การปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

IMPROVEMENT OF PALM OIL WASTE PELLET FUEL AND SEWAGE SLUDGE FROM PALM OIL INDUSTRY

พิมพ์ชนก บุญบาง

วรัญญภัทร สิงห์กลม

สุชัญญา หล้าคอม

การปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT OF PALM OIL WASTE PELLET FUEL AND SEWAGE SLUDGE FROM PALM OIL INDUSTRY

Pimchanok Boonbang

Waranyapat Singkom

Suchanya Lakhom

IMPROVEMENT OF PALM OIL WASTE PELLET FUEL AND SEWAGE SLUDGE FROM PALM OIL INDUSTRY

SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR

THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIROMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISRTY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**การปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (Improvement of palm oil waste pellet fuel and sewage sludge from palm oil industry as renewable energy)**
ชื่อนักศึกษา	นางสาว พิมพ์ชนก บุญบาง รหัสนักศึกษา 63050338
	นางสาว วรัญญาภัทร สิงห์กลม รหัสนักศึกษา 63050349
	นางสาว สุชัญญา หล้าคอม รหัสนักศึกษา 63050360
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดลอม
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ดร. ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	**การปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน**
ชื่อนักศึกษา	นางสาว พิมพ์ชนก บุญบาง รหัสนักศึกษา 63050338 นางสาว วรัญญภัทร สิงห์กลม รหัสนักศึกษา 63050349 นางสาว สุชัญญา หล้าคอม รหัสนักศึกษา 63050360
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต เคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ

บทคัดย่อ

จากปริมาณความต้องการการใช้น้ำมันปาล์มภายในประเทศในอุตสาหกรรมและภาคขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มเกิดของเสียจากการผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะของเสียกากน้ำมันปาล์มที่ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เพื่อนำของเสียชีวมวลกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์และเป็นแหล่งพลังงานทดแทน วัตถุประสงค์ของวิจัยนี้เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดและสัดส่วนชีวมวลอัดเม็ดในการขึ้นรูปของกากตะกอนน้ำเสียและกากปาล์ม และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ สมบัติค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความคงทน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม ผลการศึกษาการปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากตะกอนน้ำเสียและกากปาล์มตามสัดส่วน PS:PW 100:0 75:25 50:50 35:65 0:100 พบว่าอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุดเท่ากับ 4.85±0.50 และค่าความร้อนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญผลิตเชื้อเพลิงพบว่า ที่อัตราส่วน 100:0 และ 75:25 มีค่าความร้อน 26.65±0.49 และ 22.30±0.05 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นแนวทางในการนำของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม และสามารถลดต้นทุนในกำจัดของเสียภายในโรงงาน

คำสำคัญ : กากปาล์ม เศรษฐกิจหมุนเวียน กากตะกอนน้ำเสีย ชีวมวลอัดเม็ด เชื้อเพลิงทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	**Improvement of palm oil waste pellet fuel and sewage sludge from palm oil industry as renewable energy**
Students	Miss Pimchanok Boonbang Student ID 63050338
	Miss Waranyapat Singkom Student ID 63050349
	Miss Suchanya Lakhom Student ID 63050360
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2023
Advisor	Dr. Prangtip Rittichote Kaewpengkrow

Abstract

The quantity of palm oil required in the country in both the industry and transportation sectors has tended to increase. Consequently, the waste that occurs has tended to increase by the manufacture of palm oil industries, especially, wastes from palm oil extraction and sewage sludge from the production process which is a problem for the environment. This research has taken to the circular economy concept by biomass waste recovery to benefit and is renewable energy. The objective of this research is to study the production process of pellet fuel and the proportions of biomass pellets from sewage sludge and palm oil waste. In addition, the chemical and physical properties namely heating value, moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon content, and durability to use as an alternative fuel in the industrial factory were investigated. The study is findings demonstrated that the quantities of pellet fuels made from palm pulp and wastewater sludge PS: PW in that order, 100:0 75:25 50:50 35:65 0:100. The ratio with the least amount of moisture was discovered to be equivalent to 4.85±0.50. The ratios of 100:0 and 75:25 were discovered to have a calorific value of 26.65±0.49 and 22.30±0.05, respectively, which is an essential factor in fuel production. Which is appropriate to use for fuel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The results are guidelines for the palm oil industry to apply pellet fuel as an alternative fuel in the industry sector. It can also reduce costs and eliminate waste from the factory.

Keywords: Sewage sludge, Circular economy Pellet fuel Biomass pellets Palm oil waste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน สามารถสำเสร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำอย่างดีจาก ดร.ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ให้คำปรึกษา ข้อแนะนำ ความรู้ รวมถึงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ได้ให้ความร่วมมือ ในการสนับสนุนเครื่องอัดเม็ด รวมถึงวัตถุดิบกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสียสำหรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย รวมถึงพี่นักวิทย์ที่ให้ความรู้การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

พิมพ์ชนก บุญบาง
วรัญญภัทร สิงห์กลม
สุชัญญา หล้าคอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

Abstract ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 น้ำมันปาล์ม (Palm oil) 4

2.2 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย 4

2.3 กระบวนการผลิตปาล์มน้ำมัน 5

2.4 เศษวัสดุเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก 9

2.4.1. กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (decanter) 9

2.4.2 กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Sewage Sludge) 9

2.5 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม 11

2.6 เชื้อเพลิงชีวมวล 12

2.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล 13

2.8 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เครื่องมือใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ 21
2.9.1 Thermogravimetric Analysis หรือ TGA 21
2.9.2 Calorific value หรือ Bomb Calorimeter 22
2.9.3 Elemental analyzer หรือ CHNS/O Analyzer 23
2.9.4 เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die) 23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 28
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานวิจัย 28
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง 29
3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง 29
3.2.2 เตรียมตัวอย่างขึ้นรูปอัดเม็ดของชีวมวล 29
3.2.3 ดำเนินการทดลอง 29
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของชีวมวลอัดเม็ด (Proximate Analysis) 30
3.3.1 วิเคราะห์ค่าความชื้น 30
3.3.2 วิเคราะห์ค่าการระเหย 30
3.3.3 วิเคราะห์ค่าเถ้า 30
3.3.4 วิเคราะห์คาร์บอนคงตัว 31
3.4 วิเคราะห์ความทนทาน 31
3.5 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ 32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 33
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย 33
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีโดยประมาณ (Proximate value) 34
4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ C, H, O, N, S ในชีวมวลอัดเม็ด 37
4.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด 38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 สรุปผลการวิจัย 40
5.2 ข้อเสนอแนะ 40
เอกสารอ้างอิง 42
ภาคผนวก 46
ภาคผนวก ก 47
ภาคผนวก ข 51
ภาคผนวก ค 56
ภาคผนวก ง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน..... 11
2.2 คุณสมบัติของชีวมวล..... 16
2.3 กำหนดคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของประเทศอเมริกา..... 18
2.4 กำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในไทย ประเภททำจากไม้..... 19
2.5 กำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในไทย ประเภทไม่ได้ทำจากไม้และไม่ได้ทำจากไม้ทั้งหมด..... 20
4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพอัตราส่วนกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสีย..... 33
4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีอัตราส่วนกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสีย..... 34
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย..... 37
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด..... 38
ก-1 มาตรฐานชีวมวลอัดแท่งแห่งประเทศไทย..... 47
ก-2 ผลการหาปริมาณความชื้น..... 48
ก-3 ผลการหาปริมาณสารระเหย..... 48
ก-4 ผลการหาปริมาณเถ้า..... 49
ก-5 ผลการหาปริมาณคาร์บอนคงตัว..... 50
ค ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter..... 56
ง ผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง ELEMENTAL ANALYZER (CHNS) 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เครื่องนึ่งอบทะลายในแนวนอน (Sterilization) 6
2.3 เครื่อง Rotary drum thresher..... 7
2.4 (ก) Decanter (ข) separator..... 7
2.5 กระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันแบบเปียก (Crude Palm Oil Milling Process) 8
2.6 กากปาล์ม (Palm oil Waste) 9
2.7 กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Sewage Sludge) 10
2.8 ดินขาว..... 10
2.9 ส่วนประกอบสำคัญของลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน..... 12
2.10 เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die) 24
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความชื้นและร้อยละอัตราส่วน..... 35
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นค่าสารระเหยและร้อยละอัตราส่วน..... 36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นเถ้าและร้อยละอัตราส่วน..... 37
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความร้อนและร้อยละอัตราส่วน..... 38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ..... 39
ข-1 ผลการวิเคราะห์ TGA ร้อยละอัตราส่วน PS:PW 100:0..... 51
ข-2 ผลการวิเคราะห์ TGA ร้อยละอัตราส่วน PS:PW 75:25..... 52
ข-3 ผลการวิเคราะห์ TGA ร้อยละอัตราส่วน PS:PW 50:50..... 53
ข-4 ผลการวิเคราะห์ TGA ร้อยละอัตราส่วน PS:PW 35:65..... 54
ข-5 ผลการวิเคราะห์ TGA ร้อยละอัตราส่วน PS:PW 0:100..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PS	กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ
PW	กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (decanter)
kcal	พลังงานที่ใช้เพื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำ 1 กิโลกรัม เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส
%wt	ร้อยละโดยมวล
°C	องศาเซลเซียส
ml	มิลลิลิตร
mm	มิลลิเมตร
kg/m^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
kg/hr	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
MJ/kg	เมกะจูลต่อกิโลกรัม
HHV	ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)
LHV	ค่าความร้อนต่ำ (lower heating value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 2566-2567 (แนวโน้มธุรกิจ, 2566) เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย แนวโน้มด้านการเกษตรในปัจจุบัน คาดว่าปริมาณผลผลิตในประเทศจะเพิ่มขึ้น 3.6% เนื่องจากมีปริมาน้ำฝนที่เพิ่มมากขึ้นในพื้นที่เพาะปลูกปาล์ม ทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ราคาปาล์มน้ำมันจึงถูกปรับลง ในทางเดียวกันความต้องการใช้น้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทั้งในด้านอุปโภคและบริโภค จึงทำให้ด้านอุตสาหกรรมจำเป็นต้องขยายกำลังการผลิตให้เพียงพอ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้อุปโภคและบริโภค โดยการสกัดน้ำมันปาล์มเริ่มจากการนำวัตถุดิบทะลายปาล์มสดมาผ่านกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรต่าง ๆ จนออกมาเป็นน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนจะนำปรับปรุงเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภค เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดของเสียปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องได้รับการจัดการ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเสียและการกำจัดของเสีย ซึ่งหากไม่กำจัดอาจเป็นที่มาของปัญหามลพิษและส่งกลิ่นเหม็นได้

ดังนั้นปัญหาหลักที่โรงงานน้ำมันปาล์มชุมพร คือกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว นำมาผสมกับกากตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วนต่างๆ ผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด ซึ่งการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือฟางข้าว100% แต่การใช้กากตะกอนน้ำเสียมาผสมจะช่วยลดปริมาณต้นทุนการกำจัดกากตะกอนสิ่งปฏิกูลที่เหลือจากกระบวนการผลิต และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับส่วนต่าง ๆ ของปาล์มที่เหมาะจะนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด พบว่า กะลาปาล์ม (oil palm shell) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลปาล์มโดยจะอยู่ระหว่างเส้นใยปาล์มที่ติดเปลือกด้านนอกสุดกับเนื้อปาล์มที่อยู่ด้านในสุด ลักษณะทั่วไปมีสีน้ำตาล เนื้อแข็ง นิยมนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณคาร์บอนสูงสุด และยังให้ค่าความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ๆ ของปาล์ม ดังนั้นจึงสามารถนำปาล์มมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้

เพื่อหาวิธีกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ โดยใช้แนวคิดที่จะนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โครงงานชิ้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการผลิตชีวมวลอัดเม็ดและสัดส่วนในการขึ้นรูปของกากตะกอนน้ำเสียผ่านระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศและกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ สมบัติค่าความร้อน ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความคงทน เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมตามมาตรฐานและใช้เป็นพลังงานทดแทน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนของชีวมวลอัดเม็ดจากของเสียโรงงานน้ำมันปาล์มที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิง
2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในภาคอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศและกากตะกอนน้ำมันปาล์มจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จังหวัดชุมพร
2) ศึกษาสมบัติแบบประมาณของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM ได้ ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว และเถ้า โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง
   - ค่าความร้อน (MJ/Kg)
   - ความชื้น (%wt)
   - เปอร์เซ็นต์คาร์บอน (fixed carbon)
   - เปอร์เซ็นต์เถ้า (ash)
   - ปริมาณธาตุ (%wt)
3) อัดเม็ดชีวมวลระหว่างตะกอนน้ำเสีย(PS) และกากตะกอนน้ำมันปาล์ม(PW) ที่อัตราส่วน PS:PW 100:0, PS:PW 75:25, PS:PW 50:50, PS:PW 35:65 และ PS:PW 0:100 เครื่องอัดเม็ดระดับปฏิบัติการกำลังการผลิต 1-3 kg/hr
4) ศึกษาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชีวมวลอัดเม็ดโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis หรือ TGA
5) ศึกษาหาค่าพลังงานความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)
6) วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ CHNS ด้วยเครื่อง ELEMENTAL ANALYZER – CHNS
7) วิเคราะห์ความทนทานด้วยอุปกรณ์ทดสอบความทนทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) แนวทางการนำของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด
2) เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีปริมาณเถ้าต่ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3) ชีวมวลอัดเม็ดจากของเสียอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติทางความร้อนสูงสำหรับเป็นเชื้อเพลิงทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สกัดมาจากผลของต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นพืชที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงมาก น้ำมันปาล์มสามารถนำมาใช้ในการประกอบอาหารและนิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นสำหรับประเทศไทยน้ำมันปาล์มสามารถผลิตได้เองในประเทศ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจึงก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศได้อีกด้วย

สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์ม โดยทั้งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในรูปปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในอุตสาหกรรมด้านอาหารและอุตสาหกรรมโอลิโอเคมิคอล โดยประมาณร้อยละ 80 นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน ไอศรีม ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว เนยโกโก้ ขนมเค้ก ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ และอีกประมาณร้อยละ 20 นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมโอลิโอเคมิคอล เพื่อการผลิตสินค้าอุปโภค เช่น การผลิตภัณฑ์กรดไขมันประเภทต่างๆ ทั้งกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเมทธิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมี ระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทธิลแอลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซดาไฟเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และผลพลอยได้ที่สำคัญและมีมูลค่าสูงคือ กลีเซอรอลเมทธิลเอสเทอร์ สามารนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งด้านพลังงาน (ไบโอดีเซล) หรือใช้เป็นสารหรับผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันประเภทต่างๆ

2.2 อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย

โครงสร้างการผลิตอุตสาหกรรมในประเทศไทย ผู้ปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย สามารถจำแนกได้ตามลักษณะของการประกอบกิจการออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มผู้ปลูกปาล์มน้ำมันรายใหญ่ที่จดทะเบียนรูปของบริษัท บริษัทแต่ละรายจะมีพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ ตั้งแต่หลายพันจนถึงหลายหมื่นไร่ มีจำนวนบริษัทในกล่มทั้งสิ้น 174 รายมีพื้นที่ปลูกร้อยละ 38 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กลุ่มผู้ที่ปลูกเป็นอยู่ในรูปของสหกรณ์หรือนิคมสหกรณ์ เกษตรในกลุ่มนี้มีจะเป็นเกษตรที่มีพื้นที่ปลุกรายละไม่เกิน 50 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ในเขตของนิคมสหกรณ์ มีเกษตรในกลุ่มมีจำนวณ 7,593 มีพื้นที่เพาะปลูกรวมกันประมาณร้อยละ 16 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ

3. กลุ่มผู้ที่ปลูกที่เป็นกิจการส่วนตัว ซึ่งมีทั้งเกษตรที่มีพื้นปลูกน้อย ไปจนถึงเกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ เกษตรในกลุ่มนี้มีจำนวน 45,000 รายเป็นกลุ่มที่พื้นที่เพาะปลูกรวมมากที่สุดคือประมาณร้อยละ 46 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศ (อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศไทย, 2566)

2.3 กระบวนการผลิตปาล์มน้ำมัน

ในปัจจุบันกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบในมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท ซึ่งทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างที่ขนาด และลักษณะของผลปาล์มสดที่ส่งเข้ากระบวนการผลิต โดยทั่วไปวิธีการสกัดแบบไม่ใช้น้ำจะไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย แต่เป็นกระบวนการสกัดที่สามารถรองรับวัตถุดิบได้ในปริมาณมาก และมีคุณภาพมากกว่า คือการกระบวนการแบบใช้ไอน้ำ แต่วิธีการสกัดดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดน้ำเสียจากการผลิต ดังนั้นกระบวนการที่สนใจนำมาศึกษาคือกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก สรุปได้ดังนี้

2.3.1. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียกจะเริ่มต้นหลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มจากสวนและขนส่งมายังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยทะลายปาล์มสดจะถูกขนถ่ายลงบนพื้นที่รองรับ (Ramp) และใส่ในตู้ขนาด 2.5 – 3.0 ตัน ระยะเวลาเวลาหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงการนึ่งทะลายปาล์มควรสั้นที่สุดไม่ควรเกิน 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอมไซม์ที่มีการอยู่ในส่วนเปลือก น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มไว้นานกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นได้รวดเร็วส่งผลทำให้คุณภาพของน้ำมันปาล์มลดลง จากนั้นจะนำเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะมี 4 ขั้นตอน คือ การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) การแยกผลปาล์ม (Brunch stripping) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) และการทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification)

1. การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) การอบนึ่งทะลายปาล์มในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มในห้องฆ่าเชื้อ และทำการนึ่งทะลายปาล์มสดด้วยไอน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 120-130 องศาเซลเซียส ที่ความดันประมาณ 40-50 PSI เป็นเวลา 40-60 นาที การนึ่งทะลายปาล์มมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอมไซม์ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน และส่งทำให้มีกลิ่นหื่น การนึ่งปาล์มยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มหลุดออกจากทะลายปาล์มได้ง่ายและทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 เครื่องนึ่งอบทะลายในแนวนอน (Sterilization)
ที่มา : http://www.palmoilproductionmill.com

2. การแยกผลปาล์ม (Bunch Stripping) ทะลายปาล์มที่นึ่งเสร็จแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะลายปาล์มออกจากกัน โดยใช้เครื่อง Rotary drum thresher ซึ่งเป็นทรงกระบอกกลวงหมุนด้วยความเร็วประมาณ 23 รอบต่อนาที ในส่วนหนึ่งของการทะลายปาล์มจะถูกแยกเก็บแล้วนำไปเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ลดปริมาณวัสดุเหลือและเพื่อผลิตเถ้าสำหรับใช้เป็นปุ๋ยต่อไป ส่วนผลปาล์มที่ถูกแยกได้จะถูกนำส่งไปย่อยด้วยเครื่องย่อยผลปาล์ม โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรูปถังทรงกระบอกซึ่งภายในมีใบพัด มีลักษณะเป็นแผ่นเพื่อให้ผลปาล์มแตะและจะมีการเติมน้ำร้อนลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ผลปาล์มยุ่ย กวนผลปาล์มเพื่อให้ไฟเบอร์ (Fiber) ฉีกแยกออกจากเมล็ดและให้เซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว การกวนจะเกิดขึ้นประมาณ 15-20 นาที จากนั้นถึงป้อนเข้าเครื่องหีบแบบอัดเกลียว (Screw press) ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เครื่อง Rotary drum thresher

ที่มา : https://www.edibleoilextractionmachine.com/uploads/allimg/1708/2-1FRQU503924.jpg

3. การสกัดน้ำมันปาล์ม (Oil exraction) น้ำมันที่เกิดขึ้นจากส่วนของเปลือกของผลปาล์มถูกสกัดด้วยเครื่องหีบเกลียวอัด ได้ของผสมน้ำมันปาล์มที่มีอยู่ (Oil phase) ซึ่งจะมีปริมาณสารแขวนลอยทำให้แยกน้ำมันได้ยาก มีผลทำให้น้ำเสียของโรงงานมีภาระบรรทุอินทรีย์ (Organic loading) สูง น้ำมันจะถูกแยกออกจากน้ำ เศษเส้นใย รวมทั้งสิ่งสกปรกอื่น โดยการใช้เครื่อง decanter หรือ เครื่อง separator อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบที่ผ่านการกรอง (separator) โดยส่วนใหญ่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่อีกมาก โดยเฉพาะอนุภาคของแข็งจึงต้องมีการนำมาผ่านเข้าเครื่องแยกเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยความเร็วสูง เพื่อบำบัดอนุภาคของแข็งหลังจากนั้นจึงผ่านการเข้าสู่เครื่องดูดสุญญากาศเพื่อไล่ความชื้น แล้วจะถูกนำลำเลียงไปเก็บในถังเก็บขนาดใหญ่ รอเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์

(ก) (ข)

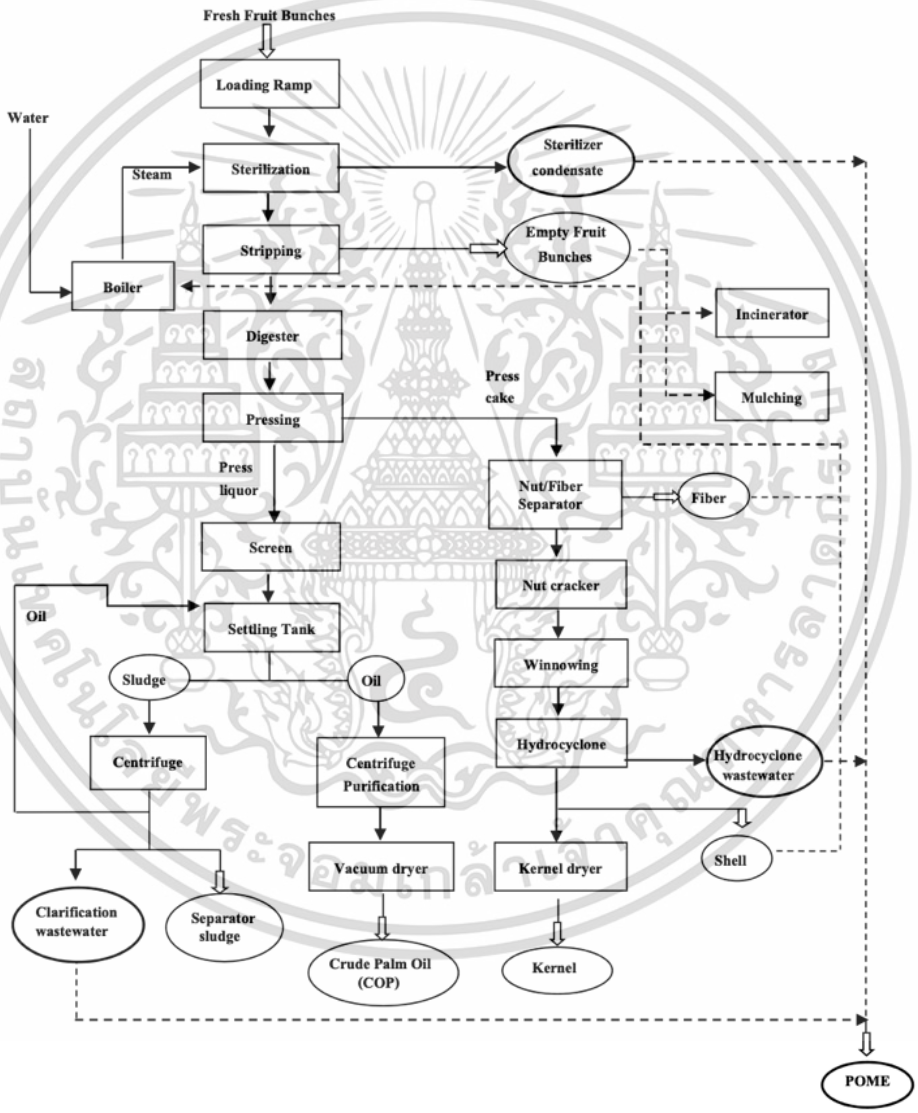
รูปที่ 2.4 (ก) Decanter (ข) separator

ที่มา : ชัยศรี สุขสาโรจน์ (2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่เป็นของแข็ง (Press cake) ประกอบไปด้วยเมล็ดและใย ซึ่งถูกทำให้ร้อนด้วยลม จนแห้ง แล้วแยกออกจากกันโดยใช้ไซโคลน โดยเมล็ดปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปเข้าเครื่องกะเทาะ (Centrifuge Crackers) เพื่อแยกเมล็ดในและกะลา

4. การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Certification) เป็นขั้นตอนการกรองออกเพื่อแยกอนุภาคขนาดใหญ่จากนั้นเข้าสู่ถังตกจมเพื่อแยกส่วนน้ำมันออกจากน้ำสลัดจ์ น้ำมันที่แยกได้จากถังตกจมจะผสมรวมกับน้ำมันแยกได้จากน้ำมันสลัดจ์ และไปเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดน้ำมันเพื่อให้น้ำมันดิบที่บริสุทธิ์และจะเก็บไว้ในถังเก็บจนกว่าจะส่งขายยังโรงกลั่นบริสุทธิ์



รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันแบบเปียก (Crude Palm Oil Milling Process)

ที่มา : https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เศษวัสดุเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแบบเปียก

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีวัสดุเศษเหลือในรูปของแข็งได้แก่ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กากเนื้อผลปาล์ม กะลาปาล์ม กากตะกอนสลัดจ์ และส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำเสียจากกากตะกอน และน้ำทิ้ง องค์ประกอบและกระบวนการนำไปใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจากการสกัดน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือจำนวนมาก ได้แก่ ทะลายเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม กากเนื้อผลปาล์ม กากตะกอนน้ำเสีย และน้ำทิ้ง ซึ่งมีความแตกต่างของวัสดุเศษเหลือขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบ (การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะลายปาล์มเปล่า,2557) โดยเศษวัสดุที่เหลือจากการสกัดเราจะทำการศึกษาความเป็นเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบ กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และ กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่เติมอากาศ (PS)

2.4.1. กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (decanter)

โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) ดังรูป 2.6 เป็นเศษวัสดุเหลือจากขั้นตอนการพักถัง (Setting Tank) ที่ทำการแยกน้ำมันและกากตะกอนน้ำมันปาล์มออกจากกัน ซึ่งเศษวัสดุที่เหลือจากการกระบวนการนี้ อาจจะสามารถนำมาศึกษาดูคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง เพื่อผลิตเป็นพลังงาน

รูปที่ 2.6 กากปาล์ม (Palm oil Waste)
ที่มา : https://images.app.goo.gl/cmchivr4SpTR4qMC6

2.4.2 กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Sewage Sludge)

กากตะกอนน้ำเสียดัง รูปที่ 2.7 เป็นกากอินทรีย์หลังจากการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศซึ่งถึงแม้จะผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแล้วก็ตาม ก็ยังส่งกลิ่นรบกวนทำให้เป็นปัญหาอย่างมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชนในบริเวณใกล้เคียง อย่างไรก็ตามกากตะกอนน้ำมันปาล์มก็ยังมีผลประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงมองว่านอกจากการที่นำไปผลิตเป็นอาหาร หรือทำบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยังมองว่ากากตะกอนน้ำเสียยังมีจำนวนที่มากพอเหมาะสำหรับนำมาทดลองศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อแก้ปัญหากลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (Sewage Sludge)
ที่มา : http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/53/group04/lorpong/template_group04.html

• ดินขาว (Clay)

ดินขาว หรือบางคนก็เรียกว่า ดินเคโอลิน (Kaolin) หรือ ไชน่าเคลย์ (China Clay) คือ ดินที่มีสีขาวตามธรรมชาติ หรือสีครีมอ่อนจาง มีธาตุอลูมิเนียมและซิลิกา รวมกันมากกว่า 85% มีสีขาวธรรมชาติ ปราศจากโลหะหนักปนเปื้อน แร่ดินขาว มีความนุ่มผลึก 6 เหลี่ยมซ้อนทับ ให้คุณสมบัติทึบแสง มักนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลากหลาย เช่น เซรามิก ยาง สีทาบ้าน กระดาษคราฟท์ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ใช้ดับกลิ่น เป็นต้น

รูปที่ 2.8 ดินขาว
ที่มา : sandandsoilgroup.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์ม

จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงาน พ.ศ. 2560 ได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานไว้ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value)	5.5-9.0	pH Meter
สารแขวนลอย (Suspended Solids	ไม่เกิน 50 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 150 มก./ล.	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)
สี	ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ	Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400-700 nm
ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ประเภทแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล. หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

ที่มา : https://www.assist-impact.net/th/articles/130602-%E0%B9%80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เชื้อเพลิงชีวมวล

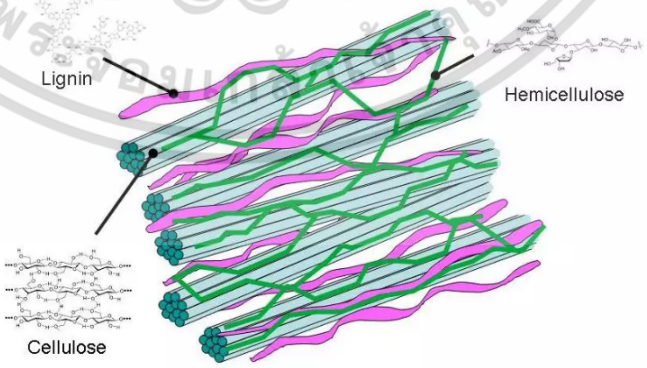
ชีวมวล (Biomass) หมายถึง สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ชีวมวลจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (Carborn : C), ไฮโดรเจน (Hydrogen : H), ออกซิเจน (Oxygen : O), กัมมะถัน (Sulfur : S) และไนโตรเจน (Nitrogen : N) ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานแทนพลังงานฟอสซิล ได้จัดเป็นพลังงานหมุนเวียน ที่สำคัญชนิดหนึ่งชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงาน มีแหล่งที่มาได้ 2 แหล่ง คือ

1) เศษวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวหรือจากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานได้
2) จากการปลูกพืชเพื่อนำมาใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงาน

2.6.1. องค์ประกอบของเซลล์ชีวมวล

องค์ประกอบที่สำคัญของชีวมวล คือ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) ซึ่งปริมาณที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะที่เจริญเติบโตของพืชนั้นๆ การนำส่วนประกอบของพืชชนิดต่าง ๆ มาใช้ให้เหมาะสมกับงานและเกิดประโยชน์สูงสุด จึงจำเป็นต้องทราบลักษณะโครงสร้างของพืชและปริมาณส่วนประกอบต่างๆที่มีในพืชนั้น ๆ ด้วย

โดยลิกนินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มักพบอยู่ในผนังเซลล์ของพืชร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ไม่ละลายน้ำ ไม่มีความยืดหยุด ย่อยสลายได้ยาก ส่งผลให้ชีวมวลที่มีลิกนินปริมาณมากมีความแข็งแรงมากและให้ค่าความร้อนสูง แต่ส่งผลทำให้แปรรูปได้ยากด้วย โดยลิกนินจะพบมากในส่วนของเปลือก ซัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้นไปสู่ยอดของพืช เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มักพบในโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และ เมล็ดธัญพืช โดยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะอ่อนตัวได้ง่ายกว่าลิกนินเมื่อโดนความร้อน



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบสำคัญของลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
ที่มา : Zakzeski et al. (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

คุณสมบัติเฉพาะของเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาด้านการประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งในวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรฐาน ASTM เพื่อใช้เปรียบเทียบในการทำชีวมวลอัดเม็ด โดยคุณสมบัติของชีวมวลที่เป็นพืชหลักและมีศักยภาพในการนำมาใช้สำหรับประเทศไทย และการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะแบ่งได้ 2 ส่วนดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิง (Proximate Analysis)

1) ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณความชื้นในชีวมวลหมายถึง ปริมาณน้ำภายในสาร ในหน่วยน้ำหนักของน้ำต่อหนักของสารเทียบด้วยมวลแห้ง (dry basis) โดยการเข้าเตาอบ (Oven) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน ASTM E871 และสูตรในการหาร้อยละค่าความชื้นจะหาได้จากสมการดังนี้

$$Moiture(\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \qquad (2.1)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

2) สารระเหย (Volatilr matter) คือ เป็นส่วนประกอบชีวมวลที่ถูกปลดปล่อยโดยการให้ความร้อนสารตัวนั้น วัดได้ด้วยการเผาสารที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ตามมารตฐาน ASTM D3175 ซึ่งชีวมวลที่ถูกย่อยสลายด้วยความร้อนระเหยกลายเป็นแก๊สและถ่านคงตัว โดยทั่วไปแล้ว ชีวมวลจะมีอัตราระเหยสูงกว่าร้อยละ 80 จะสรุปได้ว่าสารระเหยมีความสามารถในการติดไฟหรือเผาไหม้ได้ของชีวมวล สารประกอบที่ช่วยให้เผาไหม้ได้ง่าย หากชีวมวลมีสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟง่าย และสูตรในการหาร้อยละค่าความชื้นจะหาได้จากสมการดังนี้

$$Volatile\ (\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \qquad (2.2)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) คือ สารประกอบที่ให้ความร้อนยิ่งมีมากจะทำให้ค่าความร้อนสูง และคำนวณประมาณค่าได้จากสมการ 2.3

$$Fix\ Carbon\ (\%) = 100 - (VM\% - Ash\% - MC\%) \qquad (2.3)$$

เมื่อ VM% = ร้อยละค่าสารระเหย

Ash% = ร้อยละค่าเถ้าถ่าน

MC% = ร้อยละค่าความชื้น

4) เถ้า (Ash) คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้วัดได้ด้วยเตาเผาอุณหภูมิเผาสารที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะควบคุม ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D1857 คำนวณได้ ดังสมการ 2.4

$$Ash\ (\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \qquad (2.4)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (กรัม)

5) ค่าความร้อน (Heating value) คือ ปริมาณพลังงานที่ปลดปล่อยออก เมื่อชีวมวลเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ค่าความร้อนมี 2 ประเภทมีดังนี้

5.1) ค่าความร้อนสูงสุด (HHV) คือ เป็นค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดที่จะประกอบไปด้วยค่าพลังงานความร้อนจากการสันดาปของตัวอย่างและการกลั่นตัวของไอน้ำ สมการที่นิยมใช้ในการคำนวณสามารถใช้ได้ดังสมการนี้

$$HHV = 349.1C + 1178.3H + 100.5S - 103.4O - 15.1N - 21.1ASH \qquad (2.5)$$

เมื่อ HHV = ค่าความร้อนสูงสุด (kJ/kg)

C = ร้อยละองค์ประกอบของคาร์บอน

H = ร้อยละองค์ประกอบไฮโดรเจน

S = ร้อยละองค์ประกอบของซัลเฟอร์

O = ร้อยละองค์ประกอบของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = ร้อยละองค์ประกอบของไนโตรเจน

Ash = ร้อยละองค์ประกอบของถ่าน

และสามารถคำนวณค่าความร้อนสูงสุดโดยประมาณ ดังสมการนี้

$$HHV = 0.3536FC + 0.1449VM - 0.0078Ash\ (MJ/kg) \quad (2.6)$$

เมื่อ HHV = ค่าความร้อนสูงสุด (MJ/kg)

FC = ร้อยละคาร์บอนคงตัวโดยประมาณ

VM = ร้อยละค่าสารระเหย

Ash = ร้อยละค่าเถ้าถ่าน

5.2) ค่าความร้อนต่ำ (Lowe Heating Value, LHV) คือ ค่าพลังงายความร้อนที่ได้จากการสันดาปตัวอย่างแต่ไม่มีการกลั่นไอน้ำสามารถคำนวณได้ดังสการนี้

$$LHV = HHV + 5.72(9.00H + M) \quad (2.7)$$

เมื่อ LHV = ค่าความร้อนต่ำสุด (Kcal/kg)

HHV = ค่าความร้อนสูงสุด (MJ.kg)

H = ร้อยละธาตุไฮโดรเจน

M = ร้อยละค่าความชื้น

2.7.2 การวิเคราะห์หาสัดส่วนของธาตุ (Ultimate Analysis)

คือ การวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดนเจน (H) ไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) รวมถึงธาตุอื่น ๆ ที่มีสัดส่วนน้อย เช่น กำมะถัน (S) โดยจะใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบ CHNS (ELEMENTAL ANALYZER) โดยสามารคำนวณได้ ดังสมการนี้

$$Ultimate = C + H + O + N + S + ASH + M = 100\% \quad (2.8)$$

เมื่อ C = ร้อยละองค์ประกอบของคาร์บอน

H = ร้อยละองค์ประกอบไฮโดรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = ร้อยละองค์ประกอบของซัลเฟอร์

O = ร้อยละองค์ประกอบของออกซิเจน

N = ร้อยละองค์ประกอบของไนโตรเจน

Ash = ร้อยละองค์ประกอบของถ่าน

M = ร้อยละความชื้น

2.7.3 ความหนาแน่น (Bulk density)

ความหนาแน่น หมายถึง น้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยของปริมาตร ค่าความร้อนและความหนาแน่นของวัสดุสรุปได้ว่าเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความหนาแน่นทางพลังงานและศักยภาพการใช้ชีวมวลคำนวณได้ดังสมการ 2.7

$$PDI = 100 \times wpw/Iw \quad \textbf{(2.9)}$$

เมื่อ wpw = น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)

Iw = น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของชีวมวล (กระทรวงพลังงาน)

พืช	**ส่วนประกอบ**	**ค่าความร้อน (kJ/kg)**	**ความชื้น (%)**	**ความหนาแน่น (kg/m^3)**
ข้าว	ฟางข้าว	12,330	10.00	125
	แกลบ	14,204	8.20	150
อ้อยโรงงาน	ใบ	15,479	9.20	100
	ชานอ้อย	7,368	50.73	120
มันสำปะหลัง	เหง้ามันสำปะหลัง	5,494	59.40	250
	ลำต้น	7,560	48.40	N/A
	ทางใบ	1,760	78.40	N/A
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ซังข้าวโพด	16,220	7.00	N/A
	ลำต้น	9,830	41.7	N/A
ปาล์มน้ำมัน	ทะลายปาล์ม	7,240	58.60	380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เส้นใยปาล์ม	11,800	31.84	250
	กะลาปาล์ม	18,267	12.00	400
	ลำต้นปาล์ม	7,540	48.40	N/A
ยางพารา	ไม้ยางพารา	8,600	45.00	450
ยูคาลิปตัส	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6,745	50.00	N/A
มะพร้าว	ขุยมะพร้าว	6,272	N/A	270

ที่มา : http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib13656-พลังชีวมวล.pdf

2.8 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด

2.8.1 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดยุโรป

ประเทศยุโรปส่วนใหญ่จะไม่ได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของตนเองไว้ ในปัจจุบันมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของบางประเทศในยุโรปจะมีรายละเอียดแตกต่างกันบางส่วน โดยในเนื้อหาหลักส่วนใหญ่อ้างอิงกับมาตรฐานล่าสุดคือ EN 14961-1:2010 Solid biofuels. Fuel specifications and classes. General requirements และ EN 1491-2:2011 Solid Biofuels. Fuel specifications and classes. Wood pellets for non-industrial use กล่าวได้ว่ามาตรฐานนี้เป็นการปรับปรุงจากมาตรฐาน CEN/TS 14961 “Annex A” Examples og specification for high quality classes of solid biofuels recoommended for household usage โดยมาตรฐาน EN 14961-1:2010 กล่าวถึงความต้องการทั่วไปของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีลักาณะเป็นของแข็ง ในส่วน EN 14961-2:2011 กล่าวถึงเชื้อเลิงชีวมวลอัดเม็ด ENplus ซึ่งผู้ผลิตในหลายประเทสได้นำการรับรองคุณภาพนี้มาใช้กในการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ผลิตภัณฑ์ตนเอง (กระทรวงพลังงาน)

2.8.2 มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของอเมริกา

ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดมาตรฐานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยสถาบัน Pellet Fuels Institute (PFI) โดยมาตรฐานนี้สามารถแบ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดได้ 3 เกรด คือ เกรดพรีเมียม เกรดมาตรฐาน และเกรดใช้งานทั่วไป คุณสสมบัติที่แตกต่างของแต่ละเกรดคือ ช่วงของความหนาแน่น เปอร์เซ็นเถ้า และความชื้นที่มีในเชื้อเพลิงอัดเม็ด (กระทรวงพลังงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 กำหนดคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของประเทศอเมริกา

property	PEI premium	PEI Standard	PFI Uility
Bulk density	40.0 to 46.0	38.0 to 46.0	38.0 to 46.0
Diameter (in.)	0.230 to 0.385	0.230 to 0.285	0.230 to 0.285
Durability index	≥ 96.5	≥ 95	≥ 95
Fines (%)	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.0
Ash (%)	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 6.0
Length (%.1.5 in.)	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0
Moisture (%)	≤ 8.0	≤ 10.0	≤ 10.0
Chloride (ppm)	≤ 300	≤ 300	≤ 300

ที่มา : https://www.researchgate.net/publication/282954293

2.8.3 มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของเอเชีย

ประเทศในเอเชียพบว่ายังไม่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด การนำเข้าส่งออกจะใช้มาตรฐานของต่างประเทศหรือประเทศคู่ค้าเป็นหลัก นั้นก็คือ มาตรฐานยุโรป (En 14961 และ ENplus) และมาตรฐานอเมิรกา (PFI) (นายภาสันต์ เงาศุภธน, 2563)

2.8.4 มาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดมนประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยได้มีการใช้วัตถุดิบที่เหลือจากกระบวนการผลิตต่างๆ อาทิเช่น เปลือกไม้ ยูคาลิปตัส แกลบ ขี้เลื่อย ทะลายปาล์ม กะลาปาล์ม ที่นำมาเป็นวัตถุดิบ จากการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลเชิงพื้นที่ พบว่า ชีวมวลที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดคือ ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว ชีวมวลจากมันสำปะหลัง ชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน และได้การจำหน่ายมาตรฐานเชื้อเพลิงได้มีการกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของชีวมวล (นายภาสันต์ เงาศุภธน, 2563) เป็นไปตามตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 กำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในไทย ประเภททำจากไม้

คุณสมบัติ	เกรดคุณภาพสูง	เกรดธรรมดา
ความหนาแน่น	ไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3	ไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3
เส้นผ่านศูนย์กลาง	ไม่น้อยกว่า 6 mm	ไม่น้อยกว่า 6 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	และไม่เกินกว่า 12 mm	และไม่เกินกว่า 12 mm
ดัชนีคงทน	ตั้งแต่ 96.5 % w/w ถึง 99.0 % w/w	ตั้งแต่ 96.5 % w/w ถึง 99.0 % w/w
ปริมาณผงฝุ่น	ไม่เกิน 6 % w/w	ไม่เกิน 6 % w/w
ความยาวเฉลี่ย	ตั้งแต่ 3.15 mm ถึง 40.0 mm	ตั้งแต่ 3.15 mm ถึง 40.0 mm
ความยาวต่ำสุด	ไม่น้อยกว่า 3.15 mm	ไม่น้อยกว่า 3.15 mm
ความยาวสูงสุด	ไม่เกิน 45.0 mm	ไม่เกิน 45.0 mm
ความยาวที่เกิน 40 mm	ไม่เกิน 1 % w/w	ไม่เกิน 1 % w/w
ความชื้น	ไม่เกิน 10 % w/w	ไม่เกิน 10 % w/w
การกระจายตัวเมื่อร่องผ่านแร่ง (เส้นผ่านศูนย์กลางรูตะแกรง)	ไม่น้อยกว่า 97 % w/w (3.15 mm) ไม่น้อยกว่า 85 % w/w (2.0 mm) ไม่น้อยกว่า 10 % w/w (1.0 mm)	ไม่กำหนด
ค่าความร้อน	ไม่น้อยกว่า 16.5 MJ/kg	ไม่น้อยกว่า 16.5 MJ/kg
เถ้า	ไม่เกิน 3 % w/w	ไม่เกิน 5 % w/w
สารเติมแต่ง	ไม่เกิน 3 % w/w	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของคลอรีน (Cl)	ไม่เกิน 0.1 % w/w	ไม่เกิน 0.1 % w/w
ส่วนประกอบของกำมะถัน (S)	ไม่เกิน 0.05 % w/w	ไม่เกิน 0.05 % w/w
ส่วนประกอบของไนโตรเจน (N)	ไม่เกิน 0.6 % w/w	ไม่เกิน 0.6 % w/w
ส่วนประกอบของสารหนู (As)	ไม่เกิน 2 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของแคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 1.0 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของโครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 15 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 20 mg/kg	ไม่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 20 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.1 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของสังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 200 mg/kg	ไม่กำหนด

ที่มา : https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2772-2560.pdf

ตารางที่ 2.5 กำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในไทย ประเภทไม่ได้ทำจากไม้และไม่ได้ทำจากไม้ทั้งหมด

คุณสมบัติ	เกรดคุณภาพสูง	เกรดธรรมดา
ความหนาแน่น	ไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3	ไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3
เส้นผ่านศูนย์กลาง	ตั้งแต่ 6 mm ถึง 25 mm	ตั้งแต่ 6 mm ถึง 25 mm
ดัชนีคงทน	ไม่น้อยกว่า 96.5 % w/w	ไม่น้อยกว่า 96.5 % w/w
ปริมาณผงฝุ่น	ไม่เกิน 3.0 % w/w	ไม่เกิน 6 % w/w
ความยาวเฉลี่ย	ตั้งแต่ 3.15 mm ถึง 50.0 mm	ตั้งแต่ 3.15 mm ถึง 40 mm
ความยาวต่ำสุด	ไม่น้อยกว่า 3.15 mm	ไม่น้อยกว่า 3.15 mm
ความยาวสูงสุด (เฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 6 mm ถึง 10 mm)	ไม่เกิน 45.0 mm	ไม่เกิน 45.0 mm
ความยาวที่เกิน 40 mm	ไม่เกิน 1 % w/w	ไม่เกิน 1 % w/w
ความชื้น	ไม่เกิน 15 % w/w	ไม่เกิน 15 % w/w
ค่าความร้อน	ไม่น้อยกว่า 14.5 MJ/kg	ไม่น้อยกว่า 14.5 MJ/kg
เถ้า	ไม่เกิน 10 % w/w	ไม่เกิน 18 % w/w
สารเติมแต่ง	ไม่เกิน 5 % w/w	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของคลอรีน (Cl)	ไม่เกิน 0.3 % w/w	ไม่เกิน 0.3 % w/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของกำมะถัน (S)	ไม่เกิน 0.05 % w/w	ไม่เกิน 0.05 % w/w
ส่วนประกอบของไนโตรเจน (N)	ไม่เกิน 2.0 % w/w	ไม่เกิน 2.0 % w/w
ส่วนประกอบของสารหนู (As)	ไม่เกิน 1 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของแคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.5 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของโครเมียม (Cr)	ไม่เกิน 50 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 20 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 10 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.1 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของนิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 10 mg/kg	ไม่กำหนด
ส่วนประกอบของสังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 100 mg/kg	ไม่กำหนด

ที่มา : https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2772-2560.pdf

2.9 เครื่องมือใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ

2.9.1 Thermogravimetric Analysis หรือ TGA

ในเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยความร้อน (TGA) เป็นเทคนิคที่น้ำหนักของวัสดุเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อได้รับความร้อน ในวิธีนี้จะวัดน้ำหนักของตัวอย่างในขณะที่วัสดุถูกทำให้ร้อนหรือเย็นลงในเตาอบ เครื่องวิเคราะห์ประกอบด้วย Crucible ที่รู้น้ำหนักโดยเครื่องชั่งที่มีความแม่นยำ Crucibleนี้วางอยู่ในเตาอบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนหรือเย็นในระหว่างการทดลอง ในขณะเดียวกันก็มีการตรวจสอบมวลของตัวอย่าง ก๊าซทำความสะอาดตัวอย่างจะควบคุมสภาพแวดล้อมของตัวอย่าง ก๊าซนี้อาจเป็นก๊าซเฉื่อยหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซปฏิกิริยาที่ไหลผ่านตัวอย่างหรือออกจากไอเสีย เครื่องวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริกใช้แรงโน้มถ่วงเพื่อให้ได้การวัดที่แม่นยำและทำซ้ำได้ ทำให้เทคนิคการวิเคราะห์ทางความร้อน (TGA) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการกำหนดเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุและเศษส่วนของส่วนประกอบที่ระเหยได้โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เกิดขึ้นเมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนในอัตราคงที่

2.9.2 Calorific value หรือ Bomb Calorimeter

บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ เป็นการวัดพลังงานความร้อนที่ สะสมอยู่ในตัวอย่างทดสอบโดยทำการเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์สูง อยู่ภายในปริมาตรที่กำหนด ล้อมรอบด้วยน้ำที่ทราบปริมาณเพื่อตรวจหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยา อุปกรณ์ทั้งหมดบรรจุอยู่ในภาชนะที่หุ้มฉนวน (ไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์และสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทดสอบ)

เมื่อทราบปริมาณน้ำและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าพลังงาน ความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักของสารทดสอบได้ Bomb Calorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ (enthalpy of combustion) เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน

$$\left(C_X Y H_y O_z\right)_{solid} + (2x + y/2 - z) O_{2\,gas} \rightarrow (x) CO_{2\,gas} + (y) H_2 O_{liquid}$$

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) ส่วนใหญ่จะเป็นการให้พลังงาน ดังนั้น ค่าพลังงานต่อหน่วยมวลที่เกิดจากการเผาไหม้ (enthalpy of combustion) จึงมีค่าเป็นลบ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) หลักการทำงานของบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ ใช้หลักการของ direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างทดสอบจะถูกบรรจุในลูกเผาไหม้ (chamber) และเติมบรรจุ (charged) ด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความดันสูง (high pressure) จากนั้นเริ่มต้นการจุดระเบิดโดยให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านลวดความร้อน (fuse wire) และทำให้เกิดการจุดระเบิด (ignition) ตัวอย่างทดสอบ เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์บอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำที่อยู่รอบลูกเผาไหม้ทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากตัวอย่างทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 Elemental analyzer หรือ CHNS/O Analyzer

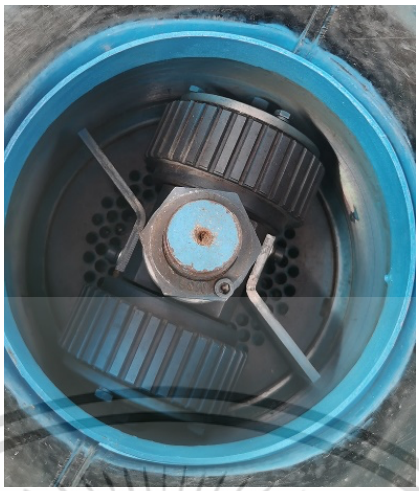
เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ในตัวอย่างด้วยเทคนิคสันดาปที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวออกซิแดนท์ ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ออกซิเจน จะใช้เทคนิคไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการสันดาปโดยไม่ใช้ออกซิเจนแทน การทดลองเริ่มจากการชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (2-3 mg) ลงบนแผ่นดีบุกบางๆ ลักษณะคล้ายถ้วยแคปซูล ใส่ในเครื่องโหลดตัวอย่างอัตโนมัติ จากนั้นแคปซูลของตัวอย่างข้างต้นจะถูกเคลื่อนไปยังเตาเผา ซึ่งภายในมีรีแอคเตอร์ที่มีสารที่ถูกแพ็คไว้เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น และเกิดการเผาไหม้ที่ให้อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศแก๊สฮีเลียม จากนั้นเมื่อผ่านแก๊สออกซิเจนจะเกิดการทำปฏิกิริยากับดีบุกได้ SnO_2 พร้อมกับคายความร้อนออกมาทำให้มีอุณหภูมิสูงถึง 1800 °C ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์และรีดักชั่นเป็นแก๊สผสมของ N_2 , CO_2 , H_2O และ SO_2 โดยแก๊สผสมจะถูกแก๊สฮีเลียมพาไปยัง GC Column ภายใต้การกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสม เกิดการแยกและจะถูกวัดปริมาณด้วยตัวตรวจวัดชนิด Thermal Conductivity Detector (TCD) ได้ออกมาเป็นโครมาโตรแกรมของพีค C H N S หรือ O (ขึ้นอยู่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง)

สำหรับในการวิเคราะห์ออกซิเจน จะวิเคราะห์แยกด้วยเตาเผาอีกตัวหนึ่ง ด้วยสารในรีแอคเตอร์ที่แพ็คไว้ที่แตกต่างกัน แต่หลักการทำงานเดียวกัน และโดยในขั้นตอนการเผาไหม้จะไม่มีการให้แก๊ส O_2 เข้าไปในระบบ

2.9.4 เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die)

ทำงานโดยอาศัยหลักการตกของวัตถุจากด้านบนลงสู่ลูกกลิ้ง ซึ่งกำลังหมุนอยู่บนหัวอัด (Die) ของเครื่องอัดวัตถุดิบจะถูกอัดอยู่ระหว่างลูกกลิ้งและพื้นผิวของหัวอัด ผ่านลงสู่รูของหัวอัดเมื่อเม็ดชีวมวลโผล่พ้นออกจากหัวอัด มีดจะทำการตัดเม็ดชีวมวลตามความยาวที่ปรับตั้งเอาไว้ ตัวหนอนเกลียวและล้อขับจะถูกใช้สำหรับเครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die) บางเครื่อง ในขณะที่บางเครื่องจะใช้เฟืองดอกจอกเป็นตัวขับในเครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบบางเครื่อง หัวอัดจะอยู่กับที่และลูกกลิ้ง (Roller) จะถูกขับให้หมุน และในเครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบบางเครื่อง หัวอัดจะถูกขับเคลื่อนและลูกกลิ้งจะหมุนเมื่อวัตถุดิบผ่านระหว่างลูกกลิ้งและหัวอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die)

ที่มา : https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.alibaba.com

จุดเด่นของเครื่องอัดแบบหัวอัดแนวราบ มีดังนี้

1) ทำความสะอาดง่ายกว่าเครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดวงแหวน (Ring Die)

2) สามารถมองเห็นได้ในขณะกำลังอัดเม็ด ทำให้หาสาเหตุเมื่อเกิดปัญหาและแก้ไขได้ง่าย

3) เครื่องอัดมีความทนทานสามารถใช้งานกับวัตถุดิบที่มีความหลากหลายกว่าเครื่องอัดแบบหัวอัดวงแหวน (Ring Die)

4) ตัวเครื่องอัดถูกออกแบบมาอย่างกะทัดรัด เหมาะสำหรับขนาดการผลิตที่มีขนาดเล็ก

ข้อด้อยของเครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ มีดังนี้

1) ตามหลักการทำงานทำให้เกิดการสึกหรอของหัวอัด (Die) และลูกกลิ้ง (Roller) ไม่สม่ำเสมอ เมื่อลูกกลิ้งหมุนผ่านผิวของหัวอัดขอบด้านในและขอบด้านนอกของลูกกลิ้งจะครอบคลุมระยะทางที่ต่างกัน ขอบนอกครอบคลุมระยะทางมากกว่าขอบใน หมายความว่าลูกกลิ้งนั้นเกิดการไถล อย่างไรก็ตาม เหตุการ์ณแบบนี้ไม่เกิดขึ้นบ่อย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Krittidej Duangjaiboon และคณะ (2021) ศึกษาการอัดกากตะกอนน้ำเสีย (SS) และฟางข้าว (RS) (ขยะจากเกษตร) ในสัดส่วนที่กำหนดเพื่อผลิตชีวมวลอัดเม็ด ของเสียเหล่านี้ต้องผ่านกระบวนการเตรียมและขึ้นรูป เพื่อช่วยให้จัดเก็บได้โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และสะดวกในการขนส่ง เพิ่มศักยภาพในการใช้งาน อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยไม่ได้ใช้ตัวประสาน อยู่ที่อัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(SS50:RS50) ในการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของชีวมวลอัดเม็ด โดยชีวมวลอัดเม็ดที่มีประโยชน์ที่สุดสำหรับการผลิตพลังงานคือฟางข้าวบริสุทธิ์ (RS100:SS0) จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แนะนำว่าการใช้สัดส่วนปริมาณตะกอนน้ำเสียที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจมากขึ้น เมื่อใช้สัดส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่สูง ส่งผลให้ได้ประโยชน์จากต้นทุนการกำจัดกากตะกอนสิ่งปฏิกูล 1 บาท/kg (USD/kg 0.033) และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น โดยทั่วไปของเสียเหล่านี้มีปริมาณกำมะถันต่ำ ส่งผลให้เกิดผลพลอยได้จากกำมะถันต่ำ (SO_x) ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง อย่างไรก็ตามยังมีขี้เถ้าตกค้างอยู่สูง จึงต้องพิจารณาเพิ่มเติมในการจัดการขี้เถ้า การใช้ของเสียเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความยั่งยืนและลดผลกระทบด้านลบจากการกำจัดสถานที่ฝังกลบ ดังนั้นเม็ดผสมฟางข้าวและกากตะกอนจึงเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

กฤติเดช ดวงใจบุญ และคณะ (2021) วิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของเม็ดเชื้อเพลิงแต่ละชนิด พบว่าการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากชีวมวลทั้งในส่วนของฟางข้าวและขี้เลื่อย จะมีข้อดีในเรื่องค่าความร้อนมากกว่าเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย แต่ก็มีข้อเสียคือเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีต้นทุนค่าวัตถุดิบซึ่งต่างกับเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย (ไม่มีค่าใช้จ่าย) อีกทั้งการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากชีวมวลจะไม่ได้รับผลประโยชน์ส่วนเพิ่มจากการลดค่ากำจัดกากของเสีย ทำให้ส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเม็ดเชื้อเพลิงจากการตะกอนน้ำเสียเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากชีวมวล อย่างไรก็ตาม การใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากชีวมวลยังมีข้อดีในแง่ของการเพิ่มคุณสมบัติทางความร้อนให้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย เนื่องจากมีค่าความร้อนและค่าความทนทานที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนชีวมวลร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียในเม็ดเชื้อเพลิง คาดว่าจะเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการปรับปรุงค่าความร้อนความแข็งแรงทนทานเพื่อง่ายต่อการจัดเก็บรักษา รวมทั้งยังมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในระดับที่น่าสนใจ ในงานวิจัยต่อไปจึงควรขยายผลการทดลองด้วยการปรับอัตราส่วนผสมระหว่างชีวมวลและกากตะกอนน้ำเสียในเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกระบวนการผลิตปลาทูน่าบรรจุกระป๋องต่อไป

ลักขณาพิทักษ์ และคณะ (2020) ศึกษาทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีอยู่ในท้องถิ่น จำนวนมากมาใช้ให้เกิดประโยชน์ การทดสอบจะใช้เศษใบอ้อยที่สับแล้วผ่านรูตะแกรงทั้ง 2 ขนาด ได้แก่ ใบอ้อยสับผ่านรูตะแกรงขนาด 2 มม. และขนาด 3 มม. ซึ่งสอดคล้องกับ (วิราช กิ่งวิชิต, 2560) ที่ต้องนำเอาวัตถุดิบที่ใช้นำมาผ่านกระบวนการย่อยและลดความชื้นลง หลังจากนั้นจึงนำมาอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องอัด ผลการทดสอบพบว่า เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ใบอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านรูตะแกรง 2 มม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.80 มม. ความยาวเฉลี่ย 45.50 มม. และเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อยที่ผ่านรูตะแกรงขนาด 3 มม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 5.85 มม. ความยาวเฉลี่ย 37 มม. ตามลำดับ โดยที่เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ใบอ้อยสับจากรูตะแกรงขนาด 2 มม. มีความสามารถในการทำงานสูงสุด 5.27 กก./ชม. คิดเป็นประสิทธิภาพในการทำงาน 96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าใบอ้อยที่ผ่านการสับจากรูตะแกรงขนาด 3 มม. เนื่องจากมีอนุภาคที่เล็กกว่าจึงขึ้นรูปได้ง่ายกว่าและใช้เวลาในการอัดน้อยกว่า ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และมีความสามารถในการทำงานมากกว่าและเมื่อนำเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน พบว่า มีคุณสมบัติทางความร้อนเฉลี่ย 3264.67 แคลอรี่ต่อกรัมซึ่งได้ตามค่ามาตรฐาน PFI Standard

นราธร มหรรทัศนพงศ์ และคณะ (2020) ศึกษาการอัดเม็ดกากหม้อกรองโคลน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลให้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง ศึกษาผลของความดันในการอัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ด และอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ พบว่า การอัดเม็ดทำให้ได้เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงกว่าตอนไม่ได้อัดเม็ด โดยเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร ต้องใช้ความดันในการอัดต่ำที่สุดเท่ากับ 30 บาร์ จึงจะได้ลักษณะของเม็ดที่แน่น ไม่แตกหัก ส่วนเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ความสูงของเม็ดเท่ากัน ต้องใช้ความดันในการอัดต่ำที่สุดเท่ากับ 40 บาร์ หากพิจารณาเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน เมื่อเพิ่มความดันในการอัดจะได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้นและปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อนำตัวอย่างไปทำการทอริแฟคชั่นพบว่าตัวอย่างมีความร้อนสูงขึ้นกว่าตอนไม่ได้ผ่านการทอริแฟคชั่น โดยมีความหนาแน่นของเม็ดลดต่ำลงจาก 0.72 g/cm3 มาเป็น 0.48-0.89 g/cm3 การเพิ่มอุณหภูมิในการทอริแฟคชั่น ทำให้ความหนาแน่นของเม็ดตัวอย่างมีค่าต่ำลง

Noorfidza Yub Harun และคณะ (2020) ศึกษาคุณสมบัติการอัดเม็ดชีวมวลจากส่วนประกอบต่างๆของนิภาปาล์ม โดยการอบแห้ง การกำหนดค่าความร้อน การหาค่าCHNSและการวิเคราะห์TGAและความแข็งแรงเชิงกลของเมล็ดนิภาปาล์ม แกลบของนิภาปาล์มมีค่าความร้อนสูงสุด 3843.5 กิโลแคลอรี่/กก. และเมล็ดนิภาปาล์มผสมมีค่าความร้อน 4092.7 กิโลแคลอรี่/กก. ซึ่งอยู่ในช่วงค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดของอุตสาหกรรม ชีวมวลอัดเม็ดที่ได้จากเมล็ดนิภาปาล์มสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงและมีส่วนประกอบใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอุตสาหกรรม

Sheng Zhang และคณะ (2020) ศึกษาการเผาไหม้ของตะกอนน้ำเสียและขยะชุมชน (MSW) ในเตาแบบตะแกรง (GF) เป็นวิธีที่มีแนวโน้มจะตอบสนองข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดและช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างเนื่องจากมีส่วนแบ่งตลาดสูงในจีนแต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเถ้าสูงและค่าความร้อนต่ำของตะกอนการเผาไหม้ของตะกอน และขยะใน GF อาจนำไปสู่ความไม่แน่นอนในการเผาไหม้และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าลอย ซึ่งทำให้การสะสมของและการกัดกร่อนของพื้นที่ผิวทำให้ความร้อนอย่างรุนแรงขึ้นอีก นอกจากนี้ผงตะกอนกึ่งแห้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กอาจทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่น และทำให้สูญเสียการติดไฟ ขี้ตะกรันของปูนเม็ดจากการรั่วในตะแกรงในการศึกษานี้ ผงตะกอนกึ่งแห้งจะถูกอัดเป็นเม็ดโยใช้เครื่องบดย่อยแบบแหวนหมุน เพื่อตรวจสอบผลการเติมเม็ดตะกอนต่อการปล่อยก๊าซพิษ ลักษณะการเผาไหม้ และพฤติกรรมของเถ้า (เช่น อุณหภูมิหลอมรวมของเถ้า และการสูญเสียการจุดติดไฟของปูนเม็ดของตะกรัน เถ้า) ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนของ FA ที่ได้จากการเผาเม็ดตะกอนต่ำกว่าอัตราส่วนของผงตะกอน การสูญเสียการติดไฟของปูนเม็ดของขี้ตะกรันของเม็ดตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น การสูญเสียการจุดระเบิดของปูนเม็ดสูงสุดสูงสุดภายใต้อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำคือ 11.9% ซึ่งเกินขีดจำกัด (5%) สำหรับ GF การเติมเครื่องกำจัดซัลเฟอร์ไรเซอร์ (CaO อัตราส่วนมวล: 1%) ในเม็ดตะกอนพบว่ามีประโยชน์ในการลดการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยอัตราการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุด 84% ที่ส่วนการเผาไหม้แบบเดี่ยวของขยะมูลฝอย แสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้ร่วมกันของตะกอนด้วยอัตราส่วนการผสม 10% ในเตาเผาขยุชมชน (MSWI) มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อลักษณะตะกรันของเถ้าลอย

Nwokolo Nwabunwanne และคณะ (2021) ศึกษาการทอร์ริแฟคชันของชีวมวลเป็นเทคนิคการบำบัดล่วงหน้าด้วยความร้อน ซึ่งปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็งโดยสัมพันธ์ กับการใอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการผลิตพลังงาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการทอร์ริฟิแคชันของตะกอนน้ำเสียชีวมวลที่ไม่ใช่ ลิกโนเซลลูโลสกับชานอ้อย และชีวมวลลิโนเซลลูโลสในเตาเผาไฟฟ้า มีการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ การคืนสภาพกลับคืนสู่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของวัสดุชีวภาพที่ผลิตขึ้น ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุชีวมวลดิบและที่ถูกทอร์ริแฟคชันโดยการใช้การวิเคราะห์ทางเทอร์โมกราวิเมตริก การวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการวิจัยพบว่า อุณหภูมิการทอร์ริฟิเคชันที่เพิ่มขึ้นสูง 350°C ส่งผลให้ปริมาณสารระเหยของกากตะกอนน้ำเสียและชานอ้อยลดลง33.89% และ 45.94% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 350°C จุดสูงสุดที่สอดคล้องกับการยืดตัวอย่างของ OH ของกลุ่มไฮดรอกซิลจะมีความเข้มข้นลดลง สำหรับชีวมวลทั้งสอง ซึ่งแสดงการสลายตัวของหมู่ไฮดรอกซิลมาจากทอร์ริแฟคชัน ทำให้ปริมาณลิกนินของตัวิย่างที่ถูกทอร์ริแฟคชันเพิ่มขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงแข็งเหล่านี้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานวิจัย

1. Thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น TGA/DSC3+ HT
2. เตาเผาอุณหภูมิสูง
3. เตาอบลมร้อน
5. เครื่องอัดเม็ดระดับห้องปฏิบัติการ กำลังผลิต 1-3 กิโลกรัม/ชั่วโมง
6. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ Elemental analyzer – CHNS รุ่น FLASH 2000
7. เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน Bomb Calorimeter – Bomb รุ่น Leco model AC - 500
8. ถาดสแตนเลส
9. บีกเกอร์ 1000 มล., 500 มล., 100 มล. และ 50 มล.
10. แท่งแก้ว
11. ช้อนตักสาร
12. เครื่องกดเม็ดเล็กแบบแมนนวล (small pellet press manual)
13. ถุงเก็บตัวอย่าง
14. ครูซิเบิล (Crucible)
15. ถุงมือ
16. กระบอกตวง
17. เวอร์เนียร์
18. เครื่องวัดความชื้น (Moisture Meter)
19. อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบที่ใช้มาจากเศษวัสดุเหลือจากการประกอบกิจกรรมของโรงงานปาล์มน้ำมัน ตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจังหวัดชุมพร เศษวัสดุเหลือที่ได้มาหลังจากที่เข้าสู่ถังพักเพื่อทำการแยกน้ำมันปาล์มคือของแข็งที่ผ่านการแยก คือ กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และตัวอย่างที่ผ่านการการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช่อากาศ (PS) นำตัวอย่างมาตากแห้ง (Dry air) ให้มีความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์

3.2.2 เตรียมตัวอย่างขึ้นรูปอัดเม็ดของชีวมวล

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

กำหนดอัตราส่วนผสมที่จะทำการขึ้นรูปอัดเม็ดด้วยมือ และคำนวณร้อยละอัตราส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนละ 6 กรัม เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยประมาณจากนั้นทำการขึ้นรูปอัดเม็ดด้วยมือ ใช้เครื่องอัดเม็ดแบบแมนนวล พบว่า อัตราส่วน PS:PW 100:0, 75:25, 50:50, 35:65, 0:100 เป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบระดับห้องปฏิบัติการได้

เตรียมตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน

1. อัตราส่วน PS:PW ร้อยละ 100:0 ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PS) 600 กรัม
2. อัตราส่วน PS:PW ร้อยละ 75:25 ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PS) 450 กรัม และชั่งน้ำหนักกากตะกอนน้ำมาณปาล์ม (PW) 150 กรัม
3. อัตราส่วน PS:PW ร้อยละ 50:50 ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PS) 300 กรัม และชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PW) 300 กรัม
4. อัตราส่วน PS:PW ร้อยละ 35:65 ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PS) 210 กรัม และชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PW) 390 กรัม
5. อัตราส่วน PS:PW ร้อยละ 0:100 ชั่งน้ำหนักตะกอนน้ำเสีย (PW) 600 กรัม

3.2.3 ดำเนินการทดลอง

1. นำแต่ละอัตราส่วน PS:PW จากการเตรียมตัวอย่าง ทำการขึ้นรูปอัดเม็ดด้วยเครื่องหัวอัดแนวราบ (Die flat) ก่อนทำการขึ้นรูปตัวอย่าง โดยจะทำการประกอบเครื่องอัดเม็ด และทำการวอร์มเครื่องเพื่อไม่มีปัญหาระหว่างทำการอัดเม็ด
2. นำตัวอย่างที่ทำการขึ้นรูปเสร็จไปชั่ง ทำการตากแห้ง และชั่งน้ำหนักหลังตากแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของชีวมวลอัดเม็ด (Proximate Analysis)

3.3.1 วิเคราะห์ค่าความชื้น

นำตัวอย่างดิบตะกอนน้ำเสีย (PS) ตัวอย่างดิบกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน PS:PW ที่ขึ้นรูปอัดเม็ดแล้ว มาชั่งน้ำหนักอย่างละ 50 กรัม จากนั้นอบด้วยเครื่องอบระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักหลังอบ และคำนวณได้ดังสมการ 3.1

$$Moisture(\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \quad (3.1)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

3.3.2 วิเคราะห์ค่าการระเหย

นำตัวอย่างดิบตะกอนน้ำเสีย (PS) ตัวอย่างดิบกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน PS:PW ที่ขึ้นรูปอัดเม็ดแล้ว มาชั่งน้ำหนักอย่างละ 1 กรัม ทำการเผาด้วยเครื่องเผาระดับห้องปฏิบัติการณ์ ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เวลา 7 นาที จากนั้นนำตัวอย่างออกจากเตาเผาและรอให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ทำการชั่งน้ำหนักหลังเผา และคำนวณหาค่าการระเหยได้ดังสมการ 3.2

$$Volatile\ (\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \quad (3.2)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

3.3.3 วิเคราะห์ค่าเถ้า

นำตัวอย่างดิบตะกอนน้ำเสีย (PS) ตัวอย่างดิบกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน PS:PW ที่ขึ้นรูปอัดเม็ดแล้ว มาชั่งน้ำหนักอย่างละ 1 กรัม ทำการเผาด้วยเครื่องเผาระดับห้องปฏิบัติการณ์ ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างออกจากเตาเผาและรอให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักหลังเผา และคำนวณหาค่าการระเหยได้ดังสมการ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ash\ (\%) = \frac{(A-B)}{A} x100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส (กรัม)

3.3.4 วิเคราะห์คาร์บอนคงตัว

นำผลการวิเคราะห์ ค่าการระเหย ค่าเถ้า และค่า มาคำนวณเพื่อหาคาร์บอนคงตัว โดยประมาณได้ดังสมการที่ 3.4

$$Fix\ Carbon\ (\%) = 100 - (VM\% - Ash\% - M\%) \qquad (3.4)$$

เมื่อ VM = ร้อยละค่าการระเหย

Ash = ร้อยละค่าเถ้า

M = ร้อยละค่าความชื้น

3.4 วิเคราะห์ความทนทาน

นำตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดทุกอัตราส่วนมาชั่งและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนจากนั้นจะนำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดใส่ลงในเครื่องทดสอบความทดทาน โดยหมุนด้วยอัตรา 50±2 รอบ/นาที ทั้งหมด 500 รอบ (เป็นเวลา10นาที) แล้วนำมาร่อนเพื่อแยกส่วนที่แตกหักออกและนำมาชั่งน้ำหนัก คำนวนค่าความทนทานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด (pellet durability index : PDI) ด้วยสมการ 3.5

$$PDI = 100 \times \frac{wpw}{Iw} \qquad (3.5)$$

เมื่อ wpw = น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)

Iw = น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

3.5.1 วิเคราะห์ค่าความร้อนและองค์ประกอบของธาตุ

นำตัวอย่างอัดเม็ดแต่ละอัตราส่วนชั่งน้ำหนักอย่างละ 5 กรัม ส่งตัวอย่างวิเคราะห์หาค่าความร้อน ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter – Bomb รุ่น Leco model AC - 500 และ หาองค์ประกอบของธาตุ ด้วยเครื่อง Elemental analyzer รุ่น FLASH 2000 ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.5.2 ศึกษาวิเคราะห์ค่าการสลายตัวด้วยเครื่อง TGA

นำตัวอย่างตะกอนน้ำเสีย (PS) และกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) และตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน PS:PW ที่ทำการขึ้นรูปอัดเม็ด ศึกษาช่วงของการสลายตัวที่อุณหภูมิ 30-1000 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

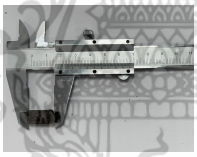
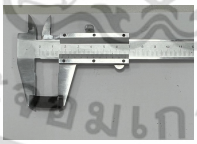
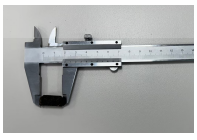
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

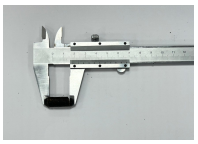
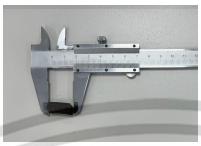
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดเม็ดที่มีอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย (PW:PS) ในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่ามีคุณสมบัติทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพอัตราส่วนกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสีย

สัดส่วน	ภาพประกอบ		คำอธิบาย	ขนาดโดยเฉลี่ย* (มม.)	ความทนทาน (%)
	เตรียมตัวอย่าง	ขึ้นรูป			
PS (100)			กากตะกอนน้ำเสียมีสีดำผสมดินขาวสีขาว ลักษณะโดยรวมคล้ายดินร่วนเป็นผงละเอียด ขึ้นรูปเป็นท่อนได้ง่าย ใช้เวลาขึ้นรูปไม่นาน	⌀ 7 มม. ยาว 17 มม.	95%
PS:PW (75/25)			ขึ้นรูปได้ง่าย ได้เป็นท่อนสั้น ใช้เวลาไม่นานในการขึ้นรูป เมื่อลักษณะเนื้อเรียบเนียน น้ำตาลปนขาวเล็กน้อย ส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ส่วนใหญ่จะเหนียวติดในเครื่อง	⌀ 7 มม. ยาว 17 มม.	97%
PS:PW (50/50)			ขึ้นรูปได้ดีมีลักษณะเป็นท่อนสั้น ใช้เวลาไม่นานการขึ้นรูป มีความเหนียว มีสีดำน้ำตาลเข้ม ยังมีบางส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้	⌀ 7 มม. ยาว 18 มม.	97%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS:PW (35/65)			ขึ้นรูปได้ยากมาก ใช้เวลานานในการขึ้นรูป มีสีดำน้ำตาลเข้ม มีความร่วน ไม่สามารถขึ้นรูปได้ในปริมาณที่มาก	∅ 7 มม. ยาว 17 มม	98%
PW (100)			กากตะกอนน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็นตะกอนดำละเอียด ความชื้นสูง ขึ้นรูปยาก ใช้เวลาขึ้นรูปนาน	∅ 7 มม. ยาว 18 มม.	99%

*หมายเหตุ ความยาวเฉลี่ย วัดกี่ชิ้น 3 ชิ้น??

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีโดยประมาณ (Proximate value)

จากการศึกษาคุณสมบัติเคมีของชีวมวลอัดเม็ดที่มีอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย (PW:PS) ในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่ามีคุณสมบัติทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีอัตราส่วนกากตะกอนน้ำมันปาล์มและตะกอนน้ำเสีย

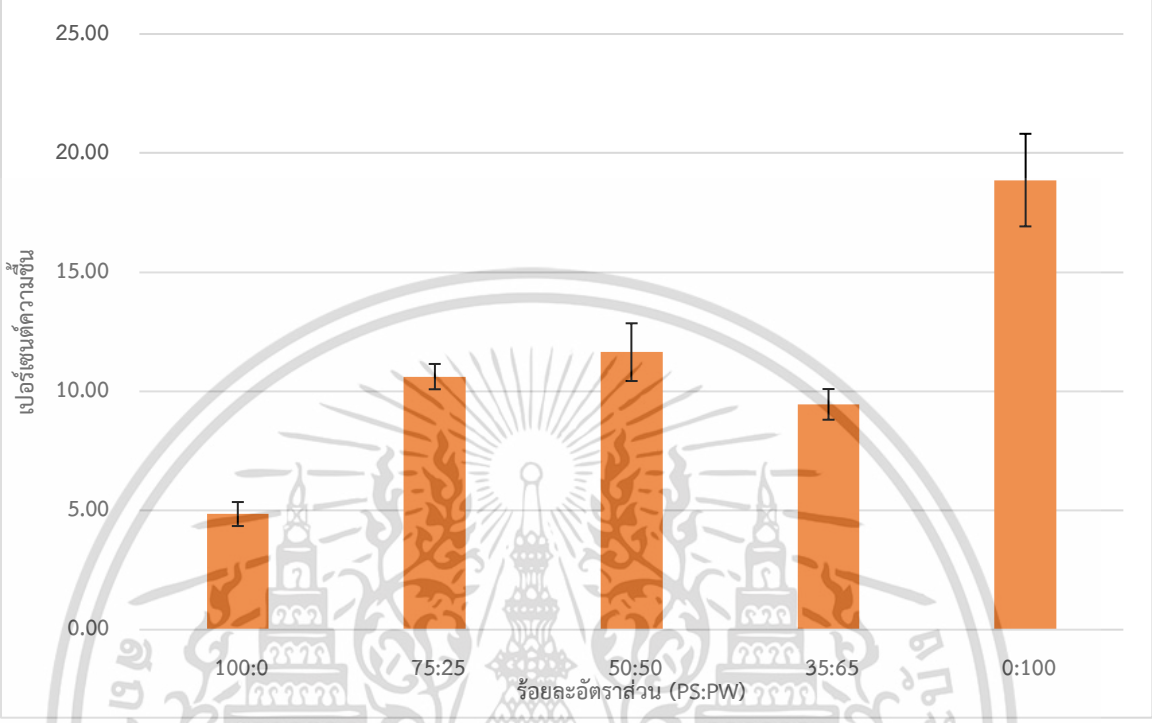
พารามิเตอร์	**PS:PW 100:0**	**PS:PW 75:25**	**PS:PW 50:50**	**PS:PW 35:65**	**PS:PW 0:100**
ปริมาณความชื้น (%)	4.85±0.50	10.62±0.53	11.65±1.21	9.46±0.64	18.87±1.94
ปริมาณเถ้า (%)	25.62±6.83	20.25±3.46	18.01±0.83	23.21±1	14.06±3.05
ปริมาณสารระเหย (%)	69.52±3.09	81.54±0.90	83.44±0.79	78.96±2.63	88.04±0.40
คาร์บอนคงตัว (%)	2.78±5	0	0	0	0

ร้อยละปริมาณความชื้น

ผลจากการวิเคราะห์แต่ละอัตราส่วนขององค์ประกอบของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ลงในบิกเกอร์ อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM E871 ตามแต่ละร้อยละอัตราส่วน (PS:PW) 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่ามีปริมาณความชื้นมีค่าเท่ากับ 4.85±0.50, 10.62±0.53, 11.65±1.21, 9.46±0.64 และ 18.87±1.94 ตามลำดับ พบว่าความชื้นอัตราส่วนผสม(PS:PW) ที่เป็นไปตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวมวลอัดแท่งของประเทศไทย คือ 100:0, 75:25 และ 35:65 เรียงตามลำดับ (รายละเอียดได้ดังตารางที่ ก - 1 ดังภาพผนวก ก)

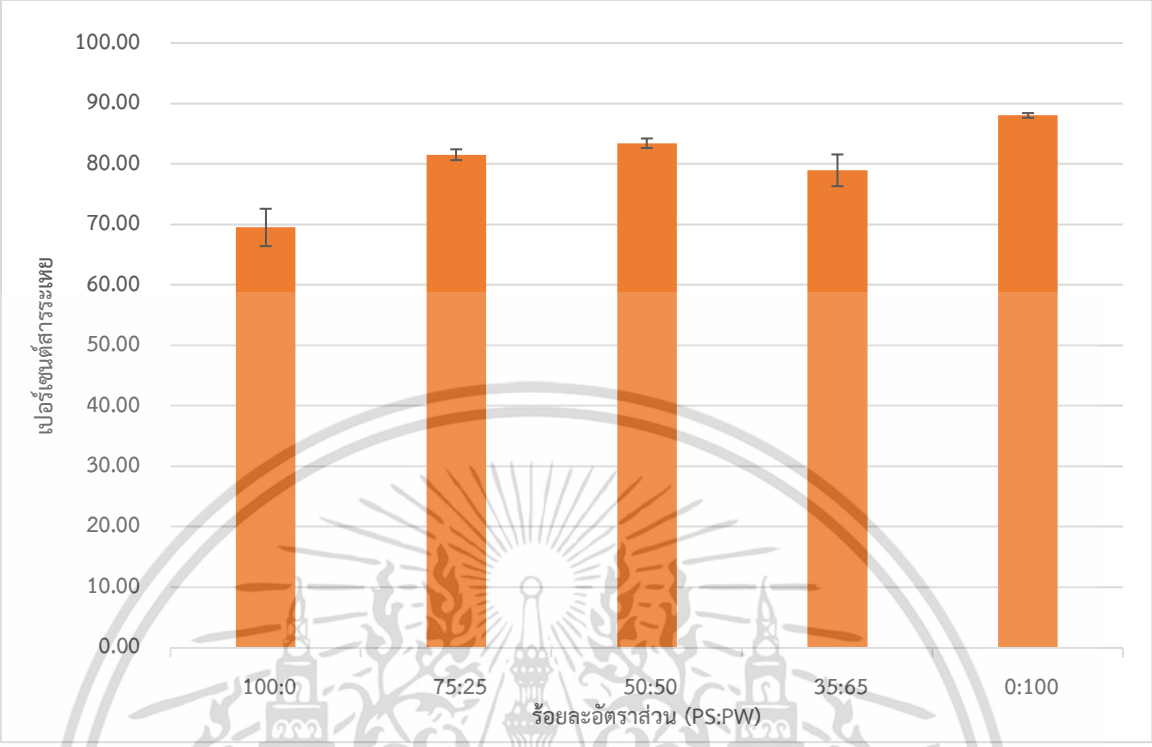


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นความชื้นและร้อยละอัตราส่วน

ร้อยละปริมาณสารระเหย

ผลจากการวิเคราะห์โดยนำองค์ประกอบร้อยละอัตราส่วนชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D3175 ตามแต่ละร้อยละอัตราส่วน (PS:PW) 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่ามีปริมาณสารระเหยเท่ากับ 69.52±3.92, 81.54±0.90, 83.44±0.79, 78.96±2.63 และ 88.04±0.40 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนผสม(PS:PW) 75:25, 50:5, 35:65 และ 0:100 มีปริมารสารระเหยที่สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติทำให้ติดไฟง่ายและส่งผลให้มีความร้อนสูง (รายละเอียดได้ดังตารางที่ ก - 2 ดังภาพผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

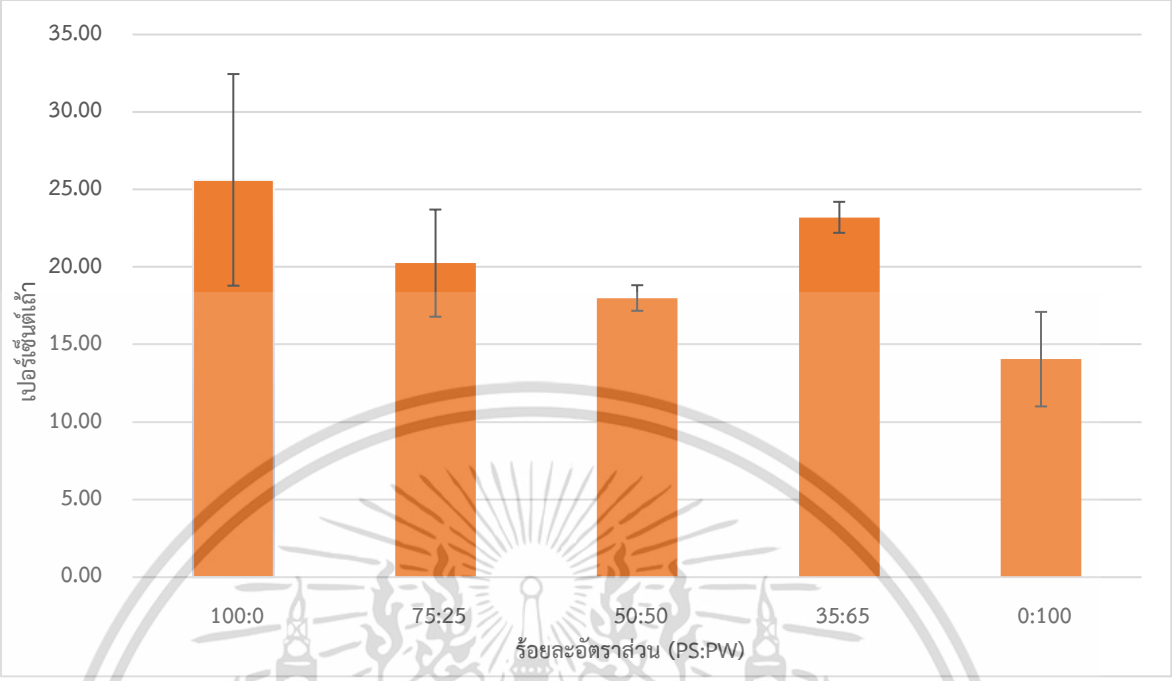


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นค่าสารระเหยและร้อยละอัตราส่วน

ร้อยละปริมาณเถ้า

ผลจากการวิเคราะห์โดยนำองค์ประกอบร้อยละอัตราส่วนชั่งน้ำหนัก 1 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D1857 ตามแต่ละร้อยละอัตราส่วน (PS:PW) 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่ามีปริมาณเถ้าเท่ากับ 25.62±6.83, 20.25±3.46, 18.01±0.83, 23.21±1 และ 14.06±3.05 ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณเถ้าของอัตราส่วนผสม(PS:PW) ที่เป็นไปตามมาตรฐานชีวมวลอัดแท่งของประเทศไทย คือ 75:25, 50:50 และ 0:100 เรียงตามลำดับ (รายละเอียดได้ดังตารางที่ ก - 3 ดังภาพผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นเถ้าและร้อยละอัตราส่วน

4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ C, H, O, N, S ในชีวมวลอัดเม็ด

การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ C, H, O, N, S ในชีวมวลอัดเม็ดโดยใช้เครื่อง elemental analyzer แสดงดังตารางที่ 4.3 (รายละเอียดได้ดังตาราง ง ดังภาพผนวก ง)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนน้ำเสีย

พารามิเตอร์	PS (100)	PW (100)	PS/PW (75/25)	PS/PW (50/50)	PS/PW (35/65)	Raw PS	Raw PW
C	66.65	40.68	49.01	47.74	42.42	54.41	42.14
H	10.64	5.74	5.21	7.26	6.62	8.23	5.80
N	1.21	3.32	1.54	2.05	2.20	1.51	3.13
S	0	0.20	0.05	0.11	0.13	0.02	0.09
O*	21.51	50.13	41.19	42.85	48.63	35.82	48.83

*หมายเหตุ คำนวณจากร้อยละความแตกต่าง (by different)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

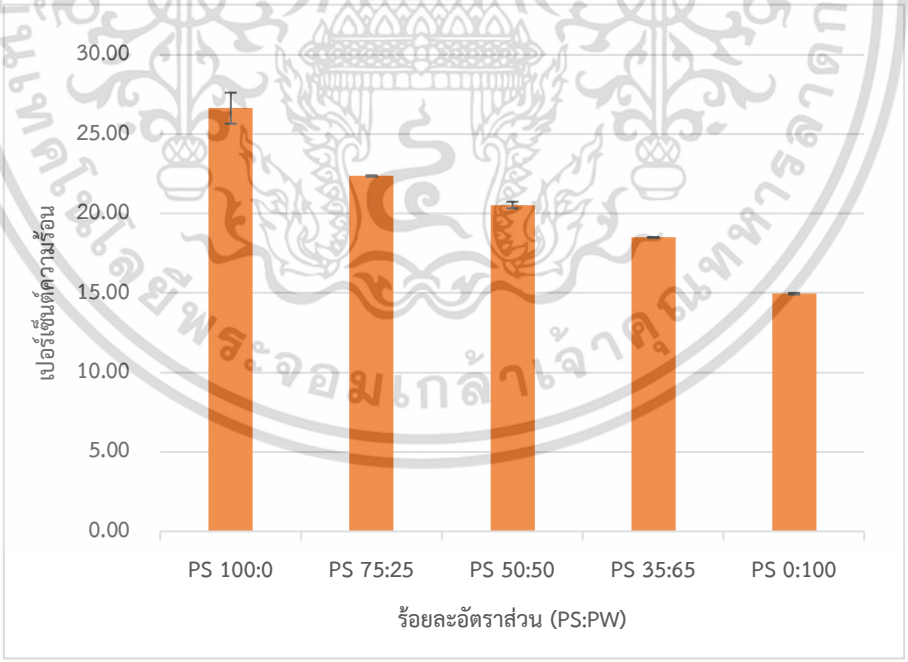
องค์ประกอบธาตุที่สำคัญคือ คาร์บอน เนื่องจากชีวมวลที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงทีสูงจะสันดาปได้ดี มีอุณหภูมิจุดติดไฟสูง ความรวดเร็วในการติดไฟเร็ว พบว่าอัตราส่วนผสม (PS:PW) 100:0, 75:25, 50:50 และ 35:65 มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ดีถึงแม้บางอัตราส่วนจะมีค่าต่ำกว่าวัตถุดิบเนื่องจากความชื้น

4.4 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด

จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดโดยใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter รุ่น Levon model AC – 500 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด

อัตราส่วน (PS:PW)	ผลการวิเคราะห์ (MJ/Kg)
100:0	26.65±0.98
75:25	22.37±0.05
50:50	20.55±0.21
35:65	18.51±0.02
0:100	14.96±0.05



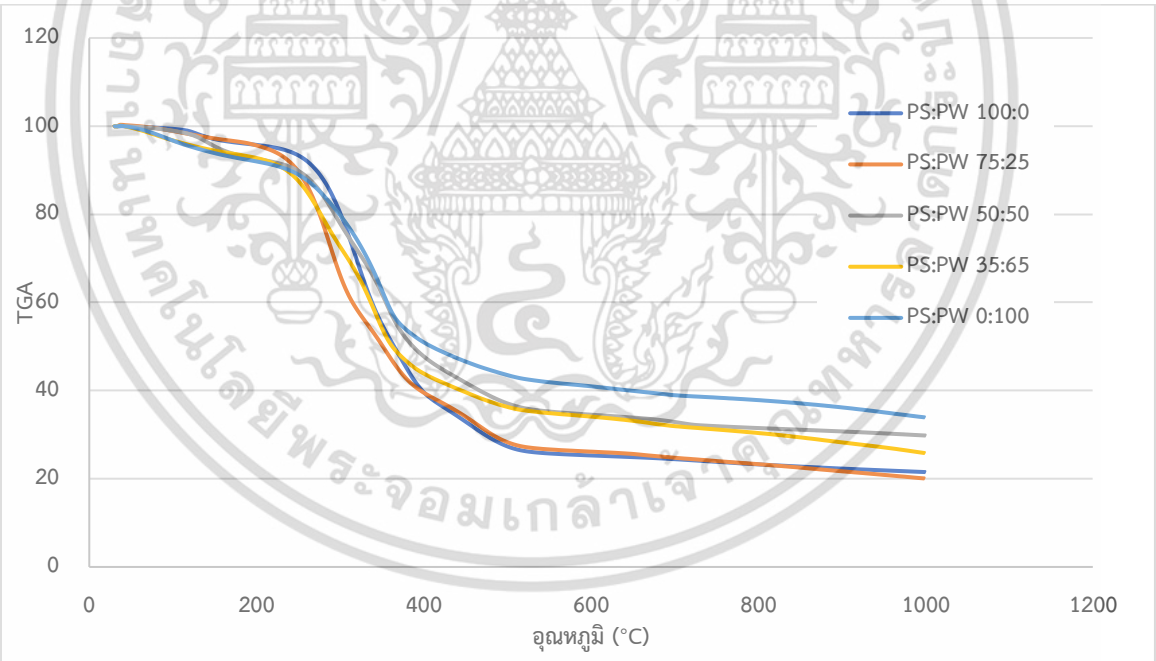
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความร้อนและร้อยละอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดอยู่ในช่วง 14 – 26 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg) เมื่อสังเกตุจากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ชัดว่ายิ่งมีอัตตราส่วนกากตะกอนน้ำมันปาล์มค่าความร้อนยิ่งต่ำลง และพบว่าทุกอัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่มีค่าความร้อนตามมาตรฐานชีวมวลอัดแท่งของประเทศไทย (ดูรายละเอียดได้ดังตารางที่ ก – 1 ดังภาพผนวก ก)

การวิเคราะห์ค่าการสลายตัว โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analysis

ผลจากการวิเคราะห์ค่าการสลายตัวของชีวมวลอัดเม็ดที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูป โดยกำหนด ช่วงของการสลายตัวที่อุณหภูมิ 30-1000 องศาเซลเสซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะไนโตรเจน การวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิที่สลายตัว สามารถบอกได้ว่าผู้ที่จะนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปใช้ ต้องทดสอบหรือเผาไหม้ที่อุณหภูมิเท่าไหร่ เช่น ช่วงที่มีการสลายตัวสูงช่วง 300-400 องศาเซลเซียส จะสลายตัวได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนที่ที่เผาไหม้ไม่หมดมีปริมาณร้อยละ 20-35% (รายละเอียดได้รูปที่ ข 1–5 ดังภาพผนวก ข)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการนำของเสียที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดโดยไม่เติมอากาศ และกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดเม็ดเพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งสามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดอัตราส่วน (PS:PW) 100:0, 75:25, 50:50, 35:65 และ 0:100 พบว่าสัดส่วนที่ต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน อัตราส่วนผสมที่มีการใช้กากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นส่วนมากจะมีค่าความคงทนสูงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียเป็นส่วนมาก แต่อย่างไรก็ตามตะกอนน้ำเสียกลับจะทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความร้อนสูงขึ้น

จากผลการทดลองขึ้นรูปของชีวมวลอัดเม็ดพบว่าอัตราส่วนผสม (PS:PW) 75:25, 50:50 และ 35:65 มีค่าความร้อนเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่ 75:25 จะเห็นได้ชัดว่ามีค่าความร้อนอยู่ที่ 22.37±0.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg) ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตราฐานชีวมวลอัดแท่งของประเทศไทยที่ห้ามมีค่าความร้อนต่ำกว่า 14.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg) แสดงว่าอัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่ 75:25 เกิดการสันดาปดี ติดไฟได้เร็ว จากผลวิเคราะห์แบบแยกธาตุจะยิ่งเห็นได้ชัดว่าอัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่ 75:25 มีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) 49.01%, ส่วน ไนโตรเจน (N) 1.54% และซัลเฟอร์ (S) 0.05% ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียสามารถนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดได้ และอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ (PS:PW) ที่ 75:25

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมีเวลาในการทำโครงงานนี้ค่อนข้างสั้น ส่งผลให้การจัดหาอุปกรณ์ที่ดีและได้มาตราฐานได้ยาก จึงต้องมีการทำเครื่องมือบางชนิดด้วยตนเอง ได้แก่ เครื่องวัดความทนทาน ผลการศึกษาที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน หากผู้ที่ต้องการศึกษางานวิจัยเรื่องนี้ต่อต้องการให้ผลที่แม่นยำควรใช้เครื่องวัดความทนทานที่มีมอเตอร์กำลังการผลิตที่เหมาะสมต่อน้ำหนักวัสดุ และควรศึกษาผลของความหนาแน่นของชีวมวลอัดเม็ดเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้ชีวมวลอัดเม็ดในภาคอุตสาหกรรม และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ไม่สามารถใช้การวิเคราะห์ ANOVA ได้เนื่องจาก ในภาคผนวก (Appendix) พบว่าวิจัยนี้ไม่สัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). **ชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก https://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html

กระทรวงพลังงาน. (2554). **พลังงานชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib13656-พลังชีวมวล.pdf

กฤติเดช ดวงใจบุญ, เมตยา กิติวรรณ และ ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ (2565). **การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน.** *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, 16*(2), 29-37

ชัยศรี สุขสาโรจน์ และ ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์ (2556). **กระบวนการโคอะเลสเซอร์สำหรับการแยกน้ำมันจากน้ำในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน.** (วิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).

นราธร มหรรทัศนพงศ์ และ ยุวรัตน์ เงินเย็น (2563). **เชื้อเพลิงแข็งอัดเม็ดจากผลพลอยได้โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลโดยไม่ใช้ตัวประสาน.** *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, 43*(2), 213-221

พลังเกษตร. (ม.ป.ป.). **รูปกากปาล์ม.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก https://images.app.goo.gl/cmchivr4SpTR4qMC6

ภาสันต์ เงาศุภธน. (2563). **การส่งเสริม การผลิต การใช้ และพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.** สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2566 จาก https://www.senate.go.th/commission_meeting/readfile/49286/12789/2092/8455

ลักขณา พิทักษ์, เรวัฒน์ เติมกล้า และ ลิขิต มั่งมี (2563). **การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย.** *Industrial Technology Journal, 5*(1), 8-17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลอพงศ์ จารุพันธ์ และ พรฤดี สงวนสุข (ม.ป.ป.). **ตะกอนน้ำเสีย.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/53/group04/lorpong/template_group04.html

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2560). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งอัดเม็ด**. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2566 จาก https://www.tisi.go.th/data/standard/pdf_files/tis/a2772-2560.pdf

สุชาติ พงษ์วดีรัตนกุล. (2558). **การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการจัดซื้อเครื่องวิเคราะห์บอมบ์แคลอรีมิเตอร์** (วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

Ahmed M. Abdel-Hamid *et al*. (2556). **Chapter One - Insights into Lignin Degradation and its Potential Industrial Applications.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/lignocellulose#:~:text=Lignocellulose%20is%20plant%20biomass%20that,microbial%20fermentation%20of%20bulk%20products.

Brandex Directory. (2564). **อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566,จาก https://www.brandexdirectory.com/images/upload/2021Mar16_1615889674.jpg

Chaiwat Sowcharoensuk. (2566). **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ปี2567-2569.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/agriculture/palm-oil/io/plam-oil-industry-2024-2026

CMU Intellectual Repository. (ม.ป.ป.). **อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก http://cmuir.cmu.ac.th/bitstream/6653943832/19854/7/poleco0450rr_ch4.pdf

Edible oil extraction machine. (ม.ป.ป.). **เครื่อง Rotary drum thresher.** สืบค้นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 พฤศจิกายน 2566 จาก https://www.edibleoilextractionmachine.com/uploads/allimg/1708/2-1FROU503924.jpg

IMPACT. (2561). **ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน.** สืบค้นเมื่อ 3 พฤศจิกายน 2566 จาก https://www.assist-impact.net/th/articles/130602-%E0%B9%80%

Kantima Sitlaothavorn. (2561). **FlashSmart OEA analyzer.** สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566 จาก https://www.scispec.co.th/learning/index.php/blog/elemental/oea-analyzer-part-1

Krittidej Duangjaiboon, Mettaya Kittiwan, Prangthip Rittichote Kaewpengkrow, P.R. (2564). **การอัดชีวมวลอัดเม็ดของกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมและฟางข้าว ลักษณะเฉพาะและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก https://www.researchgate.net/publication/350728577_Co-pelletization_of_Industrial_Sewage_Sludge_and_Rice_Straw_Characteristics_and_Economic_Analysis

Laboratuar. (ม.ป.ป.). **การทดสอบการวิเคราะห์ความร้อน (TGA).** สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566 จาก https://www.laboratuar.com/th/testler/kimyasal-testler/termogravimetrik-analiz-(tga)-testleri/

Meine *et al.* (2555). **Catalytic milling: A new entry point for lignocellulose biorefineries.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก https://www.mpg.de/6698004/jb_20122

Noorfidza Yub Harun, Anwar Ameen Hezam Saeed, Vegnesh A/L A. Ramachandran (2564). **Abundant nipa palm waste as Bio-pellet fuel.** *Materials Today: Proceedings, 42*(2), 436-433

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OilRefineryPlant. (2555). **Palm Oil Processing.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2566, จาก http://www.oilrefineryplant.com/palm-oil-processing/

Palm oil production mill. (2566). **รูปประเภทนึ่งอบทะลายในแนวนอน.** สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2566 จาก http://www.palmoilproductionmill.com/uploads/allimg/160923/1-160923145H22P.jpg

Prakash Parthasarathy *et al*. (2022). **onversion of oil palm waste into value-added productsthrough pyrolysis: a sensitivity and techno-economic investigation.** สืบค้นเมื่อ 7 พฤศจิกายน 2566 จาก https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-03144-2

SAND AND SOIL GROUP. (ม.ป.ป.). **ดินขาว.** สืบค้นเมื่อ 9 พฤศจิกายน 2566 จาก https://sandandsoilgroup.com

Sheng Zhang *et al.* (2563). **Effect of Sludge Pellets Addition on Combustion Characteristics and Ash Behaviour of Municipal Solid Waste.** สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566, จาก https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-020-00996-5

STREC CHULA. (ม.ป.ป.). **ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก https://strec.chula.ac.th/stoss/

Tonga Vuyokazi *et al.* (2564). **Improving the Solid Fuel Properties of Non-Lignocellulose and Lignocellulose Materials through Torrefaction.** สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2566, จาก https://www.researchgate.net/publication/351004833

Zakzeski et al. (2553). **ส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลส.** สืบค้นเมื่อ 1 พฤศจิกายน 2566 จาก https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-1126-8/figures/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ศึกษาสมบัติแบบประมาณของชีวมวลอัดเม็ด(Proximate analysis)

ตารางที่ ก – 1 มาตรฐานชีวมวลอัดแท่งแห่งประเทศไทย

คุณสมบัติ	เกรดธรรมดา	การทดสอบ
ความชื้น	ไม่เกิน 10 % w/w	ASTM E871
เถ้า	ไม่เกิน 20 % w/w	ASTM D1102
ความร้อน	ไม่น้อยกว่า 14.6 MJ/kg	ASTM E711
ความทนทาน	ไม่น้อยกว่า 95 % w/w	เครื่องมือทดสอบความทนทาน

ภาคผนวก ก - 2 หาปริมาณความชื้น

1) นำกากตะกอนน้ำเสีย (PS) และกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (PW) ที่ผ่านการ Dry Air มาบดและชั่งน้ำหนักอย่างละ 50 กรัม
2) นำชีวมวลอัดเม็ดแต่ละอัตราส่วน PS:PW มาชั่งน้ำหนักอัตราส่วนละ 50 กรัม
3) นำเข้าเครื่องอบระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักที่หายไป จากนั้นนำมาคำนวณหาร้อยละของความชื้นโดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการ

$$Moisture(\%) = \frac{(A-B)}{A} x100$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

B = น้ำหนักหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 2 ผลการหาปริมาณความชื้น

อัตราส่วน (PS:PW)	ปริมาณความชื้น (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100:0	4.39	4.77	5.39	4.85	0.50
75:25	10.19	10.46	11.21	10.62	0.53
50:50	10.40	12.82	11.73	11.65	1.21
35:65	8.71	9.85	9.80	9.46	0.64
0:100	21.11	17.82	17.68	18.87	1.94

ภาคผนวก ก - 3 หาปริมาณสารระเหย

1) นำแต่ละอัตราส่วนชีวมวลอัดเม็ดชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง อย่างละ 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิล (Crucible) ปิดฝา
2) นำเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที ปล่อยให้เครื่องเย็นลง แล้วชั่งน้ำหนักที่หายไป จากนั้นนำมาคำนวณหาร้อยละของสารละเหยโดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการ

$$Volatile\ (\%) = \frac{(A-B)}{A} x100$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

ตารางที่ ก - 3 ผลการหาปริมาณสารระเหย

อัตราส่วน (PS:PW)	ปริมาณสารระเหย (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100:0	64.69	72.80	66.67	69.52	3.09
75:25	72.36	81.22	80.85	81.84	0.90
50:50	72.13	83.79	83.99	83.44	0.79
35:65	68.35	77.86	81.96	78.96	2.63
0:100	67.35	87.97	87.68	88.64	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก - 4 หาปริมาณเถ้า

1) นำแต่ละอัตราส่วนชีวมวลอัดเม็ดชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง อัตราส่วนอย่างละ 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิล (Crucible)
2) นำเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 10 นาที และใช้เวลา 40 นาที เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 700 °C จากนั้นเผาต่อ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยการเผาจะไม่ปิดฝา จากนั้นปล่อยให้เครื่องเย็นตัวลง แล้วชั่งน้ำหนักกาก ที่เหลือจากการเผาไหม้ หาจำนวนร้อยละของขี้เถ้าที่เหลือโดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการ

$$Ash\ (\%) = \frac{(A - B)}{A} x100$$

เมื่อ A = น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)

B = น้ำหนักหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส (กรัม)

ตารางที่ ก - 4 ผลการหาปริมาณเถ้า

อัตราส่วน (PS:PW)	ปริมาณเถ้า (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100:0	22.34	21.06	33.47	25.62	6.83
75:25	18.12	24.24	18.40	20.25	3.46
50:50	17.13	18.79	18.09	18.01	0.83
35:65	22.27	24.26	23.10	23.21	1.00
0:100	11.71	17.51	12.97	14.06	3.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก - 5 หาปริมาณคาร์บอนคงตัว

1) คำนวณได้จากการนำ 100 ลบกับผลรวมของจำนวนร้อยละของความชื้น, สารระเหย และขี้เถ้า ก็จะได้จำนวนร้อยละของคาร์บอนคงตัว โดยใช้สมการประมาณค่าคาร์บอนคงตัว ดังสมการ

$$Fix\ Carbon\ (\%) = 100 - (VM\% - Ash\% - M\%)$$

เมื่อ VM = ร้อยละค่าการระเหย

Ash = ร้อยละค่าเถ้า

M = ร้อยละค่าความชื้น

ตารางที่ ก - 5 ผลการหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

อัตราส่วน (PS:PW)	ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%)			ค่าเฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
100:0	4.18	1.37	0	2.78	2.13
75:25	0	0	0	0	0
50:50	0.33	0	0	0.33	0.19
35:65	0.67	0	0	0.67	0.39
0:100	0	0	0	0	0

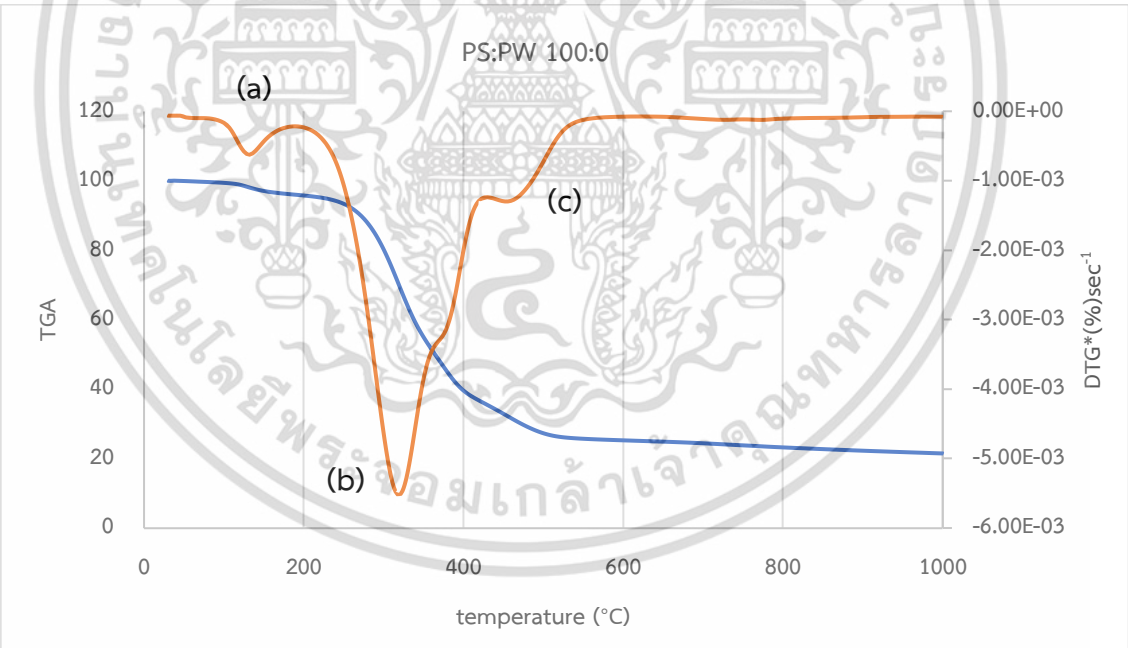
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชีวมวลอัดเม็ด โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA

ภาคผนวก ข วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชีวมวลอัดเม็ดโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA)

1) ชั่งตัวอย่างใส่ Crucible รู้น้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2) นำตัวอย่างใส่ในช่องตัวอย่างของเครื่อง TGA
3) ตั้งค่าการวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้ อุณหภูมิในช่วง 30-1000 องศาเซลเซียส
4) ตั้งค่าการให้อัตราความร้อนที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

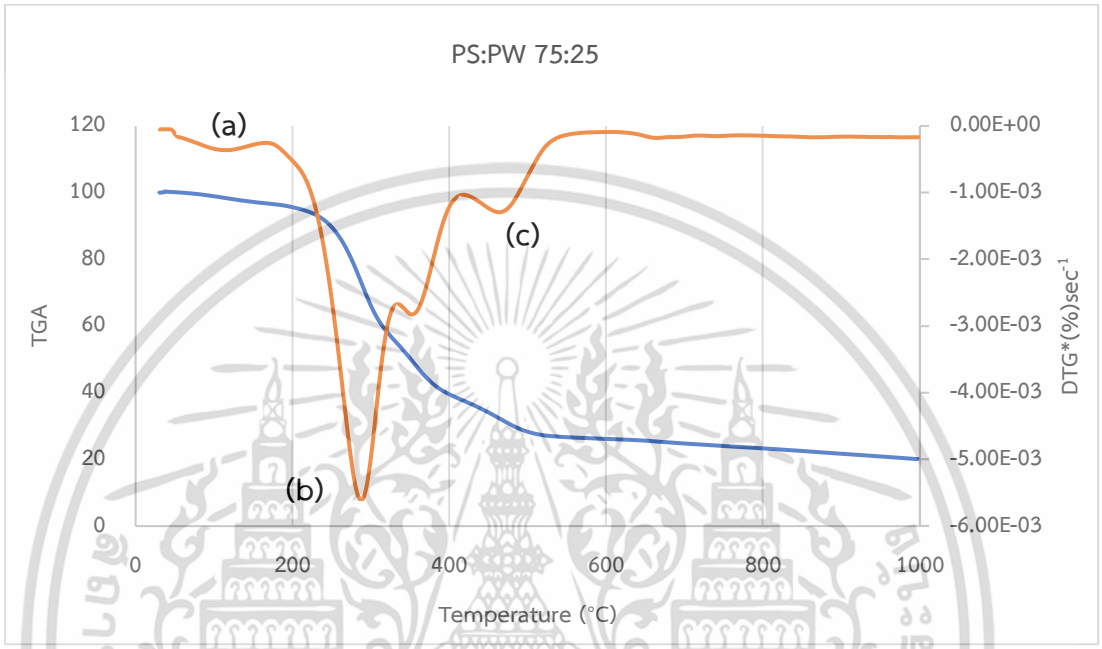
รูปที่ ข-1 ผลการวิเคราะห์ TGA ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ PS:PW ร้อยละอัตราส่วน 100:0



จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีช่วงของการสลายตัว 3 ช่วง โดยในช่วงแรกจะมีการสลายตัวของความชื้นที่อุณหภูมิ (a) 134.33 องศาเซลเซียส ในช่วงของ (b) คาดว่ามีการสลายตัวของสารระเหยที่อุณหภูมิ 320.67 องศาเซลเซียส และ ช่วงของ (c) คาดว่าเริ่มมีการสลายคาร์บอนคงตัว 465.33 องศาเซลเซียสโดยประมาณ และยังมีส่วนที่ยังเผาไหม้ไม่หมดคงเหลือ 22 เปอร์เซ็นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

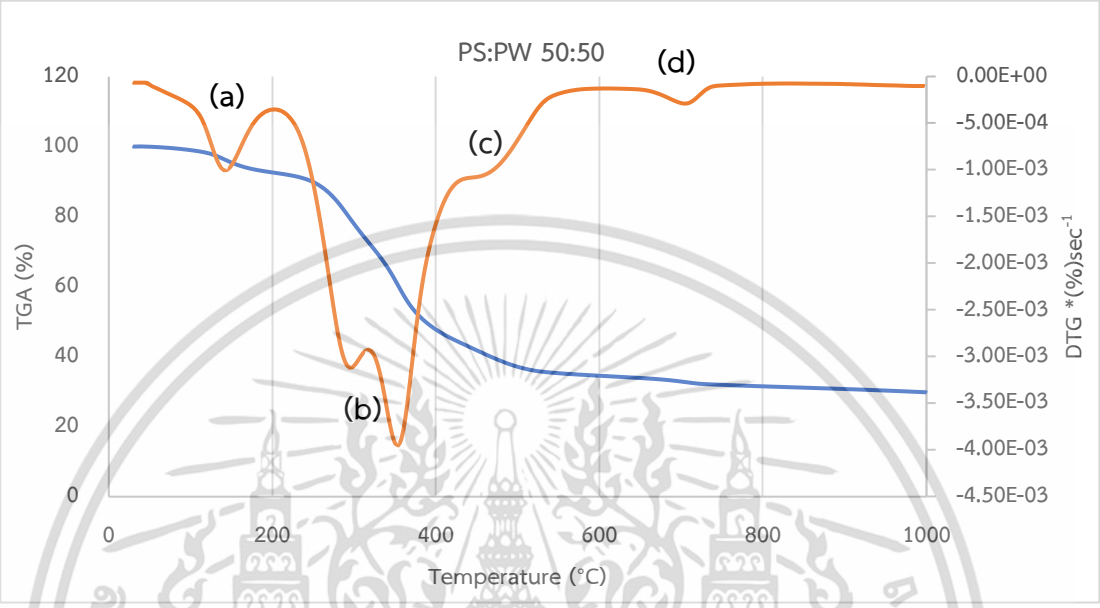
รูปที่ ข-2 ผลการวิเคราะห์ TGA ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ PS:PW ร้อยละอัตราส่วน 75:25



จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีช่วงของการสลายตัว 3 ช่วง โดยในช่วงแรกจะมีการสลายตัวของความชื้นที่อุณหภูมิ (a) 121.67 องศาเซลเซียส ในช่วงของ (b) คาดว่ามีการสลายตัวของสารระเหยที่อุณหภูมิ 291 องศาเซลเซียส และ ช่วงของ (c) คาดว่าเริ่มมีการสลายคาร์บอนคงตัว 470 องศาเซลเซียส ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดยังคงเหลือ 21 เปอร์เซ็นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

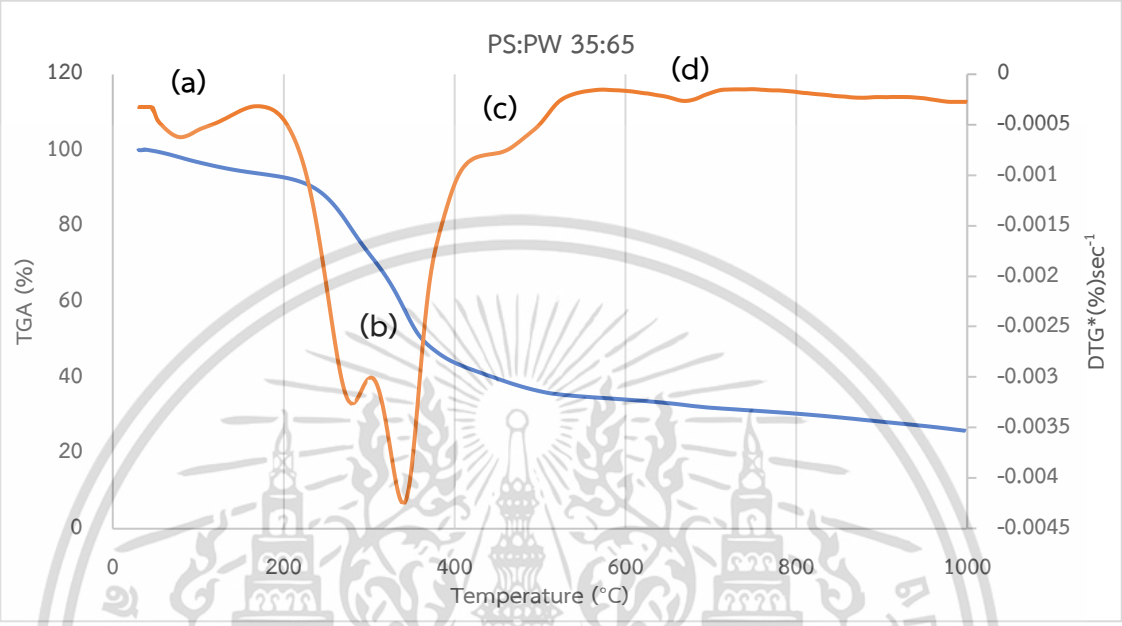
รูปที่ ข-3 ผลการวิเคราะห์ TGA ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ PS:PW ร้อยละอัตราส่วน 50:50



จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีช่วงของการสลายตัว 4 ช่วง โดยในช่วงแรกจะมีการสลายตัวของความชื้นที่อุณหภูมิ (a) 145 องศาเซลเซียส ในช่วงของ (b) คาดว่ามีการสลายตัวของสารระเหยเริ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 218.33-425 องศาเซลเซียสโดยประมาณ ช่วงของ (c) คาดว่าเริ่มมีการสลายคาร์บอนคงตัว 476.33 องศาเซลเซียส และในส่วนของ (d) คาดว่าจะเป็นช่วงของการระเหยดินขาวที่ปะปนมากับกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดยังคงเหลือ 36 เปอร์เซ็นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

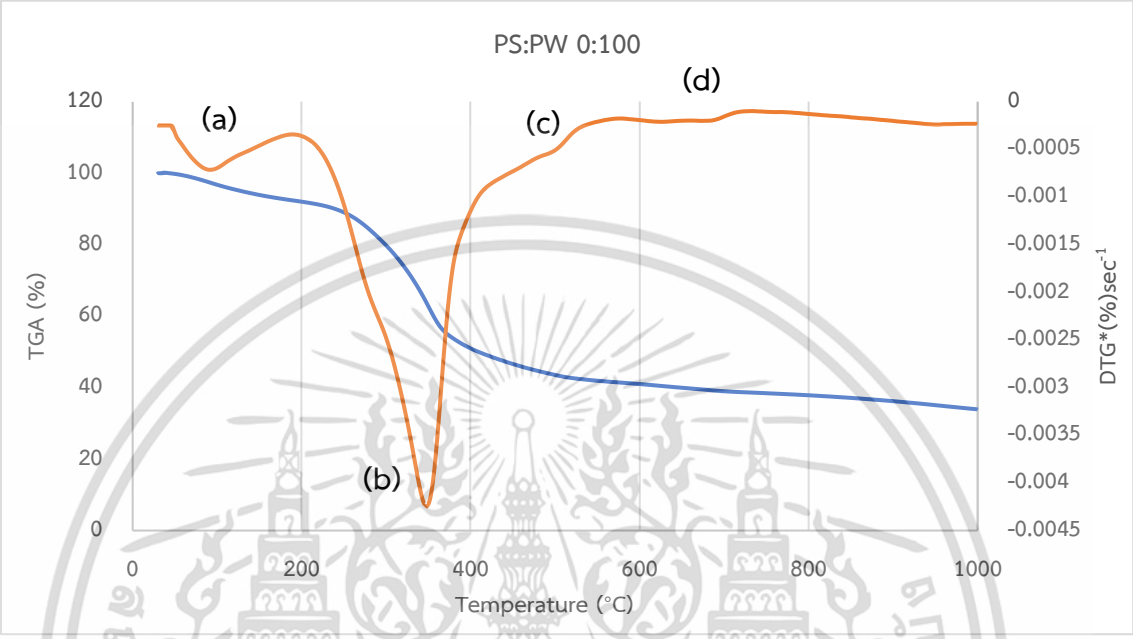
รูปที่ ข-4 ผลการวิเคราะห์ TGA ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ PS:PW ร้อยละอัตราส่วน 35:65



จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีช่วงของการสลายตัว 4 ช่วง โดยในช่วงแรกจะมีการสลายตัวของความชื้นที่อุณหภูมิ (a) 88.33 องศาเซลเซียส ในช่วงของ (b) คาดว่ามีการสลายตัวของสารระเหยเริ่มที่อุณหภูมิระหว่าง 198-404 องศาเซลเซียส ช่วงของ (c) คาดว่าเริ่มมีการสลายคาร์บอนคงตัว 479.67 องศาเซลเซียส และในส่วนของ (d) คาดว่าจะเป็นช่วงของการระเหยดินขาวที่ปะปนมากับกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดยังคงเหลือ 35 เปอร์เซ็นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-5 ผลการวิเคราะห์ TGA ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการสลายตัวและอุณหภูมิ PS:PW ร้อยละอัตราส่วน 0:100



จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีช่วงของการสลายตัว 4 ช่วง โดยในช่วงแรกจะมีการสลายตัวของความชื้นที่อุณหภูมิ (a) 81 องศาเซลเซียส ในช่วงของ (b) คาดว่ามีการสลายตัวของสารระเหยที่อุณหภูมิร 366.67 องศาเซลเซียส ช่วงของ (c) คาดว่าเริ่มมีการสลายคาร์บอนคงตัว 493 องศาเซลเซียส และในส่วนของ (d) คาดว่าจะเป็นช่วงของการระเหยดินขาวที่ปะปนมากับกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดยังคงเหลือ 39 เปอร์เซ็นโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ศึกษาหาค่าพลังงานความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ตาราง ค ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter รุ่น Leco model AC - 500

ตัวอย่าง	ค่าความร้อน (MJ/kg)		ค่าเฉลี่ย	SD
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2		
PS raw	26.3416	25.2277	25.78	0.7876
PW raw	14.1599	14.0687	14.11	0.0645
PS:PW 100:0	27.3395	26.6486	26.65	0.4885
PS:PW 75:25	22.4062	22.3742	22.37	0.0226
PS:PW 50:50	20.4019	20.695	20.55	0.2076
PS:PW 35:65	18.4972	18.5203	18.51	0.0163
PS:PW 0:100	15.0003	14.9293	14.97	0.0502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

วิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง ELEMENTAL ANALYZER (CHNS)

ตาราง ง ผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง ELEMENTAL ANALYZER (CHNS) รุ่น FLASH 2000

ตัวอย่าง		ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ				
		% คาร์บอน	% ไฮโดรเจน	% ไนโตรเจน	% ซัลเฟอร์	% ออกซิเจน
PS raw	1	50.26	7.63	1.38	0.07	40.66
	2	52.64	7.62	1.85	0.00	37.89
	3	60.34	9.44	1.30	0.00	28.92
	เฉลี่ย	54.41	8.23	1.51	0.02	35.82
	SD	5.27	1.05	0.30	0.04	6.14
PW raw	1	41.68	5.55	3.04	0.28	49.45
	2	42.79	6.04	3.30	0.00	47.87
	3	41.96	5.82	3.05	0.00	49.17
	เฉลี่ย	42.14	5.80	3.13	0.09	48.83
	SD	0.58	0.25	0.15	0.16	0.84
PS:PW 100:0	1	71.67	11.26	1.11	0.00	15.96
	2	51.24	8.20	1.02	0.00	39.54
	3	77.03	12.46	1.49	0.00	9.02
	เฉลี่ย	66.65	10.64	1.21	0.00	21.51
	SD	13.61	2.20	0.25	0.00	16.00
PS:PW 75:25	1	51.68	8.72	1.26	0.07	38.27
	2	47.02	7.91	1.68	0.07	43.32
	3	48.34	7.99	1.69	0.00	41.98
	เฉลี่ย	49.01	8.21	1.54	0.05	41.19
	SD	2.40	0.45	0.25	0.04	2.62
PS:PW	1	41.98	5.79	1.66	0.00	50.57
	2	49.40	7.50	2.28	0.18	40.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50:50	3	51.83	8.50	2.20	0.14	37.33
	เฉลี่ย	47.74	7.26	2.05	0.11	42.85
	SD	5.13	1.37	0.34	0.09	6.89
PS:PW 35:65	1	40.21	6.51	2.08	0.10	51.10
	2	39.78	5.99	2.03	0.12	52.08
	3	47.26	7.36	2.50	0.18	42.7
	เฉลี่ย	42.42	6.62	2.20	0.13	48.63
	SD	4.20	0.69	0.26	0.04	5.16
PS:PW 0:100	1	38.23	5.25	3.28	0.30	52.94
	2	42.29	6.06	3.15	0.29	48.21
	3	41.53	5.91	3.32	0.00	49.24
	เฉลี่ย	40.68	5.74	3.25	0.20	50.13
	SD	2.16	0.43	0.09	0.17	2.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 30 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า	นาย/นาง/นางสาว พิมพ์ชนก	บุญบาง	รหัสประจำตัว 63050338
	นาย/นาง/นางสาว วรัญญภัทร	สิงห์กลม	รหัสประจำตัว 63050349
	นาย/นาง/นางสาว สุชัญญา	หล้าคอม	รหัสประจำตัว 63050360

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากปาล์มและตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน

ชื่อภาษาอังกฤษ
IMPROVEMENT OF PALM OIL WASTE PELLET FUEL AND SEWAGE SLUDGE FROM PALM OIL INDUSTRY
ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 2.56 % หรือโปรแกรม Turnitin .....%

ลงชื่อ พิมพ์ชนก บุญบาง	ลงชื่อ วรัญญภัทร สิงห์กลม	ลงชื่อ สุชัญญา หล้าคอม
(น.ส.พิมพ์ชนก บุญบาง)	(น.ส. วรัญญภัทร สิงห์กลม)	(น.ส. สุชัญญา หล้าคอม)
นักศึกษา	นักศึกษา	นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ. / รศ. / ผศ. / ดร. / อ. ปรเมศวร์ ฤทธิโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ ปรเมศวร์ ฤ.	ลงชื่อ	ลงชื่อ .....
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้