

ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

วริศรา เลอศิลป์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2563

EFFECT OF FORMING CONDITION ON PROPERTIES OF BIOCOKE
FROM COCONUT SHELL

Waritsara Lersin

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirement
For the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology

Academic year 2020

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจาก กะลามะพร้าว
โดย	วริศรา เลอศิลป์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์)

..... กรรมการ
(ดร. ดอน แก้วดก)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ทำนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

วิศรา เลอศิลป์ : ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจาก
กะลามะพร้าว. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์,
71 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและ
ความชื้นของวัตถุดิบในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ กะลามะพร้าวที่ใช้จะถูกบดและคัดแยก
ขนาดให้มีขนาดเล็กกว่า 1 mm จากนั้นจะทำการขึ้นรูปโดยใช้การอัดด้วยชุดทดลองการผลิตถ่าน
ชีวภาพแบบแนวตั้ง ที่ความดันในการขึ้นรูปคงที่ 16 MPa เป็นเวลา 15 นาที และทำการปรับอุณหภูมิ
ที่ใช้ในการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 160 – 190 °C (160 180 และ 190 °C) และปรับค่าความชื้นของวัตถุดิบ
อยู่ในช่วง 0 – 20 wt% (0 5 10 15 และ 20 wt%) ทำการวิเคราะห์สมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้
ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น) สมบัติทางความร้อน (ค่าความร้อน) และสมบัติทางกล
(ความต้านทานแรงอัดสูงสุด) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพโดยใช้
การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในการขึ้นรูป และความชื้นของวัตถุดิบ ส่งผลต่อสมบัติของ
ถ่านชีวภาพ โดยความหนาแน่นของถ่านชีวภาพมีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงขึ้น ถ่าน
ชีวภาพจากกะลามะพร้าวมีค่าสูงสุดที่ 1.25 g/cm³ เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปในช่วง 160 °C -190 °C
และวัตถุดิบมีปริมาณความชื้น 20 wt% อย่างไรก็ตามพบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จะมีรอยแตกร้าว เมื่อทำ
การขึ้นรูปในโดยใช้วัตถุดิบแห้ง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแข็งตัวของถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวมีผลจาก
ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ

TNI

WARITSARA LERSIN : EFFECT OF FORMING CONDITION ON PROPERTIES OF BIOCOKE
FROM COCONUT SHELL. ADVISOR : ASST. PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG,
71 PP.

In this research, biocoke was produced from the coconut shells. Effects of forming temperature and moisture content of raw material on properties of biocoke were investigated. Coconut shells were ground and classified into with the particle size less than 1 mm. Then, the raw materials were pressed using the uniaxial pressing method with the pressure of 16 MPa for 15 min by varying the temperature range from 160 – 190 °C (160 180 and 190 °C) and moisture contents from 0% to 20% (0 5 10 15 and 20 wt%). The biocoke properties, that is, density, calorific value and compressive strength, were examined. In addition, Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to examined microscopic structure of biocoke.

It is found that forming temperature and moisture content of raw material have significant effect on properties of biocoke from coconut shell. Density of biocoke form coconut shell increases with the increase of moisture content. The biocoke form coconut shell has the highest density at 1.25 g/cm³ under the temperature of 160 °C and 190 °C with moisture contents of 20 wt%. However, the cracks appeared to the biocoke when producing under dry conditions. Interestingly, the solidification process of biocoke from coconut shells affects the moisture contents within raw materials.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2020

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.มหรณพ พักขาว ที่กรุณามอบโอกาสและคำแนะนำแนวทางการศึกษาต่อ แนวทางการสืบค้นข้อมูล แนวทางและการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อาริรัตน์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ดร.ดอน แก้วดก (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ทำนา ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งผู้ที่กล่าวและผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาจากทุกท่านและขอกราบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วริศรา เลอศิลป์

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	8
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.2 หลักวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	20
3.1 กำหนดขอบเขตงานวิจัย.....	20
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	21
3.3 การเตรียมการวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง.....	22
3.4 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....	26
4.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	26
4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปและความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่น ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	28
4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่าน ชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	29
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก กะลามะพร้าว.....	31
4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่าน ชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	31
4.6 โครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	32
5 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว.....	34
5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง.....	35
บรรณานุกรม.....	36
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง.....	40
ภาคผนวก ข. ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของลักษณะพื้นผิวของกะลามะพร้าว.....	42
ภาคผนวก ค. ข้อมูลดิบ.....	68
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	71

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	การใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า.....	2
1.2	การใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบพลังงานความร้อน.....	2
1.3	ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552.....	5
1.4	ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	8
2.1	การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี.....	13
2.2	สมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด.....	14
2.3	Lignocellulosic Composition.....	15
2.4	Proximate Analysis.....	15
2.5	Ultimate Analysis.....	15
ค.1	ข้อมูลดิบสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	69

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 ปริมาณร้อยละการใช้พลังงานใน พ.ศ. 2561 – 2562.....	3
1.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและพลังงานทดแทนขั้นสุดท้ายใน พ.ศ. 2562.....	3
1.3 สถิติการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยของปี พ.ศ. 2559 – 2562	4
1.4 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานของปีพ.ศ.2560 – 2562.....	4
2.1 ถ่านชีวภาพ (Biocoke).....	10
2.2 ถ่านชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pallet).....	11
2.3 ถ่านโค้กผลิตภัณฑ์ที่มาจากถ่านหินปิทูมินัส.....	12
2.4 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)	16
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain).....	18
3.1 แผนผังการดำเนินงาน.....	20
3.2 แผนผังขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว.....	22
3.3 เครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง.....	23
3.4 Bomb Calorimeter รุ่น IKA Model C1.....	24
3.5 เครื่องทดสอบแรงกด.....	24
3.6 EVO MA10 Versatile Multipurpose SEM.....	25
4.1 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	26
4.2 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	27
4.3 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	27
4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นแตกต่างกันเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	29
4.5 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.6	ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	30
4.7	ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa.....	31
4.8	ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อค่าความต้านทานแรงอัดและความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	32
4.9	ลักษณะพื้นผิวที่มีความชื้น 0% และ 5% ที่อุณหภูมิ 160° C - 190° C ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	33
ก.1	ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ.....	41
ข.1	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยายขนาดต่างๆ ของกะลามะพร้าว ก่อนทำการขึ้นรูป.....	43
ข.2	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	44
ข.3	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	45
ข.4	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	46
ข.5	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	47
ข.6	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	48
ข.7	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	49
ข.8	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	50
ข.9	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 160 ° C.....	51
ข.10	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	52
ข.11	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	53
ข.12	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	54
ข.13	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	55
ข.14	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	56
ข.15	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	57
ข.16	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 ° C.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
ข.17	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 180 °C.....	59
ข.18	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 ° C.....	60
ข.19	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 ° C.....	61
ข.20	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	62
ข.21	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	63
ข.22	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	64
ข.23	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	65
ข.24	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	66
ข.25	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	67



TNI

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับชีวิตมนุษย์และระบบเศรษฐกิจในปัจจุบัน เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ก็มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแรงขับเคลื่อนการขยายตัวของความต้องการพลังงานหลัก เกิดจากสองปัจจัยพื้นฐานใหญ่ ๆ คือ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ปัจจุบันในประเทศไทยมีการเติบโตของธุรกิจในด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดความต้องการใช้พลังงานสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี พลังงานทางเลือกมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในประเทศไทย ก็มีนโยบายส่งเสริมพลังงานทางเลือก เพื่อความมั่นคงทางพลังงานในประเทศ และลดการพึ่งพาพลังงานจากปิโตรเลียม โดยพลังงานจาก แสงอาทิตย์ (Solar) ลม (Wind) เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) จัดเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด คาดว่าจะขยายตัวถึงเฉลี่ยร้อยละ 5.8 ต่อปีในช่วงปี 2010-2040 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีต้นทุนต่ำลงและเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตร กับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในประเทศไทยจึงมีนโยบายเกี่ยวกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP 2015) [1]

สัดส่วนพลังงานทดแทนของเชื้อเพลิงชีวมวลของสิ้นปี 2557 อยู่ที่ร้อยละ 7 และเป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนภายใต้แผน AEDP ในปี 2579 อยู่ที่ร้อยละ 20 – 25 โดยข้อมูลจากสำนักวิจัยสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ได้ระบุผลการศึกษาว่า ชีวมวลของแข็งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่นำมาใช้ในสัดส่วนที่สูงสุดคิดเป็นกำลังการผลิต 1790.2 เมกะวัตต์ รองลงมาคือ ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานขยะ พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า [2]

ประเภทพลังงาน	กำลังการผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์)
พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)	78.7
พลังงานลม (Wind Energy)	7.3
พลังงานน้ำ (Hydroelectric Energy)	95.7
ชีวมวลของแข็ง (Biomass)	1,709.2
ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์	159.2
พลังงานขยะ	25.5
พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy)	0.3
รวม	2,156.9

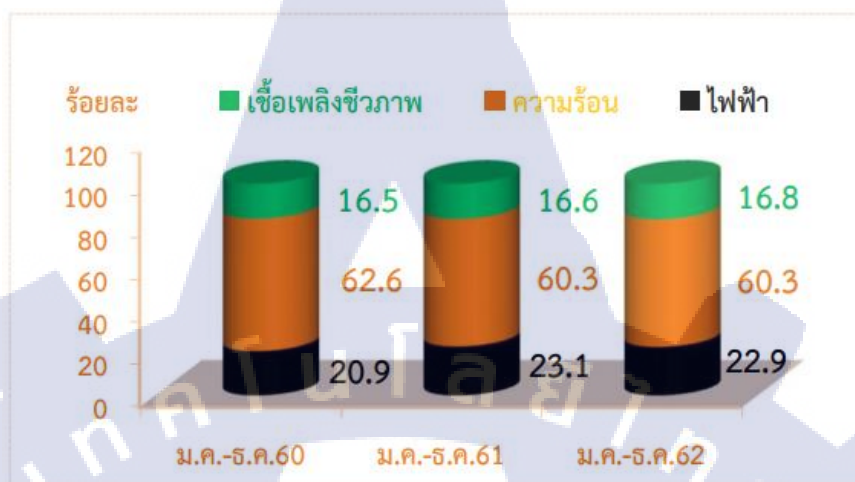
ตารางที่ 1.2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบพลังงานความร้อน [2]

ประเภทพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)	2
ชีวมวล (Biomass)	4,043
ก๊าซชีวภาพ	42
ขยะ	1.7
รวม	4,528.7

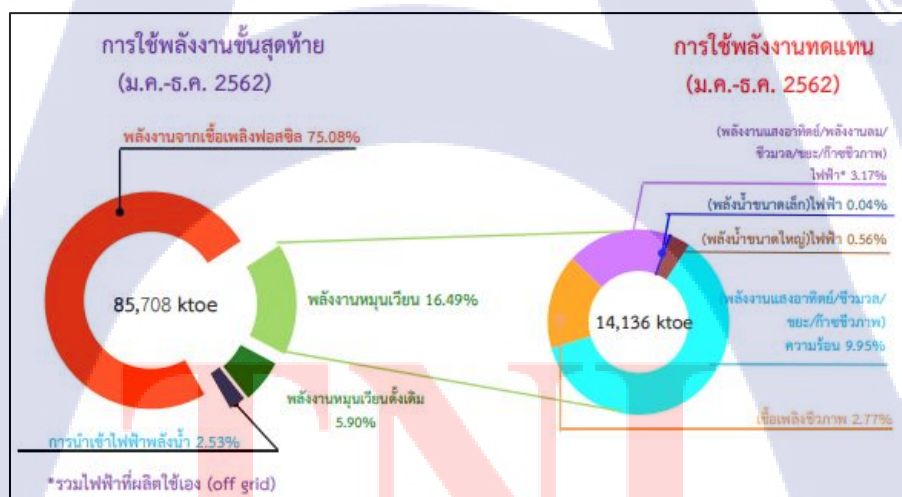
ตารางที่ 1.2 แสดงการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนที่ถูกใช้ในรูปแบบพลังงานความร้อน โดยส่วนใหญ่มาจากพลังงานชีวมวลในสัดส่วนที่สูงสุด รองลงมาคือก๊าซชีวภาพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานขยะ ตามลำดับ

ในประเทศไทยมีการจัดทำสถิติการใช้พลังงานภายในประเทศใน พ.ศ. 2562 ดังรูปที่ 1.1 โดยกระทรวงพลังงานพบว่า จากการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy Intensity) พบว่า ในปี 2562 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 14,136 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 8.8 จากช่วงเดียวกันของปีก่อนดังแสดงในรูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3 และสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับปี

2553 ซึ่งเป็นปีฐานที่เริ่มดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 – 2573) และแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579 ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.1 ปริมาณร้อยละการใช้พลังงานใน พ.ศ. 2561 – 2562 [3]



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและพลังงานทดแทนขั้นสุดท้ายใน พ.ศ. 2562 [3]

การใช้พลังงานทดแทน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)				อัตราการ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
	2559	2560	2561	2562	2562
1. ไฟฟ้า ^{1/} (แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล ชยะ และก๊าซชีวภาพ)	2,122	2,473	2,960	3,239	9.4
2. ความร้อน (แสงอาทิตย์ ชีวมวล ชยะ และก๊าซชีวภาพ)	7,182	7,322	7,919	8,525	7.7
3. เชื้อเพลิงชีวภาพ					
- เอทานอล	684 ^{2/}	733	781	829	6.1
- ไบโอดีเซล	1,063	1,203	1,336	1,543	15.5
รวม	11,051	11,731	12,996	14,136	8.8

รูปที่ 1.3 สถิติการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยของปี พ.ศ. 2559 – 2562 [4]

การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามชนิดพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2560	2561	2562	2561	2562
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (รวม)	80,752	83,952	85,708	4.0	2.1
● พลังงานเชิงพาณิชย์	68,114	70,822	72,126	4.0	1.8
- น้ำมันสำเร็จรูป	40,501	41,383	42,084	2.2	1.7
- ไฟฟ้า	16,519	16,805	17,358	1.7	3.3
- ถ่านหิน/ลิกไนต์	5,327	6,865	7,116	28.9	3.7
- ก๊าซธรรมชาติ	5,767	5,769	5,568	0.03	(3.5)
● พลังงานหมุนเวียน	7,322	7,919	8,525	8.2	7.7
● พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม	5,316	5,211	5,057	(2.0)	(3.0)

รูปที่ 1.4 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานของปีพ.ศ.2560 – 2562 [4]

ตารางที่ 1.3 ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552 [5]

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวลเหลือใช้ (ตัน)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน	
					(TJ)	(ktoe)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794	14.40	60,347	1,428
		ยอดและใบ	13,439,727	17.39	233,716	5,532
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,598	14.27	50,096	1,185
		ฟางข้าว	25,646,547	10.24	262,620	6,216
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/ใบ/เปลือก	170,383	19.44	3,312	78
ข้าวโพด	4,616,119	ซัง	584,539	18.04	10,545	249
		ลำต้น	2,758,777	18.04	48,768	1,178
น้ำมันปาล์ม	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868	17.86	18,304	433
		ใบ	162,970	17.62	2,871	67
		กะลา	38,959	18.46	719	17
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824	516
มันสำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236	18.42	44,	1,063
		เหง้า	1,834,466	18.42	33,790	799
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990	15.40	9,686	229
		กาบ	464,250	16.23	7,534	178
		กะลา	128,936	17.93	2,311	54
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118	14.98	4,675	110
รวม	145,853,073		59,539,905		504,339	11,938

จากตารางที่ 1.3 จะเห็นได้ชัดว่า มีปริมาณชีวมวลเหลือใช้เป็นอย่างมาก โดยชีวมวลบางส่วนได้ทดลองนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อหรือนำชีวมวลมาผลิตถ่านชีวภาพซึ่งถูกวิจัยค้นคว้าหาวิธีการและสถานะในการอัดขึ้นรูปต่างๆ ที่เหมาะสม ถ่านชีวภาพ (Biocoke) จัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลก้อนแข็งประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถผลิตขึ้นจากนำวัสดุเหลือใช้

ทางการเกษตรจำพวก เศษไม้ เส้นใยในธรรมชาติต่าง ๆ หรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมไม้ และการแปรรูป นำมาอัดด้วยความร้อนที่ความดันสูง ซึ่งจะส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถจัดเก็บได้ง่าย มีค่าความร้อนที่สูง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลดลงได้ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยถ่านชีวภาพมีลักษณะเด่น คือ มีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านโค้ก จึงสามารถใช้เป็นพลังงานให้ความร้อนในอุตสาหกรรมได้ มีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถลดพื้นที่การขนส่งได้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของถ่านชีวภาพมีหลายปัจจัย เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความชื้นที่ใช้ในการผลิต โดยปริมาณสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัตถุดิบ คือ ลิกโนเซลลูโลส ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งพบมากในผนังเซลล์ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เป็นต้น

สุพิชญา เชิดเกียรติกุล [6] และคณะได้ผลิตถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ โดยพบว่าถ่านชีวภาพจะมีความหนาแน่นรวมสูงเมื่ออุณหภูมิ ความดัน และเวลา ในการผลิตเพิ่มขึ้นโดยสภาวะเหมาะสมในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิการผลิต 190°C ภายใต้อุณหภูมิความดัน 16 MPa เวลา 10 นาที นอกจากนี้ อัมพิกา จันทรทองอิน [7] ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับ โดยศึกษาขนาดของไม้กระถินยักษ์สับ และระยะเวลาในการบ่มย่อย พบว่าถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับขนาด $<250\text{ }\mu\text{m}$ มีความหนาแน่นสูงสุดคือ 1.35 g/cm^3 ในขณะที่ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับที่ใช้เวลาในการบ่มย่อย 2 นาทีมีความหนาแน่นสูงสุดคือ 1.35 g/cm^3 เช่นกัน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับขนาด $250\text{--}425\text{ }\mu\text{m}$ มีความต้านทานแรงอัดมากที่สุด 147.48 MPa สอดคล้องกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์สับที่ใช้เวลาในการบ่มย่อย 2 นาที ที่มีความต้านทานแรงอัดมากที่สุดคือ 166.12 MPa ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกลและโครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพ

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นจะศึกษา“กะลามะพร้าว” เนื่องจาก ในปี 2562 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้เผยแพร่จำนวนผลผลิตมะพร้าว โดยผลผลิตทั้งหมดในปี 2562 อยู่ที่ 878,862 ตัน และมีเนื้อที่ในการปลูกทั่วประเทศประมาณ 760,285 ไร่ [8] โดยงานวิจัยนี้ได้นำกะลามะพร้าวที่เหลือจากอุตสาหกรรม และการเกษตร มาเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเล็งเห็นมีจำนวนมากหาได้ง่าย และเหมาะที่จะนำมาผลิตถ่านชีวภาพ เนื่องจากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของกะลามะพร้าว ก่อนทำการทดลอง พบว่า มีส่วนประกอบของลิกนิน (Lignin) อยู่ที่ 6.29% เซลลูโลส (Cellulose) 42.07% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเปลือกข้าวโพดส่วนประกอบของลิกนินอยู่ที่ 3.41% เซลลูโลส 37.94%

ในงานวิจัยนี้ จึงทำการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวด้วยเครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง และศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน ความต้านทานแรงอัด รวมถึงการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และโครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทำการผลิตชีวภาพด้วยเครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้งโดยใช้กะลามะพร้าวเป็นวัตถุดิบ

1.3.2 ศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

- 1) ความชื้นของวัตถุดิบ
- 2) ขนาดของกะลามะพร้าว ต่ำกว่า 1 mm
- 3) ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 16 MPa
- 4) อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160 °C 180 °C และ 190 °C
- 5) ความชื้น 0 wt% 5 wt% 10 wt% 15wt% และ 20 wt%
- 6) เวลาในการขึ้นรูป 15 นาที

1.3.3 ศึกษาสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ค่าความร้อน (Calorific Value) ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength) และลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกล และสามารถนำผลมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาการผลิตต่อไปได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือก

พลังงานทดแทน คือพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมได้อย่างไม่จำกัด โดยพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่ได้จากฟอสซิลเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ถ่านหิน ปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกซึ่งเป็นปัญหาของภาวะโลกร้อน

พลังงานทดแทนนี้ถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานแบบดั้งเดิม เพื่อลดการเกิดมลพิษ ได้แก่ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เป็นแหล่งพลังงานตามธรรมชาติและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่น พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง และพลังงานชีวมวล เป็นต้น

2.1.2 ชีวมวล (Biomass)

สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงาน สารอินทรีย์ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชีวมวลประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นธาตุหลัก การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด แหล่งที่มาของชีวมวล เช่น พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร (Agricultural Residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน

ศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศ มีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องมาจากปริมาณผลผลิตทางการเกษตร ที่ก่อให้เกิดชีวมวล มีแนวโน้มผลิตได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะปัจจัยสำคัญ เช่น การเพิ่มจำนวนพื้นที่เพาะปลูก และการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเกษตร เป็นต้น และความต้องการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากชีวมวลมีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงสมัยใหม่ ในปริมาณความร้อนที่เท่ากัน และจากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งทำให้เกิดการสะสม ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศที่นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก และทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ในขณะที่การนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ จะช่วยแก้ปัญหาการเพิ่มปริมาณ CO_2 ให้กับบรรยากาศ

แต่เนื่องจากชีวมวลบางชนิดมีการผลิตตามฤดูกาล หรือมีเฉพาะบางภูมิภาค ดังนั้นการนำชีวมวลมาใช้ผลิตพลังงาน ในแต่ละโรงงาน ต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นประกอบ ได้แก่ แหล่งชีวมวล ปริมาณรวมของชีวมวล และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากชีวมวล เป็นต้น

2.1.3 ถ่านชีวภาพ (Biocoke)

ถ่านชีวภาพมีลักษณะเป็นชีวมวลก้อนแข็งที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมรวมถึงวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยถ่านชีวภาพนี้มีค่าความร้อนที่สูง มีความหนาแน่นสูงสามารถนำมาใช้แทนถ่านโค้กในโรงงานอุตสาหกรรมได้ และช่วยลดการเกิดมลพิษ



รูปที่ 2.1 ถ่านชีวภาพ (Biocoke)

2.1.4 ชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pallet)

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด หรือเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ หรือเชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เช่น เหน้้ามันสำปะหลัง ช้างข้าวโพด เปลือกยูคาลิปตัส เศษไม้เหลือใช้ ปีกไม้ขี้เลื่อยที่ได้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และรวมถึงไม้จากการโค่นต้นไม้ที่ไม่จำเป็นหรือยืนต้นตาย การตัดแต่งกิ่งไม้ เป็นต้น มาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ในรูปของพลังงานความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำหรือน้ำมันร้อนใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) รวมถึงการให้ความร้อนกับที่อยู่อาศัยและการใช้งานประเภทอื่นๆ



รูปที่ 2.2 แสดงถ่านชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pallet) [9]

2.1.4.1 คุณสมบัติและขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

- 1) มีค่าความร้อนสูง 3800-4300 kcal/kg
- 2) มีค่าความหนาแน่นสูง อยู่ในช่วงระหว่าง 600-700 kg/m³
- 3) มีความชื้นต่ำกว่า 10 wt%
- 4) มีเถ้าต่ำ (ไม่เกิน 3 wt%)
- 5) มีปริมาณกำมะถันต่ำ
- 6) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6-1.2 cm ความยาวประมาณ 1-3 cm

2.1.5 ถ่านหิน (Coal)

ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบหลัก ถ่านหินชนิดใดที่มีเปอร์เซ็นต์ของธาตุคาร์บอนมากจะเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี ให้พลังงานความร้อนสูงเมื่อเกิดการเผาไหม้ การแบ่งชนิดของถ่านหินอาจแบ่งตามเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนเรียงจากมากไปหาน้อย ดังนี้ แอนทราไซต์ บิทูมินัส และลิกไนต์ตามลำดับ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานสูงและการนำถ่านหินมาใช้จะทำให้มีส่วนในการลดการตัดไม้ทำลายป่าได้อีกด้วย เพราะถ่านหินสามารถใช้แทนถ่านไม้และให้ความร้อนดีกว่า การใช้ถ่านหินให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ไม่ควรนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ควรนำถ่านหินไปกลั่นทำลายก่อน ซึ่งกระบวนการกลั่นทำลายก็คือ กระบวนการเผาถ่านหินในที่ที่ไม่มีอากาศ ถ่านหินจะสลายตัวให้สารอื่นๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง

2.1.6 ถ่านโค้ก (Coal Coke)

ถ่านโค้ก (Coal Coke) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากถ่านหิน ส่วนมากจะเป็นถ่านหินชนิดบิทูมินัส โดยผ่านกระบวนการความร้อนในสภาวะอับอากาศซึ่งโดยส่วนใหญ่ถ่านโค้กจะถูกใช้ในกระบวนการถลุงเหล็ก เนื่องจากมีสารมลทินต่ำทำให้น้ำเหล็กที่ได้จากการถลุงมีคุณภาพที่ดี ดังรูปที่ 2.3 อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านโค้กในอุตสาหกรรม จะก่อให้เกิดมลพิษสูงเช่นเดียวกับเชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไป



รูปที่ 2.3 ถ่านโค้กผลิตภัณฑ์ที่มาจากถ่านหินบิทูมินัส [10]

2.1.7 ลิกโนเซลลูโลส

ลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และพวกฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ

เซลลูโลส หมายถึง พวกลิพิดแซ็กคาไรด์ที่พบมากในผนังเซลล์พืชซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ที่เกิดจาก D-กลูโคสต่อกัน เป็นสายยาวช่วยทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงป้องกันการแตกของเซลล์ ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วย ของกลูโคสเหมือนกับแป้ง แต่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา (β -1,4- glycosidic bonds) เอนไซม์อะไมเลส จึงไม่สามารถย่อยได้เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้ และไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกระเพาะอาหารหรือลำไส้ของ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยกเว้น สัตว์กินพืชเท่านั้นที่สามารถใช้เซลลูโลสเป็นพลังงานเพราะสัตว์กลุ่มนี้มีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในกระเพาะสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ มีการประเมินกันว่าทั่วโลกพืชสามารถผลิตเซลลูโลสได้มากถึง 100 พันล้านตันในแต่ละปี

เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ของพืชเช่นกันแต่เป็นสารโพลีเมอร์ของพวก D-ไซโลส ซึ่งมีแขนข้างเป็น น้ำตาลอะราบินโนสหรือน้ำตาลชนิดอื่นๆ มีสายสั้นกว่าเซลลูโลส ส่วนลิกนินเป็นสารประกอบโพลีเมอร์อโรมาติกที่ไม่มีรูปผลึก จะเกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใยทำหน้าที่ยึดเกาะ

เส้นใยเข้าด้วยกัน โครงสร้างพื้นฐานของลิกนินคือ Phenylpropane ลิกนินไม่สามารถถูกย่อยได้โดยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนแต่จะถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนโดยพวกเชื้อรา ประเภท White Rot Fungi และ Moulds [11]

2.1.8 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate Analysis)

การวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบหลักในอาหาร ซึ่งมีกลุ่มใหญ่ๆ 6 กลุ่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางเคมี [12]

กลุ่มสาร	วิธีการวิเคราะห์
ความชื้น (Moisture Content)	การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้ง
เถ้า (Ash)	เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส
โปรตีนรวม (Crude Protein ,CP)	Kjeldahl method
ไขมัน (Ether Extract ,EE)	สกัดตัวอย่างด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์
กากหยาบ (Crude Fiber ,CF)	
คาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen Free Extract, NFE)	

2.1.9 การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร คือ การวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุซึ่งประกอบด้วยธาตุหลัก 4 ชนิด คือ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) และออกซิเจน (Oxygen) และธาตุอื่นๆ ที่มีสัดส่วนน้อย คือ กำมะถัน (Sulfur) และคลอรีน (Chlorine) ซึ่งเริ่มจากการหาธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนโดยวิธีการเผา ส่วนธาตุไนโตรเจนและกำมะถันใช้กระบวนการทางเคมี โดยออกซิเจนจะไม่ทำการวิเคราะห์ แต่จะได้จากการใช้ปริมาณส่วนที่เหลือจากการหาค่าจากธาตุอื่นๆ แล้ว

2.1.10 กะลามะพร้าว (Coconut Shell)

กะลามะพร้าวเป็นพืชที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตภาคใต้ ซึ่งมีพื้นที่และภูมิอากาศเหมาะสม โดยมีเนื้อที่ในการปลูกทั่วประเทศประมาณ 760,285 ไร่ [8] โดยงานวิจัยนี้ได้นำกะลามะพร้าวที่เหลือจากอุตสาหกรรม และการเกษตร มาเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเล็งเห็นมีจำนวนมาก และเหมาะที่จะนำมาผลิตถ่านชีวภาพเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 2.3 – 2.5

ตารางที่ 2.3 Lignocellulosic Composition

Test Item	Result (wt%)
Lignin	32.06
Cellulose	38.60
Hemicellulose	16.47

ตารางที่ 2.4 Proximate Analysis

Test Item	Result (wt%)	Test Method
Moisture	10.49	ASTM D5865
Volatile Matter	68.58	ASTM D5865
Fixed Carbon	20.44	ASTM D7582
Ash	0.49	ASTM D7582

ตารางที่ 2.5 Ultimate Analysis

Test Item	Result (wt%)	Test Method
Carbon (C)	46.36	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.29	ASTM D5373
Nitrogen (N)	0.06	ASTM D5373
Oxygen (O)	46.76	ASTM D5373
Sulfur (S)	0.04	ASTM D4239

2.2 หลักวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

หลักการทำงานของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จะใช้หลักการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาผลาญเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ วัสดุจะถูกบรรจุในภาชนะ (Chamber) และป้อนด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน ฟิวส์ (Fuse) และทำให้เกิดการจุดระเบิดเชื้อเพลิงได้แก่ส่วนผสมของวัสดุและออกซิเจน เนื่องจาก แคลอรีมิเตอร์จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากวัสดุแต่ละชนิด ปริมาณพลังงานความร้อนเกิดจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน [14]



รูปที่ 2.4 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

2.2.2 ค่าความร้อน

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทของวัตถุหรือสารต่างๆ จากสมการ (2.1)

$$Q = C\Delta t = ms\Delta t \quad (2.1)$$

เมื่อสารนั้นไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (ณ อุณหภูมิของจุดเยือกแข็งหรือหลอมเหลว และอุณหภูมิของจุดเดือดหรือจุดกลั่นตัวของสาร)

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทของวัตถุ

m = มวลของวัตถุ

Δt = อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนไปจากอุณหภูมิสมดุลของสารผสมในแคลอรีมิเตอร์

C = ความจุความร้อนของสาร

Q มีหน่วยเป็น cal (ระบบ cgs) และ J (ระบบ SI)

m มีหน่วยเป็น g (ระบบ cgs) และ kg (ระบบ SI)

s มีหน่วยเป็น cal/g- $^{\circ}\text{C}$ (ระบบ cgs) และเป็น J/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$ (ระบบ SI)

Δt มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$ ทั้งระบบ cgs และระบบ SI

C มีหน่วยเป็น cal/ $^{\circ}\text{C}$ หรือ J/ $^{\circ}\text{C}$

2.2.3 ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ คือ

- 1) ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ
- 2) ขนาดของวัตถุดิบ
- 3) อุณหภูมิ
- 4) ความดัน

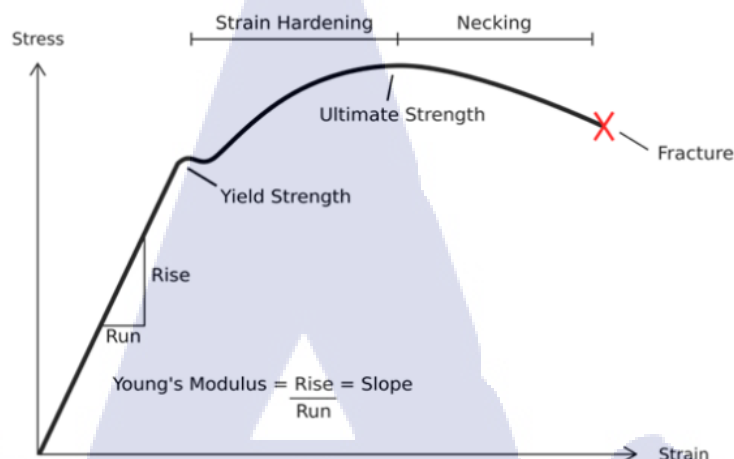
การคำนวณหาความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากกะลามะพร้าว นั้น จะใช้วิธีการหาความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) ของถ่านชีวภาพ ดังสมการที่ (2.2)

$$\text{ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ} = \text{มวลของถ่านชีวภาพ} / \text{ปริมาตรของถ่านชีวภาพ} \quad (2.2)$$

2.2.4 ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength)

การทดสอบความต้านทานสูงสุดทำได้โดยการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของวัตถุ ดังรูปที่ 2.5

TNI



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) [15]

จุด Ultimate Strength คือขีดจำกัดสูงสุดของวัตถุที่สามารถรับแรงอัดได้หรือความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) ที่ใช้ในการศึกษานี้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 T. Sawai et al. ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้ของต้นบัวและต้นพลับโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength) ของชิ้นงานที่นำมาทดสอบพบว่า ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 140-160 °C โดยที่ขนาดของอนุภาคไม้มีผลต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุด นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพจากต้นพลับนั้นจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดเมื่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์เท่ากับ 180 °C [16]

2.3.2 S. Mizuno et al. ได้ศึกษาค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดภายใต้อุณหภูมิ 700 °C ต่อขนาดของพื้นที่หน้าตัดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชาเขียว โดยได้ข้อสรุปว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากชาเขียวมีค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดที่อุณหภูมิ 700 °C โดยพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่าพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ [17]

2.3.3 Torii et al. ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และผสมถ่านซีการ์โดยศึกษาค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิและความดันในการผลิตเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจะเพิ่มขึ้นด้วยและเมื่อปริมาณคาร์บอนจากถ่านซีการ์เพิ่มขึ้นความต้านทานแรงอัดสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้น [18]

2.3.4 สุพิชญา เชิดเกียรติกุล. ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ โดยพบว่า ถ่านชีวภาพจะมีความหนาแน่นรวมสูงเมื่ออุณหภูมิ ความดัน และเวลา ในการผลิตเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนจะสูงขึ้น

เมื่อเวลาในการผลิตเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดจะมีค่ามากเมื่อใช้อุณหภูมิและความดันสูงในการผลิต โดยสภาวะเหมาะสมในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิการผลิต 190°C ความดัน 16 MPa เวลา 10 นาที [6]

2.3.5 อัมฟิกา จันทรทองอิน. ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับ พบว่าถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับขนาด $<250\text{ }\mu\text{m}$ มีความหนาแน่นสูงสุดคือ 1.35 g/cm^3 และความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อขนาดของไม้กระถินยักษ์สับเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับที่ใช้เวลาในการบ่มย่อย 2 นาทีมีความหนาแน่นสูงสุดคือ 1.35 g/cm^3 และพบว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อไม้กระถินยักษ์สับใช้เวลาในการบ่มย่อย 0.5, 1 และ 2 นาที และความหนาแน่นมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อไม้กระถินยักษ์สับใช้เวลาในการบ่มย่อย 3, 5 และ 10 นาที นอกจากนี้ถ่านชีวภาพจากไม้กระถินยักษ์สับขนาด $250\text{--}425\text{ }\mu\text{m}$ มีความต้านทานแรงอัดมากที่สุด 147.48 MPa สอดคล้องกับถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์สับที่ใช้เวลาในการบ่มย่อย 2 นาที ที่มีความต้านทานแรงอัดมากที่สุดคือ 166.12 MPa [7]



TNI

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 กำหนดขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยในการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลาพร้าด้วยเครื่องอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดแนวตั้ง กำหนดให้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ดังนี้

3.1.1 ตัวแปรต้น

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอัด 160°C 180°C และ 190°C
- 2) ความชื้นของวัสดุดิบที่ใช้ในการอัด 0 wt% 5 wt% 10 wt% 15wt% และ 20 wt%

3.1.2 ตัวแปรตาม

- 1) ความหนาแน่น (g/cm^3)
- 2) ค่าความร้อนที่วัดจาก Bomb Calorimeter (kcal/kg)
- 3) ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (MPa)

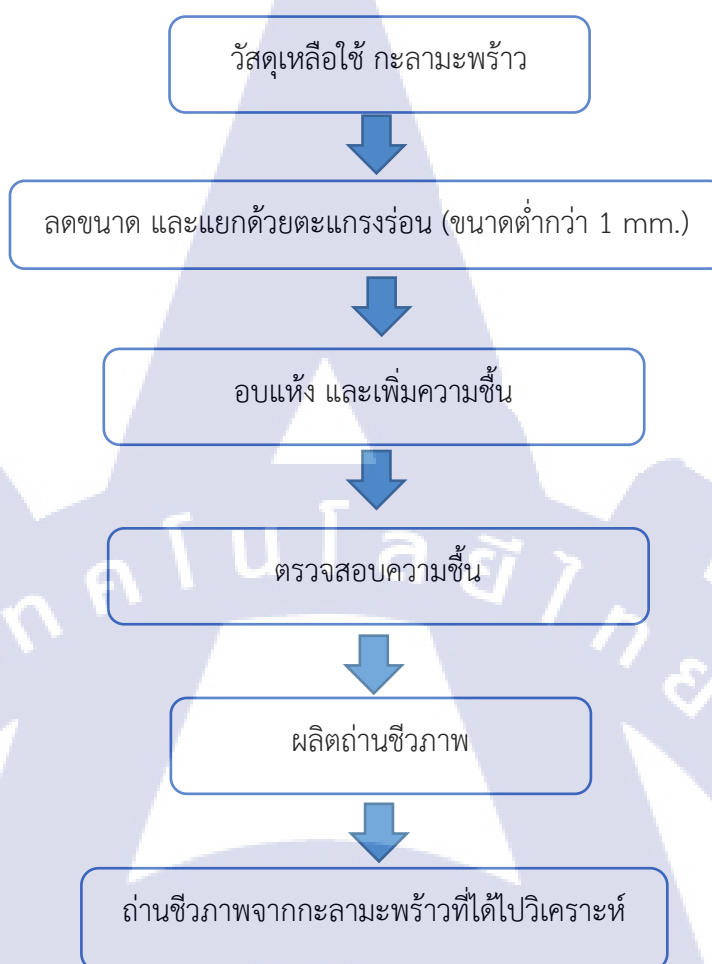
3.1.3 ตัวแปรควบคุม

- 1) เวลาที่ใช้ในการอัด 15 นาที
- 2) ความดันที่ใช้ในการอัด 16 MPa
- 3) ขนาดของวัตถุดิบไม่เกิน 1 mm
- 4) น้ำหนักรวมที่ใช้ในการทดลอง เท่ากัน คือ 50 กรัม
- 5) กะละมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองมาจากแหล่งเพาะพันธุ์เดียวกัน

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และโครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะละมะพร้าว ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจากการออกแบบการทดลองให้ครอบคลุมตัวแปรที่ต้องการศึกษา จากนั้นจึงทำการเตรียมวัตถุดิบ โดยการลดขนาดกะละมะพร้าว และควบคุมความชื้นตามที่กำหนด โดยการอบจนได้ค่าความชื้นระหว่าง 0 wt% – 20 wt%

จากนั้นนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้เข้าสู่กระบวนการอัดถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง เมื่อได้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะละมะพร้าวแต่ละเงื่อนไขแล้ว จึงนำไปทดสอบ และวิเคราะห์สมบัติของถ่าน ได้แก่ วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่นรวม ทดสอบแรงต้านทานแรงอัดสูงสุด วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และนำข้อมูลทดสอบที่ได้มาอภิปรายและสรุปผลการทดลองดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว

3.3 การเตรียมการวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง

เนื่องจากกะลามะพร้าวมีขนาดที่ต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดขนาดด้วยตะแกรงร่อนเพื่อนำกะลามะพร้าวมาแยกขนาด และทำการอบแห้งเพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ระหว่าง 0 – 20 wt% จากนั้นจึงนำไปผลิตเป็นถ่านชีวภาพกะลามะพร้าว โดยใช้เครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง

3.4 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ

ทำการตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกลามะพร้าว ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ค่าความร้อน (Calorific Value) ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 สมบัติทางกายภาพ

สามารถหาได้จากการหาค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากกลามะพร้าวที่ผลิตในแต่ละเงื่อนไขมาทำการชั่งน้ำหนักและวัดความสูง จากนั้นนำไปคำนวณค่าความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่น โดยคำนวณจากสมการ (3.1)

$$D = \frac{m_{BC}}{V_{BC}} \quad (3.1)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ (g/cm^3)

m_{BC} คือ มวลของถ่านชีวภาพ (g)

V_{BC} คือ ปริมาตรของถ่านชีวภาพ (cm^3) หาได้จากสมการ (3.2)

$$V_{BC} = \frac{\pi}{4} d_{BC}^2 h_{BC} \quad (3.2)$$

เมื่อ d_{BC} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านชีวภาพ (cm)

h_{BC} คือ ความสูงของถ่านชีวภาพ (cm)

3.4.2 สมบัติทางความร้อน

สามารถวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์

(Bomb Calorimeter รุ่น Model 1341 Plain Jacket) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Bomb Calorimeter รุ่น IKA Model C1

3.4.3 สมบัติทางกล

ความต้านทานแรงอัดสูงสุดเป็นขีดจำกัดสูงสุดที่ถ่านชีวภาพสามารถรับแรงอัดได้ หรือเรียกว่า ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) สามารถหาได้จากการทดสอบความต้านทานแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงกด EL36-4145/01 ADR Auto 2000/250 EN Compression Machine ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบแรงกด

3.4.4 โครงสร้างทางจุลภาค

ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพ โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยเครื่อง Scanning Election Microscope (EVO MA10 Versatile Multipurpose SEM) ดังรูปที่ 3.6 เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาควัตถุดิบ และถ่านชีวภาพที่ผลิตด้วยสภาวะที่ต่างกัน โดยการถ่ายภาพที่กำลังขยายต่างๆ ได้แก่ 300 เท่า 500 เท่า 1,000 เท่า 2,000 เท่า 5,000 เท่า 10,000 เท่า 20,000 และ 50,000 เท่า



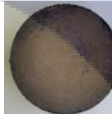
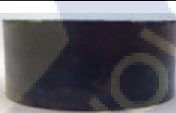
รูปที่ 3.6 EVO MA10 Versatile Multipurpose SEM [16]

บทที่ 4

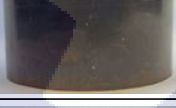
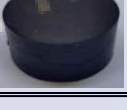
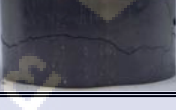
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

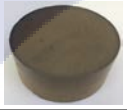
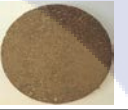
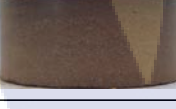
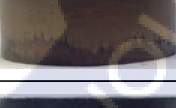
ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 49 ± 0.5 มิลลิเมตร สูง 25 ± 5 มิลลิเมตร โดยที่ถ่านชีวภาพที่เงื่อนไขการผลิตที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และน้ำหนักที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีความชื้นสูงขึ้น และใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงขึ้น จะมีสีที่เข้มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าถ่านชีวภาพที่ผลิตโดยใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 0 wt% มีการแตกร้าวของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าความชื้นของกะลามะพร้าวและอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของวัสดุดิบและส่งผลต่อการยึดเกาะหรือเกาะตัวของอนุภาคเป็นถ่านชีวภาพ

อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C				
ความชื้น (%)	Over View	Top View	Bottom View	Size view
0%				
5%				
10%				
15%				
20%				

รูปที่ 4.1 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

อุณหภูมิในการขึ้นรูป 180° C				
ความชื้น (%)	Over View	Top View	Bottom View	Size view
0%				
5%				
10%				
15%				
20%				

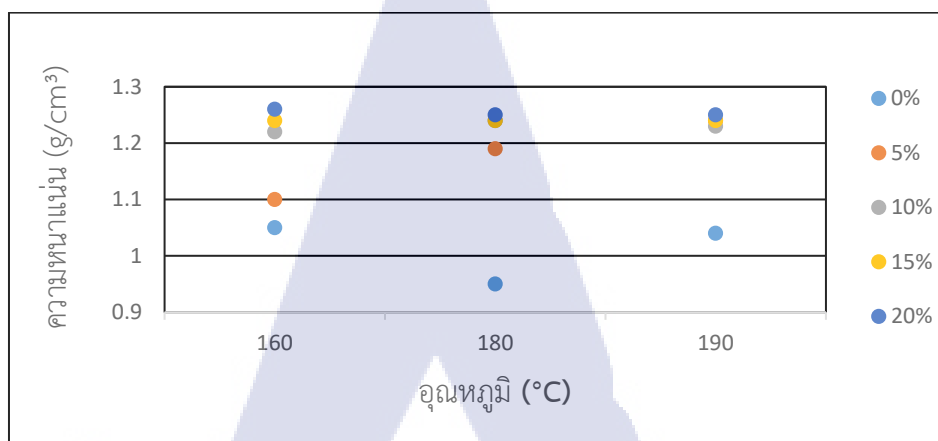
รูปที่ 4.2 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 Mpa

อุณหภูมิในการขึ้นรูป 190° C				
ความชื้น (%)	Over View	Top View	Bottom View	Size view
0%				
5%				
10%				
15%				
20%				

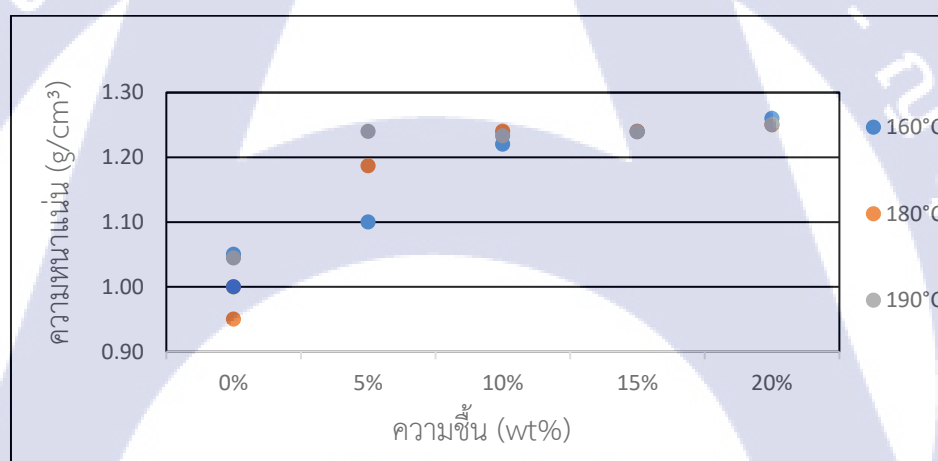
รูปที่ 4.3 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นต่างกัน และขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190°C โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปและความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปและความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากถ่านชีวภาพที่มีความหนาแน่นสูงจะช่วยให้ลดพื้นที่และต้นทุนในการจัดเก็บและการขนส่ง รวมถึงความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานในอุตสาหกรรมด้วยเช่นกัน ซึ่งในความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่คาดว่าเหมาะสมในการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือทดแทนถ่านหินในอุตสาหกรรมหลอมโลหะที่ใช้เตาหลอมแบบคิวโปลา (Cupola Furnace) ควรจะมีค่าสูงกว่า 1.1 g/cm^3 [19, 20] ขณะที่หากใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Furnace) จะใช้ถ่านชีวภาพที่มีความหนาแน่นประมาณ 0.8 g/cm^3 ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเป้าหมายในการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือทดแทนถ่านหินในอุตสาหกรรมหลอมโลหะที่ใช้เตาหลอมแบบคิวโปลา ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จึงควรมีความหนาแน่นสูงกว่า 1.1 g/cm^3 โดยจะทำการศึกษาโดยการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้น 0 wt% 5 wt% 10 wt% 15 wt% และ 20 wt% กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 160°C 180°C และ 190°C และใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดันในการขึ้นรูปคงที่ 16 MPa ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปและความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป ในช่วง $160 - 190^\circ\text{C}$ มีผลต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพเล็กน้อยในกรณีที่วัตถุดิบมีความชื้นต่ำกว่า 5 wt% ขณะที่เมื่อวัตถุดิบมีความชื้น 10 wt% ขึ้นไป พบว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ โดยจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.5 ว่าเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงขึ้นในช่วง 0 – 5 wt% จะส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น และมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความชื้นสูงกว่า 5 wt% ซึ่งเป็นผลมาจากความชื้นของวัตถุดิบอาจทำให้เกิดการอ่อนตัวของฮีมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในวัตถุดิบ เกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำลง และเกิดการยึดเกาะกันของอนุภาควัตถุดิบได้ดี [21 – 23] โดยค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพมีค่าสูงสุดประมาณ 1.25 g/cm^3 เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 20 wt% โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปในช่วง $160 - 180^\circ\text{C}$ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นสูงกว่า 5 wt% เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปในช่วง $160 - 180^\circ\text{C}$ ใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดันในการขึ้นรูปคงที่ 16 MPa จะได้ถ่านชีวภาพที่มีความหนาแน่นเหมาะสมในการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือทดแทนถ่านหินในอุตสาหกรรมจะมีค่าสูงกว่า 1.1 g/cm^3



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นแตกต่างกันเป็นวัตถุดิบ โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

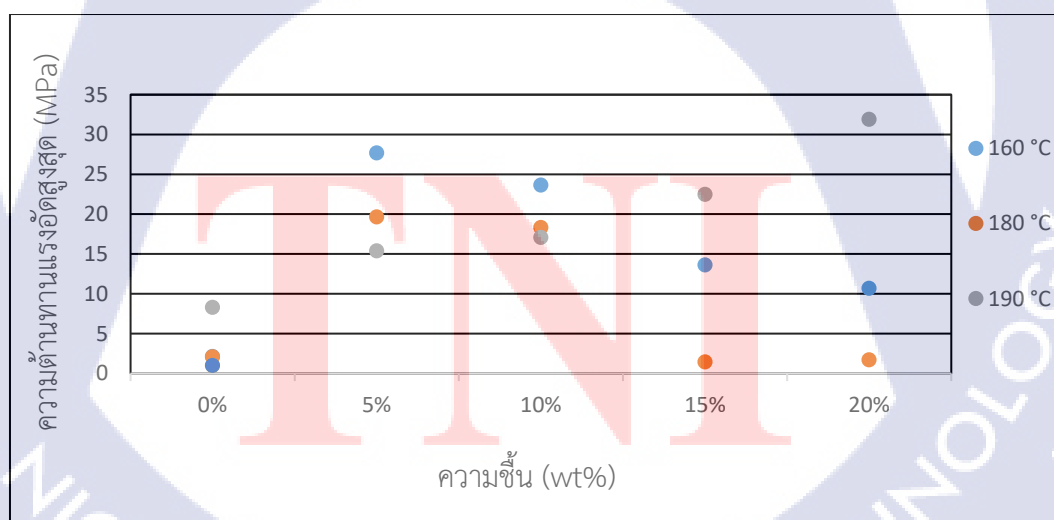


รูปที่ 4.5 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว เมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

ในการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือทดแทนถ่านหินในอุตสาหกรรมหลอมโลหะที่ใช้เตาหลอมแบบคิวโปลา ความแข็งแรงของถ่านชีวภาพมีความสำคัญ เนื่องจากต้องมีการขนส่งและมีการกดทับกับส่วนผสมอื่นๆ ในเตาหลอม หากถ่านชีวภาพที่ใช้ไม่แข็งแรงอาจเกิดการแตกหักหรือ

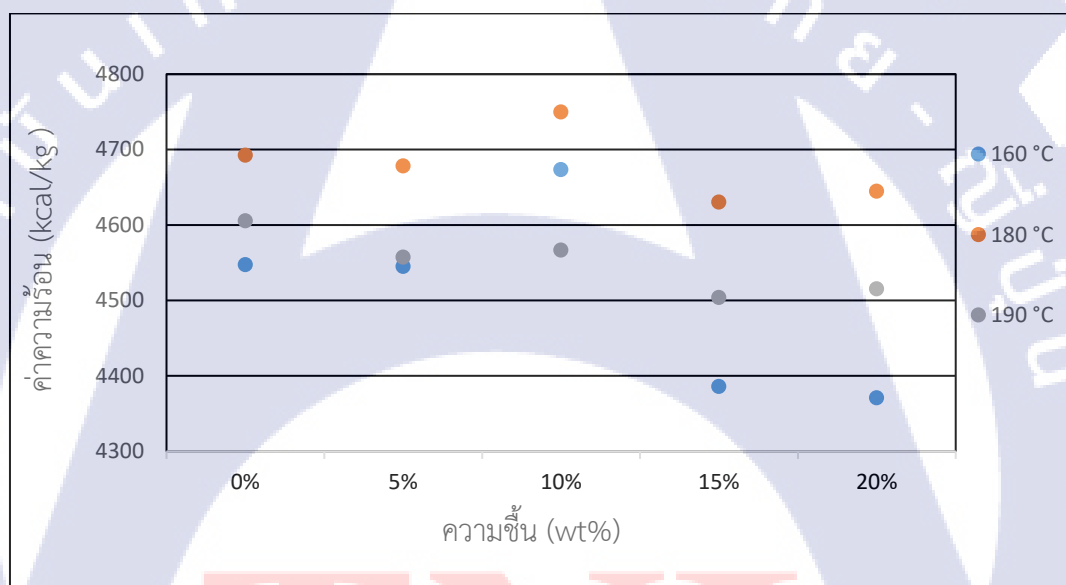
ร่วมระหว่างการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพในการเผาไหม้ ถ่านชีวภาพที่เหมาะสมในการใช้งานในลักษณะนี้จึงควรมีความต้านทานแรงอัดสูงสุดไม่น้อยกว่า 20 MPa [19, 20] การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวใช้การวิเคราะห์สมบัติความแข็งแรงของถ่านชีวภาพ โดยการหาค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบการกด EL36-4145/01 ADR Auto 2000/250 EN Compression Machine **รูปที่ 4.6** แสดงผลกระทบของของขึ้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าวที่มีความชื้น 0 wt% 5 wt% 10 wt% 15 wt% และ 20 wt% กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 160°C 180°C และ 190°C และใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดันในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa พบว่าที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C และ 180°C ความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นในช่วง 0 - 5 wt% แต่จะมีค่าลดลงเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นสูงกว่า 5 wt% ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 190 °C ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นเพิ่ม ซึ่งเป็นผลมาจากการอ่อนตัวของลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ทำให้มีการยึดเกาะกันของอนุภาควัตถุดิบได้ดี [21 – 23] จึงมีความแข็งแรงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่ามีเพียง 4 กรณีที่ได้ถ่านชีวภาพที่มีความต้านทานแรงอัดสูงสุดสูงกว่า 20 MPa ตามเป้าหมาย คือ อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C โดยใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 5 wt% และ 10 wt% และอุณหภูมิในการขึ้นรูป 190°C โดยใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 15 wt% และ 20 wt%



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของของขึ้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

ในการใช้งานถ่านชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือทดแทนถ่านหินในอุตสาหกรรมหลอมโลหะที่ใช้เตาหลอมแบบคิวโพล่า ถ่านชีวภาพที่ใช้ควรมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 16.7 (MJ/kg) หรือประมาณ 4,000 kcal [19, 20] ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งพบว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ในทุกกรณีมีค่าความร้อนตามเป้าหมาย ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความร้อนของกะลามะพร้าวมีค่าสูงอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 180°C จะได้ค่าความร้อนที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 160°C และ 190°C ในทุกการทดลองที่ใช้ความชื้นของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ได้จากกะลามะพร้าวที่มีความชื้น 5 - 10 wt% ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่จะมีค่าความร้อนลดลงเมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นสูงกว่า 10 wt%

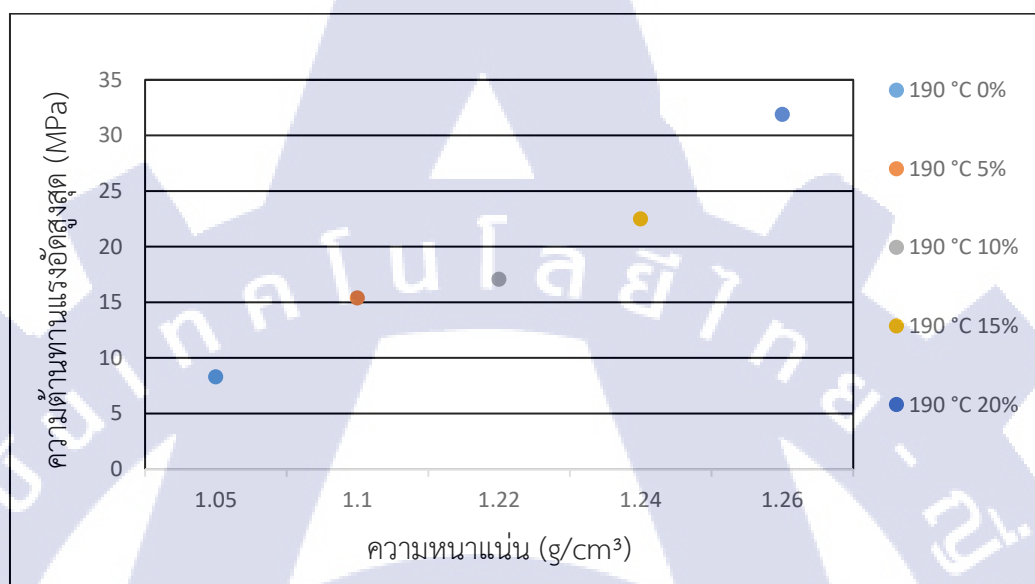


รูปที่ 4.7 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว โดยใช้เวลาการขึ้นรูป 15 นาที และความดัน 16 MPa

4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าวที่ทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190 °C โดยใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพสูงขึ้นในกรณีที่ใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นสูงขึ้นเป็นวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก

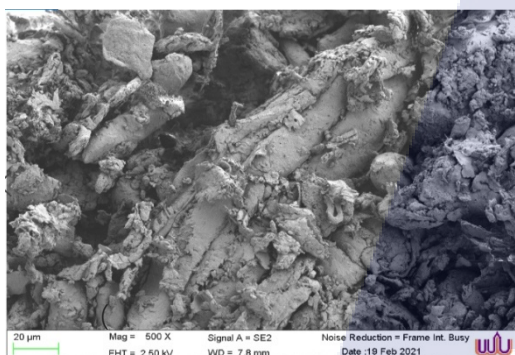
การอ่อนตัววงกลินและเฮมิเซลลูโลส เมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิและความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสม [21 - 23] ทำให้มีการยึดเกาะกันของอนุภาควัตถุดิบได้ดีจึงมีความแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้พบว่าถ่านชีวภาพที่มีความหนาแน่นประมาณ 1.24 g/cm^3 ขึ้นไป ซึ่งใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 15 wt% ขึ้นไปเป็นวัตถุดิบ มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมากกว่า 20 MPa ตามเป้าหมาย [19, 20]



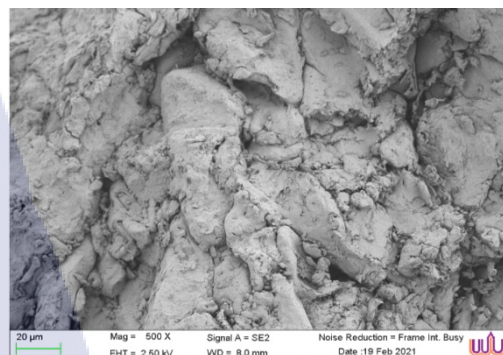
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.6 โครงสร้างระดับจุลภาคของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

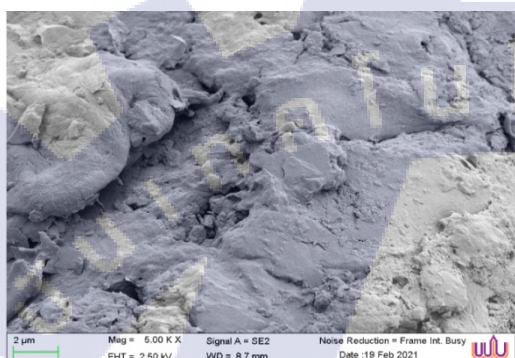
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายกำลังขยายสูงของลักษณะพื้นผิวของกะลามะพร้าว และถ่านชีวภาพที่ได้จากกะลามะพร้าวที่มีความชื้นแตกต่างกันและขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงกว่า 5 wt% จะมีการยึดเกาะกันของอนุภาคที่แน่นขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดสูงสุดตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.2 และ 4.3



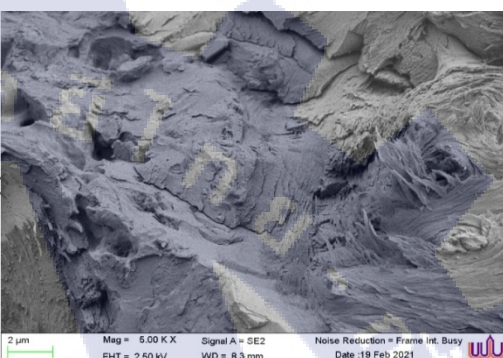
(อุณหภูมิ 160°C , ความชื้น 0%)



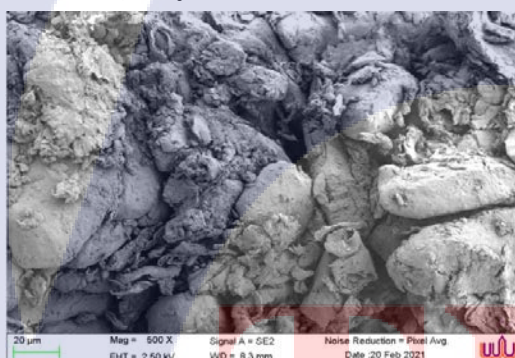
(อุณหภูมิ 160°C , ความชื้น 5%)



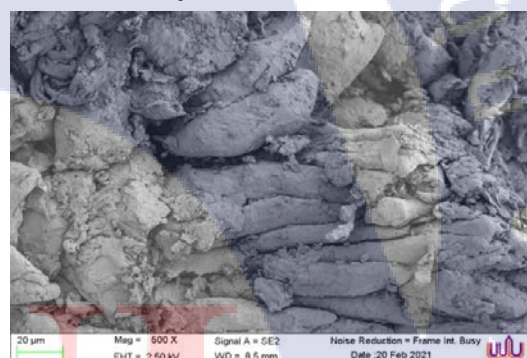
(อุณหภูมิ 180°C , ความชื้น 0%)



(อุณหภูมิ 180°C , ความชื้น 5%)



(อุณหภูมิ 190°C , ความชื้น 0%)



(อุณหภูมิ 190°C , ความชื้น 5%)

รูปที่ 4.9 ลักษณะพื้นผิวที่มีความชื้น 0% และ 5% ที่อุณหภูมิ 160°C - 190°C ที่กำลังขยาย 500 เท่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต แบ่งเป็น 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 190°C 180°C และ 160°C ความชื้นในชิ้นงาน แบ่งเป็น 5 เงื่อนไข ได้แก่ 0 wt% 5 wt% 10 wt% 15 wt% และ 20 wt% และเวลาที่ใช้ในการผลิตอยู่ที่ 15 นาที และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) สมบัติทางความร้อน (Calorific Property) ได้แก่ ค่าความร้อน (Calorific Value) และสมบัติทางกล (Mechanical Property) ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกะลามะพร้าว ซึ่งสามารถสรุปการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิในการขึ้นรูป ในช่วง 160 - 190°C มีผลต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพเล็กน้อย ในกรณีที่วัตถุดิบมีความชื้นต่ำกว่า 5 wt% ขณะที่เมื่อวัตถุดิบมีความชื้น 10 wt% ขึ้นไป พบว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ชัดเจน โดยเมื่อใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงขึ้นในช่วง 0 - 5 wt% จะส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น และมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อความชื้นสูงกว่า 5 wt% โดยค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพมีค่าสูงสุดประมาณ 1.25 g/cm³ เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 20 wt% โดยใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปในช่วง 160 - 180°C นอกจากนี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปในช่วง 160 - 180°C ที่เวลาการขึ้นรูปและความดันในการขึ้นรูปคงที่ที่ 15 นาที และ 16 MPa ตามลำดับ จะได้ถ่านชีวภาพที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 1.1 g/cm³ ซึ่งเหมาะสมในการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านโค้ก หรือถ่านหินในอุตสาหกรรม

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด

อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C และ 180°C ความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นในช่วง 0 - 5 wt% แต่จะมีค่าลดลงเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นสูงกว่า 5 wt% ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 190 °C ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นเพิ่ม โดยมี 4 กรณีที่ได้ถ่านชีวภาพที่มีความต้านทานแรงอัดสูงสุดสูงกว่า 20 MPa ตามเป้าหมายในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม คือ (1) กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 5 wt% ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C (2) กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 10 wt% ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160°C

(3) กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 15 wt% ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 190°C (4) กะลามะพร้าวที่มีความชื้น 20 wt% ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 190°C

5.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อน

ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ได้จากกะลามะพร้าวที่มีความชื้น 5 - 10 wt% ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่จะมีค่าความร้อนลดลงเมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นสูงกว่า 10 wt% โดยค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ในทุกกรณีมีค่าความร้อนสูงกว่า 16.7 MJ/kg ตามเป้าหมายในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 180°C จะได้ค่าความร้อนที่สูงกว่าที่อุณหภูมิ 160°C และ 190°C โดยมีค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 19.8 MJ/kg เมื่อใช้กะลามะพร้าวที่มีความชื้นและทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180°C

5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง

เนื่องจากในการศึกษานี้ยังพบปัญหาในการผลิตถ่านชีวภาพ เช่น การแตกหักของชิ้นงาน และได้ถ่านชีวภาพที่ยังมีความหนาแน่นและความแข็งแรงตามเป้าหมายในการนำไปใช้อุตสาหกรรม เพียงบางกรณี จึงมีข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในการผลิต เพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

- 1) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ได้ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่สภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน
- 2) ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการผลิตอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ผลกระทบของเวลาและความดันในการขึ้นรูป อัตราการลดอุณหภูมิหลังการขึ้นรูป เป็นต้น
- 3) ทำการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากกะลามะพร้าว โดยผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิเช่น กากกาแฟ ซึ่งมีอยู่มากในประเทศไทย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของถ่านชีวภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก

TNI

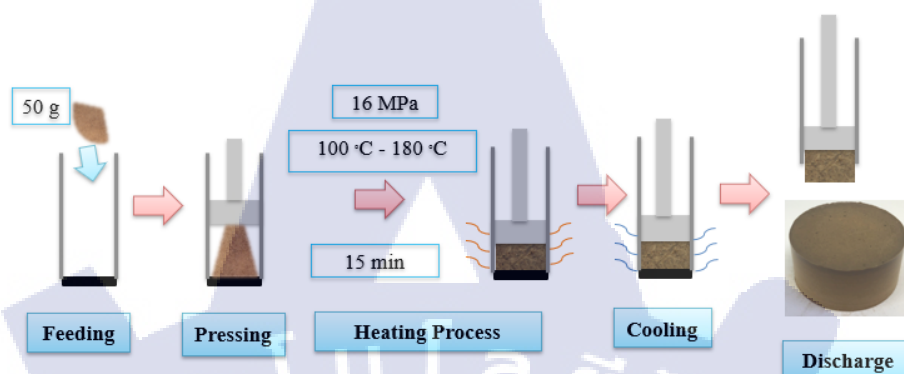
ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการผลิตผ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง

TNI

ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง

ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ แสดงในรูป ก.1



รูปที่ ก.1 ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ

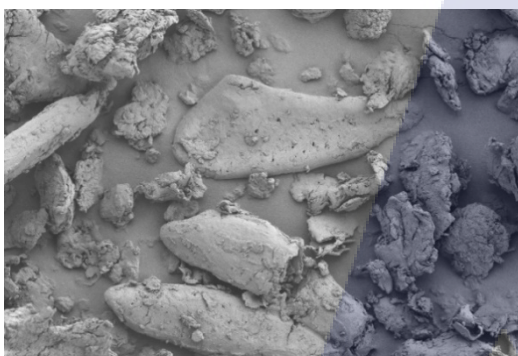
ขั้นตอนการผลิต

1. ใส่ก้อนทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 mm สูง 30 mm จำนวน 2 ก้อน และสูง 50 mm บริเวณด้านล่างของกระบอกลูกสูบเพื่อรองรับวัตถุดิบ
2. ใส่วัตถุดิบ 50 กรัม ใส่ในกระบอกลูกสูบ จากนั้นนำก้อนทองเหลืองที่มีรูใส่เทอร์โมคัปเปิลลงด้านบน
3. นำลูกสูบมาใส่ด้านบน เพื่อกดก้อนทองเหลืองจากนั้นกดด้วยไฮดรอลิกจนได้ความดันที่ 16 MPa
4. นำฮีตเตอร์ไฟฟ้ามาครอบกระบอกลูกสูบ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ
5. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดนำฮีตเตอร์ไฟฟ้าออก และรอให้อุณหภูมิกระบอกลูกสูบลดลง
6. นำถ่านชีวภาพออกจากกระบอกลูกสูบ

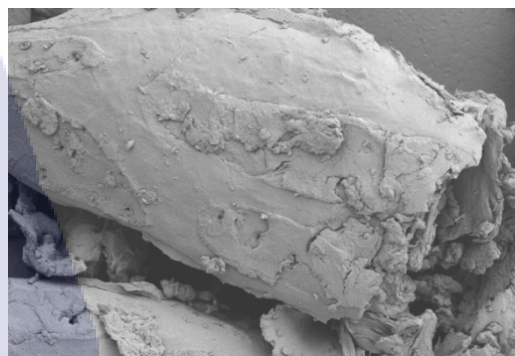
ภาคผนวก ข.

ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของลักษณะพื้นผิวของกะลามะพร้าว

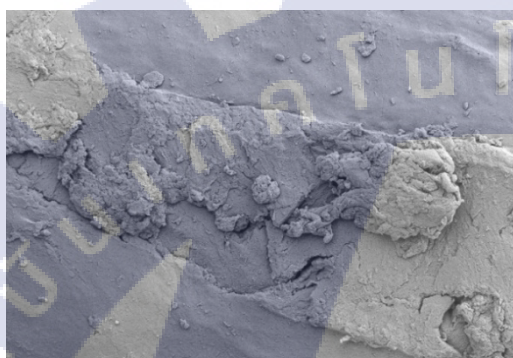
TNI



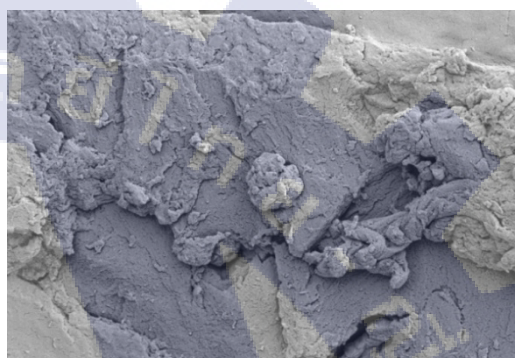
(A : กำลังขยาย 500 เท่า)



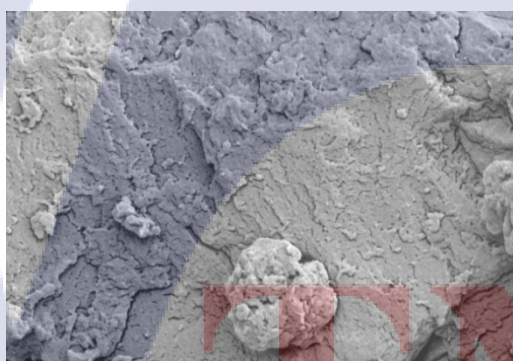
(B : กำลังขยาย 2,000 เท่า)



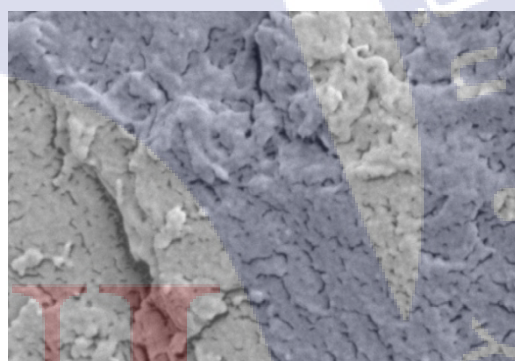
(E : กำลังขยาย 5,000 เท่า)



(F : กำลังขยาย 10,000 เท่า)

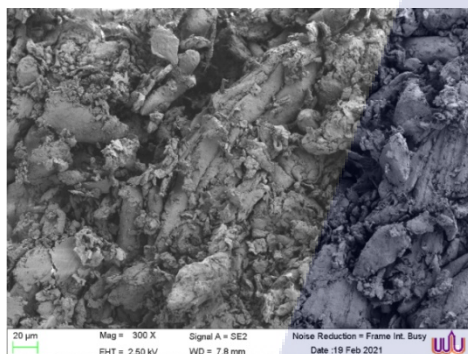


(G : กำลังขยาย 20,000 เท่า)

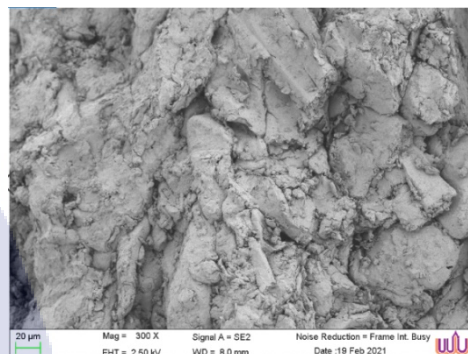


(H : กำลังขยาย 50,000 เท่า)

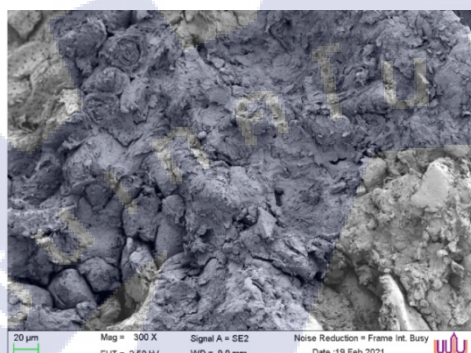
รูปที่ ข.1 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยายขนาดต่างๆ ของกะลามะพร้าว ก่อนทำการขึ้นรูป



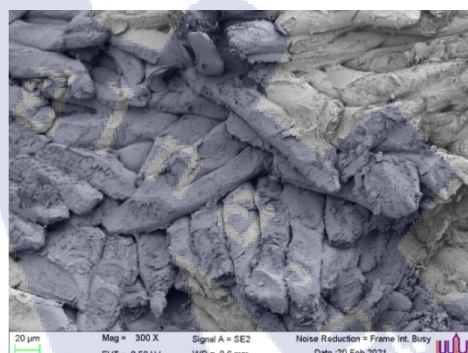
(A : ความชื้น 0%)



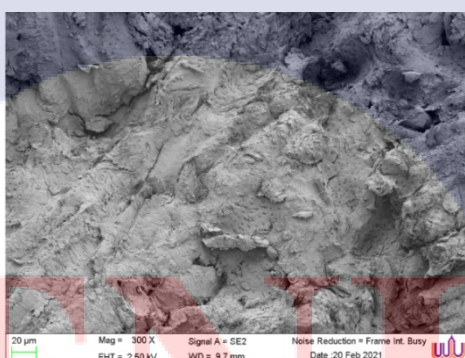
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

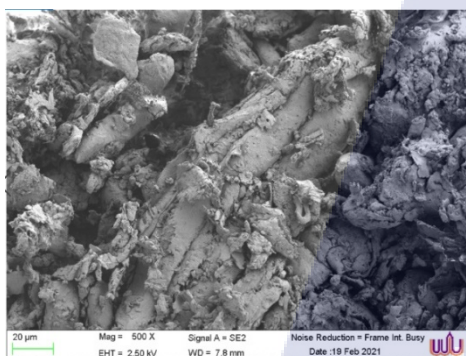


(D : ความชื้น 15%)

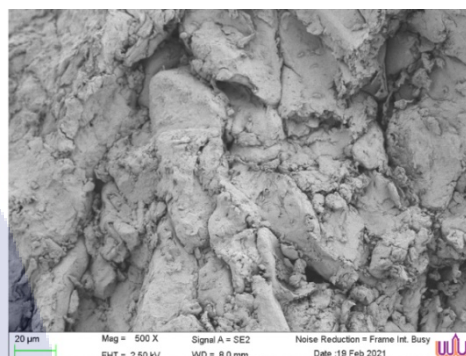


(G : ความชื้น 20%)

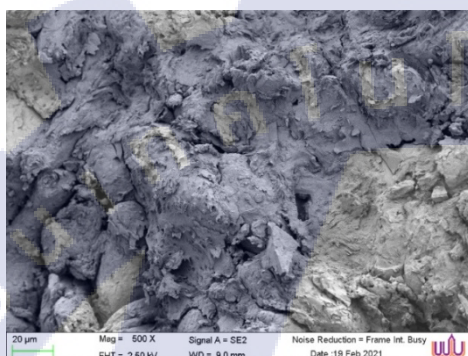
รูปที่ ข.2 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



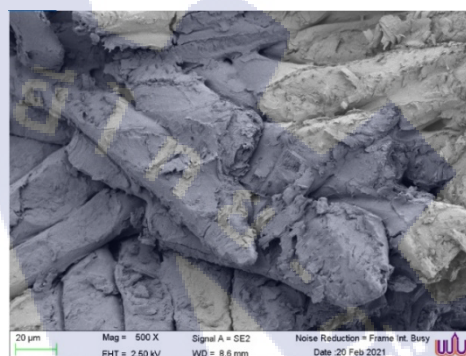
(A : ความชื้น 0%)



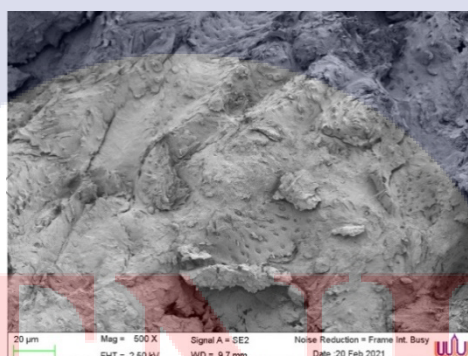
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

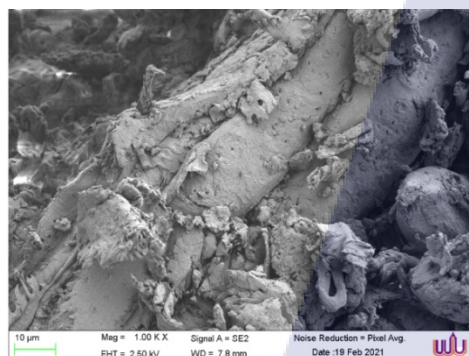


(D : ความชื้น 15%)

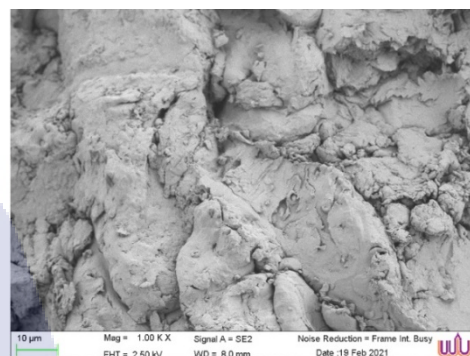


(G : ความชื้น 20%)

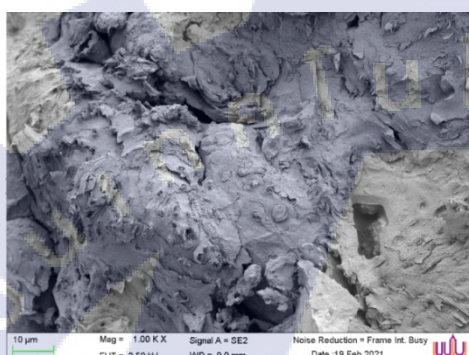
รูปที่ ข.3 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



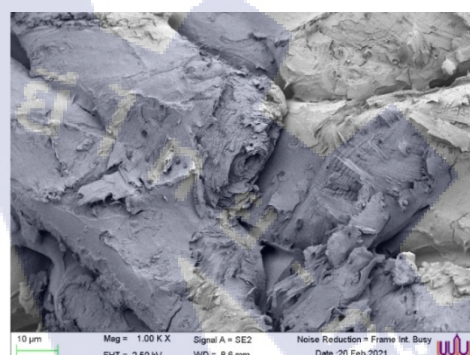
(A : ความชื้น 0%)



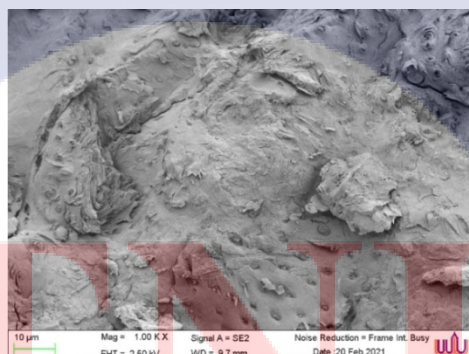
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

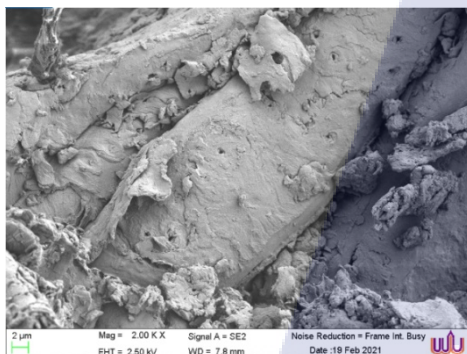


(D : ความชื้น 15%)

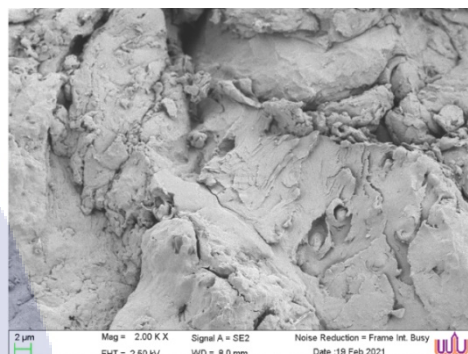


(G : ความชื้น 20%)

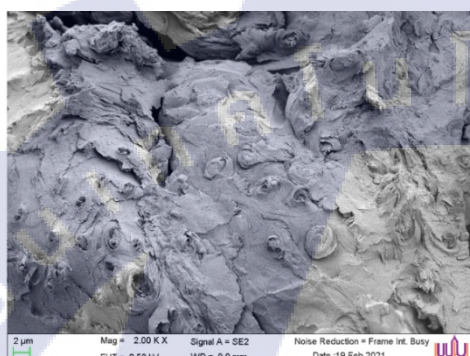
รูปที่ ข.4 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



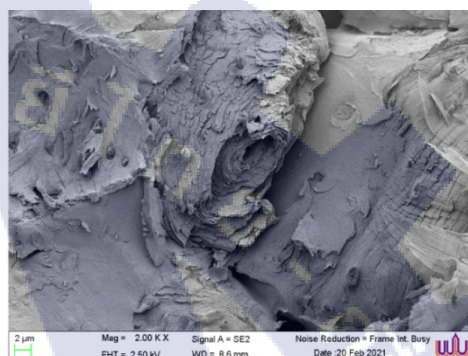
(A : ความชื้น 0%)



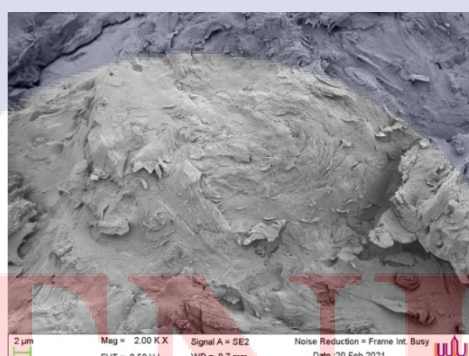
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

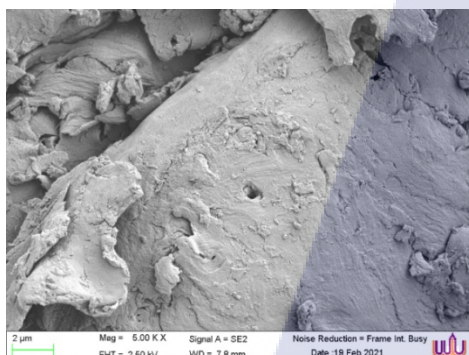


(D : ความชื้น 15%)

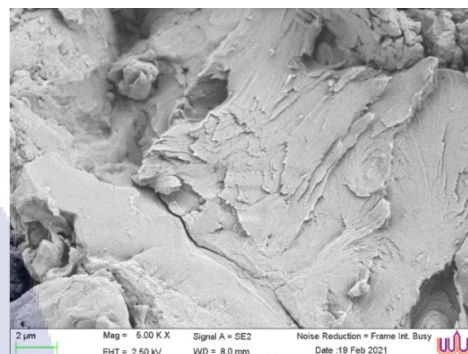


(G : ความชื้น 20%)

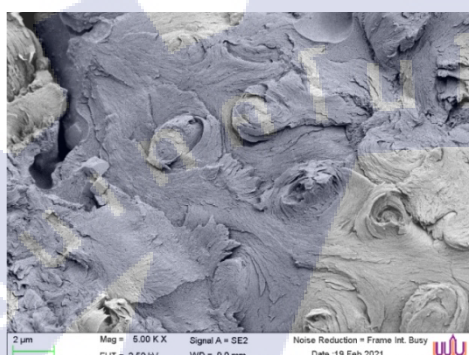
รูปที่ ข.5 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



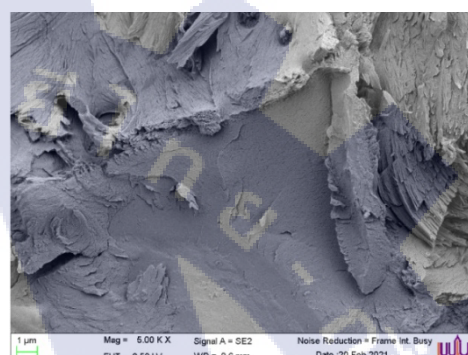
(A : ความชื้น 0%)



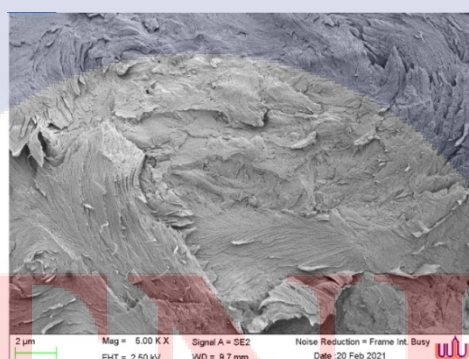
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

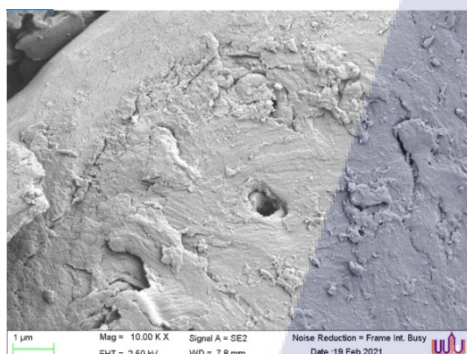


(D : ความชื้น 15%)

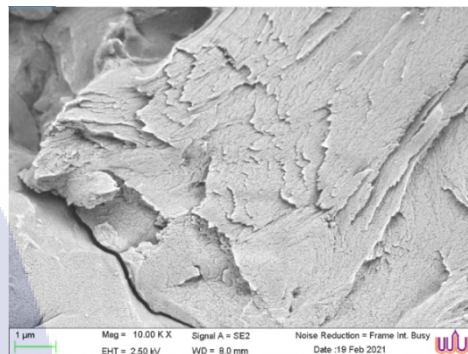


(G : ความชื้น 20%)

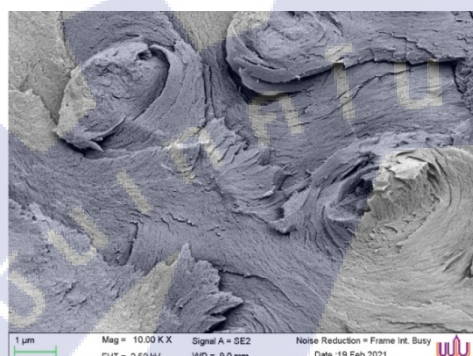
รูปที่ ข.6 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



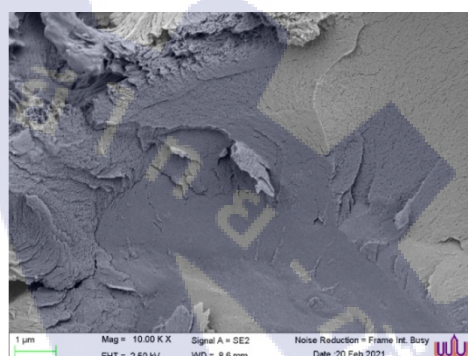
(A : ความชื้น 0%)



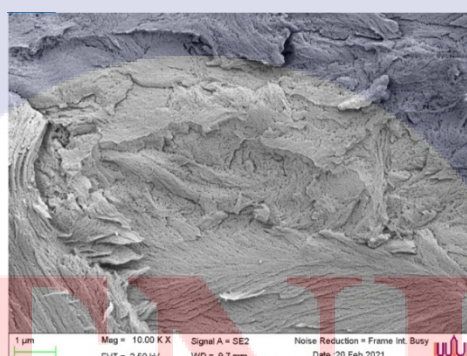
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

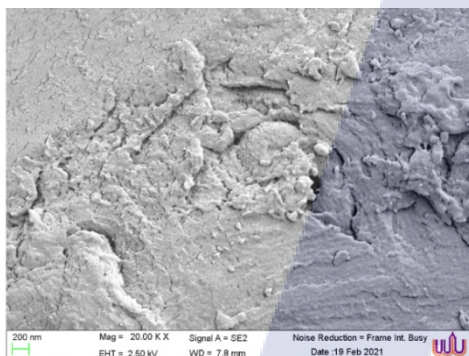


(D : ความชื้น 15%)

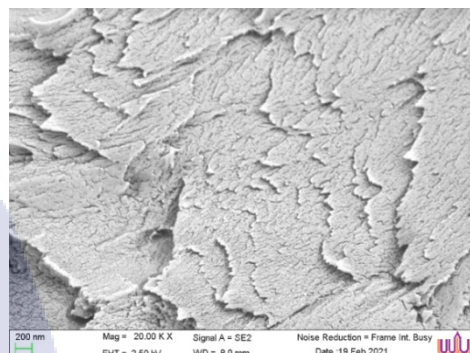


(G : ความชื้น 20%)

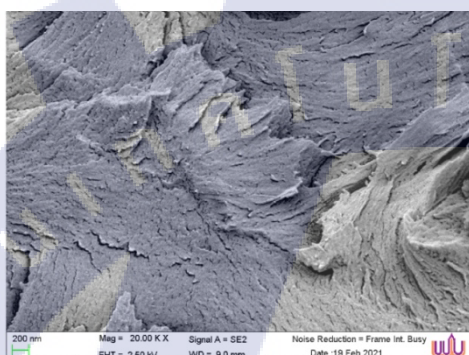
รูปที่ ข.7 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



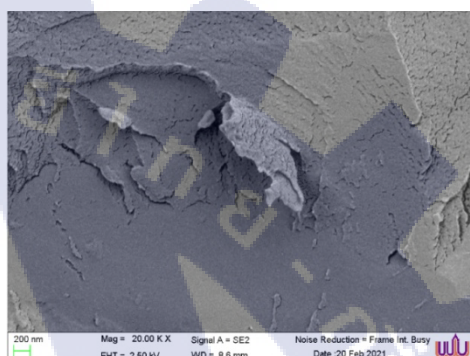
(A : ความชื้น 0%)



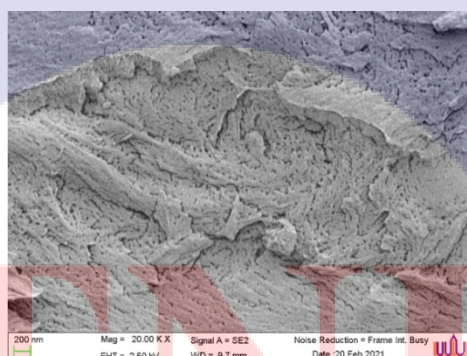
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

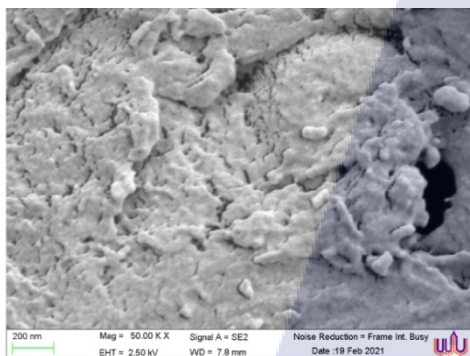


(D : ความชื้น 15%)

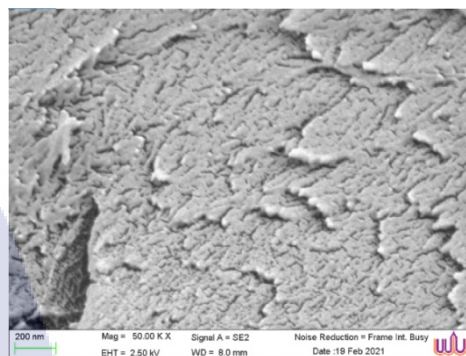


(G : ความชื้น 20%)

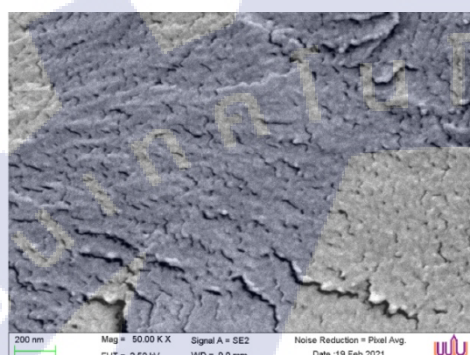
รูปที่ ข.8 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



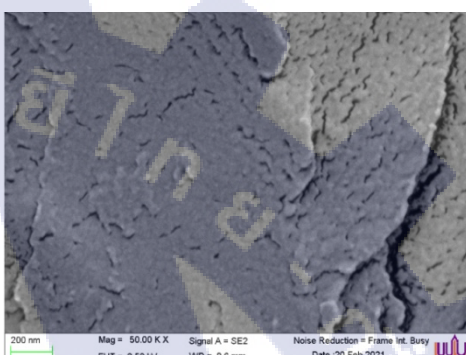
(A : ความชื้น 0%)



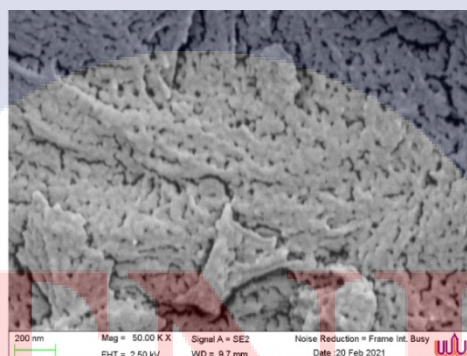
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

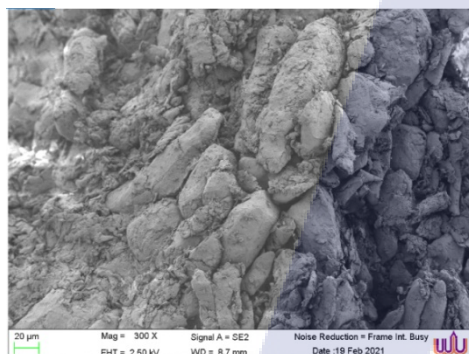


(D : ความชื้น 15%)

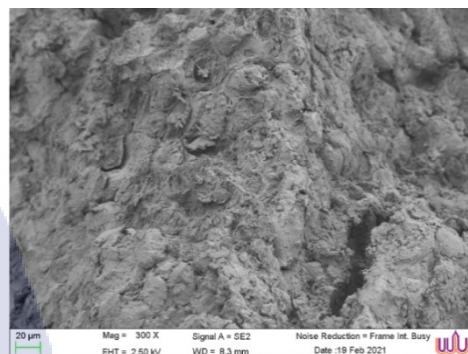


(E : ความชื้น 20%)

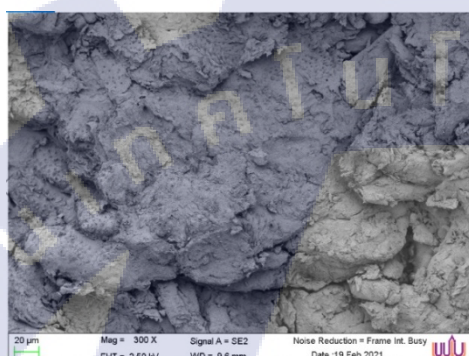
รูปที่ ข.9 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



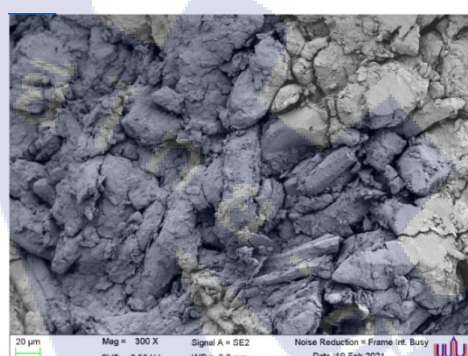
(A : ความชื้น 0%)



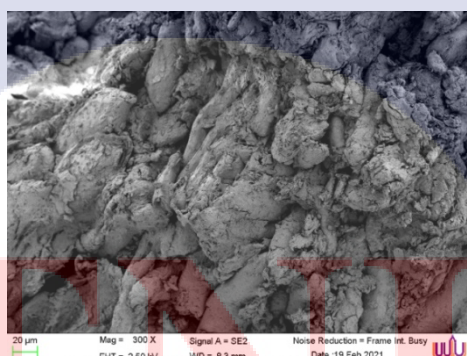
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

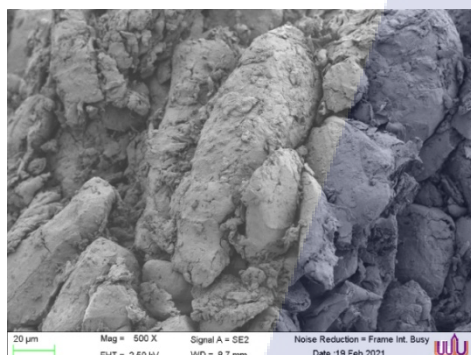


(D : ความชื้น 15%)

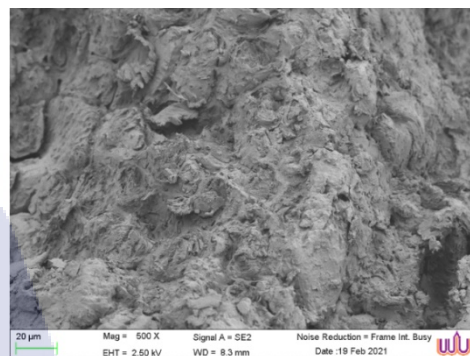


(G : ความชื้น 20%)

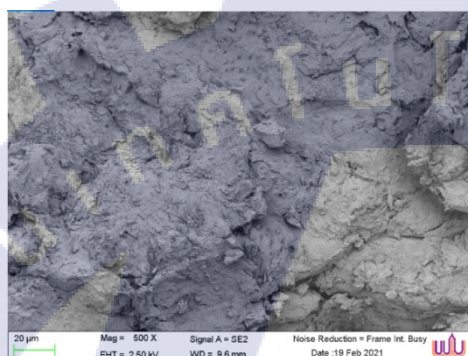
รูปที่ ข.10 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



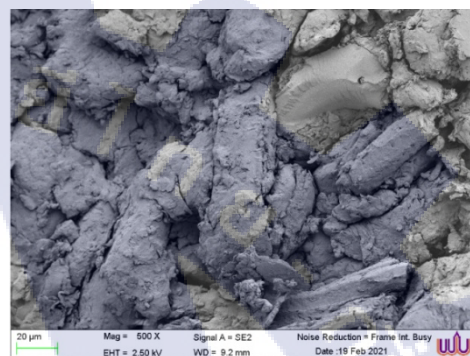
(A : ความชื้น 0%)



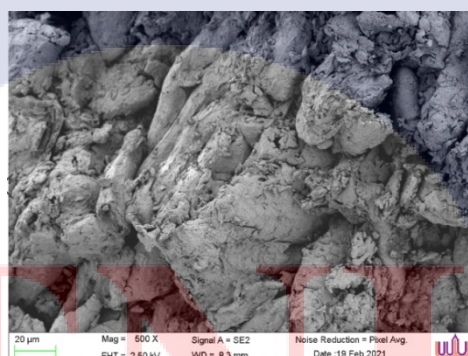
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

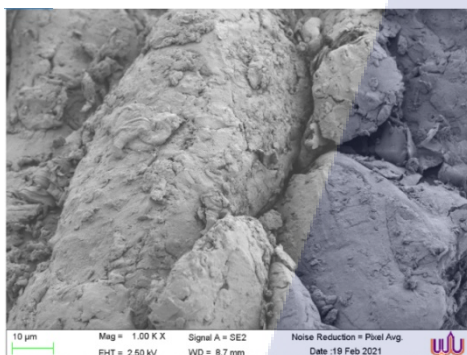


(D : ความชื้น 15%)

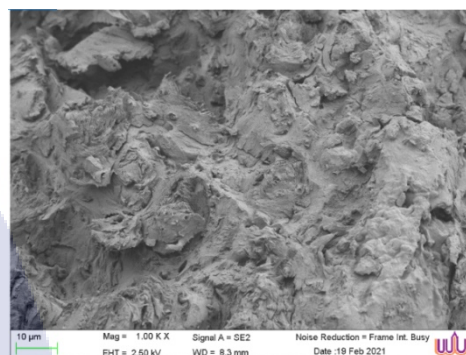


(G : ความชื้น 20%)

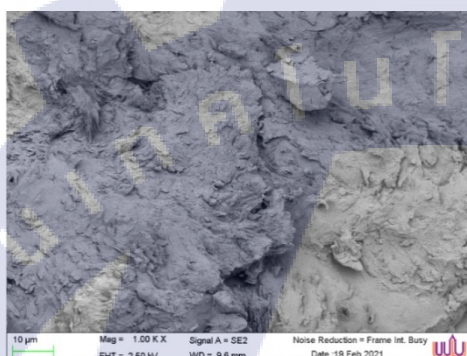
รูปที่ ข.11 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



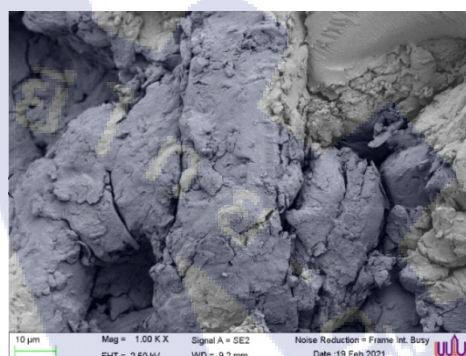
(A : ความชื้น 0%)



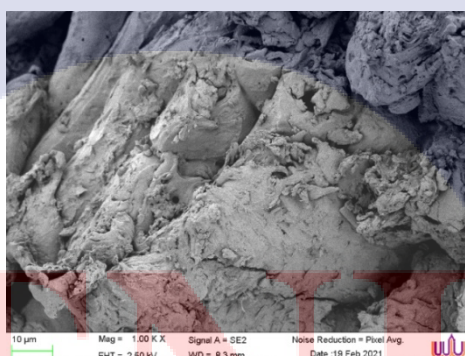
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

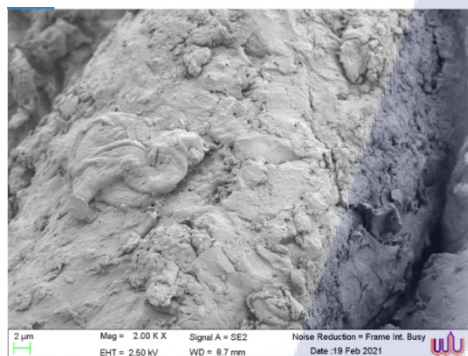


(D : ความชื้น 15%)

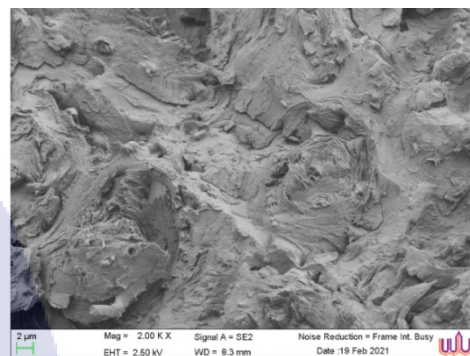


(G : ความชื้น 20%)

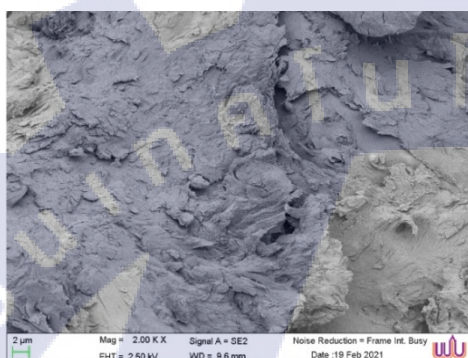
รูปที่ ข.12 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



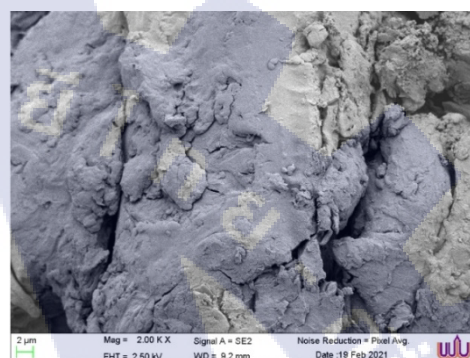
(A : ความชื้น 0%)



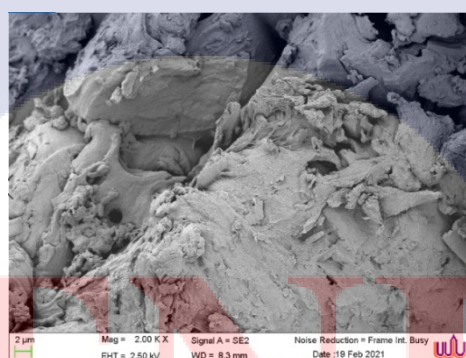
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

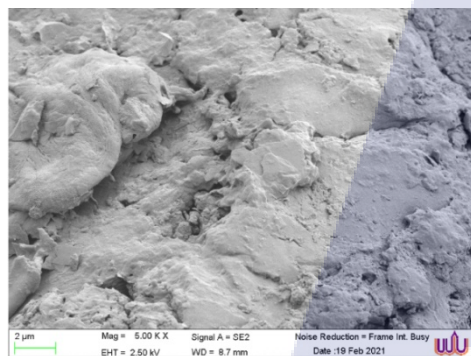


(D : ความชื้น 15%)

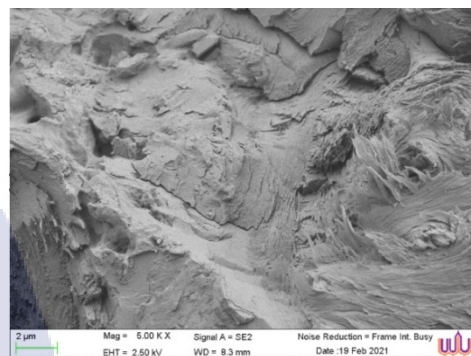


(G : ความชื้น 20%)

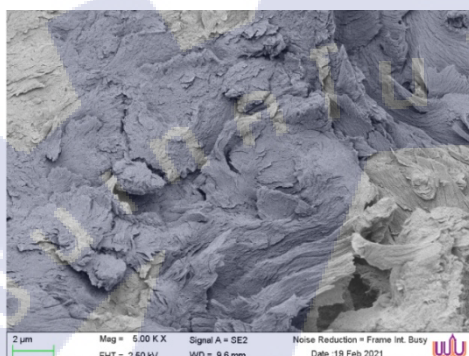
รูปที่ ข.13 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



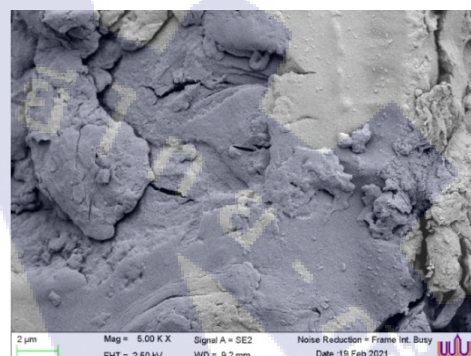
(A : ความชื้น 0%)



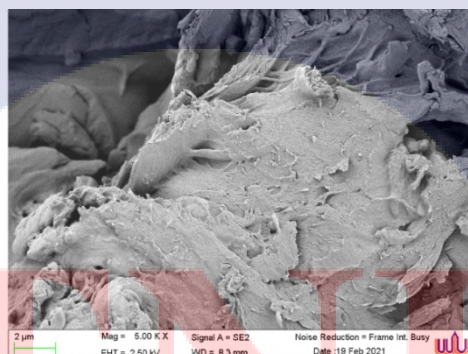
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

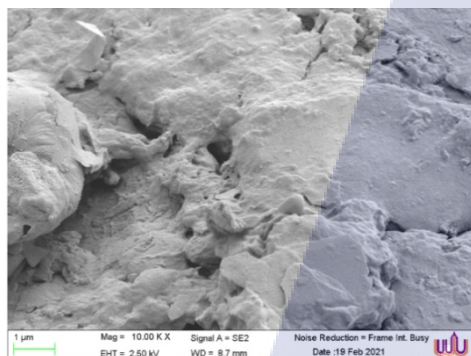


(D : ความชื้น 15%)

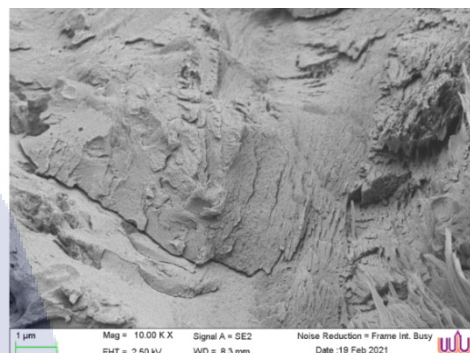


(G : ความชื้น 20%)

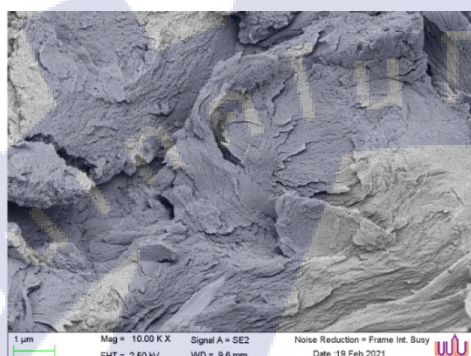
รูปที่ ข.14 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



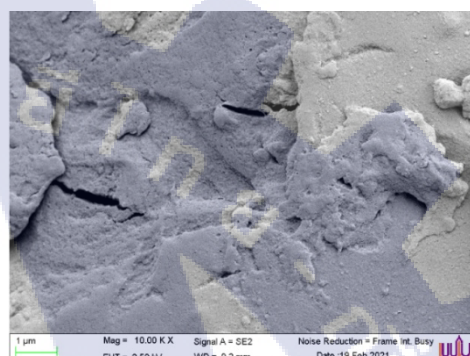
(A : ความชื้น 0%)



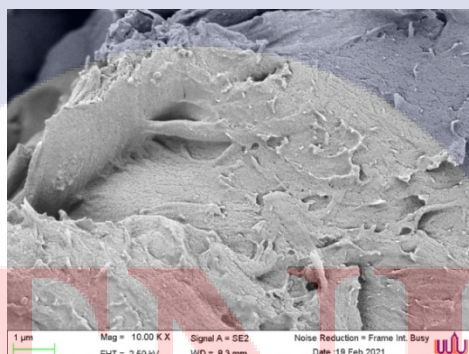
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

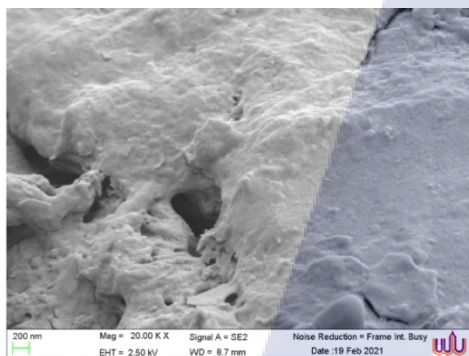


(D : ความชื้น 15%)

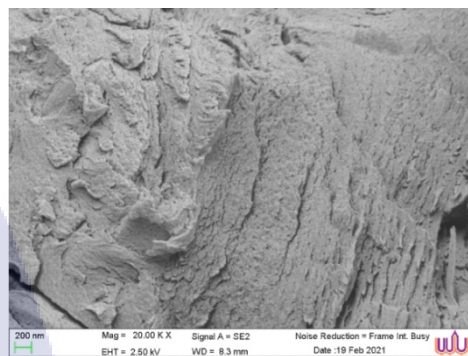


(G : ความชื้น 20%)

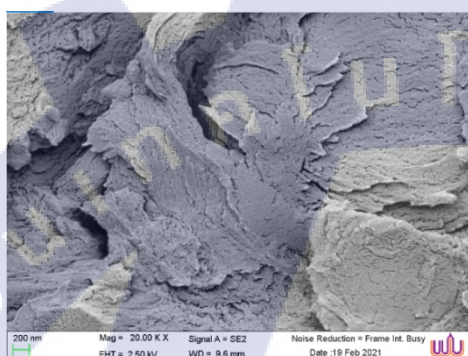
รูปที่ ข.15 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



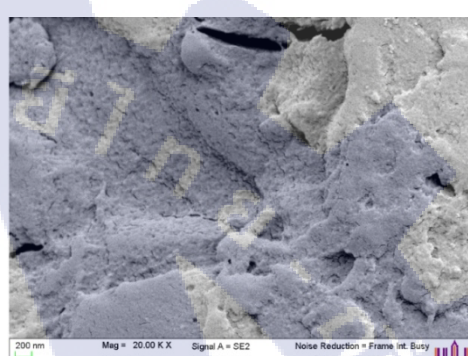
(A : ความชื้น 0%)



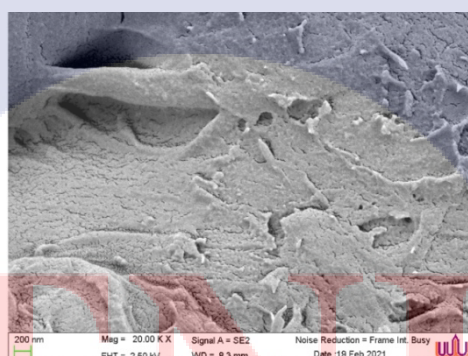
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

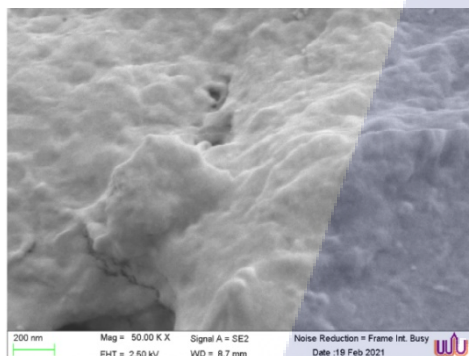


(D : ความชื้น 15%)

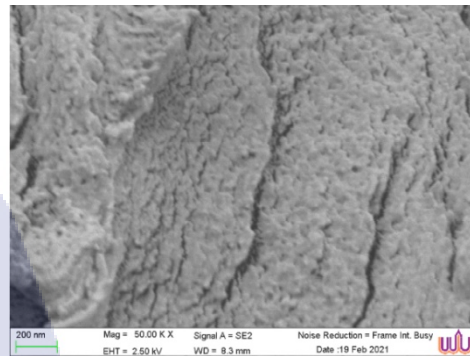


(G : ความชื้น 20%)

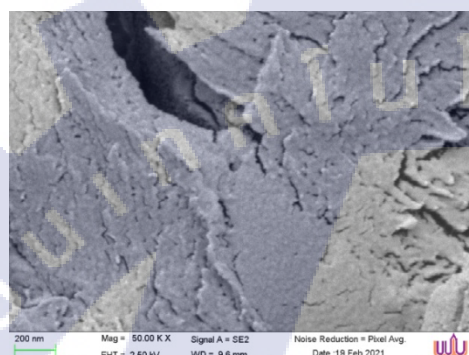
รูปที่ ข.16 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



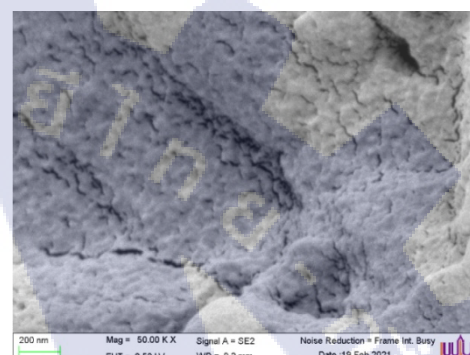
(A : ความชื้น 0%)



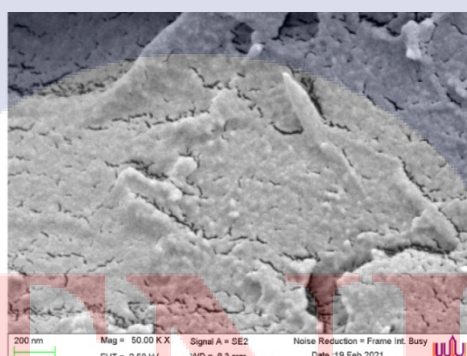
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

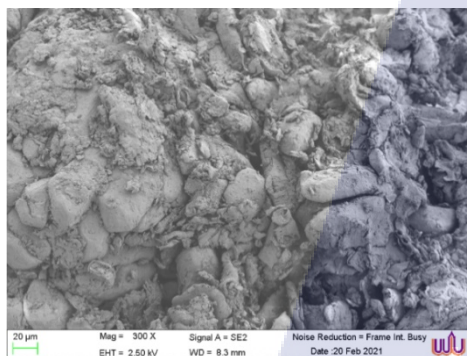


(D : ความชื้น 15%)

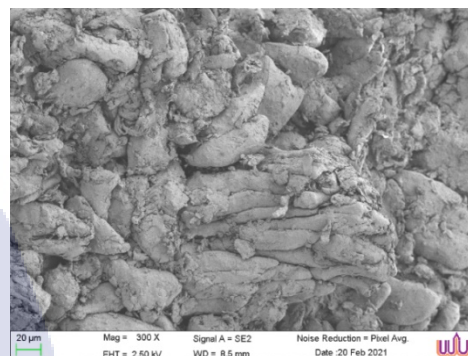


(G : ความชื้น 20%)

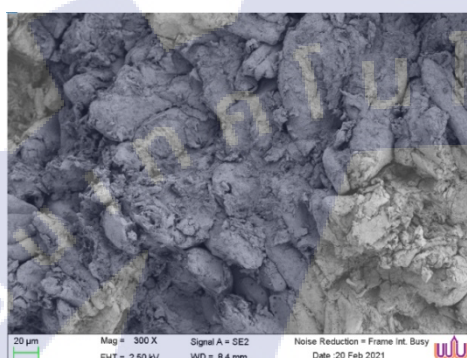
รูปที่ ข.17 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



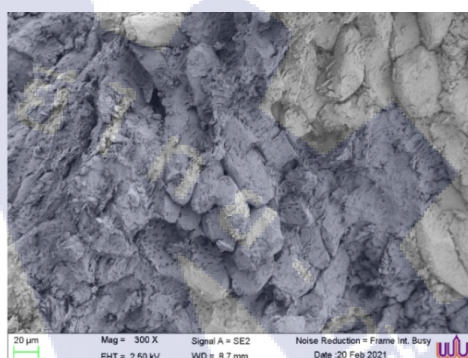
(A : ความชื้น 0%)



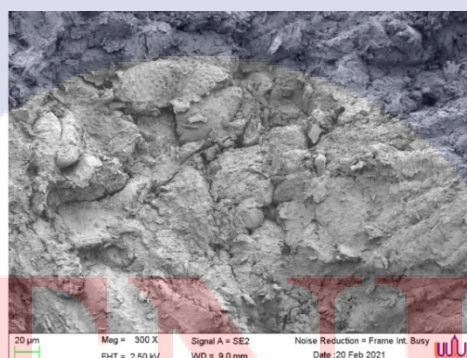
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

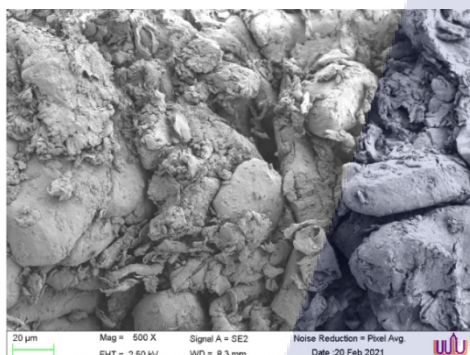


(D : ความชื้น 15%)

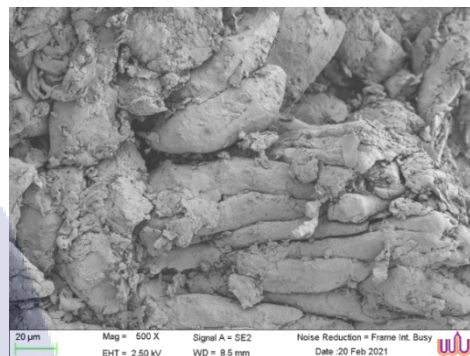


(G : ความชื้น 20%)

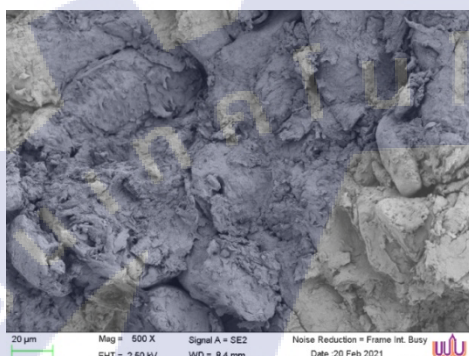
รูปที่ ข.18 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 300 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



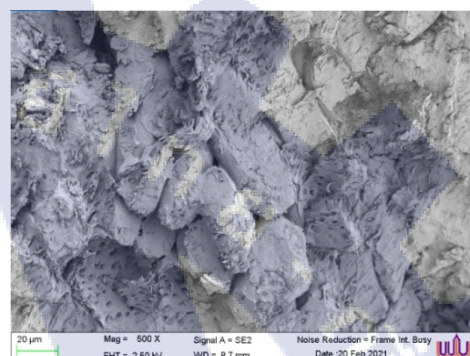
(A : ความชื้น 0%)



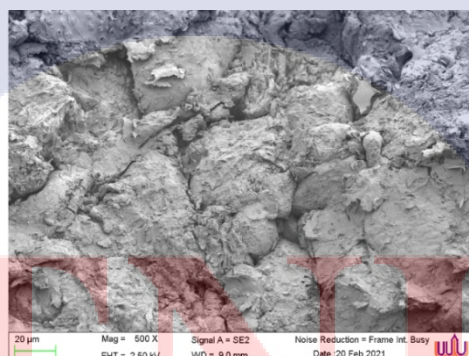
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

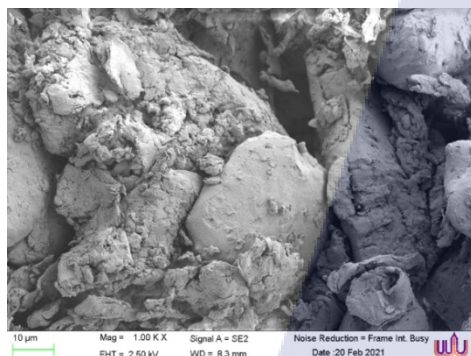


(D : ความชื้น 15%)

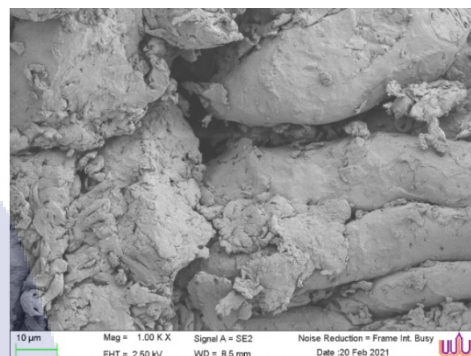


(G : ความชื้น 20%)

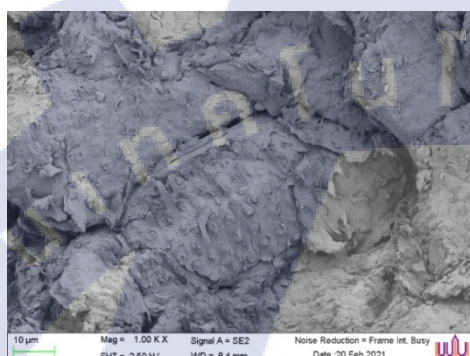
รูปที่ ข.19 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



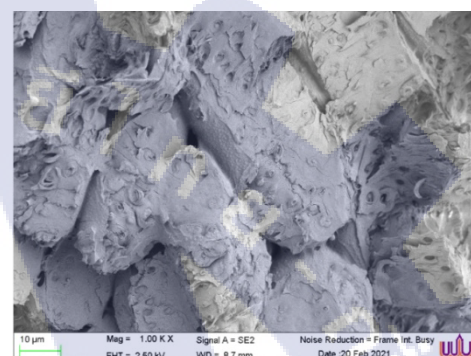
(A : ความชื้น 0%)



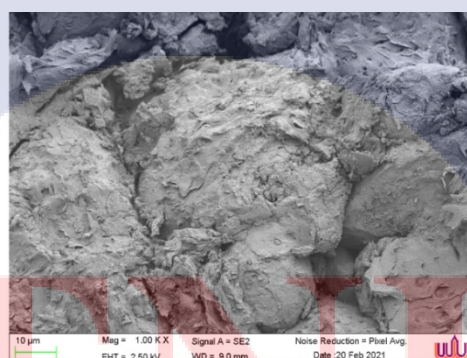
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

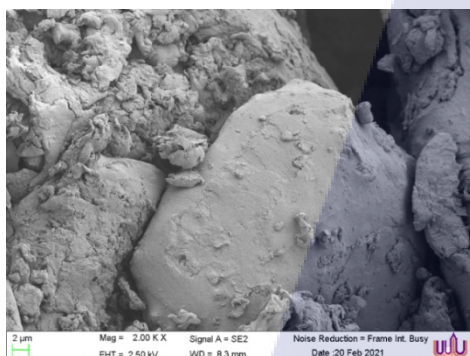


(D : ความชื้น 15%)

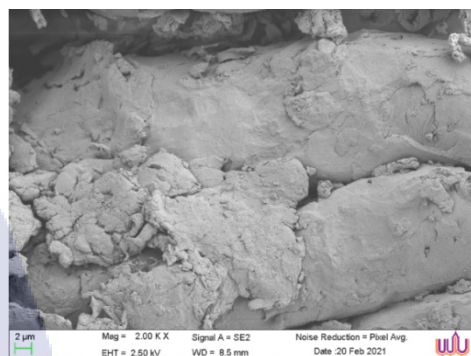


(G : ความชื้น 20%)

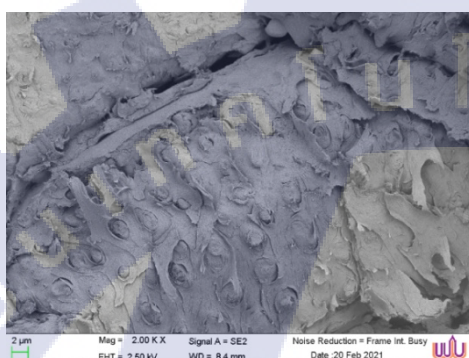
รูปที่ ข.20 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



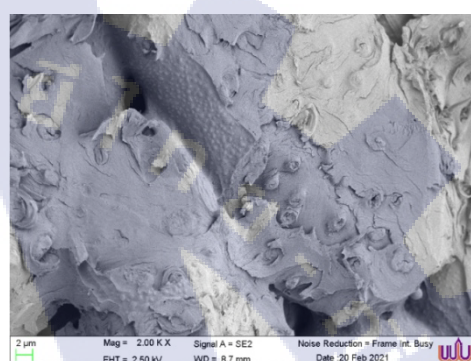
(A : ความชื้น 0%)



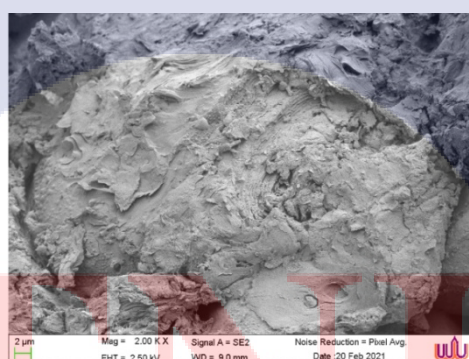
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

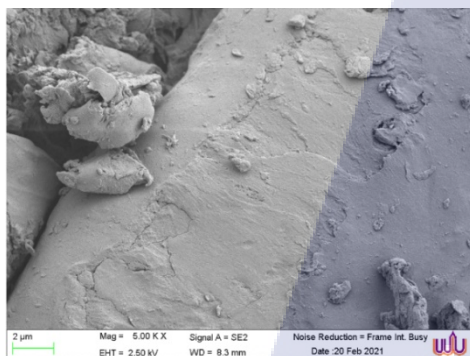


(D : ความชื้น 15%)

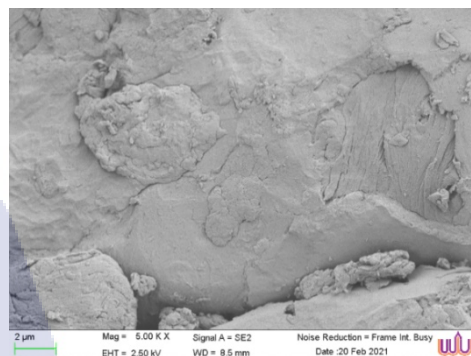


(E : ความชื้น 20%)

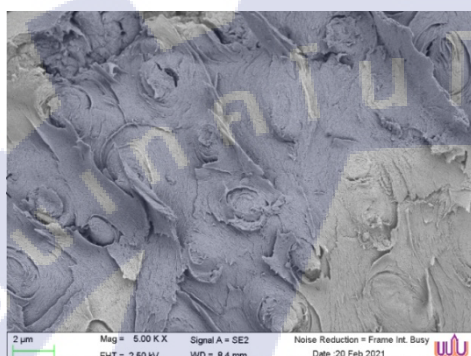
รูปที่ ข.21 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



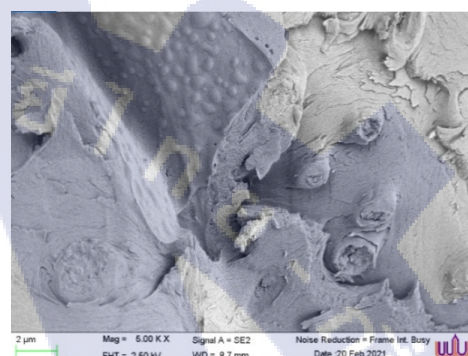
(A : ความชื้น 0%)



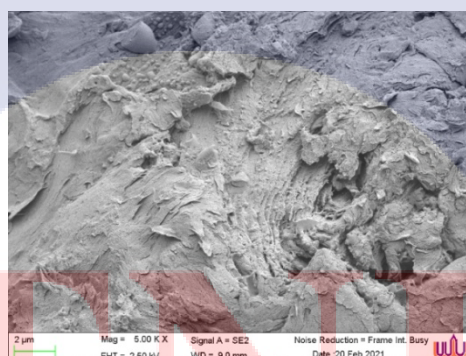
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

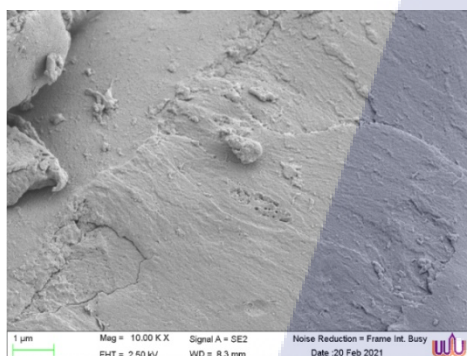


(D : ความชื้น 15%)

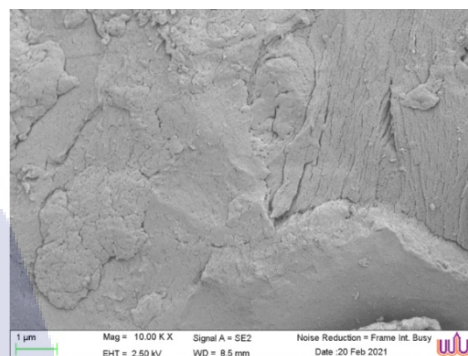


(E : ความชื้น 20%)

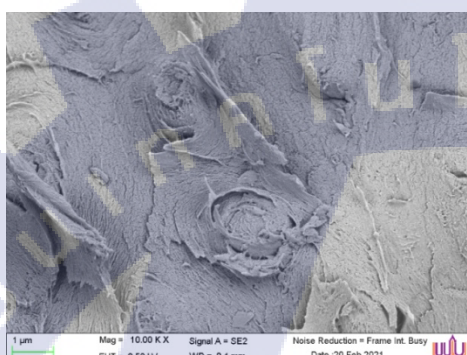
รูปที่ ข.22 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



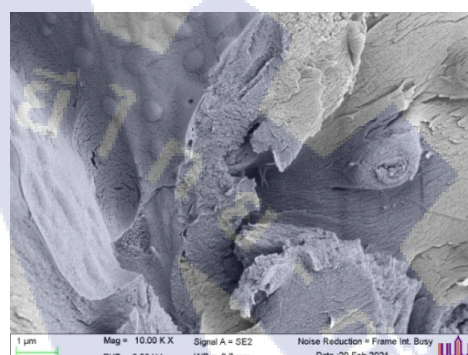
(A : ความชื้น 0%)



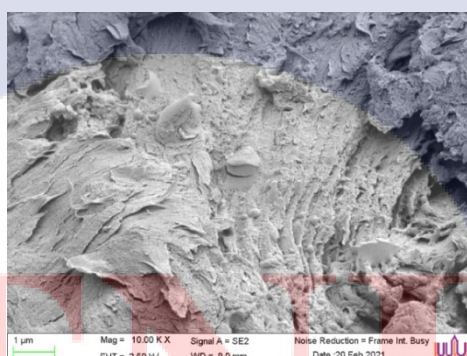
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

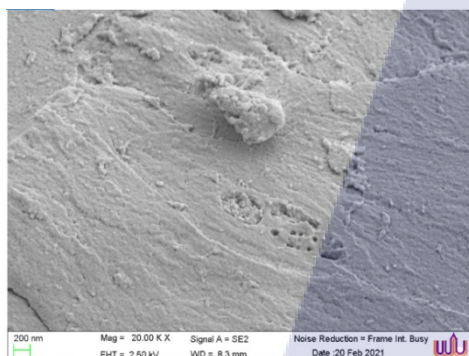


(D : ความชื้น 15%)

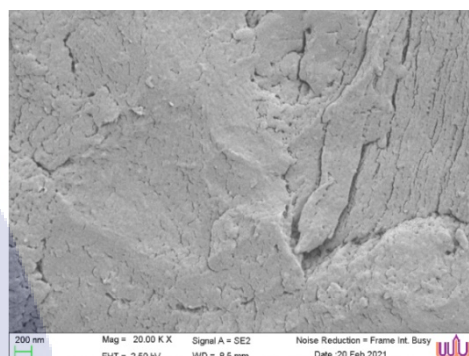


(G : ความชื้น 20%)

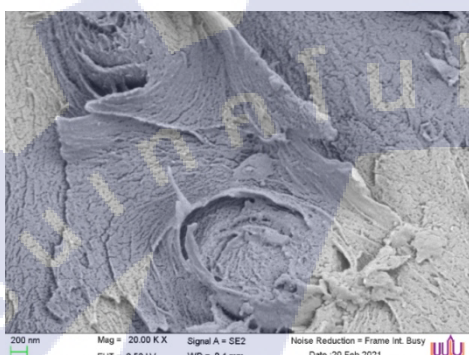
รูปที่ ข.23 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



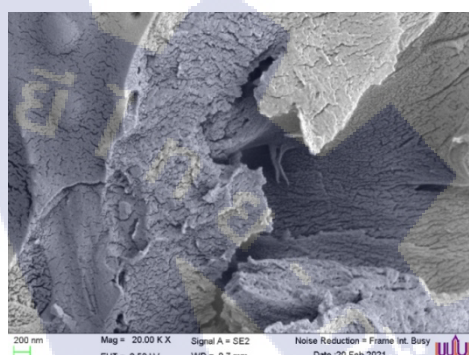
(A : ความชื้น 0%)



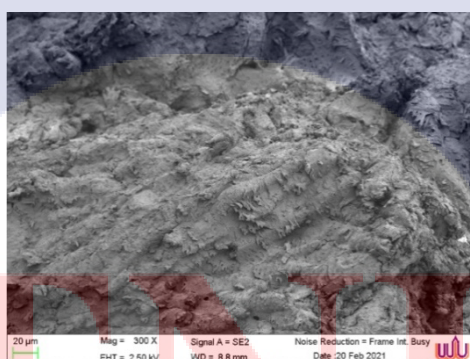
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)

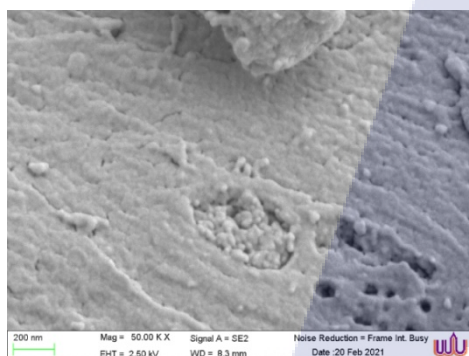


(D : ความชื้น 15%)

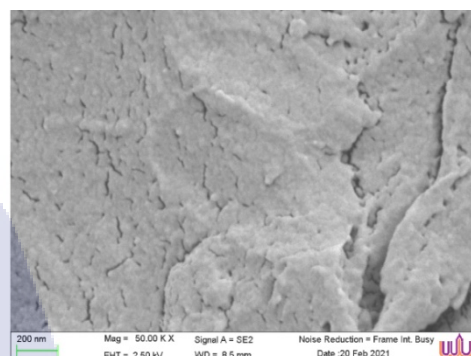


(G : ความชื้น 20%)

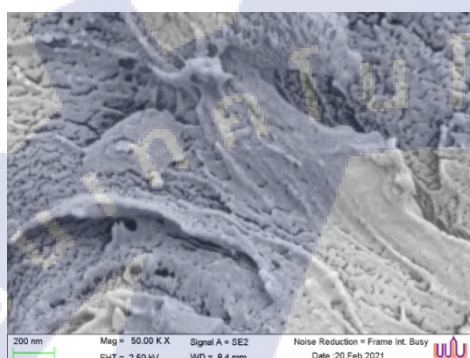
รูปที่ ข.24 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 20,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ



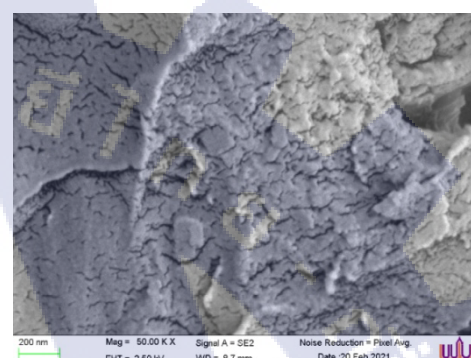
(A : ความชื้น 0%)



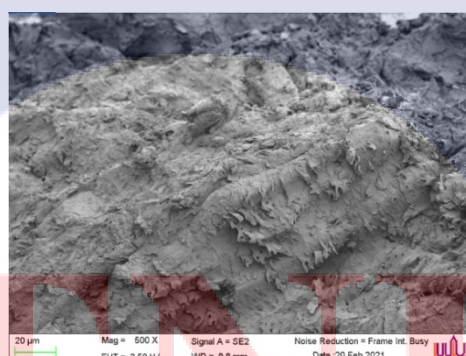
(B : ความชื้น 5%)



(C : ความชื้น 10%)



(D : ความชื้น 15%)



(G : ความชื้น 20%)

รูปที่ ข.25 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 50,000 เท่า ของถ่านชีวภาพของกะลามะพร้าว ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 ° C เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa ที่มีความชื้น 0% , 5% , 10% 15% และ 20% ตามลำดับ

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลดิบ

TNI

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลดิบสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ลักษณะชิ้นงาน			
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (wt%)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm ³)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1	160	0	2.7	48.38	50.92	0.95
2	160	0	2.7	47.42	50.92	0.93
3	160	0	2.7	48.64	50.92	0.96
4	160	5	2.2	49.37	41.49	1.19
5	160	5	2.2	49.24	41.49	1.19
6	160	5	2.2	49.10	41.49	1.18
7	160	10	2.1	49.03	39.6	1.24
8	160	10	2.1	49.19	39.6	1.24
9	160	10	2.1	49.1	39.6	1.24
10	160	15	2.1	48.49	39.6	1.23
11	160	15	2.1	48.92	39.6	1.24
12	160	15	2.1	48.80	39.6	1.23
13	160	20	2.0	47.05	37.71	1.25
14	160	20	2.0	47.64	37.71	1.25
15	160	20	2.0	47.15	37.71	1.25
16	180	0	2.5	49.23	47.14	1.04
17	180	0	2.5	49.27	47.14	1.05
18	180	0	2.5	49.2	47.14	1.04
19	180	5	2.1	49.13	39.60	1.24
20	180	5	2.1	49.07	39.60	1.24
21	180	5	2.1	48.93	39.60	1.23
22	180	10	2.1	48.96	39.60	1.24

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลคุณสมบัติสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน(ต่อ)

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป			ลักษณะชิ้นงาน		
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (wt%)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm ³)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
23	180	10	2.1	48.7	39.60	1.24
24	180	10	2.1	48.84	39.60	1.24
25	180	15	2.1	48.57	39.60	1.24
26	180	15	2.1	49.58	39.60	1.25
27	180	15	2.1	49.30	39.60	1.25
28	180	20	2.0	48.52	37.71	1.29
29	180	20	2.0	48.30	37.71	1.28
30	180	20	2.0	48.63	37.71	1.29
31	190	0	2.5	49.65	47.14	1.05
32	190	0	2.5	49.6	47.14	1.05
33	190	0	2.5	49.63	47.14	1.05
34	190	5	2.3	47.92	43.37	1.10
35	190	5	2.3	47.91	43.37	1.10
36	190	5	2.3	47.78	43.37	1.10
37	190	10	2.1	48.66	39.60	1.23
38	190	10	2.1	48.57	39.60	1.23
39	190	10	2.1	48.59	39.60	1.23
40	190	15	2	46.59	37.71	1.24
41	190	15	2	46.81	37.71	1.24
42	190	15	2	46.90	37.71	1.24
43	190	20	2	45.48	36.19	1.26
44	190	20	2	45.25	36.19	1.25
45	190	20	2	45.12	36.19	1.25

สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น
THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579, กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558.
- [2] พลาพรรณ คำพรรณ, การใช้พลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย, กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2554.
- [3] กระทรวงพลังงาน, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม - ธันวาคม 2562, กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562.
- [4] กระทรวงพลังงาน, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2562, กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562.
- [5] กระทรวงพลังงาน, “ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย,” [Online]. Available : https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=48. [Accessed: December 26, 2020].
- [6] สุพิชญา เชิดเกียรติกุล, “ผลกระทบสถานะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [7] อัมพิกา จันทรทองอิน, “ผลกระทบของขนาดอนุภาคต่อสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากไม้กระถินยักษ์สับ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2559.
- [8] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, “ข้อมูลการผลิตมะพร้าวปี 2562,” [Online]. Available : <http://mis-app.oae.go.th/product> [Accessed: April 3, 2021].
- [9] สถาบันพลาสติก, “เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน/เชื้อเพลิงจากเศษไม้,” [Online]. Available : <http://www.krtc.ac.th/html/images/stories/chapter2.pdf>. [Accessed: January 25, 2021].
- [10] วิทยาลัยเทคนิคกันทรารมย์, “หน่วยที่2 เชื้อเพลิงแข็ง,” (เอกสารประกอบการสอนวิชาเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น), [Online]. Available <http://www.krtc.ac.th/hrml/images> [Accessed: January 25, 2021].
- [11] อรุณี ศุภสินสาธิต, “พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง,” วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 16, เล่มที่ 2, หน้า 36-42, เมษายน-มิถุนายน 2555.
- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “Proximate Analysis / การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร,” [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0455/proximateanalysis>. [Accessed: December 1, 2020].

- [13] กระทรวงพลังงาน, *ผลการวิเคราะห์ของพืชพลังงาน พ.ศ. 2550*, กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2560.
- [14] เดชะ ต้นมีสุข และ วรางคณา สุขสม, *เอกสารวิชาการปฏิบัติการเคมี (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2)*, กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2553.
- [15] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, “การทดสอบแรงดึง,” [Online]. Available: <http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/TensileTest.php>. [Accessed: March 12, 2020].
- [16] T. Sawai et al., “Compressive Strength properties of bio-solid fuel made from pruned branch,” *Journal of High Temperature Society*, vol. 36, no. 1, pp. 36-40, January 2010.
- [17] S. Mizuno et al., “Formation characteristics of high density and high hardness new briquette based on herby biomass,” *Journal of Japan Institute of Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 41-47, January 2012.
- [18] Y. Torii et al., “Forming characteristics of bio-coke with a mixture of bamboo and carbonized Japanese cedar,” *Smart Process*, vol.1, no 2, pp. 63-70, January 2013.
- [19] Mizuho Information and Research Institute, “FY 2014 Project for Promoting the Spread of Technologies to Counter Global Warming (Feasibility Study of Biocoke technology JCM project in Thailand) Report,” Tokyo, Japan: Nira’s world, 2015.
- [20] จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพอัดแท่งจากเศษวัสดุทางการเกษตรและอุตสาหกรรมแปรรูปไม้, กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2562.
- [21] F.Mobarak, Y. Fahmy, and H. Augustin, “Binderless lignocellulose composite from bagasse and mechanism of self-bonding,” *Holzforschung*, vol. 36, no. 3, pp. 131 – 135, January 1982.
- [22] S. Frodeson, G. Henriksson and J. Berghel, “Effects of moisture content during densification of biomass pellets, focusing on polysaccharide substances,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 122, no. 048, pp. 322-330, January 2019.
- [23] P.Saisermasak, and J. Chaichanawong, “Effect of forming temperature on properties of biocoke from palm oil residues,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 778, Art. no. 012025, pp. 3-6, doi:10.1088/1757-899X/778/1/012025.

ประวัติย่อผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล

นางสาววิศรา เลอศิลป์

วัน-เดือน-ปีเกิด

30 พฤศจิกายน 2534

ที่อยู่ปัจจุบัน

25 ซอยบางแวก104 แขวงคลองขวาง
เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2563

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2553

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมยานยนต์
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน

วิศวกร

บริษัทไทยสแตนเลย์การไฟฟ้า จำกัด (มหาชน)

TNI