การเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มน้ำมัน

นางสาวกฤติย์ภรณ์ ตรังคประสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEATING VALUE ENHANCEMENT OF FUEL PELLETS FROM
FROND AND TRUNK OF OIL PALM

Miss Krittiporn Trangkaprasith

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 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มน้ำมัน
โดย	นางสาวกฤติย์ภรณ์ ตรังคประสิทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ)

กฤติย์ภรณ์ ตรังคประสิทธิ์ : การเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มน้ำมัน. (HEATING VALUE ENHANCEMENT OF FUEL PELLETS FROM FROND AND TRUNK OF OIL PALM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 115 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มด้วยการแปรผันวัสดุประสาน 4 ชนิดได้แก่ ของเสียกลีเซอรอล แป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอล อัตราส่วนในการผสม ปริมาณวัสดุ 4 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 50 ถึง 80 ปริมาณน้ำ 3 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 10 ปริมาณของเสียกลีเซอรอล 7 ค่าตั้งแต่ร้อยละ 20 ถึง 50 การทดลองแปรผันวัสดุประสานในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มทำการผสมในอัตราส่วน ทางใบปาล์มต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 70-0-30 พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.22 เมกะจูล/กก. ในการทดลองแปรผันอัตราส่วนผสมโดยเลือกใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานพบว่าในอัตราส่วนที่มีปริมาณร้อยละของเสียกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 30 ให้ค่าความร้อน 19.22-19.30 เมกะจูล/กก. ค่าร้อยละอัดเม็ด 91.84-94.71 ความหนาแน่น 996.01-996.35 กก./ลบ.ม. ความชื้นร้อยละ 2.12-3.13 สารระเหยร้อยละ 82.01-83.11 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.09-2.31 และเถ้าร้อยละ 12.46-13.58 และเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มในอัตราส่วนที่มีปริมาณร้อยละของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 20-30 ซึ่งมีค่าความร้อน 19.02-19.80 เมกะจูล/กก. ค่าร้อยละอัดเม็ด 80.19-84.13 ความหนาแน่น 894.74-941.33 กก./ลบ.ม. ความชื้นร้อยละ 3.39-6.32 สารระเหยร้อยละ 75.88-81.80 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 4.66-8.82 และเถ้าร้อยละ 8.97-10.14 ซึ่งค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด เว้นแต่ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มยังคงมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานเหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกให้กับอุตสหกรรม

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก...............................

ปีการศึกษา 2553

5170209921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : FUEL PELLET/ HEATING VALUE/ BIOMASS/ OIL PALM FROND/ OIL PALM TRUNK/ WASTE GLYCEROL

KRITTIPORN TRANGKAPRASITH : HEATING VALUE ENHANCEMENT OF FUEL PELLETS FROM FROND AND TRUNK OF OIL PALM. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D., 115 pp.

The heating value enhancement of fuel pellet from frond and trunk of oil palm was studied here. Waste glycerol, glue, spent wash liquor, and glycerol residue were used as adhesive. The aim was to find the optimum ratio of raw material by using the suitable adhesive. Raw material ratios were varied of 4 values from 50 to 80%, water ratios were varied of 3 values from 0 to 10%, and waste glycerol ratios were varied for 7 values from 20 to 50%. Adhesive variation in fuel pellet production from oil palm frond was produced by ratio, frond to water to waste glycerol : 70-0-30. The results showed that ratio of pelletized fuel from frond mixed with waste glycerol gave the highest heating value equal to 19.22 MJ/kg. While the pellet of frond with other adhesives offered heating value of 16.23–16.39 MJ/kg which was lower than the pellet standard (>17 MJ/kg). Such, waste glycerol was chosen as a suitable adhesive for varying ratio of mixture which was the next step. The optimum ratio of frond to water to waste glycerol was the quantity of wasteglycerol 30% which gave heating value of 19.22-19.30 MJ/kg, pelletizing ratio of 91.84-94.71%, specific density of 996.01-996.35 kg/m^3, moisture content of 2.12-3.13%, volatile matter of 82.01-83.11%, fix carbon content of 1.09-2.31%, and ash content of 12.46-13.58%. The optimum ratio of trunk to water to wasteglycerol was the quantity of wasteglycerol 20-30% which gave heating value 19.02-19.80 MJ/kg, pelletizing ratio of 80.19-84.13%, specific density of 894.74-941.33 kg/m^3, moisture content of 3.39-6.32%, volatile matter of 75.88-81.80%, fixed carbon content of 4.66-8.82% and ash content of 8.97-10.14% which ash content of frond and trunk were higher than the standard. Results showed that the mixing of fuel pellets from frond and trunk of oil palm with waste glycerol was suitable for use as fuel which was an alternative for industries.

Department : Environmental Engineering   Student's Signature……………………………………………..

Field of Study : Environmental Engineering   Advisor's Signature…………………………………………….

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ความช่วยเหลือ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคำว่ากล่าวตักเตือนที่ทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน และ อาจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเสียสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต) และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน) ในการสนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ การแนะนำการใช้เครื่องมือ การทำการทดลองต่างๆ ตลอดจนกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้ประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติๆ ที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้ประสบผลสำเร็จได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฏ
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
2.1.1 ศักยภาพของพลังงานชีวมวล	4
2.1.2 ข้อดีข้อด้อยของพลังงานชีวมวล	6
2.2 ปาล์มน้ำมัน	9
2.2.1 การปลูกปาล์มน้ำมัน	9
2.2.2 พื้นที่เพาะปลูกและแนวโน้มการปลูกปาล์มน้ำมัน	10
2.2.3 การนำของเสียจากสวนปาล์มไปใช้ประโยชน์	11
2.3 ตัวประสาน	12
2.4 กลีเซอรอลและไบโอดีเซล	12
2.4.1 กลีเซอรอล	12
2.4.2 อุตสาหกรรมการผลิตกลีเซอรอล	13
2.4.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล	14
2.4.4 ลักษณะสมบัติของกลีเซอรอล	16
2.4.5 ปริมาณกลีเซอรอลดิบภายในประเทศ	18
2.4.6 การใช้ประโยชน์กลีเซอรอลในด้านต่างๆ	18

หน้า

2.5 เชื้อเพลิงอัดเม็ด 18

2.5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด 22

2.5.2 การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ด 22

2.5.3 มาตรฐานคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด 23

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 35

3.1 แผนงานวิจัย 35

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 38

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 38

3.2.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 39

3.3 การดำเนินการวิจัย 40

3.3.1 ลักษณะสมบัติของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม 40

3.3.2 ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม 40

3.3.3 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม 44

3.3.4 ประมาณการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 44

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 45

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของชีวมวลและวัสดุประสาน 45

4.1.1 ลักษณะทางเคมี สมบัติทางความร้อนของทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม 45

4.1.2 ลักษณะทางเคมี สมบัติทางความร้อนของวัสดุประสาน 47

4.2 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม 49

4.2.1 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้วัสดุประสานต่างกัน 49

4.2.2 ลักษณะสมบัติของแชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้กลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน 50

4.2.2.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ด 50

4.2.2.2 การผลิตชีวมวลและวัสดุประสานเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด 52

4.2.2.3 ผลวิเคราะห์ความหนาแน่น 52

4.2.2.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ 53

หน้า

4.2.2.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อน 58
4.2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่น.......... 58
4.2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหย........ 59
4.3 สมบัติของแชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน 60
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ด.......... 60
4.3.2 การผลิตชีวมวลและวัสดุประสานเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด.......... 62
4.3.3 ผลวิเคราะห์ความหนาแน่น 62
4.3.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้.......... 63
4.3.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อน 67
4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น.......... 67
4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหย.......... 67
4.4 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม.......... 69
4.5 การเพิ่มค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยการปรับสภาพวัสดุประสาน 71
4.6 การจัดการเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม.......... 75
4.7 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์.......... 76
4.8 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม….......... 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 83
5.1 สรุปผลการวิจัย.......... 83
5.2 ข้อเสนอแนะ 84
รายการอ้างอิง.......... 85
ภาคผนวก.......... 92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.......... 115

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในประเทศไทย.. 5
ตารางที่ 2.2 ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆที่ผลิตได้ในประเทศไทย.................................... 6
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าความร้อนและราคาของชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย….. 9
ตารางที่ 2.4 เนื้อที่ ผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ ปาล์มน้ำมัน ปี พ.ศ. 2548-2550...................................... 10
ตารางที่ 2.5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล.. 17
ตารางที่ 2.6 การคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้กลีเซอรอลภายในประเทศ................................. 18
ตารางที่ 2.7 ลักษณะสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ด... 22
ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง.............................. 24
ตารางที่ 2.9 ลักษณะสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากชีวมวล.. 25
ตารางที่ 2.10 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด... 25
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม.. 41
ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ.. 42
ตารางที่ 3.3 จำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์... 43
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของทางใบปาล์ม เปลือกนอกต้นปาล์ม วัสดุ
ประสานและชีวมวลชนิดอื่นๆ 48
ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้วัสดุประสานต่างกัน 4 ชนิด....... 49
ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพขอชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม...................................... 51
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม...... 57
ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม............................... 61
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอก
ต้นปาล์ม.. 66
ตารางที่ 4.7 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม............ 70
ตารางที่ 4.8 ลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล.................. 72
ตารางที่ 4.9 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตมาตรฐาน ASTM C618-96.................... 76
ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์... 76
ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 10 กิโลกรัม... 77
ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากงานวิจัยนี้กับเชื้อเพลิงชนิดอื่น 78

หน้า

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม........ 79

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบลักษณะลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม........ 80

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง........ 81

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของต้นปาล์ม........ 11
ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล........ 13
ภาพที่ 2.3 หลักการผลิตไบโอดีเซล........ 14
ภาพที่ 2.4 วัตถุดิบและของเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อไบโอดีเซล 1 ลูกบาศก์เมตร........ 16
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 1........ 36
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 2........ 36
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 3........ 37
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 4........ 37
ภาพที่ 3.5 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง........ 38
ภาพที่ 3.6 เครื่องอัดเม็ด........ 38
ภาพที่ 3.7 ตะแกรงคัดขนาด........ 39
ภาพที่ 3.8 เปลือกนอกต้นปาล์มก่อนและหลังบด........ 39
ภาพที่ 3.9 ทางใบปาล์มก่อนและหลังบด........ 39
ภาพที่ 3.10 ส่วนผสมเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 42
ภาพที่ 4.1 ค่าร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 52
ภาพที่ 4.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 53
ภาพที่ 4.3 ร้อยละปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 54
ภาพที่ 4.4 ร้อยละปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 54
ภาพที่ 4.5 ร้อยละปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 55
ภาพที่ 4.6 ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 56
ภาพที่ 4.7 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 57
ภาพที่ 4.8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 58
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 59
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม........ 60
ภาพที่ 4.11 ร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม........ 62
ภาพที่ 4.12 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม........ 63

หน้า

ภาพที่ 4.13 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.. 64
ภาพที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.................................. 64
ภาพที่ 4.15 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.. 65
ภาพที่ 4.16 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.............................. 65
ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.. 66
ภาพที่ 4.18 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม... 67
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม…….. 68
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม.. 68
ภาพที่ 4.21 องค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม.. 71
ภาพที่ 4.22 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล............... 73
ภาพที่ 4.23 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล.......... 73
ภาพที่ 4.24 ร้อยละปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล 74
ภาพที่ 4.25 ร้อยละปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล.. 74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระบบเศรษฐกิจทุนนิยมของไทยที่มุ่งเน้นการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลักนั้น ความต้องการพลังงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อนำไปใช้ในระบบการผลิต การขนส่งและกิจกรรมต่างๆเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ในอดีตการใช้พลังงานทั่วโลกต่างมุ่งเน้นไปที่พลังงานเชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ หรือ ถ่านหิน พลังงานเหล่านี้ นอกจากจะสร้างมลพิษในปริมาณที่สูงมาก (โดยเฉพาะถ่านหิน) แล้ว ยังเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ดังนั้นจึงต้องมีการส่งเสริมและพัฒนาการใช้พลังงานหมุนเวียนไปควบคู่กัน (วงกต วงศ์อภัย, 2547)

การจัดหาพลังงานชีวภาพมาทดแทนพลังงานจากฟอสซิล นอกจากจะช่วยลดมลภาวะของโลกได้แล้ว ยังเป็นการช่วยชะลอการใช้ทรัพยากรที่กำลังจะหมดไปจากโลกให้คงเหลืออยู่เป็นพลังงานที่ยั่งยืน จึงได้มีการศึกษาการใช้พลังงานจากแหล่งต่างๆ รวมทั้งน้ำมันจากพืช ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้ เช่น ปาล์ม ละหุ่ง มะพร้าวและสบู่ดำ ในปัจจุบันปาล์มน้ำมันเป็นชีวมวลที่ต้องการของตลาดในภาคอุตสาหกรรมจึงมีการเพิ่มผลผลิตเพื่อรองรับกับความต้องการ ในปี 2549 เนื้อที่ที่ใช้ในการปลูกปาล์มยืนต้นของประเทศไทย 2,953,924 ไร่ คิดเป็นเนื้อที่ให้ผล 2,374,202 ไร่ ต่อมาในปี 2550 มีการเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มมากขึ้นทำให้เนื้อที่ยืนต้นเพิ่มขึ้นเป็น 3,197,625 ไร่ และคิดเป็นเนื้อที่ให้ผล 2,663,252 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) จะเห็นได้ว่าปริมาณเนื้อที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 8% ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการปลูกปาล์มน้ำมันจึงเพิ่มขึ้นด้วย ในปัจจุบันได้นำของเสียจากการปลูกปาล์มในด้านการเกษตรไปใช้ประโยชน์ในหลายด้านแล้ว เช่น นำทางใบปาล์มทำเป็นปุ๋ย นำเปลือกต้นปาล์มไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ ส่วนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันในโรงงานอุตสาหกรรมมีการนำไปใช้ประโยชน์แล้วเช่นกันตัวอย่างเช่น กะลาปาล์มถูกนำไปขายเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมอื่น หรือนำไปทำถ่านอัดแท่ง ถ่านกัมมันต์ ส่วนทะลายปาล์มมีการขายให้ชาวสวนปาล์มไปเพาะเห็ดฟาง เส้นใยปาล์มถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำใช้ภายในโรงงาน และจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ร้อยละ 10 ของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้น กลีเซอรอลเป็นแหล่งพลังงานที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเปลือกต้นปาล์มและทางใบปาล์มที่กลายเป็นของเสียเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเป็นพลังงานทางเลือกในรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม กลีเซอรอลจะช่วยแก้ปัญหาของเสียจากการเกษตรและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1 ศึกษาผลของอัตราส่วนของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มต่อของเสียกลีเซอรอลและน้ำที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดและนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยไปใช้ในการผลิตเพื่อใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไปในระดับอุตสาหกรรม โดยมีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

1. วัสดุที่เหลือใช้จากสวนปาล์มซึ่งนำมาใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ เปลือกนอกต้นปาล์มและทางใบปาล์ม

2. ขนาดวัสดุในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ ขนาดเล็กกว่า 2.0 มิลลิเมตร

3. ตัวประสานในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ ของเสียกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

4. ศึกษาตัวแปรตามที่กำหนดดังนี้

- ใช้ทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยแปรผันปริมาณทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม 4 ค่า 80, 70, 60, 50 โดยมวลรวมทั้งหมด
- แปรผันปริมาณน้ำ 3 ค่า คือ ร้อยละ 0, 5, 10 โดยมวลรวมทั้งหมด
- แปรผันชนิดตัวประสาน 4 ชนิดได้แก่ ของเสียกลีเซอรอล แป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอล
- แปรผันปริมาณของเสียกลีเซอรอล 9 ค่า คือ ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 โดยมวลรวมทั้งหมด
- แปรผันสภาวะของวัสดุประสาน (ของเสียกลีเซอรอล) ที่พีเอช 5 6 และ 7

5. ตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณความชื้น และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 เพื่อเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกที่มีราคาถูกกว่าพลังงานที่ผลิตได้จากเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ไม้ ก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงต่างๆ

2 เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3 ลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากกระบวนการผลิตหรือสกัดน้ำมันไบโอดีเซลโดยนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารทุกรูปแบบที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตอยู่ในรูปสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ เรียกว่า พลังงานชีวมวล ทรัพยากรชีวมวลที่สามารถนำมาใช้เพื่อให้ได้พลังงาน เช่น สิ่งที่ได้หรือเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ แกลบ ชานอ้อย ฟางข้าว เป็นต้น หรือจะมาจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่หาง่ายและมีราคาถูกและหาได้ในประเทศโดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม (ชัยชาญ ฤทธิเกรียงไกร, 2552)

2.1.1 ศักยภาพของพลังงานชีวมวล (ชัยชาญ ฤทธิเกรียงไกร, 2552)

1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลักที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้แก่แกลบและฟางข้าว ชานอ้อย กากและกะลาปาล์ม กะลามะพร้าว ฯลฯ จากการประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากพืช 10 ชนิดที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ อ้อย ข้าว น้ำมันปาล์ม มะพร้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพด ถั่วลิสง ฝ้าย ถั่วเหลืองและข้าวฟ่าง ในปี พ.ศ.2543 พบว่าปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ประมาณ 63 ล้านตัน ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ ประมาณ 16 ล้านตัน ปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ส่วนที่ยังไม่ได้ใช้เท่ากับ 42 ล้านตัน เทียบเท่าพลังงาน 604.82 เพตาจูล (6.04×10^{17} จูลหรือ 6.04×10^{11} เมกะจูล) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2543)

2) มูลสัตว์ มูลสัตว์ 6 ชนิด คือ มูลโค กระบือ สุกร ไก่ เป็ดและมูลช้าง ในปี พ.ศ. 2543 มีศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพได้ 560 ล้านลูกบาศก์เมตรคิดเป็นพลังงานประมาณ 11.75 เพตาจูล

3) ขยะ ในปี พ.ศ. 2543 กรมควบคุมมลพิษรายงานปริมาณขยะที่จัดเก็บได้ ประมาณ 13.9 ล้านตัน ซึ่งมีปริมาณขยะรวมทั้งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เขตเทศบาล เมืองพัทยาและนอกเขตเทศบาลทั่วประเทศ ถ้านำขยะ 85 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมดมาฝังกลบ จะได้แก๊สชีวภาพจากการฝังกลบ 1,184.22 ล้านลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าพลังงาน 23.09 เพตาจูล

4) น้ำเสีย ในปี พ.ศ.2543 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพ 11 ประเภทอุตสาหกรรม เช่นโรงฆ่าสัตว์ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม เป็นต้น มีศักยภาพที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 435.33 ล้านลูกบาศก์เมตร เท่ากับพลังงาน 10.45 เพตาจูล

พลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซากพืช หญ้า มูลสัตว์ ที่เป็นของแข็ง เรามักนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงเผาไฟเอาความร้อนมาใช้ในครัวเรือน ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือใช้ในยานพาหนะ เช่น ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำให้แก่ หม้อไอน้ำของรถไฟก่อนที่จะเปลี่ยนมาเป็นน้ำมันก๊าดหรือก๊าซแอลพีจี

ประเทศไทยมีพืชมากมายหลายชนิดที่สามารถเป็นชีวมวลเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จากสถิติในการใช้พลังงานของประเทศ การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อประโยชน์ต่างๆ

จากตารางที่ 2.1 ปริมาณวัสดุที่เหลือจากการเกษตรถูกใช้ไปเพื่อเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีการเพิ่มขึ้นจากในปี 2547 ซึ่งมีการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเพียง 192 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นหน่วยของการปรับเทียบพลังงานชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551) ให้เทียบเท่าน้ำมันดิบคิดเป็นการใช้พลังงาน 1.2% เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานประเภทพลังงานใหม่และหมุนเวียนทั้งหมด หลังจากนั้นในปี 2548 ถึงปี 2551 ปริมาณการใช้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 4.4, 9.0, 10.9, 11.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีการใช้ปริมาณวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรในปริมาณเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ปริมาณชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ในปัจจุบันแสดงให้เห็นได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในประเทศไทย

ปี พ.ศ.	ปริมาณการใช้ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)	%การใช้เมื่อเทียบกับ พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด
2547	192	1.2
2548	730	4.4
2549	1535	9.0
2550	1991	9.0
2551	2153	11.1

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า ยอดอ้อย ใบอ้อย กากอ้อย เป็นชีวมวลที่มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็น แกลบและฟางข้าว การประเมินศักยภาพของชีวมวล โดยการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลอุปทานและอุปสงค์รวมในการใช้ชีวมวล ซึ่งชีวมวลบางประเภทมีการใช้อย่างกว้างขวางและมีปริมาณคงเหลือไม่มากหรือบางชนิดขาดแคลน ส่วนใหญ่ชีวมวลเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมโดยผู้ประกอบการได้หาแนวทางในการใช้ การกำจัดและลดต้นทุนในการผลิตของตนเอง ด้วยการใช้แทน

เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ที่มีตามท้องตลาด จนปัจจุบันมีการซื้อขายเชื้อเพลิง ชีวมวลในเชิงพาณิชย์ส่วนชีวมวลอีกหลายประเภทพบว่ามีปริมาณคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากมีการใช้อยู่ในวงจำกัดหรือไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพของปริมาณชีวมวลชนิดต่างๆที่ผลิตได้ในประเทศไทย

ชนิดของชีวมวล	ผลผลิต (ตัน/ปี)	ปริมาณชีวมวล (ตัน/ปี)	ปริมาณการใช้ชีวมวล (ตัน/ปี)	คงเหลือ (ตัน/ปี)	ปริมาณที่นำมาใช้ (ตัน/ปี)	พลังงานคงเหลือ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
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, 2550

2.1.2 ข้อดีข้อด้อยของพลังงานชีวมวล (ชัยชาญ ฤทธิเกรียงไกร, 2552)

ข้อดี เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด วงจรชีวิตของพืชมีระยะสั้นต่างจากฟอสซิลซึ่งใช้เวลาหลายพันล้านปี ก่อมลภาวะน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลเนื่องจากพืชปล่อยก๊าซซึ่งเป็นตัวก่อฝนกรดและโอโซน (O_3) ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ (SO_2) น้อยมาก และไม่เพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากพืชต้องดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการเจริญเติบโต ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น แกลบ จะให้ค่าความร้อนสูง เนื่องจากมี

ความชื้นต่ำและไม่ต้องผ่านการบดย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ โดยขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาแกลบสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและแก้วได้ ส่วนชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้แล้วมีปริมาณขี้เถ้าน้อยจึงมีปัญหาในการจัดการน้อยและขี้เถ้าดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ปรับปรุงสภาพดินในไร่อ้อยได้อีกด้วย การใช้พลังงานชีวมวลมีข้อดี คือ เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงประเภทอื่นมากและไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก นอกจากนี้การนำแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศมาใช้ ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งเกษตรกรยังมีรายได้เพิ่มจากการขายวัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้อีกด้วย

<u>ข้อด้อย</u> แม้พลังงานชีวมวลจะมีอยู่มาก แต่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้ยากแก่การรวบรวมเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในปริมาณมากๆ อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจและประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลภายในประเทศ พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ 700-1,000 เมกะวัตต์ หากพลังงานจากชีวมวลได้รับการพัฒนาให้นำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังแล้ว ก็จะเป็นผลดีต่อประเทศชาติไม่น้อยทีเดียว

ปัจจุบันประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรปริมาณมากทั้งที่นำไปใช้ในด้านพลังงานแล้วและที่ยังไม่ได้ศึกษาการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานแต่มักมีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้แก่

1) แกลบนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ผสมลงดินเพื่อปรับสภาพดินก่อนเพาะปลูก

2) กากอ้อยใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำตาลดิบ

3) เศษไม้ยางพารานำส่วนของขี้เลื่อยไปเพาะเห็ด ทำธูป ใช้คลุมเผาถ่านและใช้เป็นเชื้อเพลิง

4) เปลือกและกากมันสำปะหลัง สามารถนำกากมันผสมเป็นอาหารสัตว์ ส่วนเปลือกมันเอาไปทำปุ๋ย

5) ซังข้าวโพด นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงหรือนำไปเลี้ยงสัตว์

6) ใบปาล์มและต้นปาล์ม สามารถนำทางปาล์มไปใช้ประโยชน์ในการคลุมดิน

7) กากปาล์มนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำมันปาล์ม

ปัจจุบันมีการศึกษาถึงการนำชีวมวลไปใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในและเป็นการลดมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ชีวมวลที่สามารถนำมาใช้แทนได้มีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลชนิดนั้นๆ ในปัจจุบันมีการซื้อขายชีวมวลในท้องตลาดเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปและยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายภายในโรงงานอีกด้วย จากตารางที่ 2.3 จะ

แสดงราคาของเชื้อเพลิงที่มีการซื้อขายกันในประเทศไทยจะเห็นว่า ถ่านไม้มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 31.16 เมกะจูลต่อกก. ราคาในการซื้อขาย 1,500 บาท/ตัน ส่วนชีวมวลชนิดต่างๆให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 17 เมกะจูลต่อกก. ราคาตันละ 500 บาท ราคาชีวมวลทั้งหมดขึ้นกับค่าความร้อนที่ได้ของชีวมวลนั้นๆ

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าความร้อนและราคาของชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย

ประเภทเชื้อเพลิงชีวมวล	การเปรียบเทียบด้านราคา				
	ค่าความร้อนต่ำ (LHV) (เมกะจูล/กก.)	ค่าความร้อนสูง (HHV) (เมกะจูล/กก.)	ค่าความชื้น (%)	ราคาของเชื้อเพลิง (บาท/ตัน)	ราคาต่อค่าความร้อน (บาท/เมกะจูล)
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
น้ำมันเตา	41.27*	-	-	14,800**	0.341

หมายเหตุ : * หน่วย เมกะจูล/ลิตร

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550

** : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2552

2.2 ปาล์มน้ำมัน (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.2.1 การปลูกปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดอยู่ในพืชตระกูลปาล์ม (Palmae หรือ Arecaceae) ตระกูลย่อย (sub-family) เดียวกับมะพร้าว คือ Cocoideae สกุล Elaeis ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด คือ E.quineensis (ชื่อสามัญภาษาอังกฤษคือ African oil palm) E.deifera (ชื่อสามัญคือ south African oil palm) และ E.odora

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันยืนต้นขนาดใหญ่ ที่ผลผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง การปลูกปาล์มน้ำมัน ปาล์มน้ำมันชอบสภาพอากาศที่มีฝนตกชุกและสม่ำเสมอตลอดปี ความชื้นสูงและแสงแดดจัด พื้นที่ทางภาคใต้หลายจังหวัดมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะแก่การปลูกปาล์มน้ำมัน ปาล์มน้ำมันจะเริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่ปีที่ 3 หลังจากการปลูก ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับและสูงสุดในปีที่ 10 หลังจากนั้นผลผลิตจะคงที่หรือลดลง ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการจัดการ แต่หลังจากอายุ 25 ปี ผลผลิตที่ได้รับจะไม่คุ้มกับการลงทุน จำเป็นต้องโค่นทิ้ง

2.2.2 พื้นที่เพาะปลูกและแนวโน้มการปลูกปาล์มน้ำมัน

ในปี พ.ศ.2547 รัฐบาลส่งเสริมให้ขยายพื้นที่ปลูกและสนับสนุนให้ปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ไม่ดีที่มีอายุมากกว่า 20 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542 ประกอบกับราคาผลปาล์มน้ำมันอยู่ในเกณฑ์สูง จูงใจให้เกษตรกรดูแลรักษา ส่งผลให้ภาพรวมผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันรัฐบาลมียุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันปี พ.ศ. 2547-2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์มเคียงคู่ผู้นำในโลกอย่างประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซีย รวมทั้งนโยบายกำหนดให้ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศ ปริมาณพื้นที่ที่ปลูกปาล์มและผลผลิตที่ได้จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี

ตารางที่ 2.4 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปาล์มน้ำมัน ปี พ.ศ. 2548-2550

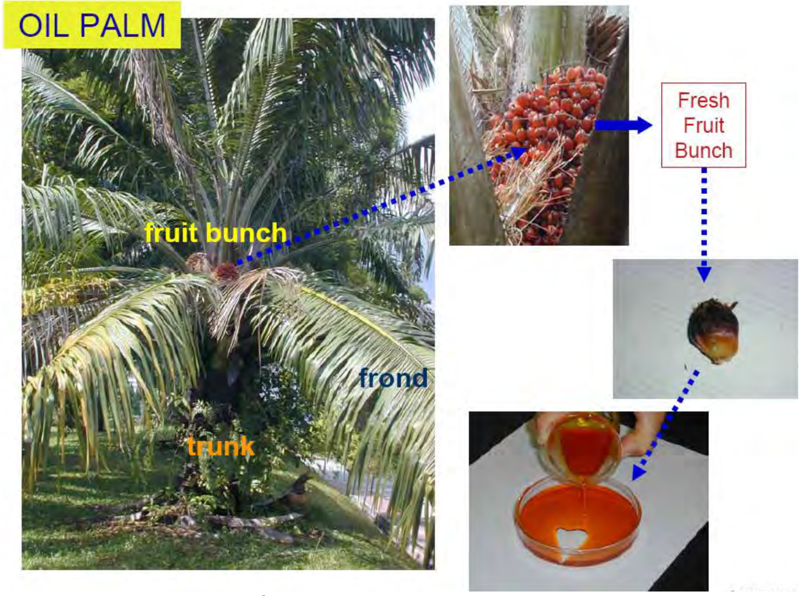
ภาค/	เนื้อที่ยืนต้น(พันไร่)			เนื้อที่ให้ผล(พันไร่)			ผลผลิต(พันตัน)			ผลผลิตต่อไร่(กก.)		
จังหวัด	2548	2549	2550	2548	2549	2550	2548	2549	2550	2548	2549	2550
รวมทั้งประเทศ	2,748	2,954	3,198	2,026	2,374	2,663	5,003	6,715	6,390	2,469	2,828	2,399
ภาคกลาง	205	229	291	147	178	203	320	413	371	2,173	2,321	1,825
ภาคใต้	2,544	2,725	2,907	1,879	2,196	2,460	4,683	6,302	6,019	2,492	2,869	2,447

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552

การปลูกปาล์มน้ำมันในเชิงธุรกิจหรือการค้านั้น จะต้องคำนึงถึงขนาดของสวน/หน่วย/ครอบครัว หรือต่อหนึ่งผู้ประกอบการ โดยแต่ละสวนจะต้องไม่เล็กจนเกินไป ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีระยะปลูกกว้าง 9x9x9 เมตรแบบสามเหลี่ยม ดังนั้นใน 1 ไร่จะสามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ประมาณ 22 ต้น/ไร่เท่านั้น จากตารางที่ 2.4 จำนวนต้นปาล์มในพื้นที่ปลูกปาล์มทั้งหมด 70.4 ล้านต้นและทางใบที่เพิ่มขึ้นปีละ 24 ทาง/ต้น ปริมาณทางใบที่จะกลายเป็นของเสียคิดเป็น 1,688.5 ล้านทางใบ ทางใบปาล์มที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากมายและเปลือกนอกต้นปาล์มหรือตอทางใบที่เกิดจากการตัดทางใบทิ้งก็จะเป็นของเสียที่เกิดขึ้นด้วย โดยทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มนี้ยังคงเป็นของเสียเกษตรกรรมที่ไม่มีมูลค่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำของเสียเหล่านี้กลับมาทำให้มีมูลค่ามากขึ้นและเป็นพลังงานทางเลือก

2.2.3 การนำของเสียจากสวนปาล์มไปใช้ประโยชน์

การปลูกปาล์มน้ำมันโดยส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำมันที่สกัดได้จากส่วนต่างๆ ของผลปาล์มดังภาพที่ 2.1 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทั้งการบริโภคและอุปโภคหลากหลาย เช่น ใช้ทำน้ำมันพืช สบู่ ใช้ในอุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ครีมเทียมและที่สำคัญในปัจจุบันคือน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากและสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด การปลูกปาล์มน้ำมันและนำผลผลิตส่งโรงงานสกัดน้ำมันเพื่อทำการสกัดน้ำมันมาใช้ประโยชน์ต่างๆ แล้ว ผลพลอยได้จากปาล์มน้ำมันยังมีอีกหลายอย่าง ได้แก่



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของต้นปาล์ม
ที่มา : Yutaka, 2007

1) ทะลายปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในโรงงาน ซึ่งยังมีธาตุอาหารและกากใยจำนวนมาก จึงสามารถนำไปคลุมโคนต้น เพาะเห็ดทั้งในสวนปาล์มและนอกสวนปาล์ม

2) กากใยจากส่วนเปลือก เป็นส่วนของเปลือกที่เหลือจากขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มในโรงงาน ส่วนนี้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กับพืชทั่วไป ทำเฟอร์นิเจอร์ต่างๆและใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำของโรงงาน

3) กะลาปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนชั้นของกะลา ที่เหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งได้จากการกะเทาะเปลือกออกมา โดยที่ส่วนของกะลาสามารถนำไปใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำโรงงานเช่นเดียวกับส่วนของกากใยปาล์มน้ำมัน ส่วนของกะลานี้เป็นส่วนที่มีคุณสมบัติดีเยี่ยม จึงอาจนำไปทำถ่านกัมมันต์ ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำกะลาปาล์มและกากใยปาล์มมาอัดเม็ดเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

4) ทางใบปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนเหลือในสวนปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณมากมายในรอบปี โดยที่ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีการผลิตทางใบประมาณ 24 ทางใบ/ต้น/ปีขึ้นไป ส่วนของทางใบนี้สามารถนำไปทำปุ๋ย ใช้คลุมหน้าดินเพื่อเพิ่มความชื้นดิน

5) ต้นปาล์มน้ำมันเก่า เป็นต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุครบการปลูกใหม่ สามารถนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลหรืออาจนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์ ใช้ทำวัสดุปลูกและใช้คลุมผิวดิน

2.3 ตัวประสาน

Bhattacharya และ Shrestha (1990) 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

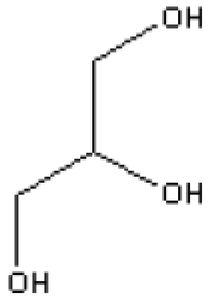
3) ตัวประสานทางเคมี (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อนตัวประสานทางเคมี (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อน

ในงานวิจัยนี้ใช้กลีเซอรอลเป็นตัวประสานระหว่างน้ำกับเปลือกนอกต้นปาล์มและน้ำกับทางใบปาล์มเนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์และเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.4 กลีเซอรอลและไบโอดีเซล

2.4.1 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรีน (Glycerin) หมายถึง สารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรเคมี $C_3H_8O_3$, $CH_2(OH)$-$CH(OH)$-$CH_2(OH)$ มีชื่อเคมี IUPAC คือ 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-Propanetriol) และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล

ที่มา : The Board of Regents of the University of Wisconsin System

2.4.2 อุตสาหกรรมการผลิตกลีเซอรอล

โดยทั่วไปกลีเซอรอลดิบได้จากกระบวนการผลิตสบู่และกระบวนการผลิตกรดไขมัน แต่หากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มากยิ่งขึ้นก่อน กระบวนการผลิตกลีเซอรอลดิบมีรายละเอียดดังนี้

1). อุตสาหกรรมการผลิตสบู่ (Soap-lye crude glycerol)

ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่จะใช้ไขมันหรือน้ำมันเป็นวัตถุดิบตั้งต้น มาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นจึงให้ความร้อนโดยการผ่านไอน้ำลงไปเป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์เพื่อแยกสบู่ออกจากสารละลาย โดยสบู่จะแยกชั้นอยู่ด้านบน ส่วนกลีเซอรอลจะอยู่ด้านล่างโดยรวมตัวอยู่กับน้ำเกลือและเบส จากนั้นสบู่จะถูกนำไปผสมกับน้ำหอมหรือสีแล้วทำให้เป็นก้อนเพื่อจำหน่าย ทั้งนี้จะได้กลีเซอรอลประมาณร้อยละ 80 เป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ (By-product) จากกระบวนผลิตสบู่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องสำอาง พลาสติก และใช้เป็นสารให้รสหวานในอาหารหรือยา เป็นต้น

2). อุตสาหกรรมการผลิตกรดไขมัน (Hydrolysis crude glycerol)

ส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมผลิตกรดไขมันจะเป็นกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องโดยกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่สภาวะความดันสูง ทำให้น้ำมันหรือไขมันถูกแยกด้วยน้ำได้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล โดยพบว่ากลีเซอรอลดิบจะปนเปื้อนอยู่ประมาณร้อยละ88-91 และส่วนที่เหลือเป็นเกลือของสารอินทรีย์ (Organic salt)

3). อุตสาหกรรมการผลิตเอสเทอร์ (Fatty ester) หรือไบโอดีเซล

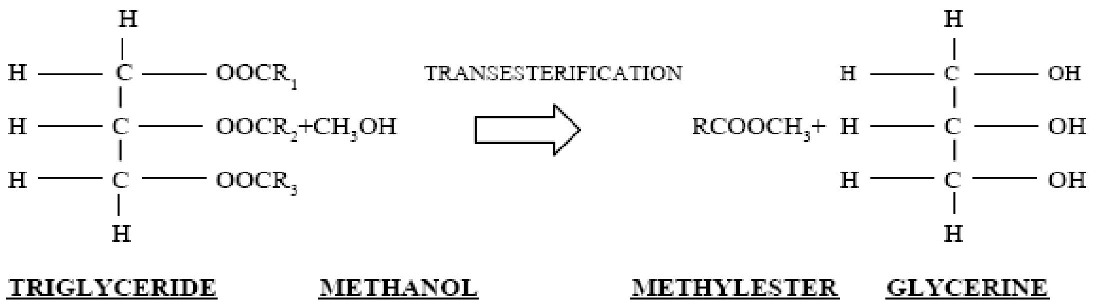
การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่น (Tranesterification) โดยมีไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) เป็นสารตั้งต้น เข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol หรือ Ethyl alcohol) โดยมีสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งนิยมใช้สารเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำมันไบโอดีเซลและได้กลีเซอรอลดิบเป็นผลพลอยได้ ซึ่งจะพบว่ามีเกลือปนอยู่เล็กน้อยและมีสมบัติโดยรวมคล้ายกับกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตสบู่

2.4.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ทุกวันนี้ประเทศไทยประสบปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่มีท่าทีว่าจะลดลง รวมทั้งการใช้พลังงานจากปิโตรเลียมส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน ในขณะที่ประเทศไทยยังมีปัญหาราคาผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำเนื่องจากผลผลิตล้นตลาดการนำพืชผลทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทนซึ่งเป็นหนทางหนึ่งที่ช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศ ลดการนำเข้าพลังงาน รวมทั้งรักษาปริมาณพืชผลการเกษตรให้เกิดสมดุลและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้ในเวลาเดียวกัน

“ไบโอดีเซล”เป็นชื่อเรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเตอร์ (Ester) ที่ได้จากการทำปฏิกริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกริยาเคมีดังกล่าว เรียกว่า “Transesterification” และได้กลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ ไบโอดีเซลถูกค้นพบและนำมาทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Rudolf Deisel เมื่อปี ค.ศ.1893 แต่ไม่แพร่หลายเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาถูกกว่ามาก น้ำมันพืชเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_3H_5 ที่เชื่อมต่อกับกรดไขมันเมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอล (Methanol) จะทำให้ได้สารเมทิลเอสเตอร์ (Methylester) หรือไบโอดีเซลและได้กลีเซอรีน (Glycerine) เป็นผลพลอยได้



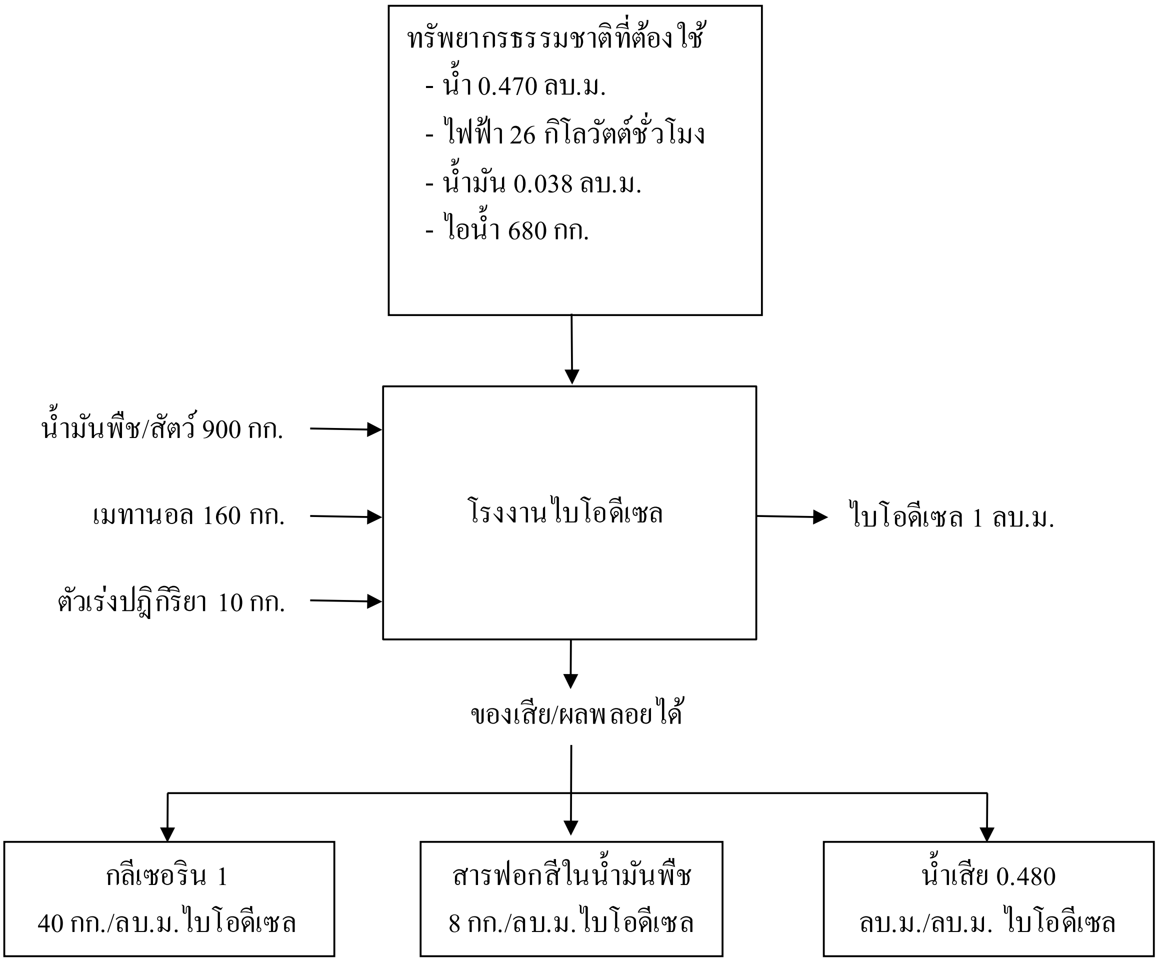
ภาพที่ 2.3 หลักการผลิตไบโอดีเซล
ที่มา : พนัส งามกนกวรรณ, 2549

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วจะถูกปั๊มผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลและสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะถูกนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการออกแบบ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้ว น้ำมันปาล์มจะถูกทำให้โมเลกุลเล็กลงและผสมอยู่กับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปัจจุบัน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งอยู่ในรูปของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

กลีเซอรีนที่ได้จากการใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะอยู่ในรูปของเหลวส่วน กลีเซอรีนที่ได้จากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะอยู่ในรูปของแข็งซึ่งยากต่อการเก็บรวบรวม ดังนั้นโรงงานไบโอดีเซลส่วนใหญ่จึงเลือกใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะต้องใช้วัตถุดิบ สารเคมี เกิดเป็นผลิตภัณฑ์และของเสีย ดังภาพที่ 2.4 เป็นแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 1 ลบ.ม. จะต้องใช้น้ำมันปาล์ม 900 กก. เมทานอล 160 กก. ตัวเร่งปฏิกิริยา 10 กก. ภายในโรงงานผลิตไบโอดีเซลจำเป็นต้องใช้พลังงานจากน้ำ 0.470 ลบ.ม. ไฟฟ้า 26 กิโลวัตต์ชม. น้ำมันเชื้อเพลิง 0.038 ลบ.ม.และไอน้ำ 680 กก. เกิดเป็นไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ 1 ลบ.ม. ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะเกิดผลพลอยได้ซึ่งก็คือกลีเซอรีน 140 กก./ลบ.ม.ไบโอดีเซล ส่วนของเสียที่เกิดขึ้นคือ สารฟอกสีในน้ำมันพืช 8 กก./ลบ.ม.ไบโอดีเซล และน้ำเสีย 0.480 ลบ.ม./ลบ.ม.ไบโอดีเซล (Raghareutai, 2008)

“กลีเซอรีน” ผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 10% ของกลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้ ในทางทฤษฎีสามารถเกิดได้ถึง 15% ยังมีมูลค่าและสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม ต่อเนื่องต่างๆต่อไปได้ เช่น อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง กลีเซอรีนที่ได้จะประกอบด้วย แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่หลงเหลืออยู่ ไขมันหรือน้ำมันที่ลอยแยกชั้น ปริมาณกลีเซอรอลที่เป็นผลพลอยได้นี้จะเกิดขึ้น 140 กก./ลบ.ม. ไบโอดีเซล หากต้องการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้ของกลีเซอรีน จะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้กลีเซอรีนที่ใช้ในการเภสัชกรรม ซึ่งจะมีความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนที่ 99.5% ขึ้นไป กลีเซอรีนที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้จะถูกนำมากำจัดน้ำที่ปนอยู่ออกจนหมดภายใต้อุณหภูมิที่ควบคุมเพื่อเป็นการรักษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ จากนั้นกลีเซอรีนที่ปราศจากน้ำแล้วจะถูกนำเข้าสู่ระบบหอกลั่นกลีเซอรีน ซึ่งจะทำการกลั่นจนได้กลีเซอรีนที่บริสุทธิ์ตามที่ต้องการ จากนั้นจะนำไปผ่านการกำจัดสีออกไปโดยผ่านถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยส่วนใหญ่กลีเซอรีนที่ได้จะถูกส่งไปยังประเทศอื่นๆ เช่น จีนและอินเดีย เพื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้บริสุทธิ์หรือขายให้กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นต่อไป



ภาพที่ 2.4 วัตถุดิบและของเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อไบโอดีเซล 1 ลูกบาศก์เมตร.

ที่มา : Raghareutai, 2008

2.4.4 ลักษณะสมบัติของกลีเซอรอล

2.4.4.1 สมบัติทางกายภาพ

กลีเซอรอลเป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษและมีโครงสร้างคล้ายน้ำตาล ทำให้กลีเซอรอลมีรสหวาน และเนื่องจากในโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนจึงทำให้โพรพานอล บิวทานอลและเพนทานอล รวมทั้งฟีนอล ไกลคอล โพรเพนไดออล เอมีนและสารประกอบที่เป็นเฮทเทอโรไซคลิกที่ประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนในวงแหวน โดยที่กลีเซอรอลไม่สามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอนรวมทั้งแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ รวมถึงตัวทำละลายจำพวกฮาโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ดังนั้นกลีเซอรอลจึงทำตัวเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่อสารหลายชนิดทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอล

สถานะ	ของเหลว
สี	เหลืองใส
น้ำหนักโมเลกุล	92.09
จุดเดือด (°ซ)	290
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°ซ)	18
ความหนืด (ปาสคาล.วินาที)	1.4
ความสามารถในการละลายน้ำ	ละลายได้
ความสามารถในการละลายเอทานอล	ละลายได้

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2544

อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่น (Tranesterification) มักจะพบสารเจือปน เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ โปรตีนที่สลายตัว ตัวเร่งปฏิกิริยา กรดไขมันหรือเอสเทอร์และสบู่ ทำให้เมื่อถูกเผาแล้วได้เป็นพลังงานความร้อนออกมา ทั้งนี้ที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลดิบจะคงอยู่ในลักษณะขี้ผึ้ง (wax) เนื่องจากกลีเซอรอลเหลวที่ได้จากกระบวนการผลิตจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นของกึ่งแข็งเมื่ออุณหภูมิเย็นลงและกลีเซอรอลที่ได้อาจมีน้ำปนอยู่เล็กน้อย เพราะในขั้นตอนการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลจะใช้วิธีการนำน้ำมาชะล้างให้กลีเซอรอลละลายออกจากไบโอดีเซล

2.4.4.2 สมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนกับแอลกอฮอล์ทั่วๆไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซีด้านนอกจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซีตรงกลาง ภายใต้สภาวะที่เป็นกลางหรือด่างกลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 °ซ โดยไม่เกิดอะโครลีน ในทางตรงข้ามในสภาวะเป็นกรดเล็กน้อยพบว่าที่อุณหภูมิ 160 °ซ จะมีกลิ่นของอะโครลีน (อยู่ในช่วง 0.24 ส่วนในล้านส่วน) โดยที่อุณหภูมิ 200 °ซ อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรอลจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างและที่อุณหภูมิห้องกลีเซอรอลจะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้กลีเซอรอลยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยที่อะตอมคาร์บอนด้านนอก จะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอกซิลและอะตอมคาร์บอนตรงกลางจะถูกออกซิไดซ์เป็นหมู่คาร์บอนิล

2.4.5 ปริมาณกลีเซอรอลดิบภายในประเทศ

จากนโยบายของรัฐบาลที่สนับสนุนให้มีการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและความต้องการของผู้บริโภคที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมหรือผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้การผลิตในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นดังแสดงในภาพที่ 2.3 ปริมาณของกลีเซอรอลที่เกิดจากกระบวนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 10 ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2555 คาดว่าจะมีความต้องการใช้ไบโอดีเซลถึง 8.5 ล้านลิตร/วัน แสดงให้เห็นว่าจะมีกลีเซอรอลเกิดขึ้นวันละประมาณ 900,000 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้กลีเซอรอลภายในประเทศ

ปี พ.ศ.	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555
ไบโอดีเซล	0.01	0.02	0.36	0.46	0.76	1.76	3.96	8.5
กลีเซอรอล	0.001	0.002	0.040	0.050	0.080	0.170	0.400	0.850

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 2549 (หน่วย : ล้านลิตร/วัน)

2.4.6 **การใช้ประโยชน์กลีเซอรอลในด้านต่างๆ** (ณัฐกานต์ บุศรพงษ์พานิชและณรงค์ฤทธิ์ คงอยู่, 2548)

จากลักษณะสมบัติของกลีเซอรอลที่สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ดี จึงถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่มและความเป็นครีม ในทางการค้ามีการใช้กลีเซอรอลเป็นสารรักษาความชุ่มชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่มและความหนืด นอกจากนี้กลีเซอรอลยังใช้ในผลิตภัณฑ์ในช่องปาก เช่น ยาสีฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดความชื้นและการระเหยต่ำจึงใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแข็งตัวในหลอด กลีเซอรอลส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ใช้เป็นตัวทำละลายและเป็นตัวดูดความชื้นโดยโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากกลีเซอรอลถูกใช้เป็นสารอิมัลชั่นและสารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภท มาการีน น้ำสลัดและลูกกวาด ยิ่งไปกว่านั้นในผลิตภัณฑ์ยาสูบและบุหรี่จะใช้กลีเซอรอลในการรักษาความชื้นให้กับใบยาสูบและใช้เป็นส่วนผสมในไส้กรอง ในอุตสาหกรรมยาใช้กลีเซอรอลเป็นสารให้ความหวานและเป็นสารให้ความนุ่ม ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้เป็นสารอิมัลชั่น

2.5 **เชื้อเพลิงอัดเม็ด** (ศักดินันท์ นันตัง และคณะ, 2547)

การอัดเม็ดเป็นการแปรรูปทางกลซึ่งจะเพิ่มขนาดอนุภาคด้วยวิธีการรวมกลุ่ม โดยหลักการ อัดก้อน คือ การใช้แรงกดอนุภาคทำให้เกิดการอัดแน่นรวมกันเป็นก้อน ซึ่งสารทั้งหมดถูกล้อมรอบด้วย

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

1) การอัดเม็ดแบบใช้ความร้อน เช่น การอัดก้อนโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู เป็นต้น 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) เชื้อเพลิงจะผสมกับตัวประสานและสารเคมีต่างๆ การผสมจะต้องพิจารณาเวลาในการผสมจะต้องมากพอที่จะผสมสารต่างๆเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเชื้อเพลิง ในขั้นนี้อาจมีการผสมน้ำด้วยถ้าความชื้นของส่วนผสมน้อยเกินไป

4) การอัด (Pressing) ส่วนผสมจะถูกใส่เข้าไปในเครื่องอัดแรง ในการอัดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดและกระบวนการอัดคุณภาพของเชื้อเพลิงก้อนที่ได้ขึ้นกับแรงอัดและระยะเวลาที่ใช้ในการอัดด้วย

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) เครื่องบดจะทำงานเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำการขับเคลื่อนให้เพลาหมุน ชุดโรเตอร์จะหมุนด้วยทำให้ใบตีที่ห้อยอยู่กางออกเป็นมุมฉากกับโรเตอร์ตีวัตถุดิบให้แตกออกเล็กลงจนลอดรูตะแกรงรอบๆห้องบดซึ่งความละเอียดอาศัยขนาดรูตะแกรงเป็นหลัก

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

(3) เครื่องบดแบบพินมิลล์ (pin mill grinder) จะประกอบด้วยซี่บด วางเรียงตัวเป็นแนววงกลม 2 แผ่น แผ่นหนึ่งไม่เคลื่อนที่แต่อีกแผ่นหมุนรอบตัวเอง วัตถุดิบจะถูกส่งเข้าไปในห้องบดตรงและจะถูกซี่บดที่เคลื่อนที่ทำให้แตก วัตถุดิบที่ถูกกระแทกจะกระเด็นไปกระทบกับซี่ที่ไม่เคลื่อนที่ทำให้แตกมากขึ้น วัตถุที่บดละเอียดจะลอดรูตะแกรงออกมาข้างนอก

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

4) การผสมวัตถุดิบ เพื่อผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันและมีการกระจายตัวของวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอ

(1) เครื่องผสมแบบถังตั้ง วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างตรงช่องป้อนวัตถุดิบจะมีเกลียวพาวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวผสมจะพาขึ้นไปตามแนวตั้ง เมื่อวัตถุดิบเดินทางผ่านท่อผสมแล้วจะโดนใบพายตรงปลายท่อตีให้กระจายเกิดการผสมเข้ากันมากขึ้น

(2) เครื่องผสมแบบถังนอน วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าเครื่องผสมทางด้านบนและวัตถุดิบจะถูกชุดกวนแบบริบบอนหรือแบบใบพายกวนให้มีการกระจายตัว วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดีแล้วจะถูกปล่อยออกจากเครื่องผ่านประตูก้นถัง

5) การอัดเม็ด แบ่งออกเป็น 3 แบบ

(1) เครื่องอัดเม็ดแข็ง เมื่อทำการอัดเม็ด เครื่องต้นกำลังจะขับเคลื่อนวงดายหมุนรอบตัวเองซึ่งมีผลทำให้ลูกกลิ้ง 2 ลูกหมุนรอบตัวเอง จากนั้นจึงป้อนวัตถุดิบที่ต้องการอัดเม็ดเข้าไปในวงดาย วัตถุดิบจะถูกเหวี่ยงมาติดด้านในผิววงดาย เมื่อวงดายวิ่งผ่านตรงส่วนที่สัมผัสกับลูกกลิ้งโดยวัตถุดิบที่ถูกกดด้วยลูกกลิ้งจะออกมาทางรูดาย มีลักษณะเป็นแท่งกลมจะถูกใบมีดตัดเป็นท่อนสั้นๆ ตามต้องการ โดยปกติแล้ววัตถุดิบที่ทำการอัดเม็ดจะต้องมีการปรับสภาพให้มีความชื้นสูงขึ้นจากร้อยละ 10-12 เป็นร้อยละ 16-18 เพิ่มอุณหภูมิเป็น 85-95 °ซ โดยเติมน้ำ (steam) ทำให้กดผ่านรูได้ง่ายขึ้น

(2) เครื่องอัดเม็ดแบบนิ่ม วัตถุดิบจะถูกปรับความชื้นให้สูงขึ้นเป็นร้อยละ 25-30 ขณะที่เครื่องอัดเม็ดนิ่มทำงาน เกลียวอัดจะพาวัตถุดิบเดินทางไปข้างหน้า วัตถุดิบจะมาอัดตัวกันที่หน้าแผ่นดายและจะถูกดันผ่านรูดายออกมาข้างนอก มีลักษณะเป็นเส้นยาวจากนั้นถูกตัดให้สั้นลงด้วยใบมีดที่อยู่ติดกับเพลา

(3) เครื่องอัดเม็ดแบบเอ็กซทรูด ขณะที่เครื่องทำงาน เกลียวอัดจะหมุนรอบตัวเองวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าไปในกระบอกสกรูส่วนที่ 1 เมื่อวัตถุดิบเดินทางมาถึงส่วนที่กักวัตถุดิบ เกิดการสะสมทำให้เกิดแรงดันเพิ่มขึ้นจนสามารถทำให้วัตถุดิบข้ามไปยังสกรูส่วนที่ 2 เพื่อนวดวัตถุดิบ วัตถุดิบจะถูกพาไปถึงส่วนเก็บกักจนเกิดแรงดันมากพอที่จะพาวัตถุดิบไปยังสกรูส่วนที่ 3 เพื่อเพิ่มความร้อนให้กับวัตถุดิบ

6) การทำให้เย็น เม็ดวัตถุดิบที่ออกมาจากวงอัดเม็ดมีลักษณะร้อนและมีความชื้นสูง

(1) เครื่องดูดลมเย็น การดูดลมจากภายนอกผ่านเม็ดวัตถุดิบให้เกิดการคายความร้อนและความชื้นกับลมที่ผ่าน

(2) เครื่องอบแห้ง อากาศที่เข้าเครื่องจะร้อนขึ้น ลมร้อนจะผ่านเม็ดวัตถุดิบทำให้ความชื้นในเม็ดระเหยออกมา แล้วมาเข้าตู้ดูดลมให้อุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง เม็ดที่ถูกอัดแห้งควรนำมาผึ่งในร่ม

2.5.1 ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีที่มีผลกับลักษณะการเผาไหม้และการลำเลียงขนส่ง ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ลักษณะสมบัติทางเคมีและส่วนประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

พารามิเตอร์	ผลกระทบ
ปริมาณน้ำที่เป็นส่วนผสม	ความสามารถในการเก็บรักษา ค่าความร้อน การลุกติดไฟ
ค่าความร้อน	การนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์
ปริมาณ Cl	ปริมาณคลอรีนในไฮโดรคาร์บอน 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 และ Hahn, 2000

ในระหว่างการอัดเม็ดจะมีผลมาจากลักษณะทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ปริมาณและการกระจายตัวของน้ำที่เป็นส่วนผสมก็มีผลด้วยอย่างยิ่ง ในการพัฒนาเชื้อเพลิงอัดเม็ดการเปลี่ยนส่วนประกอบเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นจึงมีการเติมตัวประสานแทน

2.5.2 การวิเคราะห์และทดสอบเชื้อเพลิงอัดเม็ด

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

2.5.2.1 การวิเคราะห์แบบ proximate analysis (สุนี ลาวัณยากุล และ ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข, 2545) จะวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหยที่เผาไหม้ได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้า โดยปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าเป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่เจือปน เรียกว่า ส่วนเฉื่อยรวมกับตัวเชื้อเพลิงเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย ของแข็งที่ระเหยได้และคาร์บอนคงตัว เรียก 2 ส่วนนี้ว่าส่วนที่เผาไหม้ได้ (สำเริง จักรใจ, 2547) ในการทดสอบตามมาตรฐานดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (Moisture content : M) ตาม ASTM D3173-03 นำเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 ก. ไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 ^{o}ซ เป็นเวลา 1 ชม. โดยให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดและคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

2) ปริมาณเถ้า (Ash content : A) เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดตาม ASTM D3174-04 ทำโดยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 ก. ที่อุณหภูมิ 750 °ซ และคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่

3) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile Matter : VM) ของแข็งที่ระเหยได้เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีสถานะเป็นก๊าซเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ เป็นเวลา 6-7 นาที (โดยไม่สัมผัสอากาศ) และคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไปลบด้วยความชื้น (ASTM D3175-07)

4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fix Carbon : FC) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหยและเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 (ASTM D3172-07a)

2.5.2.2 การวิเคราะห์แบบ ultimate analysis (สำเริง จักรใจ, 2547) เป็นการวิเคราะห์ถึงปริมาณธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยการเผาเชื้อเพลิงตัวอย่างในภาชนะปิดที่บรรจุออกซิเจนไว้อย่างเพียงพอแล้ววัดองค์ประกอบของไอเสีย เพื่อคำนวณกลับไปหาปริมาณคาร์บอนและปริมาณไฮโดรเจนที่มีในเชื้อเพลิง ไนโตรเจนและกำมะถันจะถูกกำหนดโดยอาศัยวิธีทางเคมีในขณะที่ออกซิเจนจะถูกระบุโดยค่า 100 ลบด้วยปริมาณธาตุ C H N และ S

2.5.2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (สำเริง จักรใจ, 2547) ทำได้โดยใช้บอมบ์แคลอริ-มิเตอร์

2.5.3 มาตรฐานคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การประเมินคุณภาพและลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงเป็นหลักในการประเมินคุณภาพ

1) ความชื้น (moisture)

2) คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

3) ของแข็งที่ระเหยได้ (volatile matter)

4) ปริมาณเถ้า (ash content)

5) ค่าความร้อน (heating value or calorific value)

6) ความหนาแน่น (bulk density)

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณของแข็งที่ระเหยได้สูง แต่มีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าต่ำ เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะมีผลทำให้ค่าความร้อนต่ำนอกจากนี้ค่าความร้อนก็เป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอย่างหนึ่ง คือ เชื้อเพลิงที่ดีเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนสูง คุณภาพทางด้านอื่นที่ต้องพิจารณา คือ ความแข็งแรง โดยจะพิจารณาจากความหนาแน่น (Density) และการแตกร้าว (abrasion) ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อสะดวกแก่การขนส่งและเก็บรักษา เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้ต้องนำไปเทียบคุณภาพกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เชื้อเพลิงอัดแท่งและเชื้อเพลิงจากชีวมวล ดังตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ลักษณะสมบัติ	เชื้อเพลิงอัดเม็ด (fuel pellet)	เชื้อเพลิงอัดแท่ง (briquette)
วัตถุดิบ	วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือกากจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำให้แห้งและบดละเอียด	วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือกากจากการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำให้แห้งและบดหยาบ
รูปร่างและขนาด	ทรงกระบอก(โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-12 มม. และความยาว 4-5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง) ขนาดนิยม คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม.	ทรงกระบอก(โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80-90 มม. ความยาว 60 ,70, 150 มม.)
โครงสร้าง	แข็งแรง คงตัว และผิวเรียบ	เปราะแตกง่าย
ความหนาแน่น	มากกว่า 650 กก./ลบ.ม.	มากกว่า 600 กก./ลบ.ม.
การป้อนเข้าเตาเผา	ใช้แรงคนหรือระบบอัตโนมัติ	ใช้แรงคน
ค่าความร้อน	มากกว่า 17 เมกกะจูล/กก.	มากกว่า 20 เมกกะจูล/กก.*
ความชื้น	น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยมวลของเชื้อเพลิง	น้อยกว่าร้อยละ 6.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง*
ปริมาณเถ้า	น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง	น้อยกว่าร้อยละ 3.5 โดยมวลของเชื้อเพลิง*

ที่มา: European Biomass Industry Association, 2005

ตารางที่ 2.9 ลักษณะสมบัติการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากชีวมวล

ลักษณะสมบัติ	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/กก.)	15.37	29.42	9.30	15.37
ความชื้น*	21.20	4.8	52.0	7.2

ที่มา: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535

หมายเหตุ: * หน่วยที่เทียบเป็นร้อยละโดยมวลของชีวมวล

ตารางที่ 2.10 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

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

ที่มา : Geiblhofer และ Hahn , 2000

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Husain และคณะ (2002) ในงานวิจัยนี้ Husain ต้องการจะเปลี่ยนสิ่งเหลือทิ้งเหล่านี้ให้กลายเป็นเชื้อเพลิงแข็ง กะลาและเส้นใยปาล์มถูกนำมาอัดให้เป็นแท่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40-60 มม. ภายใต้แรงดัน 5-13.5 เมกะปาสคาล ในการทดลองจะทำการวัดความหนาแน่น ความทนทาน ความต้านทานในการรับแรงอัดของแท่งเชื้อเพลิง ค่าความร้อน ลักษณะสมบัติในการเผา ขี้เถ้า และความชื้นคือวัตถุประสงค์ขอวการศึกษานี้ แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 1,160 และ 1,200 กก./ลบ.ม. ลักษณะสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะค่อนข้างดีเนื่องจากมีแรงต้านทานต่อการแตกตัว

เชิงกลและต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ ค่าความร้อนเท่ากับ 16.4 เมกะจูล/กก. ปริมาณเถ้าร้อยละ 6 ปริมาณความชื้นร้อยละ 12

Obernbernger และ Thek (2004) หาความสัมพันธ์ของการอัดเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยความร้อนเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพตามต้องการ ในประเทศยุโรปหลายประเทศมีเครื่องมือมาตรฐานในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด การทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดต้องทำภายใต้มาตรฐานโดยศึกษากระบวนการสำคัญเพื่อจะได้คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด 2 ลักษณะ คือ ขนาดเล็กที่ใช้ตามบ้านเรือน และขนาดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนในการบำบัดอากาศเสียที่ได้จากการเผาไหม้ อุปกรณ์ในการเผาไหม้และอุปกรณ์ในการควบคุมระบบ การสำรวจความคิดเห็นจากผู้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดภายในยุโรปภายใต้โครงการอียู อัลเทเนอร์ (EU-ALTENER-project) ซึ่งเป็นการนำเชื้อเพลิงมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาด ความหนาแน่นจำเพาะ, ความหนาแน่นอนุภาค, ปริมาณน้ำ, ปริมาณเถ้า ตัวประสาน ความเข้มข้นของคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ คลอรีน โปแทสเซียม และโลหะหนัก แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี โครเมียม ทองแดง สารหนู ปรอท ซึ่งใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีขายอยู่ในท้องตลาดของยุโรปผลการวิเคราะห์คุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีรอยขีดข่วนหรือรอยร้าวค่อนข้างสูง ดังนั้นควรเพิ่มความระมัดระวังในการป้อนอนุภาคที่ละเอียดโดยความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบล้มเหลวหรืออาจเพิ่มตัวประสานก็ได้ การเติมสารเคมีลงในวัตถุดิบเป็นการเพิ่มมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัญหาของการเพิ่มโลหะหนักทำให้ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นมีสิ่งปนเปื้อนมากขึ้น เพิ่มความเข้มข้น คลอไรด์ ทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีรอยร้าวมากขึ้นและถ้าเพิ่มโปแทสเซียมทำให้ขี้เถ้าละลายเป็นสาเหตุให้ต้องใช้อากาศในการอัดตัวมากขึ้น

Erlich และคณะ (2005) ศึกษาการใช้ชานอ้อยอัดเป็นเม็ดเพื่อเป็นเชื้อเพลิงและเพื่อกักเก็บไว้ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าตลอดทั้งปี งานวิจัยนี้ได้กำหนดลักษณะทางเคมีความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงจากชานอ้อยในด้านขนาดและแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน อุณหภูมิ 600 750 และ 900 °ซ และอัตราการไหลของก๊าซ 4 7 10 ล./นาที ด้วยการแปรผันค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในส่วนผสมที่มีไนโตรเจน ความสนใจหลักคือผลของวัสดุ แหล่งกำเนิดและขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงและสภาวะการควบคุมอัตราไพโรไลซิส โครงสร้างและการทำปฏิกิริยาของถ่านชาร์ในการเผาไหม้ ผลผลิตของถ่านชาร์จากเม็ดเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้ปริมาณเถ้าสูงซึ่งเป็นสภาวะที่เกือบจะใช้ได้จริง เม็ดเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่าจะให้ถ่านชาร์คงที่แต่ปฏิกิริยาต่ำกว่า

Holt และคณะ (2006) รายงานว่าของเสียจากโรงงานการเกษตรเมื่อผ่านกระบวนการผลิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ละปีในประเทศสหรัฐอเมริกามีของเสียเกิดขึ้นโดยประมาณมากกว่า 2.04 ล้านตันของผลพลอยได้จากฝ้าย โดยเฉลี่ยราคา 1.65 เหรียญสหรัฐ/ตัน การเปลี่ยนหนี้สินทางการเงินเป็นรายได้โดยกระบวนการนำผลพลอยได้กลับมาใช้ใหม่ เชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถใช้ได้ในพื้นที่โรงงานหรือส่งออกไปยังผู้บริโภค เตาเผาและเครื่องผลิตไอน้ำสำหรับให้ความร้อนโดยเผาวัตถุดิบในโรงงานที่นำมาอัดเป็นเม็ดซึ่งเป็นที่ยอมรับ ปลอดภัย มลพิษต่ำและราคาในการดำเนินการเหมาะสม โดยเฉพาะราคาเชื้อเพลิงเหลวที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความไม่แน่นอนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียในโรงงานเป็นวัตถุดิบ วัตถุประสงค์ จากเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผลพลอยได้จากการแยกใยฝ้ายออกจากเมล็ดฝ้ายจะศึกษาลักษณะทางกายภาพและวัดมลพิษเมื่อเผาเชื้อเพลิงอัดเม็ดในที่อยู่อาศัยให้ความร้อน ผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้ายออกจากเมล็ดฝ้ายจะถูกเก็บนำมาผ่านกระบวนการทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยรวมมี 7 ชนิดที่แตกต่างกันออกไปซึ่ง 6 ชนิดมาจากผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้ายและอีก 1 ชนิดมาจากไม้ความแตกต่างมาจากการเก็บรักษามีผลจากการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน (การเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้งและน้ำมันดิบในเมล็ดฝ้าย) ขณะผลิตความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในช่วง 488-678 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อนโดยเฉลี่ย 17.9-20.9 เมกะจูล/กก. ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 4.88-9.75% ปริมาณโซเดียมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 91-282 ส่วนในล้านส่วนขึ้นอยู่กับการบำบัด มลพิษของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผลพลอยได้จากการแยกใยฝ้ายสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ซึ่งมลพิษที่วัดได้จากการทดลอง คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนได-ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นละออง สิ่งที่เพิ่มเข้าไปและเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตต้องให้ปริมาณเถ้าน้อยและการเผาไหม้ที่เหมาะสม

Mani และคณะ (2006) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของชีวมวล(ฟางข้าวสาลี ฟางข้าวบาร์เล่ย์ เปลือกข้าวโพดและหญ้า) ที่นำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยการเปลี่ยนแรงบีบอัด ขนาดวัสดุและความชื้น ตัวอย่างชีวมวลจะถูกอัดด้วยแรง (1000, 2000, 3000, 4000 และ 4400 นิวตัน) และปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุ 3 ค่า (3.2, 1.6 และ 0.8 มม.) ที่ความชื้น (ร้อยละ 12 และร้อยละ15) ขนาดและน้ำหนักโดยมวลของตัวอย่างที่กดสามารถหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ ในการอัดเปลือกข้าวโพดที่ความดันต่ำทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความหนาแน่นมากที่สุด แรงที่ใช้ในการอัด ขนาดวัสดุและความชื้นมีความสำคัญต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากมวลชีวภาพ (ฟางข้าวบาร์เล่ย์ เปลือกข้าวโพดและหญ้า) อย่างไรก็ตามขนาดอนุภาคของฟางข้าวสาลีที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ข้อมูลการยืดหยุ่นของตัวอย่างที่ทำการอัดจะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าโมดูลัสสูงสุดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งฟางข้าวบาร์เล่ย์มีค่าโมดูลัสสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลชนิดอื่นและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวบาร์เล่ย์มีความคงตัวมากที่สุด การยืดหยุ่นหรือค่าโมดูลัสมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับแรงกดอัด เชื้อเพลิงอัดเม็ดจะถูกพัฒนาให้มีความคงตัวมากที่สุดที่แรงกดอัดมากที่สุด

Olsson (2006) ทำการศึกษาการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจากไม้เพื่อเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ทำให้โลกร้อน ในปัจจุบันนี้ประเทศสวีเดนและอีกหลายประเทศมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้สำหรับให้ความร้อนในที่พักอาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเลือกวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด เช่น ฟางข้าวสาลีและไม้ในหนองน้ำที่เกิดจากการทับถมกันจนเป็นสีดำก็เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ สมัยก่อนการใช้เชื้อเพลิงใหม่ๆ มีมากมายแต่ที่สำคัญจะศึกษามลภาวะที่ปล่อยออกสู่อากาศระหว่างการเผาไหม้ ควันที่ได้จะประกอบด้วยสารประกอบจำนวนมากที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สารประกอบออร์แกนิคเป็นผลสืบเนื่องจากการเผาไหม้ 5 ขั้นตอนตั้งแต่เริ่มเผาไม่มีเปลวไฟเริ่มไหม้มีเปลวไฟ ก่อนเปลวไฟจะดับและเปลวไฟดับ สุดท้ายมีแสงไฟเรืองออกมาซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์ของฟางข้าวสาลีและไม้ในหนองน้ำหรือไม้โดยการทดลองจะนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เนื้ออ่อน จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์สะท้อนให้เห็นถึงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง ระหว่างเริ่มเผาเชื้อเพลิงจะศึกษาเมทอลฟีนอลจากลิกนินของเชื้อเพลิงซึ่งจะมีความเข้มข้นสูง ในขั้นตอนนี้ควันของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ในหนองน้ำหรือไม้มีปริมาณความเข้มข้นสูงของ 1,6 เอนไฮโดรกลูโคส และสารประกอบที่ใช้ในการสังเคราะห์ทางเคมีโดยเกิดจากโพลิแซกคาไรด์ ระหว่างการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะเพิ่มมากขึ้นและมลภาวะก็ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น การเผาไหม้หลังเปลวไฟดับจะพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากฟางข้าวสาลีจะปล่อยสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมออกมาปริมาณสูง

Bergstrom และคณะ (2008) ศึกษาอิทธิพลการกระจายตัวขนาดอนุภาคของวัตถุดิบในกระบวนการอัดเม็ด ลักษณะทางกายภาพและลักษณะสภาวะอุณหภูมิของตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขี้เลื่อยไม้สนโดยกระบวนการผลิตทำในระดับกึ่งโรงงานอุตสาหกรรม(อัตราการผลิตไอน้ำ 300 กก./ชม.) วัตถุดิบที่บดแล้วจะถูกร่อนผ่านตะแกรงแล้วนำไปผสมกับส่วนผสมอื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชุด โดยการอัดเม็ดภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุม ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดพิจารณาจากความแข็งแรงในการรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และรอยแตกร้าว นอกจากนี้เราเพิ่มเงื่อนไขทางด้านเคมีที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ เช่น การทำให้แห้ง การนำสารอินทรีย์ไปผ่านความร้อนสูงมาก การเผาไหม้จนเกรียมเป็นถ่าน ถ่านที่มีเงื่อนไขการทดลองที่แตกต่างกันจะทำการเผาในเตาเผาที่ห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองทำให้รู้ว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีผลกับความแข็งแรงในการรับแรงอัดแต่ไม่มีผลกับความหนาแน่นจำเพาะ ความชื้น การดูดซึมน้ำขณะเก็บรักษา และรอยแตกร้าว ในการทดสอบกำหนดภาวะที่แตกต่างกันในแต่ละชุดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดภายใต้เงื่อนไขการเผาเดียวกันเวลามีความแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 5 หรือถือว่าไม่มีนัยสำคัญ จากการทดลองขนาดอนุภาคที่แนะนำ คือ ขนาดอนุภาคของขี้เลื่อยเล็กกว่า 8 มม.ซึ่งอาจจะไม่จำเป็นในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากไม้เนื้ออ่อน ด้วยเหตุนี้ถ้าใช้อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 8 มม.จะทำให้พลังงานความร้อนลดลงดังนั้นควรใช้อนุภาควัตถุดิบที่ละเอียดในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ด

Brady และ Tam (2008) ทำการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งทำให้เกิดผลพลอยได้ คือ กลีเซอรีน แม้ว่ากลีเซอรีนจะมีการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์แล้วหรือแม้แต่การผลิตไบโอดีเซลที่พอดีกับความต้องการกลีเซอรีนในสหรัฐอเมริกา เราต้องการที่จะนำของเสียกลีเซอรีนและชีวมวลเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่เผาไหม้ได้เพื่อเป็นพลังงานทางเลือกแทนถ่านหิน เม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนประมาณ 16 กิโลจูล/ก. เม็ดเชื้อเพลิงสามารถผลิตโดยใช้อุปกรณ์ง่ายๆ และสามารถเผาไหม้ได้เหมือนกับเม็ดเชื้อเพลิงและถ่านหินที่มีอยู่แล้ว ซึ่งเม็ดเชื้อเพลิงเหล่านี้สามารถพัฒนาเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้แหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลคงอยู่คู่โลกต่อไป

Fasina (2008) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกถั่วพีนัท (พวกฝักถั่วหรือของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตถั่วพีนัท) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.76 มม. การเปลี่ยนปริมาณความชื้นร้อยละ 4.2 - 21.2 (โดยน้ำหนักเปียก)เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบสถานที่เก็บรักษาซึ่งจะมีผลกระทบกับคุณสมบัติทางกายภาพ การอัดเม็ดถั่วพีนัทจะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 151 กก./ลบ.ม. กลายเป็น 600 กก./ลบ.ม. ความหนาแน่นจำเพาะ ความหนาแน่นของขนาดอนุภาคและความสามารถในการรับแรงอัดได้รับอิทธิพลมาจากปริมาณความชื้นโดยรอบ ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศแต่อุณหภูมิไม่เปลี่ยน ดังนั้นค่า GAB (Gugenheim, Anderson and de Boer) ของแบบจำลองจะคงที่จากการดูดซึมของความชื้นที่อุณหภูมิ 25 ^{o}ซ การอัดเม็ดทำให้ความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็นการลดพื้นที่ในการเก็บรักษาและขนส่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำเพาะจะแปรผกผันกับความชื้นซึ่งกราฟความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง ค่าปริมาณการแตกร้าวมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 90 (โดยความชื้นร้อยละ 9.1)

Ryu และ คณะ (2008) ศึกษาและสำรวจเทคโนโลยีในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับให้พลังงานความร้อนจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว 2 ชนิดผสมกัน ซึ่งมีส่วนท้ายของถ่าน คือ ส่วนที่ถูกตัดทิ้งในกระบวนการผลิตเป็นการทำความสะอาดถ่าน อย่างไรก็ตามส่วนท้ายของถ่านที่ถูกตัดทิ้งให้ค่าความร้อนสูง และทุกปีในประเทศยูเครนมีปริมาณมากกว่าล้านตันถูกกองสะสมไว้ในบ่อ ส่วนวัสดุที่ไม่ใช้อีกอย่าง คือ การใช้ส่วนผสมที่เป็นสารอินทรีย์มาทำเป็นปุ๋ยสำหรับเห็ดประกอบด้วยสารส่วนผสมที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและอยู่ในสภาพเปียกระหว่างการเพาะเห็ด ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดใช้วัตถุดิบนี้มาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อง่ายต่อการเก็บรักษา สะดวกในการขนส่ง เหมาะที่จะใช้เป็นพลังงานในโรงงานและเครื่องผลิตก๊าซ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงว่าวัตถุดิบ 2 ชนิดนี้มีความเหมาะสมในการอัดเม็ดและกระบวนการให้พลังงานโดยดูจากแหล่งคาร์บอน ค่าความร้อน และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ ในการทดสอบการอัดเม็ดจะใช้เครื่องกดขนาดเล็กซึ่งควบคุมแรงดัน ปริมาณน้ำ และส่วนผสมที่เป็นองค์ประกอบ คุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะถูกประเมินโดยพิจารณาค่าความหนาแน่น การขยายตัว ความแข็งแรงในการรับแรง และปริมาณการแตกร้าว ซึ่งก่อนอัดส่วนท้ายของถ่านจำเป็นต้องมีปริมาณ

ความชื้น 10% และส่วนผสมของปุ๋ยปริมาณความชื้น 20% เพื่อที่จะสร้างความแข็งแรงของแรงยึดเกาะระหว่างกัน แรงดันที่มากกว่า 6000 ปอนด์/ตร.นิ้ว ไม่มีผลต่อความแข็งแรงและการอัดแน่นในกระบวนการผลิต เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากส่วนท้ายของถ่านและส่วนผสมของปุ๋ยเมื่อนำมาผสมรวมกันจะมีความแข็งแรงสำหรับรับแรงพอกับเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของปุ๋ย และเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของปุ๋ยมีความทนทานมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากส่วนท้ายของถ่านเนื่องจากมีส่วนผสมมีส่วนผสมของเส้นใยที่สานหรือเกาะกันอยู่ ดังนั้นการเพิ่มส่วนผสมสารอินทรีย์ของปุ๋ยลงในส่วนท้ายของถ่านจะไม่ทำให้ปริมาณการแตกร้าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการประสานกันระหว่างวัตถุดิบ 2 ชนิด

Miranda และคณะ (2011) ศึกษาการกำจัดผลพลอยได้ที่เกิดจากอุตสาหกรรมการปลูกองุ่น ทางหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งชีวภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกกากองุ่นเนื่องจากลักษณะสมบัติทางความร้อนและไม้โอ๊คสายพันธุ์พีรีนินเหลือทิ้งที่หาง่ายในภูมิภาคนี้ ด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างสิ่งเหลือทิ้งถูกนำมาอัดรวมกันโดยเครื่องอัดเม็ดซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดเชื้อเพลิง 6 มม. ตัวอย่างเม็ดที่อัดแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แบบประมาณและวิเคราะห์แบบแยกธาตุ ค่าความร้อนและลักษณะทางกายภาพ เช่น ความคงทน ความหนาแน่น ข้อมูลการเผาไหม้ถูกวิเคราะห์ โดยใช้ Thermogravimetric analysis (TGA) และการปลดปล่อยสารอนินทรีย์ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ โดยใช้ TG-MS ผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งกากองุ่นและไม้โอ๊คสายพันธุ์พีรินิน มีลักษณะสมบัติที่ดีในการอัดเป็นเม็ด ยังมีลักษณะสมบัติทางกายภาพและความร้อนที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วย อีกทั้งการผสมที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ของเหลือทิ้งทั้ง 2 ชนิดอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Razuan และคณะ (2011) ทำการศึกษาแหล่งพลังงานที่สำคัญของพลังงานทดแทนอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันซึ่งก่อกำเนิดวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เช่น กะลาปาล์ม เส้นใยและกากเนื้อในปาล์มซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานได้ กระบวนการขึ้นรูปผ่านการอัดเม็ดจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ กระบวนการที่เหมาะสมในการอัดเม็ดคือ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ กากเนื้อในปาล์ม การทดสอบอัดเม็ด และการวิเคราห์ถูกนำมาประเมินสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงที่ผสมจากกากเนื้อในปาล์ม โดยทำการแปรผันแรงดัน อุณหภูมิ ความชื้น และผลของวัสดุประสาน ซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนาแน่นและความสามารถในการรับแรงดึง สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงคือ ที่แรงดัน 9,338 ปอนด์/ตร.นิ้ว/64.38 เมกะปาสคาล ที่อุณหภูมิ 80-100 °ซ และความชื้นร้อยละ 7.9 ความหนาแน่นเชื้อเพลิง 1,184-1,226 กก./ลบ.ม. ความสามารถในการรับแรงดึง 930-1,007 กิโลปาสคาล การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปเล็กน้อย (ร้อยละ 1.5-2.0 โดยน้ำหนัก) ลงไปในกากเนื้อในปาล์ม

ภายใต้สภาวะเหล่านี้จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงเป็น 3,055 กิโลปาสคาล ซึ่งตัวสารที่เติมลงไปนั้นพบว่าไม่ได้เป็นวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากเนื้อในปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นวัสดุประสานร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 28-47 ปอนด์/ตัน

Theerarattananoon และคณะ (2011) ศึกษาการทำให้วัตถุดิบชีวมวลอัดตัวแน่นขึ้น เช่น การอัดเป็นเม็ด สามารถเพิ่มความหนาแน่น เพื่อลดพื้นที่ในการเก็บ ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและทำให้วัสดุนำไปใช้ได้ง่ายกว่า วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ 1) ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงที่ทำจากซังข้าวโพด ลำต้นข้าวฟ่าง ฟางข้าวสาลีและหญ้าบิ๊กบลูสเต็ม 2) ผลของความชื้นต่อความหนาแน่นและความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวล 3) ผลของขนาดแฮมเมอร์มิลและความหนาของแม่พิมพ์ต่อความหนาแน่นและความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวล เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลสามารถปรับปรุงให้มีความหนาแน่นจาก 47 เป็น 60 กก./ลบ.ม. สำหรับชีวมวลบดจาก 360 เป็น 500 กก./ลบ.ม. สำหรับเม็ดเชื้อเพลิงอัดเม็ด เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลสี่ชนิดได้แก่ ฟางข้าวสาลีให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 495.8 กก./ลบ.ม.และเม็ดเชื้อเพลิงจากลำต้นข้าวฟ่างมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด 365.2 กก./ลบ.ม. ในการเพิ่มระดับความชื้นส่งผลให้ความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงลดลง ผลของปริมาณความชื้นต่อความคงทนของเม็ดเชื้อเพลิงที่ทำจากซังข้าวโพด ฟางข้าวสาลี และหญ้าบิ๊กบลูสเต็มแสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ค่าความคงทนที่สูงที่สุดคือ ร้อยละ 96.8 ที่ค่าปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 9 โดยน้ำหนักแห้งถึงร้อยละ 14 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับซังข้าวโพดและฟางข้าวสาลีและร้อยละ 9 ถึง 11 โดยน้ำหนักแห้งสำหรับหญ้าบิ๊กบลูสเต็ม การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นส่งผลต่อความคงทนของเม็ดเชื้อเพลิง สำหรับเม็ดเชื้อเพลิงจากลำต้นข้าวฟ่าง ค่าความคงทนที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงที่สุดร้อยละ 89.5 ที่ความชื้นระหว่าง 14 และ 16 โดยน้ำหนักแห้ง การใช้ขนาดตะแกรงใหญ่ในแฮมเมอร์มิล (จาก 3.2-6.5 มม.) ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น ความคงทนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่ได้เพิ่มขึ้นโดยมีนัยสำคัญ การใช้ขนาดแม่พิมพ์ที่หนาขึ้น(จาก 31.8-44.5 มม.) ส่งผลให้ความหนาแน่นและความคงทนของเม็ดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นโดยมีนัยสำคัญ

ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ (2546) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลด้วยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชั่น โดยใช้ผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับผงถ่านใยกะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีสัดส่วนการผสมดังนี้คือ 40:60,50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ขึ้นกับเงื่อนไขการทดลองตัวประสานที่ใช้มี 2 ชนิด คือ โมลาสและฟางข้าวหมักกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีสัดส่วนผสมต่อน้ำหนัก

วัตถุดิบดังนี้คือ 10:100, 15:100, 20:100 และ 25:100 อิทธิพลของการเพิ่มสัดส่วนการผสม โมลาสต่อน้ำหนักของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันกับอัตราการผลิตและการต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผกผันกับความหนาแน่น ค่าความร้อน และพลังงานที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสาน กรณีที่ใช้ฟางข้าวหมักกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวประสานซึ่งใช้สัดส่วนของผงถ่านกะลาต่อผงถ่านใยกะลาที่ 50:50 และเปลี่ยนสัดส่วนตัวประสานจาก 15:100 ไปเป็น 20:100 และ 25:100 ที่ความเร็วรอบของสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ 200 รอบ/นาที จะมีแนวโน้มของผลการทดลองคล้ายกับกรณีการใช้โมลาส โดยจะมีความแตกต่างกันที่ค่าความร้อนซึ่งจะแปรผันตามการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวหมักฯ ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบ และการต้านทานแรงกดจะแปรผกผันกับการเพิ่มสัดส่วนการผสมฟางข้าวหมักฯ ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มสัดส่วนผงถ่านกะลาจากสัดส่วน 40:60 ไปเป็น 50:50 และ 60:40 ในกรณีที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน และสัดส่วนวัตถุดิบ 50:50, 60:40 และ 70:30 ในกรณีของตัวประสานฟางข้าวหมัก ผลที่ได้คือจะทำให้อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงลดลงแต่จะทำให้ความหนาแน่น การต้านทานแรงกดและค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น อิทธิพลของขนาดของมุมแม่พิมพ์ที่เพิ่มขึ้นจาก 1.0–1.3 องศาจะทำให้อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ความหนาแน่นและการต้านทานแรงกดลดลงแต่พลังงานที่ใช้ในการอัดจะเพิ่มมากขึ้น การผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็งด้วยเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งมีความได้เปรียบกว่าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ถึง 2 ขั้นตอนส่งผลให้ประหยัดเวลาและแรงงานในการผลิต นอกจากนี้แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากงานวิจัยจะมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่อัดได้จากภาคอุตสาหกรรม

อาภาวดี เบ็ญจมธารกุล (2546) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรม หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตโดยผสมกับแกลบ อัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่งโรงงานผงชูรสและโรงงานนมอยู่ที่ 1:1, 2:1 และ3:1 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปได้ดีและใช้เวลาน้อย จากการนำตะกอนทั้ง 2 โรงงานมาทำการหมักเพื่อปรับปรุงคุณภาพ พบว่ากากตะกอนทั้ง 2 โรงงานหลังจากหมักแล้ว ประสิทธภาพการใช้งานความร้อนของโรงงานผงชูรส และโรงงานนมต่ำลง จากการวิเคราะห์ปัจจัยในการอัดแท่งความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจะแปรตามเวลาซึ่งขึ้นกับความชื้นของอัตราส่วนผสมจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเนื่องจากการแตกร่วนน้อย ส่วนคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนไม้และมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าถ่านหิน สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

เผาให้เป็นถ่าน พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานและการให้พลังงานแก่น้ำดีกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ไม่เผาเป็นถ่าน

สดับพร จันทราษฎร์ และคณะ (2548) ศึกษาการนำต้นโสนที่เป็นวัชพืชมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็งหรือถ่านอัดแท่ง เมื่อเทียบค่าความแข็งแรงของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านต้นโสนมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงทางพาณิชย์ที่ยอมรับและค่าความร้อนที่ใช้มันสำปะหลังดิบบดเป็นตัวประสานได้ค่าความร้อนสูงที่สุด จากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนผสม 6:100 มีค่าประมาณ27.44 เมกะจูล/กก. เมื่อเทียบกับถ่านไม้ทั่วไปมีค่าความร้อนประมาณ 28.98 เมกะจูล/กก. เพราะสามารถให้ค่าความแข็งแรง ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกันและให้ค่าความร้อนเกินถ่านอัดแท่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดไว้ คือมีค่าความร้อนประมาณ 21.00 เมกะจูล/กก. และค่าความชื้น ประมาณ 6.72%โดยน้ำหนักแห้ง โดยน้ำหนักมีค่าต่ำกว่าถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดไว้ไม่เกิน 8%โดยน้ำหนักแห้งโดยน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็ง จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าชนิดของตัวประสานขนาดของเชื้อเพลิงอัดแท่งและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตที่สุดคือ ใช้มันสำปะหลังดิบบดเป็นตัวประสานที่ขนาด 35 มม. อัตราส่วนผสมที่ 10:100 เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง รองลงมาได้แก่ แป้งมันสำปะหลังหยาบและโมลาสตามลำดับ ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากต้นโสนจากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์แทนถ่านไม้ได้ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการนำวัชพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่งแข็ง

เกวลิน ไชยอำพร (2551) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม โดยผสมน้ำและของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน โดยปรับเปลี่ยนอนุภาค 3 ช่วง (น้อยกว่า 0.5 มม., 0.5-1.0 มม. และน้อยกว่า 2.0 มม.) ปริมาณน้ำ 4 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 50-80 ปริมาณน้ำ 3 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 0-20 ปริมาณกลีเซอรอล 5 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 0-50 พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มอย่างเดียวในอัตราส่วน 50:10:40 โดยใช้เส้นใยปาล์มขนาดน้อยกว่า 2.0 มม. มีของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าร้อยละการอัดเม็ด 62.6 ความหนาแน่นรวม 982.2 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อน 22.5 เมกะจูล/กก. ความชื้นร้อยละ 5.92 สารที่ระเหยได้ร้อยละ 88.26 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.59 และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.23 ซึ่งปริมาณเถ้ามีมากกว่าร้อยละ 0.5 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด การนำกะลาปาล์มมาผสมกับเส้นใยปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อลดปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้ โดยอัตราส่วนเส้นใยปาล์มร้อยละ 80 ต่อ กะลาปาล์มร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มเนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้น

ลดลงเหลือร้อยละ 2.52 แต่ยังคงไม่ผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งมีค่าร้อยละ 0.5 ร้อยละการอัดเป็นเม็ด 70.5 ความหนาแน่นรวม 774.8 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อน 19.71 เมกะจูล/กก. ความชื้นร้อยละ 9.81 สารที่ระเหยได้ร้อยละ 86.23 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 1.44 โดยราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับ 1.14 บาท/กก.

บทที่ 3

แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ใช้ทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากสวนปาล์มแห่งหนึ่งใน อ.เหนือคลอง จ.กระบี่ และดำเนินการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนงานวิจัย

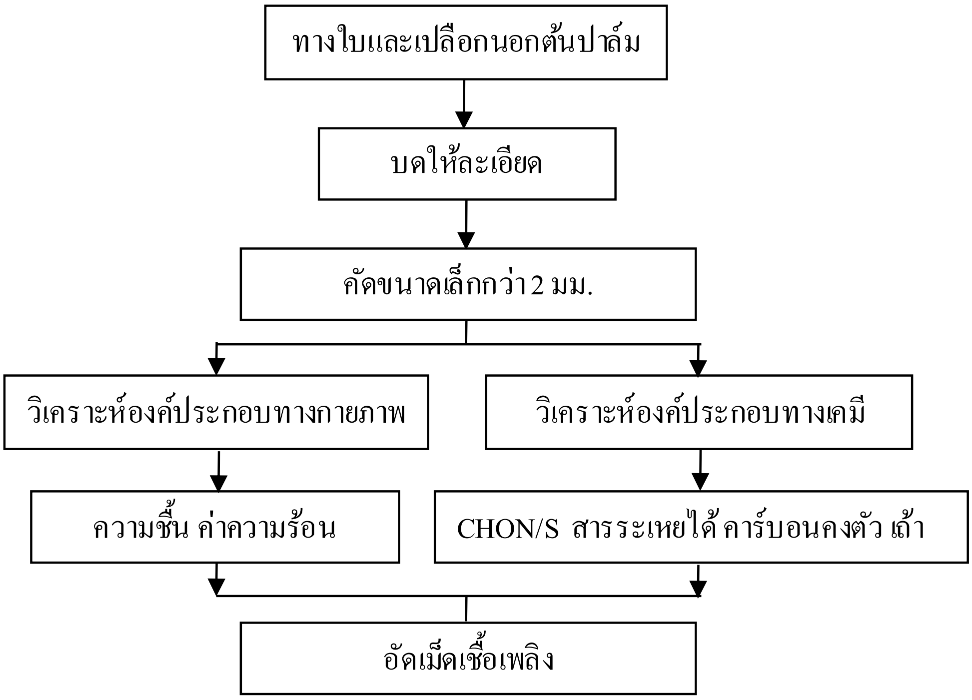
การวิจัยจะทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มและทางใบปาล์ม และทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ให้ค่าความร้อนสูงสุดโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 ศึกษา วิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

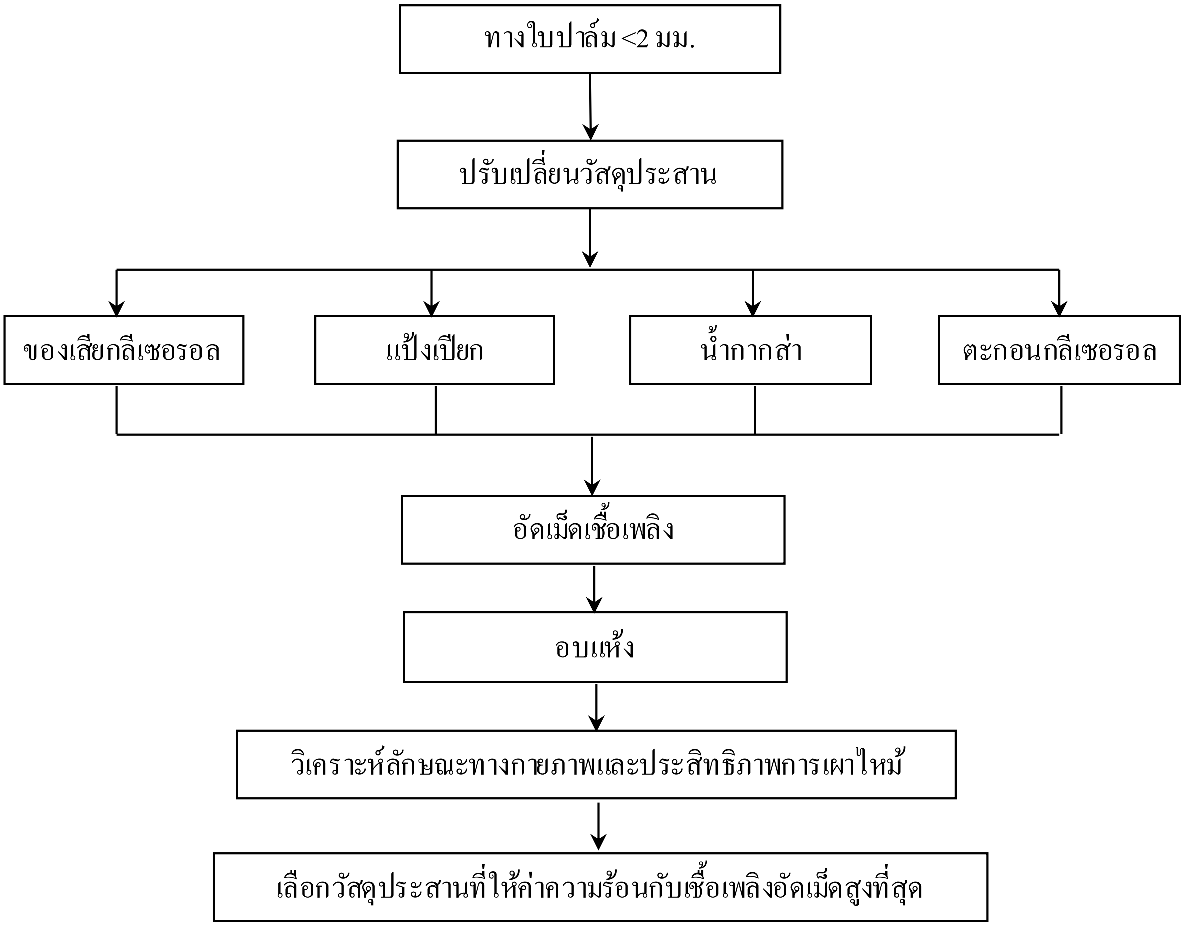
3.1.2 ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยปรับเปลี่ยนชนิดวัสดุประสาน อัตราส่วนวัสดุ ปรับสภาพวัสดุประสาน จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและทดสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพื่อเป็นแนวทางของการนำวัสดุเหลือใช้มาหมุนเวียนใช้เป็นพลังงานทดแทน

3.1.3 ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

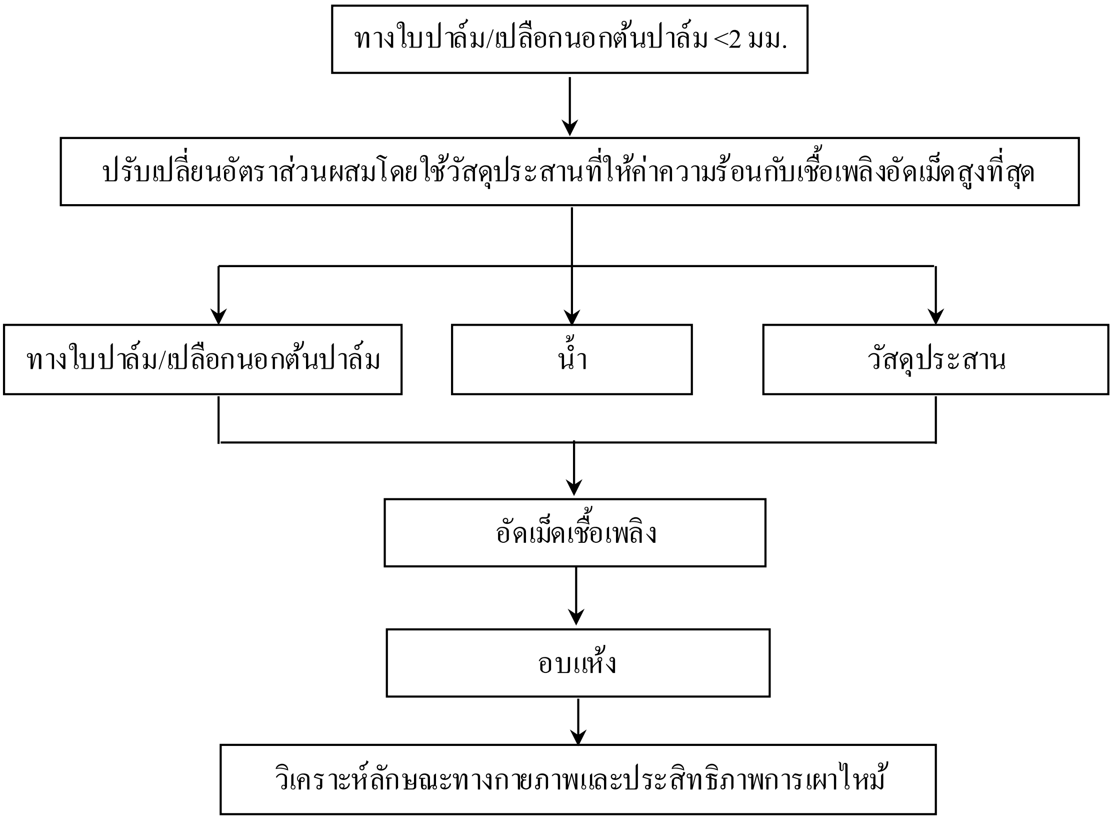
3.1.4 ประมาณการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม



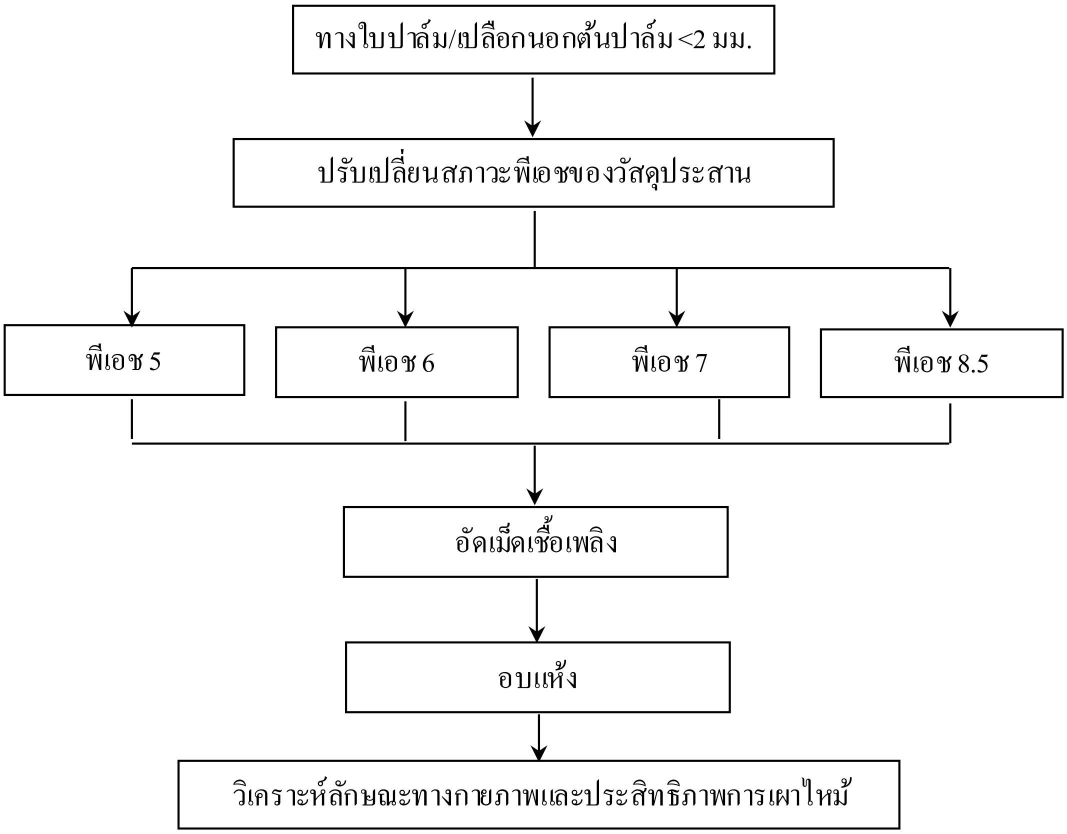
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 1



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 2



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 3



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ตอนที่ 4

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องผสมมวลสาร

2) ตู้อบ

3) เตาเผา

4) เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง

ภาพที่ 3.5 เครื่องบดละเอียดความเร็วสูง

5) เครื่องอัดเม็ด

ภาพที่ 3.6 เครื่องอัดเม็ด

6) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ

7) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

8) ปากคีบ

9) ตะแกรงร่อนเบอร์ 10 (ขนาด 2 มม.)

ภาพที่ 3.7 ตะแกรงคัดขนาด

10) ถ้วยกระเบื้อง

3.2.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1) เปลือกนอกต้นปาล์ม

ภาพที่ 3.8 เปลือกนอกต้นปาล์มก่อนและหลังบด

2) ทางใบปาล์ม

ภาพที่ 3.9 ทางใบปาล์มก่อนและหลังบด

3) ของเสียกลีเซอรอลจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากบ.บางจากปิโตรเลียมจำกัด (มหาชน)

4) แป้งเปียก (ผงแป้งมัน 35 ก.ในน้ำ 100 มล.)

5) น้ำกากส่า น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นครั้งแรกจาก บริษัท สุรากระทิงแดง 1992 จำกัด

6) ตะกอนกลีเซอรอล จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจาก บริษัท ไทยโอลิโอเคมี จำกัด

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ลักษณะสมบัติของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

3.3.1.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม ได้แก่ ความชื้น ค่าความร้อน

3.3.1.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม ดังนี้

(1) ปริมาณ CHON/S ในทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ธาตุ (Elemental Analyzer)

(2) ปริมาณเถ้า สารระเหยได้ คาร์บอนคงตัวของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

3.3.2 ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมและปริมาณวัสดุประสาน วิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและทดสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพื่อเป็นแนวทางของการนำวัสดุเหลือใช้มาหมุนเวียนใช้เป็นพลังงานทดแทน

การทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มในการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มอย่างเดียวและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มอย่างเดียวโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสานโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัสดุ ปริมาณน้ำและปริมาณตัวประสาน

3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างทางใบปาล์ม

ทางใบปาล์มที่ได้นำมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดผงละเอียดความเร็วสูง ดังแสดงในภาพที่ 3.5 แล้วจึงนำไปอบในตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 104-110°ซ เป็นเวลา 1 ชม. (ASTM D3173-03, 2006) ร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มม.

3.3.2.2 ทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม ทางใบปาล์มขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2 มม. โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของชีวมวล ปริมาณน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมและปริมาณวัสดุประสาน ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1

1) วิธีการดำเนินการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มอย่างเดียวโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นตัวประสาน

(1) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ ทางใบปาล์มที่คัดขนาดเล็กกว่า 2 มม. มาปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุประสานและอัตราส่วนผสม 4 ค่า (ร้อยละ 50, 60, 70, 80) ต่อปริมาณน้ำ 3 ค่า (ร้อยละ 0, 5, 10) และตัวประสาน 9 ค่า (ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50) เทียบเป็นอัตราส่วนโดยมวลรวมทั้งหมด ในแต่ละสูตรผสมทำซ้ำ 3 ครั้ง ดังตารางที่ 3.1 ในการผสมจะนำทางใบปาล์มผสมน้ำอุณหภูมิ 85-90 °ซ และของเสียกลีเซอรอลร้อนประมาณ 100 °ซ ส่วนผสมทั้งหมดจะถูกผสมในเครื่องผสมใช้ความเร็วรอบต่ำและหัวที่ตีผสมมี 2 หัว คือหัวตะขอพายและใบพาย โดยใช้ใบพายผสมก่อนเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วใช้หัวตะขอต่อเพื่อให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนเป็นเวลา 5 นาที

(2) เมื่อนำส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วตักส่วนผสมใส่ภาชนะ

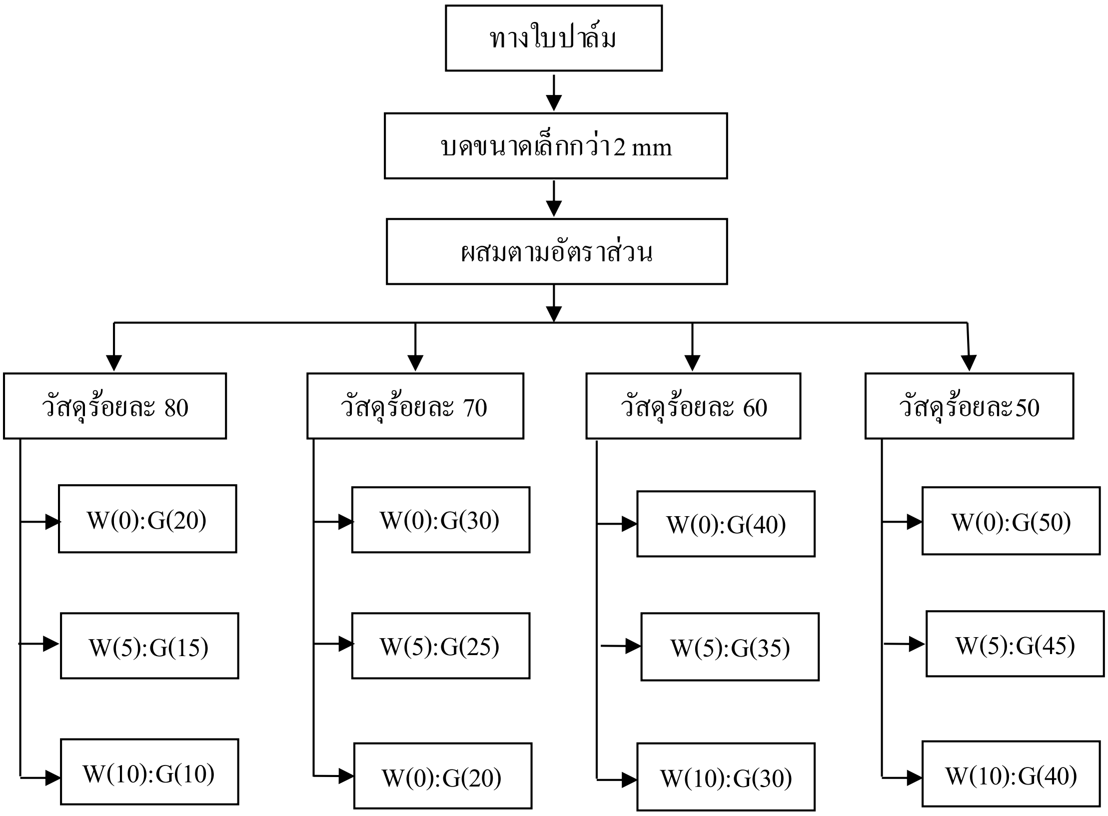
(3) นำส่วนผสมไปทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด (เม็ดกระบอก) ดังแสดงในภาพที่ 3.4

(4) นำเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มาอบที่อุณหภูมิ 50-60 °ซ เป็นเวลา 1 วัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จะแห้งและแข็งขึ้น

(5) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังอบมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการเผาไหม้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยมวลรวมทั้งหมด)			
	ทางใบปาล์ม	น้ำ	กลีเซอรอล	จำนวนตัวอย่าง
1	50	0	50	3
2	50	5	45	3
3	50	10	40	3
4	60	0	40	3
5	60	5	35	3
6	60	10	30	3
7	70	0	30	3
8	70	5	25	3
9	70	10	20	3
10	80	0	20	3
11	80	5	15	3
12	80	10	10	3



สัญลักษณ์ : W=น้ำ , G= ของเสียกลีเซอรอล , ( ) = อัตราส่วนผสมของวัสดุ

ภาพที่ 3.10 ส่วนผสมเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

3.3.2.3 วิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดและประสิทธิภาพในการเผาไหม้

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม คือ ความชื้น ความหนาแน่น ส่วนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น สารที่ระเหยได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยการวิจัยนี้จะยึดตามมาตรฐาน (ASTM) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นที่ยอมรับและเชื่อถือได้โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2 และจำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ

ตัวแปรวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณเถ้า (Ash Content)	ASTM D3174-04
ปริมาณความชื้น (Water Content)	ASTM D3173-03
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	ASTM D3172-07a
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)	ASTM D3175-07

ตารางที่ 3.3 จำนวนตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์

ทางใบปาล์ม เปลือกต้นปาล์ม (ร้อยละโดยมวล)	อัตราส่วน น้ำ : ของเสียกลีเซอรอล	จำนวนตัวอย่าง
ทางใบปาล์ม (50)	0:50, 5:45, 10:40	3x3
ทางใบปาล์ม (60)	0:40, 5:35, 10:30	3x3
ทางใบปาล์ม (70)	0:30, 5:25, 10:20	3x3
ทางใบปาล์ม (80)	0:20, 5:15, 10:10	3x3
เปลือกต้นปาล์ม (50)	0:50, 5:45, 10:40	3x3
เปลือกต้นปาล์ม (60)	0:40, 5:35, 10:30	3x3
เปลือกต้นปาล์ม (70)	0:30, 5:25, 10:20	3x3
เปลือกต้นปาล์ม (80)	0:20, 5:15, 10:10	3x3
รวม		72

การวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด มีวิธีการดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (สำเริง จักรใจ, 2547) ทำได้โดยใช้บอมบ์-แคลอริมิเตอร์

2) ค่าความหนาแน่น (Rabier, 2006) นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่แห้งแล้ว ชั่งน้ำหนักและหาความหนาแน่นด้วยการแทนน้ำ

3) ปริมาณความชื้น (Moisture content : M) ตาม ASTM D3173-03 นำเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 ก. ไปอบที่อุณหภูมิ 104 – 110 °ซ เป็นเวลา 1 ชม. โดยให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดและคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

4) ปริมาณเถ้า (Ash content : A) เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดตาม ASTM D3174-04 ทำโดยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด 1 ก. ที่อุณหภูมิ 750 °ซ และคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่

5) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile Matter : VM) ของแข็งที่ระเหยได้เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีสถานะเป็นก๊าซเมื่อนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ เป็นเวลา 6-7 นาที (โดยไม่สัมผัสอากาศ) และคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่หายไปลบด้วยความชื้น(ASTM D3175-07)

6) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fix Carbon : FC) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหยและเถ้าออกแล้ว ตาม ASTM D3172-07a ซึ่งหาได้โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100

สำหรับการเตรียมตัวอย่างเปลือกนอกต้นปาล์มและวิธีดำเนินการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มอย่างเดียวโดยมีของเสียกลีเซอรอลร้อนเป็นตัวประสาน มีวิธีการทดลองเช่นเดียวกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม ตั้งแต่ข้อ 3.3.2.1-3.3.2.3 โดยอัตราส่วนผสมจะเป็นค่าเดียวกับตารางที่ 3.1

3.3.3 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยการเปรียบเทียบตัวแปรที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้างต้น

3.3.4 ประมาณการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยการประมาณจากค่าขนส่ง ค่าวัตถุดิบ ค่าไฟฟ้า ค่าเครื่องจักร และค่าวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ในลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงข้างต้น

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการเพิ่มความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มต่อของเสียกลีเซอรอลและน้ำที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทั่วไปของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม ดังนี้

1) การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ด้วยวิธี ASTM D3173-03, D3175-07 D3174-04, D3172-07a, เพื่อหาความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงตัว

2) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ด้วยเครื่อง Elemental analyzer เพื่อหาองค์ประกอบคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และออกซิเจน

3) วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง Automatic Bomb Calorimeter เพื่อหาค่าความร้อน

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลของชนิดวัสดุประสาน อัตราส่วนของทางใบปาล์มต่อของเสียกลีเซอรอลต่อน้ำที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด และอัตราส่วนของเปลือกนอกต้นปาล์มต่อของเสียกลีเซอรอลต่อน้ำที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยทำการวิเคราะห์ 7 ตัวแปร ได้แก่ ความชื้น สารระเหยได้ เถ้า คาร์บอนคงตัว ร้อยละอัดเม็ด ความหนาแน่น และค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการอัดเม็ด

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการประมาณการค่าใช้จ่าย ต้นทุนในกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของชีวมวลและวัสดุประสาน

4.1.1 ลักษณะทางเคมี สมบัติทางความร้อนของทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม

จากเอกสารอ้างอิงพบว่าทางใบปาล์มสดมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 78.40 สารระเหยได้ ร้อยละ 16.30 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 4.60 และเถ้าร้อยละ 0.70 (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2552) และเมื่อทำการอบแห้งแล้ววิเคราะห์ลักษณะทางเคมี พบว่ามีความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 7.39 สารระเหยได้ ร้อยละ 72.53 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 5.80 และเถ้าร้อยละ 14.27 จะเห็นได้ว่า ค่าความชื้นของทางใบปาล์มที่

อบแห้งแล้วมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-10 ซึ่งหากค่าความชื้นมีมากเกินไปจะเพิ่มการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการกลายเป็นไอ และอยู่ในช่วงมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งกำหนดไว้ว่าไม่เกินร้อยละ 10 ปริมาณสารระเหยได้โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในช่วงร้อยละ 20-35 สารระเหยได้จะมีผลช่วยให้เชื้อเพลิงจุดไฟได้ง่ายขึ้น ปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เหลือในเตาเผา (เถ้า)หลังจากที่สารระเหยได้ถูกสลายเป็นไอน้ำและก๊าซไปแล้ว ค่าคาร์บอนคงตัวจะเป็นการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอย่างคร่าวๆ (สุวดี จางอิสระกุล และคณะ, 2552) ปริมาณสารระเหยและคาร์บอนคงตัวของชีวมวลโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.6 และ 18.6 ตามลำดับ (Vassilev และคณะ, 2010) ปริมาณเถ้าของทางใบปาล์มซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 14.27 จากข้อมูลโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.7 (Vassilev และคณะ, 2010) และมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดกำหนดไว้น้อยกว่าร้อยละ 0.5 (European Biomass Industry Association, 2005) ซึ่งปริมาณเถ้าจากทางใบปาล์มมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปและเกินมาตรฐานที่กำหนด

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของเปลือกนอกต้นปาล์มสดพบว่า ความชื้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 48.40 สารระเหยได้ร้อยละ 38.70 คาร์บอนคงตัวร้อยละ 11.70 และเถ้าร้อยละ 1.20 และเมื่อวิเคราะห์หลังจากทำการอบแห้งแล้วพบว่า ความชื้น สารระเหยได้ คาร์บอนคงตัว และเถ้าเท่ากับร้อยละ 6.80 69.68 10.81 และ 12.71 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในค่าโดยเฉลี่ยของชีวมวลโดยทั่วไปคือ ร้อยละ 64.6 และ 18.6 ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณเถ้ายังคงสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดและค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปของชีวมวลมาก ค่าปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัวและเถ้าของทางใบปาล์ม เปลือกนอกต้นปาล์ม แสดงในตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของทางใบปาล์ม คือ คาร์บอนเท่ากับร้อยละ 38.38 ไฮโดรเจนร้อยละ 5.53 ไนโตรเจนร้อยละ 2.27 ซัลเฟอร์ร้อยละ 0.09 และออกซิเจนร้อยละ 53.73 ส่วนผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของเปลือกนอกต้นปาล์ม คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์และออกซิเจน เท่ากับร้อยละ 25.43 3.1 0.58 0.08 และ 70.73 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทั้งทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีลักษณะสมบัติที่เหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิง แม้ว่าจะมีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยทั่วไป โดยส่วนใหญ่ปริมาณคาร์บอนของชีวมวลจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ร้อยละ 50.4 (Vassilev และคณะ, 2010) ปริมาณคาร์บอนที่มีในองค์ประกอบหากมีปริมาณมากก็จะเป็นเชื้อเพลิงที่ดี แต่เนื่องจากค่าไนโตรเจนและซัลเฟอร์มีปริมาณน้อย การเผาไหม้ทางใบและเปลือกนอก

ต้นปาล์มนี้จะไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศเนื่องจาก SO_x และ NO_x (ปิยะพันธ์ จะกอ, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ แล้ว มีค่าไม่ต่างกับชีวมวลอื่นๆ ดังตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนพบว่าทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม มีค่าความร้อน เท่ากับ 17.16 และ 14.56 เมกะจูล/กก. จะเห็นว่า ค่าความร้อนจากทางใบปาล์มมีค่ามากกว่าเปลือกนอกต้นปาล์ม จากตารางที่ 4.1 ค่าความร้อนของชีวมวลมีช่วงอยู่ระหว่าง 7.37-16.90 เมกะจูล/กก. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.30 เมกะจูล/กก. แสดงให้เห็นว่าทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของชีวมวล ดังนั้นค่าความร้อนจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มเหมาะสมในการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง และค่าความร้อนของของเสียกลีเซอรอลซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.72 เมกะจูล/กก. ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูงเหมาะในการนำมาเป็นวัสดุประสานเพื่อเพิ่มค่าความร้อนให้กับทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มเช่นกัน

4.1.2 ลักษณะทางเคมี สมบัติทางความร้อนของวัสดุประสาน

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบผลของวัสดุประสานที่มีต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเบื้องต้น โดยทำการเลือกวัสดุประสาน 4 ชนิด ได้แก่ ของเสียกลีเซอรอล แป้งเปียก น้ำกากส่า ตะกอนกลีเซอรอลซึ่งใช้เป็นวัสดุประสานและตัวอย่างชีวมวลในประเทศไทย ดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแป้งเปียกมีปริมาณความชื้นสูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำกากส่า ซึ่งมีค่าร้อยละ 97.43 และ 89.71 ตามลำดับ ของเสียกลีเซอรอลร้อยละ 25.15 ส่วนตะกอนกลีเซอรอลมีค่าปริมาณความชื้นน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 0.5 ตะกอนกลีเซอรอลมีค่าปริมาณสารระเหยได้มากที่สุด คือร้อยละ 92.43 รองลงมาคือ ของเสียกลีเซอรอล น้ำกากส่าและแป้งเปียก ร้อยละ 72.60 9.10 และ 1.63 ตามลำดับ วัสดุประสานทั้ง 4 ตัวไม่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเลย ส่วนตะกอนกลีเซอรอลมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 10.57 รองลงมาเป็นของเสียกลีเซอรอล 2.33 แป้งเปียก 0.99 และน้ำกากส่า 0.64 ค่าความร้อนที่ได้ของของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 25.72 เมกะจูล/กก. และตะกอนกลีเซอรอล 14.84 เมกะจูล/กก. ค่าความร้อนของแป้งเปียกและน้ำกากส่าไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ของเสียกลีเซอรอลน่าจะเป็นตัวประสานที่เพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าความร้อนมากที่สุด

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของทางใบปาล์ม เปลือกนอกต้นปาล์ม วัสดุประสาน และชีวมวลชนิดอื่นๆ

ชีวมวล	วิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)				วิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)					ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)
	ความชื้น	สารระเหยได้	คาร์บอนคงตัว	เถ้า	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์	ออกซิเจน	
ชีวมวล										
ทางใบปาล์ม*	7.39	72.53	5.80	14.27	38.38	5.53	2.27	0.09	32.07	17.16
เปลือกนอกต้นปาล์ม*	6.80	69.68	10.81	12.71	25.43	3.18	0.58	0.08	51.22	14.56
แกลบ	12.00	56.46	18.88	12.65	37.48	4.41	0.17	0.04	33.28	13.52
ฟางข้าว	10.00	60.70	18.90	10.39	38.17	5.02	0.58	0.09	35.28	12.33
ชานอ้อย	50.73	41.98	5.86	1.43	21.33	3.06	0.12	0.03	23.29	7.37
ใยปาล์ม	38.50	42.68	14.39	4.42	30.82	3.74	0.84	0.08	21.61	11.40
กะลาปาล์ม	12.00	68.20	16.30	3.50	44.44	5.01	0.28	0.02	34.70	16.90
ค่าเฉลี่ยชีวมวลทั่วไป	24.65	54.00	14.87	6.48	34.45	4.25	0.40	0.05	29.63	12.30
วัสดุประสาน										
ของเสียกลีเซอรอล*	25.15	72.60	0	2.33	47.54	9.34	0.56	0.03	15.05	25.72
แป้งเปียก*	97.43	1.63	0	0.99	-	-	-	-	-	-
น้ำกากส่า*	89.71	9.10	0	0.64	-	-	-	-	-	-
ตะกอนกลีเซอรอล*	0.58	92.43	0	10.57	32.44	6.92	0.41	5.30	43.78	14.84
มาตรฐาน	<10	-	-	<0.5	-	-	-	-	-	>17

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม : ออนไลน์, หมายเหตุ : *วิเคราะห์จากงานวิจัยนี้

4.2 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.2.1 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้วัสดุประสานต่างกัน

การทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยมีการปรับเปลี่ยนวัสดุประสาน 4 ชนิด ได้แก่ ของเสียกลีเซอรอล แป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอล โดยทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัตราส่วนวัสดุ ทางใบปาล์ม-น้ำ-วัสดุประสาน 70-0-30 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากวัสดุประสานแต่ละชนิด ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้วัสดุประสานต่างกัน 4 ชนิด

วัสดุประสาน	ร้อยละของประสิทธิภาพการอัดเม็ด	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละ)				ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)
			ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว	
ของเสียกลีเซอรอล	83.26	996.01	3.33	82.01	13.58	1.09	19.22
แป้งเปียก	93.76	997.03	2.99	69.71	19.94	7.37	16.39
น้ำกากส่า	91.53	997.07	4.01	72.97	18.34	4.67	16.29
ตะกอนกลีเซอรอล	87.87	994.91	3.13	78.62	13.53	4.71	16.23
มาตรฐาน	-	>650	<10	-	<0.5-3.5	-	>17

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้วัสดุประสานต่างกันพบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้แป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอลสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้สูงกว่าร้อยละ 80 ของวัสดุทั้งหมด โดยที่เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้แป้งเปียกเป็นวัสดุประสานมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำกากส่า ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าสูงใกล้เคียงกัน ปริมาณความชื้นมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (ร้อยละ 10) ทุกค่า ปริมาณสารระเหยได้มีค่าแตกต่างกันมากขึ้นกับชนิดของวัสดุประสาน เนื่องจากวัสดุประสานทั้ง 4 ชนิดมีค่าปริมาณสารระเหยได้ต่างกันมาก ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแป้งเปียกและน้ำกากส่ามีค่าต่ำมาก (1.65%และ 9.10%) จึงมีผลทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้แป้งเปียกเป็นวัสดุประสานมีค่าปริมาณสารระเหยได้ต่ำที่สุด รองลงมาคือน้ำกากส่า ส่วนปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าผกผันกับปริมาณสารระเหยได้ ส่วนปริมาณเถ้าพบว่าการใช้วัสดุประสานทุกชนิดจะได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีปริมาณเถ้าสูงเกินค่ามาตรฐานมาก โดยเฉพาะในเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้แป้งเปียกเป็นวัสดุประสาน โดยมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 19.94 ค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้วัสดุประสานเป็นของเสียกลีเซอรอลมีค่าสูงสุดและผ่านค่ามาตรฐานและของ

เชื้อเพลิงอัดเม็ด ทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนของของเสียกลีเซอรอลมีค่าความร้อนสูงที่สุด ส่วนการใช้วัสดุประสานอื่นๆพบว่าได้ค่าความร้อนต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั้งหมด

จากผลการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยมีการปรับเปลี่ยนวัสดุประสาน 4 ชนิด สรุปว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอลจะให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีค่าความร้อนตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้สูงกว่าร้อยละ 83.3 ของวัสดุทั้งหมด มีค่าความหนาแน่นสูงและปริมาณความชื้นต่ำกว่าค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารระเหยได้และคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด แต่มีปริมาณเถ้าสูงอยู่ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

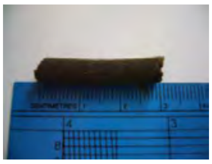
4.2.2 ลักษณะสมบัติของแชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่ใช้กลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัดจากส่วนผสมของทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน ต้องนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อศึกษาลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ร้อยละอัดเม็ด ความหนาแน่นเม็ดเชื้อเพลิง ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยได้ ปริมาณคาร์บอนคงตัว ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.2.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

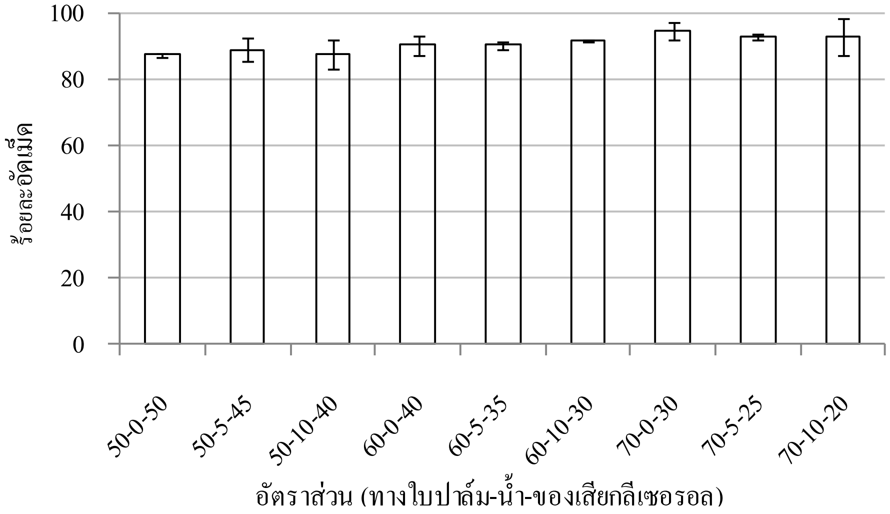
ลักษณะภายนอกของเม็ดเชื้อเพลิงจากทางใบปาล์มมีลักษณะตั้งแต่ผิวขรุขระเล็กน้อยไปถึงผิวเรียบเมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงทำให้ผิวของเม็ดเชื้อเพลิงเรียบเนียนและเป็นเงามากขึ้นกว่าในอัตราส่วนที่มีปริมาณของเสียกลีเซอรอลสูงกว่าและยังส่งผลต่อความยาวของเม็ดเชื้อเพลิง เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงทำให้เม็ดเชื้อเพลิงมีความยาวเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลน้อยกว่าร้อยละ 30 ความยาวโดยเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิงทั้งหมดเท่ากับ 2.05 ซม. ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงยาวที่สุดคือ อัตราส่วน 70-10-20 ที่ความยาว 3.6 เซนติเมตร รอยแตกร้าวของเม็ดเชื้อเพลิงมีน้อยมากในปริมาณของเสียกลีเซอรอลตั้งแต่ร้อยละ 30-50 และไม่มีรอยแตกร้าวเลยในปริมาณของเสียกลีเซอรอลน้อยกว่าร้อยละ 30 โดยมวล และเมื่อใช้ปริมาณของเสียกลีเซอรอลต่ำกว่าร้อยละ 30 คือที่ส่วนอัตราส่วน 80-0-20 80-5-15 และ 80-10-10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมมีลักษณะแห้งหรือร่วนจนเกินไป เมื่อเข้าเครื่องอัดแล้วส่วนผสมไม่อัดตัวเป็นเม็ด ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงจากทางใบปาล์ม

ลำดับที่	อัตราส่วน	ลักษณะเม็ดเชื้อเพลิง	ความยาวเม็ดเชื้อเพลิง (เซนติเมตร)	ลักษณะภายนอกของเม็ดเชื้อเพลิง
1	50-0-50	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวน้อย	1.0-3.1	
2	50-5-45	เม็ดเชื้อเพลิงสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวน้อย	1.0-2.8	
3	50-10-40	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย รอยแตกร้าวน้อย	1.2-2.9	
4	60-0-40	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวน้อย	1.0-2.4	
5	60-5-35	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวน้อย	0.9-2.9	
6	60-10-30	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย มีรอยแตกร้าวน้อย	1.4-3.1	
7	70-0-30	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบมี ไม่มีรอยแตกร้าว	0.8-3.4	
8	70-5-25	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบมี ไม่มีรอยแตกร้าว	1.3-3.2	
9	70-10-20	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบมี ไม่มีรอยแตกร้าว	0.9-3.6	

4.2.2.2 การผลิตชีวมวลและวัสดุประสานเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

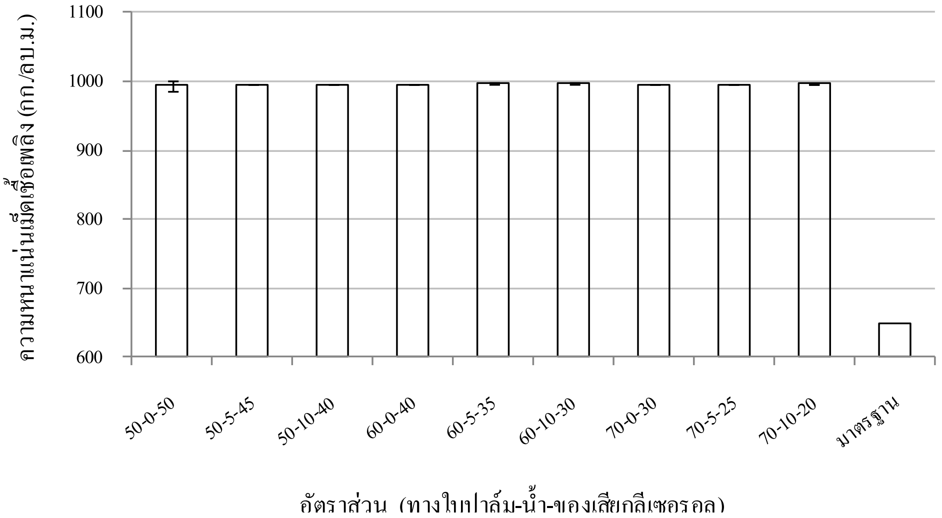
ค่าร้อยละของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้จากการอัดเม็ดทางใบปาล์มและของเสียกลีเซอรอลด้วยเครื่องอัดเม็ดขึ้นกับอัตราส่วนของเสียกลีเซอรอลที่เป็นวัสดุประสาน ค่าร้อยละของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้มีค่าตั้งแต่ 87.50-93.07 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานของเสียกลีเซอรอลมีผลทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้ลดลง เนื่องจากการเกาะตัวกันหลวมๆของอนุภาค เมื่ออัดเม็ดแล้วเชื้อเพลิงอัดเม็ดจึงแตกได้ง่ายกว่าในอัตราส่วนที่มีของเสียกลีเซอรอลน้อยกว่าและอัตราส่วนผสมที่สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้มากสุดคือที่อัตราส่วนทางใบปาล์มต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 70-0-30



ภาพที่ 4.1 ค่าร้อยละของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.2.2.3 ผลวิเคราะห์ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม มีช่วงค่าความหนาแน่นระหว่าง 994.04-997.85 กก./ลบ.ม. ซึ่งความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้งหมดผ่านค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งมีค่าเท่ากับ 650 กก./ลบ.ม.ทุกอัตราส่วนบ่งชี้ว่าวัสดุทางใบปาล์มและวัสดุประสานของเสียกลีเซอรอลสามารถใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีความหนาแน่นสูงได้ตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนผสม



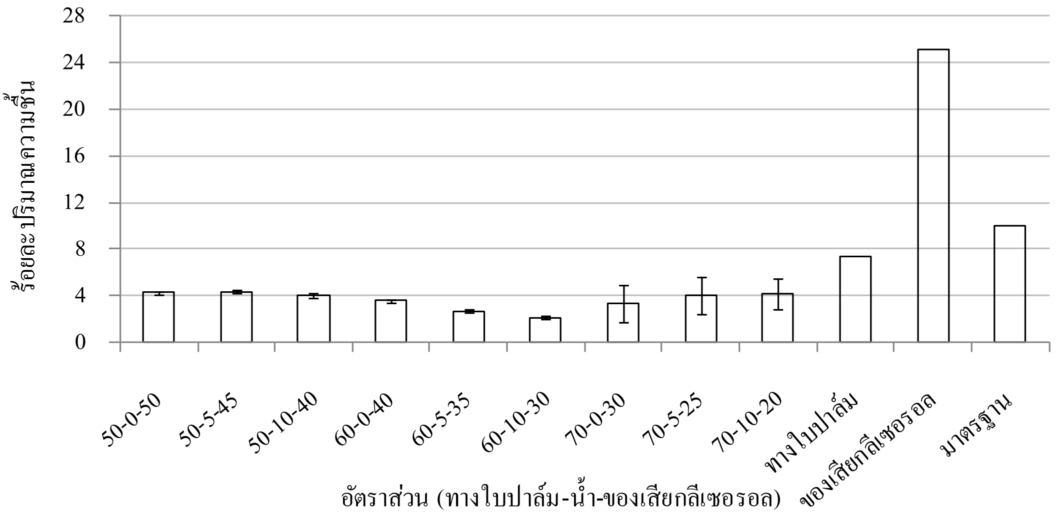
ภาพที่ 4.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.2.2.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้

ผลวิเคราะห์แบบประมาณซึ่งประกอบไปด้วยค่าความชื้น สารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีดังนี้

1) ปริมาณความชื้น

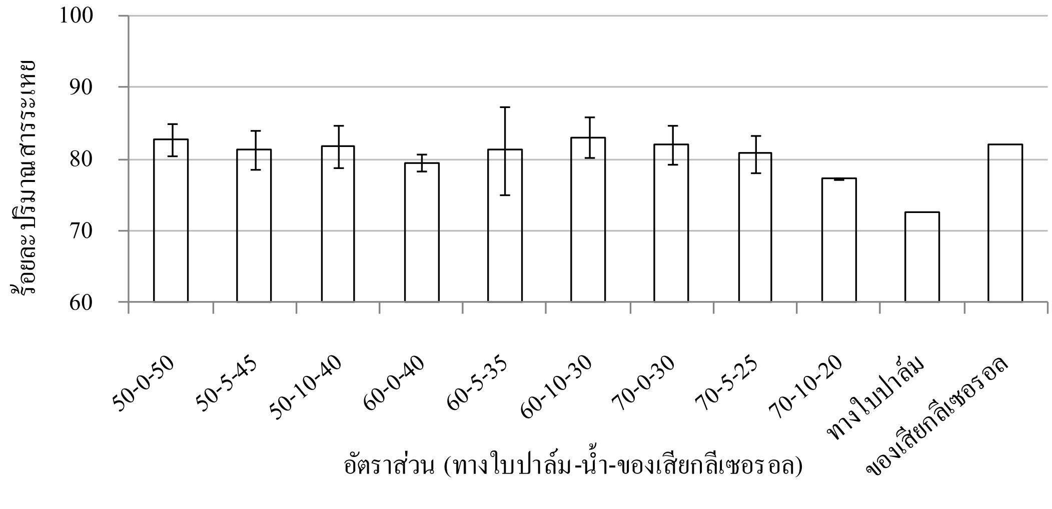
ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.12-4.35 โดยอัตราส่วนของ ทางใบปาล์ม-น้ำ-ของเสียกลีเซอรอล ที่มีค่าความชื้นสูงที่สุดคือ อัตราส่วน 50-5-45 ส่วนอัตราส่วนที่มีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ อัตราส่วน 60-10-30 ปริมาณน้ำและปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นโดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับงานวิจัยของเกวลิน ไชยอำพร (2551) กล่าวว่า ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นและในทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นที่ผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 ความชื้นจากงานวิจัยนี้เป็นการนำเอาเม็ดเชื้อเพลิงไปอบที่อุณหภูมิ 50-60 °ซ เป็นเวลา 1 วัน ค่าความชื้นที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกับงานวิจัยของเกวลิน ทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดแห้งโดยนำไปตากแดดเป็นเวลา 1 วัน ซึ่งทำให้ปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ เกรียงไกรและคณะ (2552) ทำการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสบู่ดำ หลังจากทำการอัดแท่งจากส่วนผสมแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 °ซ หรือตากแดดจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 สรุปว่าปริมาณความชื้นหลังอบแห้งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมากส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม



ภาพที่ 4.3 ร้อยละปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

2) ปริมาณสารระเหย

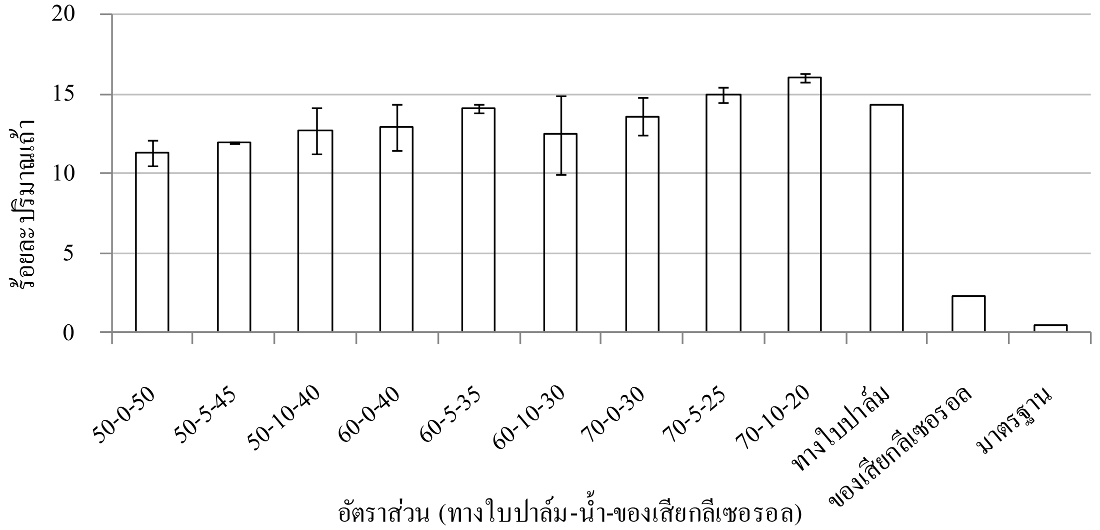
ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 77.37-83.11 อัตราส่วนที่มีปริมาณสารระเหยน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 70-10-20 อัตราส่วนที่มีปริมาณสารระเหยมากที่สุด คือ อัตราส่วน 60-10-30 ค่าร้อยละปริมาณสารระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีค่าสูงเนื่องจากทางใบปาล์มและของเสียกลีเซอรอลที่ใช้เป็นวัสดุประสานมีค่าสารระเหยได้สูง โดยของเสียกลีเซอรอลมีค่าสูงกว่าทางใบปาล์มเล็กน้อย (8%) ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่มีน้ำเป็นส่วนผสมมากขึ้นจะมีแนวโน้มค่าร้อยละปริมาณสารระเหยได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่ำลง



ภาพที่ 4.4 ร้อยละปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

3) ปริมาณเถ้า

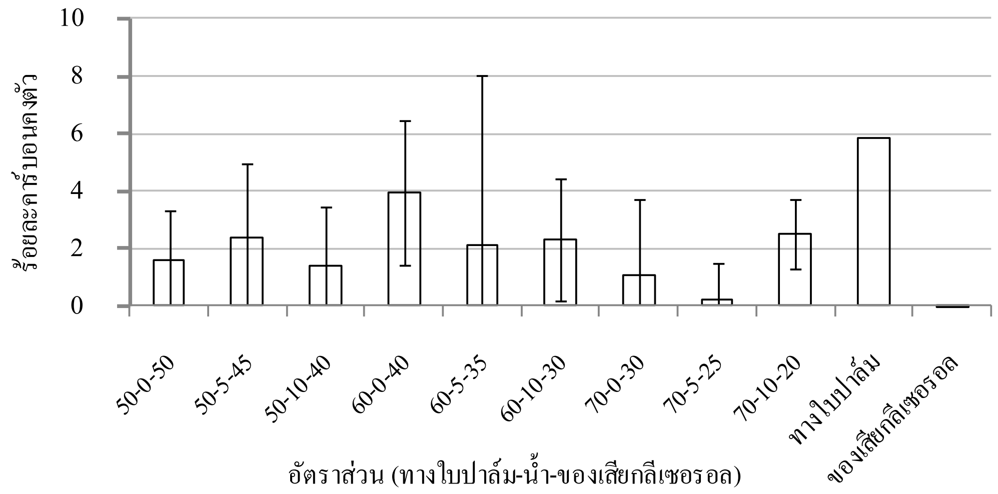
เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มในอัตราส่วนต่างๆ จะมีปริมาณเถ้าแปรผันตามปริมาณทางใบปาล์ม เมื่ออัตราส่วนทางใบปาล์มเพิ่มขึ้นปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ในทิศทางเดียวกันปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีผลต่อปริมาณเถ้าเนื่องจากเมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นปริมาณเถ้าลดลง ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีค่าสูงเกินมาตรฐาน (ร้อยละ 0.5) ทุกอัตราส่วนเพราะทางใบปาล์มมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 14.27



ภาพที่ 4.5 ร้อยละปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีปริมาณคาร์บอนคงตัวตั้งแต่ร้อยละ 0.23-3.93 อัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 70-5-25 และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวมากที่สุด คือ อัตราส่วน 60-0-40 จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าทางใบปาล์มเพียงอย่างเดียวแสดงให้เห็นว่าไม่มีค่าแนวโน้มใดๆ ของของเสียกลีเซอรอลเลย



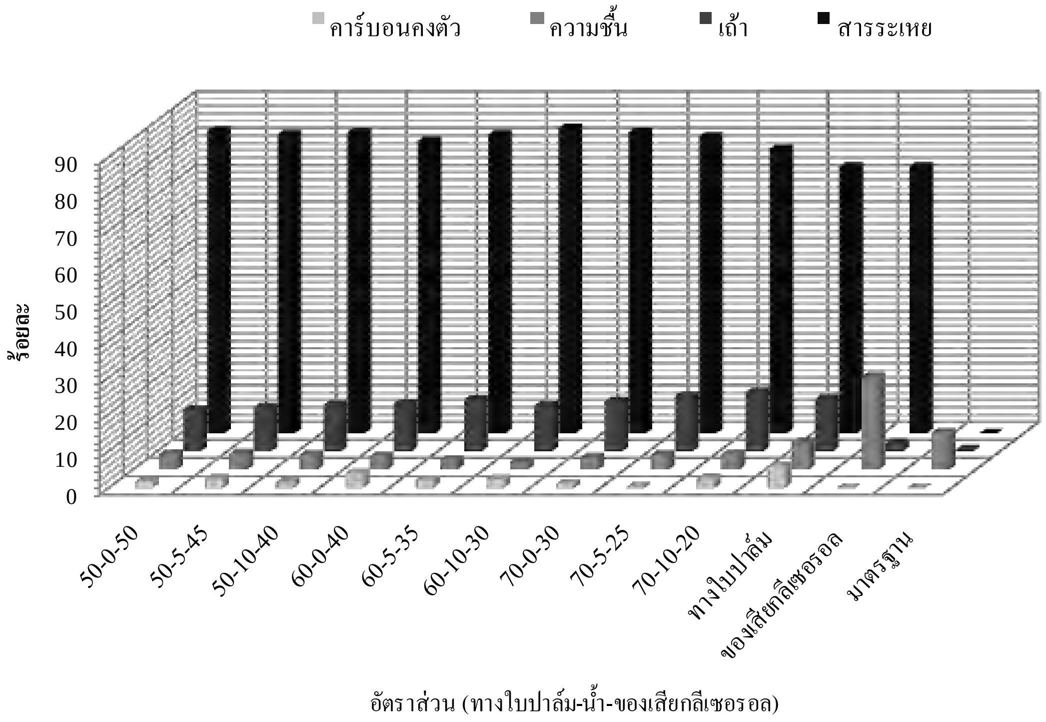
ภาพที่ 4.6 ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

5) สรุปประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

สรุปปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.7 สรุปได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัวได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งคาดว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี เนื่องจากมีค่าปริมาณสารระเหยสูงและมีค่าความชื้นต่ำมาก แต่ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มทุกอัตราส่วนมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

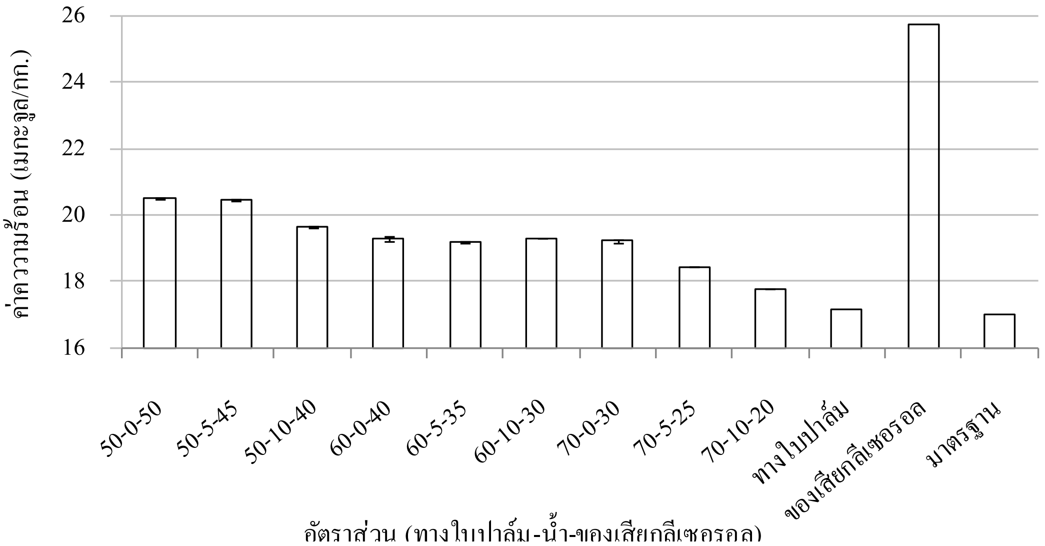
อัตราส่วน ทางใบปาล์ม-น้ำ-ของเสียกลีเซอรอล	การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว
50-0-50	4.22	82.33	11.34	1.60
50-5-45	4.35	81.34	11.92	2.39
50-10-40	4.03	81.85	12.71	1.41
60-0-40	3.58	79.56	12.92	3.94
60-5-35	2.68	81.33	14.07	2.08
60-10-30	2.12	83.11	12.46	2.31
70-0-30	3.33	82.01	13.58	1.09
70-5-25	3.99	80.79	14.99	0.23
70-10-20	4.12	77.37	16.04	2.47
ทางใบปาล์ม	7.39	72.53	14.27	5.81
ของเสียกลีเซอรอล	25.15	72.60	2.33	0
มาตรฐาน	<10	-	<0.5-3.5	-



ภาพที่ 4.7 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.2.2.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นแปรตามปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่เป็นตัวประสาน โดยอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนมากที่สุด คืออัตราส่วนที่มีของเสียกลีเซอรอลสูงสุด 50-0-50 ส่วนอัตราส่วนที่มีของเสียกลีเซอรอลต่ำสุด 70-10-20 ให้ค่าความร้อนที่ต่ำที่สุดเช่นกัน โดยที่ค่าความร้อนสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 20.51 และ 17.78 เมกะจูล/กก. ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนมีค่าได้ตามมาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 17 เมกะจูล/กก. แนวโน้มของกราฟค่าความร้อน ดังภาพที่ 4.8



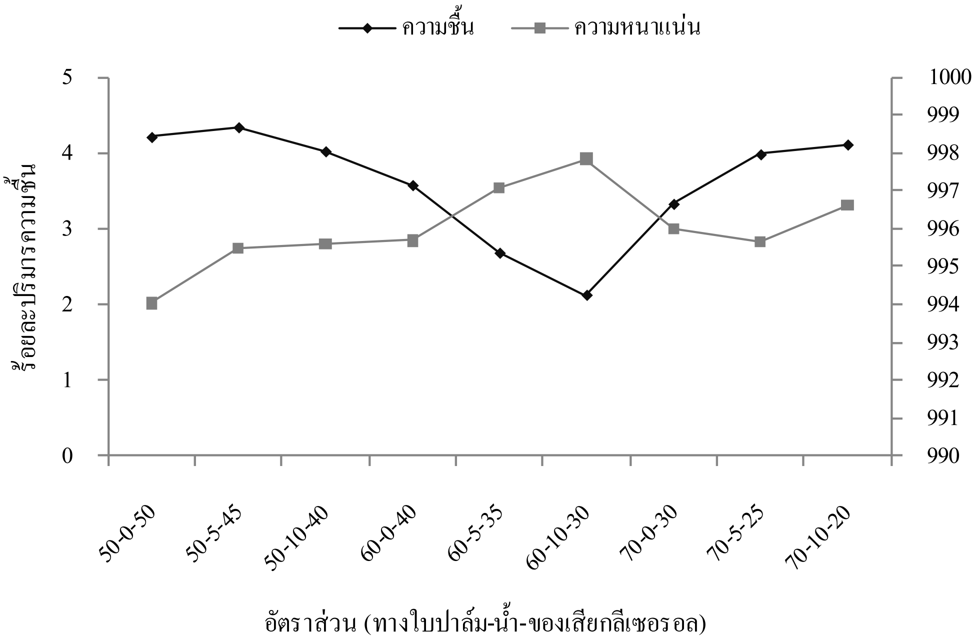
ภาพที่ 4.8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.2.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

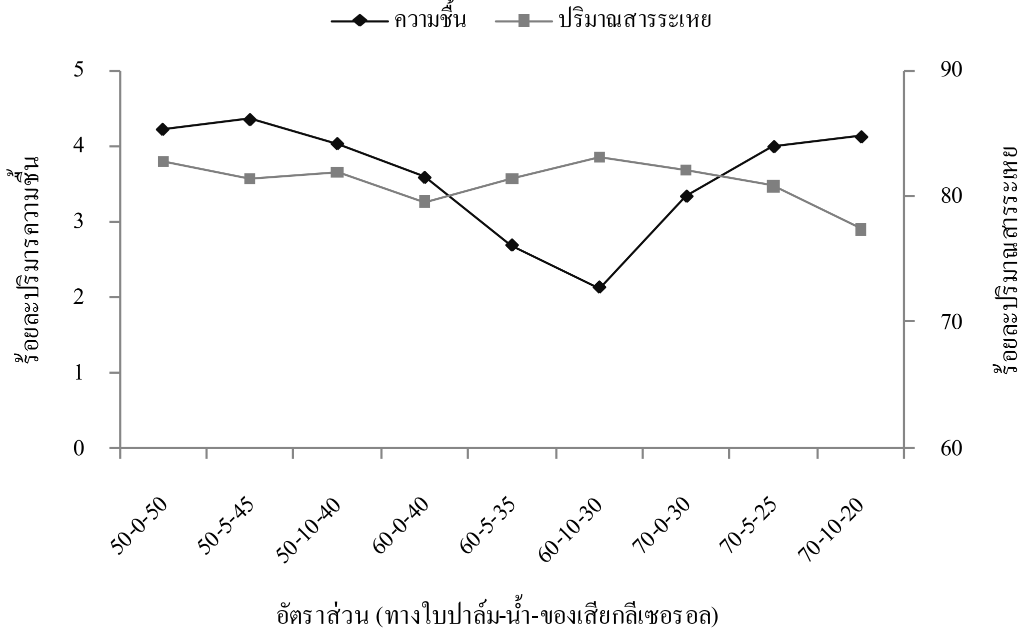
จากภาพที่ 4.9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่า เมื่อปริมาณความชื้นสูงค่าความหนาแน่นลดลงและเมื่อปริมาณความชื้นลดลงความหนาแน่นจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fasina (2008) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงจะลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อความชื้นสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เม็ดเชื้อเพลิงขยายตัวเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง

4.2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหย

จากภาพที่ 4.10 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้น ปริมาณสารระเหยจะลดลงและเมื่อปริมาณความชื้นลดลงปริมาณสารระเหยจะเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นงานวิจัยของ ชมธิดา ชื่นนิยม และวรรัตน์ ปัตรประกร (2552) ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษซังข้าวโพดพบว่า เมื่อปริมาณความชื้นลดลง ปริมาณสารระเหยที่ได้จะเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม



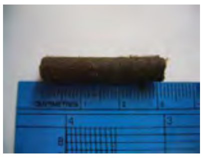
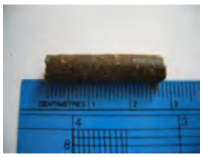
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.3 สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

4.3.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอกของเม็ดเชื้อเพลิงจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

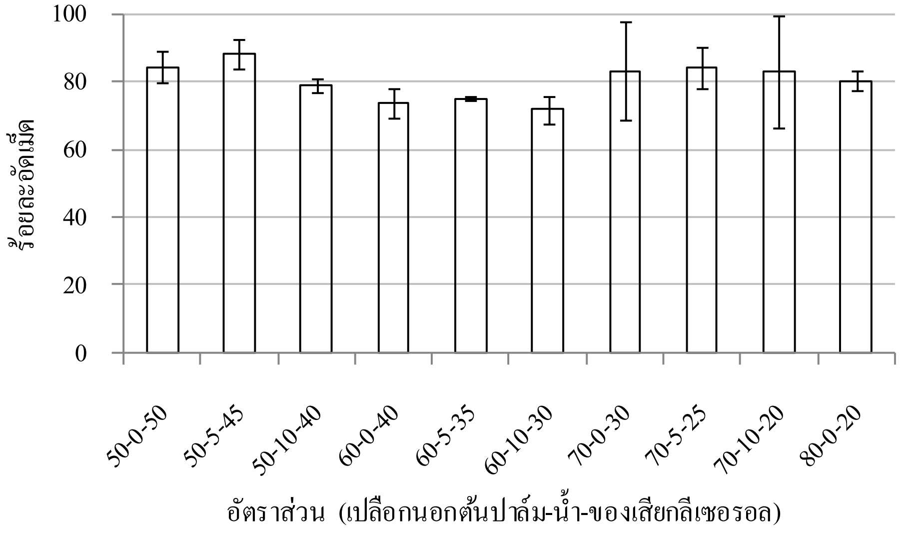
ลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกปาล์มมีลักษณะตั้งแต่ผิวขรุขระเล็กน้อยไปถึงขรุขระมาก เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงทำให้ผิวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความขรุขระน้อยลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม ปริมาณของเสียกลีเซอรอลยังส่งผลต่อความยาวของเม็ดเชื้อเพลิง เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงทำให้เม็ดเชื้อเพลิงมีความยาวเพิ่มขึ้น ความยาวโดยเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิงทั้งหมดเท่ากับ 1.57 ซม. ซึ่งอัตราส่วนที่ให้ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงยาวที่สุดคือ อัตราส่วน 70-5-25 ที่ความยาว 3.1 เซนติเมตร รอยแตกร้าวของเม็ดเชื้อเพลิงมีน้อยมาก ส่วนอัตราส่วน 80:5:15 และ 80:10:10 ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้เนื่องจากส่วนผสมมีลักษณะแห้งและร่วนจนเกินไป เมื่อเข้าเครื่องอัดแล้วส่วนผสมไม่อัดตัวเป็นเม็ด ลักษณะทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

ลำดับที่	อัตราส่วน	ลักษณะเม็ดเชื้อเพลิง	ความยาวเม็ดเชื้อเพลิง (เซนติเมตร)	ลักษณะภายนอกของเม็ดเชื้อเพลิง
1	50-0-50	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	1-1.9	
2	50-5-45	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	0.9-1.8	
3	50-10-40	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	0.7-2.4	
4	60-0-40	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	0.7-1.5	
5	60-5-35	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	0.7-2.1	
6	60-10-30	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวขรุขระเล็กน้อย ลักษณะการอัดตัวของเม็ดไม่แน่น	0.7-2.5	
7	70-0-30	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความเงา ภายนอกเม็ดมีเศษเปลือกที่บดขนาดใหญ่โผล่ออกมา	0.9-2.7	
8	70-5-25	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความเงา ภายนอกเม็ดมีเศษเปลือกที่บดขนาดใหญ่โผล่ออกมา	0.8-2.0	
9	70-10-20	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความเงา ภายนอกเม็ดมีเศษเปลือกที่บดขนาดใหญ่โผล่ออกมา	0.9-3.1	
10	80-0-20	เม็ดเชื้อเพลิงมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความเงา ภายนอกเม็ดมีเศษเปลือกที่บดขนาดใหญ่โผล่ออกมา	1.1-2.9	

4.3.2 การผลิตชีวมวลและวัสดุประสานเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

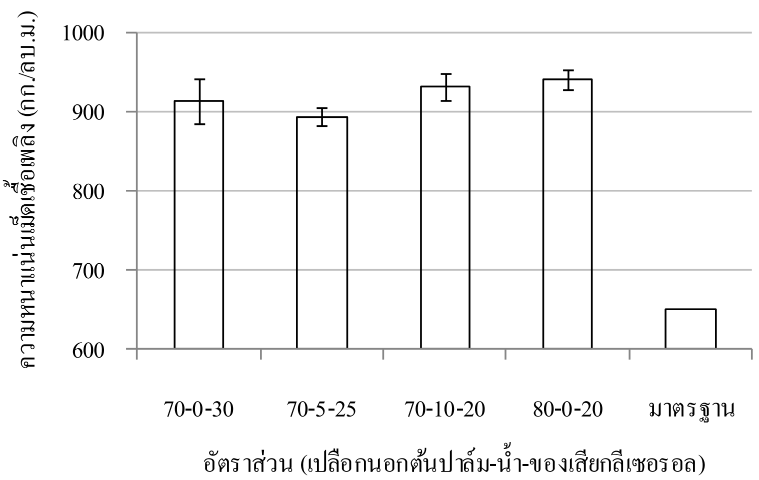
ค่าร้อยละของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้จากเปลือกนอกต้นปาล์มและของเสียกลีเซอรอลด้วยเครื่องอัดเม็ดขึ้นกับอัตราส่วนของเสียกลีเซอรอลที่เป็นวัสดุประสานเป็นดังภาพที่ 4.11 ค่าร้อยละของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้มีค่าตั้งแต่ 71.66-88.35 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนวัสดุประสานของเสียกลีเซอรอลมีผลทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้ลดลงในช่วงแรกที่อัตราส่วนของเสียกลีเซอรอลตั้งแต่ร้อยละ 30-50 และลดลงในช่วงที่ 2 ตั้งแต่อัตราส่วน 20-30 ซึ่งอัตราส่วนที่มีค่าร้อยละอัดเม็ดมากที่สุด คือ 50-5-45 และอัตราส่วนที่มีค่าร้อยละอัดเม็ดต่ำสุด คือ 60-10-30 ส่วนในอัตราส่วน 80-5-15 และ 80-10-10 เป็นอัตราส่วนที่มีส่วนผสมร่วนเกินไปจึงไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้



ภาพที่ 4.11 ร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.3.3 ผลวิเคราะห์ความหนาแน่น

เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วน 50-0-50, 50-5-45, 50-10-40, 60-0-40, 60-5-35, 60-10-30 อัดตัวไม่แน่น ทำให้เม็ดเชื้อเพลิงแตกหักได้ง่าย จึงไม่นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและเมื่อพิจารณาจากกราฟความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานดังภาพที่ 4.12 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 894.74-941.33 กก./ลบ.ม. บ่งชี้ว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความหนาแน่นสูงผ่านมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งมีค่าเท่ากับ 650 กก./ลบ.ม. ทุกอัตราส่วนผสม



ภาพที่ 4.12 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.3.4 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้

ผลวิเคราะห์แบบประมาณซึ่งประกอบไปด้วยค่าความชื้น สารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีดังนี้

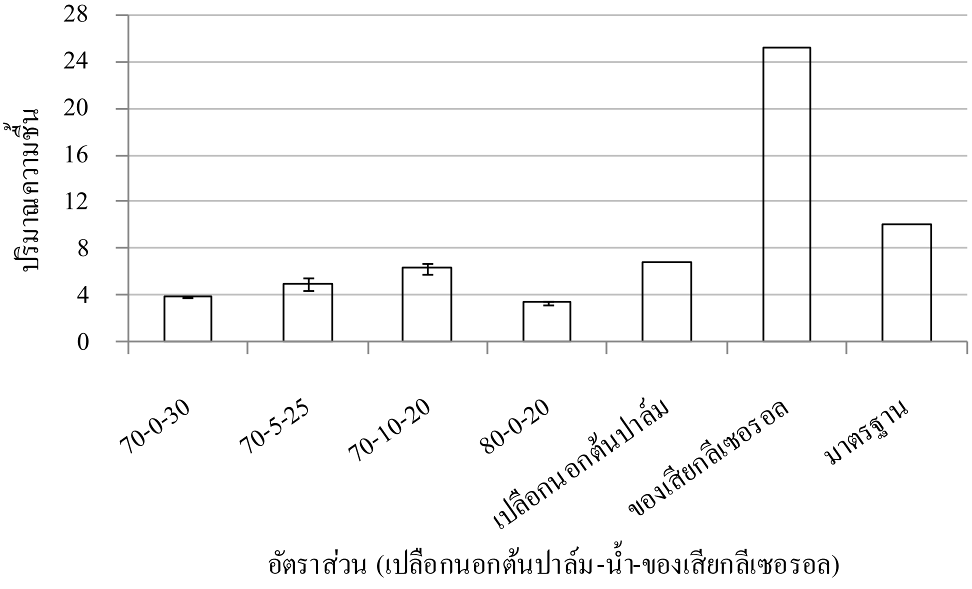
1) ปริมาณความชื้น

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม อัตราส่วนที่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ อัตราส่วน 70-10-20 ซึ่งเท่ากับร้อยละ 6.32 และอัตราส่วนที่มีค่าต่ำสุด คือ 80-0-20 เท่ากับร้อยละ 3.39 ปริมาณน้ำและปริมาณของเสียกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นผลต่อปริมาณความชื้น ในของเสียกลีเซอรอลมีปริมาณน้ำอยู่ร้อยละ 25 เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำจึงเพิ่มขึ้นด้วย โดยในทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นที่ผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 สรุปว่าปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

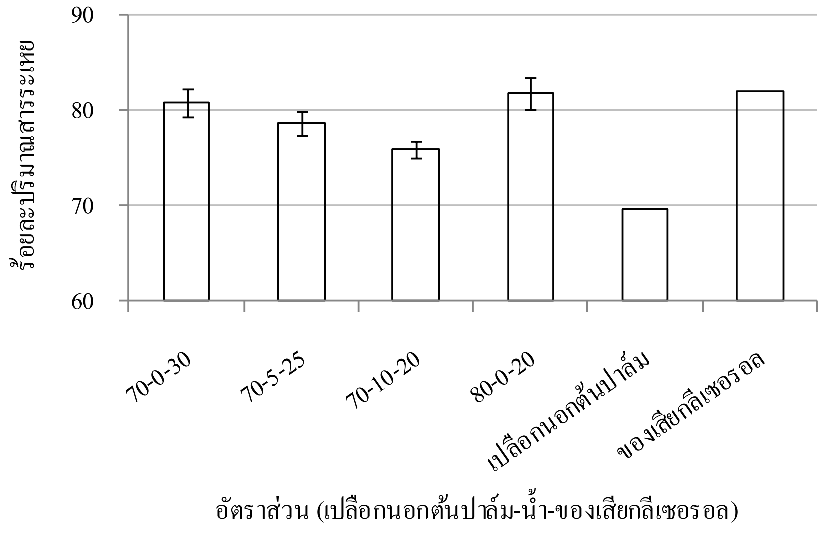
2) ปริมาณสารระเหย

ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มแสดงดังภาพที่ 4.14 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 75.88-81.80 อัตราส่วนที่มีปริมาณสารระเหยสูงที่สุด คือ 80-0-20 และอัตราส่วนที่มีค่าต่ำสุด คือ 70-10-20 หากพิจารณาอัตราส่วนเปลือกนอกต้นปาล์มที่ร้อยละ 70 พบว่า เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลง ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดลดลง เนื่องจากของเสียกลีเซอรอลมีปริมาณ

สารระเหยสูงกว่าเปลือกนอกต้นปาล์มเล็กน้อย (ร้อยละ 3)



ภาพที่ 4.13 ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

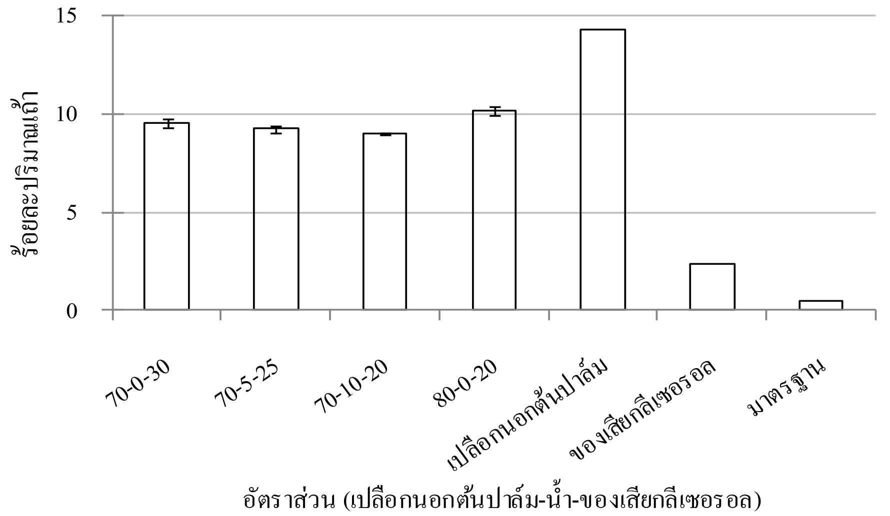


ภาพที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

3) ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม แปรผันตามปริมาณเปลือกนอกต้นปาล์ม เมื่ออัตราส่วนเปลือกนอกต้นปาล์มสูงขึ้นปริมาณเถ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าจากภาพที่ 4.15 ปริมาณเถ้าของเปลือกนอกต้นปาล์มเพียงอย่างเดียวและของเสียกลีเซอรอล

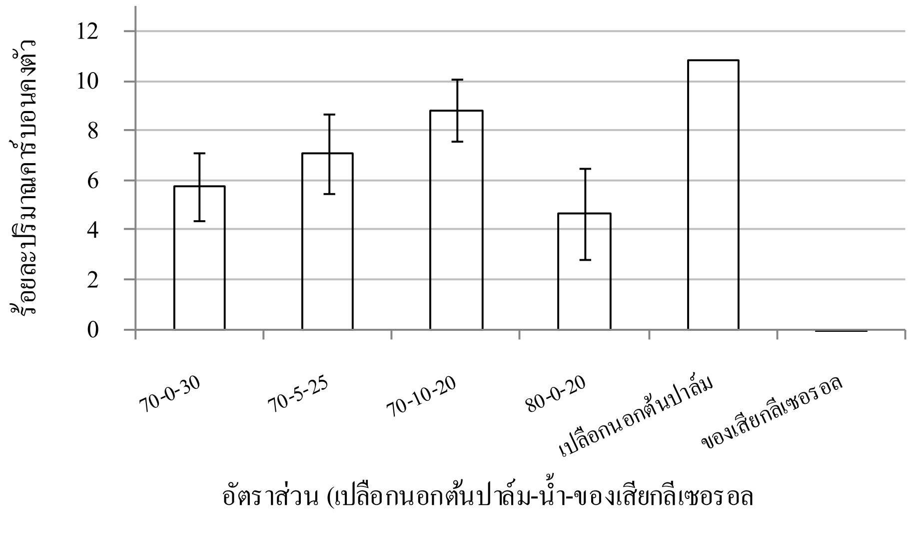
เพียงอย่างเดียวมีค่าต่างกันถึงร้อยละ 10.38 ดังนั้นปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงปริมาณเถ้าจึงลดลงเพียงเล็กน้อย หากเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดแล้วจะเห็นว่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนยังคงสูงกว่าค่ามาตรฐาน (ร้อยละ 0.5)



ภาพที่ 4.15 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

4) ปริมาณคาร์บอนคงตัว

จากภาพที่ 4.16 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.66-8.82 อัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด คือ 70-10-20 และอัตราส่วนที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำสุด คือ 80-0-20 เนื่องจากปริมาณคาร์บอนคงตัวของของเสียกลีเซอรอลเป็นศูนย์ ดังนั้นปริมาณของเสียกลีเซอรอลจึงไม่มีผลใดๆกับปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด



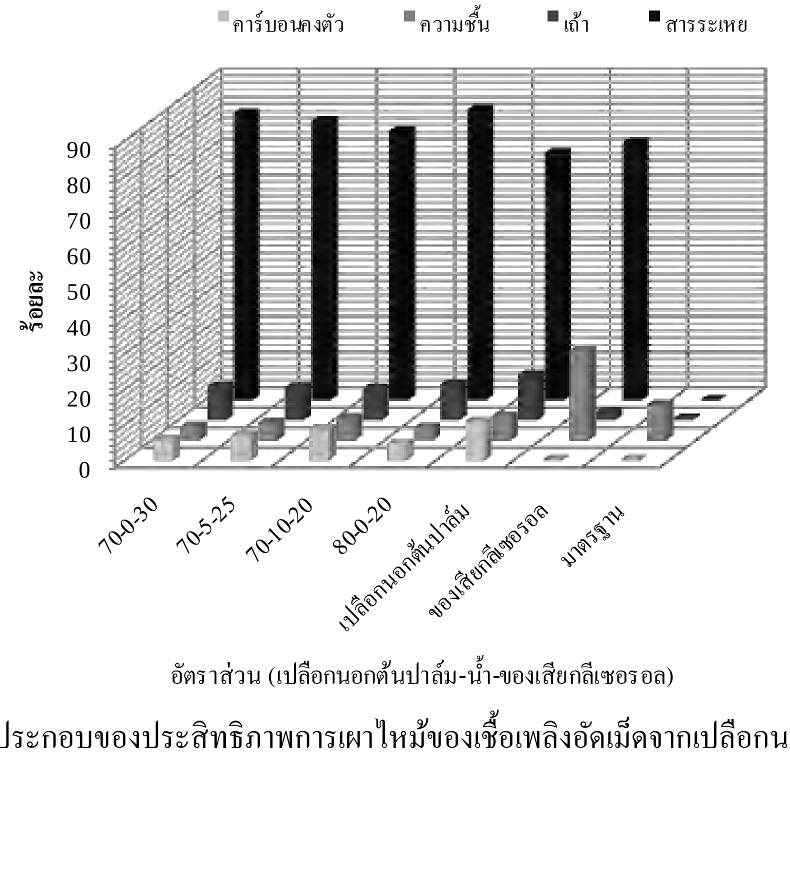
ภาพที่ 4.16 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

5) สรุปประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

สรุปปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้าและปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.17 สรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มทุกอัตราส่วนมีค่าความชื้นได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งคาดว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีเนื่องจากมีค่าปริมาณสารระเหยสูงและมีค่าความชื้นต่ำมากแต่ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มทุกอัตราส่วนมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

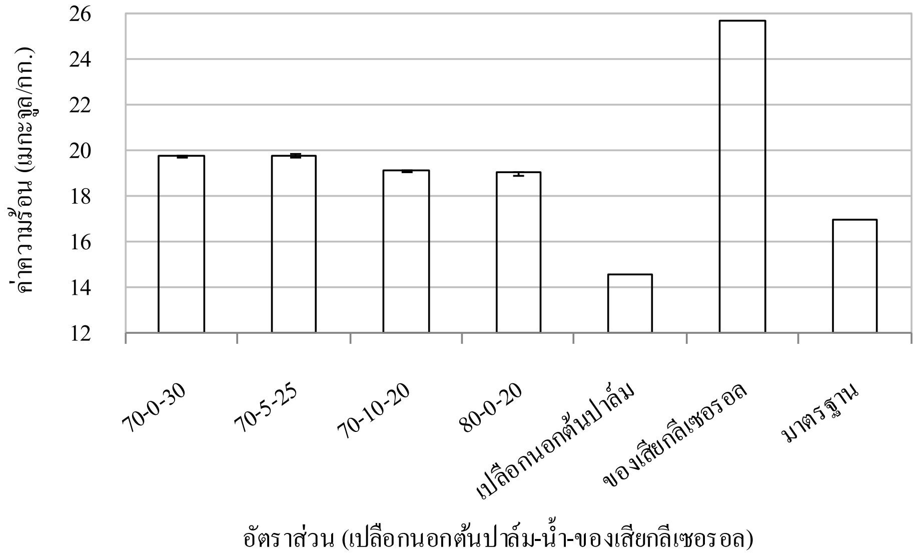
อัตราส่วน เปลือกนอกต้นปาล์ม-น้ำ-ของเสียกลีเซอรอล	**การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)**			
	ความชื้น	**สารระเหย**	**เถ้า**	**คาร์บอนคงตัว**
70-0-30	3.89	80.83	9.51	5.77
70-5-25	5.00	78.68	9.24	7.08
70-10-20	6.32	75.88	8.97	8.82
80-0-20	3.39	81.80	10.14	4.66



ภาพที่ 4.17 องค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.3.5 ผลวิเคราะห์ค่าความร้อน

ค่าความร้อนที่ได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มดังภาพที่ 4.18 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นโดยอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงสุด คือ 70-5-25 และอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนต่ำสุดคือ 80-0-20 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19.80 และ 19.02 เมกะจูล/กก. ตามลำดับ ค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดในทุกอัตราส่วนมีค่าได้ตามมาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 17 เมกะจูล/กก.



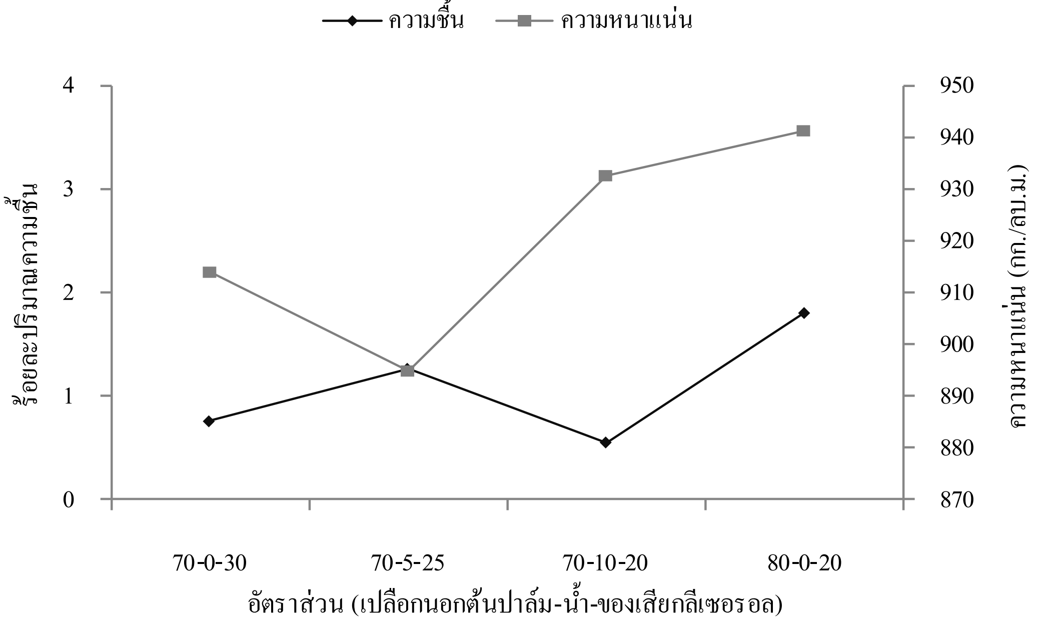
ภาพที่ 4.18 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น

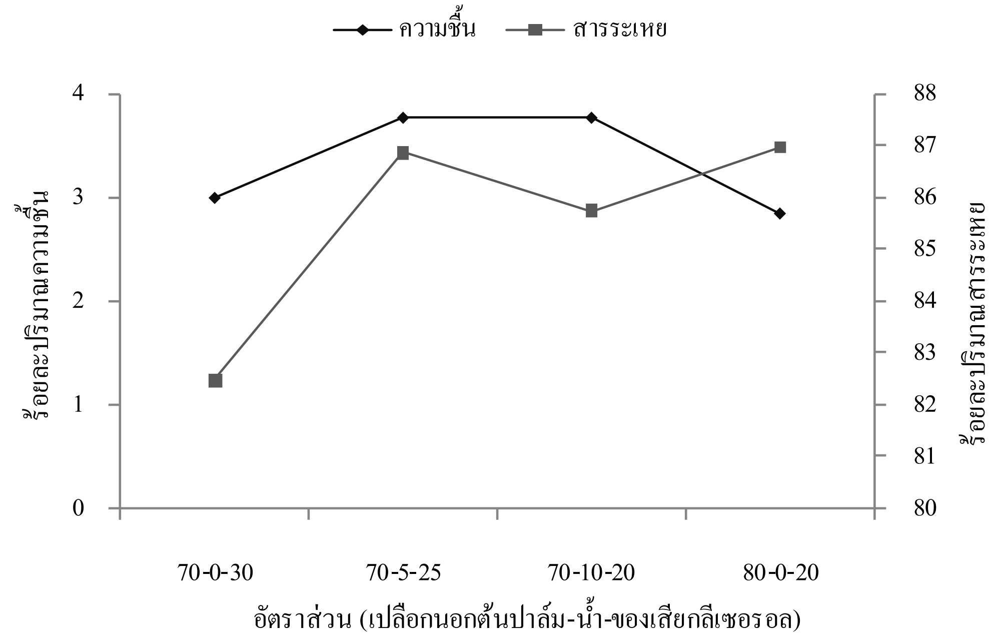
จากภาพที่ 4.19 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ว่า เมื่อปริมาณความชื้นสูงค่าความหนาแน่นลดลงและเมื่อปริมาณความชื้นลดลงความหนาแน่นจะสูงขึ้น เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม

4.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหย

จากภาพที่ 4.20 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้น ปริมาณสารระเหยจะลดลงและเมื่อปริมาณความชื้นลดลงปริมาณสารระเหยจะเพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม



ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและสารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

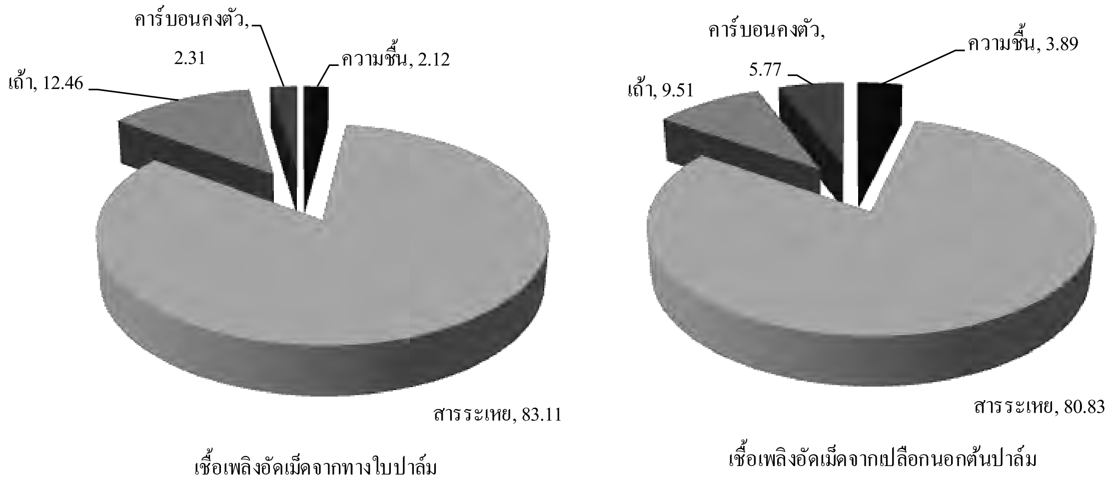
4.4 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

การเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มจะทำการพิจารณาจากลักษณะสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพการเผาไหม้ รวมทั้งค่าความร้อน โดยพิจารณาจากอัตราส่วนที่มีค่าต่างๆผ่านตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งค่าที่กำหนดมีดังนี้ ค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดเชื้อเพลิง มีค่ามากกว่า 650 กก./ลบ.ม. ปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยมวลรวม ปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 0.5 ในมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดและ 3.5 ในมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง และค่าความร้อนมากกว่า 17 เมกะจูล/กก. เชื้อเพลิงที่ดีควรมีค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดเม็ดสูง สะดวกในการขนส่ง สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ในปริมาณสูง คุ้มค่าต่อการลงทุน ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง ค่าความร้อนสูงและมีปริมาณเถ้าน้อย หากปริมาณสารระเหยได้ต่ำจะติดไฟยากแต่ไม่มีควัน ในทางกลับกันหากมีปริมาณสารระเหยสูงจะติดไฟง่ายแต่มีควันมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจากวัสดุที่นำมาศึกษาทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด คือ ทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม เป็นชีวมวลที่มีมากและยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดพบว่ามีค่าความร้อนสูง ความหนาแน่นสูง ปริมาณความชื้นต่ำ ปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำ ปริมาณสารระเหยสูง ซึ่งได้ตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดเป็นส่วนมาก ยกเว้นปริมาณเถ้าทุกอัตราส่วนมีค่าไม่ผ่านมาตรฐานทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดและเชื้อเพลิงอัดแท่งและจากตารางที่ 4.7 การพิจารณาจากค่ามาตรฐานเป็นหลัก ได้แก่ ความร้อน ความหนาแน่น ความชื้น เถ้า ส่วนร้อยละอัดเม็ดใช้เพื่อพิจารณาความคุ้มทุน ดังนั้นช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากทางใบปาล์ม คือ ช่วงปริมาณของเสียกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 30 และช่วงปริมาณของเสียกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 20-30 องค์ประกอบในการเผาไหม้ของทั้งสองอัตราส่วนเป็นดังภาพที่ 4.21

ตารางที่ 4.7 ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

อัตราส่วน	ร้อยละอัดเม็ด	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	การวิเคราะห์แบบประมาณ(ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)
ชีวมวล(F/T)-W-WG			ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว	
ทางใบปาล์ม (F)	-	-	7.39	72.53	14.27	5.81	17.16
50-0-50	87.50	994.04	4.22	82.33	11.34	1.60	20.51
50-5-45	89.17	995.50	4.35	81.34	11.92	2.39	20.44
50-10-40	87.80	995.61	4.03	81.85	12.71	1.41	19.65
60-0-40	90.53	995.69	3.58	79.56	12.92	3.94	19.29
60-5-35	90.53	995.89	2.68	81.33	14.07	2.08	19.19
60-10-30	91.84	996.35	2.12	83.11	12.46	2.31	19.30
70-0-30	94.71	996.01	3.33	82.01	13.58	1.09	19.22
70-5-25	92.88	995.66	3.99	80.79	14.99	0.23	18.43
70-10-20	93.07	996.62	4.12	77.37	16.04	2.47	17.78
เปลือกนอกต้นปาล์ม(T)	-	-	6.80	69.68	12.71	10.81	14.56
70-0-30	83.26	914.04	3.89	80.83	9.51	5.77	19.74
70-5-25	84.13	894.74	5.00	78.68	9.24	7.08	19.8
70-10-20	82.86	932.62	6.32	75.88	8.97	8.82	19.12
80-0-20	80.19	941.33	3.39	81.80	10.14	4.66	19.02
ของเสียกลีเซอรอล	-	-	25.15	72.60	2.33	0	25.72
มาตรฐาน	-	>650	<10	-	<0.5-3.5	-	>17

หมายเหตุ : F-ทางใบปาล์ม, T-เปลือกนอกต้นปาล์ม, W-น้ำ, WG-ของเสียกลีเซอรอล



ภาพที่ 4.21 องค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

4.5 การเพิ่มค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยการปรับสภาพวัสดุประสาน

ของเสียกลีเซอรอลที่นำมาทำการทดลองเป็นวัสดุประสานมีสภาวะเป็นด่าง ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.5 การทดลองเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยการปรับค่าพีเอชของของเสียกลีเซอรอลด้วยการเติมกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 3N เพื่อปรับเปลี่ยนค่าพีเอชเท่ากับ 5 6 และ 7 หลังจากนั้นทำการผสมและอัดเม็ดในอัตราส่วน ทางใบปาล์มต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอล และเปลือกนอกต้นปาล์มต่อน้ำต่อของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 60-10-30 และ 70-0-30 ตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดดังกล่าว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10

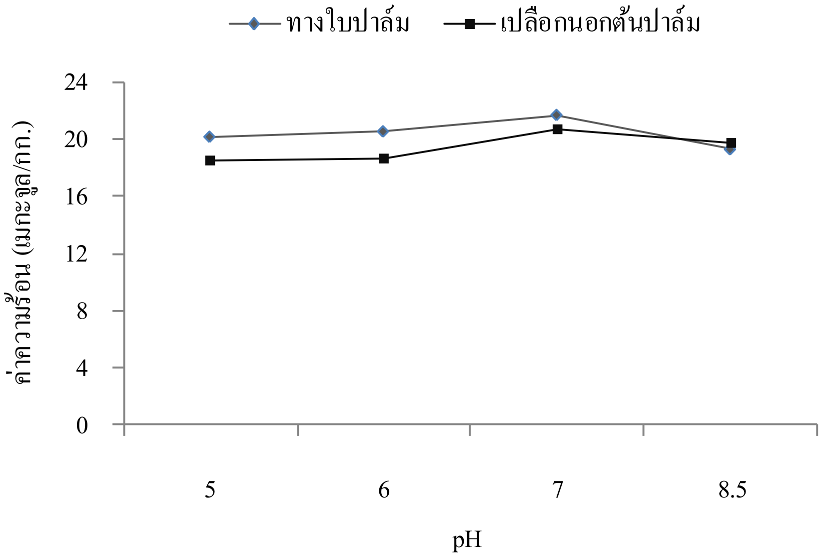
จากตารางที่ 4.8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ทำการปรับสภาวะของของเสียกลีเซอรอลที่ค่าพีเอช 5 6 และ 7 สรุปว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดสูงสุดที่ค่าพีเอชของของเสียกลีเซอรอลเท่ากับ 7 ทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยมีค่าเท่ากับ 21.66 และ 20.73 เมกะจูล/กก. ตามลำดับ โดยค่าความร้อนที่ เพิ่มขึ้นจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลก่อนปรับสภาพ (พีเอช 8.5) 1-2 เมกะจูล/กก. (ภาพที่ 4.22) เมื่อพิจารณาตัวแปรอื่นๆตามมาตรฐานจะเห็นได้ว่า ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มไม่ต่างจากการใช้ของเสียกลีเซอรอลก่อนปรับสภาพ ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลที่ปรับสภาพสูงกว่าการใช้ของเสียกลีเซอรอลที่ไม่ปรับสภาพ 81.89 กก./ลบ.ม. (ภาพที่ 4.23) ความชื้นในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าลดลงร้อยละ 1-2 เมื่อมีการปรับสภาพพีเอช (ภาพที่ 4.24) ส่วน

ปริมาณเถ้าทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลที่มีการปรับสภาพทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1-5 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด (ภาพที่ 4.25) ดังนั้นสรุปได้ว่า การปรับสภาพของเสียกลีเซอรอลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเปลี่ยนแปลง โดยเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 7 (ชุดควบคุมคือที่พีเอช 8.5) การปรับสภาพของเสียกลีเซอรอลยังทำให้ค่าความชื้นลดลง ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มเท่านั้น แต่การปรับสภาพของเสียกลีเซอรอลทำให้ปริมาณเถ้าทั้งในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การปรับสภาพพีเอชของของเสียกลีเซอรอลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยที่สภาวะพีเอช 7 จะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด และไม่ว่าจะมีการปรับสภาพพีเอชหรือไม่ เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานก็ยังคงให้ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ค่าความหนาแน่นได้ตามมาตรฐาน ยกเว้นปริมาณเถ้าซึ่งยังคงสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด

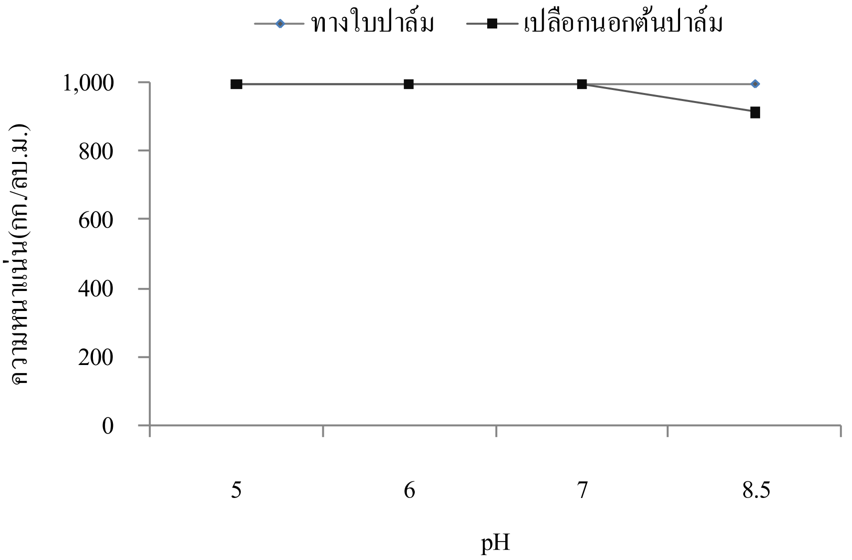
ตารางที่ 4.8 ลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ส่วนปาล์ม	ของเสียกลีเซอรอลที่ pH	ร้อยละอัดเม็ด	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละ)				ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)
				ความชื้น	สารระเหย	เถ้า	คาร์บอนคงตัว	
ทางใบปาล์ม	5	86.77	994.76	1.16	78.93	14.01	5.90	20.16
	6	83.11	995.31	1.29	81.35	14.07	3.29	20.53
	7	78.10	995.27	1.34	82.65	13.84	2.16	21.66
	8.5	91.84	996.35	2.12	83.11	12.46	2.31	19.30
เปลือกนอกต้นปาล์ม	5	75.36	995.01	1.18	81.08	14.45	3.29	18.5
	6	89.87	995.93	0.93	80.23	14.88	3.96	18.64
	7	79.10	995.35	1.06	83.09	10.59	5.26	20.73
	8.5	83.26	914.04	3.89	80.83	9.51	5.77	19.74

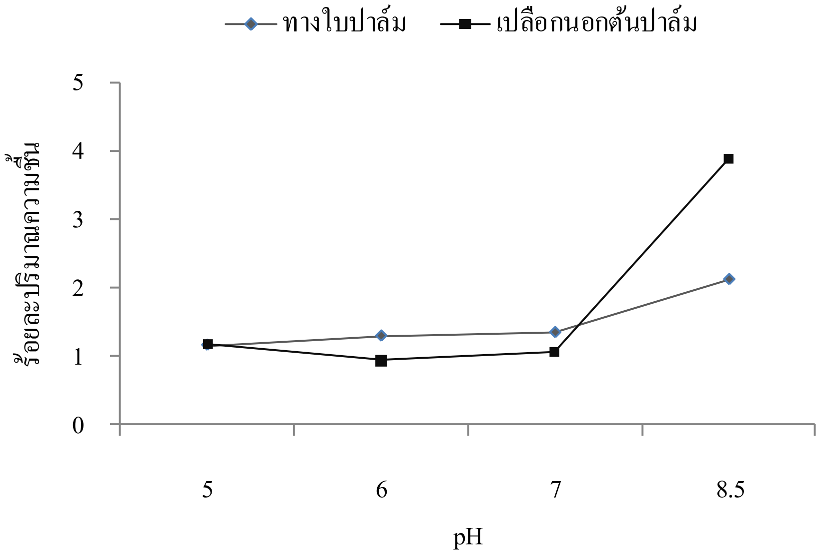
หมายเหตุ ที่พีเอช 8.5 เป็นการทดลองก่อนปรับสภาวะของเสียกลีเซอรอล



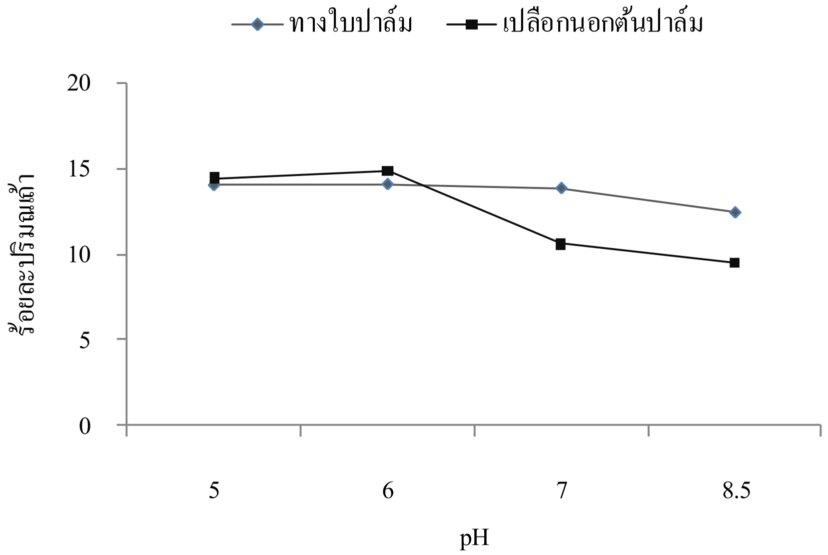
รูปที่ 4.22 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล



รูปที่ 4.23 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล



ภาพที่ 4.24 ร้อยละปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล



ภาพที่ 4.25 ร้อยละปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากการแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

4.6 การจัดการเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม

ในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มที่อัตราส่วน 60-10-30 และ 70-0-30 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้แล้ว เถ้าที่เหลือจากการวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าเพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ การวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าดังตารางที่ 4.10 ธาตุที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ซิลิกา รองลงมาคือ แคลเซียม ในปัจจุบันมีงานวิจัยหลากหลายที่นำเอาเถ้าจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งมีปริมาณซิลิกาสูงไปแทนวัสดุในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุชนิดนี้มี 2 ประเภท คือ ประเภทที่ให้ธาตุแคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ได้แก่ หินปูน ดินสอพองหรือชอร์ค ดินปูนขาวและประเภทที่ให้ออกไซด์ของธาตุซิลิกอน(SiO_2) และอลูมิเนียม(Al_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ดินดาน ดินเหนียว หินชนวน (วินิต ช่อวิเชียร, 2544) ตามมาตรฐาน ASTM C618-96 สามารถแบ่งวัสดุผสมในคอนกรีตเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพ N F และ C โดยกำหนดองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.9 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีลักษณะสมบัติดังตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงสัดส่วนออกไซด์ของธาตุต่างๆ ในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้เถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่เกิดขึ้นมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ซีเมนต์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ กฤษณ์ จารุทะวัย (2545) ซึ่งทำการศึกษาเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเถ้าลอยชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาล มาใช้แทนที่ซีเมนต์ พบว่า เถ้าเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยชานอ้อยสามารถนำมาทดแทนซีเมนต์ได้และงานวิจัยของ Rukzon and Jindaprasert (2008) ทำการศึกษากำลังอัดและความพรุนของมอร์ตาร์ที่ทำจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบและเถ้าปาล์มน้ำมันมีศักยภาพในการใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบออกไซด์ของธาตุทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มแล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเถ้าจากเส้นใยปาล์มและเถ้าจากชานอ้อย และมีผลรวมของสารประกอบออกไซด์ของซิลิกา อลูมินาและเหล็ก รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 และสารประกอบออกไซด์ของซัลเฟอร์มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 4 ซึ่งมีค่าตามที่มาตรฐานคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตกำหนดไว้ จึงสามารถสรุปได้ว่า เถ้าจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดสามารถนำไปใช้แทนซีเมนต์ได้ และนอกจากจะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของปูนซีเมนต์แล้ว ยังช่วยลดปัญหาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและลดพื้นที่การกำจัดทิ้งเถ้าถ่านด้วย

ตารางที่ 4.9 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C618-96 (1996)

ลักษณะสมบัติทางเคมี		ประเภทของวัสดุผสม		
		N	F	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	%น้อยที่สุด	70.0	70.0	50.0
SO_3	%มากที่สุด	4.0	5.0	5.0

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สารประกอบ	ปริมาณสารประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	เถ้าเม็ดเชื้อพลิง จากทางใบปาล์ม	เถ้าเม็ดเชื้อเพลิงจาก เปลือกนอกต้นปาล์ม	เถ้าลอยจากเส้นใยปาล์ม (กฤษณ์ จารุทะวัย, 2545)	เถ้าลอยชานอ้อย (กฤษณ์ จารุทะวัย, 2545)	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์
Na_2O	2.62	3.14	0.07	0.43	0.26
MgO	1.95	2.25	4.13	1.23	1.5
Al_2O_3	0.21	2.18	1.9	4.75	5.42
SiO_2	72.89	52.31	59.16	67.94	20.2
P_2O_5	1.98	1.47	4.74	1.55	-
SO_3	0.35	2.12	2.99	0.12	2.55
Cl	0.32	4.25	1.29	-	-
K_2O	3.58	15.84	7.64	2.19	0.46
CaO	13.49	7.28	8	3.63	63.82
TiO_2	<0.01	0.53	0.08	0.22	-
Cr_2O_3	<0.01	0.07	-	-	-
MnO_2	1.61	0.16	0.13	0.14	-
Fe_2O_3	0.95	3.13	2.26	1.61	2.92
CuO	0.03	0.03	0.05	0.01	-
ZrO_2	<0.01	0.01	0.02	0.01	-

หมายเหตุ : ผลการวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นข้อมูลจาก อุดม หงษ์ประธานพร (2532)

4.7 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในปัจจุบันนี้เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากร เช่น วัสดุ แรงงาน ทรัพย์สิน รวมทั้งเวลา ทำให้การออกแบบทางวิศวกรรมมีข้อจำกัดสูงขึ้น การออกแบบเพื่อมุ่งหวังผลงานดีเด่นเชิงวิศวกรรมด้านเดียวทำได้ยากขึ้น การพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์ในด้านคุณค่าของผลงานเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายจึงมีบทบาทมากขึ้น ดังนั้นการออกแบบด้านวิศวกรรมต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่างๆและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการศึกษาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จะช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจและสามารถ

วิเคราะห์โครงการทางวิศวกรรม โดยการรวบรวมข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเชิงปริมาณและคุณสมบัติอื่นๆ เพื่อช่วยในการตัดสินใจต่างๆเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์และมาตรการที่ถูกต้อง (วันชัย ริจิรวนิช, 2550) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือ การวิเคราะห์จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุนอีกนัยหนึ่งหมายถึงจุดที่มีกำไรเป็นศูนย์ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่และค่าใช้จ่ายแปรตามตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยพิจารณา ราคาวัตถุดิบ ค่าขนส่ง ต้นทุนในการผลิตและค่าดำเนินการในกระบวนการผลิต เครื่องมือ อุปกรณ์ นอกจากนี้ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ต้องพิจารณาราคา พลังงานต่อหน่วยเชื้อเพลิงอัดเม็ดตามความต้องการของตลาดและกลุ่มเป้าหมาย จากการทดลองทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม มีค่าใช้จ่ายในการอัดเม็ดดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด 10 กก.

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้			พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์.ชม.)	
อุปกรณ์ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์(วัตต์)	เวลาที่ใช้(ชม.)	งานวิจัยนี้	เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม (เกวลิน ไชยอำพร, 2551)
เครื่องอัดเม็ด	3000	0.17	0.51	0.37
เครื่องทำความร้อน	1500	0.25	0.38	0.75
ตู้อบ (ปริมาตร 1/8)	1400	24	4.2	-
เครื่องบด	1300	3	3.90	0.28
เครื่องผสม	2500	0.17	0.43	0.83
รวมพลังงานที่ใช้อัดเม็ด 10 กิโลกรัม			9.41	2.23
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด			บาท	บาท
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ (อัตราค่าไฟฟ้า 1.8047 บาท/กิโลวัตต์.ชม.)			16.98	5.49
ค่าวัตถุดิบ			-	2.5
รวมค่าใช้จ่ายต่อ 10 กก.			16.98	11.41
ประสิทธิภาพในการอัดเม็ดประมาณร้อยละ 90 เชื้อเพลิงที่อัดได้			9 กก.	7 กก.
ค่าใช้จ่ายต่อ 1 กก.			1.89	1.14

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็กที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำกว่า 150 กิโลวัตต์.ชม. ที่แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์

จากตารางที่ 4.11 เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม 10 กก. กรณีที่ใช้เตาอบในการอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 50-60 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. จะมีค่าใช้จ่าย 1.89 บาท/กก. ส่วนในการทดลองของ เกวลิน ไชยอำพร (2551) การทำให้เชื้อเพลิง

อัดเม็ดแห้งโดยการตากแดดเป็นเวลา 24 ชม. จะมีค่าใช้จ่าย 1.14 บาท/กก. จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ทำให้แห้งโดยใช้การอบและการตากแดดมีค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้กับค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เป็นดังตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์ประมาณ 2 เท่าและในปัจจุบันราคาของถ่านหินลิกไนต์มีราคาประมาณ 2 บาท/กก. ในขณะที่ราคาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพียง 1.89 บาท/กก. ดังนั้นถ้าทดแทนการใช้ถ่านหินลิกไนต์ด้วยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ครึ่งหนึ่ง และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตาซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตา แต่ราคาสูงกว่าประมาณ 8 เท่า (ราคาน้ำมันเตา ลิตรละ 16 บาท) ดังนั้นต้องใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดในปริมาณ 2 เท่า แต่จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 4 เท่า

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากงานวิจัยนี้กับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน
ชานอ้อย (เมกะจูล/กก.)	7.55
ถ่านหินลิกไนท์ (เมกะจูล/กก.)	10.50
ขี้เลื่อย (เมกะจูล/กก.)	10.91
แกลบ (เมกะจูล/กก.)	14.44
เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม (เมกะจูล/กก.)	19-20
ถ่านหินบิทูมินัส (เมกะจูล/กก.)	26.45
น้ำมันเบนซิน (เมกะจูล/ลิตร)	34.63
น้ำมันดีเซล (เมกะจูล/ลิตร)	36.53
ก๊าซธรรมชาติ (เมกะจูล/)	36.81
น้ำมันเตาซี (เมกะจูล/ลิตร)	38.29
น้ำมันเตาเอ (เมกะจูล/ลิตร)	41.40
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (เมกะจูล/กก.)	50.37

ที่มา : ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ, 2552

4.8 การเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม

ชีวมวลที่ใช้	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละ	
			เถ้า	ความชื้น
ทางใบปาล์ม	19.30	996.35	12.46	2.12
เปลือกนอกต้นปาล์ม	19.74	914.04	9.51	3.89
มาตรฐาน	>17	>650	<0.5-3.5	<10

จากตารางที่ 4.13 เป็นตารางเปรียบเทียบลักษณะสมบัติทั้งกายภาพและเคมีซึ่งเป็นองค์ประกอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์ม จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มเล็กน้อย ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 996.35 และ 914.04 กก./ลบ.ม. ปริมาณเถ้าจากทางใบปาล์มมีค่าเท่ากับร้อยละ 12.46 และเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.51 ซึ่งปริมาณเถ้าจากทางใบปาล์มเพียงอย่างเดียวสูงกว่าจากเปลือกนอกต้นปาล์มอย่างเดียว ส่วนปริมาณความชื้นจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดทางใบปาล์มมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.12 และ 3.89 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อนและค่าความชื้นของทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าที่ผ่านมาตรฐานส่วนค่าปริมาณเถ้าทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มไม่ผ่านมาตรฐานซึ่งค่ามาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 0.5-3.5

เปรียบเทียบองค์ประกอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มในช่วงอัตราส่วนของกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 30 และ 20-30 ตามลำดับกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยและกะลาปาล์ม (เกวลิน ไชยอำพร, 2551) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 50-10-40 จะเห็นได้ว่า สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม เปลือกนอกต้นปาล์ม เส้นใยปาล์มและกะลา

ปาล์มมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว ค่าความร้อน แต่ทั้งร้อยละประสิทธิภาพการอัดเม็ดและปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าสูงกว่า ซึ่งสมบัติต่างๆเป็นดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบและเปลือกนอกต้นปาล์มกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม

ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด	เชื้อเพลิงอัดเม็ดจาก			
	ทางใบปาล์ม	เปลือกนอกต้นปาล์ม	เส้นใยปาล์ม*	เส้นใยปาล์มผสมกะลาปาล์ม*
ร้อยละของประสิทธิภาพการอัดเม็ด	91.84-94.71	80.19-84.13	62.57	70.55
ความหนาแน่น	996.01-997.85	894.74-941.33	982.2	774.8
ความชื้น	2.12-3.33	3.39-6.32	5.92	9.81
สารระเหย	82.01-83.11	75.88-81.80	88.26	86.23
เถ้า	12.46-13.58	8.97-10.14	4.23	2.52
คาร์บอนคงตัว	1.09-2.31	4.66-8.82	1.59	1.44
ความร้อน	19.22-19.30	19.02-19.80	22.5	19.71

เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

วัสดุเหลือทิ้ง	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กก.)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละปริมาณเถ้า	ร้อยละปริมาณความชื้น	งานวิจัยอ้างอิง
กากองุ่นและไพรินีนโอ๊ค	19.13-19.54	743-825	3.71-7.47	7.08-7.49	Miranda และคณะ(2011)
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	-	1060-1187	-	5-15	Razuan และคณะ(2011)
เปลือกถั่วลิสง	19.93	600-670	2.91	9.94	Fasina (2008)
หญ้า	19.2	-	2.96	8.6	Fasina(2008)
ถ่านและปุ๋ยเพาะเห็ด	11-22	897	-	10.6-14.1	Ryu และคณะ(2008)
ขี้เลื่อยไม้สน	-	700-713	-	5.8-5.9	Bergstrom และคณะ(2006)
ฟางข้าวสาลี	14.4	-	6	4	Olsson (2006)
ถ่านหินเลนและขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน	17.64	-	1.3	7	Olsson (2006)
ขี้เลื่อยไม้สน	17.28	-	0.5	8	Olsson (2006)
ผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้าย	17.9-21.0	488-678	4.8-9.8	9.6-10.7	Holt และคณะ(2006)
ไม้	19.8-20.7	520-640	0.17-1.61	5.7-9.0	ObernbergerและThek (2004)
ฟางข้าว	18.6-19.0	540-660	4.82-5.97	5.6-7.2	Obernberger และThek (2004)
เส้นใยและกะลาปาล์ม	16.38	1116-1290	-	12.5	Husain และคณะ(2002)
เส้นใยและกะลาปาล์ม	19.71	775	2.52	9.8	เกวลิน ไชยอำพร (2551)
ทางใบปาล์ม	19.30	997.85	12.46	2.12	งานวิจัยนี้
เปลือกนอกต้นปาล์ม	19.74	914.04	9.51	3.89	งานวิจัยนี้
มาตรฐาน	>17	>650	< 0.5-3.5	<10	European Biomass Industry

จากตารางที่ 4.15 เป็นตารางเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลอื่นๆ เช่น ฟางข้าวสาลี ถ่านหินเลนและขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อน ขี้เลื่อยไม้สน ฟางข้าว เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม (Husain, 2002) เนื่องจากตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

ของเสียกลีเซอรอล มีส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลผสมอยู่ จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้มีค่าความร้อนสูง โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลทุกตัวมีค่าผ่านมาตรฐาน

2. เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าความหนาแน่นเม็ดเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลโดยส่วนใหญ่ มีเพียงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากเนื้อในเมล็ดปาล์มและเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม (Husain, 2002) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นสูง โดยส่วนใหญ่จะมีค่าที่ผ่านมาตรฐาน

3. เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีปริมาณเถ้ามากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลอื่นๆ ส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผลพลอยได้จากเครื่องแยกใยฝ้ายและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม ซึ่งปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยส่วนใหญ่มีค่าไม่ผ่านมาตรฐาน

4. ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม เปลือกนอกต้นปาล์มและชีวมวลอื่นๆ มีค่าผ่านมาตรฐาน คือ น้อยกว่าร้อยละ 10

กล่าวโดยสรุป เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มมีลักษณะสมบัติในด้านค่าความร้อน ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น ดีกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากชีวมวลอื่น ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าสูงกว่าชีวมวลอื่นๆ และยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของการแปรผันตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การแปรผันตัวประสานในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจากทางใบปาล์ม โดยใช้ของเสียกลีเซอรอล แป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอล พบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ให้ค่าความร้อนที่ดีที่สุด เนื่องจากแป้งเปียก น้ำกากส่าและตะกอนกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานที่ให้ค่าความร้อนไม่สูง จึงทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสานและต่ำกว่ามาตรฐาน ค่าความหนาแน่น ความชื้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณเถ้า เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้น้ำกากส่าเป็นวัสดุประสานมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด

5.1.2 ผลของอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ปริมาณของเสียกลีเซอรอลมีผลต่อร้อยละการอัดเม็ด เมื่อปริมาณของเสียกลีเซอรอลลดลงมีผลทำให้ร้อยละการอัดเม็ดเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนลดลง จากการทดลองสามารถสรุปช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม คือ ช่วงปริมาณของเสียกลีเซอรอลร้อยละ 30 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 996 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อนเฉลี่ย 19.26 เมกะจูล/กก. ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 2.72 ปริมาณเถ้าร้อยละ 13.02 ช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม คือช่วงปริมาณของเสียกลีเซอรอลร้อยละ 20-30 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 920.68 กก./ลบ.ม. ค่าความร้อนเฉลี่ย 19.42 เมกะจูล/กก. ความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 4.65 ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 9.47 ค่าการวิเคราะห์ที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มส่วนใหญ่ผ่านมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดเว้นแต่ปริมาณเถ้า ยังคงสูงกว่ามาตรฐาน

5.1.3 ผลของการเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยการปรับสภาพวัสดุประสาน

การปรับสภาวะของเสียกลีเซอรอลโดยการปรับค่าพีเอชเพื่อเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดนั้นพบว่า การปรับสภาพที่ให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและ

เปลือกนอกต้นปาล์มสูงที่สุดคือค่าพีเอช 7 ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น 2.36 และ 0.99 เมกะจูล/กก. ตามลำดับ ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มเท่านั้น ค่าความชื้นต่ำลงทั้งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม และปริมาณเถ้าสูงขึ้นเมื่อทำการปรับลดพีเอช

5.1.4 เปรียบเทียบลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสมบัติและประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มพบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์ม ค่าความหนาแน่นและความชื้นและเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาผลของการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยทำการวิเคราะห์ธาตุที่ก่อให้เกิดการหลอมละลายในเตาเผาเนื่องจากมีการจับตัวกันเป็นก้อนและทำการลดปริมาณธาตุเหล่านั้น

5.2.2 ควรวิเคราะห์ชนิดของก๊าซที่เกิดจากการเผาและเปรียบเทียบกับมาตรฐานมลพิษอากาศจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการแก้ไขโดยการลดก๊าซที่เกิดขึ้น

5.2.3 ควรทำการศึกษาการลดปริมาณเถ้าให้มีค่าผ่านมาตรฐานโดยการแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นและโดยการใช้สารเคมี ได้แก่ molten - caustic leaching เพื่อกำจัดกำมะถันและเถ้า

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. **กลีเซอรอล** [ออนไลน์]. ศูนย์วัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2544. แหล่งที่มา: http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=1568 [2552, กันยายน 27].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **ปริมาณการใช้ไบโอดีเซล B5** [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: http://www.energy.go.th/moen/Index.aspx?MenuID=164 [2554, มีนาคม 2].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **การศึกษาและประเมินศักยภาพแหล่งชีวมวล**. กรุงเทพมหานคร : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550 (อัดสำเนา).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **พลังงานชีวมวล** [ออนไลน์]. 2543. แหล่งที่มา: http://www2.dede.go.th/renew/bio_p.htm [2552, เมษายน 10].

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **รายงานพลังงานของประเทศไทย 2551/2008 (Preliminary)** [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/.../re1_pre_ener_2551.pdf [2552, เมษายน 10].

กฤษณ์ จารุทะวัย. **การใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยชานอ้อยแทนที่อ้อยแทนที่ซีเมนต์บางส่วน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริส ประทินทอง และประธาน วงศริเวช. **การศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากลำต้นสบู่ดำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

เกวลิน ไชยอำพร. **เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซ [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.gasthai.com/energy/article/html/130.html [2554, เมษายน 25].

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

ชมธิดา ชื่นนิยม และวรรัตน์ ปัตรประกร. การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. **การประชุมวิชาการเรื่องสภาวะโลกร้อน: ความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน**. 5-6 พฤศจิกายน 2552. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

ชัยชาญ ฤทธิเกรียงไกร. **พลังงานทดแทน พลังงานชีวมวลกับศักยภาพในประเทศไทย** [ออนไลน์]. วิศวกรสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552. แหล่งที่มา: http://teenet.chiangmai.ac.th/emac/journal/2004/23/02.php [2552, กรกฎาคม 23].

ณัฐกานต์ บุศรพงษ์พานิช และณรงค์ฤทธิ์ คงอยู่. **การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์**. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ประสาน สถิตเรืองศักดิ์. **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

ปิยะพันธ์ จะกอ. **การควบคุมการปล่อยแก๊สจของการเผาไหม้ถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

พนัส งามกนกวรรณ. **เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม** [ออนไลน์]. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549. แหล่งที่มา: http://www.industry.go.th/ops/pio/krabi/DocLib5/A1.pdf [2552, มิถุนายน 25].

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. **คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทมติชน จำกัด (มหาชน): สำนักพิมพ์มติชน, 2549.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. **ชีวมวล ข้อมูลพื้นฐาน องค์ประกอบของชีวมวลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.efe.or.th/print_preview.php?mid=hGtTu8zx7jWvD4by&doc=26nANzbwf3SYaIPH [2552, กันยายน 27].

วงกต วงศ์อภัย. **ชีวมวล : อีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานไทย** [ออนไลน์]. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547. แหล่งที่มา: http://www.nidambe11.net/ekonomiz/2004q4/06_Biomass%20energy%20Thailand.doc [2552, พฤศจิกายน 7].

วันชัย ริจิรวนิช. **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 10. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โรงพิมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วินิต ช่อวิเชียร. **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2544.

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

สดับพร จันทราษฎร์, เจริญพร เลิศสถิตธนกร และทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์. การผลิตเชื้อเพลิงแท่งแข็งจากถ่านไม้โสนโดยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่น. **รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย** ครั้งที่ 1. 11-13 พฤษภาคม 2548. จังหวัดชลบุรี.

สุวดี จางอิสระกุล, อับดุลลาตีฟ คอรอแม, อาริยา เรืองมี และชญานุช แสงวิเชียร. ชีวมวลทางเลือกใหม่สำหรับพลังงานทดแทนโดยเปลือกลูกยางและหญ้าแฝก. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย** ครั้งที่ 5. 29 เมษายน-1 พฤษภาคม 2552. จังหวัดพิษณุโลก.

สุนี ลาวัณยากุล และศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. **ถ่านหินและการทดสอบคุณภาพ** [ออนไลน์]. กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2545. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_3_2545_coal.pdf [2552, เมษายน 3].

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **ผลการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร** [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/mis/predict/Plmr48.html [2552, เมษายน 10].

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **สถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง** [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/petro/report/price-2552-09-14-20.pdf [2552, กันยายน 27].

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

อาภาวดี เบ็ญจมธารกุล. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทน**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

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

อุดม หงษ์ประธานพร. **การพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าลอยและขี้เถ้าแกลบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

ภาษาอังกฤษ

American society for testing and material. 1996. **Standard test method for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Concrete**: C618-96.

American society for testing and material. 2006. **Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke**: D3173-03.

American society for testing and material. 2006. **Standard test method for ash in the analysis sample of coal and coke from coal**: D-3174-04.

American society for testing and material. 2006. **Standard test method for volatile matter in the analysis sample of coal and coke**: D3175-07.

American society for testing and material. 2006. **Standard Practice forProximate Analysis of coal and coke**: D3172-02a.

Bergstrom, D., et al. Effect of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellet. **Fuel Processing Technology** 89 (2008): 1324-1329.

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

Brady, S., and Tam, K. **Zero waste biodiesel: Using Glycerin and biomass to create renewable energy** [online]. 2008. Available from : http://ugrj.ucr.edu/journal/volume2/SeanBrady.pdf [2011, March 5].

Erlich, C., Ohman, M., Bjornbom, E., and Fransson, T. H. Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets**. Fuel** 84 (2005): 569-575.

European Biomass Industry Association. **Comparison between briquettes and pellets** [Online]. European Biomass Industry Association, 2005. Available from : http://www eubia.org/111.0.html [2009, March 28].

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

Geiblhofer, A., and Hahn, B. **Wood pellets in Europe** [Online]. 2000. Available from : http://www.energyagency.at/publ/pdf/pellets_net_en.pdf [2009, April 14].

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

Husain, Z., Zainac, Z., and Abdullah, Z. Briquetting of palm fibre and shell from the processing of palm nuts to palm oil. **Biomass & Bioenergy** 22 (2002): 505-509.

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

Miranda, M.T. et al. Characterization of grape pomace and pyrenean oak pellets. **Fuel Processing Technology** 92 (2011): 278-283.

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

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

Raghareutai, T. **Industrial ecology approach for biodiesel industry in Thailand**. thesis of Master degree of Science Program, Department of Hazardous Waste Management Faculty of Science Chulalongkorn University, 2008.

Rukzon, S., and Jindaprasert, P. Use of waste ash from agricultural by-products in concrete work. **RMUTP** 2 (2008): 49-55.

Rabier, F. et al. Particle density determination of pellets and briquettes. **Biomass and Bioenergy** 30 (2006): 954-963.

Razuan, R., Finney, K.N., Chen, Q. Sharifi, V.N., and Swithenbank, J. Pelletized fuel production from palm kernel cake. **Fuel Processing Technology** 92 (2011): 609-615.

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

The Board of Regents of the University of Wisconsin System. **Glycerol** [online]. Available from : http://www.bmrb.wisc.edu/metabolomics/mol_summary/?molName=glycerol [2011, Aril 25].

Theerarattananoon, K. et al. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. **Industrial Crops and Products** 33 (2011): 325-332.

Vassilev, S. V., Baxter, D., Anderson, L. K., and Vassileva, C.G. Anoverview of the chemical composition of biomass. **Fuel** 89 (2010): 913-933.

Yutaka, M. **Potential of oil palm trunk as a source for ethanol production** [online]. 2007. Available from : http://www.biomass-asia-workshop.jp/biomassws/04workshop/presentation_files/20_Tanaka2.pdf [2009, April 7].

ภาคผนวก

ข้อมูลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

ตารางที่ ก-1ร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

สูตร	**ที่**	**น้ำหนัก (g)**		**ร้อยละอัดเม็ด**	**เฉลี่ย**
		ทั้งหมด	**เม็ดเชื้อเพลิง**		
ของเสีย กลีเซอรอล	1	316	308	97.47	83.26±14.56
	2	234	160	68.38	
	3	311	261	83.92	
แป้งเปียก	1	335	322	96.12	93.76±2.04
	2	293	271	92.49	
	3	314	291	92.68	
น้ำกากส่า	1	295	276	93.56	91.53±5.53
	2	258	220	85.27	
	3	307	294	95.77	
ตะกอน กลีเซอรอล	1	308	267	86.69	87.87±1.04
	2	291	258	88.66	
	3	298	263	88.26	

ตารางที่ ก-2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

ชนิดตัวประสาน	ที่	ก่อนชุบพาราฟิน	pellet หลังชุบพาราฟิน	น.น.พาราฟิน	pelletหลังชุบพาราฟินในน้ำ	pellet หลังชุบหักพาราฟิน	density ก่อนหักพาราฟิน	densityหลังหักพาราฟิน(g/cm3)	เฉลี่ย (ก่อนและหลัง)	kg/m3	เฉลี่ย
ของเสีย กลีเซอรอล	1	2.5917	2.9425	0.3508	2.9408	2.5900	0.9957	0.9957	0.9957	995.71	996.01±0.54
	2	3.0868	3.5555	0.4687	3.5504	3.0817	0.9965	0.9967	0.9966	996.63	
	3	3.3488	3.7591	0.4103	3.7570	3.3467	0.9956	0.9957	0.9957	995.68	
แป้งเปียก	1	4.2961	5.2202	0.9241	5.2204	4.2963	0.9970	0.9970	0.9970	997.00	997.03±0.19
	2	3.2964	4.1151	0.8187	4.1158	3.2971	0.9969	0.9968	0.9969	996.85	
	3	3.8714	4.7320	0.8606	4.7312	3.8706	0.9972	0.9973	0.9972	997.23	
น้ำกากส่า	1	3.7334	4.5943	0.8609	4.5940	3.7331	0.9971	0.9971	0.9971	997.12	997.07±0.05
	2	3.2159	4.0380	0.8221	4.0381	3.2160	0.9970	0.9970	0.9970	997.02	
	3	3.1478	3.9152	0.7674	3.9151	3.1477	0.9971	0.9971	0.9971	997.07	
ตะกอน กลีเซอรอล	1	4.7896	5.7198	0.9302	5.7209	4.7907	0.9969	0.9968	0.9968	996.83	994.91±2.94
	2	3.8443	4.5852	0.7409	4.6085	3.8676	0.9920	0.9910	0.9915	991.52	
	3	4.0668	4.8431	0.7763	4.8460	4.0697	0.9964	0.9963	0.9964	996.39	

ตารางที่ ก-3 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

วัสดุประสาน	ที่	ถ้วย	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง	มวลเชื้อเพลิง	หลังอบ ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง	น้ำหนักที่หายไป	%	เฉลี่ย
ของเสียกลีเซอรอล	1	15.0081	16.1989	1.1908	16.1704	0.0285	2.39	3.33±1.60
	2	14.8491	15.9954	1.1463	15.9678	0.0276	2.41	
	3	14.9072	16.0452	1.1380	15.9863	0.0589	5.18	
แป้งเปียก	1	14.8701	16.1763	1.3062	16.1370	0.0393	3.01	2.99±0.04
	2	14.9697	16.2504	1.2807	16.2117	0.0387	3.02	
	3	14.9144	16.2071	1.2927	16.1691	0.0380	2.94	
น้ำกากส่า	1	15.0319	16.3221	1.2902	16.2707	0.0514	3.98	4.01±0.10
	2	15.0197	16.3801	1.3604	16.3266	0.0535	3.93	
	3	15.0671	16.4012	1.3341	16.3462	0.0550	4.12	
ตะกอนกลีเซอรอล	1	15.1844	16.4240	1.2396	16.3765	0.0475	3.83	3.13±0.61
	2	15.0280	16.2411	1.2131	16.2080	0.0331	2.73	
	3	15.0646	16.3463	1.2817	16.3099	0.0364	2.84	

ตารางที่ ก-4 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

วัสดุประสาน	ที่	ฝา	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		น้ำหนักที่หายไป	มวลเชื้อเพลิง	%	เฉลี่ย
			ก่อนเผา	หลังเผา				
ของเสียกลีเซอรอล	1	7.939	24.1316	23.119	1.0126	1.1908	85.04	82.01±2.77
	2	8.0339	24.0193	23.0861	0.9332	1.1463	81.41	
	3	8.0834	24.1179	23.2121	0.9058	1.138	79.60	
แป้งเปียก	1	8.2254	24.3785	23.4919	0.8866	1.3062	67.88	69.71±2.55
	2	8.074	24.3018	23.4227	0.8791	1.2807	68.64	
	3	8.1242	24.3085	23.3697	0.9388	1.2927	72.62	
น้ำกากส่า	1	8.0458	24.3093	23.429	0.8803	1.2053	73.04	72.97±1.63
	2	8.123	24.4899	23.5912	0.8987	1.2053	74.56	
	3	8.1051	24.2134	23.2621	0.9513	1.3341	71.31	
ตะกอนกลีเซอรอล	1	7.9917	24.5063	23.3239	1.1824	1.4828	79.74	78.62±1.06
	2	8.389	24.8695	23.7295	1.14	1.4522	78.50	
	3	8.1358	24.4462	23.4513	0.9949	1.2817	77.62	

ตารางที่ ก-5 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

วัสดุประสาน	ที่	ฝา	ถ้วย	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		มวลเชื้อเพลิง		%	เฉลี่ย
				ก่อนเผา	หลังเผา	ที่เหลือ	เริ่มต้น		
ของเสียกลีเซอรอล	1	8.0346	14.8701	23.1218	23.1124	0.2077	1.3062	15.90	13.58±5.63
	2	7.9917	14.9697	23.0964	23.0235	0.0621	1.2807	4.85	
	3	8.0834	14.9144	23.2238	23.1566	0.1588	1.2927	12.28	
แป้งเปียก	1	8.2254	14.8701	23.4948	23.382	0.2865	1.3062	21.93	19.94±2.11
	2	8.074	14.9697	23.4254	23.3016	0.2579	1.2807	20.14	
	3	8.1242	14.9144	23.3718	23.2679	0.2293	1.2927	17.74	
น้ำกากส่า	1	8.0458	15.0319	23.429	23.3101	0.2324	1.2902	18.01	18.34±9.97
	2	8.123	15.0197	23.5912	23.5301	0.3874	1.3604	28.48	
	3	8.1051	15.0671	23.2621	23.2862	0.114	1.3341	8.55	
ตะกอนกลีเซอรอล	1	7.9917	15.1844	23.3239	23.2466	0.0705	1.2396	5.69	13.53±6.81
	2	8.389	15.028	23.7295	23.6348	0.2178	1.2131	17.95	
	3	8.1358	15.0646	23.4513	23.4177	0.2173	1.2817	16.95	

ตารางที่ ก-6 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

วัสดุประสาน	ที่	MC	VM	Ash	MC+VM+Ash	FC	เฉลี่ย
ของเสียกลีเซอรอล	1	25.03	73.13	2.19	100.34	-0.34	-0.08±0.40
	2	24.47	73.48	2.33	100.28	-0.28	
	3	25.94	71.19	2.49	99.61	0.39	
แป้งเปียก	1	98.58	1.58	-0.07	100.09	-0.09	-0.05±0.04
	2	98.62	1.52	-0.09	100.06	-0.06	
	3	95.09	1.78	3.13	100.01	-0.01	
น้ำกากส่า	1	89.88	9.71	0.48	100.07	-0.07	0.54±1.01
	2	89.76	9.00	1.25	100.02	-0.02	
	3	89.50	8.59	0.20	98.28	1.72	
ตะกอนกลีเซอรอล	1	1.69	87.44	12.41	101.54	-1.54	-1.46±0.08
	2	2.95	87.36	11.07	101.38	-1.38	
	3	2.20	87.91	11.34	101.45	-1.45	

ตารางที่ ก-7 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยแปรผันวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความร้อน		
		แคลอรี่/กรัม	เฉลี่ย	เมกะจูล/กก.
ของเสียกลีเซอรอล	1	4587.2	4576.85	19.22±0.06
	2	4566.5		
แป้งเปียก	1	3890.9	3903	16.39±0.07
	2	3915.1		
น้ำกากส่า	1	3894.5	3878.4	16.29±0.10
	2	3862.3		
ตะกอนกลีเซอรอล	1	3860.1	3864.65	16.23±0.03
	2	3869.2		

ตารางที่ ก-8 ร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

สูตร	ที่	น้ำหนัก (g)		ร้อยละอัดเม็ด	เฉลี่ย
		น้ำหนัก	เม็ดเชื้อเพลิง		
50-0-50	1	358	312	87.15	87.50±0.33
	2	305	267	87.54	
	3	320	281	87.81	
50-5-45	1	312	271	86.86	89.17±3.37
	2	307	269	87.62	
	3	388	361	93.04	
50-10-40	1	248	211	85.08	87.80±4.44
	2	315	269	85.40	
	3	367	341	92.92	
60-0-40	1	203	177	87.19	90.53±2.89
	2	354	326	92.09	
	3	351	324	92.31	
60-5-35	1	245	219	89.39	90.53±1.08
	2	283	259	91.52	
	3	387	351	90.70	
60-10-30	1	264	242	91.67	91.84±0.49
	2	355	328	92.39	
	3	269	246	91.45	
70-0-30	1	339	331	97.64	94.71±2.62
	2	344	323	93.90	
	3	351	325	92.59	
70-5-25	1	339	318	93.81	92.88±0.81
	2	324	299	92.28	
	3	322	298	92.55	
70-10-20	1	355	337	94.93	93.07±5.56
	2	349	303	86.82	
	3	353	344	97.45	

ตารางที่ ก-9 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

สูตร	ที่	ก่อนชุบ พาราฟิน	pellet หลังชุบ พาราฟิน	น.น.พาราฟิน	pelletหลังชุบ พาราฟินในน้ำ	pellet หลังชุบ หักพาราฟิน	density ก่อน หักพาราฟิน	densityหลังหัก พาราฟิน	เฉลี่ย (ก่อนและหลัง)	kg/m3	เฉลี่ย
50-0-50	1	2.3184	3.3121	0.9937	3.2955	2.3018	1.0001	1.0023	1.0012	1001.19	994.04±8.36
	2	2.2989	2.8277	0.5288	2.8541	2.3253	0.9859	0.9838	0.9848	984.84	
	3	3.1339	3.5243	0.3904	3.5210	3.1306	0.9960	0.9961	0.9961	996.08	
50-5-45	1	2.4010	2.8550	0.4540	2.8541	2.4001	0.9954	0.9955	0.9954	995.44	995.50±0.17
	2	2.4840	2.9199	0.4359	2.9183	2.4824	0.9956	0.9957	0.9957	995.69	
	3	2.3069	2.7773	0.4704	2.7766	2.3062	0.9953	0.9954	0.9954	995.37	
50-10-40	1	1.5817	2.0813	0.4996	2.0793	1.5797	0.9960	0.9964	0.9962	996.20	995.61±0.52
	2	3.7899	4.1104	0.3205	4.1091	3.7886	0.9954	0.9954	0.9954	995.42	
	3	2.3498	2.8062	0.4564	2.8059	2.3495	0.9952	0.9952	0.9952	995.21	
60-0-40	1	3.1692	3.4340	0.2648	3.4320	3.1672	0.9957	0.9957	0.9957	995.70	995.69±0.03
	2	2.6491	3.1642	0.5151	3.1624	2.6473	0.9957	0.9958	0.9957	995.71	
	3	2.2871	2.6950	0.4079	2.6936	2.2857	0.9956	0.9957	0.9957	995.66	
60-5-35	1	2.6524	3.2235	0.5711	3.2172	2.6461	0.9970	0.9975	0.9973	997.25	997.09±1.25
	2	2.6903	3.2000	0.5097	3.1980	2.6883	0.9957	0.9958	0.9958	995.77	
	3	2.3305	2.8290	0.4985	2.8209	2.3224	0.9979	0.9986	0.9983	998.26	
60-10-30	1	1.9978	2.6943	0.6965	2.6836	1.9871	0.9991	1.0005	0.9998	999.75	997.85±2.19
	2	2.1524	2.6379	0.4855	2.6302	2.1447	0.9980	0.9987	0.9983	998.33	
	3	2.4734	2.9683	0.4949	2.9673	2.4724	0.9954	0.9955	0.9955	995.46	
70-0-30	1	2.5917	2.9425	0.3508	2.9408	2.5900	0.9957	0.9957	0.9957	995.71	996.01±0.54
	2	3.0868	3.5555	0.4687	3.5504	3.0817	0.9965	0.9967	0.9966	996.63	
	3	3.3488	3.7591	0.4103	3.7570	3.3467	0.9956	0.9957	0.9957	995.68	
70-5-25	1	2.6926	3.1294	0.4368	3.1277	2.6909	0.9956	0.9957	0.9957	995.68	995.66±0.29
	2	2.8866	3.2295	0.3429	3.2269	2.8840	0.9959	0.9960	0.9959	995.94	
	3	2.7416	3.1968	0.4552	3.1960	2.7408	0.9953	0.9954	0.9954	995.36	
70-10-20	1	2.9610	3.5647	0.6037	3.5611	2.9574	0.9961	0.9963	0.9962	996.20	996.62±0.48
	2	2.9506	3.3074	0.3568	3.3010	2.9442	0.9970	0.9973	0.9971	997.14	
	3	2.9589	3.3070	0.3481	3.3025	2.9544	0.9964	0.9966	0.9965	996.53	

ตารางที่ ก-10 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ที่	ถ้วย	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง	มวลเชื้อเพลิง	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง หลังอบ	น้ำหนักที่หายไป	%	เฉลี่ย
50-0-50	1	14.8783	15.9460	1.0677	15.8993	0.0467	4.37	4.22±0.14
	2	14.8077	15.9176	1.1099	15.8714	0.0462	4.16	
	3	14.9754	16.4876	1.5122	16.4254	0.0622	4.11	
50-5-45	1	14.8919	16.2639	1.3720	16.2048	0.0591	4.31	4.35±0.07
	2	14.7932	15.9407	1.1475	15.8912	0.0495	4.31	
	3	15.0059	16.0355	1.0296	15.9898	0.0457	4.44	
50-10-40	1	14.9596	16.0503	1.0907	16.0061	0.0442	4.05	4.03±0.19
	2	15.0335	16.7192	1.6857	16.6546	0.0646	3.83	
	3	14.8934	15.9011	1.0077	15.8586	0.0425	4.22	
60-0-40	1	14.8455	16.1371	1.2916	16.0928	0.0443	3.43	3.58±0.13
	2	14.8554	15.9861	1.1307	15.9446	0.0415	3.67	
	3	14.8515	16.0457	1.1942	16.0022	0.0435	3.64	
60-5-35	1	14.8951	15.9060	1.0109	15.8794	0.0266	2.63	2.68±0.13
	2	14.9780	16.1134	1.1354	16.0842	0.0292	2.57	
	3	14.8530	15.9325	1.0795	15.9020	0.0305	2.83	
60-10-30	1	14.8584	15.9049	1.0465	15.8824	0.0225	2.15	2.12±0.12
	2	14.7971	16.0782	1.2811	16.0497	0.0285	2.22	
	3	14.8150	16.0101	1.1951	15.9863	0.0238	1.99	
70-0-30	1	15.0081	16.1989	1.1908	16.1704	0.0285	2.39	3.33±1.60
	2	14.8491	15.9954	1.1463	15.9678	0.0276	2.41	
	3	14.9072	16.0452	1.1380	15.9863	0.0589	5.18	
70-5-25	1	15.0366	16.0734	1.0368	16.0505	0.0229	2.21	3.99±1.56
	2	14.8564	16.0067	1.1503	15.9481	0.0586	5.09	
	3	14.8158	15.9519	1.1361	15.8988	0.0531	4.67	
70-10-20	1	14.8877	15.9991	1.1114	15.9702	0.0289	2.60	4.12±1.32
	2	14.8248	15.8555	1.0307	15.8048	0.0507	4.92	
	3	15.0405	16.2157	1.1752	16.1588	0.0569	4.84	

ตารางที่ ก-11 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ที่	ฝา	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		น้ำหนักที่หายไป	มวลเชื้อเพลิง	%	เฉลี่ย
			ก่อนเผา	หลังเผา				
50-0-50	1	8.1530	24.0576	23.1634	0.8942	1.0677	83.75	82.73±2.17
	2	8.0273	23.9062	22.9716	0.9346	1.1099	84.21	
	3	8.0335	24.4675	23.2542	1.2133	1.5122	80.23	
50-5-45	1	8.0429	24.2556	23.1340	1.1216	1.3720	81.75	81.34±2.72
	2	7.9901	23.8876	22.9256	0.9620	1.1475	83.83	
	3	8.0715	24.0099	23.2022	0.8077	1.0296	78.45	
50-10-40	1	8.0814	24.0952	23.1837	0.9115	1.0907	83.57	81.85±2.86
	2	8.3874	25.0495	23.7255	1.3240	1.6857	78.54	
	3	7.9385	23.8031	22.9624	0.8407	1.0077	83.43	
60-0-40	1	8.1497	24.2483	23.2294	1.0189	1.2916	78.89	79.56±1.24
	2	8.1207	24.0729	23.1571	0.9158	1.1307	80.99	
	3	8.2204	24.2311	23.2899	0.9412	1.1942	78.81	
60-5-35	1	8.1510	24.0505	23.1819	0.8686	1.0109	85.92	81.33±6.13
	2	8.1220	24.2222	23.3779	0.8443	1.1354	74.36	
	3	8.1541	24.0755	23.1720	0.9035	1.0795	83.70	
60-10-30	1	8.0818	23.9808	23.0987	0.8821	1.0465	84.29	83.11±2.87
	2	8.2221	24.2887	23.2659	1.0228	1.2811	79.84	
	3	8.0722	24.0779	23.0598	1.0181	1.1951	85.19	
70-0-30	1	7.9390	24.1316	23.1190	1.0126	1.1908	85.04	82.01±2.77
	2	8.0339	24.0193	23.0861	0.9332	1.1463	81.41	
	3	8.0834	24.1179	23.2121	0.9058	1.1380	79.60	
70-5-25	1	7.9905	24.0583	23.1919	0.8664	1.0368	83.56	80.79±2.67
	2	8.1240	24.1200	23.1934	0.9266	1.1503	80.55	
	3	8.0468	23.9918	23.1029	0.8889	1.1361	78.24	
70-10-20	1	8.0442	24.0320	23.1716	0.8604	1.1114	77.42	77.37±0.20
	2	7.9918	23.8408	23.0456	0.7952	1.0307	77.15	
	3	8.0281	24.2365	23.3253	0.9112	1.1752	77.54	

ตารางที่ ก-12 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ที่	ฝา	ถ้วย	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		มวลเชื้อเพลิง		%	เฉลี่ย
				ก่อนเผา	หลังเผา	ที่เหลือ	เริ่มต้น		
50-0-50	1	8.153	14.8783	23.1664	23.1561	0.1248	1.0677	11.69	11.34±0.81
	2	8.0273	14.8077	22.9757	22.9521	0.1171	1.1099	10.55	
	3	8.0335	14.9754	23.2632	23.1922	0.1833	1.5122	12.12	
50-5-45	1	8.0429	14.8919	23.1393	23.0976	0.1628	1.372	11.87	11.92±0.07
	2	7.9901	14.7932	22.9287	22.92	0.1367	1.1475	11.91	
	3	8.0715	15.0059	23.2052	23.2009	0.1235	1.0296	11.99	
50-10-40	1	8.0814	14.9596	23.1875	23.1629	0.1219	1.0907	11.18	12.71±1.45
	2	8.3874	15.0335	23.7335	23.6581	0.2372	1.6857	14.07	
	3	7.9385	14.8934	22.9644	22.9616	0.1297	1.0077	12.87	
60-0-40	1	8.1497	14.8455	23.2363	23.1414	0.1462	1.2916	11.32	12.92±1.41
	2	8.1207	14.8554	23.1608	23.1341	0.158	1.1307	13.97	
	3	8.2204	14.8515	23.2958	23.2329	0.161	1.1942	13.48	
60-5-35	1	8.151	14.8951	23.1838	23.1838	0.1377	1.0109	13.62	14.07±0.28
	2	8.122	14.978	23.39	23.2611	0.1611	1.1354	14.19	
	3	8.1541	14.853	23.1759	23.1577	0.1506	1.0795	13.95	
60-10-30	1	8.0818	14.8584	23.103	23.0834	0.1432	1.0465	13.68	12.46±2.49
	2	8.2221	14.7971	23.2774	23.1999	0.1807	1.2811	14.11	
	3	8.0722	14.815	23.0698	23.0019	0.1147	1.1951	9.60	
70-0-30	1	7.939	15.0081	23.1218	23.1124	0.1653	1.1908	13.88	13.58±1.19
	2	8.0339	14.8491	23.0964	23.0235	0.1405	1.1463	12.26	
	3	8.0834	14.9072	23.2238	23.1566	0.166	1.138	14.59	
70-5-25	1	7.9905	15.0366	23.1958	23.1774	0.1503	1.0368	14.50	14.99±0.47
	2	8.124	14.8564	23.2036	23.1535	0.1731	1.1503	15.05	
	3	8.0468	14.8158	23.1157	23.0378	0.1752	1.1361	15.42	
70-10-20	1	8.0442	14.8877	23.1827	23.1118	0.1799	1.1114	16.19	16.04±0.27
	2	7.9918	14.8248	23.0571	22.9787	0.1621	1.0307	15.73	
	3	8.0281	15.0405	23.3379	23.259	0.1904	1.1752	16.20	

ตารางที่ ก-13 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ลำดับที่	MC	VM	Ash	MC+VM+Ash	FC	เฉลี่ย
50-0-50	1	4.37	83.75	11.69	99.81	0.19	1.60±1.73
	2	4.16	84.21	10.55	98.92	1.08	
	3	4.11	80.23	12.12	96.47	3.53	
50-5-45	1	4.31	81.75	11.87	97.92	2.08	2.38±2.60
	2	4.31	83.83	11.91	100.06	-0.06	
	3	4.44	78.45	11.99	94.88	5.12	
50-10-40	1	4.05	83.57	11.18	98.80	1.20	1.41±2.04
	2	3.83	78.54	14.07	96.45	3.55	
	3	4.22	83.43	12.87	100.52	-0.52	
60-0-40	1	3.43	78.89	11.32	93.64	6.36	3.93±2.50
	2	3.67	80.99	13.97	98.64	1.36	
	3	3.64	78.81	13.48	95.94	4.06	
60-5-35	1	2.63	85.92	13.62	102.18	-2.18	2.08±5.95
	2	2.57	74.36	14.19	91.12	8.88	
	3	2.83	83.70	13.95	100.47	-0.47	
60-10-30	1	2.15	84.29	13.68	100.12	-0.12	2.31±2.13
	2	2.22	79.84	14.11	96.17	3.83	
	3	1.99	85.19	9.60	96.78	3.22	
70-0-30	1	2.39	85.04	13.88	101.31	-1.31	1.09±2.65
	2	2.41	81.41	12.26	96.07	3.93	
	3	5.18	79.60	14.59	99.36	0.64	
70-5-25	1	2.21	83.56	14.50	100.27	-0.27	0.23±1.26
	2	5.09	80.55	15.05	100.70	-0.70	
	3	4.67	78.24	15.42	98.34	1.66	
70-10-20	1	2.60	77.42	16.19	96.20	3.80	2.47±1.21
	2	4.92	77.15	15.73	97.80	2.20	
	3	4.84	77.54	16.20	98.58	1.42	

หมายเหตุ : MC-ความชื้น, VM-สารระเหย, Ash-เถ้า, FC-คาร์บอนคงตัว

ตารางที่ ก-14 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความร้อน		
		แคลอรี่/กรัม	เฉลี่ย	เมกะจูล/กก.
50-0-50	1	4877.9	4883.5	20.51±0.03
	2	4889.0		
50-5-45	1	4870.6	4867.5	20.44±0.02
	2	4864.3		
50-10-40	1	4685.1	4679.0	19.65±0.04
	2	4672.9		
60-0-40	1	4605.1	4592.9	19.29±0.07
	2	4580.6		
60-5-35	1	4566.2	4569.1	19.19±0.02
	2	4572.0		
60-10-30	1	4593.1	4594.7	19.30±0.01
	2	4596.3		
70-0-30	1	4587.2	4576.9	19.22±0.06
	2	4566.5		
70-5-25	1	4388.8	4388.3	18.43±0.00
	2	4387.8		
70-10-20	1	4236.1	4234.2	17.8±0.01
	2	4232.3		

ตารางที่ ก-15 ร้อยละอัดเม็ดของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์ม

สูตร	ที่	น้ำหนัก (g)		ร้อยละอัดเม็ด	เฉลี่ย
		ทั้งหมด	เม็ดเชื้อเพลิง		
50-0-50	1	328	287	87.50	84.44±4.58
	2	312	247	79.17	
	3	322	279	86.65	
50-5-45	1	317	276	87.07	88.35±4.21
	2	325	276	84.92	
	3	331	308	93.05	
50-10-40	1	289	227	78.55	78.67±2.03
	2	279	214	76.70	
	3	286	231	80.77	
60-0-40	1	328	229	69.82	73.70±4.16
	2	315	246	78.10	
	3	302	221	73.18	
60-5-35	1	358	270	75.42	75.07±0.51
	2	337	251	74.48	
	3	320	241	75.31	
60-10-30	1	313	239	76.36	71.66±4.24
	2	305	215	70.49	
	3	298	203	68.12	
70-0-30	1	316	308	97.47	83.26±14.56
	2	234	160	68.38	
	3	311	261	83.92	
70-5-25	1	291	245	84.19	84.13±6.04
	2	287	224	78.05	
	3	294	265	90.14	
70-10-20	1	288	267	92.71	16.59±82.86
	2	248	158	63.71	
	3	281	259	92.17	
80-0-20	1	345	287	83.19	80.19±2.99
	2	328	263	80.18	
	3	294	227	77.21	

ตารางที่ ก-16 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

สูตร	ที่	ก่อนชุบ พาราฟิน	pellet หลังชุบ พาราฟิน	น.น.พาราฟิน	pelletหลังชุบ พาราฟินในน้ำ	pellet หลังชุบ หักพาราฟิน	density ก่อน หักพาราฟิน	densityหลังหัก พาราฟิน	เฉลี่ย (ก่อนและหลัง)	kg/m3	เฉลี่ย
70-0-30	1	2.7035	3.3372	0.6337	3.3357	2.7020	0.8069	0.9971	0.9020	901.98	914.04±27.80
	2	2.3616	2.9810	0.6194	2.9530	2.3336	0.7801	1.0085	0.8943	894.31	
	3	3.1729	3.5326	0.3597	3.5311	3.1714	0.8946	0.9970	0.9458	945.83	
70-5-25	1	3.0409	3.9980	0.9571	3.7790	2.8219	0.7034	1.0739	0.8886	888.63	894.74±12.07
	2	3.2653	4.1876	0.9223	4.1832	3.2609	0.7760	0.9979	0.8869	886.95	
	3	2.7059	3.2867	0.5808	3.2821	2.7013	0.8190	0.9982	0.9086	908.64	
70-10-20	1	2.8951	3.4300	0.5349	3.4285	2.8936	0.8407	0.9971	0.9189	918.88	932.62±16.11
	2	3.1048	3.5960	0.4912	3.5892	3.0980	0.8585	0.9987	0.9286	928.63	
	3	3.2826	3.6182	0.3356	3.6171	3.2815	0.9038	0.9969	0.9503	950.34	
80-0-20	1	3.7002	4.0660	0.3658	4.0639	3.6981	0.9064	0.9971	0.9517	951.74	941.33±12.93
	2	3.6813	4.1028	0.4215	4.1002	3.6787	0.8935	0.9972	0.9454	945.39	
	3	3.2969	3.8417	0.5448	3.7998	3.2550	0.8443	1.0094	0.9269	926.86	

ตารางที่ ก-17 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ที่	ถ้วย	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง	มวลเชื้อเพลิง	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง หลังอบ	น้ำหนักที่หายไป	%	เฉลี่ย
70-0-30	1	15.0719	16.3435	1.2716	16.2941	0.0494	3.88	3.89±0.05
	2	15.1246	16.3288	1.2042	16.2825	0.0463	3.84	
	3	14.8720	16.0052	1.1332	15.9605	0.0447	3.94	
70-5-25	1	14.8970	15.9971	1.1001	15.9360	0.0611	5.55	5.00±0.51
	2	14.8389	16.2524	1.4135	16.1833	0.0691	4.89	
	3	14.9218	16.2020	1.2802	16.1438	0.0582	4.55	
70-10-20	1	15.0065	16.1776	1.1711	16.1029	0.0747	6.38	6.32±0.43
	2	14.9985	16.3430	1.3445	16.2641	0.0789	5.87	
	3	14.9618	16.1194	1.1576	16.0416	0.0778	6.72	
80-0-20	1	14.8607	16.0719	1.2112	16.0325	0.0394	3.25	3.39±0.13
	2	15.0697	16.4198	1.3501	16.3726	0.0472	3.50	
	3	15.0826	16.6449	1.5623	16.5913	0.0536	3.43	

ตารางที่ ก-18 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

ตัวประสาน	ที่	ฝา	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		น้ำหนักที่หายไป	มวลเชื้อเพลิง	%	เฉลี่ย
			ก่อนเผา	หลังเผา				
70-0-30	1	8.1225	24.4166	23.4042	1.0124	1.2716	79.62	80.83±1.41
	2	8.2233	24.5058	23.5364	0.9694	1.2042	80.50	
	3	7.9396	23.9001	22.9666	0.9335	1.1332	82.38	
70-5-25	1	8.0284	23.9644	23.0943	0.8701	1.1001	79.09	78.68±1.35
	2	8.1554	24.3387	23.2478	1.0909	1.4135	77.18	
	3	8.0349	24.1787	23.1573	1.0214	1.2802	79.78	
70-10-20	1	8.0838	24.1867	23.3048	0.8819	1.1711	75.31	75.88±0.92
	2	8.1245	24.3886	23.3750	1.0136	1.3445	75.39	
	3	8.2258	24.2674	23.3767	0.8907	1.1576	76.94	
80-0-20	1	8.0738	24.1063	23.1029	1.0034	1.2112	82.84	81.80±1.72
	2	8.3892	24.7618	23.6448	1.1170	1.3501	82.73	
	3	8.0474	24.6387	23.3917	1.2470	1.5623	79.82	

ตารางที่ ก-19 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ที่	ฝา	ถ้วย	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		มวลเชื้อเพลิง		%	เฉลี่ย
				ก่อนเผา	หลังเผา	ที่เหลือ	เริ่มต้น		
70-0-30	1	8.1225	15.0719	23.4042	23.3183	0.1239	1.2716	9.74	9.51±0.21
	2	8.2233	15.1246	23.5364	23.4602	0.1123	1.2042	9.33	
	3	7.9396	14.8720	22.9666	22.9188	0.1072	1.1332	9.46	
70-5-25	1	8.0284	14.8970	23.0943	23.0291	0.1037	1.1001	9.43	9.24±0.19
	2	8.1554	14.8389	23.2478	23.1221	0.1278	1.4135	9.04	
	3	8.0349	14.9218	23.1573	23.0751	0.1184	1.2802	9.25	
70-10-20	1	8.0838	15.0065	23.3048	23.1959	0.1056	1.1711	9.02	8.97±0.06
	2	8.1245	14.9985	23.375	23.244	0.121	1.3445	9.00	
	3	8.2258	14.9618	23.3767	23.2907	0.1031	1.1576	8.91	
80-0-20	1	8.0738	14.8607	23.1029	23.0563	0.1218	1.2112	10.06	10.14±0.20
	2	8.3892	15.0697	23.6448	23.599	0.1401	1.3501	10.38	
	3	8.0474	15.0826	23.3917	23.2862	0.1562	1.5623	10.00	

ตารางที่ ก-20 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ลำดับที่	MC	VM	Ash	MC+VM+Ash	FC	เฉลี่ย
70-0-30	1	3.88	79.62	9.74	93.24	6.76	5.77±1.36
	2	3.84	80.50	9.33	93.67	6.33	
	3	3.94	82.38	9.46	95.78	4.22	
70-5-25	1	5.55	79.09	9.43	94.07	5.93	7.08±1.59
	2	4.89	77.18	9.04	91.11	8.89	
	3	4.55	79.78	9.25	93.58	6.42	
70-10-20	1	6.38	75.31	9.02	90.70	9.30	8.82±1.23
	2	5.87	75.39	9.00	90.26	9.74	
	3	6.72	76.94	8.91	92.57	7.43	
80-0-20	1	3.25	82.84	10.06	96.15	3.85	4.66±1.82
	2	3.50	82.73	10.38	96.61	3.39	
	3	3.43	79.82	10.00	93.25	6.75	

ตารางที่ ก-21 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเปลือกนอกต้นปาล์มโดยใช้ของเสียกลีเซอรอลเป็นวัสดุประสาน

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความร้อน		
		แคลอรี่/กรัม	เฉลี่ย	เมกะจูล/กก.
70-0-30	1	4708	4700.75	19.74±0.04
	2	4693.5		
70-5-25	1	4704.6	4714.35	19.80±0.06
	2	4724.1		
70-10-20	1	4555.8	4551.75	19.12±0.02
	2	4547.7		
80-0-20	1	4546.8	4528.65	19.02±0.11
	2	4510.5		

ตารางที่ ก-22 ร้อยละอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ส่วนปาล์ม	pH	น้ำหนัก (g)		ร้อยละอัดเม็ด
		ทั้งหมด	เม็ดเชื้อเพลิง	
ทางใบปาล์ม	5	310	269	86.77
	6	302	251	83.11
	7	315	246	78.10
เปลือกนอก	5	276	208	75.36
	6	316	284	89.87
	7	268	212	79.10

ตารางที่ ก-23 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์ม โดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ชนิดตัวประสาน	pH	ก่อนชุบพาราฟิน	pellet หลังชุบ พาราฟิน	น.น.พาราฟิน	pelletหลังชุบ พาราฟินในน้ำ	pellet หลังชุบ หักพาราฟิน	density ก่อน หักพาราฟิน	densityหลังหัก พาราฟิน(g/cm3)	เฉลี่ย (ก่อนและหลัง)	kg/m3	kg/m3	เฉลี่ย
ทางใบปาล์ม	5	1	1.4740	2.3358	0.8618	2.3339	1.4721	0.9961	0.9965	0.9963	996.06	995.74±0.27
		2	1.3952	2.1603	0.7651	2.1596	1.3945	0.9956	0.9958	0.9957	995.57	
		3	1.4932	2.4036	0.9104	2.4028	1.4924	0.9956	0.9958	0.9957	995.58	
	6	1	2.2735	3.2445	0.9710	3.2444	2.2734	0.9953	0.9953	0.9953	995.28	995.20±0.18
		2	1.8682	3.0462	1.1780	3.0470	1.8690	0.9950	0.9948	0.9949	994.99	
		3	1.7682	2.8296	1.0614	2.8294	1.7680	0.9953	0.9954	0.9953	995.32	
	7	1	2.1227	2.8971	0.7744	2.8981	2.1237	0.9949	0.9948	0.9948	994.91	995.24±0.31
		2	1.9176	2.6508	0.7332	2.6501	1.9169	0.9955	0.9956	0.9956	995.51	
		3	1.9645	2.5148	0.5503	2.5147	1.9644	0.9953	0.9953	0.9953	995.29	
เปลือกนอก	5	1	2.5725	3.1814	0.6089	3.1827	2.5738	0.9948	0.9947	0.9948	994.85	995.49±0.62
		2	2.0728	2.6347	0.5619	2.6339	2.0720	0.9956	0.9956	0.9956	995.55	
		3	2.7330	3.4944	0.7614	3.4915	2.7301	0.9961	0.9963	0.9962	996.08	
	6	1	2.8520	3.2726	0.4206	3.2722	2.8516	0.9954	0.9954	0.9954	995.37	994.58±1.07
		2	2.2485	2.7169	0.4684	2.7176	2.2492	0.9950	0.9949	0.9950	995.00	
		3	1.8530	2.4166	0.5636	2.4212	1.8576	0.9934	0.9928	0.9931	993.36	
	7	1	2.5314	3.0125	0.4811	3.0189	2.5378	0.9931	0.9927	0.9929	993.14	995.15±1.83
		2	2.3190	2.8714	0.5524	2.8672	2.3148	0.9967	0.9971	0.9969	996.71	
		3	2.2200	2.7884	0.5684	2.7874	2.2190	0.9956	0.9957	0.9957	995.61	

ตารางที่ ก-24 ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ชีวมวล-pH	ที่	ถ้วย	ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง	มวลเชื้อเพลิง	หลังอบ	น้ำหนักที่หายไป	%	เฉลี่ย
					ถ้วย+มวลเชื้อเพลิง			
F-5	1	14.8895	16.2616	1.3721	16.2438	0.0178	1.30	1.13±0.15
	2	15.1305	16.3643	1.2338	16.3517	0.0126	1.02	
	3	14.9235	16.2387	1.3152	16.2247	0.0140	1.06	
F-6	1	15.0203	16.1885	1.1682	16.1731	0.0154	1.32	1.36±0.12
	2	14.9066	16.2302	1.3236	16.2134	0.0168	1.27	
	3	14.9913	16.3028	1.3115	16.2831	0.0197	1.50	
F-7	1	14.8443	16.0552	1.2109	16.0406	0.0146	1.21	1.37±0.14
	2	15.1817	16.3681	1.1864	16.3505	0.0176	1.48	
	3	14.9944	16.1879	1.1935	16.1711	0.0168	1.41	
T-5	1	15.0765	16.2152	1.1387	16.2052	0.0100	0.88	0.69±0.16
	2	14.8430	15.8694	1.0264	15.8630	0.0064	0.62	
	3	14.9339	16.0410	1.1071	16.0346	0.0064	0.58	
T-6	1	14.9967	16.0300	1.0333	16.0231	0.0069	0.67	0.88±0.19
	2	15.0116	16.2292	1.2176	16.2168	0.0124	1.02	
	3	14.9017	16.0643	1.1626	16.0531	0.0112	0.96	
T-7	1	15.1815	16.4962	1.3147	16.4816	0.0146	1.11	1.08±0.09
	2	15.0305	16.2050	1.1745	16.1934	0.0116	0.99	
	3	15.0173	16.0901	1.0728	16.0777	0.0124	1.16	

ตารางที่ ก-25 สารระเหยของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ชีวมวล-pH	ที่	ฝา	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		น้ำหนักที่หายไป	มวลเชื้อเพลิง	%	เฉลี่ย
			ก่อนเผา	หลังเผา				
F-5	1	8.0462	24.3082	23.2213	1.0869	1.3721	79.21	79.02±0.32
	2	8.2243	24.5928	23.6224	0.9704	1.2338	78.65	
	3	8.1137	24.3384	23.2970	1.0414	1.3152	79.18	
F-6	1	8.1226	24.3129	23.3505	0.9624	1.1682	82.38	79.50±3.36
	2	8.0731	24.3051	23.2421	1.0630	1.3236	80.31	
	3	8.0913	24.3744	23.3801	0.9943	1.3115	75.81	
F-7	1	7.9909	24.0493	23.0789	0.9704	1.2109	80.14	82.89±2.55
	2	7.9406	24.3110	23.3006	1.0104	1.1864	85.17	
	3	8.0151	24.1862	23.1914	0.9948	1.1935	83.35	
T-5	1	8.0452	24.2504	23.3502	0.9002	1.1387	79.06	78.25±0.75
	2	7.9909	23.8539	23.0576	0.7963	1.0264	77.58	
	3	8.3889	24.4235	23.5586	0.8649	1.1071	78.12	
T-6	1	8.0258	24.0489	23.1975	0.8514	1.0333	82.40	78.82±3.10
	2	8.1539	24.3707	23.4345	0.9362	1.2176	76.89	
	3	8.1544	24.2075	23.3102	0.8973	1.1626	77.18	
T-7	1	8.0726	24.5542	23.4579	1.0963	1.3147	83.39	81.39±1.84
	2	8.0341	24.2275	23.2907	0.9368	1.1745	79.76	
	3	8.0828	24.1605	23.2913	0.8692	1.0728	81.02	

ตารางที่ ก-26 เถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ชีวมวล-pH	ที่	ฝา	ถ้วย	ฝา+มวลเชื้อเพลิง+ถ้วย		มวลเชื้อเพลิง		%	เฉลี่ย
				ก่อนเผา	หลังเผา	ที่เหลือ	เริ่มต้น		
F-5	1	8.0462	14.8895	23.2245	23.1222	0.1865	1.3721	13.59	13.94±0.43
	2	8.2243	15.1305	23.6256	23.5328	0.178	1.2338	14.43	
	3	8.1137	14.9235	23.297	23.2188	0.1816	1.3152	13.81	
F-6	1	8.1226	15.0203	23.3523	23.3056	0.1627	1.1682	13.93	13.86±0.38
	2	8.0731	14.9066	23.3523	23.1678	0.1881	1.3236	14.21	
	3	8.0913	14.9913	23.3801	23.259	0.1764	1.3115	13.45	
F-7	1	7.9909	14.8443	23.0821	23.0025	0.1673	1.2109	13.82	13.84±0.02
	2	7.9406	15.1817	23.3017	23.2868	0.1645	1.1864	13.87	
	3	8.0151	14.9944	23.1914	23.1747	0.1652	1.1935	13.84	
T-5	1	8.0452	15.0765	23.3502	23.2927	0.171	1.1387	15.02	15.05±0.03
	2	7.9909	14.843	23.0576	22.9885	0.1546	1.0264	15.06	
	3	8.3889	14.9339	23.5586	23.4898	0.167	1.1071	15.08	
T-6	1	8.0258	14.9967	23.1975	23.1771	0.1546	1.0333	14.96	15.00±0.12
	2	8.1539	15.0116	23.4345	23.3469	0.1814	1.2176	14.90	
	3	8.1544	14.9017	23.3102	23.232	0.1759	1.1626	15.13	
T-7	1	8.0726	15.1815	23.4579	23.3918	0.1377	1.3147	10.47	10.60±0.14
	2	8.0341	15.0305	23.2907	23.1909	0.1263	1.1745	10.75	
	3	8.0828	15.0173	23.2913	23.2135	0.1134	1.0728	10.57	

ตารางที่ ก-27 คาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

ชีวมวล-pH	ที่	MC	VM	Ash	MC+VM+Ash	FC	เฉลี่ย
F-5	1	1.30	79.21	13.59	94.10	5.90	5.91±0.03
	2	1.02	78.65	14.43	94.10	5.90	
	3	1.06	79.18	13.81	94.05	5.95	
F-6	1	1.32	82.38	13.93	97.63	2.37	5.27±3.55
	2	1.27	80.31	14.21	95.79	4.21	
	3	1.50	75.81	13.45	90.77	9.23	
F-7	1	1.21	80.14	13.82	95.16	4.84	1.91±2.71
	2	1.48	85.17	13.87	100.51	-0.51	
	3	1.41	83.35	13.84	98.60	1.40	
T-5	1	0.88	79.06	15.02	94.95	5.05	6.00±0.86
	2	0.62	77.58	15.06	93.27	6.73	
	3	0.58	78.12	15.08	93.79	6.21	
T-6	1	0.67	82.40	14.96	98.03	1.97	5.30±2.89
	2	1.02	76.89	14.90	92.81	7.19	
	3	0.96	77.18	15.13	93.27	6.73	
T-7	1	1.11	83.39	10.47	94.97	5.03	6.93±1.76
	2	0.99	79.76	10.75	91.50	8.50	
	3	1.16	81.02	10.57	92.75	7.25	

ตารางที่ ก-28 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทางใบปาล์มและเปลือกนอกต้นปาล์มโดยแปรผันค่าพีเอชของเสียกลีเซอรอล

อัตราส่วน	ครั้งที่	ค่าความร้อน		
		แคลอรี่/กรัม	เฉลี่ย	เมกะจูล/กก.
70-0-30	1	4708	4700.75	19.74±0.04
	2	4693.5		
70-5-25	1	4704.6	4714.35	19.80±0.06
	2	4724.1		
70-10-20	1	4555.8	4551.75	19.12±0.02
	2	4547.7		
80-0-20	1	4546.8	4528.65	19.02±0.11
	2	4510.5		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกฤติย์ภรณ์ ตรังคประสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2527 สถานที่เกิด จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปี พ.ศ.2550 หลังจากนั้นเข้าทำงานในบริษัทโตโย-ไทย คอร์ปเปอร์เรชั่น จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งวิศวกรโครงการและเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2551

การเสนอผลงานในการประชุมวิชาการแบบปากเปล่าในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- K. Trangkaprasith. O. Chavalparit, “Heating Value Enhancement of fuel pellet from oil palm frond”, The International Conference on Biology, Environment and Chemistry(ICBEC 2010), December 28-30, Hongkong, China(2010)