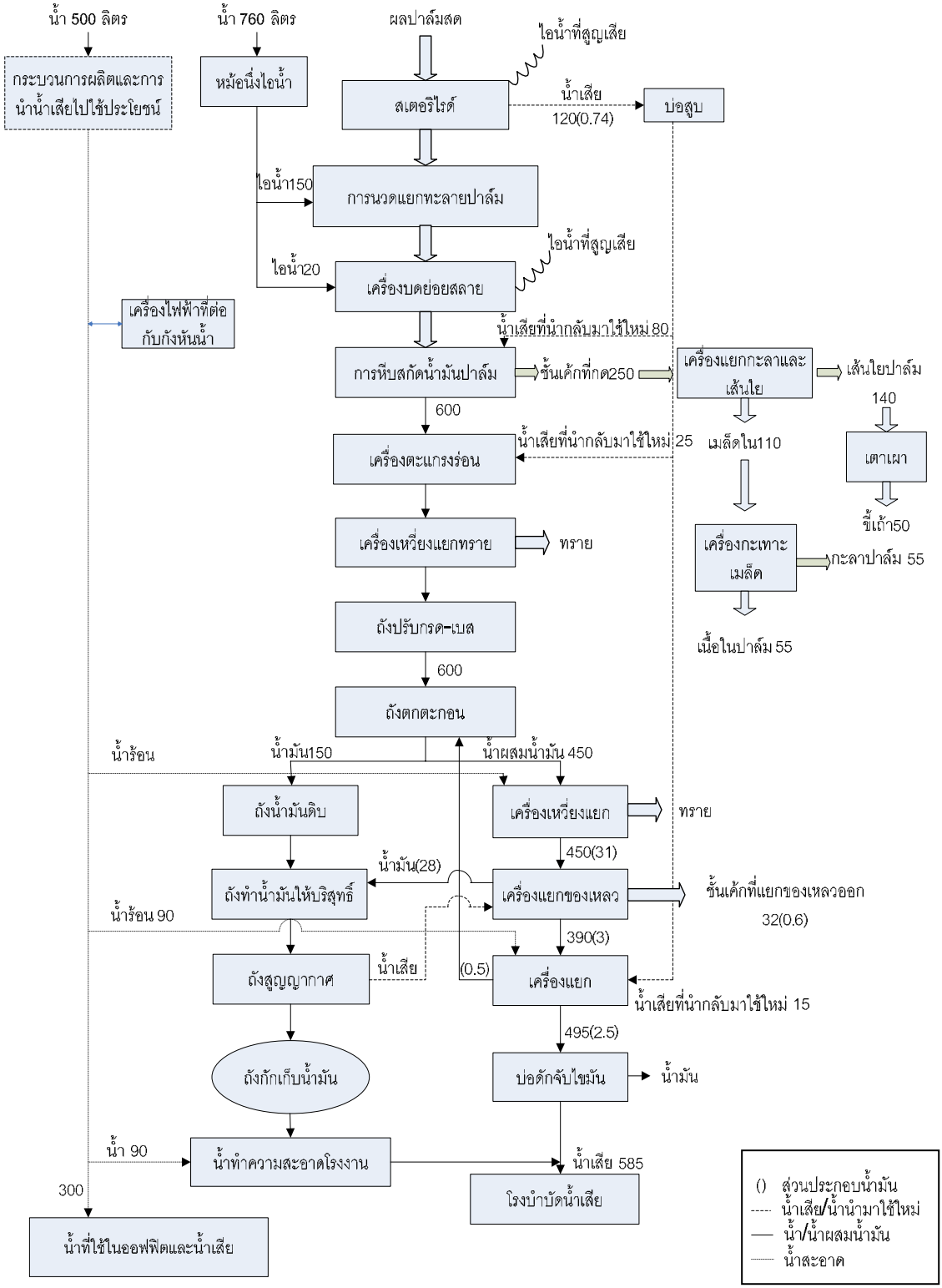
6) **การบำบัดน้ำเสียจากถังตกตะกอน** สลัดจ์จะมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบสูง (ร้อยละ 7 ของสลัดจ์) และมีสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูง น้ำมันจะถูกนำกลับมาใช้ซึ่งเป็นการลดภาระบรรทุกของสารอินทรีย์แบบน้ำเสีย สลัดจ์ในถังตกตะกอนจะถูกบำบัดต่อไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) ถังแยกทรายโดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง(ไซโคลน) สลัดจ์ที่ก้นถังตกตะกอนจะถูกส่งไปที่เครื่องไซโคลนเพื่อแยกทรายจากน้ำเสีย ทรายที่สะสมจะถูกระบายออกและจะเกิดน้ำเสีย 5 ลิตร/ตันของปาล์มน้ำมัน

(2) ขวดที่ใช้เทของเหลวออก วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้เพื่อกำจัดของแข็งที่มีอนุภาคเล็กและน้ำเสียจากสลัดจ์ส่วนที่เหลือจากเครื่องไซโคลนที่แยกทราย ส่วนน้ำมันจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่และส่งไปทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

(3) เครื่องแยกสลัดจ์จะถูกปั๊มในเครื่องแยกเพื่อนำน้ำมันกลับมาใช้ใหม่ส่วนน้ำร้อนที่เติมเข้าไปในสลัดจ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน

จากกระบวนการผลิตแบบหีบเปียกของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณวัตถุดิบ ของเสีย และพลังงาน แสดงดังรูปที่ 2.6

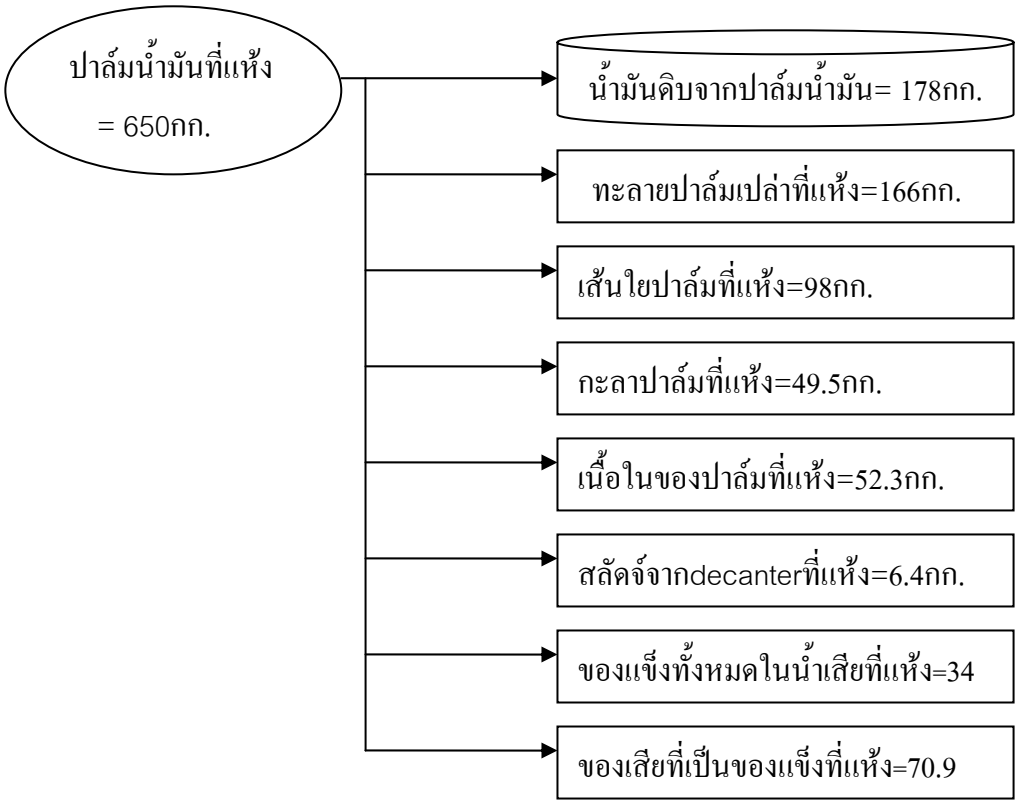


รูปที่ 2.6 สมดุลมวลสารของวัตถุดิบและพลังงานของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

(ที่มา: Chavalparit, 2006)

2.2.5 **สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิต** (Chavalparit,2006)

สมดุลของวัตถุดิบ ความสมดุลพิจารณาจากอัตราการป้อนวัตถุดิบ(โดยน้ำหนักแห้ง)ตลอดกระบวนการผลิตรวมถึงผลผลิต ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิต และของเสียที่เป็นของแข็ง สมดุลมวลสารจะอยู่ในรูปของวัตถุดิบที่มีน้ำหนักแห้งซึ่งขึ้นอยู่กับปาล์มน้ำมันสด 1 ตัน (โดยน้ำหนักเปียก)ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 35 ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิต(โดยน้ำหนักแห้ง)

(ที่มา: Chavalparit,2006)

วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีอยู่เป็นจำนวนมาก การเก็บรักษาใช้พื้นที่มาก และยากแก่การขนย้ายหรือขนส่ง ทำให้เกิดแนวคิดในการนำเส้นใยและกะลาปาล์มมาทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อผลิตพลังงานความร้อนแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง

2.3 **เชื้อเพลิงอัดเม็ด**(ศักดินันท์ นันตัง, วีรยา วัชรพลากร และอังคนา วงศ์ศิริวรรณ, 2547)

การอัดเม็ดเป็นการแปรรูปทางกลซึ่งจะเพิ่มขนาดอนุภาคด้วยวิธีการรวมกลุ่ม โดยหลักการอัดก้อน คือ การใช้แรงกดอนุภาคทำให้เกิดการอัดแน่นรวมกันเป็นก้อน ซึ่งสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วยสนามแม่เหล็กของแรงดึงดูด(attractive force) และความแข็งแรงเป็นสัดส่วนกำลังสองของระยะห่างระหว่างอนุภาค สนามของแรงนี้จะเชื่อมต่อกัน(cohesion) 2 แบบ ได้แก่ การเชื่อมติดกันจริงๆ(true cohesion) คือ การที่อนุภาครวมติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล และการเชื่อมติดแบบปรากฏ (apparent cohesion)จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเปียกถูกกดอัดเข้าด้วยกัน ในการอัดเม็ดเป็นการเชื่อมติดกันแบบปรากฏมากกว่าการเชื่อมติดกันจริงๆ การอัดก้อนเชื้อเพลิงมีอยู่ 2 วิธี

1) **การอัดเม็ดแบบใช้ความร้อน** เช่น การอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรูเป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบสกรู คือ บรรจุวัสดุที่ต้องการอัดลงในถัง (hopper) ที่มีช่องทางออกไปสู่กระบอกอัด (extrusion cylinder) ภายในกระบอกอัดมีสกรูชนิดเกลียวตัวนอนหมุนการขับเคลื่อนของสกรูจะอาศัยแรงขับจากมอเตอร์ผ่านสายพานและเฟืองทด วัสดุจะถูกสกรูอัดติดกับผนังด้วยแรงดันสูง ในขณะที่วัสดุถูกอัดเป็นแท่งเคลื่อนที่ผ่านกระบอกอัด วัสดุจะได้รับความร้อนจากเครื่องทำความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกอัดแท่งวัสดุจะเคลื่อนตัวช้าๆออกจากปลายกระบอกอัด และจะหักเมื่อสัมผัสกับเหล็กฉาก เมื่อถูกผลักให้หักเหจากทิศทางเดิม ความยาวของแท่งวัสดุจะควบคุมได้ด้วยเหล็กฉากนี้

2) **การอัดเม็ดแบบไม่ใช้ความร้อน** เช่น การอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบไฮโดรลิกส์ (hydraulic press) เป็นต้น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอัดแบบไฮโดรลิกส์ คือ ใส่เชื้อเพลิงที่ต้องการลงในแบบอัด แล้วจากนั้นบังคับวาล์วบังคับทางเดินน้ำมันให้แกนไฮโดรลิกส์กดอัดวัสดุซึ่งแรงในการอัดสามารถบังคับได้โดยมีวาล์วปรับความดัน การอัดแบบไม่ใช้ความร้อนจำเป็นต้องเติมตัวประสานหรือไม่ ก็ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ถ้าวัสดุที่ใช้มีลิกนิน (lignin)หรือเส้นใย (fiber) ในปริมาณสูง เมื่อถูกความร้อนจากเครื่องอัดจะทำให้สารเหล่านี้เยิ้มตัวยึดเกาะกันได้ แต่ถ้าวัสดุที่ใช้มีสารจำพวกนี้น้อยก็จำเป็นต้องเติมตัวประสานเข้าช่วย

ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดประกอบด้วยกระบวนการหลัก 4 กระบวนการดังนี้

1) **การบด**(Grinding) เพื่อให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กลง ทำให้การอัดติดเป็นก้อนทำได้ง่ายขึ้น

2) **การอบ** (Drying) เชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้วจะถูกอบให้มีความชื้นในตัวเชื้อเพลิงที่พอเหมาะในการอัดก้อน ถ้าความชื้นมากเกินไปก้อนเชื้อเพลิงจะแตกเมื่อสูญเสียความชื้น ถ้าความชื้นต่ำเกินไปก้อนเชื้อเพลิงจะเสียความแข็งแรงหรืออาจทำให้การอัดก้อนไม่ติด

3) **การผสม** (Mixing) เชื้อเพลิงจะผสมกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆการผสมจะต้องพิจารณาเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเชื้อเพลิง ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำด้วยถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป

4) **การอัด** (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัดแรง ในการอัดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการอัดคุณภาพของเชื้อเพลิงก้อนที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่ใช้ในการอัดด้วย

รองศาสตราจารย์ อุทัย คันโธ(2548) กล่าวว่า ในแต่ละกระบวนการของการอัดเม็ดควรทำการศึกษาและเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับวัตถุดิบ มีหลักการดังนี้

1) การทำความสะอาดวัตถุดิบ คือ กระบวนการขจัดเพื่อแยกเอาสิ่งเจือปนออกก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องโดยใช้หลักความแตกต่างทางขนาดและน้ำหนักของวัตถุดิบ

2) ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนตามสูตรกำหนด

3) การบดวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลงหรือละเอียดขึ้นส่งผลต่อการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและความคงทนของส่วนผสมให้มีมากขึ้น จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องบด(grinder) มี 4 แบบ

(1) เครื่องบดแบบแฮมเมอร์มิลล์ (hammer mill grinder) เครื่องบดจะทำงานเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำการขับเคลื่อนให้เพลาหมุนชุดโรเตอร์จะหมุนด้วยทำให้ใบตีที่ห้อยอยู่กางออกเป็นมุมฉากกับโรเตอร์ตีวัตถุดิบให้แตกออกเล็กลงจนลอดรูตะแกรงรอบๆห้องบดซึ่งความละเอียดอาศัยขนาดรูตะแกรงเป็นหลัก

(2) เครื่องบดแบบโรลเลอร์มิลล์(roller mill grinder) เป็นเครื่องมือที่ช่วยลดขนาดวัตถุดิบใช้ลูกกลิ้ง 2 ลูกวางเรียงกันและหมุนในทิศทางสวนกัน การปรับความละเอียดโดยปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 2 ลูก

(3) เครื่องบดแบบพินมิลล์(pin mill grinder) จะประกอบด้วยซี่บดวางเรียงตัวเป็นแนววงกลม 2 แผ่น แผ่นหนึ่งไม่เคลื่อนที่แต่อีกแผ่นหมุนรอบตัวเอง วัตถุดิบจะถูกส่งเข้าไปในห้องบดตรง และจะถูกซี่บดที่เคลื่อนที่ทำให้แตกวัตถุดิบที่ถูกกระแทกจะกระเด็นไปกระทบกับซี่ที่ไม่เคลื่อนที่ทำให้แตกมากขึ้น วัตถุที่บดละเอียดจะลอดรูตะแกรงออกมาข้างนอก

(4) เครื่องบดแบบโม่หิน(stone mill grinder) ประกอบด้วยจานหิน 2 แผ่นวางเรียงตัวประกบกัน จานหินแผ่นหนึ่งอยู่กับที่ จานหินอีกแผ่นหนึ่งหมุนรอบตัว วัตถุดิบที่ต้องการ บดจะถูกพาเข้าในช่องว่างระหว่างจานหินทั้ง 2 และจะถูกจานหินแผ่นที่เคลื่อนที่ทำการเฉือนหรือขัดให้มีขนาดเล็กลง

4) การผสมวัตถุดิบ เพื่อผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และมีการกระจายตัวของวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอ

(1) เครื่องผสมแบบถังตั้ง วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างตรงช่องป้อนวัตถุดิบจะมีเกลียวพาวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวผสมจะพาขึ้นไปตามแนวตั้ง เมื่อวัตถุดิบเดินทางผ่านท่อผสมแล้วจะโดนใบพายตรงปลายท่อตีให้กระจายเกิดการผสมเข้ากันมากขึ้น

(2) เครื่องผสมแบบถังนอน วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าเครื่องผสมทางด้านบนและวัตถุดิบจะถูกชุดกวนแบบริบบอนหรือแบบใบพายกวนให้มีการกระจายตัว วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดีแล้วจะถูกปล่อยออกจากเครื่องผ่านประตูก้นถัง

5) การอัดเม็ด แบ่งออกเป็น 3 แบบ

(1) เครื่องอัดเม็ดแข็ง เมื่อทำการอัดเม็ดเครื่องต้นกำลังจะขับเคลื่อนวงดายหมุนรอบตัวเองซึ่งมีผลทำให้ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนรอบตัวเอง จากนั้นจึงป้อนวัตถุดิบที่ต้องการอัดเม็ดเข้าไปในวงดาย วัตถุดิบจะถูกเหวี่ยงมาติดด้านในผิววงดาย เมื่อวงดายวิ่งผ่านตรงส่วนที่สัมผัสกับลูกกลิ้งโดยวัตถุดิบที่ถูกกดด้วยลูกกลิ้งให้ทะลักออกมาทางรูดายมีลักษณะเป็นแท่งกลมจะถูกใบมีดตัดเป็นท่อนสั้นๆตามต้องการ โดยปกติแล้ววัตถุดิบที่ทำการอัดเม็ดจะต้องมีการปรับสภาพให้มีความชื้นสูงขึ้นจากร้อยละ 10-12 เป็นร้อยละ 16-18 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 85-95 องศาเซลเซียสโดยเติมน้ำ(steam)ทำให้กดผ่านรูได้ง่ายขึ้น

(2) เครื่องอัดเม็ดแบบนิ่ม วัตถุดิบจะถูกปรับความชื้นให้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 25-30 ขณะที่เครื่องอัดเม็ดนิ่มทำงานเกลียวอัดจะพาวัตถุดิบเดินทางไปข้างหน้า วัตถุดิบจะมาอัดตัวกันที่หน้าแผ่นดายและจะถูกดันผ่านรูดายออกมาข้างนอกมีลักษณะเป็นเส้นยาวจากนั้นถูกตัดให้สั้นลงด้วยใบมีดที่อยู่ติดกับเพลา

(3) เครื่องอัดเม็ดแบบเอ็กซทรูด ขณะที่เครื่องทำงานเกลียวอัดจะหมุนรอบตัวเองวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าไปในกระบอกสกรูส่วนที่ 1 เมื่อวัตถุดิบเดินทางมาถึงส่วนที่กักวัตถุดิบเกิดการสะสมทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นจนสามารถทำให้วัตถุดิบข้ามไปยังสกรูส่วนที่ 2 เพื่อนวดอาหาร วัตถุดิบจะถูกพาไปถึงส่วนเก็บกักจนเกิดแรงดันมากพอที่จะพาวัตถุดิบไปยังสกรูส่วนที่ 3 เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับวัตถุดิบ

6) การทำให้เย็น เม็ดวัตถุดิบที่ออกมาจากวงอัดเม็ดมีลักษณะร้อนและมีความชื้นสูง

(1) เครื่องดูดลมเย็นการดูดลมจากภายนอกผ่านเม็ดวัตถุดิบให้เกิดการคายความร้อนและ ความชื้นกับลมที่ผ่าน

(2) เครื่องอบแห้งอากาศ ที่เข้าเครื่องจะร้อนขึ้นลมร้อนจะผ่านเม็ดวัตถุดิบทำให้ความชื้นในเม็ดระเหยออกมา แล้วมาเข้าตู้ดูดลมให้อุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง การผึ่งแดดเมื่อเม็ดที่ถูกอัดแห้งควรนำมาผึ่งในร่ม

2.3.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่มีผลกับลักษณะการเผาไหม้ และการลำเลียงขนส่ง ดังตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ลักษณะทางเคมีและส่วนประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

พารามิเตอร์	ผลกระทบ
ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสม	ความสามารถในการเก็บรักษา, ค่าความร้อน,การลุกติดไฟ
ค่าความร้อน	การนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์
ปริมาณ Cl	ปริมาณ Cl ในไฮโดรคาร์บอน,การกัดกร่อนในเตาให้ความร้อน
ปริมาณ N	เกิด NO_x HCN N_2O
ปริมาณ S	เกิด SO_x
ปริมาณ K	การกัดกร่อนในเตาให้ความร้อน,ลดจุดหลอมละลายของเถ้า
ปริมาณ Mg, Ca, P	เพิ่มจุดหลอมละลายของเถ้า,การเก็บและการใช้เถ้า
ปริมาณ โลหะหนัก	เกิดมลพิษจากการใช้และทิ้งเถ้า
ปริมาณเถ้า	ขนาดของอนุภาคที่ก่อให้เกิดมลพิษ

ที่มา : Geiblhofer and Hahn , 2000

ตารางที่ 2.5 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

พารามิเตอร์	ผลกระทบ
ค่าความหนาแน่นทั้งก้อน	การขยายตัวในการเก็บรักษาและขนส่ง
ค่าความหนาแน่นของอนุภาค	คุณสมบัติในการเผาไหม้(ความร้อนจำเพาะ)
การกระจายตัวของขนาดอนุภาค	การเกาะติดระหว่างอนุภาค, การเกิดฝุ่น,การทำให้แห้ง
ความละเอียดของส่วนประกอบ	ค่าความหนาแน่นทั้งก้อน,การสูญหายขณะลำเลียงขนส่ง, การเกิดฝุ่น
ความแข็งแรงทนทาน	การแตกแยกออกเป็นส่วนๆ

ที่มา : Geiblhofer and Hahn , 2000

ในระหว่างการอัดเม็ด จะมีผลมาจากลักษณะทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ปริมาณและการกระจายตัวของน้ำที่เป็นส่วนผสมก็มีผลด้วยอย่างยิ่ง ในการพัฒนาเชื้อเพลิงอัดเม็ดการเปลี่ยนส่วนประกอบเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นจึงมีการเติมตัวประสานแทน

2.3.2 การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถทำได้โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงแต่การวิเคราะห์ที่สำคัญ เช่น การวิเคราะห์แบบ proximate analysis การวิเคราะห์แบบ ultimate analysis และค่าความร้อน เป็นต้น

2.3.2.1 **การวิเคราะห์แบบ** proximate analysis(**กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์**, 2545) จะวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้า โดยปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า เป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่เจือปน เรียกว่าส่วนเฉื่อยรวมกับตัวเชื้อเพลิงเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย ของแข็งที่ระเหยได้และคาร์บอนคงตัวเรียก 2 ส่วนนี้ว่าส่วนที่เผาไหม้ได้(สำเริง จักรใจ, 2547) ในการทดสอบตามมาตรฐานดังนี้

1) **ปริมาณความชื้น**(Moisture content: M) ตาม ASTM D 3173 นำเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 ^{O}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดและคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

2) **ปริมาณเถ้า**(Ash content: A) เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดตาม ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่

3) **ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้**(Volatile Matter: VM) ของแข็งที่ระเหยได้เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีสถานะเป็นก๊าซเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาเผาที่อุณหภูมิ 950^{O}C เป็นเวลา 6-7 นาที (โดยไม่สัมผัสอากาศ) และคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไปลบด้วยความชื้น

4) **ปริมาณคาร์บอนคงตัว**(Fix Carbon: FC) คือ เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังจากที่กำจัดความชื้น ของแข็งที่ระเหย และเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตาเผา(EGAT, 2009)

2.3.2.2 **การวิเคราะห์แบบแบบ** ultimate analysis(**สำเริง จักรใจ**, 2547) เป็นการวิเคราะห์ถึงปริมาณธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยการเผาเชื้อเพลิงตัวอย่างในภาชนะปิดที่บรรจุออกซิเจนไว้อย่างเพียงพอแล้ววัดองค์ประกอบของไอเสีย เพื่อคำนวณกลับไปหา

ปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนที่มีในเชื้อเพลิง ไนโตรเจนและกำมะถันจะถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีทางเคมีในขณะที่ออกซิเจนจะถูกระบุโดยค่า 100 ลบด้วยปริมาณธาตุ C H N และ S

2.3.2.3 **ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง(สำเริง จักรใจ, 2547)**ตาม ASTM 1989 ทำได้โดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ หรือคำนวณจากส่วนประกอบทางเคมีโดยทราบจำนวนร้อยละโดยมวล(mass percentage)ของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.1

$$Qg=0.339C\%+1.256(H\%-\frac{1}{8}O\%)+0.105S\% \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ Qg คือ ค่าความร้อนรวม(Gross calorific value หรือ HHV (MJ/kg)

กำหนด C% คือ จำนวนร้อยละโดยมวลของคาร์บอน

H% คือ จำนวนร้อยละโดยมวลของไฮโดรเจน

O% คือ จำนวนร้อยละโดยมวลของออกซิเจน

S% คือ จำนวนร้อยละโดยมวลของกำมะถัน

2.3.3 มาตรฐานคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การประเมินคุณภาพและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ

1) ความชื้น (moisture)
2) คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)
3) ของแข็งที่ระเหยได้ (volatile matter)
4) ปริมาณเถ้า (ash content)
5) ค่าความร้อน (heating value or calorific value)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณของแข็งที่ระเหยได้สูง แต่มีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าต่ำ เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้ค่าความร้อนก็เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอย่างหนึ่ง คือ เชื้อเพลิงที่ดีเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนสูง คุณภาพทางด้านอื่นที่ต้องพิจารณา คือ ความแข็งแรงโดยจะพิจารณาจากความหนาแน่น(Density) และการแตกร้าว(abrasion)ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อสะดวกแก่การขนส่งและเก็บรักษา เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้ต้องนำไปเทียบคุณภาพกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเชื้อเพลิงอัดแท่งและเชื้อเพลิงจากชีวมวล ดังตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

คุณสมบัติ	เชื้อเพลิงอัดเม็ด(fuel pellets)	เชื้อเพลิงอัดแท่ง(briquettes)
วัตถุดิบ	วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือกากจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำให้แห้งและบดละเอียด	วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือกากจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำให้แห้งและบดหยาบ
รูปร่างและขนาด	ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-12 มิลลิเมตรและความยาว 4-5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาดนิยม คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร	ทรงกระบอก(โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80-90 มิลลิเมตร ความยาว 60 ,70, 150 มิลลิเมตร)
โครงสร้าง	แข็งแรง คงตัว และผิวเรียบ	เปราะแตกง่าย
ความหนาแน่น	มากกว่า 650 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	มากกว่า 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
การป้อนเข้าเตาเผา	ใช้แรงคนหรือระบบอัตโนมัติ	ใช้แรงคน
ค่าความร้อน	มากกว่า 17 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม	มากกว่า 20 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม*
ความชื้น	น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยมวลรวม	น้อยกว่าร้อยละ 6.5 โดยมวลรวม
ปริมาณเถ้า	น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยมวลรวม	น้อยกว่าร้อยละ 3.5 โดยมวลรวม

ที่มา: European Biomass Industry Association

: * เป็นข้อมูลที่มาจาก Biomass Energy Company

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากชีวมวล

คุณสมบัติ	ชนิดของชีวมวล			
	ไม้ฟืน	ถ่านไม้	ชานอ้อย	แกลบ
ปริมาณเถ้า*	0.88	3.2	1.7	20.3
ของแข็งที่ระเหยได้*	62.94	27.8	40.2	59.8
ปริมาณคาร์บอนคงตัว*	14.98	69.0	6.1	19.9
ปริมาณกำมะถัน*	0.0	0.05	0.0	0.03
ค่าความร้อนรวม (เมกกะจูล/กิโลกรัม)	15.37	29.42	9.30	15.37
ความชื้น*	21.20	4.8	52.0	7.2

ที่มา: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535

หมายเหตุ: * หน่วยที่เทียบเป็นร้อยละโดยมวลของชีวมวล

2.4 ตัวประสาน

Bhattacharya และ Shrestha(2006)กล่าวว่า ตัวประสาน (Combination) คือ สารที่เติมลงในสารเนื้อผสมหรือสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันแล้วไม่สามารถละลายซึ่งกันและกัน จะแยกชั้นออกจากกันไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน สารที่เติมลงไปจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานสารที่แยกชั้นออกจากกันให้รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวและมีความคงตัวมากขึ้น แบ่งตัวประสานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) **ตัวประสานประเภทเมทริก** (Matrix-Type Binder) ในกรณีที่อนุภาคจะถูกเกาะกันเป็นก้อนอย่างแน่น ความต่อเนื่องจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับต้นแบบของวัสดุตัวประสาน

2) **ตัวประสานประเภทฟิล์ม** (Film-Type Binder) โดยส่วนมากจะใช้เป็นสารละลาย ตัวประสานหรือน้ำที่ใช้เป็นตัวทำละลาย โดยผลผลิตที่ได้จะค่อนข้างแข็งและคงทนเมื่อทำให้แห้ง

3) **ตัวประสานทางเคมี** (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อน

ในงานวิจัยนี้ใช้กลีเซอรอลเป็นตัวประสานระหว่างน้ำ เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ มีสูตรเคมี คือ $CH_2(OH)$-$CH(OH)$-$CH_2(OH)$ และเป็นผลพลอยได้จากการทำไบโอดีเซลโดยมีกระบวนการผลิตดังนี้ (Blair, 2007)

1) นำน้ำมันที่ใช้แล้ว(หรือน้ำมันใหม่ก็ได้)มากรองเอาสิ่งสกปรกออก

2) นำน้ำมันที่กรองมาอุ่นจนได้อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส แล้วตั้งทิ้งไว้

3) เตรียมสารละลายโดยนำตัวคะตะไลท์ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มาละลายกับแอลกอฮอล์ คือ เมทานอลหรือเอทานอลในอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้ไปเทรวมกับน้ำมันที่อุ่นไว้แล้วกวนเบาๆ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชั่นโดยไตรกลีเซอไรด์ + เมทานอลหรือเอทานอล ⟶ เมทธิลเอสเตอร์ หรือเอทธิลเอสเตอร์และกลีเซอรอล ส่วนกรดไขมันจะรวมตัวกับตัวคะตะไลท์เกิดสบู่

4) หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ส่วนผสมจะตกตะกอนแยกกลีเซอรอลออกมาด้านล่าง ซึ่งกลีเซอรอลส่วนนี้นำมาเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล ดังตารางที่ 2.8

5) เมทธิลเอสเตอร์หรือเอทธิลเอสเตอร์ ที่ได้ต้องผ่านกระบวนการล้างก่อนนำไปใช้โดยการสเปรย์น้ำสะอาดในรูปละอองน้ำลงบนผิวของเมทธิลเอสเตอร์หรือเอทธิลเอสเตอร์ แล้วปล่อยให้ละอองน้ำค่อยๆซึมผ่านเมทธิลเอสเตอร์หรือเอทธิลเอสเตอร์ลงไปด้านล่าง และน้ำมันจะลอยอยู่เหนือน้ำ ซึ่งจะล้างด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง

6) ทิ้งให้น้ำและไบโอดีเซลแยกจากกันจากนั้นปล่อยน้ำออก

7) ไบโอดีเซลไปผ่านกระบวนการล้างด้วยฟองอากาศ เพื่อไล่น้ำออก

8) ไบโอดีเซลไปกรองด้วยไส้กรองขนาด 1 ไมครอน จากนั้นเก็บใส่ถังรอนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล

สถานะ	ของเหลว
สี	เหลืองใส
น้ำหนักโมเลกุล	92.09
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	290
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	18
ความหนืด (Pa.sec)	1.4
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้
ความสามารถในการละลายเอทานอล	ละลายได้

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, กรมควบคุมมลพิษ, 2549

2.5 อุปสรรคในการใช้พลังงานชีวมวล

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ(2551) กล่าวว่าปัญหาหรืออุปสรรคการใช้พลังงานชีวมวลเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานที่มีอยู่ในประเทศไทย มาจาก

1) ชีวมวลมีปริมาณที่ไม่แน่นอนเนื่องจากผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ความต้องการของตลาด และพื้นที่การเกษตรลดลงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพไปสู่เมือง

2) ต้นทุนการผลิตพลังงานอยู่ในระดับที่สูงเนื่องจากค่าขนส่ง เทคโนโลยีที่ใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวล

3) โรงงานขาดความเชื่อมั่นที่จะลงทุนเนื่องจากมีความเสี่ยงสูงในการจัดหาเชื้อเพลิงชีวมวล ขาดความมั่นใจด้านเทคโนโลยีและขาดบุคลากรที่จะเป็นผู้ดำเนินการ

4) ราคารับซื้อและราคาขายของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานชีวมวลยังต่ำมากเมื่อเทียบกับไฟฟ้าที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงจึงไม่เกิดแรงจูงใจในการผลิตพลังงานจากชีวมวล ในอนาคตถ้าราคาไฟฟ้าที่ผลิตได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นก็จะเป็นแรงจูงใจให้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลจนมีไฟฟ้าเหลือมากพอจำหน่ายคืนเข้าระบบการไฟฟ้า

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Bergstrom และ คณะ (2008) ศึกษาอิทธิพลการกระจายตัวขนาดอนุภาคของวัตถุดิบในกระบวนการอัดเม็ด ลักษณะทางกายภาพและลักษณะสภาวะอุณหภูมิของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยไม้สนโดยกระบวนการผลิตทำในระดับกึ่งโรงงานอุตสาหกรรม(อัตราการผลิตไอน้ำ 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง) วัตถุดิบที่บดแล้วจะถูกร่อนผ่านตะแกรงแล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชุด โดยการอัดเม็ดภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุม ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพิจารณาจากความแข็งแรงในการรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และรอยแตกร้าว นอกจากนี้เราเพิ่มเงื่อนไขทางด้านเคมีที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ เช่น การทำให้แห้ง การนำสารอินทรีย์ไปผ่านความร้อนสูงมาก การเผาไหม้จนเกรียมเป็นถ่าน ถ่านที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกันจะทำการเผาในเตาเผาที่ห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองทำให้รู้ว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีผลกับความแข็งแรงในการรับแรงอัดแต่ไม่มีผลกับความหนาแน่นจำเพาะ ความชื้น การดูดซึมน้ำขณะเก็บรักษาและรอยแตกร้าว ในการทดสอบกำหนดภาวะที่แตกต่างกันในแต่ละชุดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดภายใต้เงื่อนไขการเผาเดียวกันเวลามีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 5 หรือถือว่าไม่มีนัยสำคัญ จากการทดลองขนาดอนุภาคที่แนะนำ คือ ขนาดอนุภาคของขี้เลื่อย < 8 มม.ซึ่งอาจจะไม่จำเป็นในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เนื้ออ่อน ด้วยเหตุนี้ถ้าใช้อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 8 มม.จะทำให้พลังงานความร้อนลดลงดังนั้นควรใช้อนุภาควัตถุดิบที่ละเอียดในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

Fasina (2008) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกถั่วพีนัท(พวกฝักถั่วหรือของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตถั่วพีนัท)มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.76 มม. การเปลี่ยนปริมาณความชื้นร้อยละ 4.2 - 21.2 (โดยน้ำหนักเปียก)เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบสถานที่เก็บรักษาซึ่งจะมีผลกระทบกับคุณสมบัติทางกายภาพ การอัดเม็ดถั่วพีนัทจะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 151 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร กลายเป็น 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นจำเพาะ ความหนาแน่นของขนาดอนุภาค และความสามารถในการรับแรงอัดได้รับอิทธิพลมาจากปริมาณความชื้นโดยรอบ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศแต่อุณหภูมิไม่เปลี่ยน ดังนั้นค่าGAB(Gugenheim, Anderson and de Boer)ของแบบจำลองจะคงที่จากการดูดซึมของความชื้นที่อุณหภูมิ 25°C การอัดเม็ดทำให้ความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็นการลดพื้นที่ในการเก็บรักษาและขนส่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำเพาะจะแปรผกผันกับความชื้นซึ่งกราฟความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง ค่าปริมาณการแตกร้าวมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 90 (โดยความชื้นร้อยละ 9.1)

Ryu และ คณะ (2008) การศึกษาและสำรวจเทคโนโลยีในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับให้พลังงานความร้อนจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว 2 ชนิดผสมกัน ซึ่งมีส่วนท้ายของถ่าน คือ ส่วนที่ถูกตัดทิ้งในกระบวนการผลิตเป็นการทำความสะอาดถ่าน อย่างไรก็ตามส่วนท้ายของถ่านที่ถูกตัดทิ้งให้ค่าความร้อนสูง และทุกปีในประเทศยูเครนมีปริมาณมากกว่าล้านตันถูกกองสะสมไว้ในบ่อ ส่วนวัสดุที่ไม่ใช้อีกอย่าง คือ การใช้ส่วนผสมที่เป็นสารอินทรีย์มาทำเป็นปุ๋ยสำหรับเห็ด ประกอบด้วยสารส่วนผสมที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและอยู่ในสภาพเปียกระหว่างการเพาะเห็ด ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดใช้วัตถุดิบนี้มาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อง่ายต่อการเก็บรักษา สะดวกในการขนส่ง เหมาะที่จะใช้เป็นพลังงานในโรงงานและเครื่องผลิตก๊าซ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงว่าวัตถุดิบ 2 ชนิดนี้มีความเหมาะสมในการอัดเม็ดและกระบวนการให้พลังงานโดยดูจากแหล่งคาร์บอน ค่าความร้อน และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในการทดสอบการอัดเม็ดจะใช้เครื่องกดขนาดเล็กซึ่งควบคุมแรงดัน ปริมาณน้ำ และส่วนผสมที่เป็นองค์ประกอบ คุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะถูกประเมินโดยพิจารณาค่าความหนาแน่น การขยายตัว ความแข็งแรงในการรับแรงและปริมาณการแตกร้าว ซึ่งก่อนอัดส่วนท้ายของถ่านจำเป็นต้องมีปริมาณความชื้น 10% และส่วนผสมของปุ๋ยปริมาณความชื้น 20% เพื่อที่จะสร้างความแข็งแรงของแรงยึดเกาะระหว่างกัน แรงดันที่มากกว่า 6000 psi ไม่มีผลต่อความแข็งแรงและการอัดแน่นในกระบวนการผลิต เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากส่วนท้ายของถ่านและส่วนผสมของปุ๋ยเมื่อนำมาผสมรวมกันจะมีความแข็งแรงสำหรับรับแรงพอกับเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของปุ๋ย และเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของปุ๋ยมีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากส่วนท้ายของถ่านเนื่องจากมีส่วนผสมมีส่วนผสมของเส้นใยที่สานหรือเกาะกันอยู่ ดังนั้น การเพิ่มส่วนผสมสารอินทรีย์ของปุ๋ยลงในส่วนท้ายของถ่านจะไม่ทำให้ปริมาณการแตกร้าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการประสานกันระหว่างวัตถุดิบ 2 ชนิด

Ryu และ คณะ (2008) เนื่องจากตลาดพลังงานที่ใช้ยังชีพมีการเจริญเติบโตเพื่อที่จะเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยผลิตจากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ไม้ ชีวมวล ธัญพืชที่ให้พลังงาน ขยะและของเสียจากชุมชน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากส่วนที่ถูกตัดทิ้งในกระบวนการผลิตเป็นการทำความสะอาดถ่าน และส่วนผสมของสารอินทรีย์สำหรับทำปุ๋ยเพาะเห็ดซึ่งขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ ตัวแปรในการพิจารณาที่สำคัญ เช่น องค์ประกอบของส่วนผสม ค่าขนส่งวัตถุดิบ ขนาดโรงงาน และต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยของถ่านและชีวมวลที่ให้พลังงาน สำหรับวัตถุดิบที่เปียกทั้งสองชนิด พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ คือ ปริมาณน้ำซึ่งจะมีอิทธิพลกับค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง ปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง คือ ระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบทำให้ความเสี่ยงสูง ผลวิเคราะห์

แสดงให้รู้ว่ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบมากกว่า 2 ชนิดสามารถทำได้เมื่อกระบวนการทำให้แห้งแทบจะไม่ใช้พลังงาน งานวิจัยนี้อธิบายความเป็นไปได้ทางการตลาดและวิธีการทำให้ต้นทุนมีราคาต่ำ

Marsh และ คณะ (2007) ได้วิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้หรือของเสียมาใช้ประโยชน์สำหรับให้พลังงาน ผลการวิเคราะห์จะนำไปสู่การดำเนินการใช้วัสดุเหลือใช้ในโรงบำบัดชีวภาพ เช่น โรงงานที่มีการแก้ปัญหาของเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคตมาใช้ประโยชน์ สำหรับประเทศยูเครนมีจุดมุ่งหมายในการบำบัดของแข็งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์แล้ว การทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดเป็นการศึกษาตัวแปรที่ต้องการในการผลิตและคุณสมบัติผลผลิตที่ได้จากการกดอัดเป็นรูป การอัดเม็ดเชื้อเพลิงถูกผลิตใช้ในห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องอัดเม็ดแบบเอ็กซทรูด ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะวิเคราะห์ความแข็งแรงในการรับแรงกด คุณลักษณะด้านการระเหยกลายเป็นไอจะถูกวัดในสภาพบรรยากาศเฉื่อยโดยทำในหลอดแนวตั้งที่มีประจุไฟฟ้าและภาวะสมดุลมวล ผลแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงในการรับแรงกดไม่มีอิทธิพลกับการกำหนดเงื่อนไขในการอัดเม็ด การวิเคราะห์เชื้อเพลิงในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงทำให้รู้ว่าส่วนประกอบต่างๆจะระเหยกลายเป็นไอในช่วงอุณหภูมิ 280^{O}C - 420^{O}C และเหลือตัวอย่างเล็กน้อยหลังการระเหยกลายเป็นไอ การศึกษาทำให้รู้ว่าอัตราการให้ความร้อนไม่ได้มีผลกับการระเหยกลายเป็นไอ

Holt และ คณะ (2006) รายงานว่าของเสียจากโรงงานการเกษตรเมื่อผ่านกระบวนการผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ละปีในประเทศสหรัฐอเมริกามีของเสียเกิดขึ้นโดยประมาณมากกว่า 2.04 ล้านตันของผลพลอยได้จากฝ้าย โดยเฉลี่ยราคา $1.65(U.S.)ต่อตัน การเปลี่ยนหนี้สินทางการเงินเป็นรายได้โดยกระบวนการนำผลพลอยได้กลับมาใช้ใหม่ เชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถใช้ได้ในพื้นที่โรงงานหรือส่งออกไปยังผู้บริโภค เตาเผาและเครื่องผลิตไอน้ำสำหรับให้ความร้อนโดยเผาวัตถุดิบในโรงงานที่นำมาอัดเป็นเม็ดซึ่งเป็นที่ยอมรับ ปลอดภัย มลพิษต่ำ และราคาในการดำเนินการเหมาะสม โดยเฉพาะราคาเชื้อเพลิงเหลวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความไม่แน่นอนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียในโรงงานเป็นวัตถุดิบ วัตถุประสงค์ จากเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผลพลอยได้จากการแยกใยฝ้ายออกจากเมล็ดฝ้ายจะศึกษาลักษณะทางกายภาพและวัดมลพิษเมื่อเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดในที่อยู่อาศัยให้ความร้อน ผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้ายออกจากเมล็ดฝ้ายจะถูกเก็บนำมาผ่านกระบวนการทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยรวมมี 7 ชนิดที่แตกต่างกันออกไปซึ่ง 6 ชนิดมาจากผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้ายและอีก 1 ชนิดมาจากไม้ ความแตกต่างมาจากการเก็บรักษามีผลจากการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน

(การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้งและน้ำมันดิบในเมล็ดฝ้าย) ขณะผลิตความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในช่วง 488-678 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อนโดยเฉลี่ย 17.9-20.9 เมกะจูล/กก. ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 4.88-9.75% ปริมาณโซเดียมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 91-282 ppm ขึ้นอยู่กับการบำบัด มลพิษของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผลพลอยได้จากการแยกใยฝ้ายสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ซึ่งมลพิษที่วัดได้จากการทดลอง คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นละออง สิ่งที่เพิ่มเข้าไปและเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตต้องให้ปริมาณเถ้าน้อยและการเผาไหม้ที่เหมาะสม

Mani, Tabil และ Sokhansanj (2006) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของชีวมวล(ฟางข้าวสาลี ฟางข้าวบาร์เล่ย์ เปลือกข้าวโพดและหญ้า)ที่นำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยการเปลี่ยนแรงบีบอัด ขนาดวัสดุ และความชื้น ตัวอย่างชีวมวลจะถูกอัดด้วยแรง (1000, 2000,3000,4000และ 4400N) และปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุ 3 ค่า (3.2, 1.6 และ 0.8mm) ที่ความชื้น (ร้อยละ12 และร้อยละ15) ขนาดและน้ำหนักโดยมวลของตัวอย่างที่กดสามารถหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ ในการอัดเปลือกข้าวโพดที่ความดันต่ำทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความหนาแน่นมากที่สุด แรงที่ใช้ในการอัด ขนาดวัสดุและความชื้นมีความสำคัญต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมวลชีวภาพ (ฟางข้าวบาร์เล่ย์ เปลือกข้าวโพดและหญ้า)อย่างไรก็ตามขนาดอนุภาคของฟางข้าวสาลีที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ข้อมูลการยืดหยุ่นของตัวอย่างที่ทำการอัดจะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าโมดูลัสสูงสุดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งฟางข้าวบาร์เล่ย์มีค่าโมดูลัสสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลชนิดอื่นและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวบาร์เล่ย์มีความคงตัวมากที่สุด การยืดหยุ่นหรือค่าโมดูลัสมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับแรงกดอัด เชื้อเพลิงอัดเม็ดจะถูกพัฒนาให้มีความคงตัวมากที่สุดที่แรงกดอัดมากที่สุด

Olsson (2006) เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ทำให้โลกร้อน ในปัจจุบันนี้ประเทศสวีเดนและอีกหลายประเทศมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้สำหรับให้ความร้อนในที่พักอาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด เช่น ฟางข้าวสาลีและไม้ในหนองน้ำที่เกิดจากการทับถมกันจนเป็นสีดำก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ สมัยก่อนการใช้เชื้อเพลิงใหม่ๆมีมากมายแต่ที่สำคัญจะศึกษามลภาวะที่ปล่อยออกสู่อากาศระหว่างการเผาไหม้ ควันที่ได้จะประกอบด้วยสารประกอบจำนวนมากที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สารประกอบออร์แกนิคเป็นผลสืบเนื่องจากการเผาไหม้ 5 ขั้นตอนตั้งแต่เริ่มเผาไม่มีเปลวไฟ เริ่มไหม้มีเปลวไฟ ก่อนเปลวไฟจะดับกคเปลวไฟดับ สุดท้ายมีแสงไฟเรืองออกมาซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์ของฟางข้าวสาลี

และไม้ในหนองน้ำหรือไม้โดยการทดลองจะนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เนื้ออ่อน จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์สะท้อนให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง ระหว่างเริ่มเผาเชื้อเพลิงจะศึกษาเมทอลฟีนอลจากลิกนินของเชื้อเพลิงซึ่งจะมีความเข้มข้นสูง ในขั้นตอนนี้ควันของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ในหนองน้ำหรือไม้มีปริมาณความเข้มข้นสูงของ 1,6 เอนไฮโดรกลูโคส และสารประกอบที่ใช้ในการสังเคราะห์ทางเคมีโดยเกิดจากโพลิแซกคาไรด์ ระหว่างการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะเพิ่มมากขึ้นและมลภาวะก็ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น การเผาไหม้หลังเปลวไฟดับจะพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวสาลีจะปล่อยสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมออกมาปริมาณสูง

Wolf, Vidlund และ Andersson (2006) การขยายตลาดสำหรับเชื้อเพลิงจากชีวมวลที่ปรับปรุงแล้วในหลายประเทศ เชื้อเพลิงชีวมวลมีความสำคัญในการพัฒนาวิธีการในการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ความเป็นไปได้ในการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้ความร้อนโดยนำไปอัดเม็ดด้วยกระบวนการต่างๆเช่น โรงเลื่อย งานนี้ได้ประเมินปัจจัยที่เป็นอุปสรรคและความสำเร็จในการขึ้นรูป เช่น การทำเชื้อเพลิงชีวมวลในอุตสาหกรรมป่าไม้ กรณีศึกษาและคาดคะเนโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานทฤษฎี สิ่งตีพิมพ์ที่ได้ศึกษามาอ้างอิงเพื่อการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจากชีวมวล จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นว่าผลพลอยได้หรือของเสียจากผลิตภัณฑ์มีผลกับการลงทุนซึ่งเป็นแรงผลักดันในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมป่าไม้ ตลาดระบุถึงความสำคัญที่เป็นอุปสรรคและความสำเร็จขึ้นอยู่กับสถานการณ์ประกอบด้วยการมีอยู่ของตลาดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดขนาดเล็กในบริเวณโรงงานซึ่งสำคัญสำหรับความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้ขี้เลื่อยเป็นวัตถุดิบ เงื่อนไขในการอัดเม็ดของเชื้อเพลิงชีวมวลจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โรงงานอัดเม็ดที่มีเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเป็นของตัวเองมีความเสี่ยงน้อยลงโดยใช้เทคโนโลยีที่ดีสามารถเป็นปัจจัยสำคัญในความเป็นจริงในการอัดเม็ด ของเสียจากกระบวนการผลิตสามารถนำมาเพิ่มคุณค่าและให้ค่าความร้อน ส่วนอุปสรรคในการอัดเม็ดคือผลกำไรต่ำ ความเสี่ยงสูงเนื่องจากความไม่แน่นนอนของตลาดเชื้อเพลิงชีวมวล การลงทุนสูง และระยะเวลาเอาทุนคืนยาวนาน

Obernberger และ Thek (2004) หาความสัมพันธ์ของการอัดเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพตามต้องการ ในประเทศยุโรปหลายประเทศมีเครื่องมือมาตรฐานในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด การทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดต้องทำภายใต้มาตรฐานโดยศึกษากระบวนการสำคัญเพื่อจะได้คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด 2 ลักษณะ คือ ขนาดเล็กที่ใช้ตามบ้านเรือน และขนาดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนในการบำบัดอากาศเสียที่ได้จากการเผาไหม้ อุปกรณ์ในการเผาไหม้ และอุปกรณ์ในการควบคุมระบบ การสำรวจความคิดเห็น

จากผู้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดภายในยุโรปภายใต้ EU-ALTENER-project ซึ่งเป็นการนำเชื้อเพลิงมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆเช่น ขนาด, Specific Density, particle density, water content, Ash content, ตัวประสาน, ความเข้มข้นของ C, H, N, S, Cl, K และโลหะหนัก Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, As, Hg ซึ่งใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีขายอยู่ในท้องตลาดของยุโรปผลการวิเคราะห์คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีรอยขีดข่วนหรือรอยร้าวค่อนข้างสูง ดังนั้นควรเพิ่มความระมัดระวังในการป้อนอนุภาคที่ละเอียดโดยความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบล้มเหลว หรืออาจเพิ่มตัวประสานก็ได้ การเติมสารเคมีลงในวัตถุดิบเป็นการเพิ่มมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาของการเพิ่มโลหะหนักทำให้ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีสิ่งปนเปื้อนมากขึ้น เพิ่มความเข้มข้นคลอไรด์ ทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีรอยร้าวมากขึ้นและถ้าเพิ่ม K ทำให้ขี้เถ้าละลายเป็นสาเหตุให้ต้องใช้อากาศในการอัดตัวมากขึ้น

Ohman และ คณะ (2004) ศึกษาปัญหาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งปัญหาจากขี้เถ้าทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาชนิดของวัตถุดิบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด (2) หาส่วนประกอบของวัตถุดิบในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่เหมาะสม (3) หาปริมาณความร้อนของวัดถุดิบที่แตกต่างกันในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยใช้วัตถุดิบสามชนิดที่แตกต่างกัน คือ ขี้เลื่อย ท่อนไม้ และเปลือกไม้ สามารถสรุปได้ว่าปริมาณขี้เถ้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ถ้าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีควรมีขี้เถ้าน้อย ควรหลีกเลี่ยงวัตถุดิบที่เป็นไม้เพราะเกิดขี้เถ้าปริมาณมาก การเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ คือ ใช้วัตถุดิบมากกว่าหนึ่งชนิดมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดความร้อนที่ได้มาจากความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในวัตถุดิบนั้น เช่น เปลือกไม้จะให้ความร้อน 850-900°C และท่อนไม้ที่รวมขี้เถ้ากับเปลือกไม้ให้ความร้อน 1000°C นอกจากนี้ปริมาณซิลิกาจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้อีกด้วย

Olsson และ Kjallstrand (2004) ผู้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามแห่งในประเทศสวีเดนได้ทำการทดสอบการเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เนื้ออ่อนเพื่อหาองค์ประกอบโดยเก็บก๊าซ จากการเผาไหม้ในภาชนะสำหรับบรรจุก๊าซและวิเคราะห์ค่าโดยเครื่องโครมาโตกราฟ และmass spectrometry จากการทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดของผู้ผลิตทั้งสามรายพบก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีองค์ประกอบคล้ายกัน คือ เกิดสารประกอบหลักกึ่งระเหยที่ปล่อยออกมาระหว่างการเผาไหม้ คือ 2-methoxyphenolจากลิกนิน ซึ่งมีผลกระทบ คือ เป็นสาร antioxidant (สารก่อมะเร็ง)เช่นเดียวกับสาร aromatic hydrocarbon อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณเบนซีนที่เกิดขึ้นมีต่ำกว่าการเผาไหม้ในเปลวเพลิงโดยตรง จากการเปรียบเทียบมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้โดย

ใช้อุปกรณ์ชนิดต่างๆ ได้แก่ เตาเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ด เตาหุงต้ม และหม้อไอน้ำพบว่าเตาเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนพวกเบนซีนเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่เตาหุงต้มและหม้อไอน้ำปล่อยสารฟีนอลร่วมกับเบนซีน เนื่องจากความต้องการเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพิ่มขึ้นการใช้ชีวมวลจากของเสียที่แตกต่างกันจะต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่ใช้ทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งอาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพและระบบนิเวศน์ สรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เหมาะสำหรับใช้ในบ้านเรือนส่วนสถานประกอบการขนาดใหญ่ควรใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุอื่นๆ

Stahl **และ คณะ** (2004) ศึกษาเทคนิคการทำมวลชีวภาพแบบแห้งที่มีทั้งข้อดีและข้อเสียขึ้นอยู่กับ ความชื้น, อุณหภูมิ และเวลาที่ทำให้แห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเลือกเทคนิคทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดแห้ง เนื่องมาจากความต้องการของระบบให้ความร้อนของผู้ใช้เป็นสำคัญ พารามิเตอร์บางตัวจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มาจากการเลือกเทคนิคทำให้แห้งพารามิเตอร์นั้น คือ ปริมาณความชื้นและสารระเหยไฮโดรคาร์บอนมีการเลือกเชื้อเพลิงอัดเม็ดในตลาดมาทดสอบโดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยหลังผ่านเทคนิคทำให้แห้งจะมีการปล่อยสารเคมีออกมาสู่สภาวะแวดล้อมและตกค้างอยู่เป็นเวลานาน ดังนั้นเราควรให้มีสารไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ต่ำซึ่งสามารถพัฒนาปริมาณพลังงานในขี้เลื่อยได้นอกจากนี้ยังเป็นการลดมลพิษในสิ่งแวดล้อม

Clark (2002) ได้ทำการวิจัยโดยใช้ขี้เลื่อยผสมกับกลีเซอรอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยทำการผสมขี้เลื่อยกับกลีเซอรอลดิบในกล่องนมขนาด 1 ลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เป็นก้อน จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงแท่งที่ผลิตจากขี้เลื่อยผสมกับกลีเซอรอลดิบโดยใช้ขี้เลื่อย 450 กรัม ผสมกับกลีเซอรอล 750 กรัม เมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวมาอัดเป็นแท่งจำนวน 3 แท่ง มาต้มน้ำจำนวน 80 ลิตรจากอุณหภูมิห้องจนถึง 60 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 45 นาที แต่ในฤดูหนาวจะต้องใช้ 5 แท่งของส่วนผสมเดิมใช้ในการต้มน้ำ 80 ลิตร จะใช้เวลา 45 นาที เพื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิจาก 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟืนแล้วความร้อนที่ได้จากส่วนผสมของกลีเซอรอลดิบกับขี้เลื่อยจะมีค่ามากกว่าฟืน 2-3 เท่า

Lehtikangas (2000) การเก็บรักษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นกับการเก็บรักษาวัตถุดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นกองเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถสังเกตได้บางโรงงาน เอกสารประกอบความรู้ของการเก็บรักษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีจำกัดในการศึกษาครั้งนี้ทำในขนาดใหญ่โดยศึกษาเชื้อเพลิงอัดเม็ด 9 ประเภทที่ใช้วัสดุเหลือใช้ที่สดเปรียบเทียบกับวัสดุที่ผ่านกระบวนการและที่ถูกเก็บรักษาสะสมของ ขี้เลื่อย กิ่งไม้ ท่อนไม้ ในการทดลองจะปรับเปลี่ยน

ปริมาณความชื้น ค่าความร้อน และปริมาณเถ้า พารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์คือ ขนาด ความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นแต่ละก้อน และความทนทาน ตัวแปรในการผลิตที่คงที่ระหว่างการอัดเม็ดการเก็บรักษาจะเก็บเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยใส่ไว้ในถุงพลาสติกขนาด 1.3 ลบ.ม.ในยุ้งข้าวไม่ถูกแดด การเก็บรักษาจะทำให้เกิดผลกระทบในทางลบด้านความทนทานโดยเฉพาะเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบสด เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้ของท่อนไม้สด จะพบว่าความทนทานต่ำที่สุดหลังจากการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของความยาวจะลดลงเนื่องจากการแตกหักระหว่างการเก็บรักษา การเจริญเติบโตของเชื้อราจะสังเกตได้ในบางประเภท การทดสอบการดูดซึมน้ำจะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบที่สดจะดูดความชื้นในอากาศมากที่สุด โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในถุงขณะเก็บรักษาจะเปลี่ยนแปลงไม่มากแต่สังเกตเห็นได้ แนวโน้มในการทำให้ความชื้นที่ล้อมรอบสมดุลควรพิจารณาเข้าไปในขั้นตอนระหว่างการผลิต

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด มีดังนี้

- การกระจายตัวขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีผลต่อลักษณะทางกายภาพในด้านความแข็งแรงในการรับแรงอัด แต่ไม่มีผลกับความหนาแน่นจำเพาะ ความชื้น การดูดซึมน้ำขณะเก็บรักษา และรอยแตกร้าว ส่วนการกระจายตัวขนาดอนุภาคของวัตถุดิบไม่มีผลต่อลักษณะทางเคมีที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ(การเผาไหม้)
- เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบ 2 ชนิดให้ความเหมาะสมในด้านกระบวนการอัดเม็ดและกระบวนการให้ความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัตถุดิบชนิดเดียว
- แรงที่ใช้ในการอัดทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด ขนาดวัสดุ และความชื้น มีผลต่อความหนาแน่น ซึ่งความชื้นจะแปรผกผันกับความหนาแน่นอนุภาคและความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- ปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เชื้อเพลิงที่ดีควรมีปริมาณเถ้าน้อย ควรหลีกเลี่ยงวัตถุดิบที่เป็นไม้ เพราะทำให้เกิดปริมาณเถ้ามาก
- สารระเหยไฮโดรคาร์บอน คือ สารเคมีที่ปล่อยออกมาหลังผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่นำมาใช้ควรมีสารไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้ต่ำ
- ปริมาณน้ำมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในด้านค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง โดยถ้ามีปริมาณน้ำมากค่าพลังงานความร้อนก็จะน้อย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องผสมมวลสาร
2) เตาเผา
3) ตะแกรงร่อน
4) เครื่องบด
5) Bomb calorimeter
6) เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง
7) ตู้อบ
8) Hot plate
9) เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10) เวอร์เนียร์
11) ปากคีบ
12) ถ้วยกระเบื้อง
13) เครื่องวัดอุณหภูมิ(thermometer)

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1) เส้นใยปาล์ม(palm fiber)
2) กะลาปาล์ม(palm shell)
3) ของเสียกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

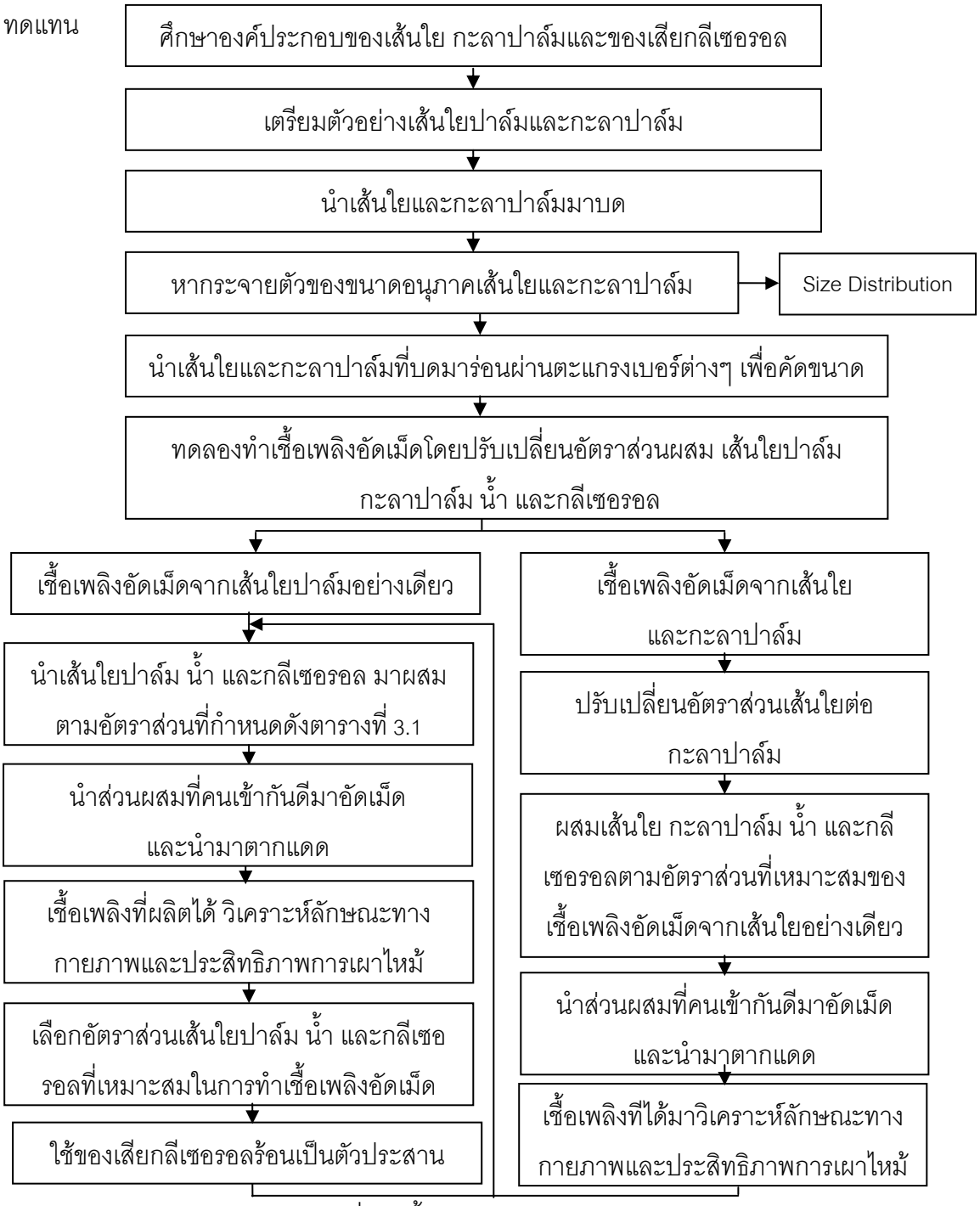
การวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม และทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด โดยใช้เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจังหวัดชลบุรี และของเสียกลีเซอรอลจากบริษัทบางจากฝ่ายการผลิตไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน และดำเนินการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน (ดังแสดงในรูปที่ 3.1)

1) ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใย กะลาปาล์ม และของเสียกลีเซอรอลเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

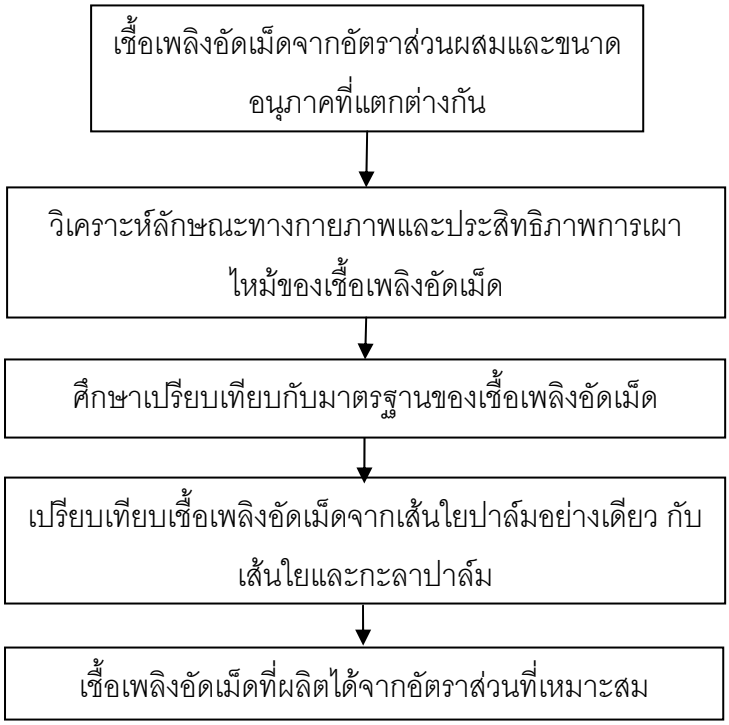
2) เตรียมตัวอย่างเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

3) ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม โดยปรับเปลี่ยนขนาดอนุภาค อัตราส่วนของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม และปริมาณของวัสดุประสาน

4) วิเคราะห์หาร้อยละการอัดเป็นเม็ด คุณสมบัติทางกายภาพ และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อเป็นแนวทางของการนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นพลังงานทดแทน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย(ต่อ)

3.2.1 **ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม และของเสียกลีเซอรอลเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด**

3.2.1.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี

1) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม ได้แก่

(1) ความชื้น

(2) ขนาดอนุภาคของวัสดุ ทำ size distribution

2) การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม ดังนี้

(1) ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มโดยวิธีการวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence (XRF) spectrometry

(2) การสูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss On Ignition, LOI)

(3) ปริมาณ CHON/S ในเส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม และของเสียกลีเซอรอล

(4) ปริมาณลิกนินของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

(5) ปริมาณเถ้าของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

3) การศึกษาความบริสุทธิ์และปริมาณสิ่งปนเปื้อนในของเสียกลีเซอรอลโดยวิธีการวิเคราะห์ HPLC

3.2.2 เตรียมตัวอย่างเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มที่ใช้ในการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1 ได้รับจากบริษัทสุขสัมบรูณ์น้ำมันปาล์มซึ่งเป็นโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีการนำเส้นใยและกะลาปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต นำเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงานมาตากแดด 1 วันเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำเส้นใยและกะลาปาล์มมาบดละเอียด อนุภาคเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มที่บดแล้วไปร่อนผ่านตะแกรง (sieve)เบอร์10,18 และ40 จากนั้นจึงนำเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มที่บดแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ เล็กกว่า 0.50 มิลลิเมตร 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร และเล็กกว่า 2.0 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.2 เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงาน

3.2.3 ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม โดยปรับเปลี่ยนขนาดอนุภาค อัตราส่วนของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสม และปริมาณของวัสดุประสาน

โดยจะแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน กับของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน และเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยผสมกะลาปาล์มโดยปรับเปลี่ยน ขนาดอนุภาค อัตราส่วน ของวัสดุ ปริมาณน้ำ ปริมาณตัวประสาน ทั้งสิ้น 69 สูตร ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.3

3.2.3.1 วิธีดำเนินการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

1) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ เส้นใยปาล์มบดที่คัดขนาดโดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ขนาดที่เล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร, 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร และขนาดที่เล็กกว่า 2.0 มิลลิเมตร มา

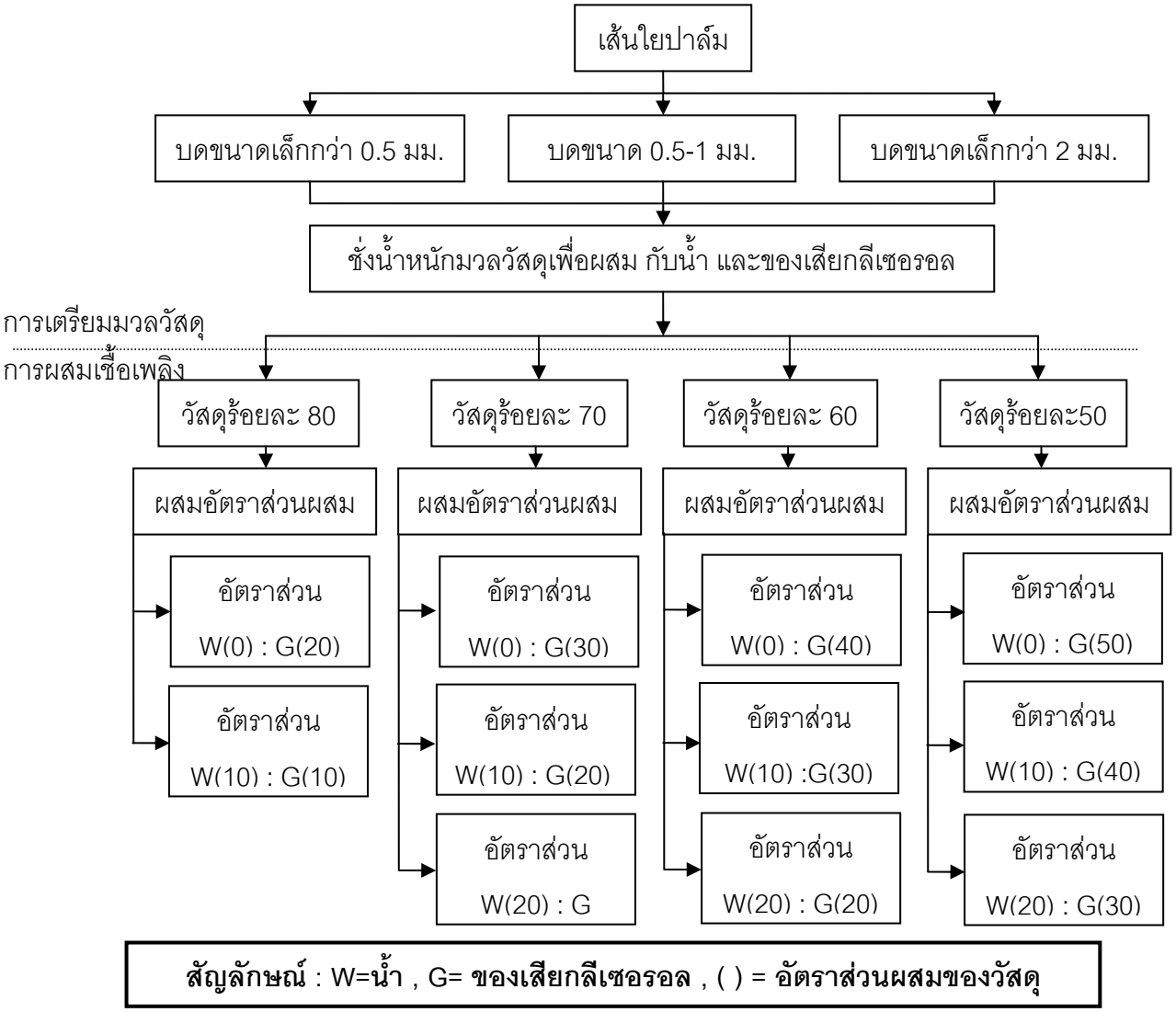
ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมเส้นใยปาล์ม 4 ค่า (ร้อยละ 80, 70, 60 และ 50) ต่อปริมาณน้ำ 3 ค่า (ร้อยละ0, 10 และ 20) แล้วเติมตัวประสาน คือ ของเสียกลีเซอรอล 5 ค่า (ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ50)เทียบเป็นอัตราส่วนร้อยละโดยมวลรวมทั้งหมด ดังตารางที่ 3.1 ในการผสมจะนำเส้นใยปาล์มที่คัดแยกขนาดมาผสมกับน้ำอุณหภูมิ 85-90°C และของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานซึ่งชั่งน้ำหนักโดยมวลตามอัตราส่วนที่กำหนด ส่วนผสมทั้งหมดจะถูกผสมในเครื่องผสมใช้ความเร็วรอบต่ำและหัวที่ตีผสมมี 2 หัว คือหัวตะขอและใบพาย โดยใช้ใบพายผสมก่อนเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเวลา 15 นาที แล้วใช้หัวตะขอต่อเพื่อให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

สูตรที่	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)		
		เส้นใยปาล์ม	น้ำ	กลีเซอรอล
1	เล็กกว่า0.5	50	0	50
2			10	40
3			20	30
4		60	0	40
5			10	30
6			20	20
7		70	0	30
8			10	20
9			20	10
10		80	0	20
11			10	10
12	0.5 - 1.0	50	0	50
13			10	40
14			20	30
15		60	0	40
16			10	30
			20	20

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม(ต่อ)

สูตรที่	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)		
		เส้นใยปาล์ม	น้ำ	กลีเซอรอล
18	0.5 - 1.0	70	0	30
19			10	20
20			20	10
21		80	0	20
22			10	10
26	เล็กกว่า 2	60	0	40
27			10	30
28			20	20
29		70	0	30
30			10	20
31			20	10
32		80	0	20
33			10	10



รูปที่ 3.3 ส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

2) เมื่อส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วตักส่วนผสมใส่ภาชนะ จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนผสมก่อนนำไปอัดเป็นเม็ด

3) นำส่วนผสมไปเทใส่ด้านบนของเครื่องอัดเม็ดซึ่งเรียกว่า hopper จากนั้นส่วนผสมจะถูกอัดเม็ดผ่านรูดายออกมาด้านข้างของเครื่องอัดเม็ดดังรูปที่ 3.4 บางส่วนก็อัดเป็นเม็ดออกมา บางส่วนก็คาอยู่ที่รูต้องใช้มีดปาดออก

รูปที่ 3.4 เครื่องอัดเม็ด

4) นำเม็ดทั้ง 2 ส่วนที่อัดออกมาได้ เทใส่ถาดตากแดดเป็นเวลา 3 - 8 ชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณแสงแดดหลังตากแดดเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะแห้งและแข็งขึ้น

5) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังตากไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ส่วนที่ผ่านตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาร้อยละการอัดเป็นเม็ดของแต่ละอัตราส่วน ซึ่งจากตาราง 3.1จะได้เชื้อเพลิงอัดเม็ด 33 ตัวอย่าง

6) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และประสิทธิภาพการเผาไหม้ จากผลการวิเคราะห์จะนำมาเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

7) วิธีดำเนินการทดลอง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวซึ่งใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน มีวิธีการทดลองเหมือนข้อ 3.2.3.1 แต่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนที่มีอุณหภูมิ 75 – 80^{0}C เป็นตัวประสานแทนของเสียกลีเซอรอลที่อุณหภูมิห้อง จะได้เชื้อเพลิงอัดเม็ด 33 ตัวอย่าง จากนั้นนำผลวิเคราะห์ระหว่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของเสียกลีเซอรอลที่อุณหภูมิห้องกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนและตัวประสานที่เหมาะสม

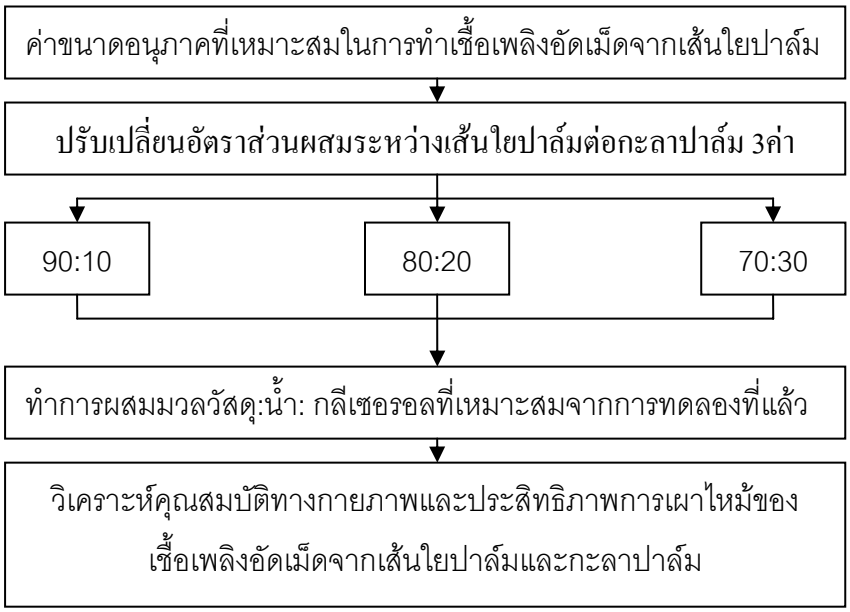
3.2.3.2 วิธีดำเนินการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยผสมกะลาปาล์ม

1) จากการทดลองข้างต้นจะได้ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด แล้วนำอัตราส่วนผสมที่เลือกมาปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัสดุ คือ เส้นใยปาล์ม:กะลาปาล์มใช้ 3 ค่า (ร้อยละ 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30) โดยมวลของวัสดุ

2) นำอัตราส่วนของวัสดุมาผสมกับน้ำและกลีเซอรอลตามสูตรที่เหมาะสมเมื่อตีส่วนผสมทั้งหมดเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ด จากนั้นนำเชื้อเพลิงที่อัดได้ไปตากแดดแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อหาร้อยละการอัดเป็นเม็ด

3) จะได้เชื้อเพลิงอัดเม็ด 3 ตัวอย่าง

4) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม

5) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม จากนั้นสรุปผลการทดลองเพื่ออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.2.4 วิเคราะห์หาร้อยละการอัดเป็นเม็ด คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด และการทดสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มโดยพิจารณาจากร้อยละการอัดเป็นเม็ดและทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น นอกจากนี้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ เช่น ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยการวิจัยนี้จะยึดตาม ASTM เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นที่ยอมรับและเชื่อถือได้ โดยมีวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างดังตารางที่ 3.2 และจำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	มาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ค่าความร้อน (Gross Calorific Value)	ASTM D1989	วัดโดยเครื่อง Bomb calorimeter
ปริมาณเถ้า (Ash content)	ASTM D3174	น้ำหนักคงอยู่หลังจากการเผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 750^{0}C เป็นเวลา 30 นาที
ความหนาแน่นจำเพาะ (Specific Density)	ASTM D4784	สัดส่วนของน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
ปริมาณความชื้น (Water content)	ASTM D3173	น้ำหนักที่หายไปหลังอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปที่อุณหภูมิ 105^{0}C เป็นเวลา 1 ชม.
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fix carbon)	ASTM D3172	ส่วนที่เผาไหม้ได้ของถ่านหินหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile matter)	ASTM D3175	น้ำหนักที่หายไปหลังเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 950^{O}C เป็นเวลา 6-7 นาที (โดยไม่สัมผัสอากาศ) แล้วลบด้วยความชื้น

ที่มา: Standard test method of Coke and Coal, 1996

ตารางที่ 3.3 จำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์

เส้นใยปาล์ม/ กะลาปาล์ม (ร้อยละโดยมวล)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	อัตราส่วนผสม น้ำ:ของเสีย กลีเซอรอล	อัตราส่วนผสม น้ำ:ของเสีย กลีเซอรอลร้อน	จำนวน ตัวอย่าง
เส้นใยปาล์ม 50	< 0.5, 0.5-1.0, <2	0:50, 10:40, 20:30	0:50, 10:40, 20:30	3×3×2
เส้นใยปาล์ม 60	< 0.5, 0.5-1.0, <2	0:40, 10:30, 20:20	0:40, 10:30, 20:20	3×3×2
เส้นใยปาล์ม 70	< 0.5, 0.5-1.0, <2	0:30, 10:20, 20:10	0:30, 10:20, 20:10	3×3×2
เส้นใยปาล์ม 80	< 0.5, 0.5-1.0, <2	0:20, 10:10	0:20, 10:10	3×2×2
เส้นใยปาล์ม 90 ต่อ กะลาปาล์ม 10*	ขนาดอนุภาคที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว	อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยปาล์ม น้ำ และกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด	1×1	
เส้นใยปาล์ม 80 ต่อ กะลาปาล์ม 20*			1×1	
เส้นใยปาล์ม 70 ต่อ กะลาปาล์ม 30*			1×1	
รวม			69	

หมายเหตุ: * หมายถึง ร้อยละโดยมวลรวมของเส้นใยปาล์มกับกะลาปาล์ม

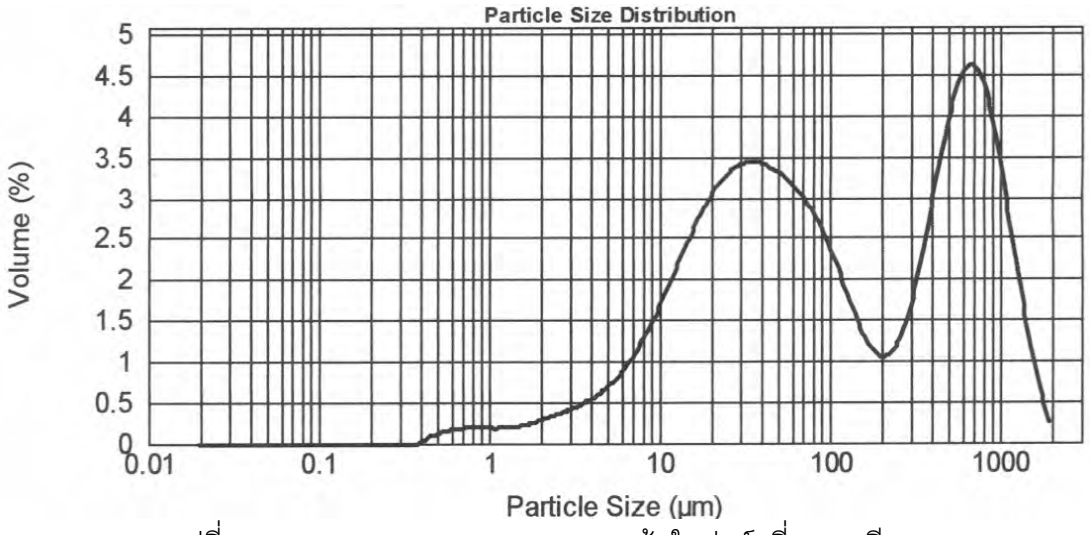
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของขนาดวัสดุ อัตราส่วนผสมระหว่างเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม และอัตราส่วนวัสดุต่อ ปริมาณน้ำต่อของเสียกลีเซอรอล(วัสดุ:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ได้ผลดังนี้

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

คุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์มซึ่งเป็นวัตถุดิบของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยทำการศึกษาคุณสมบัติ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มโดยวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค(Particle size distribution) ของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 (ภาคผนวก จ) ตามลำดับ ส่วนที่ 2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มซึ่งวิเคราะห์แบบ proximate และการวิเคราะห์แบบ ultimate ของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มดังตารางที่ 4.1 และวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

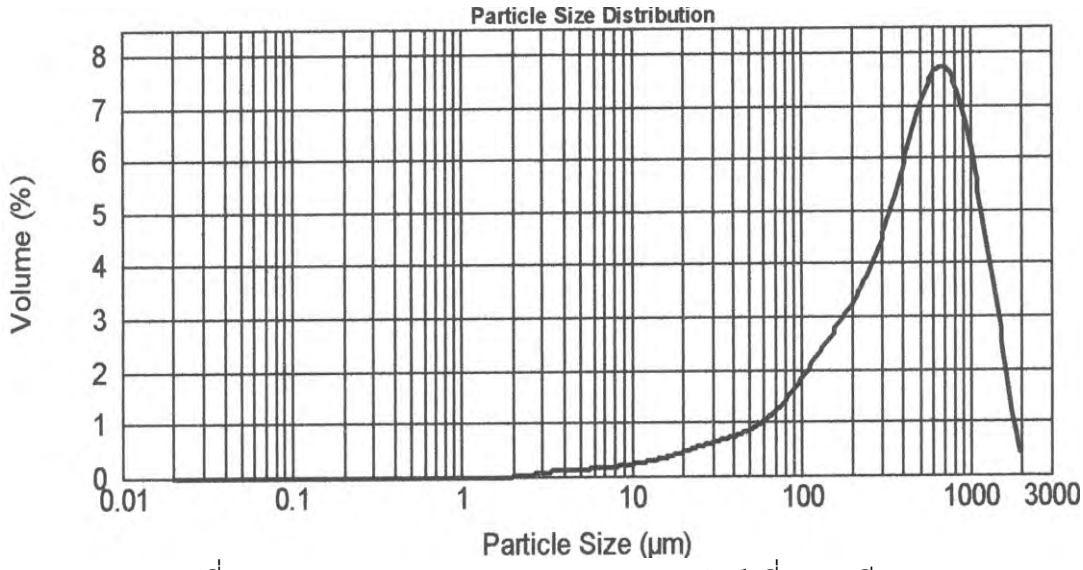


รูปที่ 4.1 Particle size distribution ของเส้นใยปาล์มที่บดละเอียด

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

จากรูปที่ 4.1 กราฟ Particle size distribution ของเส้นใยปาล์ม สรุปว่าขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์มที่บดแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.004 – 2 มม. และกราฟเป็นรูประฆังคว่ำซึ่งการ

กระจายอนุภาคของเส้นใยปาล์มจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกอนุภาคมีขนาดเล็กมากอยู่ในช่วง 0.004 - 0.2 มม. มีเป็นปริมาณมาก(ดูจากพื้นที่ใต้กราฟ) และช่วงหลังขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.2 - 2 มม. ถ้าพิจารณาโดยรวมการกระจายตัวของอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.01มม. มี 10% โดยปริมาตรหรือ(d_{10}) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.08 มม. มี 50% โดยปริมาตรหรือ(d_{50}) และอนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.90 มม. มี 90%โดยปริมาตรหรือ(d_{90})



รูปที่ 4.2 Particle size distribution ของกะลาปาล์มที่บดละเอียด

จากรูปที่ 4.2 กราฟ Particle size distribution ของกะลาปาล์ม สรุปว่าขนาดอนุภาคของกะลาปาล์มจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.02 – 2 มม.เช่นกัน และกราฟเป็นรูประฆังคว่ำเบ้ขวาซึ่งการกระจายอนุภาคของกะลาปาล์มที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.08 มม. มี 10%โดยปริมาตรหรือ(d_{10}) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.48 มม. มี 50%โดยปริมาตรหรือ(d_{50}) และอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1.14 มม. มี 90%โดยปริมาตรหรือ(d_{90}) สรุปโดยรวมจากกราฟ Particle size distribution ของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจะอยู่ในช่วง 0.02 – 2 มม. ในงานวิจัยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจึงแบ่งขนาดอนุภาคเป็น 3 ช่วง คือ อนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มม.(แยกขนาด) อนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.5-1.0 มม.(แยกขนาด) และอนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2 มม.(คละขนาด)

4.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม พบว่าเส้นใยปาล์มมีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงสุดร้อยละ 43.25 รองลงมาเป็นออกซิเจนร้อยละ 28.65 ไฮโดรเจนร้อยละ 5.93 นอกนั้นเป็นกำมะถันและไนโตรเจน(ร้อยละ0.12 และ 0.38

ตามลำดับ) ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 19.06 MJ/kg สูงกว่ากะลาปาล์มเล็กน้อย (17.78 MJ/kg) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	ชนิดของชีวมวล	
	เส้นใยปาล์ม	กะลาปาล์ม
1.ผลการวิเคราะห์แบบ proximate (wt%)		
ความชื้น (M%)	4.62	4.76
ของแข็งที่ระเหยได้ (VM%)	89.36	88.45
คาร์บอนคงตัว (FC%)	1.26	1.01
เถ้า (ASH%)	4.76	2.63
2.ผลการวิเคราะห์แบบ ultimate (wt%)		
ไฮโดรเจน (H)	5.93	6.46
คาร์บอน (C)	43.25	46.59
กำมะถัน (S)	0.12	0.03
ไนโตรเจน (N)	0.38	0.11
ออกซิเจน (O)	28.65	24.61
ค่าความร้อน (Gross heating value) MJ/kg	19.06	17.78
- อนุภาค < 0.5 mm	19.86	-
- อนุภาค 0.5 - 1.0mm	19.03	-
- อนุภาค < 2 mm	20.52	-

ที่มา:ผลวิเคราะห์แบบ ultimate วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่ปริมาณกำมะถัน(S) วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์แบบ proximate มาจากเส้นใยและกะลาปาล์มที่ตากแดดบดละเอียดและคัดขนาดแล้ว

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มมีองค์ประกอบลักษณะใกล้เคียงกันโดยเส้นใยปาล์มมีปริมาณ Al_2O_3 SiO_2 CaO และFe_2O_3 มากกว่ากะลาปาล์มดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

ส่วนประกอบทางเคมี	ชนิดของชีวมวล	
	เส้นใยปาล์ม(wt%)	กะลาปาล์ม(wt%)
1. Al_2O_3	0.57	0.24
2. SiO_2	3.54	2.96
3. P_2O_5	0.19	0.59
4. SO_3	0.05	0.13
5. K_2O	0.24	0.60
6. CaO	1.15	0.48
7. TiO_2	0.01	-
8. Fe_2O_3	0.24	0.08

ที่มา:ผลวิเคราะห์แบบ ultimate วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(15/10/50)

4.2 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว

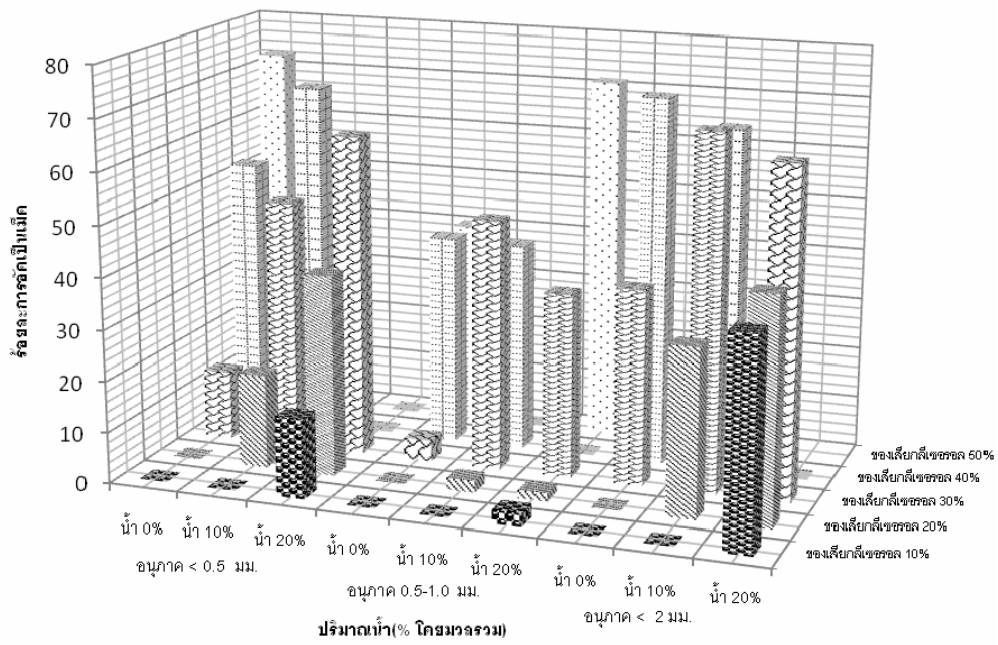
เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน จะศึกษาผลของขนาดวัสดุ และอัตราส่วนผสมของวัสดุต่อปริมาณน้ำต่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ด ความหนาแน่นจำเพาะ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ และปริมาณคาร์บอนคงตัว (ภาคผนวก ค) ซึ่งมีผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลวิเคราะห์ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

4.2.1.1 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

ปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่ใช้เป็นตัวประสานมีผลต่อร้อยละการอัดเป็นเม็ด ซึ่งจะมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดสูงขึ้นตามปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่มากขึ้น นอกจากนี้

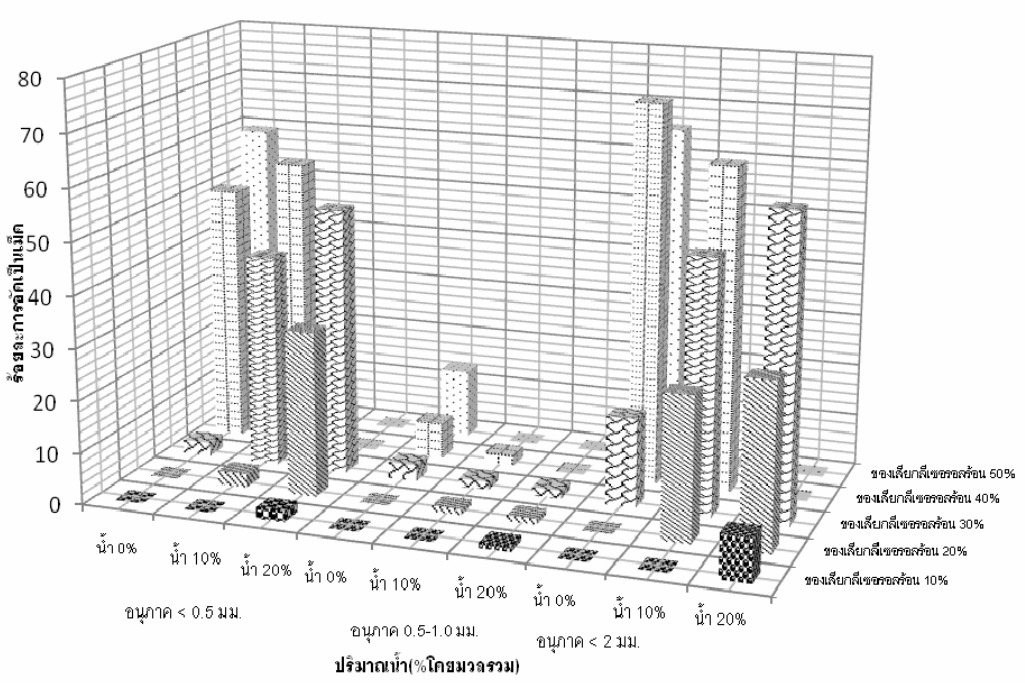
ขนาดอนุภาคมีผลกับค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดเช่นกัน จะเห็นว่าเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. และขนาดอนุภาค < 2 มม. จะมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดสูงกว่าเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดส่วนใหญ่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ในภาพรวมสามารถสรุปได้ว่า ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดจะมีค่าต่ำลงเมื่อมีอัตราส่วนของเสียกลีเซอรอลต่ำกว่าร้อยละ 30 หรือมีปริมาณเส้นใยปาล์มร้อยละ 70 และขนาดอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ดังรูปที่ 4.3 การใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อยละ 50 โดยมวลรวม ผสมกับเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม.ร้อยละ 50 โดยมวลรวม จะมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดสูงสุด 72.6%



รูปที่ 4.3 การอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

4.2.1.2 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน (อุณหภูมิ 75°C)

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดไปในทิศทางเดียวกันกับเชื้อเพลิงที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน คือ เส้นใยปาล์มทุกขนาดอนุภาคมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเสียกลีเซอรอลร้อนมากขึ้น ขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์มแบบคละขนาด(< 2.0 มม.)ให้ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดมากกว่าแบบแยกขนาดอนุภาค(< 0.5 มม.และ 0.5 – 1.0 มม.ตามลำดับ) ในภาพรวมสามารถสรุปได้ว่าค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดจะมีค่าต่ำลงเมื่อมีอัตราส่วนของเสียกลีเซอรอลต่ำกว่าร้อยละ 40 หรือมีปริมาณเส้นใยปาล์มร้อยละ 70 และขนาดอนุภาค 0.5 – 1.0 มม.ดังรูปที่ 4.4 สรุปได้ว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนไม่ช่วยให้ร้อยละการอัดเป็นเม็ดดีขึ้น



รูปที่ 4.4 การอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

4.2.1.3 สรุปประสิทธิภาพการอัดเป็นเม็ด

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานเมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการอัดเม็ดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ขนาดอนุภาค (แบบแยกขนาด)มีผลกับการอัดเป็นเม็ดโดยอนุภาคขนาดเล็ก(< 0.5 มม.)มีร้อยละการอัดเม็ดมากกว่าขนาดใหญ่(0.5 -1.0 มม.) ส่วนอนุภาคแบบคละขนาดมีร้อยละการอัดเม็ดมากกว่าหรือเท่ากับอนุภาคขนาดเล็กแบบแยกขนาด ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของตัวประสานไม่มีผลต่อค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 คือ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. มีอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล) เท่ากับ 50:0:50, 50:10:40, 50:20:30 และ 60:0:40 และ เส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.มีอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน) เท่ากับ 50:0:50, 50:10:40, 50:20:30, 60:0:40 และ 60:10:30

ตารางที่ 4.3 สรุปประสิทธิภาพการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงจากเส้นใยปาล์ม

ร้อยละการอัดเป็นเม็ด / อัตราส่วนผสม F:W:G	ขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์ม					
	< 0.5 มม.		0.5 – 1.0 มม.		< 2.0 มม.	
	G	HG	G	HG	G	HG
F(50):W(0):G(50)	72.63	59.32	40.21	13.33	71.28	65.57
F(50):W(10):G(40)	69.15	56.35	40.82	2.21	66.67	62.57
F(50):W(20):G(30)	63.00	51.60	35.96	1.61	64.13	58.70
F(60):W(0):G(40)	52.58	50.00	41.11	6.95	71.74	73.22
F(60):W(10):G(30)	48.98	41.18	48.96	1.59	68.89	48.90
F(60):W(20):G(20)	39.27	31.72	1.58	1.09	43.68	31.87
F(70):W(0):G(30)	13.54	2.64	4.17	3.21	38.17	17.22
F(70):W(10):G(20)	18.32	2.66	2.30	1.09	32.63	27.57
F(70):W(20):G(10)	15.62	2.10	2.60	1.06	40.42	8.51
F(80):W(0):G(20)	ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดเนื่องจากส่วนผสมร่วนเกินไป					
F(80):W(10):G(10)	ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดเนื่องจากส่วนผสมร่วนเกินไป					

หมายเหตุ: F=เส้นใยปาล์ม , W=น้ำอุณหภูมิ 85-90°C, G=ของเสียกลีเซอรอล, HG =ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75-80 °C), ( )=อัตราส่วนผสม

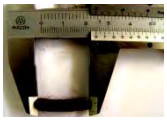
เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านมาตรฐาน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โดยพิจารณาจากลักษณะพื้นผิวภายนอกและของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

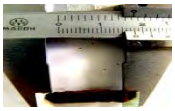
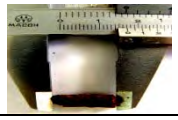
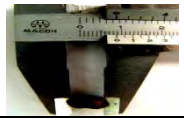
4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โดยพิจารณาจากลักษณะพื้นผิวภายนอก

1) ลักษณะพื้นผิวภายนอก ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 5.8-6.3 มม.มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มขึ้นกับปริมาณของเสียกลีเซอรอลและเมื่อพิจารณาผิวภายนอกพบว่ามีรอยแตกร้าวแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน และของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75^{O}C) เป็นตัวประสาน

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50:0:50 (กลีเซอรอลบริสุทธิ์)	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.3 - 3.7 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าว(crack)เล็กน้อย
2.	50:0:50 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 - 3.1 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยแตกร้าวชัดเจนกว่าสูตรที่ 1
3.	50:10:40 (กลีเซอรอลบริสุทธิ์)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.3 - 2.8 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวได้ชัดเจนกว่าสูตรที่1 และสูตรที่ 2
4.	50:10:40 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 5.9 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.5 - 4.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบเหมือนสูตรที่1 - รอยแตกร้าวเล็กน้อย
5.	50:20:30 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 5.8 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.0 - 2.8 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากและลึกกว่าสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน(ต่อ)

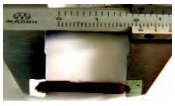
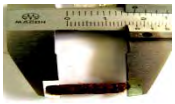
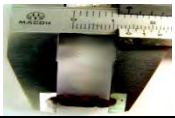
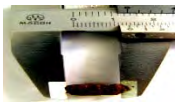
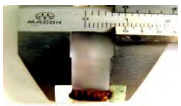
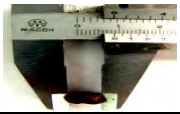
ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
6.	60:0:40 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 5.9 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 - 2.3 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยขรุขระมากกว่าสูตรที่ 5 รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก
7.	60:10:30 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 2.5 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และชัดเจนกว่าสูตรที่ 6
8.	60:20:20 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 - 2.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระมากกว่าสูตรที่ 6 และสูตรที่7 พบรอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และชัดเจนเหมือนสูตรที่ 7
9.	70:0:30 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 - 1.2 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ และรอยแตกร้าวมากกว่าสูตรที่ 8
10.	70:10:20 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 – 1.7 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระเหมือนสูตรที่7และสูตรที่8แต่น้อยกว่าสูตรที่ 9
11.	70:20:10 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 - 1.6 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระน้อยกว่าสูตรที่10

หมายเหตุ: ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป) และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม.โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล**ร้อน**เป็นตัวประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50 : 0 : 50(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.2 - 2.8 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบเนียน - รอยแตกร้าวค่อนข้างน้อยแต่ลึกกว่าสูตรที่2(ตารางที่4.4)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล**ร้อน**เป็นตัวประสาน(ต่อ)

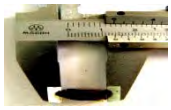
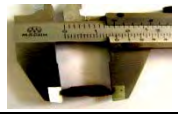
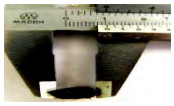
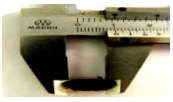
ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
2.	50 : 10 : 40(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.5 – 3.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อยและชัดเจนกว่าสูตรที่1
3.	50 : 20 : 30 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 3.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวได้ชัดเจนกว่าสูตรที่1 และสูตรที่ 2
4.	60 : 0 : 40 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และลึกกว่าสูตรที่ 3
5.	60 : 10 : 30 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวน้อยกว่าสูตรที่ 4 แต่ชัดเจนกว่าสูตรที่ 3
6.	60:20:20 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 - 2.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากและชัดเจนกว่าสูตรที่ 4,5
7.	70 : 0 : 30 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.7 - 1.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ แตกร้าวมาก และชัดเจนกว่าสูตรที่ 6
8.	70 : 10 : 20 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 – 1.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวน้อยกว่าสูตรที่ 4, สูตรที่ 6, สูตรที่ 7
9.	70 : 20 : 10 (ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.6 – 0.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ และรอยแตกร้าวมากกว่าสูตรที่ 7

หมายเหตุ: ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป) และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2) ลักษณะพื้นผิวภายนอก ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5-1.0 มม. ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเป็นทรงกระบอก มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มขึ้นกับปริมาณของเสียกลีเซอรอล และเมื่อพิจารณาผิวภายนอกพบว่ามีรอยแตกร้าวแตกต่างกัน ดังแสดงใน

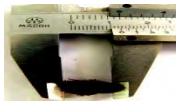
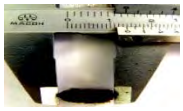
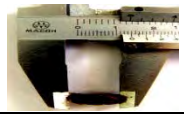
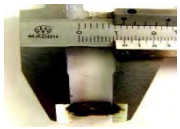
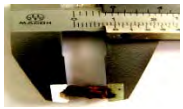
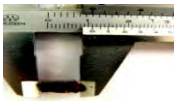
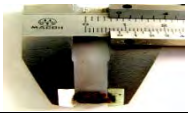
ตารางที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยใช้ของเสียกลีเซอรอล และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5-1.0 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50 : 0 : 50 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.4 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.0 - 2.3 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าว(crack) มีเส้นใยปาล์มตามรอยแตกร้าว
2.	50 : 10 : 40 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อยและชัดเจนน้อยกว่าสูตรที่ 1
3.	50 : 20 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.7 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะเรียบเนียน - รอยแตกร้าวเล็กน้อยเหมือนกับสูตรที่2
4.	60 : 0 : 40 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากกว่าสูตรที่ 1, 2 และ 3
5.	60 : 10 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.7 - 1.3 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากกว่าสูตรที่ 1 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 4
6.	60 : 20 : 20 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 - 1.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระแตกร้าวค่อนข้างมากกว่าสูตรที่4 และ สูตรที่ 5
7.	70 : 0 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าว(crack)ชัดเจนกว่าสูตรที่ 6
8.	70 : 10 : 20 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 - 1.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวชัดเจนกว่าสูตรที่ 7 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 6
9.	70 : 20 : 10 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวได้ชัดเจนกว่าสูตรที่ 7 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 8

หมายเหตุ: ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

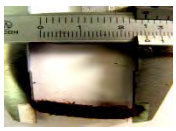
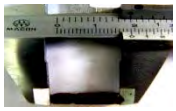
ตารางที่ 4.7 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล**ร้อน**เป็นตัวประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50 : 0 : 50(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.5 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.6 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อย
2.	50 : 10 : 40(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.4 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 - 1.3 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าว ลึกและชัดเจนกว่าสูตรที่1(50:0:50)
3.	50 : 20 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.7 -1.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวมากและชัดเจนกว่าสูตรที่ 2
4.	60 : 0 : 40(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 – 1.5 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวมากกว่าสูตรที่ 2 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 3 และลึกกว่าสูตรที่ 1, สูตรที่2, สูตรที่3
5.	60 : 10 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 -1.3 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ แตกร้าว และลึกกว่าสูตรที่ 4
6.	60 : 20 : 20(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 -1.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระมากกว่าสูตรที่5 แต่น้อยกว่าสูตรที่4
7.	70 : 0 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 –1.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าว และชัดเจนกว่าสูตรที่ 5
8.	70 : 10 : 20(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.8 – 1.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวมากกว่าและชัดเจนกว่าสูตรที่ 7
9.	70 : 20 : 10(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.7– 0.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวมากเท่ากับสูตรที่ 8

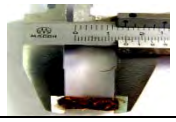
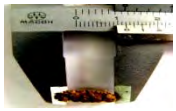
หมายเหตุ: ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป) และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3) ลักษณะพื้นผิวภายนอก ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0 มม. ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 5.7-6.3 มม.มีสีน้ำตาลถึงน้ำตาลเข้มขึ้นกับปริมาณของเสียกลีเซอรอลและเมื่อพิจารณาผิวภายนอกพบว่ามีรอยแตกร้าวแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยใช้ของเสียกลีเซอรอล และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

ตารางที่ 4.8 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

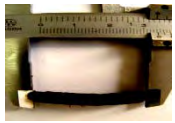
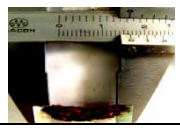
ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50 : 0 : 50 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 2.0 - 3.8 ซม. - สีน้ำตาลเข้มผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อย
2.	50 : 10 : 40 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.8 – 4.2 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อยชัดเจนกว่าสูตรที่1
3.	50 : 20 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.6 - 3.8 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวได้ชัดเจนและลึกกว่าสูตรที่2
4.	60 : 0 : 40 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.3 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.4 - 4.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวชัดเจนกว่าสูตรที่3 และเส้นใยปาล์มแทรกตามรอยแตก
5.	60 : 10 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.9 – 3.6 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยขรุขระ แตกร้าวค่อนข้างมาก และลึกกว่าสูตรที่ 4
6.	60 : 20 : 20 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 – 1.7 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยขรุขระแตกร้าวค่อนข้างมากและชัดเจนกว่าสูตรที่ 5
7.	70 : 0 : 30 (ของเสียกลีเซอรอล)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.2 - 2.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากชัดเจนกว่าสูตรที่ 5 แต่น้อยกว่า 6

ตารางที่ 4.8 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน(ต่อ)

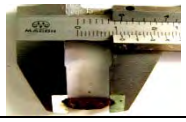
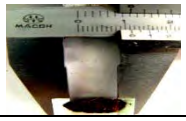
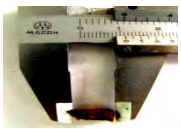
ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
8.	70 : 10 : 20 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.3 -3.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวและชัดเจนกว่าสูตรที่ 7 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 6
9.	70 : 20 : 10 (ของเสียกลีเซอรอล) 	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 2.0 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และลึกกว่าสูตรที่ 6

หมายเหตุ : ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป) และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล**ร้อน**เป็นตัวประสาน

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
1.	50 : 0 : 50(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.4 - 3.8 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวเล็กน้อยถ้าเทียบอนุภาค < 2 mmสูตรที่1 ของเสียกลีเซอรอล จะพบรอยแตกร้าวมากกว่า
2.	50 : 10 : 40(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 5.7 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.8 – 3.8 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบเนียน - รอยแตกร้าวเล็กน้อยซึ่งน้อยกว่าสูตรที่ 1
3.	50 : 20 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 5.9 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.4 - 4.2 ซม. - สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีลักษณะเรียบ - รอยแตกร้าวมากกว่าสูตรที่1และสูตรที่2
4.	60 : 0 : 40(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.0 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.6 - 3.7 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และลึกกว่าสูตรที่ 3
5.	60 : 10 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 – 2.4 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยขรุขระแตกร้าวค่อนข้างมาก แต่ลึกกว่าสูตรที่ 4

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. โดยใช้โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล**ร้อน**เป็นตัวประสาน(ต่อ)

ลำดับที่	อัตราส่วนผสม (เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล)	ลักษณะทางกายภาพของ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม
6.	60 : 20 : 20(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 1.5 - 2.2 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบเนียน - รอยแตกร้าวค่อนข้างมากและลึกกว่าสูตรที่ 4 สูตรที่ 5
7.	70 : 0 : 30(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.7 - 1.1 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวมากกว่าและลึกกว่าสูตรที่ 6
8.	70 : 10 : 20(ของเสียกลีเซอรอลร้อน) 	- ∅ประมาณ 6.2 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.9 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยแตกร้าวค่อนข้างมาก และชัดเจนมากกว่าสูตรที่ 6 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 7
9.	70 : 20 : 10(ของเสียกลีเซอรอลร้อน)	- ∅ประมาณ 6.1 มม. ความยาวโดยเฉลี่ย 0.9 - 1.5 ซม. - สีน้ำตาล ผิวมีลักษณะไม่เรียบ - รอยขรุขระ รอยแตกร้าวมากและลึกกว่าสูตรที่ 7 แต่น้อยกว่าสูตรที่ 8

หมายเหตุ: ส่วนอัตราส่วนผสม(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:กลีเซอรอล) เท่ากับ 80:0:20 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม(ร่วนมากเกินไป) และรูปที่แสดงในตาราง คือ ตัวอย่างขนาดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

4) สรุปลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

จากตารางที่ 4.4 - 4.9 สามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มร้อยละ 50 โดยมวลจะมีลักษณะผิวเรียบและเรียบเนียน ส่วนปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่เป็นตัวประสานจะมีผลกับรอยแตกร้าว คือแนวโน้มส่วนใหญ่จะแปรผันตามปริมาณของเสียกลีเซอรอล โดยอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณกลีเซอรอลมากกว่าร้อยละ 30 โดยมวลขึ้นไปจะมีรอยแตกร้าวเล็กน้อย นอกจากนี้ขนาดอนุภาคก็มีผลต่อเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งเส้นใยปาล์มคละขนาด(< 2 มม.) จะให้เชื้อเพลิงความยาวกว่าแยกขนาด(< 0.5 มม. และ 0.5 - 1.0 มม.) ดังตารางที่4.10

ตารางที่ 4.10 ลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน

คุณสมบัติ / อัตราส่วน F:W:G	อนุภาค < 0.5 มม.			อนุภาค 0.5 - 1 มม.			อนุภาค < 2.0 มม.		
	L(ซม.)	SU	C	L (ซม.)	SU	C	L (ซม.)	SU	C
1.F(50):W(0):G*(50)	1.3-3.7	S	c	-	-	-	-	-	-
2.F(50):W(0):G(50)	0.6-3.1	R	c	1.0-2.3	S	c	2.0-3.8	S	c
3.F(50):W(0):HG(50)	1.2-2.8	VS	c	0.9-1.6	R	c	1.4-3.8	S	c
4.F(50):W(10):G*(40)	1.3-2.8	S	c	-	-	-	-	-	-
5.F(50):W(10):G(40)	1.5-4.4	S	c	0.9-1.9	S	c	1.8-4.2	S	c
6.F(50):W(10):HG(40)	1.5-3.4	S	c	0.8-1.3	R	c	1.8-3.8	S	c
7.F(50):W(20):G(30)	1.0-2.8	R	C	0.9-1.7	S	c	1.6-3.8	R	c
8.F(50):W(20):HG(30)	0.9-3.1	S	c	0.7-1.0	R	c	1.4-4.2	S	c
9.F(60):W(0):G(40)	0.6-2.3	R	C	0.9-1.4	R	C	1.4-4.4	R	c
10.F(60):W(0):HG(40)	0.9-1.9	R	C	0.8-1.5	R	C	1.6-3.7	R	C
11.F(60):W(10):G(30)	0.9-2.5	R	C	0.7-1.3	R	C	1.9-3.6	R	C
12.F(60):W(10):HG(30)	0.9-1.0	R	c	0.8-1.3	R	C	0.9-2.4	R	C
13.F(60):W(20):G(20)	0.8-2.0	R	C	0.8-1.4	R	C	0.9-1.7	R	C
14.F(60):W(20):HG(20)	0.8-2.1	R	C	0.9-1.1	R	C	1.5-2.2	R	C
21.F(70):W(0):G(30)	0.6-1.2	R	C	0.9-1.1	R	C	1.2-2.4	R	C
22.F(70):W(0):HG(30)	0.7-1.0	R	C	0.9-1.1	R	C	0.7-1.1	R	C
23.F(70):W(10):G(20)	0.6-1.7	R	C	0.8-1.0	R	C	1.3-3.0	R	C
24.F(70):W(10):HG(20)	0.8-1.1	R	c	0.8-1.0	R	C	0.9-1.9	R	C
25.F(70):W(20):G(10)	0.6-1.6	R	C	0.9-1.0	R	C	0.9-2.0	R	C
26.F(70):W(20):HG(10)	0.6-0.9	R	C	0.7-0.9	R	C	0.9-1.5	R	C

หมายเหตุ: L = ความยาว(length)

: SU = ลักษณะพื้นผิว (surface) ; VS = ผิวเรียบเนียน, S = ผิวเรียบ, R = ผิวไม่เรียบ

: C = ปริมาณรอยแตกร้าว ; c = รอยแตกร้าวเล็กน้อย(1-2 รอย/ความยาว1ซม.), C = รอยแตกร้าวมาก(3-6 รอย/ความยาว1ซม.)

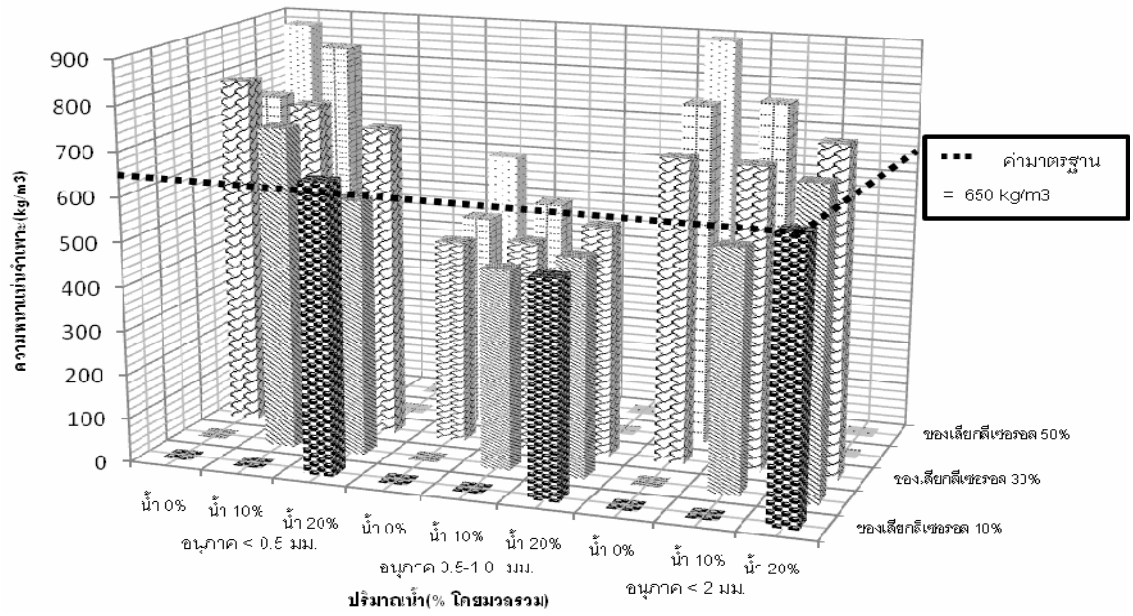
: F = เส้นใยปาล์ม, W = น้ำ, G* = กลีเซอรอลบริสุทธิ์, G = ของเสียกลีเซอรอล, HG = ของเสียกลีเซอรอลร้อน, ( )=อัตราส่วนผสม

จากตารางที่ 4.10 ลักษณะภายนอกผิวเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งจะพิจารณา ความเรียบเนียนของผิวและปริมาณรอยแตกร้าวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จะเห็นว่าขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์มและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมีผลต่อลักษณะภายนอกผิวเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วน 50:10:40 จะมีลักษณะภายนอกผิวเรียบและรอยแตกร้าวน้อย ส่วนขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์ม < 0.5 มม.และ< 2.0 มม.จะให้ปริมาณรอยแตกร้าวน้อยกว่า 0.5-1.0 มม.เนื่องจากลักษณะเส้นใยปาล์มขนาด < 0.5 มม.และ< 2.0 มม. จะสานเกาะกันเป็นก้อนได้ดีกว่าขนาด 0.5-1.0 มม.ที่มีเส้นใยปาล์มแทรกตามรอยแตกร้าว

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ โดยพิจารณาจากค่าความหนาแน่นจำเพาะ(Specific Density)ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

4.2.3.1 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอล

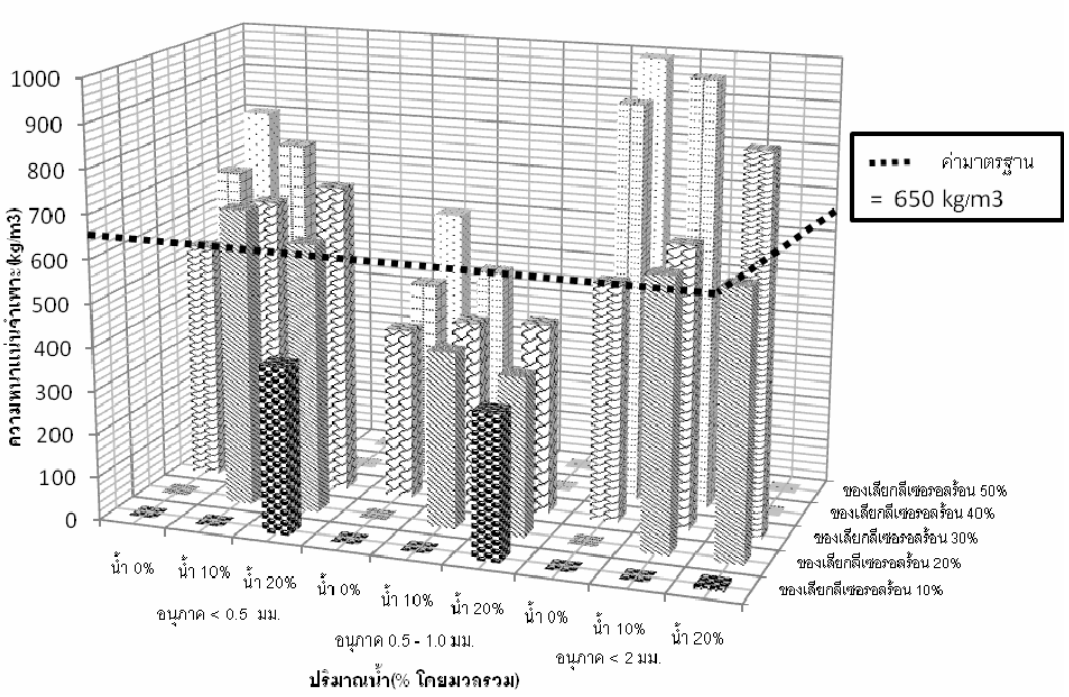
ขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์มและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ใช้ในการอัดเม็ดมีผลต่อความหนาแน่นจำเพาะโดยเส้นใยปาล์มอนุภาคแบบคละขนาด(< 2 มม.) จะให้ค่าความหนาแน่นจำเพาะมากกว่าแบบแยกขนาด(< 0.5 มม. และ 0.5 – 1.0 มม.)แต่เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มร้อยละ 70 โดยมวลรวมของอนุภาคขนาด < 2 มม.จะให้ค่าความหนาแน่นจำเพาะน้อยกว่าขนาด < 0.5 มม. เนื่องจากของเสียกลีเซอรอลที่ใช้เป็นตัวประสานมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้ความหนาแน่นจำเพาะลดลง เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นความหนาแน่นจำเพาะก็เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ไม่เหมาะในการอัดเม็ดเนื่องจากความหนาแน่นจำเพาะต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเท่ากับ 650 kg/m^3 ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

4.2.3.2 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75 ^{O}C)

ค่าความหนาแน่นจำเพาะจะแปรผันตามปริมาณของเสียกลีเซอรอลร้อน แต่ค่าความหนาแน่นจำเพาะจะแปรผกผันกับปริมาณน้ำ(เว้นแต่อัตราส่วนที่มีของเสียกลีเซอรอลร้อนร้อยละ 20)ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานที่ปริมาณน้ำไม่มีผลต่อความหนาแน่นจำเพาะ เพราะความร้อนที่ให้กับของเสียกลีเซอรอลจะทำให้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณน้ำที่มากขึ้นแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคลดลงทำให้ค่าความหนาแน่นจำเพาะลดลงด้วย นอกจากนี้ขนาดอนุภาคก็มีผลต่อค่าความหนาแน่นจำเพาะ โดยส่วนใหญ่ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มแบบคละขนาดจะมีความหนาแน่นจำเพาะมากกว่าแบบแยกขนาด(< 0.5 มม. และ 0.5 – 1.0 มม. ตามลำดับ) ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

4.2.3.3 สรุปค่าความหนาแน่นจำเพาะ(Specific Density)ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากตารางที่ 4.11 ขนาดอนุภาคและปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีผลกับความหนาแน่นจำเพาะโดยขนาดอนุภาคที่เล็กลงจะทำให้ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น(เทียบแบบแยกขนาด) นอกจากนี้อนุภาคคละขนาดมีความหนาแน่นรวมมากกว่าหรือใกล้เคียงกับอนุภาคขนาดเล็ก(แบบแยกขนาด) ในทางตรงกันข้ามปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นค่าความ

หนาแน่นรวมก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนอนุภาค 0.5 - 1.0 มม.มีค่าความหนาแน่นจำเพาะไม่ผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งเท่ากับ 650 kg/m^3 ดังนั้นเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม.ไม่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ตารางที่ 4.11 ค่าความหนาแน่นจำเพาะ(Specific densiy)

คุณสมบัติ / อัตราส่วน F:W:G	ค่าความหนาแน่นจำเพาะ(kg/ m^3)						ค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด	ค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง
	อนุภาค < 0.5 มม.		อนุภาค 0.5 – 1.0 มม.		อนุภาค < 2.0 มม.			
	G	HG	G	HG	G	HG		
50:0:50	879.8	803.4	594.1	591.0	893.9	992.6	มากกว่า 650 kg/ m^3	มากกว่า 600 kg/ m^3
50:10:40	857.4	766.5	527.4	505.4	790.4	982.2		
50:20:30	708.3	711.6	523.7	439.9	742.1	867.2		
60:0:40	735.9	690.8	482.7	461.5	775.7	916.0		
60:10:30	752.2	665.0	475.1	427.2	682.8	648.9		
60:20:20	579.6	618.8	493.5	366.4	691.5	612.1		
70:0:30	796.1	547.2	461.5	395.2	688.1	548.8		
70:10:20	729.5	683.6	452.4	404.7	542.9	620.9		
70:20:10	655.2	386.1	489.2	334.4	624.2	560.5		

หมายเหตุ: ค่าความหนาแน่นจำเพาะเป็นค่าที่ประมาณทศนิยม 1 ตำแหน่ง

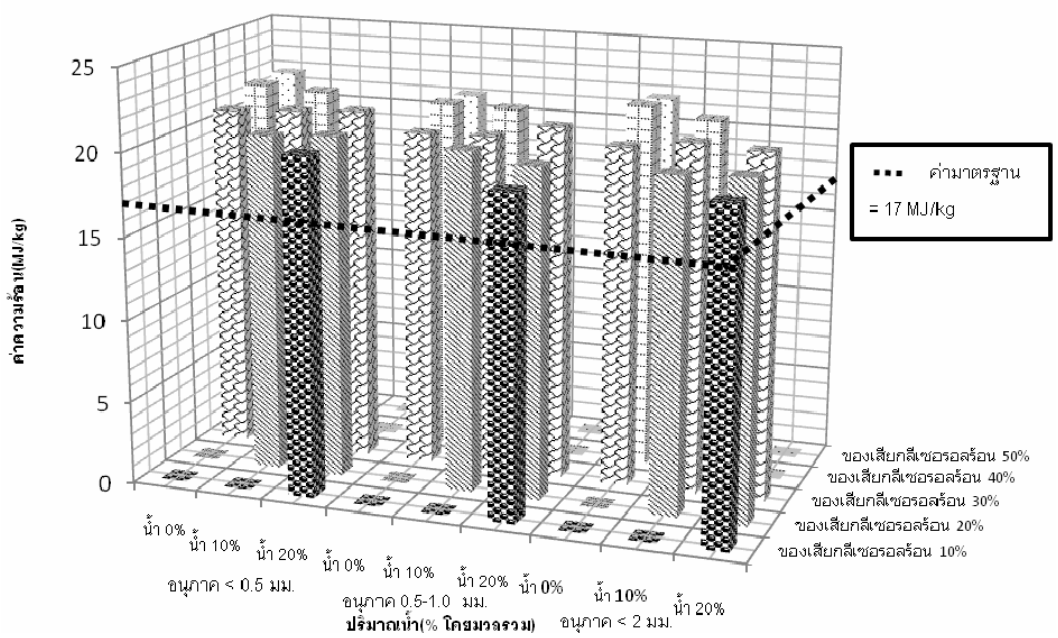
: HG = ของเสียกลีเซอรอลร้อน

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านมาตรฐาน

4.2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

4.2.4.1 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอล

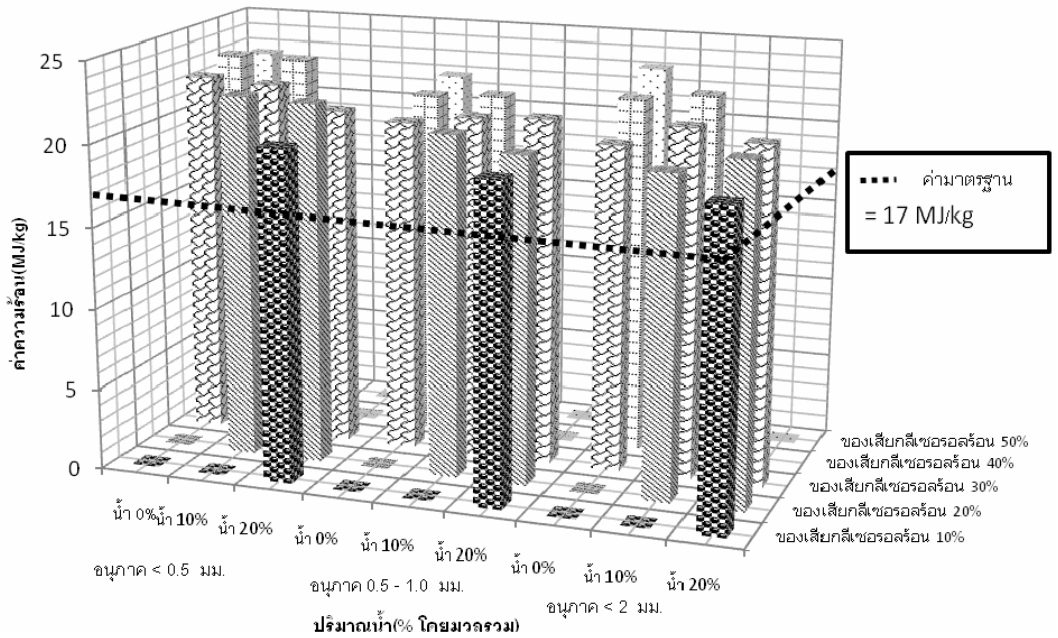
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพิจารณาจากค่าความร้อน (heating value)โดยพบว่าค่าความร้อนนี้เกิดจากของเสียกลีเซอรอลเป็นหลัก เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นค่าความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ค่าความร้อนทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดผ่านค่ามาตรฐานซึ่งเท่ากับ 17 MJ/kg ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

4.2.4.2 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75 ^{O}C)

แนวโน้มส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานผ่านค่ามาตรฐานซึ่งเท่ากับ 17 MJ/kg ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

4.2.4.3 สรุปค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

จากตารางที่ 4.12 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเกิดจากของเสียกลีเซอรอลเป็นหลัก เพราะมีองค์ประกอบของน้ำมันจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผสมอยู่ ส่วนอุณหภูมิของของเสียกลีเซอรอลที่เป็นตัวประสานมีผลกับค่าความร้อนซึ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเสียกลีเซอรอลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพิ่มมากขึ้นด้วย เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มทุกขนาด ทุกอัตราส่วนผสม ทั้งที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานมีค่าความร้อนผ่านมาตรฐานซึ่งเท่ากับ 17 MJ/kg

ตารางที่ 4.12 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน

คุณสมบัติ / อัตราส่วน F:W:G	ค่าความร้อน(MJ/kg)						ค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด
	อนุภาค < 0.5 มม.		อนุภาค 0.5 – 1.0 มม.		อนุภาค < 2.0 มม.		
	G	HG	G	HG	G	HG	
50:0:50	21.77	22.57	21.12	21.86	21.71	23.12	มากกว่า 17 MJ/kg
50:10:40	21.57	23.10	21.31	21.63	21.49	22.50	
50:20:30	21.34	20.91	21.28	21.29	20.73	20.73	
60:0:40	21.74	23.14	21.37	21.39	22.05	22.00	
60:10:30	21.10	22.25	20.42	21.06	20.94	21.40	
60:20:20	20.64	22.15	19.86	20.02	20.16	20.72	
70:0:30	20.85	22.46	20.31	20.48	20.39	20.03	
70:10:20	20.39	22.30	20.44	20.91	19.98	19.64	
70:20:10	19.94	20.36	19.29	19.52	19.67	19.16	

ที่มา: วิเคราะห์โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

: HG = ของเสียกลีเซอรอลร้อน เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

4.2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ด

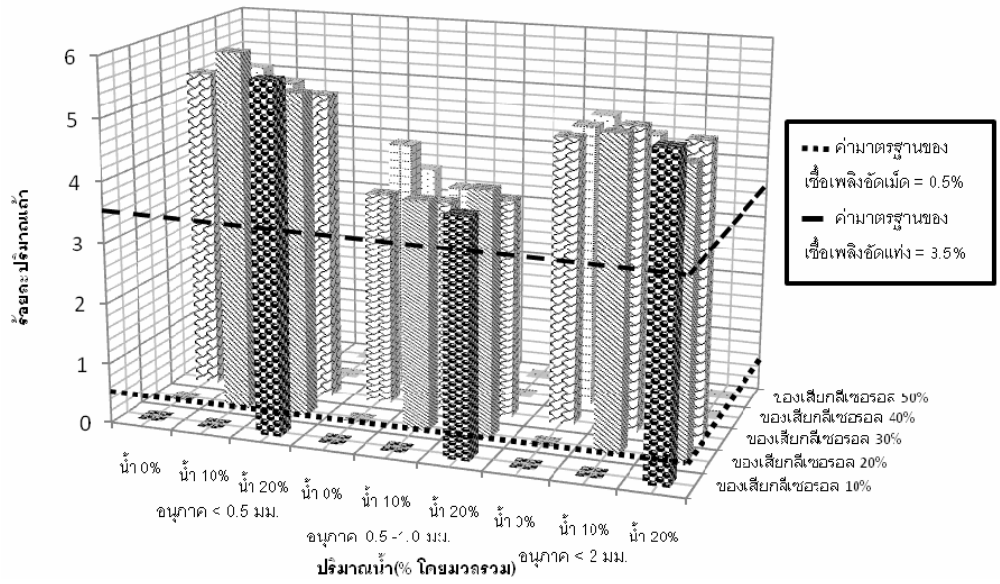
การวิเคราะห์องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ และปริมาณ

คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม จากข้อมูลข้างต้นที่วิเคราะห์ร้อยละการอัดเป็นเม็ด และ ความหนาแน่นจำเพาะ งานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. และอนุภาค < 2 มม. ทั้งที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลและของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75 ^{O}C)เป็นตัวประสาน

4.2.5.1 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอล

- ปริมาณเถ้า

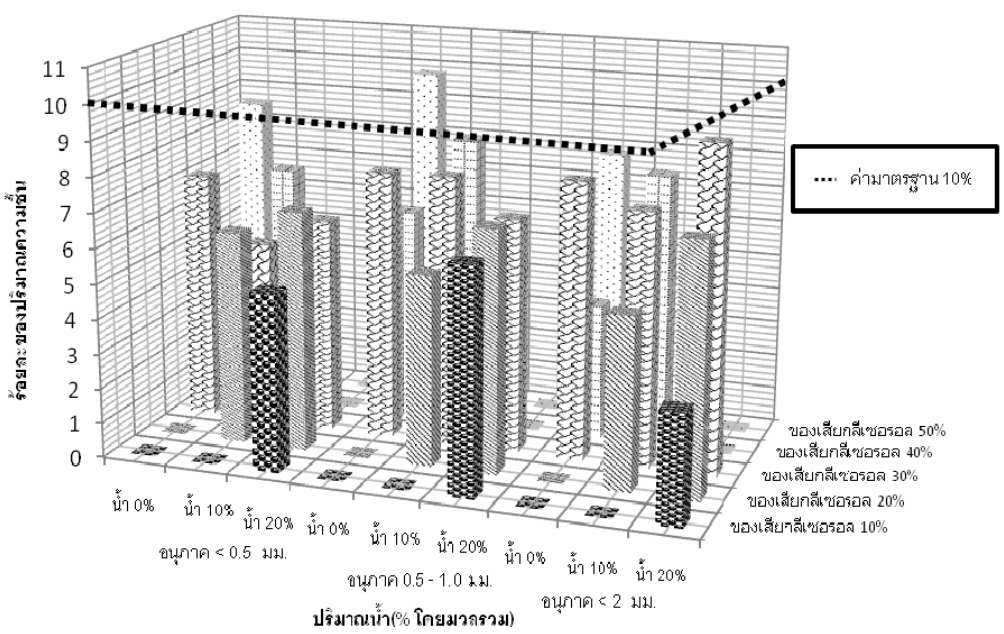
ปริมาณเถ้าโดยส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 มม.มีปริมาณเถ้ามากกว่าขนาดอนุภาค < 2.0 มม.เล็กน้อย ซึ่งถือว่าขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อปริมาณเถ้า แต่ปริมาณเถ้าที่แตกต่างกันมาจากองค์ประกอบของตัวประสาน(ของเสียกลีเซอรอล) ส่วนปริมาณน้ำและปริมาณของเสียกลีเซอรอลไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ นอกจากนี้ปริมาณเถ้าของทุกอัตราส่วนจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดไม่ผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่งซึ่งเท่ากับ ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 3.5 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 4.7- 6.0 โดยมวลรวม ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

- ปริมาณความชื้น

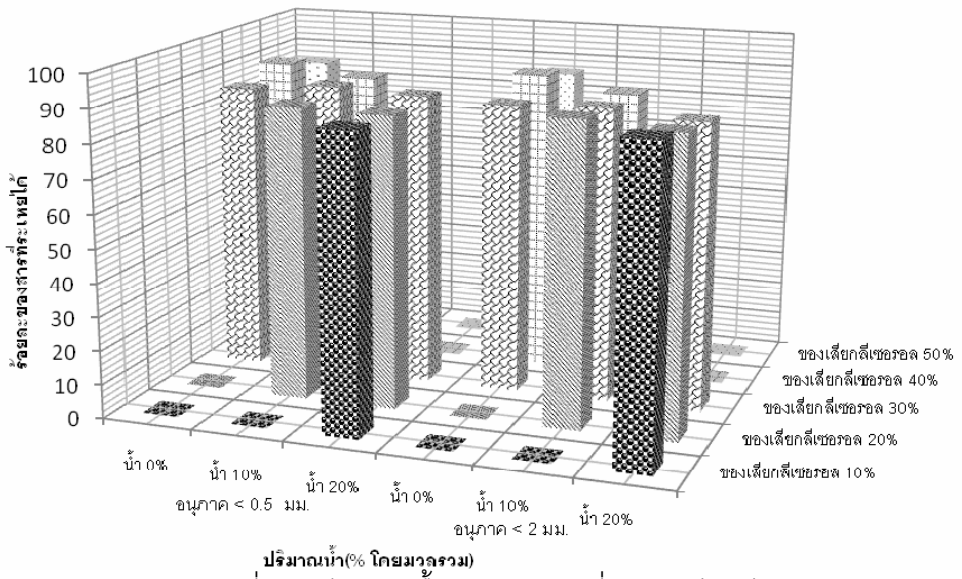
ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.1 - 9.2 โดยมวลรวม ปริมาณความชื้นของทุกอัตราส่วนจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งเท่ากับร้อยละ < 10 โดยมวลรวม ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ดังรูปที่ 4.10



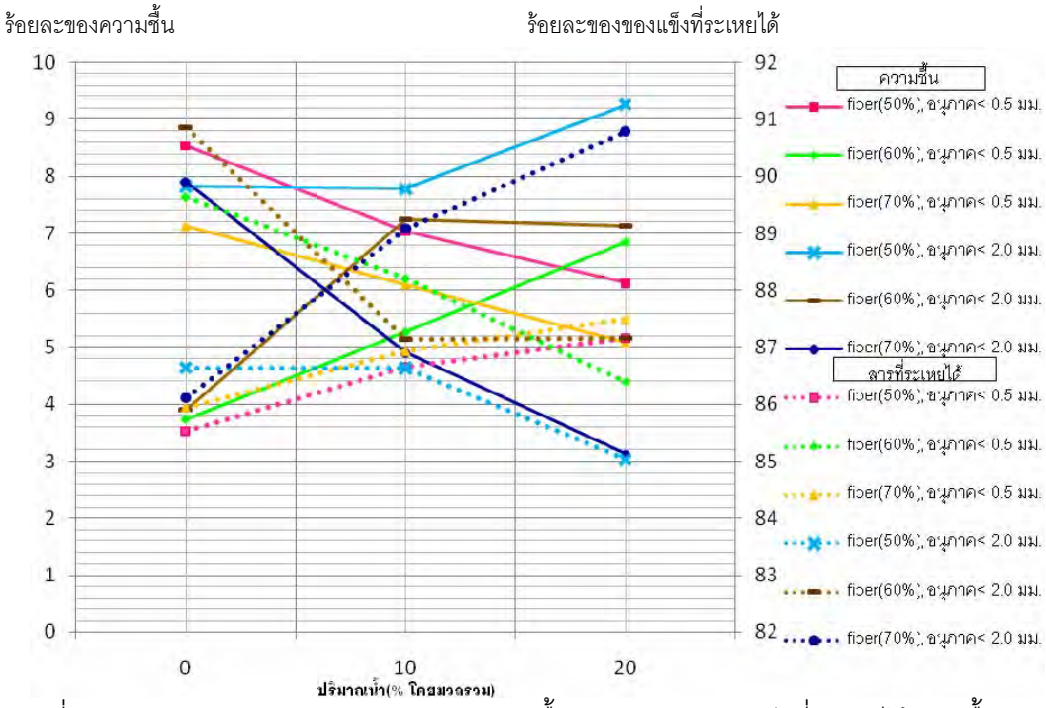
รูปที่ 4.10 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

- ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

ปริมาณอัตราส่วนผสม คือ ปริมาณเส้นใยปาล์ม น้ำ และของเสียกลีเซอรอล และขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ดังรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จะเห็นว่า ในอัตราส่วนที่มีปริมาณเส้นใยปาล์มเท่ากัน ปริมาณความชื้นจะแปรผกผันปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ดังรูปที่ 4.12



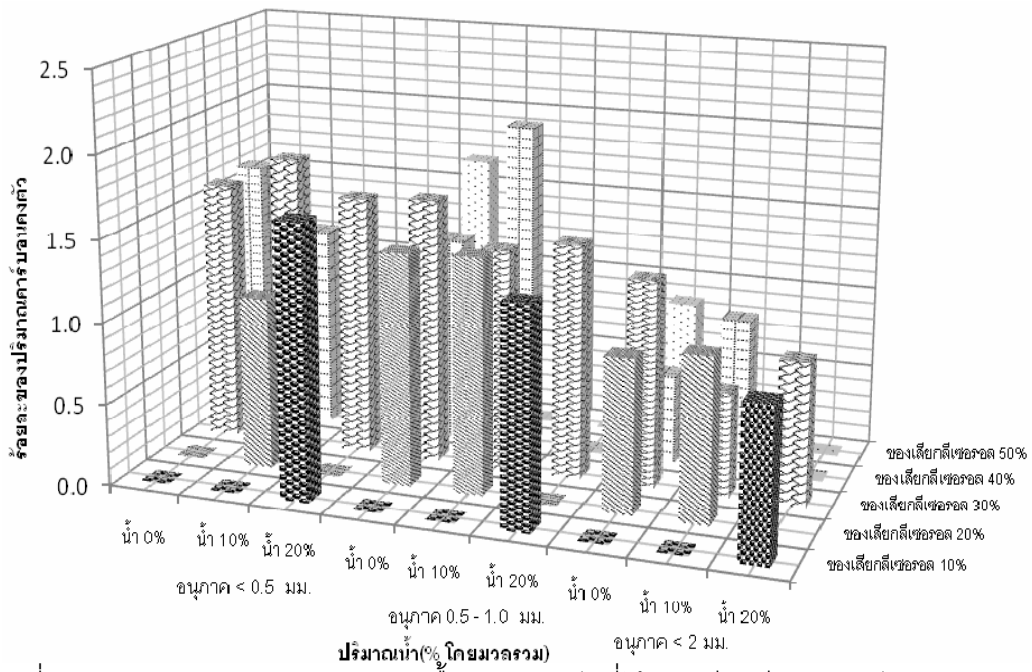
รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

- ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานมีค่าร้อยละ 0.8 - 1.8 โดยมวลรวม ดังรูปที่ 4.13

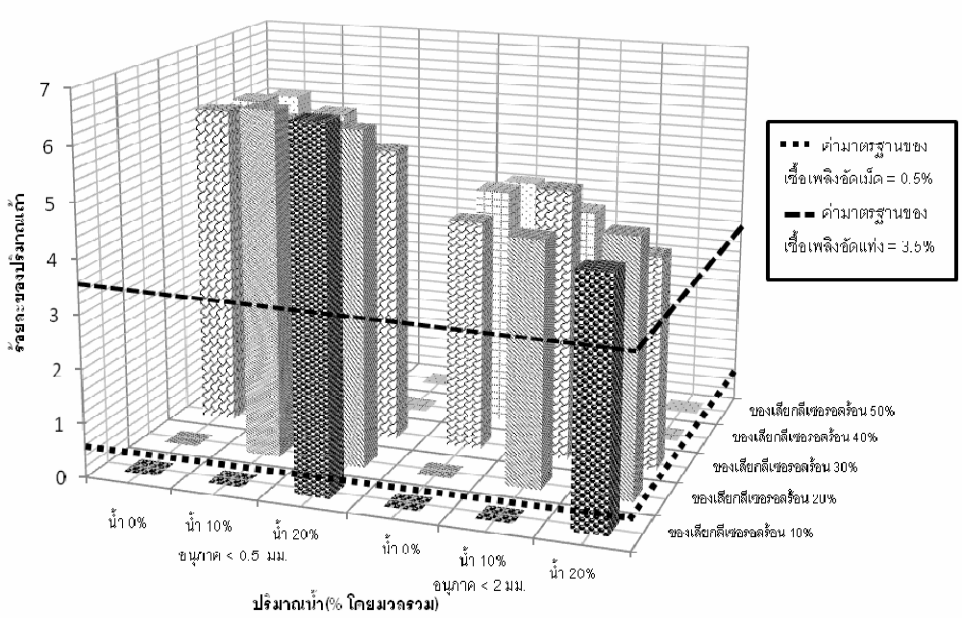


รูปที่ 4.13 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

4.2.5.2 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75 ^{O}C)

- ปริมาณเถ้า

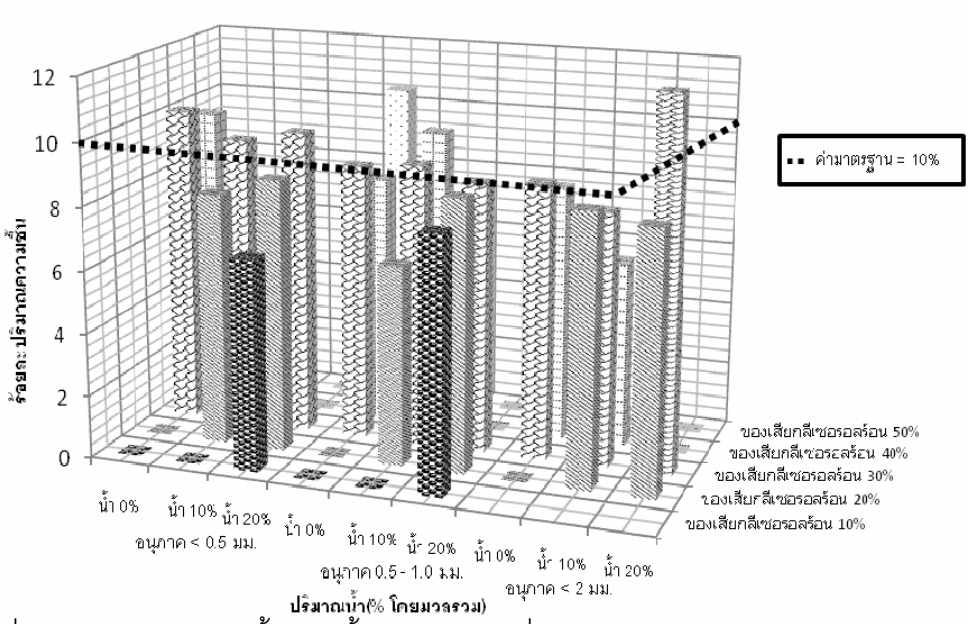
เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม.มีปริมาณเถ้ามากกว่าขนาดอนุภาค < 2.0 มม.เล็กน้อย โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน ปริมาณเถ้าของทุกอัตราส่วนจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดไม่ผ่านค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่งซึ่งเท่ากับ ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 3.5 โดยมวลรวมตามลำดับ ซึ่งปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.9-6.7 โดยมวลรวม ดังรูปที่ 4.14 แต่จากตารางที่ 4.13 และ4.14 จะเห็นว่าปริมาณเถ้าของอนุภาคขนาดต่างๆ ทั้งที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลที่อุณหภูมิห้อง และ 75 ^{O}C เป็นตัวประสานไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นขนาดอนุภาคและอุณหภูมิที่ให้กับตัวประสานไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ด



รูปที่ 4.14 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

- ปริมาณความชื้น

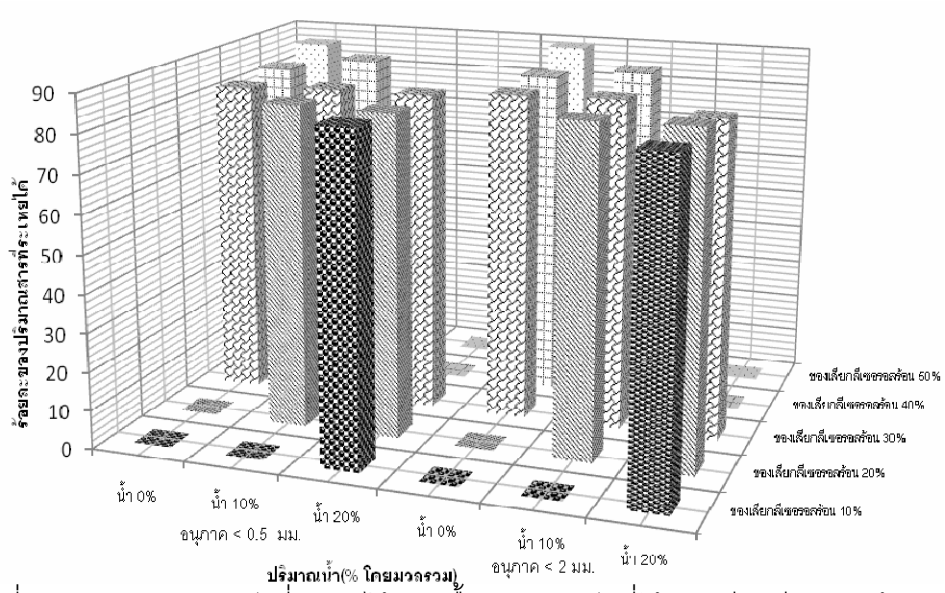
ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานมีค่าร้อยละ 5.5 - 11.9 โดยมวลรวม เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยมวลรวม อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)ที่มีความชื้นเกินมาตรฐานคืออัตราส่วน 50:20:30 และ 70:0:30 ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. และ < 2.0 มม.ตามลำดับ ปริมาณน้ำและอุณหภูมิของตัวประสานที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ดังรูปที่ 4.15



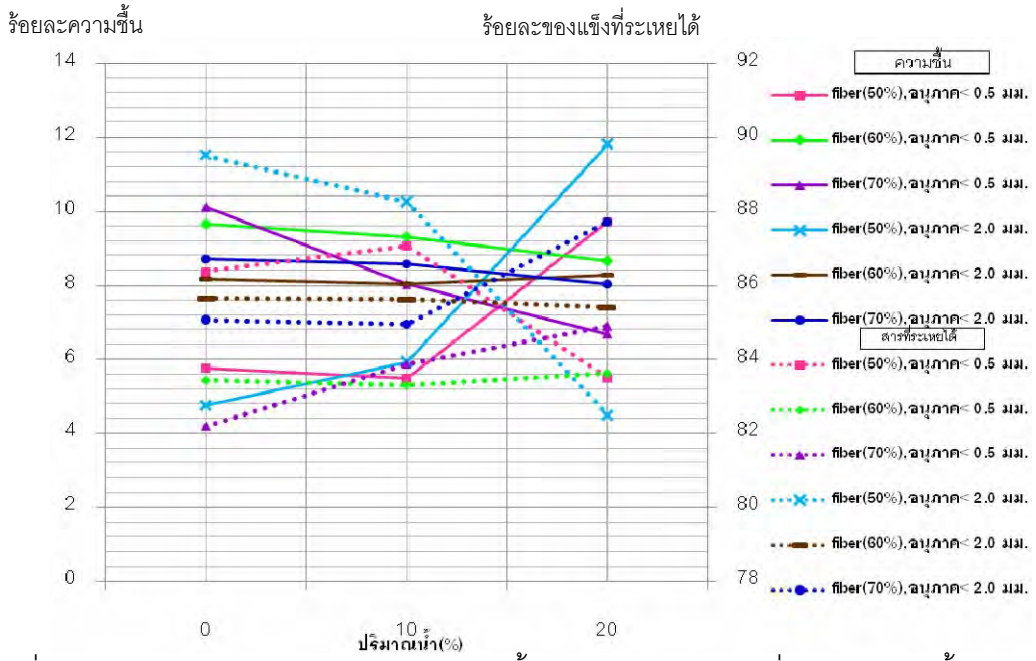
รูปที่ 4.15 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

- ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

อุณหภูมิที่ให้กับตัวประสานและปริมาณอัตราส่วนผสม คือ ปริมาณเส้นใยปาล์ม น้ำ และของเสียกลีเซอรอลไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ดังรูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน ดังรูปที่ 4.17



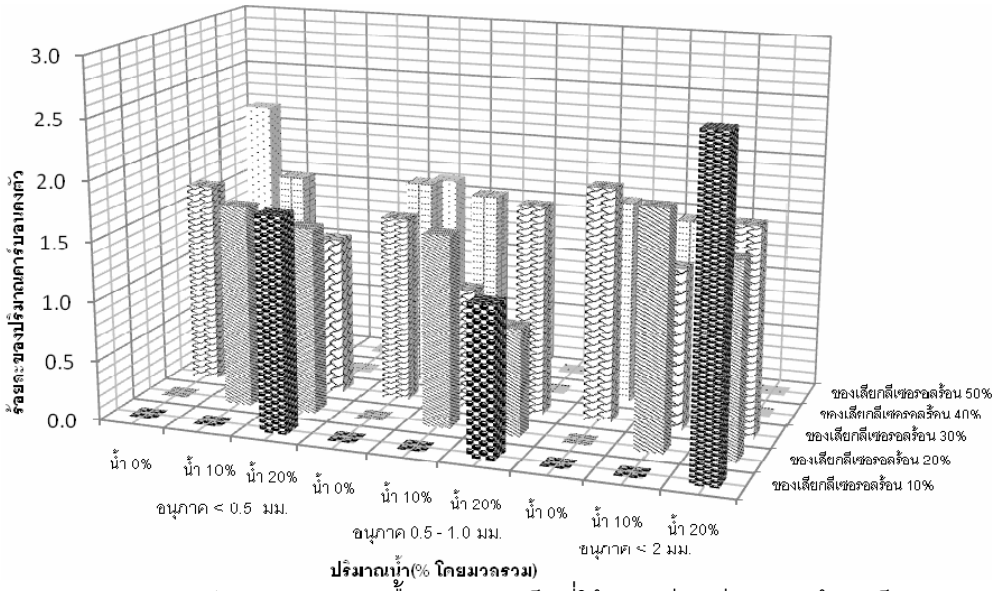
รูปที่ 4.16 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

- ปริมาณคาร์บอนคงตัว

ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75 ^{O}C)เป็นตัวประสานมีค่าร้อยละ 1.0 - 2.8 โดยมวลรวม ดังรูปที่ 4.18 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลที่อุณหภูมิห้อง และ 75 ^{O}C เป็นตัวประสาน จะพบว่าความร้อนที่ให้กับตัวประสานไม่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว(ความแตกต่างน้อยกว่าร้อยละ 2) โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีควรมีคาร์บอนคงตัวสูง



รูปที่ 4.18 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน

4.2.5.3 สรุปปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้และปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้เส้นใยปาล์มและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

คุณสมบัติ / อัตราส่วน F:W:G	ปริมาณเถ้า		ปริมาณความชื้น		ของแข็งที่ระเหยได้		คาร์บอนคงตัว	
	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.
50:0:50	5.09	4.66	8.53	7.84	85.52	86.64	0.85	0.87
50:10:40	5.07	4.63	7.04	7.79	86.65	86.64	1.2409	0.94
50:20:30	5.12	4.83	6.13	9.26	87.16	85.04	1.5967	0.88
60:0:40	5.02	4.69	3.73	3.90	89.63	90.86	1.62	0.55
60:10:30	4.73	4.97	5.26	7.25	88.20	87.14	1.80	0.64
60:20:20	5.34	4.70	6.84	7.13	86.40	87.17	1.42	1.00
70:0:30	5.34	4.71	7.12	7.90	85.94	86.12	1.60	1.80
70:10:20	5.92	5.07	6.09	4.91	86.94	89.08	1.05	0.94
70:20:10	5.74	5.16	5.08	3.12	87.50	90.78	1.68	0.93
มาตรฐาน	< (0.5 - 3.5)%		< (10)%		-		-	

หมายเหตุ: F= เส้นใยปาล์ม, W= น้ำ ,G=ของเสียกลีเซอรอล

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านมาตรฐาน

ที่มา: ค่ามาตรฐานจาก European Biomass Industry Association

ตารางที่ 4.14 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน(อุณหภูมิ 75^{O}C)เป็นตัวประสาน

คุณสมบัติ / อัตราส่วน F:W:GH	ปริมาณเถ้า		ปริมาณความชื้น		ของแข็งที่ระเหยได้		คาร์บอนคงตัว	
	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.	<0.5มม.	<2มม.
50:0:50	5.69	4.28	5.77	4.75	86.37	89.51	2.16	1.46
50:10:40	5.74	4.23	5.50	5.92	87.07	88.26	1.69	1.59
50:20:30	5.47	3.95	9.70	11.81	83.50	82.50	1.32	1.74
60:0:40	5.90	4.49	9.66	8.16	83.42	85.65	1.01	1.70
60:10:30	5.91	4.98	9.31	8.04	83.30	85.63	1.47	1.35
60:20:20	6.18	4.71	8.65	8.27	83.61	85.40	1.32	1.61
70:0:30	5.99	4.27	10.12	8.71	82.20	85.06	1.94	1.95
70:10:20	6.41	4.51	8.03	8.58	83.87	84.94	1.69	1.97
70:20:10	6.63	4.52	6.69	8.04	84.89	87.72	1.80	2.72
มาตรฐาน	< (0.5 - 3.5)%		< (10)%		-		-	

หมายเหตุ: F= เส้นใยปาล์ม, W= น้ำ ,GH=ของเสียกลีเซอรอล(อุณหภูมิ 75^{O}C)

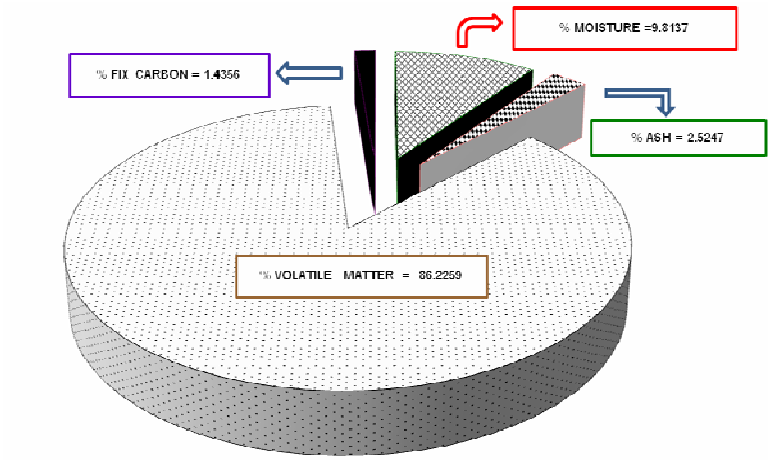
เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านมาตรฐาน อัตราส่วนที่เหมาะสม

ที่มา: ค่ามาตรฐานจาก European Biomass Industry Association

4.2.5.4 การเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์ม

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มโดยพิจารณาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ต้องเลือกอัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ซึ่ง ค่าความหนาแน่นจำเพาะ(Specific Density) > 650 kg/m^{3} ค่าความร้อน > 17 MJ/kg และปริมาณความชื้นร้อยละ < 10 โดยมวลรวม ส่วนปริมาณเถ้าทุก

อัตราส่วนไม่ผ่านค่ามาตรฐานทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดและอัดแท่ง เท่ากับ < 0.5% และ < 3.5%โดยมวลรวม ตามลำดับ เชื้อเพลิงที่ดีควรมีปริมาณเถ้าน้อย ค่าความหนาแน่นจำเพาะสูง สะดวกในการขนส่ง ค่าความร้อนสูงเพื่อให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ร้อยละการอัดเป็นเม็ดสูงขึ้นทำให้กระบวนการผลิตคุ้มค่ากับการลงทุน ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าสูง และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ต่ำจะติดไฟยากแต่ไม่มีควัน นอกจากนี้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้ต่ำจะมีความแข็งกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้สูง ในทางกลับกันเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้สูงจะสามารถติดไฟได้ดีแต่จะมีควันมาก งานวิจัยนี้ทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและเนื่องจากวัสดุเหลือใช้มีปริมาณมากเกินความต้องการของโรงงานที่ผลิตวัตถุดิบทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตขึ้นส่งจำหน่ายไปยังโรงงานอื่น ดังนั้นเราจะพิจารณาเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ให้ค่าความร้อนและความหนาแน่นจำเพาะสูงเป็นอันดับแรกหลังจากพิจารณาอัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐาน ปริมาณเถ้าต่ำเป็นอันดับรองลงมา จากนั้นพิจารณาปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ต่ำตามลำดับ อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อน (อุณหภูมิ 75^{O}C)เป็นตัวประสาน ที่มีอัตราส่วน F(50):W(10):GH(40) ซึ่งมีองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาด < 2.0 มม.ที่อัตราส่วนผสม F(50):W(10):GH(40)

4.3 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม

อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยปาล์มมีปริมาณเถ้ามากกว่ามาตรฐานที่กำหนด จากผลวิเคราะห์โดยประมาณของตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าเส้นใยปาล์มมี

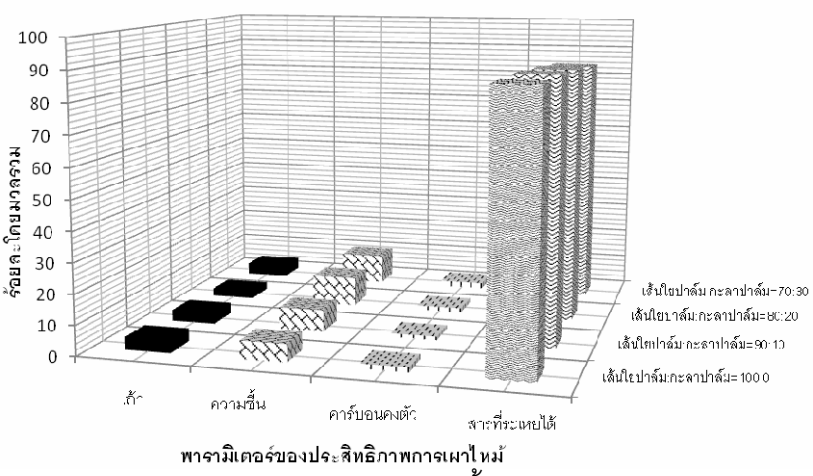
ปริมาณเถ้ามากกว่ากะลาปาล์มเกือบ 2 เท่า ดังนั้นการทดลองส่วนนี้จึงนำกะลาปาล์มผสมเส้นใยปาล์มเพื่อศึกษาว่าปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มโดยอัตราส่วนของวัตถุดิบ(เส้นใยปาล์ม:กะลาปาล์ม)= 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยมวลรวมของวัตถุดิบ ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเส้นใยผสมกะลาปาล์ม(FS)โดยเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยอย่างเดียว(F) ดังตารางที่ 4.15 ซึ่งปริมาณเถ้าของ(F)มีค่าน้อยกว่า(FS) แต่ปริมาณเถ้ามากกว่าค่ามาตรฐานสามารถประยุกต์นำไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณความชื้นของ(FS)เพิ่มตามปริมาณกะลาปาล์มที่มากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของ(FS)มีต่ำกว่า(F) และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้แปรผกผันกับปริมาณความชื้น ปริมาณคาร์บอนคงตัวของ(FS)มีค่าเพิ่มตามปริมาณกะลาปาล์มที่มากขึ้น ดังรูปที่ 4.20 ค่าความหนาแน่นจำเพาะของ(F)มีค่าน้อยกว่า(FS) เนื่องจากวัตถุดิบ 2 ชนิดมีลักษณะแตกต่างกันผสมแล้วไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และค่าความร้อนของ(F)มีค่าน้อยกว่า(FS) เพราะกะลาปาล์มให้ค่าความร้อนน้อยกว่าเส้นใยปาล์ม

ตารางที่ 4.15 ผลวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม

คุณสมบัติ / อัตราส่วน (F:S)	ร้อยละการอัดเป็นเม็ด	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว(%)
F(100):S(0)	62.57	982.2	22.50	4.23	5.92	88.26	1.59
F(90):S(10)	70.68	802.2	19.63	3.73	7.29	87.82	1.16
F(80):S(20)	70.55	774.8	19.71	2.52	9.81	86.22	1.44
F(70):S(30)	70.40	815.5	19.74	3.93	9.97	84.22	1.88
มาตรฐาน	-	> 650	> 17	< 0.5 - 3.5 %	< 10 %	-	-

หมายเหตุ: F=เส้นใยปาล์ม และ S=กะลาปาล์ม

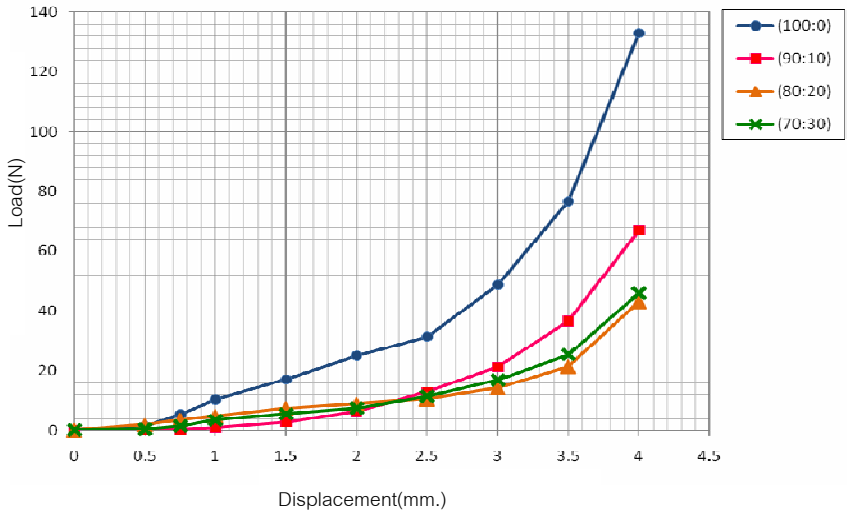
อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์และเหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม



รูปที่ 4.20 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยผสมกะลาปาล์ม โดยเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว

4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัตราส่วนเหมาะสมต้องพิจารณาความสามารถในการรับแรงด้านข้าง เนื่องจากการบรรจุภัณฑ์ การเก็บรักษา และการขนส่งเป็นการรับแรงด้านข้างมากกว่าการรับแรงตามแนวแกนหรือพื้นที่หน้าตัด จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวมีความสามารถในการรับแรงกดมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม เพราะส่วนผสมของเส้นใยปาล์มที่สานหรือเกาะกันอยู่ กราฟเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่ถูกกดกับน้ำหนักที่กดทับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะเห็นว่าที่ระยะ 0.75 – 1.5 มม.น้ำหนักที่กดทับเกือบจะเป็นเส้นตรง ดังนั้นแรงกดหรือน้ำหนักที่ระยะ 1.0 มม.จึงเป็นความสามารถในการรับแรงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยร้อยละ 80 และกะลาปาล์มร้อยละ 20 (ขนาด < 2 มม.)ใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสม(50:10:40) มีค่าเท่ากับ 4.83 N หรือ 5.37 MPa



รูปที่ 4.21 ความสามารถในการรับแรงด้านข้างของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม

4.5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าที่ได้การเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ด

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวที่อัตราส่วนผสมเหมาะสม คือ 50:10:40 โดยมีของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75 ^{O}C เป็นตัวประสาน เมื่อนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปเผาปริมาณเถ้าที่ได้มีปริมาณมากกว่ามาตรฐานร้อยละ 0.5 โดยมวลรวม วิเคราะห์หาองค์ประกอบเถ้าหลังเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งมีองค์ประกอบดังตารางที่ 4.16 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเถ้า จะเห็นว่ามีสารจำพวก ซิลิกา และอลูมินาปนอยู่ เรียกว่า วัสดุปอซโซลาน เมื่อนำวัสดุดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นตัวประสานในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ปูนซีเมนต์มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น นอกจากจะช่วยลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์แล้ว ยังช่วยลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และลดพื้นที่การกำจัดทิ้งเถ้าถ่านด้วย(ดร.สำเริง รักซ้อน,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)

ตารางที่ 4.16 องค์ประกอบของเถ้าจากการเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ธาตุวิเคราะห์	สารประกอบ	ความเข้มข้น (%)	ธาตุวิเคราะห์	สารประกอบ	ความเข้มข้น (%)
Na	Na_2O	24.736	Ca	CaO	10.217
Mg	MgO	4.824	Ti	TiO_2	0.113
Al	Al_2O_3	0.703	Mn	MnO_2	0.215
Si	SiO_2	23.299	Fe	Fe_2O_3	3.879
P	P_2O_5	7.738	Cu	CuO	0.077
S	SO_3	3.052	Zn	ZnO	0.069
Cl	Cl	7.638	Sr	SrO	0.012
K	K_2O	13.429			

ที่มา:ผลวิเคราะห์จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์มที่มีน้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรซึ่งผันแปรไปตามความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการผลิต จุดคุ้มทุนคือจุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงจุดที่มีกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสามารถแยกเป็น

ค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่และค่าใช้จ่ายแปรตาม พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยพิจารณา (1) ส่วนผสมที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบ (2) ค่าขนส่งวัตถุดิบขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบกับโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด (3) ต้นทุนในกระบวนการผลิตขึ้นกับ ขนาดโรงงาน กำลังการผลิต ค่าเครื่องมืออุปกรณ์ และค่าการดำเนินของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ต้องพิจารณาราคา-พลังงานต่อหน่วยเชื้อเพลิงอัดเม็ดความต้องการของตลาด และกลุ่มเป้าหมาย(ผู้บริโภค เช่น กลุ่มรายย่อยใช้ในครัวเรือน กลุ่มรายใหญ่ใช้ในโรงงาน เป็นต้น) รายได้ไม่จำเป็นจะต้องแปรผันกับจำนวนการผลิตหรือ ปริมาณการขายเสมอไปเพราะว่าราคาของผลิตภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องคงที่เสมอไป การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนสามารถทำได้โดยการสร้างแผนภูมิผลวิเคราะห์สามารถ (1) กำหนดเงื่อนไขในการควบคุมค่าใช้จ่าย (2) ช่วยลดค่าใช้จ่ายบางอย่างได้ (3) กำหนดจำนวนขายหรือราคาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลตามเป้าหมาย (4) วางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม จากผลการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดอัตราส่วนที่เหมาะสม(วัตถุดิบ:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)คือ 50:10:40 ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้คือ เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม น้ำอุณหภูมิ 85^{O}C และของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสาน โดยมีค่าใช้จ่ายดังแสดงในตารางที่ 4.17 ซึ่งต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดราคา 1.14 บาท/กก.เมื่อเทียบกับราคาถ่านหินที่โรงงานใช้ในปัจจุบันราคา 2 บาท/กก.ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มจึงเป็นอีกแนวทางเลือกในการใช้พลังงานทดแทน

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 10 กิโลกรัม

ชนิดของอุปกรณ์	จำนวนวัตต์ที่ใช้(วัตต์)	จำนวนครั้งในการใช้	วัตต์รวม (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์.ชั่วโมง)
เครื่องอัดเม็ดแบบเอ็กซทรูด	4,408.78 W	1	4,408.78	0.083	365.93
เครื่องผสมส่วนผสม	2,500 W	1	2,500	0.33	825
Hot plate	1,500 W	1	1,500	0.5	750
เครื่องบด	1,100 W	1	1,100	0.25	275
รวม					2215.93

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 10 กิโลกรัม(ต่อ)

คิดเป็นค่าไฟฟ้า (ค่าพลังงานไฟฟ้า 2.478 บาทต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง)	5.49 บาท
ค่าเส้นใยปาล์ม(ใช้ 4 กก. โลละ 0.5 บาท)	2 บาท
ค่ากะลาปาล์ม(ใช้ 1 กก.โลละ 0.5 บาท)	0.5 บาท
คิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดต่อ 10 กิโลกรัม แต่ประสิทธิภาพในการอัดเป็นเม็ดของอัตราส่วนที่เหมาะสมประมาณ 70%(เชื้อเพลิงที่อัดเม็ดได้ มี ประมาณ 7 กิโลกรัม)	7.99 บาท
คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อ 1 กิโลกรัม	1.14 บาท

หมายเหตุ : อัตราค่าไฟฟ้านี้สำหรับโรงงานธุรกิจขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 30 กิโลวัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้า 400 kWh หน่วยละ 2.478 บาท)

4.7 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับรายงานการศึกษาอื่นๆ(ตารางที่ 4.18) สรุปได้ดังนี้

- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลอื่นๆ ได้แก่ หญ้า ฟางข้าวสาลี ถ่านหินเลนและขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน ขี้เลื่อยไม้สน และฟางข้าว เนื่องจากตัวประสานที่ใช้(ของเสียกลีเซอรอล)มีส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลผสมอยู่ ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้สูง
- เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการศึกษานี้มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุการเกษตร ได้แก่ เปลือกถั่วพีนัท ขี้เลื่อยไม้สน ผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้าย ไม้ และฟางข้าว เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้วัตถุดิบ 2 ชนิดมีความหนาแน่นมากกว่าวัตถุดิบชนิดเดียว
- เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกถั่วพีนัท หญ้า ฟางข้าวสาลี ผลพลอยได้จากการแยกใยฝ้าย และฟางข้าว แต่มากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยไม้สน ถ่านหินเลนและขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน และไม้
- ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยมวลซึ่งความชื้นขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ

กล่าวโดยสรุปเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มมีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ดีกว่าวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรอื่นๆ

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวล

วัสดุเหลือทิ้งที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ปริมาณเถ้า (%)	ปริมาณความชื้น (%)	งานวิจัยที่อ้างอิง
ถ่านและปุ๋ยเพาะเห็ด	11-22	897	-	10.6-14.1*	Ryu C.และคณะ (2008)
เปลือกถั่วพีนัท	19.93	600-670	2.91	9.94	Fasina O.O. (2008)
หญ้า	19.20	-	2.96	8.60	Fasina O.O. (2008)
ขี้เลื่อยไม้สน	-	700-713	-	5.8-5.9	Bergstrom D.และคณะ(2006)
ฟางข้าวสาลี	14.4	-	6	4	Olsson M. (2006)
ถ่านหินเลนและขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน	17.64	-	1.3	7	Olsson M. (2006)
ขี้เลื่อยไม้สน	17.28	-	0.5	8	Olsson M. (2006)
ผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้าย	17.9-21.0	488-678	4.8-9.8	9.6-10.7	Holt G. A.และคณะ(2006)
ไม้	19.8-20.7	520-640	0.17-1.61	5.7-9.0	Obernberger I. และThek G. (2004)
ฟางข้าว	18.6-19.0	540-660	4.82-5.97	5.6-7.2	Obernberger I. และThek G. (2004)
เส้นใยและกะลาปาล์ม	19.71	775	2.52	9.8	งานวิจัยนี้
มาตรฐาน	> 17	> 650	< 0.5-3.5	<10	European Biomass Industry Association

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของขนาดอนุภาคต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

- ขนาดอนุภาคของวัสดุมีผลกับร้อยละการอัดเป็นเม็ดและความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งอนุภาคที่คละขนาดมีค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดและความหนาแน่นจำเพาะมากกว่าหรือใกล้เคียงอนุภาคที่แยกขนาด
- เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม โดยนำวัสดุมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มม. ก่อนที่จะนำมาผสมและอัดเม็ดเพื่อให้มีค่าการอัดเป็นเม็ดสูง(70.55%) และมีความหนาแน่นของเม็ดสูง(774.8 kg/m^3)

5.1.2 ผลของอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีผลกับร้อยละการอัดเป็นเม็ดโดยปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดมากขึ้นด้วย ปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีผลกับความหนาแน่นและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปในทิศทางเดียวกับร้อยละการอัดเป็นเม็ด ส่วนความร้อนที่ให้กับตัวประสานมีผลทำให้ค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ ปริมาณวัสดุ(เส้นใยปาล์ม):น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล เท่ากับ 50:10:40 ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จะมีค่าความหนาแน่น ความร้อน และคาร์บอนคงตัว เท่ากับ 982.2 kg/m^3 22.50 MJ/kg และ 1.59% ตามลำดับ ซึ่งได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด แต่พบว่าการใช้เส้นใยปาล์มเป็นวัสดุมีผลทำให้ปริมาณเถ้ายังสูงกว่ามาตรฐานอยู่จึงนำกะลาปาล์มมาผสมเส้นใยปาล์มเป็นวัสดุในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

5.1.3 อัตราส่วนผสมของเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การปรับปรุงส่วนผสมของวัสดุโดยใช้กะลาปาล์มแทนที่เส้นใยปาล์มมีผลทำให้ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดลดลง เพราะกะลาปาล์มมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเส้นใยปาล์มเกือบ 2 เท่า ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้มีแนวโน้มทิศทางเดียวกันกับปริมาณเถ้า แต่ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกะลาปาล์มที่มากขึ้นเนื่องจากกะลาปาล์มอาจดูดซึมปริมาณน้ำได้ดีกว่าเส้นใยปาล์ม ส่วนความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุ 2 ชนิดจะน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจาก

วัสดุชนิดเดียวเพราะวัสดุ 2 ชนิดที่ผสมไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และค่าความร้อนก็เช่นเดียวกับความหนาแน่น นอกจากนี้ความสามารถในการรับแรงกดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์มมีค่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียว เนื่องจากส่วนผสมของเส้นใยปาล์มที่สานหรือเกาะกันอยู่

5.1.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

เชื้อเพลิงที่ดีควรมีปริมาณเถ้าน้อย ค่าความหนาแน่นสูง ค่าความร้อนสูง ร้อยละการอัดเป็นเม็ดสูง ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าสูง และ ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้สูงจะสามารถติดไฟได้ดีแต่จะมีควันมาก ในทางกลับกันเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้ต่ำจะติดไฟยากแต่เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้ต่ำจะมีความแข็งกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีของแข็งที่ระเหยได้สูง คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วนผสม(วัสดุ:ปริมาณน้ำ:ปริมาณของเสียกลีเซอรอล)ที่เหมาะสม คือ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มต่อกะลาปาล์ม เท่ากับ 80% ต่อ 20% โดยมวลวัสดุ ขนาดอนุภาค < 2 มม.และของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 50:10:40 โดยมวลรวม ซึ่งคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ด 70.55 ความหนาแน่น 774.8 kg/m^3 ค่าความร้อน 19.71 MJ/kg ปริมาณเถ้าร้อยละ 2.52 โดยมวลรวม ความชื้นร้อยละ 9.81 โดยมวลรวม ของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 86.22 โดยมวลรวม คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.44 โดยมวลรวม และความสามารถในการรับแรงกด มีค่าเท่ากับ หรือ 5.37 MPa

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม ที่มีน้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน หลังจากกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนมีปริมาณเถ้าเหลืออยู่ควรนำไปทำเป็นวัสดุใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ต่อไป เพื่อลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและลดพื้นที่ในการกำจัดทิ้งเถ้า

2) ส่วนผสมที่เหลือจากการอัดเม็ดเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้ผสมเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดใหม่ได้ แต่คุณสมบัติต่างๆ เช่น การเกาะตัวของส่วนผสมอาจไม่ดีเทียบเท่ากับอัตราส่วนเริ่มต้น แต่ก็ยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับให้ความร้อนโดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมใหม่ให้เหมาะสม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์. 2544. กลีเซอรอล[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://msds.pcd.go.th[2544, สิงหาคม 24]

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2545. เชื้อเพลิงจากเศษวัสดุปาล์ม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th[2545, สิงหาคม 22]

กรมวิทยาศาสตร์. กองเคมี. 2545. ถ่านหินและการทดสอบคุณภาพ[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_3_2545_coal.pdf [2545, มีนาคม 5]

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. 2551. การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาเคมีเทคนิค. 2535. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้.กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2550. การศึกษาและประเมินศักยภาพแหล่งชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (อัดสำเนา)

ศักดินันท์ นันตัง, วีรยา วัชรพลากร และอังคนา วงศ์ศิริวรรณ. 2547. การผลิตเชื้อเพลิงแข็งแนวใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญา_บัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เศรษฐกาญจน์ อนุวัตรวงศ์. 2549. นวัตกรรมแห่งน้ำมันปาล์มจากโรงงานผลิตต้นแบบ[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thailandindustry.com[2549, มีนาคม 2]

สาวิตรี จันทรานุรักษ์ และ ธราพงษ์ วิทิตศานต์. การผลิตถ่านแท่งจากทะลายปาล์ม. 2545. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ 1: 135-152.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. ผลการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/mis/predict/Plmr48.html[2548, มีนาคม 3]

สำเริง จักรใจ. 2547. การเผาไหม้. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำเริง รักซ้อน. 2551. ปูนซีเมนต์ปอซโซลานลดภาวะโลกร้อน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.Thai Good View.com[2551, กันยายน 19]

อุทัย คันโธ. 2548. เอกสารการสอนชุดวิชาหลักโภชนศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 5. นนทบุรี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ภาษาอังกฤษ

Bergstrom, D., Israelsson, S., Ohman, M., Dahlqvist, S. A., Gref, R., Boman, C., and Wasterlund, I. 2008. Effect of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellet. Fuel Processing Technology.

Bhattacharya, S. C., and Shrestha, R. M. 1990. Biocoal technology and economics. Bangkok: Regional Energy Resources Information Center.

Biomass Energy Company. 2007. Coconut Palm Shell[Online]. Available from: http://www.coconut palm shell.com/Charcoal Briquettes.html[2007, May 18]

Blair, G. 2007. การทำไบโอดีเซล[Online]. Available from: http:// scratchpad.com/wiki/ไบโอดีเซล[2007, January 28]

Chavalparit, O. 2006. Clean technology for the Crude Palm Oil Industry in Thailand. PhD Thesis, Wageningen University.

Clark, T. 2006. Burning Glycerine[Online]. Available from: http://journeytoforever.org/bioodesel glycerin.html[2006, September 5]

Electric Generating Authority of Thailand. 2009. Proximate Analysis[Online]. Available from: http://www.egat.co.th[2009, April 20]

European Biomass Industry Association. 2007. Densification-related advantages[Online]. Available from: http://www eubia.org/111.0.html[2007, March 28]

Fasina, O. O. 2008. Physical properties of peanut hull pellets. Bioresource Technology 99: 1259-1266.

Geiblhofer, A. and Hahn, B. 2000. Woodpellets in Europe[Online]. Available from: http://www.energyagency.at/publ/pdf/pellets_net_en.pdf[2000, January 14]

Holt, G. A.,Blodgett, T. L., and Nakayama, F. S. 2006. Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cotton gin by-product by select processing treatments. Industrial Crops and Products 24: 204-213.

Lehtikangas, P. 2000. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass & Bioenergy 19: 287-293.

Mani, S., Tabil, L. G., and Sokhansanj, S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. Biomass & Bioenergy 30: 648-654.

Marsh, R., Griffiths, A. J., Williams, K. P., and Wilcox, S. J. 2007. Physical and thermal properties of extruded refuse derived fuel. Fuel Processing Technology 88: 701-706.

Obernberger, I., and Thek, G. 2004. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. Biomass & Bioenergy 27: 653-669.

Ohman, M., Boman, C., Hedman, H., Nordin, A., and Bostrom, D. 2004. Slagging tendencies of wood pellet ash during combustion in residential pellet burners. Biomass & Bioenergy 27: 585-596.

Olsson, M. 2006. Wheat straw and peat for fuel pellets-organic compounds from combustion. Biomass & Bioenergy 30: 555-564.

Olsson, M., and Kjallstrand, J. 2004. Emission from burning of softwood pellets. Biomass & Bioenergy 27: 607-611.

Ryu, C., Finney, K., Sharifi, V. N., and Swithenbank, J. 2008. Pelletised fuel production from coal tailings and spent mushroom compost-Part I Identification of pelletisation parameters. Fuel Processing Technology 89: 269-275.

Ryu, C., Khor, A., Sharifi, V. N., and Swithenbank, J. 2008. Pelletised fuel production from coal tailings and spent mushroom compost-Part II Economic feasibility base on cost analysis. Fuel Processing Technology 89: 276-283.

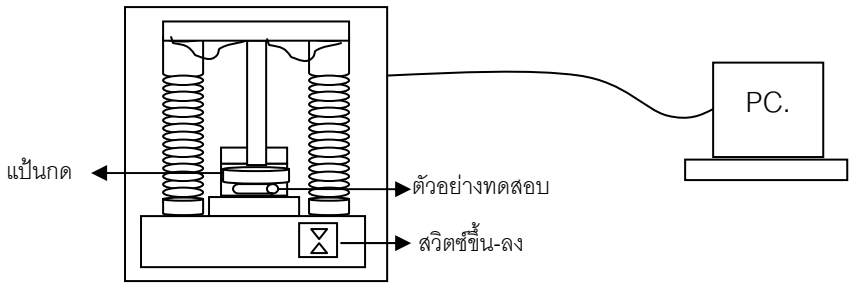
Stahl, M., Granstrom, K., Berghel, J., and Renstrom, R. 2004. Industrial processes for biomass drying and their effect on the quality properties of wood pellets. Biomass & Bioenergy 27: 621-628.

Wolf, A., Vidlund, A., and Andersson, E. 2006. Energy-efficient pellet production in the forest industry-a study of obstacles and success factors. Biomass & Bioenergy 30: 38-45.

ภาคผนวก

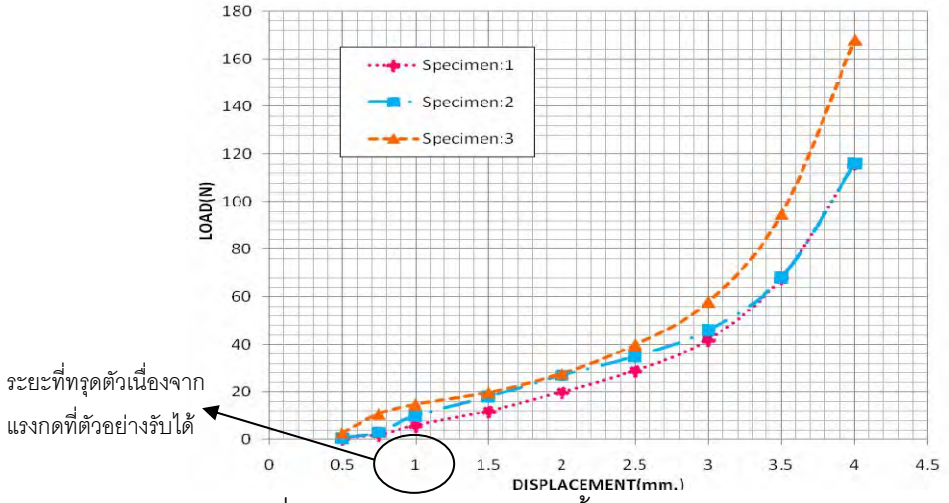
ภาคผนวก ก.
วิธีทดสอบที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ภาคผนวก ก-1 วิธีทดสอบความสามารถในการรับแรงกดด้านข้างด้วยเครื่อง Automated Materials Testing System ดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก -1 เครื่อง Automated Materials Testing System

1. นำตัวอย่างที่จะทดสอบไปวางในแนวนอนดังรูปจากนั้นปรับสวิตซ์ขึ้นลงให้แป้นกดได้ระดับกดทับตัวอย่างทดสอบ
2. ตั้งค่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบหาแรงกดทับที่ตัวอย่างสามารถรับได้โดย
   - อัตราความเร็วของแป้นกดในการกดทับตัวอย่างเท่ากับ 2.54 มม./นาที
   - ช่วงน้ำหนักที่ใช้ในการกด 5 กิโลนิวตัน
   - ระยะสูงสุดที่ใช้กดทับตัวอย่าง 4 มม.
3. เข้าสู่โปรแกรมเริ่มทดสอบ(start) แล้ว Balance Load จากนั้นค่า Load จะเท่ากับ 0 โปรแกรมจะเพิ่ม Load ขึ้นตัวอย่างจะถูกกดทับทรุดตัวลงเมื่อถึงระยะที่กำหนด(4 มม.)โปรแกรมจะหยุด และได้ค่าแรงกดที่ตัวอย่างสามารถรับได้ที่ระยะ 4 มม.แต่ตัวอย่างมีลักษณะนิ่ม ไม่แข็งทำให้น้ำหนักที่ตัวอย่างรับได้ คือ แรงกดในช่วงแรกและคงที่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 แรงกดด้านข้างของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ภาคผนวก ข.
มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ภาคผนวก ข-1 มาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดของสารเจือปน	แหล่งที่มาของสาร	ค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
1.ฝุ่นละออง	1. หม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้	
	- น้ำมันเตา	300
	- ถ่านหิน	400
	- เชื้อเพลิงอื่นๆ	400
	2. การถลุง หล่อหลอม รีดดึงและผลิต เหล็กกล้า อลูมิเนียม	300
	3. การผลิตทั่วไป	400
2.พลวง	การผลิตทั่วไป	20
3.สารหนู	การผลิตทั่วไป	20
4.ทองแดง	การผลิตทั่วไป	30
5.ตะกั่ว	การผลิตทั่วไป	30
6.คลอรีน	การผลิตทั่วไป	30
7.ไฮโดรเจนคลอไรด์	การผลิตทั่วไป	200
8.ปรอท	การผลิตทั่วไป	3
9.คาร์บอนมอนอกไซด์	การผลิตทั่วไป	1000(870 ppm)
10.กรดกำมะถัน	การผลิตทั่วไป	100(25 ppm)
11.ไฮโดรเจนซัลไฟด์	การผลิตทั่วไป	140(100 ppm)
12.ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	การผลิตกรดกำมะถัน	1300(500 ppm)
13.ออกไซด์ของไนโตรเจน	หม้อน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดังนี้	
	- ถ่านหิน	940(500 ppm)
	- เชื้อเพลิง	470(250 ppm)
14.ไซลีน	การผลิตทั่วไป	870(200 ppm)
15.ครีซอล	การผลิตทั่วไป	22(5 ppm)
16.ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	น้ำมันเตา	1250ppm

หมายเหตุ:ระดับปริมาณของสารแต่ละชนิดที่เจือปนในอากาศให้คิดเทียบกับ 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 25^{O}C

:ใช้บังคับเฉพาะโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรสาคร นครปฐม ชลบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา กระบี่ ภูเก็ต)

ที่มา:กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ภาคผนวก ค.
ข้อมูลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

ตารางที่ ค – 1 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด (กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	G				
1*	50	0	50	140	1,130	870	73.7374
2	50	0	50	140	1,090	830	72.6316
3*	50	10	40	140	1,110	820	70.1031
4	50	10	40	150	1,090	800	69.1489
5	50	20	30	140	1,140	770	63.0000
6	60	0	40	150	1,120	660	52.5773
7	60	10	30	140	1,120	620	48.9796
8	60	20	20	145	1,100	520	39.2670
9	70	0	30	140	1,100	270	13.5417
10	70	10	20	145	1,100	320	18.3246
11	70	20	10	140	1,100	290	15.6250
12	80	0	20	145	1,120	-	-
13	80	10	10	150	1,100	-	-

หมายเหตุ : เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

: เครื่องหมาย – สูตรที่ไม่สามารถอัดเชื้อเพลิงให้เป็นเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม

: น้ำหนักรวมหลังอัดเม็ดเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังตากแดด เนื่องจากหลังตากแดดเม็ดเชื้อเพลิงจะแข็งสะดวกต่อการคัดแยก

: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 2 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	G				
1	50	0	50	150	1,150	830	68.0000
2	50	10	40	148	1,148	760	61.2000
3	50	20	30	140	1,140	750	61.0000
4	60	0	40	150	1,080	520	39.7849
5	60	10	30	145	1,100	380	24.6073
6	60	20	20	150	1,120	500	36.0825

ตารางที่ ค – 3 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	GH				
1	50	0	50	145	1,030	670	59.3220
2	50	10	40	145	1,050	655	56.3536
3	50	20	30	150	1,090	635	51.5957
4	60	0	40	150	1,070	610	50.0000
5	60	10	30	150	1,085	535	41.1765
6	60	20	20	300	1,230	595	31.7204
7	70	0	30	145	1,090	170	2.6455
8	70	10	20	140	1,080	165	2.6596
9	70	20	10	150	1,100	170	2.1053
10	80	0	20	145	1,080	-	-
11	80	10	10	150	1,080	-	-

หมายเหตุ: เครื่องหมาย – สูตรที่ไม่สามารถอัดเชื้อเพลิงให้เป็นเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม

: น้ำหนักรวมหลังอัดเม็ดเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังตากแดด เนื่องจากหลังตากแดดเม็ดเชื้อเพลิงจะแข็งสะดวกต่อการคัดแยก

: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล, GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 4 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	G				
1	50	0	50	140	1,110	530	40.2062
2	50	10	40	150	1,130	550	40.8163
3	50	20	30	140	1,030	460	35.9551
4	60	0	40	150	1,050	520	41.1111
5	60	10	30	150	1,110	620	48.9583
6	60	20	20	140	1,090	155	1.5789
7	70	0	30	140	1,100	180	4.1667
8	70	10	20	350	1,220	370	2.2989
9	70	20	10	150	1,110	175	2.6042
10	80	0	20	150	1,060	-	-
11	80	10	10	145	1,090	-	-

ตารางที่ ค – 5 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด (กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	GH				
1	50	0	50	150	1,050	270	13.3333
2	50	10	40	150	1,055	170	2.2099
3	50	20	30	140	1,070	155	1.6129
4	60	0	40	140	1,075	205	6.9519
5	60	10	30	145	1,090	160	1.5873
6	60	20	20	140	1,055	150	1.0929
7	70	0	30	145	1,080	175	3.2086
8	70	10	20	145	1,065	155	1.0870
9	70	20	10	140	1,085	150	1.0582
10	80	0	20	140	1,060	-	-
11	80	10	10	150	1,080	-	-

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล, GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 6 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด (กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของที่สามารถอัดได้
	F	W	G				
1	50	0	50	240	1,180	910	71.2766
2	50	10	40	330	1,260	950	66.6667
3	50	20	30	330	1,250	920	64.1304
4	60	0	40	260	1,180	920	71.7391
5	60	10	30	300	1,200	920	68.8889
6	60	20	20	145	1,095	560	43.6842
7	70	0	30	300	1,230	655	38.1720
8	70	10	20	300	1,250	610	32.6316
9	70	20	10	340	1,280	720	40.4255
10	80	0	20	280	1,210	-	-
11	80	10	10	300	1,240	-	-

ตารางที่ ค – 7 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	W	GH				
1	50	0	50	145	1,060	745	65.5738
2	50	10	40	145	1,040	705	62.5698
3	50	20	30	145	1,065	685	58.6957
4	60	0	40	150	1,065	820	73.2240
5	60	10	30	145	1,055	590	48.9011
6	60	20	20	145	1,055	435	31.8681
7	70	0	30	145	1,045	300	17.2222
8	70	10	20	145	1,070	400	27.5676
9	70	20	10	145	1,085	225	8.5106
10	80	0	20	140	1,060	-	-
11	80	10	10	150	1,080	-	-

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล, GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 8 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค <0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m3)
	F	W	G						
1*	50	0	50	3.290	0.9050	0.610	0.9619	0.9409	1041.0765 ± 128.31
				2.390	0.7311	0.625	0.7335	0.9967	
				2.735	0.9637	0.615	0.8128	1.1857	
2	50	0	50	2.690	0.6344	0.610	0.7865	0.8067	879.7750 ± 79.90
				2.220	0.5268	0.590	0.6072	0.8676	
				2.500	0.6377	0.580	0.6608	0.9651	
3*	50	10	40	2.100	0.4793	0.575	0.5455	0.8786	880.4307 ± 31.47
				1.820	0.4621	0.595	0.5063	0.9128	
				2.510	0.6237	0.610	0.7338	0.8499	
4	50	10	40	3.575	0.7616	0.565	0.8967	0.8494	857.4556 ± 26.68
				2.795	0.6898	0.595	0.7775	0.8872	
				3.630	0.8439	0.595	1.0097	0.8358	
5	50	20	30	2.480	0.4816	0.615	0.7370	0.6535	708.3211 ± 52.17
				2.060	0.3844	0.560	0.5076	0.7573	
				1.935	0.3590	0.575	0.5027	0.7142	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

ตารางที่ ค – 8 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค<0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที(ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)	Bulk Density เฉลี่ย±SD (kg/m3)
	F	W	G						
6	60	0	40	2.220	0.5048	0.595	0.6175	0.8175	735.8707 ± 94.49
				1.565	0.3640	0.625	0.4803	0.7578	
				1.220	0.2330	0.620	0.3685	0.6323	
7	60	10	30	2.260	0.4332	0.610	0.6607	0.6556	752.1581 ± 117.61
				1.730	0.3512	0.600	0.4893	0.7177	
				1.030	0.2573	0.600	0.2913	0.8832	
8	60	20	20	1.670	0.2892	0.610	0.4882	0.5923	579.5911 ± 54.38
				1.935	0.2846	0.600	0.5473	0.5200	
				1.140	0.2088	0.610	0.3333	0.6265	
9	70	0	30	1.045	0.2639	0.625	0.3207	0.8228	796.1186 ± 56.23
				1.035	0.2106	0.595	0.2879	0.7315	
				0.930	0.2194	0.600	0.2631	0.8340	
10	70	10	20	1.500	0.2888	0.600	0.4243	0.6807	729.4740 ± 44.89
				1.105	0.2195	0.585	0.2971	0.7387	
				1.070	0.2566	0.630	0.3337	0.7690	
11	70	20	10	1.515	0.2707	0.620	0.4576	0.5916	655.2477 ± 77.57
				1.370	0.2330	0.585	0.3684	0.6325	
				1.000	0.2204	0.615	0.2972	0.7416	
12	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป					
13	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป					

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 9 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค<0.5 มม. โดยใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m3)
	F	W	G						
1	50	0	50	2.695	0.8679	0.620	0.8140	1.0663	1000.2303 ± 70.26
				3.145	0.8518	0.610	0.9195	0.9264	
				2.250	0.6309	0.595	0.6259	1.0080	
2	50	10	40	2.530	0.6858	0.595	0.7038	0.9745	878.0878 ± 84.70
				2.730	0.6090	0.590	0.7467	0.8156	
				2.210	0.4931	0.580	0.5841	0.8442	
3	50	20	30	1.995	0.3572	0.570	0.5093	0.7014	732.5313 ± 42.70
				2.095	0.4105	0.565	0.5255	0.7812	
				2.070	0.3912	0.580	0.5471	0.7150	
4	60	0	40	2.025	0.4288	0.590	0.5539	0.7742	705.9309 ± 64.48
				1.280	0.2579	0.630	0.3992	0.6461	
				0.995	0.2029	0.610	0.2909	0.6975	
5	60	10	30	1.900	0.3639	0.615	0.5646	0.6445	684.5972 ± 43.85
				1.000	0.2114	0.630	0.3119	0.6779	
				1.515	0.3293	0.615	0.4502	0.7314	
6	60	20	20	1.400	0.2396	0.620	0.4228	0.5666	710.9556 ± 228.79
				2.410	0.4375	0.625	0.7397	0.5915	
				1.190	0.3119	0.585	0.3200	0.9747	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 10 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค<0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m^3)
	F	W	GH						
1	50	0	50	2.565	0.5759	0.630	0.7999	0.7200	803.3766 ± 72.30
				2.380	0.5902	0.610	0.6958	0.8482	
				1.770	0.3939	0.580	0.4678	0.8420	
2	50	10	40	3.530	0.8499	0.610	1.0320	0.8235	766.4646 ± 51.46
				2.540	0.5587	0.610	0.7426	0.7524	
				1.565	0.3097	0.590	0.4280	0.7235	
3	50	20	30	2.765	0.5831	0.595	0.7691	0.7581	711.6534 ± 40.73
				2.145	0.4420	0.620	0.6479	0.6823	
				1.140	0.1986	0.565	0.2859	0.6946	
4	60	0	40	1.625	0.3143	0.620	0.4908	0.6404	690.8272 ± 44.01
				1.660	0.3563	0.620	0.5014	0.7107	
				1.140	0.2484	0.620	0.3443	0.7214	
5	60	10	30	2.460	0.4605	0.580	0.6502	0.7082	664.9768 ± 45.81
				1.875	0.3327	0.605	0.5392	0.6170	
				1.540	0.3115	0.620	0.4651	0.6697	
6	60	20	20	1.915	0.3318	0.610	0.5599	0.5926	618.7745 ± 29.21
				1.620	0.3198	0.640	0.5214	0.6134	
				1.220	0.2435	0.625	0.3744	0.6503	
7	70	0	30	0.620	0.0970	0.610	0.1813	0.5351	547.2488 ± 85.80
				0.895	0.1286	0.625	0.2747	0.4682	
				1.040	0.1847	0.595	0.2893	0.6385	
8	70	10	20	0.960	0.1646	0.620	0.2899	0.5677	683.5670 ± 167.21
				1.060	0.2009	0.630	0.3306	0.6078	
				0.895	0.2179	0.595	0.2490	0.8753	
9	70	20	10	1.350	0.1624	0.590	0.3692	0.4398	386.1417 ± 54.37
				0.940	0.0910	0.610	0.2748	0.3311	
				0.784	0.0845	0.595	0.2181	0.3875	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 11 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m3)
	F	W	G						
1	50	0	50	1.830	0.3539	0.625	0.5617	0.6301	594.1416 ± 162.88
				0.965	0.2215	0.630	0.3009	0.7360	
				1.380	0.1598	0.595	0.3839	0.4163	
2	50	10	40	1.290	0.2315	0.645	0.4217	0.5490	527.4265 ± 29.31
				1.020	0.1608	0.610	0.2982	0.5392	
				1.650	0.2502	0.625	0.5064	0.4941	
3	50	20	30	1.645	0.2162	0.575	0.4273	0.5059	523.7412 ± 31.50
				1.260	0.1861	0.610	0.3684	0.5052	
				0.955	0.1463	0.590	0.2612	0.5601	
4	60	0	40	1.305	0.1793	0.630	0.4070	0.4406	482.6764 ± 36.47
				0.910	0.1338	0.610	0.2661	0.5029	
				1.805	0.2840	0.630	0.5629	0.5045	
5	60	10	30	1.340	0.1930	0.620	0.4047	0.4769	475.1125 ± 7.05
				1.130	0.1469	0.595	0.3143	0.4674	
				0.910	0.1280	0.610	0.2661	0.4811	
6	60	20	20	1.050	0.1266	0.605	0.3020	0.4192	493.5126 ± 66.43
				0.860	0.1244	0.580	0.2273	0.5473	
				0.710	0.1067	0.610	0.2076	0.5140	
7	70	0	30	1.055	0.1332	0.625	0.3238	0.4114	461.5051 ± 59.84
				0.920	0.1198	0.610	0.2690	0.4454	
				0.985	0.1446	0.595	0.2740	0.5278	
8	70	10	20	0.775	0.1257	0.640	0.2494	0.5040	452.3836 ± 47.61
				0.750	0.1103	0.650	0.2490	0.4430	
				0.975	0.1287	0.640	0.3138	0.4102	
9	70	20	10	1.245	0.1798	0.580	0.3291	0.5464	489.2381 ± 66.32
				1.025	0.1374	0.640	0.3299	0.4165	
				0.730	0.1113	0.620	0.2205	0.5048	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม(palm fiber) , W คือ น้ำ และ G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 12 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 - 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m3)
	F	W	GH						
1	50	0	50	1.540	0.2529	0.630	0.4802	0.5266	590.9826 ± 120.13
				1.010	0.2522	0.660	0.3457	0.7296	
				0.970	0.1768	0.670	0.3421	0.5168	
2	50	10	40	1.205	0.2083	0.640	0.3878	0.5371	505.3712 ± 43.42
				0.830	0.1180	0.630	0.2588	0.4559	
				1.150	0.1936	0.640	0.3701	0.5231	
3	50	20	30	0.905	0.1309	0.580	0.2392	0.5472	439.8633 ± 93.52
				0.790	0.1039	0.650	0.2623	0.3962	
				0.970	0.0998	0.590	0.2653	0.3762	
4	60	0	40	1.415	0.2262	0.630	0.4413	0.5126	461.5178 ± 44.89
				1.480	0.1919	0.610	0.4327	0.4435	
				1.235	0.1624	0.625	0.3790	0.4284	
5	60	10	30	1.360	0.1836	0.650	0.4515	0.4067	427.2534 ± 20.19
				1.045	0.1395	0.630	0.3259	0.4281	
				0.750	0.1029	0.625	0.2302	0.4470	
6	60	20	20	1.105	0.1377	0.645	0.3612	0.3812	366.3534 ± 15.65
				0.925	0.1125	0.665	0.3214	0.3500	
				0.840	0.0994	0.640	0.2703	0.3678	
7	70	0	30	0.935	0.1256	0.665	0.3249	0.3866	395.2275 ± 20.30
				0.790	0.0983	0.645	0.2582	0.3807	
				0.655	0.0882	0.640	0.2108	0.4184	
8	70	10	20	1.195	0.1558	0.655	0.4028	0.3868	404.7473 ± 15.62
				0.940	0.1275	0.645	0.3073	0.4150	
				0.720	0.0941	0.635	0.2281	0.4125	
9	70	20	10	0.685 0.710 0.890	0.0725 0.0907 0.0982	0.635 0.680 0.665	0.2170 0.2580 0.3092	0.3341 0.3516 0.3176	334.4112 ± 17.03

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม(palm fiber) ,W คือ น้ำ ,GHคือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 13 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค< 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m^3)
	F	W	G						
1	50	0	50	2.960	0.717	0.620	0.8940	0.8020	893.9441 ± 98.54
				2.524	0.7731	0.625	0.7747	0.9980	
				1.330	0.3429	0.610	0.3888	0.8818	
2	50	10	40	2.715	0.7156	0.625	0.8333	0.8588	790.3856 ± 60.86
				1.290	0.2799	0.610	0.3771	0.7421	
				4.170	0.9858	0.625	1.2799	0.7702	
3	50	20	30	3.735	0.8560	0.610	1.0920	0.7839	742.1169 ± 95.46
				2.295	0.5794	0.630	0.7157	0.8096	
				1.485	0.2793	0.615	0.4413	0.6329	
4	60	0	40	4.320	1.1628	0.635	1.3687	0.8496	775.7127 ± 91.64
				3.000	0.6940	0.605	0.8628	0.8044	
				1.840	0.3741	0.620	0.5557	0.6732	
5	60	10	30	2.980	0.7049	0.635	0.9441	0.7466	682.7897 ± 56.42
				2.395	0.4552	0.615	0.7117	0.6396	
				1.625	0.3250	0.620	0.4908	0.6622	
6	60	20	20	2.360	0.4543	0.590	0.6455	0.7038	691.5252 ± 55.97
				1.840	0.4248	0.630	0.5738	0.7403	
				1.530	0.3202	0.650	0.5079	0.6304	
7	70	0	30	1.265	0.2453	0.595	0.3519	0.6971	688.1073 ± 21.03
				1.910	0.3991	0.615	0.5676	0.7031	
				2.375	0.4687	0.615	0.7058	0.6641	
8	70	10	20	2.665	0.4683	0.650	0.8847	0.5293	542.9486 ± 29.43
				1.980	0.3228	0.630	0.6175	0.5228	
				1.290	0.2247	0.620	0.3896	0.5767	
9	70	20	10	1.395	0.2555	0.610	0.4078	0.6265	624.2418 ± 42.99
				1.270	0.1881	0.570	0.3242	0.5802	
				1.140	0.2220	0.610	0.3333	0.6661	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม(palm fiber) ,W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 14 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค< 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	Bulk Density เฉลี่ย±SD (kg/m^3)
	F	W	GH						
1	50	0	50	3.735	1.0063	0.610	1.0920	0.9215	992.6355 ± 61.97
				2.390	0.7115	0.605	0.6873	1.0351	
				1.475	0.4332	0.605	0.4242	1.0212	
2	50	10	40	3.740	0.9082	0.585	1.0057	0.9031	982.2176 ± 108.89
				2.650	0.7354	0.565	0.6647	1.1064	
				1.820	0.4278	0.565	0.4565	0.9371	
3	50	20	30	4.180	1.0432	0.630	1.3035	0.8003	867.1612 ± 131.68
				2.635	0.7096	0.580	0.6965	1.0189	
				1.480	0.2752	0.550	0.3518	0.7823	
4	60	0	40	3.630	0.8992	0.605	1.0440	0.8613	915.9859 ± 91.46
				2.410	0.5799	0.595	0.6704	0.8650	
				1.690	0.4722	0.590	0.4622	1.0216	
5	60	10	30	2.340	0.5095	0.605	0.6730	0.7571	648.9456 ± 95.89
				1.795	0.3164	0.625	0.5509	0.5743	
				0.970	0.1803	0.620	0.2930	0.6154	
6	60	20	20	2.125	0.3694	0.610	0.6213	0.5946	612.0849 ± 22.02
				2.150	0.3740	0.605	0.6183	0.6049	
				1.505	0.2802	0.610	0.4400	0.6368	
7	70	0	30	0.710	0.1257	0.620	0.2144	0.5862	548.8244 ± 40.35
				0.925	0.1391	0.615	0.2749	0.5060	
				1.060	0.1746	0.615	0.3150	0.5543	
8	70	10	20	0.950	0.1651	0.605	0.2732	0.6043	620.8643 ± 14.86
				1.475	0.2922	0.635	0.4673	0.6253	
				1.850	0.3537	0.620	0.5588	0.6330	
9	70	20	10	0.975	0.1626	0.620	0.2945	0.5522	560.5235 ± 21.84
				1.160	0.1857	0.590	0.3173	0.5853	
				1.405	0.2235	0.610	0.4108	0.5441	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม(palm fiber) ,W คือ น้ำ ,GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 15 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอล	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1*	50	0	50	4144.3	4158.6	4151.5	17.38±0.04
2	50	0	50	5208.9	5189.4	5199.2	21.77±0.06
3*	50	10	40	4248.6	4228.1	4238.4	17.75±0.06
4	50	10	40	5166.4	5134.2	5150.3	21.57±0.10
5	50	20	30	5092.3	5100.3	5096.3	21.34±0.02
6	60	0	40	5198.1	5186.6	5192.4	21.74±0.03
7	60	10	30	5035.6	5042.8	5039.2	21.10±0.02
8	60	20	20	4925.8	4933.8	4929.8	20.64±0.02
9	70	0	30	4980.9	4976.8	4978.9	20.85±0.01
10	70	10	20	4862.6	4876.3	4869.5	20.39±0.04
11	70	20	10	4760.7	4763.2	4762.0	19.94±0.01
12	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
13	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

ตารางที่ ค – 16 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอล	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1	50	0	50	5217.6	5235.5	5226.6	21.89±0.05
2	50	10	40	5098.9	5109.9	5104.4	21.38±0.03
3	50	20	30	4984.4	4994	4989.2	20.89±0.03
4	60	0	40	5165.2	5175.4	5170.3	21.65±0.03
5	60	10	30	5030.8	5014.1	5022.5	21.03±0.05
6	60	20	20	4862.7	4914.2	4888.5	20.47±0.15

หมายเหตุ: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

: ค่าความร้อนที่เป็นมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 17 MJ/kg

ที่มา : ผลวิเคราะห์จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(29/04/51)

ตารางที่ ค – 17 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอลร้อน	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1	50	0	50	5402.1	5376.3	5389.2	22.57±0.08
2	50	10	40	5499.4	5532.5	5516.0	23.10±0.10
3	50	20	30	4962.7	5024.5	4993.6	20.91±0.18
4	60	0	40	5534.3	5518.7	5526.5	23.14±0.05
5	60	10	30	5327.7	5296.6	5312.2	22.25±0.09
6	60	20	20	5288.7	5289.0	5288.9	22.15±0.00
7	70	0	30	5324.0	5402.4	5363.2	22.46±0.23
8	70	10	20	5359.1	5293.2	5326.2	22.30±0.20
9	70	20	10	4870.7	4854.0	4862.4	20.36±0.05
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

ตารางที่ ค – 18 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอล	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1	50	0	50	5053.1	5036.1	5044.6	21.12±0.05
2	50	10	40	5075.3	5100.1	5087.7	21.31±0.07
3	50	20	30	5085.9	5076.4	5081.2	21.28±0.03
4	60	0	40	5101.7	5105.0	5103.4	21.37±0.01
5	60	10	30	4880.1	4872.4	4876.3	20.42±0.02
6	60	20	20	4741.9	4745.4	4743.7	19.86±0.01
7	70	0	30	4853.9	4847.3	4850.6	20.31±0.02
8	70	10	20	4884.1	4878.9	4881.5	20.44±0.02
9	70	20	10	4598.3	4616.3	4607.3	19.29±0.05
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: ค่าความร้อนที่เป็นมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 17 MJ/kg

ตารางที่ ค – 19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอลร้อน	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1	50	0	50	5232.0	5210.2	5221.1	21.86±0.06
2	50	10	40	5142.6	5186.5	5164.6	21.63±0.13
3	50	20	30	5093.4	5074.7	5084.1	21.29±0.06
4	60	0	40	5109.1	5108.3	5108.7	21.39±0.00
5	60	10	30	5026.1	5032.6	5029.4	21.06±0.02
6	60	20	20	4757.8	4805.0	4781.4	20.02±0.14
7	70	0	30	4883.5	4895.9	4889.7	20.48±0.04
8	70	10	20	4990.3	4997.4	4993.9	20.91±0.02
9	70	20	10	4632.7	4689.3	4661.0	19.52±0.17
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

ตารางที่ ค – 20 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอล	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD MJ/kg
1	50	0	50	5191.1	5177.0	5184.1	21.71±0.04
2	50	10	40	5135.2	5130.1	5132.7	21.49±0.02
3	50	20	30	4946.4	4952.1	4949.3	20.73±0.02
4	60	0	40	5267.4	5265.8	5266.6	22.05±0.00
5	60	10	30	4990.1	5012.9	5001.5	20.94±0.07
6	60	20	20	4812.0	4818.8	4815.4	20.16±0.02
7	70	0	30	4871.2	4867.0	4869.1	20.39±0.01
8	70	10	20	4767.0	4774.8	4770.9	19.98±0.02
9	70	20	10	4686.6	4707.1	4696.9	19.67±0.06
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: ค่าความร้อนที่เป็นมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 17 MJ/kg

ตารางที่ ค – 21 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด			ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	น้ำ	ของเสียกลีเซอรอล	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD	
						(cal/g)	MJ/kg
1	50	0	50	5522.5	5521.1	5521.8	23.12±0.00
2	50	10	40	5369.0	5378.8	5373.9	22.50±0.03
3	50	20	30	4946.2	4953.0	4949.6	20.73±0.02
4	60	0	40	5254.2	5255.0	5254.6	22.00±0.00
5	60	10	30	5096.3	5123.7	5110.0	21.40±0.08
6	60	20	20	4939.2	4954.9	4947.1	20.72±0.05
7	70	0	30	4784.0	4781.0	4782.5	20.03±0.01
8	70	10	20	4688.2	4693.2	4690.7	19.64±0.01
9	70	20	10	4573.5	4575.5	4574.5	19.16±0.01
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: ค่าความร้อนที่เป็นมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 17 MJ/kg

ตารางที่ ค – 22 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD % ASH
	F	W	G					
1*	50	0	50	34.4204	35.7612	34.4643	3.2742	3.2013 ± 0.11
				27.0762	29.0949	27.1418	3.2496	
				35.3080	37.2852	35.3689	3.0801	
2	50	0	50	29.4207	30.9605	29.4991	5.0916	5.0913 ± 0.09
				32.3976	34.6803	32.5117	4.9985	
				32.5612	34.3166	32.6522	5.1840	
3*	50	10	40	33.3657	34.3688	33.3973	3.1502	3.3568 ± 0.19
				27.164	28.2756	27.2033	3.5354	
				32.8676	33.6092	32.8927	3.3846	
4	50	10	40	31.6875	32.6617	31.7383	5.2145	5.0667 ± 0.16
				31.5574	32.8036	31.6208	5.0875	
				34.7049	35.4991	34.7438	4.8980	
5	50	20	30	29.1688	30.0547	29.2136	5.0570	5.1183 ± 0.06
				30.9066	31.7032	30.9474	5.1218	
				28.4532	29.5158	28.5082	5.1760	
6	60	0	40	31.6218	32.5414	31.67004	5.2458	5.0212 ± 0.39
				35.2383	35.9721	35.2718	4.5653	
				29.3583	30.2893	29.4072	5.2524	
7	60	10	30	32.3272	33.3867	32.3841	5.3705	4.7336 ± 0.89
				28.3774	29.3358	28.4130	3.7145	
				29.1110	30.2838	29.1710	5.1160	
8	60	20	20	30.3731	31.4008	30.4293	5.4685	5.3438 ± 0.35
				32.8027	33.6214	32.8432	4.9469	
				28.3912	29.3474	28.4449	5.6160	
9	70	0	30	27.9490	28.4461	27.9762	5.4717	5.3382 ± 0.14
				26.0636	26.6576	26.0944	5.1852	
				25.7391	26.6145	25.7860	5.3576	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

ตารางที่ ค – 22 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที(ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD % ASH
	F	W	G					
10	70	10	20	16.2167	16.9162	16.2595	6.1187	5.9208 ± 0.17
				14.6717	15.5073	14.7201	5.7922	
				16.6730	17.5924	16.7268	5.8516	
11	70	20	10	14.3082	14.9266	14.3434	5.6921	5.7376 ± 0.23
				14.2426	14.9258	14.2804	5.5328	
				15.6450	16.7205	15.7094	5.9879	

ตารางที่ ค – 23 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	G					
1	50	0	50	30.4408	31.3160	30.4857	5.1303	5.0786 ± 0.05
				30.4410	31.7109	30.5050	5.0398	
				31.2085	32.5153	31.2747	5.0658	
2	50	10	40	32.1936	33.7022	32.2723	5.2168	5.0470 ± 0.15
				35.2688	36.5396	35.3315	4.9339	
				26.1471	27.7903	26.2291	4.9903	
3	50	20	30	14.6003	15.1918	14.6318	5.3254	4.7105 ± 0.84
				16.0646	19.9614	16.2109	3.7544	
				17.4314	18.2806	17.4743	5.0518	
4	60	0	40	27.1057	27.9359	27.1502	5.3602	5.2746 ± 0.15
				27.0185	27.8587	27.0636	5.3678	
				30.8412	31.4456	30.8720	5.0960	
5	60	10	30	30.6082	31.5787	30.6615	5.4920	5.4301 ± 0.07
				31.4898	32.4935	31.5436	5.3602	
				29.5146	30.4506	29.5655	5.4380	
6	60	20	20	31.1519	32.1890	31.2050	5.1200	5.1022 ± 0.38
				33.3001	34.0251	33.3343	4.7172	
				34.6298	35.5330	34.6792	5.4694	

ตารางที่ ค – 24 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากใช้เส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (%ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	GH					
1	50	0	50	29.1639	31.8202	29.3135	5.6319	5.6914 ± 0.19
				19.3427	21.2987	19.4581	5.8998	
				16.2211	18.4565	16.3450	5.5426	
2	50	10	40	27.0986	28.2677	27.1624	5.4572	5.7437 ± 0.33
				31.9702	33.4561	32.0608	6.0973	
				34.4204	37.4733	34.5937	5.6766	
3	50	20	30	24.9846	26.2459	25.0494	5.1376	5.4664 ± 0.36
				28.4542	31.6398	28.6266	5.4119	
				16.3132	18.1987	16.4235	5.8499	
4	60	0	40	31.2010	33.7666	31.3408	5.4490	5.9027 ± 0.47
				19.8328	21.4329	19.9267	5.8684	
				40.6750	41.8924	40.7528	6.3907	
5	60	10	30	31.2845	34.5827	31.4776	5.8547	5.9141 ± 0.30
				24.0327	25.1756	24.0972	5.6435	
				14.0532	16.1048	14.1813	6.2439	
6	60	20	20	29.2084	30.2121	29.2704	6.1771	6.1780 ± 0.06
				18.9810	19.2406	18.9972	6.2404	
				31.8621	34.6513	32.0327	6.1164	
7	70	0	30	30.4344	32.4595	30.5545	5.9306	5.9909 ± 0.06
				19.9877	21.9424	20.1048	5.9907	
				17.4469	18.6962	17.5225	6.0514	
8	70	10	20	34.3206	36.6166	34.4665	6.3545	6.4141 ± 0.08
				24.9956	26.2347	25.0747	6.3837	
				27.5925	28.7210	27.6659	6.5042	
9	70	20	10	31.7250	33.4604	31.8390	6.5691	6.6277 ± 0.26
				32.5049	33.6700	32.5795	6.4029	
				19.0765	20.2413	19.1570	6.9111	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 25 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	G					
1	50	0	50	31.6882	32.3529	31.7113	3.4753	3.5063 ± 0.03
				35.3007	36.1482	35.3306	3.5280	
				20.3881	21.4576	20.4257	3.5157	
2	50	10	40	28.3721	29.0129	28.3944	3.4800	3.4915 ± 0.52
				29.4268	30.2934	29.4616	4.0157	
				19.4884	21.3750	19.5446	2.9789	
3	50	20	30	30.4411	31.0555	30.4657	4.0039	3.6248 ± 0.36
				33.5987	34.0849	33.6161	3.5788	
				28.3522	29.5643	28.3921	3.2918	
4	60	0	40	29.8047	30.3910	29.8297	4.2640	4.1492 ± 0.11
				30.9073	31.6140	30.9365	4.1319	
				16.4516	17.8510	16.5083	4.0517	
5	60	10	30	36.7453	37.4482	36.77160	3.7416	3.5088 ± 0.28
				34.1907	34.7823	34.2119	3.5835	
				29.4538	30.6034	29.4906	3.2011	
6	60	20	20	35.3651	36.0167	35.3917	4.0823	4.0368 ± 0.42
				31.9127	33.9550	32.0032	4.4313	
				35.8532	37.2767	35.9044	3.5968	
7	70	0	30	29.1676	29.6176	29.1836	3.5556	3.5438 ± 0.26
				30.9094	32.2458	30.9532	3.2775	
				19.4631	20.6636	19.5087	3.7984	
8	70	10	20	17.0588	19.6142	17.1575	3.8624	3.7811 ± 0.07
				14.9396	16.3707	14.9932	3.7454	
				32.7321	34.2660	32.7894	3.7356	
9	70	20	10	32.3981	32.8397	32.4152	3.8723	3.8823 ± 0.13
				31.6870	32.7093	31.7281	4.0203	
				29.2209	30.4595	29.2674	3.7542	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 26 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลบางจากร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	GH					
1	50	0	50	31.6870	33.6053	31.7701	4.3320	4.3653 ± 0.08
				26.2993	28.3418	26.3872	4.3035	
				19.3452	21.9526	19.4615	4.4604	
2	50	10	40	29.5808	31.2993	29.6585	4.5214	4.5519 ± 0.03
				28.7043	29.9311	28.7602	4.5566	
				24.5198	25.6907	24.5734	4.5777	
3	50	20	30	36.7503	38.5711	36.8321	4.4925	4.5261 ± 0.06
				32.1324	33.9134	32.2143	4.5985	
				29.4667	30.5921	29.5172	4.4873	
4	60	0	40	30.2619	31.5207	30.3155	4.2580	4.2804 ± 0.02
				24.9843	26.0540	25.0302	4.2909	
				33.6329	34.7931	33.6827	4.2924	
5	60	10	30	28.9303	30.2577	28.9992	5.1906	5.0116 ± 0.46
				21.5927	22.8018	21.6574	5.3511	
				30.2155	31.6711	30.2809	4.4930	
6	60	20	20	19.3448	20.6949	19.4142	5.1404	5.2166 ± 0.07
				32.6902	34.0187	32.7598	5.2390	
				29.7032	30.9251	29.7676	5.2705	
7	70	0	30	21.9982	23.1484	22.0592	5.3034	5.3333 ± 0.04
				24.5967	25.7980	24.6606	5.3192	
				30.1168	31.4502	30.1885	5.3772	
8	70	10	20	26.3264	27.6159	26.3910	5.0097	4.8559 ± 0.15
				21.5235	22.8026	21.5854	4.8393	
				33.0008	34.2914	33.0617	4.7187	
9	70	20	10	28.9323	30.2645	28.9994	5.0368	5.1522 ± 0.14
				30.1251	31.4277	30.1916	5.1052	
				18.4327	19.6219	18.4959	5.3145	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 27 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	G					
1	50	0	50	27.1633	28.4241	27.2219	4.6478	4.6582 ± 0.05
				38.1088	40.1719	38.204	4.6144	
				32.8677	33.8884	32.9158	4.7125	
2	50	10	40	30.6868	32.0644	30.7516	4.7038	4.6280 ± 0.07
				29.5791	30.8502	29.6375	4.5944	
				34.3174	35.5953	34.3760	4.5856	
3	50	20	30	35.3985	36.6103	35.4597	5.0503	4.8284 ± 0.19
				15.2424	16.4919	15.3016	4.7379	
				16.0655	17.3067	16.1238	4.6971	
4	60	0	40	14.2621	16.1030	14.3472	4.6227	4.6907 ± 0.18
				15.4784	16.8452	15.5453	4.8946	
				17.2346	18.6397	17.2986	4.5548	
5	60	10	30	16.6877	17.6482	16.7343	4.8516	4.9725 ± 0.11
				16.2165	17.3415	16.2733	5.0489	
				15.7611	16.7697	15.8117	5.0169	
6	60	20	20	17.3826	19.2237	17.4686	4.6711	4.7021 ± 0.18
				15.9043	17.8921	15.9945	4.5377	
				14.2576	16.2545	14.3554	4.8976	
7	70	0	30	17.4444	18.4687	17.4934	4.7838	4.7145 ± 0.09
				15.6460	16.5155	15.6873	4.7499	
				19.0383	20.0622	19.0855	4.6098	
8	70	10	20	16.4751	17.9433	16.5498	5.0879	5.0697 ± 0.02
				15.4922	17.1110	15.5742	5.0655	
				21.9575	23.1601	22.0183	5.0557	
9	70	20	10	28.8402	30.1056	28.9042	5.0577	5.1595 ± 0.11
				36.1516	37.9249	36.2427	5.1373	
				30.0930	31.7453	30.1803	5.2835	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 28 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	W	GH					
1	50	0	50	29.4281	32.8151	29.5770	4.3962	4.2823 ± 0.20
				28.3738	30.5808	28.4631	4.0462	
				28.4078	30.2309	28.4881	4.4046	
2	50	10	40	34.6792	37.5929	34.8049	4.3141	4.2339 ± 0.17
				17.3822	19.2635	17.4582	4.0398	
				29.0465	31.4224	29.1498	4.3478	
3	50	20	30	27.1666	29.8245	27.2717	3.9542	3.9466 ± 0.01
				14.2978	16.0117	14.3653	3.9384	
				19.4481	21.5636	19.5316	3.9471	
4	60	0	40	32.3985	35.2209	32.5267	4.5422	4.4863 ± 0.07
				14.5987	16.0692	14.6636	4.4135	
				25.2364	26.9307	25.3127	4.5033	
5	60	10	30	38.1118	40.7983	38.2442	4.9283	4.9845 ± 0.18
				19.4556	21.6472	19.5616	4.8366	
				21.0547	23.1112	21.1614	5.1884	
6	60	20	20	31.5588	33.7167	31.6592	4.6527	4.7139 ± 0.19
				23.5321	24.8036	23.5901	4.5615	
				21.7444	23.2543	21.8188	4.9275	
7	70	0	30	33.9127	34.9164	33.9550	4.2144	4.2736 ± 0.08
				36.0121	37.2568	36.0665	4.3705	
				31.6074	32.8232	31.6589	4.2359	
8	70	10	20	35.3624	36.8532	35.4288	4.4540	4.5123 ± 0.16
				21.9405	23.1534	21.9937	4.3862	
				40.8752	42.4146	40.9475	4.6966	
9	70	20	10	30.9094	32.2767	30.9705	4.4687	4.5188 ± 0.19
				18.2323	19.6340	18.2934	4.3590	
				27.9566	29.1451	28.0128	4.7286	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 29 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
1*	50	0	50	0.4803	1.6625	1.5439	10.0321	10.0512 ± 0.15
				0.5466	2.0705	1.9194	9.9153	
				0.4745	1.2319	1.1546	10.2060	
2	50	0	50	0.6276	1.5842	1.4966	9.1574	8.5330 ± 0.56
				0.5098	1.4143	1.3385	8.3803	
				0.5620	2.2987	2.1587	8.0613	
3*	50	10	40	0.9033	1.6936	1.6515	5.3271	5.4590 ± 0.32
				0.8323	2.1491	2.0724	5.8247	
				0.8224	1.8788	1.8236	5.2253	
4	50	10	40	0.7783	1.2204	1.1890	7.1025	7.0384 ± 0.09
				0.9244	1.6262	1.5775	6.9393	
				0.9550	2.3207	2.2241	7.0733	
5	50	20	30	0.7822	1.3072	1.2737	6.3810	6.1284 ± 0.22
				0.8367	1.6719	1.6217	6.0105	
				0.5634	1.8731	1.7946	5.9937	
6	60	0	40	0.5878	1.2804	1.2541	3.7973	3.7294 ± 0.07
				0.7702	1.4067	1.3834	3.6606	
				0.7756	1.4002	1.3769	3.7304	
7	60	10	30	0.9608	1.6537	1.6164	5.3832	5.2633 ± 0.21
				1.1540	1.8774	1.8411	5.0180	
				0.7632	1.8525	1.7938	5.3888	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 29 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที(ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
8	60	20	20	1.0044	1.4484	1.4170	7.0721	6.8437 ± 0.24
				0.9724	1.6615	1.6142	6.8640	
				0.9750	1.7089	1.6605	6.5949	
9	70	0	30	0.5733	0.8269	0.8090	7.0584	7.1232 ± 0.24
				0.5575	0.7815	0.7660	6.9196	
				0.5291	0.7645	0.7471	7.3917	
10	70	10	20	0.5564	0.9100	0.8883	6.1369	6.0925 ± 0.13
				0.4898	0.7420	0.7270	5.9477	
				0.5107	1.0032	0.9727	6.1929	
11	70	20	10	0.4897	0.7748	0.7596	5.3315	5.0801 ± 0.24
				0.5565	0.9457	0.9260	5.0617	
				0.5540	0.8449	0.8308	4.8470	
12	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป				
13	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป				

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 30 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย(กรัม)	น้ำหนักก่อนอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น(%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
1	50	0	50	0.5619	1.3722	1.3131	7.2936	7.0760 ± 0.20
				0.5353	1.3559	1.2983	7.0193	
				0.5918	1.4609	1.4008	6.9152	
2	50	10	40	0.7857	1.2763	1.2418	7.0322	7.2805 ± 0.24
				0.8418	1.6267	1.5695	7.2876	
				0.9177	1.9002	1.8263	7.5216	
3	50	20	30	0.5432	0.9349	0.9011	8.6291	8.5440 ± 0.15
				0.5353	1.6075	1.5149	8.6364	
				0.4421	1.1222	1.0653	8.3664	
4	60	0	40	0.8235	1.2204	1.2044	4.0312	4.1136 ± 0.08
				0.8042	1.3166	1.2955	4.1179	
				0.8404	1.4583	1.4324	4.1916	
5	60	10	30	0.6817	1.2674	1.2453	3.7733	3.6922 ± 0.08
				0.5691	1.1560	1.1343	3.6974	
				0.6431	1.3392	1.3141	3.6058	
6	60	20	20	0.8896	1.3122	1.2920	4.7799	4.7771 ± 0.16
				1.1131	1.6948	1.6661	4.9338	
				1.0185	1.7115	1.6795	4.6176	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: อัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีเส้นใยปาล์ม 70 – 80%โดยมวลเป็นองค์ประกอบไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 31 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	GH					
1	50	0	50	0.4461	1.8750	1.7897	5.9696	5.7683 ± 0.19
				0.4792	1.8249	1.7498	5.5807	
				0.4809	2.1057	2.0122	5.7546	
2	50	10	40	0.4467	1.6972	1.6280	5.5338	5.5006 ± 0.04
				0.4685	1.7405	1.6704	5.5110	
				0.4722	1.5479	1.4892	5.4569	
3	50	20	30	0.4131	1.4852	1.3822	9.6073	9.7028 ± 0.08
				0.4078	1.6074	1.4902	9.7699	
				0.4606	1.4759	1.3771	9.7311	
4	60	0	40	0.4290	1.5469	1.4442	9.1869	9.6608 ± 0.43
				0.4716	1.4063	1.3150	9.7678	
				0.4579	1.3584	1.2681	10.0278	
5	60	10	30	0.4846	1.6083	1.5078	8.9437	9.3149 ± 0.33
				0.4012	1.6498	1.5305	9.5547	
				0.4345	1.4529	1.3567	9.4462	
6	60	20	20	0.4843	1.3984	1.3207	8.5002	8.6531 ± 0.13
				0.4540	1.6002	1.5002	8.7245	
				0.4959	1.5549	1.4624	8.7347	
7	70	0	30	0.4278	1.4599	1.3516	10.4932	10.1240 ± 0.56
				0.3886	1.1820	1.0995	10.3983	
				0.3455	1.1809	1.1017	9.4805	
8	70	10	20	0.3284	1.2860	1.2091	8.0305	8.0261 ± 0.41
				0.4449	1.3712	1.3007	7.6109	
				0.4290	1.3855	1.3048	8.4370	
9	70	20	10	0.3697	1.1778	1.1220	6.9051	6.6860 ± 0.23
				0.4050	1.1754	1.1258	6.4382	
				0.3963	1.5177	1.4424	6.7148	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 32 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
1	50	0	50	0.6279	1.5860	1.4817	10.8861	9.7975 ± 1.02
				0.5095	1.5077	1.4191	8.8760	
				0.5432	1.6034	1.5013	9.6303	
2	50	10	40	0.5620	1.4628	1.4061	6.2944	8.3510 ± 1.79
				0.5622	1.7209	1.6144	9.1913	
				0.6489	1.6450	1.5497	9.5673	
3	50	20	30	0.5352	1.4517	1.3948	6.2084	6.6863 ± 1.03
				0.5922	1.3464	1.3013	5.9798	
				0.5659	1.7564	1.6627	7.8706	
4	60	0	40	0.4807	1.2230	1.1784	6.0084	6.1163 ± 0.16
				0.5468	1.2543	1.2116	6.0353	
				0.4609	1.5013	1.4357	6.3053	
5	60	10	30	0.4745	1.2671	1.2069	7.5953	7.7207 ± 1.29
				0.5287	1.5949	1.4982	9.0696	
				0.4132	1.4367	1.3702	6.4973	
6	60	20	20	0.5746	1.1111	1.0752	6.6915	6.8969 ± 0.82
				0.5265	1.5686	1.4873	7.8016	
				0.4176	1.4325	1.3696	6.1977	
7	70	0	30	0.5582	0.9677	0.9382	7.2039	7.6733 ± 0.77
				0.6475	1.6324	1.5610	7.2495	
				0.4732	1.4351	1.3527	8.5664	
8	70	10	20	0.5293	1.0624	1.0367	4.8209	5.4418 ± 0.57
				0.4189	1.4634	1.4013	5.9454	
				0.5148	1.6409	1.5783	5.5590	
9	70	20	10	0.5573	1.1100	1.0777	5.8440	6.4340 ± 0.96
				0.6329	1.6607	1.5832	7.5404	
				0.5801	1.6194	1.5579	5.9174	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ, G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 33 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	GH					
1	50	0	50	0.3716	1.5812	1.4498	10.8631	10.4759 ± 0.36
				0.4411	1.4686	1.3617	10.4039	
				0.4352	1.7353	1.6032	10.1608	
2	50	10	40	0.3877	1.5008	1.3972	9.3073	9.6111 ± 0.29
				0.4129	1.3063	1.2179	9.8948	
				0.3817	1.4989	1.3913	9.6312	
3	50	20	30	0.4008	1.3919	1.3032	8.9497	8.5878 ± 0.31
				0.4915	1.4352	1.3560	8.3925	
				0.4869	1.4915	1.4069	8.4213	
4	60	0	40	0.3556	1.3494	1.2706	7.9292	7.9585 ± 0.06
				0.3820	1.4116	1.3301	7.9157	
				0.4283	1.3286	1.2563	8.0307	
5	60	10	30	0.5164	1.9423	1.8142	8.9838	8.9698 ± 0.15
				0.4299	1.6175	1.5093	9.1108	
				0.3638	1.4801	1.3817	8.8148	
6	60	20	20	0.3945	1.9536	1.8195	8.6011	8.6026 ± 0.05
				0.3272	1.8034	1.6771	8.5558	
				0.4195	1.5396	1.4427	8.6510	
7	70	0	30	0.4637	1.8045	1.6863	8.8156	8.7895 ± 0.16
				0.4142	1.8339	1.7116	8.6145	
				0.3958	1.6902	1.5745	8.9385	
8	70	10	20	0.4293	1.7515	1.6685	6.2774	6.3340 ± 0.24
				0.3572	1.5206	1.4493	6.1286	
				0.3281	1.5637	1.4822	6.5960	
9	70	20	10	0.4129	1.7030	1.5996	8.0149	7.9285 ± 0.08
				0.3476	1.5948	1.4961	7.9137	
				0.3895	1.9219	1.8015	7.8570	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 34 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
1	50	0	50	0.5137	2.0430	1.9238	7.7944	7.8361 ± 0.15
				0.4906	2.0492	1.9290	7.7120	
				0.5116	1.5626	1.4785	8.0019	
2	50	10	40	0.4904	1.6692	1.5757	7.9318	7.7928 ± 0.14
				0.5581	1.5760	1.4967	7.7905	
				0.5532	1.6360	1.5531	7.6561	
3	50	20	30	0.4777	1.5340	1.4357	9.3061	9.2569 ± 0.26
				0.5312	2.2148	2.0550	9.4916	
				0.5138	1.5079	1.4187	8.9729	
4	60	0	40	0.5392	1.7437	1.6977	3.8190	3.8969 ± 0.07
				0.5147	1.8676	1.8143	3.9397	
				0.5109	1.5918	1.5493	3.9319	
5	60	10	30	0.5328	1.7619	1.6713	7.3712	7.2460 ± 0.12
				0.5630	1.6027	1.5274	7.2425	
				0.5648	1.7930	1.7055	7.1242	
6	60	20	20	0.4146	2.0384	1.9263	6.9036	7.1299 ± 0.21
				0.3890	2.3443	2.2011	7.3237	
				0.4057	1.5408	1.4595	7.1624	
7	70	0	30	0.6284	1.6715	1.5870	8.1009	7.9052 ± 0.22
				0.6643	2.008	1.9013	7.9408	
				0.5267	1.9171	1.8104	7.6741	
8	70	10	20	0.6205	1.5444	1.4982	5.0005	4.9099 ± 0.09
				0.5471	1.4557	1.4112	4.8976	
				0.5219	1.7679	1.7077	4.8315	
9	70	20	10	0.4286	1.3912	1.3614	3.0958	3.1249 ± 0.08
				0.4578	1.5044	1.4707	3.2200	
				0.4635	1.4148	1.3857	3.0590	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 35 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ ฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	W	G					
1	50	0	50	0.3653	1.7207	1.6558	4.7883	4.7491 ± 0.08
				0.3996	1.9124	1.8398	4.7990	
				0.3880	1.4867	1.4355	4.6601	
2	50	10	40	0.4758	1.4982	1.4382	5.8685	5.9194 ± 0.20
				0.3782	1.5708	1.4976	6.1379	
				0.4461	1.4701	1.4112	5.7520	
3	50	20	30	0.3943	1.4334	1.3112	11.7602	11.8085 ± 0.08
				0.4074	1.6119	1.4685	11.9054	
				0.3926	1.3994	1.2810	11.7600	
4	60	0	40	0.5339	1.7153	1.6156	8.4391	8.1641 ± 0.24
				0.4291	1.7369	1.6312	8.0823	
				0.5741	1.8136	1.7148	7.9710	
5	60	10	30	0.6300	1.8022	1.7080	8.0362	8.0373 ± 0.08
				0.5570	1.8392	1.7371	7.9629	
				0.5409	1.7094	1.6146	8.1130	
6	60	20	20	0.5140	1.5298	1.4465	8.2004	8.2740 ± 0.09
				0.4903	1.5178	1.4317	8.3796	
				0.6207	1.6168	1.5347	8.2421	
7	70	0	30	0.3888	2.0906	1.9518	8.1561	8.7126 ± 0.49
				0.3966	1.8611	1.7283	9.0679	
				0.4672	1.5408	1.4451	8.9139	
8	70	10	20	0.3818	1.8245	1.7083	8.0543	8.5757 ± 0.51
				0.4873	2.6626	2.4754	8.6057	
				0.4295	2.0221	1.8777	9.0669	
9	70	20	10	0.4910	1.3663	1.2991	7.6774	8.0454 ± 0.63
				0.3754	1.6127	1.5041	8.7772	
				0.5346	1.5578	1.4792	7.6818	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง

ตารางที่ ค – 36 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	สารที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	G						
1*	50	0	50	192.9635	199.0844	193.1720	10.0512	86.5424	85.6672 ± 1.71
				45.5356	47.7514	45.6063	10.0512	86.7581	
				30.2475	32.9701	30.4176	10.0512	83.7011	
2	50	0	50	32.1402	33.5708	32.2493	8.5330	83.8408	85.5214 ± 1.46
				48.3781	50.7249	48.4973	8.5330	86.3877	
				180.664	186.5066	180.9638	8.5330	86.3357	
3*	50	10	40	174.3806	179.4863	174.5769	5.4590	90.6963	89.4327 ± 2.36
				42.4435	44.295	42.5111	5.4590	90.8899	
				29.0424	31.5037	29.2351	5.4590	86.7118	
4	50	10	40	195.0153	199.7416	195.2409	7.0384	88.1883	86.6540 ± 2.14
				45.8612	48.1376	45.9841	7.0384	87.5627	
				34.3206	35.5891	34.4316	7.0384	84.2111	
5	50	20	30	174.7875	178.8131	175.0007	6.1284	88.5755	87.1566 ± 2.53
				49.1136	50.5824	49.2552	6.1284	84.2311	
				42.3910	43.7465	42.4616	6.1284	88.6632	
6	60	0	40	26.2432	27.5397	26.3634	3.7294	86.9995	89.6311 ± 2.28
				28.1927	29.6903	28.2720	3.7294	90.9755	
				178.9697	181.8825	179.1256	3.7294	90.9184	
7	60	10	30	27.5435	29.0939	27.6274	5.2633	89.3252	88.2035 ± 1.84
				44.3206	46.1846	44.4237	5.2633	89.2056	
				192.9606	196.1303	193.2350	5.2633	86.0797	
8	60	20	20	25.3918	26.7633	25.4689	6.8437	87.5347	86.3964 ± 1.99
				41.3308	42.5384	41.3984	6.8437	87.5584	
				178.9834	180.7107	179.1399	6.8437	84.0959	
9	70	0	30	26.1064	26.2721	26.1153	7.1232	87.5056	85.9381 ± 2.29
				174.7948	176.2326	174.8793	7.1232	86.9998	
				41.3346	43.0267	41.4965	7.1232	83.3088	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

ตารางที่ ค – 36 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที(ต่อ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	สารที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	G						
10	70	10	20	28.6696	29.5003	28.7178	6.0925	88.1052	86.9361 ± 1.78
				30.3829	31.3258	30.4680	6.0925	84.8822	
				195.0266	196.4297	195.1120	6.0925	87.8210	
11	70	20	10	26.3240	27.0909	26.4008	5.0801	84.9056	87.5041 ± 2.27
				27.2784	27.9809	27.3191	5.0801	89.1263	
				174.7948	176.2623	174.8893	5.0801	88.4804	

ตารางที่ ค – 37 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน แล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	G						
1	50	0	50	43.9709	46.6029	44.0931	7.0760	88.2811	86.9562 ± 1.89
				44.6623	46.3175	44.7968	7.0760	84.7981	
				180.6750	184.2623	180.8592	7.0760	87.7892	
2	50	10	40	45.0927	47.2134	45.2028	7.2805	87.5278	86.5789 ± 1.63
				43.9645	45.7045	44.0552	7.2805	87.5069	
				174.8069	178.3205	175.0886	7.2805	84.7021	
3	50	20	30	29.4203	31.0644	29.5059	8.5440	86.2495	86.3701 ± 0.24
				42.1834	43.3040	42.2422	8.5440	86.2088	
				192.9857	195.0465	193.0847	8.5440	86.6520	
4	60	0	40	195.0435	196.8824	195.1982	4.1136	87.4738	89.4246 ± 1.69
				43.7233	44.8184	43.7830	4.1136	90.4348	
				26.5994	27.7115	26.6608	4.1136	90.3653	
5	60	10	30	28.1758	29.3349	28.2384	3.6922	90.9071	89.8943 ± 1.70
				48.4039	49.6229	48.4705	3.6922	90.8443	
				180.6951	182.1170	180.8142	3.6922	87.9317	
6	60	20	20	174.3993	176.1119	174.5475	4.7771	86.5694	88.6998 ± 1.85
				47.2430	48.6103	47.3182	4.7771	89.7230	
				46.0792	47.5600	46.1594	4.7771	89.8069	

ตารางที่ ค – 38 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	GH						
1	50	0	50	28.3881	30.4576	28.4983	5.7683	88.9067	86.3744 ± 2.19
				40.2133	42.5956	40.4321	5.7683	85.0473	
				32.1146	34.0379	32.2889	5.7683	85.1692	
2	50	10	40	28.3522	30.1602	28.4508	5.5006	89.0459	87.0669 ± 1.76
				29.8529	30.9243	29.9387	5.5006	86.4912	
				31.3345	32.6779	31.4532	5.5006	85.6636	
3	50	20	30	24.9522	25.5532	24.9971	9.7028	82.8263	83.5057 ± 1.43
				26.0387	27.2989	26.1364	9.7028	82.5445	
				31.4884	33.4551	31.5897	9.7028	85.1464	
4	60	0	40	27.7063	29.3750	27.7934	9.6608	85.1196	83.4246 ± 1.51
				34.7912	35.8345	34.8683	9.6608	82.9492	
				29.4982	30.5321	29.5823	9.6608	82.2050	
5	60	10	30	31.6649	32.8291	31.7625	9.3149	82.3017	83.2968 ± 1.55
				26.1228	28.1474	26.2363	9.3149	85.0791	
				24.9866	25.8942	25.0608	9.3149	82.5097	
6	60	20	20	30.7456	32.2844	30.8363	8.6531	85.4527	83.6123 ± 1.75
				34.2601	35.4767	34.3742	8.6531	81.9683	
				25.8852	27.4033	26.0056	8.6531	83.4159	
7	70	0	30	47.5117	49.3609	47.6176	10.1240	84.1492	82.1974 ± 1.71
				36.4556	37.9202	36.5784	10.1240	81.4915	
				22.8890	23.6476	22.9567	10.1240	80.9517	
8	70	10	20	31.2424	32.5094	31.3516	8.0261	83.3551	83.8720 ± 1.76
				34.9566	36.0126	35.0574	8.0261	82.4284	
				51.7372	53.6309	51.8535	8.0261	85.8325	
9	70	20	10	47.2286	48.8911	47.334	6.6860	86.9742	84.8872 ± 1.81
				35.0434	36.2089	35.1544	6.6860	83.7902	
				30.5221	31.9398	30.6556	6.6860	83.8973	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 39 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	G						
1	50	0	50	52.4284	53.6029	52.4776	9.7975	86.0135	85.0302 ± 1.68
				47.5828	49.3198	47.6560	9.7975	85.9883	
				29.6176	30.8392	29.7045	9.7975	83.0889	
2	50	10	40	32.9999	34.0145	33.0776	8.3510	83.9908	86.1453 ± 1.87
				49.1927	50.1930	49.2383	8.3510	87.0904	
				46.8382	48.0328	46.8895	8.3510	87.3547	
3	50	20	30	27.1894	28.2527	27.2311	6.6863	89.3919	88.2533 ± 1.63
				51.3585	52.4212	51.4046	6.6863	88.9757	
				31.4122	32.6547	31.4982	6.6863	86.3922	
4	60	0	40	36.5937	37.2514	36.6432	6.1163	86.3575	88.4702 ± 1.84
				53.1215	54.1624	53.1693	6.1163	89.2915	
				27.5868	28.5790	27.6277	6.1163	89.7615	
5	60	10	30	23.3804	24.1464	23.4096	7.7207	88.4673	87.4108 ± 1.75
				27.7480	28.5197	27.7781	7.7207	88.3788	
				38.1118	39.3406	38.1965	7.7207	85.3864	
6	60	20	20	27.2993	28.3049	27.3779	6.8969	85.2869	87.6304 ± 2.03
				31.9811	32.3825	31.9983	6.8969	88.8181	
				45.0780	45.5853	45.0999	6.8969	88.7861	
7	70	0	30	41.3121	41.6789	41.3268	7.6733	88.3191	87.1581 ± 1.83
				22.0882	22.5194	22.1064	7.6733	88.1059	
				26.4508	27.6092	26.5351	7.6733	85.0494	
8	70	10	20	25.5344	26.0327	25.5560	5.4418	90.2235	89.0415 ± 1.71
				23.5268	24.1107	23.5545	5.4418	89.8142	
				40.1268	41.3702	40.2197	5.4418	87.0868	
9	70	20	10	23.1654	23.6829	23.1865	6.4340	89.4887	88.3451 ± 1.54
				29.3801	29.7571	29.3975	6.4340	88.9506	
				29.1258	30.3209	29.2091	6.4340	86.5959	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 40 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	GH						
1	50	0	50	29.3377	31.4122	29.4198	10.4759	85.5665	83.5312 ± 1.78
				42.4056	44.1237	42.5299	10.4759	82.2894	
				32.5622	33.8943	32.6526	10.4759	82.7378	
2	50	10	40	24.8606	26.4692	24.9787	9.6111	83.0471	84.1762 ± 1.76
				31.5947	32.7084	31.6739	9.6111	83.2775	
				24.3442	25.9715	24.4123	9.6111	86.2041	
3	50	20	30	26.9999	28.4209	27.0602	8.5878	87.1687	85.1354 ± 1.80
				40.4356	41.0605	40.4789	8.5878	84.4831	
				35.6981	36.2348	35.7392	8.5878	83.7543	
4	60	0	40	26.2494	27.4017	26.2952	7.9585	88.0668	86.0371 ± 1.76
				29.5064	30.7853	29.5962	7.9585	85.0198	
				44.9032	46.0134	44.9811	7.9585	85.0247	
5	60	10	30	30.2841	31.5565	30.3558	8.9698	85.3952	85.0139 ± 0.39
				25.9732	27.2958	26.0526	8.9698	85.0269	
				25.0596	26.4963	25.1517	8.9698	84.6197	
6	60	20	20	30.8605	32.2074	30.9402	8.6026	85.4801	85.2854 ± 0.21
				27.2917	28.5989	27.3745	8.6026	85.0633	
				29.7645	30.9166	29.8346	8.6026	85.3129	
7	70	0	30	28.9224	30.1083	29.0041	8.7895	84.3212	84.3234 ± 0.09
				41.4551	42.8205	41.5479	8.7895	84.4140	
				44.0806	45.3522	44.1693	8.7895	84.2350	
8	70	10	20	36.2179	37.7331	36.3179	6.3340	87.0662	87.2052 ± 0.26
				40.5636	41.7850	40.6388	6.3340	87.5091	
				27.0192	28.4364	27.1131	6.3340	87.0403	
9	70	20	10	29.6616	30.8293	29.7357	7.9285	85.7257	85.6668 ± 0.06
				24.4037	25.7214	24.4889	7.9285	85.6057	
				24.2825	25.6070	24.3673	7.9285	85.6691	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 41 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ	น้ำหนักรวมก่อนอบ	น้ำหนักรวมหลังอบ	ความชื้นเฉลี่ย	ของแข็งที่ระเหยได้	เฉลี่ย±SD
	F	W	G	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(%M)	(% VM)	(% VM)
1	50	0	50	31.9843	33.9489	32.0685	7.8361	87.8780	86.6390 ± 1.95
				26.7611	28.2838	26.8299	7.8361	87.6456	
				29.4209	30.4826	29.5034	7.8361	84.3933	
2	50	10	40	28.0977	29.6337	28.1641	7.7928	87.8843	86.6378 ± 1.96
				28.0085	29.7557	28.0882	7.7928	87.6456	
				27.3867	28.4591	27.4706	7.7928	84.3836	
3	50	20	30	55.8146	57.7746	55.9017	9.2569	86.2993	85.0397 ± 1.59
				23.3305	24.6268	23.3976	9.2569	85.5669	
				25.1884	27.0762	25.3298	9.2569	83.2529	
4	60	0	40	47.2028	48.7620	47.2659	3.8969	92.0562	90.8639 ± 1.57
				25.5300	27.0340	25.6000	3.8969	91.4489	
				43.5592	44.6723	43.6373	3.8969	89.0867	
5	60	10	30	23.5820	24.8089	23.6372	7.2460	88.2549	87.1433 1.75
				29.6298	31.015	29.6949	7.2460	88.0543	
				32.6784	33.1998	32.7182	7.2460	85.1207	
6	60	20	20	28.3830	30.2781	28.4714	7.1299	88.2054	87.1669 ± 1.81
				43.6588	45.5592	43.7472	7.1299	88.2184	
				31.4503	32.6244	31.5418	7.1299	85.0769	
7	70	0	30	28.3880	29.6119	28.4523	7.9052	86.8411	86.1152 ± 1.80
				25.7560	26.8760	25.8082	7.9052	87.4341	
				47.3269	48.4111	47.4139	7.9052	84.0704	
8	70	10	20	25.4278	26.8025	25.4975	4.9099	90.0199	89.0848 ± 1.70
				31.7197	33.0621	31.7866	4.9099	90.1065	
				27.4721	28.4216	27.5477	4.9099	87.1280	
9	70	20	10	28.8170	29.8801	28.8710	3.1249	91.7956	90.7859 ± 1.59
				25.7467	26.6123	25.7923	3.1249	91.6071	
				33.6774	34.1231	33.7127	3.1249	88.9550	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 42 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	W	GH						
1	50	0	50	25.0624	26.8917	25.1324	4.7491	91.4243	89.5073 ± 1.73
				21.9562	23.7210	22.0657	4.7491	89.0462	
				33.1354	34.5758	33.2391	4.7491	88.0515	
2	50	10	40	28.3368	30.4376	28.4189	5.9194	90.1726	88.2573 ± 1.67
				19.2563	20.8669	19.3630	5.9194	87.4557	
				42.9616	44.2532	43.0512	5.9194	87.1435	
3	50	20	30	21.6756	23.1544	21.7709	11.8085	81.7471	82.5020 ± 1.68
				23.5372	25.1345	23.6468	11.8085	81.3299	
				24.5986	27.0783	24.6919	11.8085	84.4289	
4	60	0	40	27.4817	29.7138	27.5769	8.1641	87.5709	85.6483 ± 1.70
				20.3568	22.4753	20.5156	8.1641	84.3400	
				32.7576	34.0352	32.8445	8.1641	85.0341	
5	60	10	30	21.9760	23.5756	22.1047	8.0373	83.9169	85.6315 ± 1.77
				26.0965	28.1308	26.1882	8.0373	87.4550	
				36.2149	37.9602	36.3273	8.0373	85.5225	
6	60	20	20	25.5329	27.3945	25.6148	8.2740	87.3266	85.4007 ± 1.67
				17.3134	18.4691	17.3987	8.2740	84.3452	
				24.2438	25.3111	24.3206	8.2740	84.5303	
7	70	0	30	30.2768	31.1459	30.3451	8.7126	83.4287	85.0640 ± 1.84
				27.0505	28.3080	27.1332	8.7126	84.7109	
				28.4389	29.6951	28.4921	8.7126	87.0524	
8	70	10	20	26.3116	27.9845	26.4297	8.5757	84.3647	84.9443 ± 1.87
				25.4409	26.8618	25.5032	8.5757	87.0398	
				40.5603	41.9235	40.6693	8.5757	83.4284	
9	70	20	10	28.2114	29.5160	28.3115	8.0454	84.2818	84.7177 ± 1.99
				41.4782	42.5934	41.5783	8.0454	82.9786	
				27.5611	28.8136	27.6245	8.0454	86.8927	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , GH คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 43 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	G				
1*	50	0	50	10.0512	3.2013	85.6672	1.0803
2	50	0	50	8.5330	5.0913	85.5214	0.8543
3*	50	10	40	5.4590	3.3568	89.4327	1.7515
4	50	10	40	7.0384	5.6607	86.6540	1.2409
5	50	20	30	6.1284	5.1183	87.1566	1.5967
6	60	0	40	3.7294	5.0212	89.6311	1.6183
7	60	10	30	5.2633	4.7336	88.2035	1.7996
8	60	20	20	6.8437	5.3438	86.3964	1.4161
9	70	0	30	7.1232	5.3382	85.9381	1.6005
10	70	10	20	6.0925	5.9208	86.9361	1.0506
11	70	20	10	5.0801	5.7376	87.5041	1.6782
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: เครื่องหมาย* เป็นสูตรที่ใช้น้ำและกลีเซอรอลบริสุทธิ์เป็นตัวประสาน

ตารางที่ ค – 44 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	G				
1	50	0	50	7.076	5.0786	86.9562	0.8892
2	50	10	40	7.2805	5.0667	86.5789	1.0739
3	50	20	30	8.544	4.7105	86.3701	0.3754
4	60	0	40	4.1136	5.2746	89.4246	1.1872
5	60	10	30	3.6922	5.4301	89.8943	0.9834
6	60	20	20	4.7771	5.1022	88.6998	1.4209

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

ตารางที่ ค – 45 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	G				
1	50	0	50	5.7683	5.6914	86.3744	2.1659
2	50	10	40	5.5006	5.7437	87.0669	1.6888
3	50	20	30	9.7028	5.4664	83.5057	1.3251
4	60	0	40	9.6608	5.9027	83.4246	1.0119
5	60	10	30	9.3149	5.9141	83.2968	1.4742
6	60	20	20	8.8903	6.1780	83.6123	1.3194
7	70	0	30	9.8754	5.9909	82.1974	1.9363
8	70	10	20	8.0261	6.4141	83.8720	1.6878
9	70	20	10	6.6860	6.6277	84.8872	1.7991
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

ตารางที่ ค – 46 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	G				
1	50	0	50	9.7975	3.5063	85.0302	1.6660
2	50	10	40	8.3510	3.4915	86.1453	2.0122
3	50	20	30	6.6863	3.6248	88.2533	1.4356
4	60	0	40	6.1163	4.1492	88.4702	1.2643
5	60	10	30	7.7207	3.5088	87.4108	1.3597
6	60	20	20	6.8969	4.0368	87.6304	1.4359
7	70	0	30	7.6733	3.5438	87.1581	1.6248
8	70	10	20	5.4418	3.7811	89.0415	1.7356
9	70	20	10	6.4340	3.8823	88.3451	1.3386
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล

: อัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีเส้นใยปาล์ม 70 – 80%โดยมวลเป็นองค์ประกอบไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมที่ไม่เหมาะสม

ตารางที่ ค – 47 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	GH				
1	50	0	50	10.4759	4.3653	83.5312	1.6276
2	50	10	40	9.6111	4.5519	84.1762	1.6608
3	50	20	30	8.5878	4.5261	85.1354	1.7507
4	60	0	40	7.9585	4.2804	86.0371	1.7240
5	60	10	30	8.9698	5.0116	85.0139	1.0047
6	60	20	20	8.6026	5.2166	85.2854	0.8954
7	70	0	30	8.7895	5.3333	84.3234	1.5538
8	70	10	20	6.3340	4.8559	87.2052	1.6049
9	70	20	10	7.9285	5.1522	85.6668	1.2525
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

ตารางที่ ค – 48 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	G				
1	50	0	50	7.8361	4.6582	86.6390	0.8667
2	50	10	40	7.7928	4.6280	86.6378	0.9414
3	50	20	30	9.2569	4.8284	85.0397	0.8750
4	60	0	40	3.8969	4.6907	90.8639	0.5485
5	60	10	30	7.2460	4.9725	87.1433	0.6382
6	60	20	20	7.1299	4.7021	87.1669	1.0011
7	70	0	30	7.9052	4.1745	86.1152	1.8051
8	70	10	20	4.9099	5.0697	89.0848	0.9356
9	70	20	10	3.1249	5.1595	90.7859	0.9297
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ , G คือ ของเสียกลีเซอรอล และ GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค – 49 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานแล้วอัดเม็ดทันที

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	W	GH				
1	50	0	50	4.7491	4.2823	89.5073	1.4613
2	50	10	40	5.9194	4.2339	88.2573	1.5894
3	50	20	30	11.8085	3.9466	82.5020	1.7429
4	60	0	40	8.1641	4.4863	85.6483	1.7013
5	60	10	30	8.0373	4.9845	85.6315	1.3467
6	60	20	20	8.2740	4.7139	85.4007	1.6114
7	70	0	30	8.7126	4.2736	85.0640	1.9498
8	70	10	20	8.5757	4.5123	84.9443	1.9677
9	70	20	10	8.0454	4.5188	84.7177	2.7181
10	80	0	20	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			
11	80	10	10	ไม่สามารถอัดเม็ดได้เนื่องจากร่วนเกินไป			

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม , W คือ น้ำ และ GH คือ ของเสียกลีเซอรอลร้อน

ตารางที่ ค - 50 ร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม : น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		น้ำหนักภาชนะ(กรัม)	น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละที่สามารถอัดได้
	F	S				
1	90	10	336	1286	1007	70.6824
2	80	20	304	1267	984	70.5461
3	70	30	301	1253	971	70.4042

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม และ S คือ กะลาปาล์ม

ตารางที่ ค – 51 ความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม : น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		ความยาวของเชื้อเพลิง (cm)	น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)	เส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิง (cm)	ปริมาตรของเชื้อเพลิง (cm^3)	ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	Specific Density เฉลี่ย±SD (kg/m^3)
	F	S						
1	90	10	2.520	0.5247	0.550	0.5990	876.0331	802.1644 ± 53.65
			1.575	0.3608	0.610	0.4605	783.5409	
			1.860	0.3609	0.575	0.4832	746.9192	
2	80	20	1.960	0.4605	0.620	0.5920	777.9032	774.8165 ± 17.94
			1.455	0.3246	0.565	0.3649	889.455	
			1.895	0.3945	0.635	0.6004	657.0913	
3	70	30	1.710	0.4527	0.625	0.5248	862.5608	815.5003 ± 45.13
			2.190	0.5133	0.615	0.6508	788.7008	
			2.160	0.4940	0.605	0.6212	795.2392	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม และ S คือ กะลาปาล์ม

ตารางที่ ค – 52 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ด		ค่าความร้อน			
	เส้นใยปาล์ม	กะลาปาล์ม	ครั้งที่ 1 (cal/g)	ครั้งที่ 2 (cal/g)	ค่าเฉลี่ย±SD	
					(cal/g)	MJ/kg
1	90	10	4718.0	4710.8	4714.4	19.63±0.02
2	80	20	4700.5	4713.9	4707.2	19.71±0.04
3	70	30	4677.3	4696.4	4686.9	19.74±0.06

ตารางที่ ค – 53 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค < 2.0มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบภาชนะ+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละของเถ้า (% ASH)	เฉลี่ย±SD %ASH
	F	S					
1	90	10	14.3011	15.5245	14.3475	3.7927	3.7295 ± 0.18
			16.6945	17.8203	16.7367	3.7484	
			17.0824	18.3025	17.1269	3.6472	
2	80	20	14.3209	15.4585	14.348	2.3822	2.5247 ± 0.05
			15.4896	16.7923	15.525	2.7174	
			14.5903	15.8431	14.6213	2.4745	
3	70	30	16.0777	17.6655	16.1399	3.9174	3.9288 ± 0.04
			14.256	15.8862	14.3203	3.9443	
			15.0112	16.5706	15.0724	3.9246	

ตารางที่ ค – 54 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		น้ำหนักฝอย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	น้ำหนักหลังอบฝอย+เชื้อเพลิงอัดเม็ด(กรัม)	ร้อยละความชื้น (%M)	เฉลี่ย±SD (%M)
	F	S					
1	90	10	0.4563	1.6885	1.5929	7.7585	7.2919 ± 0.26
			0.4475	1.7600	1.6730	6.6286	
			0.3371	1.6244	1.5280	7.4885	
2	80	20	0.3630	1.5266	1.4125	9.8058	9.8137 ± 0.48
			0.3360	1.6349	1.5056	9.9546	
			0.3273	1.3520	1.2528	9.6809	
3	70	30	0.4058	1.7638	1.6289	9.9337	9.9709 ± 0.68
			0.3523	1.7746	1.6341	9.8784	
			0.4721	1.8453	1.7066	10.1005	

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม และ S คือ กะลาปาล์ม

ตารางที่ ค – 55 ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม :น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	ความชื้นเฉลี่ย (%M)	ของแข็งที่ระเหยได้ (% VM)	เฉลี่ย±SD (% VM)
	F	G						
1	90	10	50.2912	51.8800	50.3670	7.2919	87.9372	87.8215 ± 1.58
			26.7548	28.2550	26.8189	7.2919	88.4353	
			27.4428	28.9046	27.5249	7.2919	87.0917	
2	80	20	26.6042	28.0559	26.6564	9.8137	86.5905	86.2259 ± 1.57
			26.7729	28.0580	26.8200	9.8137	86.5212	
			29.0111	30.2968	29.0705	9.8137	85.5662	
3	70	30	41.6085	42.9871	41.6704	9.9709	85.5390	84.2179 ± 1.64
			28.2159	29.7019	28.3289	9.9709	82.4248	
			32.7450	33.6702	32.7944	9.9709	84.6897	

ตารางที่ ค – 56 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเส้นใยและกะลาปาล์มขนาดอนุภาค <2.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลอุณหภูมิ 75^{O}C เป็นตัวประสานในอัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม : น้ำ:ของเสียกลีเซอรอล)=(50:10:40)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม		ความชื้นเฉลี่ย(%M)	เถ้าเฉลี่ย (% ASH)	ของแข็งที่ระเหยได้เฉลี่ย(% VM)	ร้อยละคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย(%FC)
	F	S				
1	90	10	7.2919	3.7295	87.8215	1.1572
2	80	20	9.8137	2.5247	86.2259	1.4356
3	70	30	9.9709	3.9288	84.2179	1.8825

หมายเหตุ: F คือ เส้นใยปาล์ม และ S คือ กะลาปาล์ม

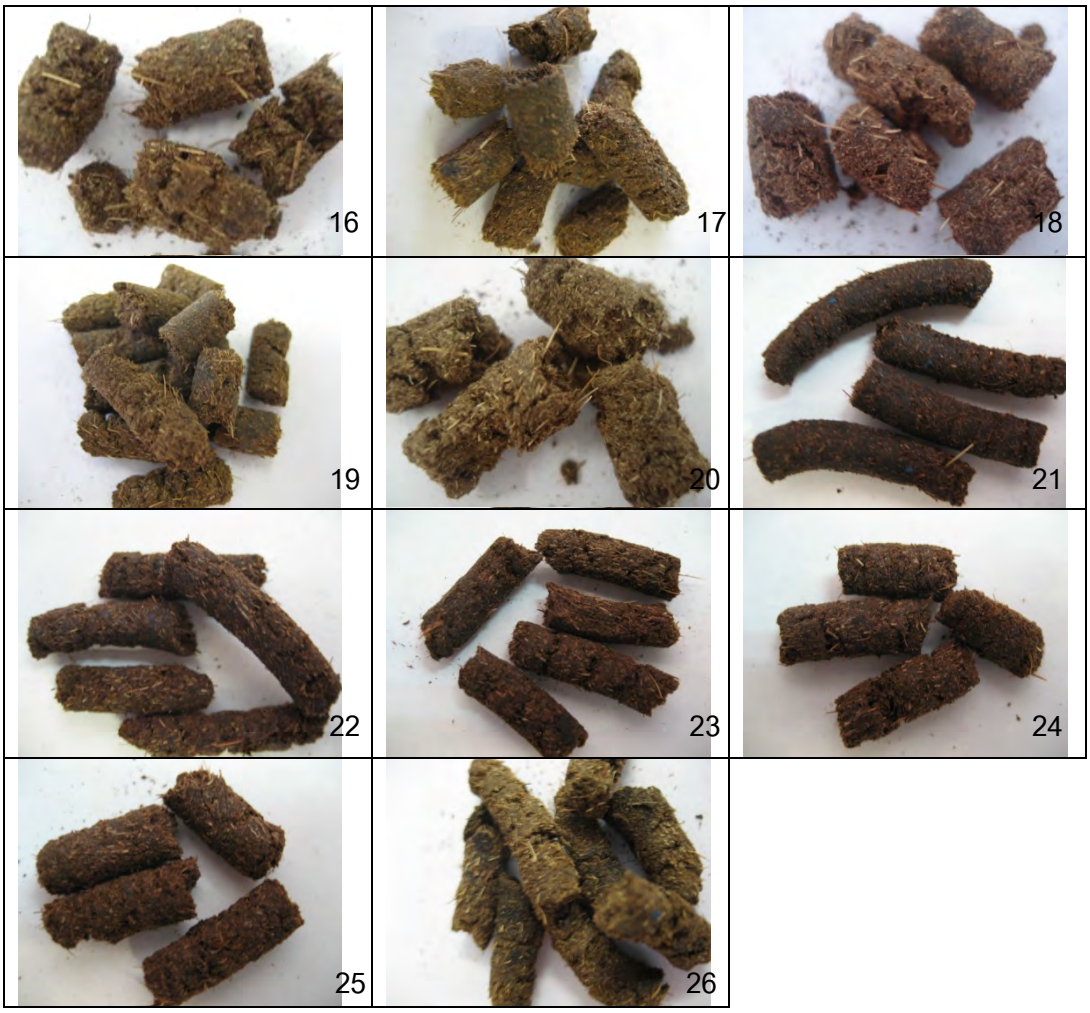
ภาคผนวก ง.
รูปภาพแสดงลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

รูปที่ ง - 1 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม.ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

1=F(50):W(0):G*(50)	2=F(50):W(0):G(50)	3=F(50):W(0):GH(50)
4=F(50):W(10):G*(40)	5=F(50):W(10):G(40)	6=F(50):W(10):GH(40)
7=F(50):W(20):G(30)	8=F(50):W(20):GH(30)	9=F(60):W(0):G(40)
10=F(60):W(0):GH(40)	11=F(60):W(10):G(30)	12=F(60):W(10):GH(30)
13=F(60):W(20):G(20)	14=F(60):W(20):GH(20)	15=F(70):W(0):G(30)

F=เส้นใยปาล์ม W=น้ำ G,GH=ของเสียกลีเซอรอล,ของเสียกลีเซอรอลร้อน ( )=อัตราส่วน

รูปที่ ง - 1 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 0.5 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน(ต่อ)



16=F(70):W(0):GH(30)	17=F(70):W(10):G(20)	18=F(70):W(10):GH(20)
19=F(70):W(20):G(10)	20=F(70):W(20):GH(10)	21=F(50):W(0):G(50)
22=F(50):W(10):G(40)	23=F(50):W(20):G(30)	24=F(60):W(0):G(40)
25=F(60):W(10):G(30)	26=F(60):W(20):G(20)	
1-20=ผสมแล้วอัดเม็ดทันที	21-26=ผสมทิ้งค้าง1คืนแล้วอัดเม็ด	

F=เส้นใยปาล์ม W=น้ำ G,GH=ของเสียกลีเซอรอล,ของเสียกลีเซอรอลร้อน ()=อัตราส่วน

รูปที่ ง - 2 แสดงลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค 0.5 – 1.0 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

1=F(50):W(0):G(50)	2=F(50):W(0):GH(50)	3=F(50):W(10):G(40)
4=F(50):W(10):GH(40)	5=F(50):W(20):G(30)	6=F(50):W(20):GH(30)
7=F(60):W(0):G(40)	8=F(60):W(0):GH(40)	9=F(60):W(10):G(30)
10=F(60):W(10):GH(30)	11=F(60):W(20):G(20)	12=F(60):W(20):GH(20)
13=F(70):W(0):G(30)	14=F(70):W(0):GH(30)	15=F(70):W(10):G(20)
16=F(70):W(10):GH(20)	17=F(70):W(20):G(10)	18=F(70):W(20):GH(10)

F=เส้นใยปาล์ม W=น้ำ G,GH=ของเสียกลีเซอรอล,ของเสียกลีเซอรอลร้อน ()=อัตราส่วน

รูปที่ ง - 3 แสดงลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม. ใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

1=F(50):W(0):G(50)	2=F(50):W(0):GH(50)	3=F(50):W(10):G(40)
4=F(50):W(10):GH(40)	5=F(50):W(20):G(30)	6=F(50):W(20):GH(30)
7=F(60):W(0):G(40)	8=F(60):W(0):GH(40)	9=F(60):W(10):G(30)
10=F(60):W(10):GH(30)	11=F(60):W(20):G(20)	12=F(60):W(20):GH(20)
13=F(70):W(0):G(30)	14=F(70):W(0):GH(30)	15=F(70):W(10):G(20)
16=F(70):W(10):GH(20)	17=F(70):W(20):G(10)	18=F(70):W(20):GH(10)

F=เส้นใยปาล์ม W=น้ำ G,GH=ของเสียกลีเซอรอล,ของเสียกลีเซอรอลร้อน ()=อัตราส่วน

ภาคผนวก จ.
ผลวิเคราะห์การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเส้นใยและกะลาปาล์ม

ตารางที่ จ-1 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของเส้นใยปาล์ม

Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %
0.020		0.142		1.002		7.096		50.238		355.656	
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.14	7.962	0.87	50.368	2.45	399.052	1.97
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.14	8.934	1.01	63.246	2.38	447.744	2.40
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.15	10.024	1.17	70.963	2.29	502.377	2.80
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.16	11.247	1.34	79.621	2.19	563.677	3.15
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.18	12.619	1.51	89.337	2.05	632.456	3.38
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.20	14.159	1.69	100.237	1.89	709.627	3.47
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.22	15.887	1.87	112.468	1.70	796.214	3.41
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.25	17.825	2.04	126.191	1.49	893.367	3.18
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.28	20.000	2.19	141.589	1.27	1002.374	2.81
0.063	0.00	0.448	0.03	3.170	0.31	22.440	2.32	158.866	1.08	1124.683	2.35
0.071	0.00	0.502	0.07	3.557	0.34	25.179	2.43	178.250	0.92	1261.915	1.84
0.080	0.00	0.564	0.10	3.991	0.38	28.251	2.51	200.000	0.81	1415.892	1.35
0.089	0.00	0.632	0.12	4.477	0.43	31.698	2.55	224.404	0.79	1588.656	0.93
0.100	0.00	0.710	0.13	5.024	0.48	35.566	2.58	251.785	0.85	1782.502	0.55
0.112	0.00	0.796	0.14	5.637	0.55	39.905	2.57	282.508	1.00	2000.000	0.28
0.126	0.00	0.893	0.14	6.325	0.64	44.774	2.55	316.979	1.24		
0.142	0.00	1.002	0.14	7.096	0.74	50.238	2.51	355.656	1.58		

หมายเหตุ : V. คือ Volume

โดยมีค่าในการทดลองดังนี้

Particle Name:Sawdust Accessory Name: Analysis model:General purpose

Particle RI:1.530 Absorption:0.1 Size range: 0.020 to 2000.000 um

Dispersant Name:Water Dispersant RI:1.330 Weighted Residual:1.402%

Concentration:0.0549%Vol Span:10.823 Uniformity:3.38

Specific surface area:0.313 m^2/g Surface Weighted Mean D[3,2]:19.149 um Vol. Weighted Mean D[4,3]:306.942 um

ตารางที่ จ-2 การกระจายตัวขนาดอนุภาคของกะลาปาล์ม

Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %	Size (um)	V. in %
0.020		0.142		1.002		7.096		50.238		355.656	
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.12	50.368	0.67	399.052	4.13
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.14	63.246	0.74	447.744	4.58
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.15	70.963	0.84	502.377	5.03
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.17	79.621	0.96	563.677	5.41
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.19	89.337	1.10	632.456	5.69
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.21	100.237	1.26	709.627	5.80
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.24	112.468	1.43	796.214	5.73
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.02	17.825	0.28	126.191	1.61	893.367	5.46
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.03	20.000	0.31	141.589	1.78	1002.374	4.99
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.05	22.440	0.35	158.866	1.96	1124.683	4.37
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.06	25.179	0.39	178.250	2.14	1261.915	3.64
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.07	28.251	0.43	200.000	2.32	1415.892	2.87
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.08	31.698	0.46	224.404	2.51	1588.656	2.10
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.09	35.566	0.50	251.785	2.74	1782.502	1.23
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.09	39.905	0.53	282.508	3.00	2000.000	0.52
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.10	44.774	0.57	316.979	3.32		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.11	50.238	0.61	355.656	3.70		

หมายเหตุ : V. คือ Volume

โดยมีค่าในการทดลองดังนี้

Particle Name:Sawdust Accessory Name: Analysis model:General purpose

Particle RI:1.520 Absorption:0.1 Size range: 0.020 to 2000.000 um

Dispersant Name:Water Dispersant RI:1.330 Weighted Residual:2.175%

Concentration:0.0365%Vol Span:2.202.. Uniformity:0.68

Specific surface area:0.0439 m^2/g Surface Weighted Mean D[3,2]:136.827 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:551.785 um

ภาคผนวก ฉ.
รายการคำนวณ

ภาคผนวก ฉ-1 ตัวอย่างการคำนวณค่าร้อยละการอัดเป็นเม็ดของเชื้อเพลิง

จากข้อมูลตารางที่ ค-7 อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.(อัดเม็ดครั้งที่ 2)

$$\text{ร้อยละการอัดเป็นเม็ด} = \frac{[\text{น้ำหนักหลังอัดเม็ด(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]}{[\text{น้ำหนักก่อนอัดเม็ด(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]} \times 100$$

$$= \frac{705(\text{กรัม})-145(\text{กรัม})}{1{,}040(\text{กรัม})-145(\text{กรัม})}$$

$$= 62.57$$

ภาคผนวก ฉ-2 ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นจำเพาะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากข้อมูลตารางที่ ค-14 อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.(อัดเม็ดครั้งที่ 2)

$$\text{ความหนาแน่นจำเพาะ} = \frac{\text{มวลของเชื้อเพลิงต่อเม็ด}}{\text{ปริมาตรของเชื้อเพลิงต่อเม็ด(ทรงกระบอก)}}$$

$$= \frac{\text{มวลของเชื้อเพลิงต่อเม็ด}}{\pi \times [\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง}/2]^2 \times \text{ความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด}}$$

$$= \frac{0.7354(\text{กรัม})}{\pi \times [0.565/2]^2\ (\text{ซม.})^2 \times 2.650(\text{ซม.})}$$

$$= 1.10641\ (\text{กรัม}/\text{ซม.}^3)$$

$$= 1.10641\ \frac{\text{กรัม}}{\text{ซม.}^3} \times \frac{1\ \text{กิโลกรัม}}{1000\ \text{กรัม}} \times \frac{10^6\ \text{ซม.}^3}{1\ \text{ม.}^3}$$

$$= 1106.41\ \text{กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$$

ภาคผนวก ฉ-3 ตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากงานวิจัยนี้วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณ C, H, O และ S ของตัวประสาน(ของเสียกลีเซอรอล)ได้แต่จากข้อมูลตารางที่ 4.1 สามารถเปรียบเทียบค่าความร้อนของเส้นใยปาล์มระหว่างวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์(19.06 MJ/kg)กับคำนวณจากสมการที่ 2.1

$$Qg = 0.339C\% + 1.256\left(H\% - \frac{1}{8}O\%\right) + 0.105S\%$$

$$= 0.339(43.25\%) + 1.256\left(5.93\% - \frac{1}{8}(28.65\%)\right) + 0.105(0.12\%)$$

$$= 17.62\ \text{MJ/kg}\ (\text{น้อยกว่า } 19.06\ \text{MJ/kg})$$

ภาคผนวก ฉ-4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากข้อมูลตารางที่ ค-28 อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.(อัดเม็ดครั้งที่ 2)

$$\text{ปริมาณเถ้า(ร้อยละ)} = \frac{[\text{น้ำหนักหลังเผา(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]}{[\text{น้ำหนักก่อนเผา(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]} \times 100$$

$$= \frac{17.4582(\text{กรัม}) - 17.3822(\text{กรัม})}{19.2635(\text{กรัม}) - 17.3822(\text{กรัม})} \times 100$$

$$= 4.04$$

ภาคผนวก ฉ-5 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากข้อมูลตารางที่ ค-35 อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.(อัดเม็ดครั้งที่ 2)

$$\text{ปริมาณความชื้น(ร้อยละ)} = \frac{[\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}]}{[\text{น้ำหนักก่อนอบ(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]} \times 100$$

$$= \frac{1.5708(\text{กรัม}) - 1.4976(\text{กรัม})}{1.5708(\text{กรัม}) - 0.3782(\text{กรัม})} \times 100$$

$$= 6.14$$

ภาคผนวก ฉ-6 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากข้อมูลตารางที่ ค-42 อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.(อัดเม็ดครั้งที่ 2)

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้(ร้อยละ)} = \left\{ \frac{[\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}] \times 100}{[\text{น้ำหนักก่อนเผา(รวมภาชนะ)} - \text{น้ำหนักภาชนะ}]} \right\} - \text{ความชื้น}$$

$$= \left\{ \frac{20.8669(\text{กรัม}) - 19.3630(\text{กรัม})}{20.8669(\text{กรัม}) - 19.2563(\text{กรัม})} \times 100 \right\} - 6.14$$

$$= 93.59 - 6.14$$

$$= 87.45$$

ภาคผนวก ฉ-7 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากข้อมูลตารางที่ ค-42 (ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ยของการอัดเม็ด 3 ครั้ง) อัตราส่วน(เส้นใยปาล์ม:น้ำ:ของเสียกลีเซอรอลร้อน)เท่ากับ 50:10:40 และเส้นใยปาล์มขนาดอนุภาค < 2 มม.

คาร์บอนคงตัว = 100 – (ปริมาณเถ้า+ปริมาณความชื้น+ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้

= 100 – (4.04 + 6.14 + 87.45) = 2.37 คาร์บอนคงตัวของการอัดเม็ดครั้งที่2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว เกวลิน ไชยอำพร เกิดวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ.2525 ที่จังหวัด สิงห์บุรี จบการศึกษาในปี พ.ศ.2547 ระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยเกรดเฉลี่ย 2.31/4.00 จากนั้นก็ไปทำงานเป็นผู้ช่วยวิศวกรของบริษัท Water Development Consultant Group Co.,Ltd โครงการศึกษาหาความเหมาะสมความลาดตลิ่งแม่น้ำปิงและแม่น้ำวังของกรมโยธาและผังเมือง เมื่อ พ.ศ.2548 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในระหว่างกำลังศึกษาปริญญามหาบัณฑิตได้เกรดเฉลี่ย 3.60/4.00 และสอบผ่านเป็นผู้ควบคุมระบบการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรมและผู้ควบคุมระบบบำบัดมลพิษน้ำตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม