

ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด

ชุตินญา โอปมาวุฒิกุล

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2564

EFFECT OF FORMING CONDITIONS ON PROPERTIES OF BIOCOKE FROM CORNHUSKS

Chutiya Opamawuthikull

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 2021

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด
โดย	ชุตินา โอบมาวุฒิกุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ดร.นาวัน พิริยะเอี่ยมพิกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

.....กรรมการ
(ดร.ดอน แก้วดก)

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

ชุดิญา โอปมาวุฒิกุล: ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, 75 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการผลิตถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปและขนาดของเปลือกข้าวโพดต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 150 160 170 180 190 °C ขนาดของเปลือกข้าวโพด 0.5 1 2 เซนติเมตร กำหนดเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 15 นาที ความดันคงที่ 16MPa โดยทำการศึกษาของสภาวะในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น) สมบัติทางความร้อน (ค่าความร้อน) และสมบัติทางกล (ความต้านทานแรงอัดสูงสุด) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของถ่านชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในการขึ้นรูป และขนาดของชิ้นงาน ส่งผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ โดยค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดที่ขนาด 0.5 และ 1 เซนติเมตร จะให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่มากกว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดขนาด 2 เซนติเมตร ทั้งนี้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจะมีค่าสูงสุดจากถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160-180°C

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

CHUTIYA OPAMAWUTHIKULL: EFFECT OF FORMING ON PROPERTIES OF BIOCOKE FROM CORNHUSKS. ADVISOR : ASST. PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG, 75 PP.

In this research, biocoke was produced from cornhusks. Effects of forming temperature and size of cornhusks on properties were investigated. Forming temperature was varied at 150, 160, 170, 180 and 190 °C. Size of cornhusks were 0.5, 1 and 2 cm. Forming time and forming pressure were respectively fixed at 15 min and 6 MPa. Effect of forming conditions on physical property (density), calorific property (calorific value) and mechanical property (compressive strength) was investigated. In addition, The microstructure analysis of the surface of the biocoke was conducted by using scanning electron microscopy. It was found that forming temperature and size of cornhusks affected the properties of biocoke. The density of the biocoke which was produced from the cornhusks with 0.5 and 1 cm in length was higher than the biocoke which was produced from the cornhusks with 2 cm in length. The highest calorific value of biocoke from corn husk was obtained when the biocoke was produced from cornhusks with 0.5 cm in length at 160-180 °C.

TNI

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2021

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณามอบโอกาสและคำแนะนำแนวทางการศึกษาต่อ แนวทางการสืบค้นข้อมูล แนวทางและการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาวัน พิริยะเอี่ยมพิกุล ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) และดร.ดอน แก้วดก (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการใช้อุปกรณ์

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งผู้ที่กล่าวและผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบกระคุณมา ณ โอกาสนี้

ชุตินญา โอปมาวุฒิกุล

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 สารชีวมวล.....	5
2.1.2 เปลือกข้าวโพด.....	6
2.1.3 ลิกโนเซลลูโลส.....	7
2.1.4 เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	9
2.1.5 ถ่านโค้ก.....	10
2.1.6 ชีวมวลอัดเม็ด.....	10
2.1.7 ถ่านชีวภาพ.....	11
2.2 หลักการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์.....	11
2.2.2 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้ Bomb Calorimeter.....	11
2.2.3 ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength).....	12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก.....	37
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง.....	38
ภาคผนวก ข. ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของลักษณะพื้นผิวของเปลือกข้าวโพด.....	40
ภาคผนวก ค. ข้อมูลดิบ.....	72
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	75

TNI

THAI

NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	4
2.1	ปริมาณลิแกนด์เซลลูโลสในเปลือกข้าวโพด.....	7
2.2	เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนภายใต้แผนพัฒนาพลังงาน 2558.....	10
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยด้านชีวภาพ.....	15
ค.1	ข้อมูลดิบสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	73



สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1	เปลือกข้าวโพด..... 6
2.2	องค์ประกอบภายในของลิโคโนเซลลูโลส..... 8
2.3	องค์ประกอบภายในของผนังเซลล์พืช..... 8
2.4	แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพระหว่างปี 2551-2558..... 9
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 18
3.2	เครื่องวัดความชื้น..... 19
3.3	เครื่องชั่ง..... 20
3.4	เครื่องอัดถ่านชีวภาพในแนวตั้ง..... 20
3.5	การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง..... 22
3.6	ขั้นตอนการทดลอง..... 23
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพด ต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป..... 25
4.2	ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า (a) วัตถุดิบตั้งต้นที่ยังไม่ผ่าน การขึ้นรูปขึ้นงานและ ขึ้นงานจากเปลือกข้าวโพดขนาด 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (b) 150°C (c) 160°C (d) 170°C (e) 180°C (f) 190°C..... 26
4.3	ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า ขนาดขึ้นงาน (a) 0.5 เซนติเมตร (b) 1เซนติเมตร (c) 2เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ170°C..... 27
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทางแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก เปลือกข้าวโพดต่ออุณหภูมิและขนาดของขึ้นงาน..... 28
4.5	ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ ขนาดขึ้นงาน 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (a) 180°C (b) 190°C, ขนาดขึ้นงาน 1 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (c) 180°C (d) 190°C และ ขนาดขึ้นงาน 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (e) 180°C (f) 190°C..... 29
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดต่อ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป..... 30
ก.1	ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ..... 39
ข.1	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยายขนาดต่างๆ ของเปลือกข้าวโพด ก่อนทำการขึ้นรูป..... 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
ข.2	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	42
ข.3	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	43
ข.4	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	44
ข.5	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	45
ข.6	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	46
ข.7	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	47
ข.8	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	48
ข.9	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	49
ข.10	ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ข.11 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	51
ข.12 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	52
ข.13 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	53
ข.14 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	54
ข.15 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	55
ข.16 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	56
ข.17 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	57
ข.18 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	58
ข.19 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ข.20 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	60
ข.21 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	61
ข.22 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	62
ข.23 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	63
ข.24 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	64
ข.25 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	65
ข.26 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	66
ข.27 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	67
ข.28 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ข.29 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	69
ข.30 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	70
ข.31 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa.....	71

TNI

TAH - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาหมอกควันเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชากร ได้แก่ ผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร โดยเฉพาะผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก และผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน เกิดความเดือนร้อนและสร้างความรำคาญแก่ประชากร บดบังทัศนวิสัย และเป็นอุปสรรคในการคมนาคมและขนส่ง การทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และระบบนิเวศป่าไม้ รวมทั้งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวที่เป็นระบบเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ซึ่งความรุนแรงของปัญหาโดยทั่วไปปรากฏชัดเจนในช่วงหน้าแล้ง (ธันวาคม - เมษายน) ของทุกปี ที่มีสภาวะอากาศแห้งนิ่ง ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเพิ่มขึ้น เนื่องจากหมอกควัน เกิดจากการสะสมของควันหรือฝุ่นในอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และไฟฟ้า [1] หมอกควันจัดเป็นมลพิษทางอากาศอย่างหนึ่งในบรรดาสารต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในอากาศ หมอกควันจัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM 10) ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร ความอันตรายของฝุ่นละอองต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง ความเข้มข้น และระยะเวลาที่สัมผัส รวมทั้งสภาพร่างกายของผู้รับแต่ละคน

ในพื้นที่ภาคเหนือโดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และลำพูนที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งกระทะ เมื่อเกิดการสะสมของมลพิษ กับความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุม อุดหนุนและความชื้นทำให้เกิดหมอกและเมื่อหยดน้ำรวมตัวกันในอากาศกับฝุ่นละอองและสารพิษในอากาศ ทำให้เกิดหมอกควัน การเผาป่าที่มากเกินไปจนควบคุมไม่ได้ ประกอบกับการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่ในการทำการเกษตรในฤดูกาลต่อไป

ตารางที่ 1.1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แยกตามรายภาค (ปี2562/63) [2]

ประเทศ / ภาค / จังหวัด	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์				
	เนื้อที่ เพาะปลูก (ไร่)	เนื้อที่เก็บ เกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่	
				เพาะปลูก (ไร่)	เก็บเกี่ยว (กก.)
รวมทั้งประเทศ	7,024,503	6,522,121	4,535,058	646	695
ภาคเหนือ	4,716,264	4,504,156	3,124,566	663	694
ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,450,786	1,196,223	822,480	567	688
ภาคกลาง	857,453	821,742	588,012	686	716

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารจึงทำให้มีความต้องการในการใช้ปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เห็นถึงการผลิตและส่งออกข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี ความต้องการการใช้ข้าวโพดนี้ทำให้มีปริมาณของเศษวัสดุที่เหลือทิ้งเช่นเปลือกข้าวโพดจำนวนมากขึ้น ข้าวโพดมีหลากหลายพันธุ์โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นข้าวโพดที่มีปริมาณการปลูกสูงที่สุด หากเทียบกับพันธุ์อื่น ๆ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่ง โดยมีผลผลิตร้อยละ 95 ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์เพื่อการบริโภคภายในประเทศและส่งออก คิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 8 หมื่นล้านบาทต่อปี จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แยกตามรายปี แสดงในตารางที่ 1.1 ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เมื่อถึงช่วงเก็บเกี่ยว ทำให้เกษตรกรต้องเผาไร่ข้าวโพดเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับเพาะปลูกรอบต่อไป เนื่องจากเกษตรกรมองว่าการเผาเป็นวิธีที่คุ้มค่าที่สุด เพราะต้นทุนที่ต่ำ ใช้เวลาน้อย และทำได้ง่ายกว่าการฝังกลบอย่างมาก จากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดทำให้มีส่วนของซังข้าวโพดและเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการคิดค้นพัฒนาพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเปลือกข้าวโพด ลดปัญหาทางด้านหมอกควัน ภาวะโลกร้อน รวมไปถึงการขาดแคลนพลังงานในอนาคต

ถ่านชีวภาพเป็นชีวมวลที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยกระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชีวมวลโดยปราศจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization Process) จากการวิจัยของ Kindai University ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้พัฒนาถ่านชีวภาพ โดยการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำถ่านชีวภาพ อาทิเช่น กากใบชานำมาผ่านกระบวนการอัดและให้ความร้อนที่ความดันสูง [3,4] พบว่าถ่านชีวภาพที่ได้มีความแข็งแรง มีค่าความร้อนสูงและความทนทานสูงประมาณ 1.3 MPa รวมทั้งสามารถ

ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลงได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ คือ อุณหภูมิ เวลาและความดันในการผลิต ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบเหลือใช้ เช่น วัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรและเศษไม้ โดยชนิดของวัตถุดิบ อุณหภูมิ แรงดัน และ เวลา เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของถ่านชีวภาพ [5] ลิกนิน ซึ่งเป็นหนึ่งในส่วนประกอบสำคัญของพืช เมื่อได้รับความร้อนจากการผลิต จะสลายตัวออกมาทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด 7.02 ล้านไร่ โดยผลผลิตข้าวโพดของไทยอยู่ที่ประมาณ 4.62 ล้านตัน/ปี [6] ปริมาณเปลือกข้าวโพดเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว และจากการคัดแยกเปลือกข้าวโพดเพื่อการบริโภคที่เหลือทิ้งในตลาดสดจากพ่อค้าแม่ค้าเป็นจำนวนมาก โดยที่ไม่ได้มีการนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์หรือสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจ

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงโอกาสในการนำเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อเพิ่มมูลค่าของชีวมวลเหลือทิ้งโดยนำมาผ่านกระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูง ทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยในการผลิตและตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความร้อน และค่าความหนาแน่น เพื่อประเมินระดับความสามารถในการใช้เป็นพลังงานทดแทน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยในการแปรรูปเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้ โดยนำมาแปรรูปเป็นถ่านชีวภาพ ที่ขนาดของวัตถุดิบที่ต่างกัน ด้วยกระบวนการอัดด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกในแนวตั้งพร้อมให้ความร้อน ทำการศึกษาโดยมีขนาดของวัตถุดิบและ อุณหภูมิ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบต่อสถานะของกระบวนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ ได้แก่ ขนาดของเปลือกข้าวโพดที่นำมาใช้ในการอัดขึ้นรูปเป็นถ่านชีวภาพและอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพ

1.3.2 กำหนดสถานะที่ใช้ในการศึกษา

- ปริมาณเปลือกข้าวโพด 50 กรัม ต่อการขึ้นรูป
- ขนาดของเปลือกข้าวโพด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร
- อุณหภูมิในการทดลองอัด 150°C 160°C 170°C 180°C และ 190°C
- เวลาที่ใช้ในการทดลองอัด 15 นาที
- แรงดันที่ใช้ในการทดลองอัดคงที่ 16 MPa

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบผลกระทบของปัจจัยการผลิตด้านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดที่ขนาดต่างกันต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล สามารถส่งเสริมการนำเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากธรรมชาติมาทำให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติม

1.5 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงาน

ระยะเวลาและแผนดำเนินงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

[illegible]

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สารชีวมวล

สารชีวมวล จากคำจำกัดความของคู่มือสารชีวมวลเอเชีย โดยโครงการสนับสนุนการสร้างเอเชียพันธมิตรเพื่อการเกษตรสีเขียวสิ่งแวดล้อม[7, 8] ให้คำจำกัดความว่า “แหล่งทรัพยากรต้นกำเนิดทางชีวภาพจำนวนมากที่สามารถถูกใช้ในรูปแบบของพลังงานและวัตถุดิบโดยที่ไม่, หล้าทะเล, ของเสียจากการเกษตรและของเสียจากการป่าไม้จัดอยู่หมวดของสารชีวมวล พืชพลังงานเป็นหนึ่งในสารชีวมวลที่มีแนวโน้มจะผลิตแหล่งพลังงานที่เป็นไปได้ขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าจะยังไม่ได้เป็นในเชิงธุรกิจในปัจจุบัน”

สารชีวมวลนั้นมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดนั้นมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยองค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวลได้แก่

2.1.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดประมาณ ร้อยละ 45 ของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่สะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของพืช

2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรโพลิเมอร์โพลีแซคคาไรด์ ที่ประกอบด้วยน้ำตาล

2.1.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนิน เป็นสารเคมีที่มีความซับซ้อนได้มากที่สุดที่ได้จากไม้และเป็นส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ของพืช และสาหร่ายบางชนิด คำว่าลิกนินเป็นที่รู้จักใน ค.ศ.1819 โดย de Candolle และมาจากภาษาละติน ว่า lignum, ไม้หมายถึงมันเป็นหนึ่งของโพลีเมอร์อินทรีย์ที่มีมากที่สุดบนโลก โดยเฉพาะมีเซลลูโลสเกิน ร้อยละ 30 ของอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่ใช่ฟอสซิล และเป็นองค์ประกอบหนึ่งในสามของมวลแห้งของไม้ ในฐานะที่เป็น biopolymer มีองค์ประกอบเป็นลิกนินเป็นเรื่องปกติเพราะความหลากหลายและการขาดโครงสร้างหลักที่กำหนดไว้ได้ หน้าที่ที่สำคัญที่สุดคือสร้างความแข็งแรงของไม้ (Xylem Cell) ในต้นไม้

2.1.1.4 สารอินทรีย์

สารอินทรีย์คือ สารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยสามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติหรือเกิดจากการสังเคราะห์

2.1.1.5 สารอินทรีย์

ส่วนสารอินทรีย์ คือ สารที่เหลือที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ที่กล่าวมาข้างต้น และแม้ว่าในปัจจุบันเราจะไม่สามารถบอกได้อย่างเต็มปากว่า สารประกอบอินทรีย์เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ หรือมาจากส่วนใดส่วนหนึ่งของสิ่งมีชีวิต

2.1.2 เปลือกข้าวโพด (Cornhusks)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีความจำเป็นต่อเกษตรไทยมายาวนาน ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่มีความต้องการในการใช้ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจากการ ประเมินพบว่าประเทศไทยจะมีปริมาณซึ่งข้าวโพดเหลือทิ้งจำนวน 1,019,654 ตันต่อปี เปลือกข้าวโพด จำนวน 304,782 ตันต่อปี โดยประเมินจากสัดส่วนชีวมวลซึ่งข้าวโพด ร้อยละ 20.14 และเปลือกข้าวโพดร้อยละ 6.02 จะทำให้เกิดปัญหาวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวนมาก จนส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

การนำเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากที่ได้จากการนำข้าวโพดซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ของมนุษย์และสัตว์ ทำให้เหลือเปลือกข้าวโพดเป็นจำนวนมาก จากตารางที่ 2.1 พบว่าเปลือกข้าวโพดมีส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีของลิกโนเซลลูโลส



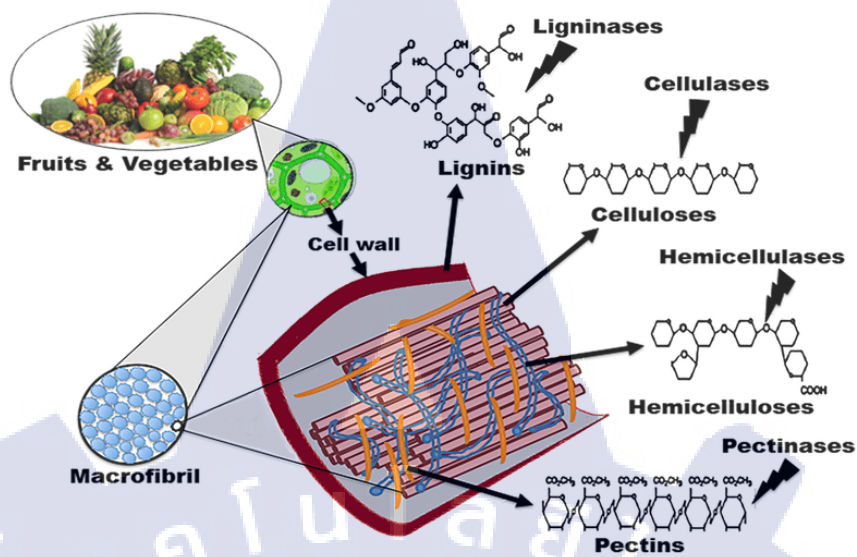
รูปที่ 2.1 เปลือกข้าวโพด

ตารางที่ 2.1 ปริมาณลิกโนเซลลูโลสในเปลือกข้าวโพด

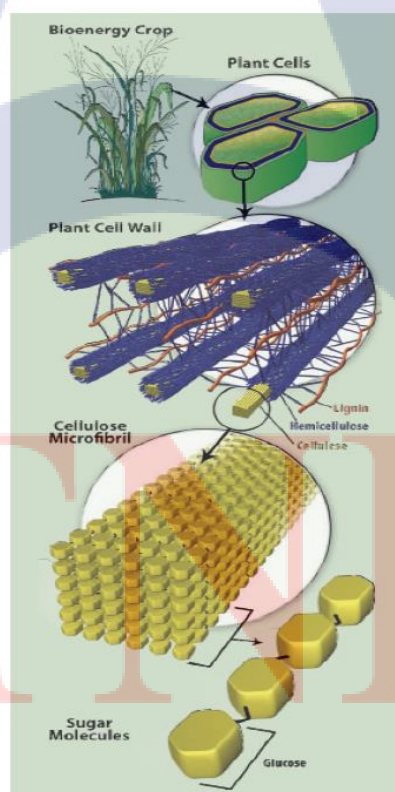
Test Item	Result (wt. %)	Test Method
Cellulose	37.99	Van Soest Method
Hemicellulose	39.67	Van Soest Method
Lignin	3.5	Van Soest Method

2.1.3 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลส เป็นชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสแสดงตาม รูปที่ 2.2, 2.3 และตารางที่ 2.1 แสดงสัดส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด(Cornhusks) ลิกโนเซลลูโลสจะพบมากในผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและเนื้ออ่อน เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใย ข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ ฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหาร และจากบ้านเรือนรวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแข็งองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีส่วนสำคัญต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตได้ ยกตัวอย่างเช่น ลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของชีวมวลส่วนใหญ่ทำหน้าที่ยึดเกาะเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกันโดยปกติจะเกิดการอ่อนตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 130°C - 190°C หากมีผลกระทบจากความชื้นในเนื้อชีวมวลจะทำให้ช่วงอุณหภูมิในการอ่อนตัวของลิกนินลดลงไปที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ได้ ซึ่งลิกนินที่อ่อนตัวนั้นจะเป็นตัวสร้างการยึดเกาะขึ้นภายในเนื้อวัสดุระหว่างการอัดแน่นชีวมวลแล้วนำไปสู่การเกาะตัวของเนื้อเชื้อเพลิง [9] จากงานวิจัยของ Mobarak et al. ยังได้กล่าวไว้ว่า การเกาะตัวของเนื้อวัสดุที่ถูกบีบอัดอาจเกิดมาจากแรงยึดติดของผลิตภัณฑ์จากเฮมิเซลลูโลสที่สลายตัวแปรสภาพระหว่างกระบวนการ [10]



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบภายในของลิกโนเซลลูโลส [11,12]



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบภายในของผนังเซลล์พืช [11,12]

2.1.4 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลหรือมวลชีวภาพ (Biomass) ซึ่งเป็นผลผลิตจากสิ่งมีชีวิตหรือ ผลผลิตจากการาร้างและสลายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งถือเป็นพลังงานทดแทนและเป็นพลังงานสะอาด ไม่เหมือนพลังงานจากแหล่งธรรมชาติอื่นๆ เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพมีข้อดีคือความสะดวกในการใช้งานเพราะสถานะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีทั้งสถานะของแข็ง ของเหลวและก๊าซ และส่วนสำคัญคือเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และมีปริมาณก๊าซพิษเทียบเท่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นในอัตราต่อหน่วยการใช้เชื้อเพลิง จึงถือเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมได้



รูปที่ 2.4 แสดงปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพระหว่างปี 2551-2558

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า สถานภาพการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของไทย ถือได้ว่ามีความตื่นตัวมากขึ้นเมื่อเทียบกับ 10 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการที่กระทรวงพลังงานได้มีการนำพระราชดำริเรื่องพลังงานทดแทนมาปฏิบัติเพื่อเป็นนโยบายหลักในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ และในระหว่างปี 2551-2558 มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพในส่วน of เอทานอลและไบโอดีเซล

ตารางที่ 2.2 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนภายใต้แผนพัฒนาพลังงาน 2558

พลังงาน	สัดส่วนพลังงานทดแทน (ร้อยละ)		การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ณ ปี 2579
	สถานภาพ ณ ปี 2557	เป้าหมาย ณ ปี 2579	
ไฟฟ้า : ไฟฟ้า	9	15-20	27,789
ความร้อน : ความร้อน	17	30-35	68,413
เชื้อเพลิงชีวภาพ : เชื้อเพลิง	7	20-25	34,798
พลังงานทดแทน : การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย	12	30	131,000

จากแผนพัฒนาพลังงานปี 2558 (AEDP 2015) ในตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่ากระทรวงพลังงานได้มีเป้าหมายในการพัฒนาพลังงานทดแทนโดยการพิจารณาจากความต้องการพลังงานในภาคขนส่งที่คาดว่าจะในปี 2579 จะมีความต้องการพลังงานเชื้อเพลิงในภาคขนส่งรวมประมาณ 34,798 ktoe และจากการประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่ส่วนใหญ่ผลิตจากพืชอาหารโดยมีวัตถุดิบหลักได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย และปาล์มน้ำมันที่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ

2.1.5 ถ่านโค้ก (Coke)

ถ่านโค้ก ถ่านโค้กก็ถือว่าเป็นถ่านหินประเภทหนึ่ง เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการถลุงสินแร่เหล็ก มีสีเทา แข็งและมีรูพรุน และตัวทำปฏิกิริยากับสินแร่เหล็กในขณะที่มีการหลอมละลาย ทำให้เหล็กดิบที่ได้มีธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น การที่ในกระบวนการถลุงเหล็กส่วนใหญ่นำถ่านโค้กมาใช้ เนื่องจากถ่านโค้กมีสารมลทินต่ำ ทำให้น้ำเหล็กที่ได้จากการถลุงเหล็กมีคุณภาพที่ดี

2.1.6 ชีวมวลอัดเม็ด (Wood Pellet)

ชีวมวลอัดแท่งถือเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบของชีวมวลชนิดหนึ่ง ที่เป็นการนำเอาเศษวัสดุหรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าวโพด กะลาปาล์ม เปลือกไม้หรือแม้กระทั่งเศษขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้หรือเฟอร์นิเจอร์ มาทำการลดความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานและนำมาย่อย จากนั้นนำมาอัดเป็นเม็ดหรือแท่ง ทำให้ได้เชื้อเพลิงในรูปแบบของชีวมวลอัดแท่งที่มีความชื้นต่ำและมีค่าความร้อนสูง ง่ายในการขนส่งและใช้งาน ซึ่งเหมาะสำหรับการให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรมหรือเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานไฟฟ้า

2.1.7 ถ่านชีวภาพ (Biocoke)

BioCoke หรือ ถ่านชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีเชื้อเพลิงแข็งที่ได้รับการพัฒนาจากมหาวิทยาลัยKindai ประเทศญี่ปุ่นโดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหิน เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหิน ที่เป็นตัวการสำคัญของปัญหาภาวะโลกร้อน โดยถ่านชีวภาพทำมาจาก เศษวัสดุทางการเกษตรเมื่อนำมาอัดทำให้สะดวกต่อการใช้งานและง่ายต่อการจัดเก็บ มีความแข็งแรง, ความหนาแน่นสูง, และเมื่อเกิดการเผาไหม้จะให้ค่าความร้อนสูงและสร้างมลพิษน้อย จึงทำให้นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม [13]

2.2 หลักการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสาร เพื่อใช้หาค่าความร้อนของการเผาไหม้สารตัวอย่างใด ๆ ใสภาวะออกซิเจนบริสุทธิ์สูง หลักการทำงานของ Bomb Calorimeter ใช้หลักการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกใส่ใน Chamber และเครื่องจะเติมประจุด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความดันสูง และเริ่มต้นการจุดระเบิดโดยการให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดความร้อนและทำให้เกิดการจุดระเบิด [14]

2.2.2 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยใช้ Bomb Calorimeter

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากการทดสอบโดยบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$H_c = \frac{(WT - e_1 - e_2 - e_3)}{M} \quad (2.1)$$

โดย

H_c = ค่าความร้อนจากการเผาไหม้สารตัวอย่าง

W = ค่าพลังงานเทียบเท่า

T = ค่าผลต่างของอุณหภูมิที่เริ่มต้นจุดระเบิดจนกระทั่งอุณหภูมิมีค่าคงที่

e_1 = ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดกรดไนตริก

e_2 = ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกรณีที่มีสารตัวอย่างมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ

e_3 = ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากลวดหลอมละลาย

M = มวลของเชื้อเพลิงแข็ง

2.2.3 ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Compressive Strength)

ความต้านทานแรงอัดสูงสุด สามารถหาได้โดยการทดสอบและการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ของวัสดุที่จะทำการทดสอบ

2.2.4 ความหนาแน่นของของแข็ง

ในการหาค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวลของวัตถุ}}{\text{ปริมาตรของวัตถุ}} \quad (2.2)$$

2.2.5 การวิเคราะห์ผิวของถ่านชีวภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

กล้องจุลทรรศน์คือเครื่องมือที่ขยายภาพ สามารถใช้ร่วมในการวิเคราะห์ทดสอบลักษณะของวัสดุทางกายภาพที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า เช่น ลักษณะพื้นผิว โครงสร้างจุลภาค เป็นต้น [15]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

I Tamioet et al. [16] ได้ทำการศึกษาเพื่อยืนยันผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากใบชา โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ ขนาดของอนุภาค วัตถุดิบ ความดัน ความชื้นเริ่มต้น จากผลการวิเคราะห์ทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการแล้วไม่ทำให้น้ำหนักของวัตถุดิบเปลี่ยนแปลง เท่ากับ 180°C และความดันที่เหมาะสมที่มีผลให้ได้ค่าถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) สูง คือการให้ความดันในกระบวนการคงที่เท่ากับ 20 MPa

M. Satoru et al. [17] ทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจาก บล็อกเคอร์ไบไม้ ของต้นเชอร์รี่ที่ตายแล้ว และเม็ดมะม่วง พบว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงอัด (Compressive Strength) ที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนของวัตถุดิบแต่ละชนิด

M. Satoru et al. [18] ทำการศึกษปัจจัยของขนาดอนุภาควัตถุดิบที่มีผลต่อการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากแกลบ จากผลการทดลองพบว่า ยิ่งขนาดอนุภาคของแกลบมีขนาดเล็กจะส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาของลิกนิน มากกว่าขนาดอนุภาคขนาดใหญ่

Y. Torii et al. [19] ทำการศึกษาค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่อุณหภูมิสูง ของถ่านชีวภาพที่ผสมระหว่างไม้ไผ่และถ่านซีตาร์ญี่ปุ่น พบว่าค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความดันของการผลิตเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่อุณหภูมิสูงจะมากขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนจากถ่านซีตาร์สูงขึ้น โดยที่ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดประมาณ 32.6 MPa

H. Murata et al. [20] ทำการทดลองผลิตถ่านชีวภาพ จากผงไม้ที่มีส่วนผสมของรำข้าว พบว่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของรำข้าวที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

M. Seo et al. [21] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่สังเคราะห์จากไม้ป๊อปล่า (Yellow Poplar) ผสมกับถ่านหินที่อัตราส่วน 10, 15 20 และ 30% ที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชันใน Reactor ที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่ 500 ถึง 800°C พบว่า เมื่ออัตราส่วนของชีวมวลเพิ่มขึ้นขนาดของก้อนอนุภาคจะเล็กลงแต่ได้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นพร้อมกับพื้นที่ผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่การคาร์บอนเซชันที่อุณหภูมิสูงพบว่าเป็นผลเสียต่อถ่านชาร์แม้ว่าพวกสารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Gas) จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงก็ตาม

I. E. Smith et al. [22] ทำการศึกษปัจจัยของอุณหภูมิในการอัดที่ส่งผลต่อความเสถียรของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าว พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดและความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมีผลต่อความเสถียรของเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นอย่างมาก โดยเมื่อให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 80°C ถึง 140°C ได้ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.3 g/cm^3 ใช้เวลาในการอัด 40 นาที และอุณหภูมิสูงกว่า

110°C พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมีผลน้อยมากต่อความเสถียรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง นอกจากนี้ยังสังเกตว่า ที่อุณหภูมิสูง เชื้อเพลิงอัดแท่งจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีภายในของวัตถุดิบเกิดการสลายตัว

W.C. Edwards et al. [23] ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อค่าถ่วงจำเพาะ ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เลื่อยของต้นสน พบว่า ค่าถ่วงจำเพาะ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอัดเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า ค่าถ่วงจำเพาะ มีค่าสูงสุดเมื่อให้อุณหภูมิในการอัดที่ 190°C และเมื่อให้อุณหภูมิสูงเกินไป ค่าถ่วงจำเพาะ จะมีค่าลดลง เนื่องจากเชื้อเพลิงแข็งเกิดการสลายตัวนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อให้อุณหภูมิมากกว่า 120°C อิทธิพลของความดันจะส่งผลน้อยลง

T. Sawai et al. [24] ได้ผลิตถ่านชีวภาพโดยการอัดในแนวตั้ง ซึ่งการผลิตถ่านชีวภาพในขณะนั้นถูกเรียกว่า Bio-Solid Fuel จากเศษไม้ของต้นบ๊วยและต้นพลับ โดยทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อสมบัติของ Bio-Solid Fuel โดยทำการวัดค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของชิ้นงาน

S. Mizuno et al. [25] ศึกษาปัจจัยของขนาดอนุภาคของวัตถุดิบและอุณหภูมิในการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากแกลบจากการศึกษาพบว่ากำลังอัดในห้องที่มีอุณหภูมิสูงนั้นมีค่าน้อยเมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่

J. S. Tumuluru et al. [26] ศึกษาความชื้นและเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกที่ใช้อัด ส่งผลกระทบต่อการผลิตถ่านชีวมวลจากไม้และไม้ล้มลุก พบว่าที่ความชื้น 15% และ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกที่ใช้อัด 12.7 มิลลิเมตร ทำให้ถ่านชีวมวลมีความทนทานดีที่สุด ซึ่งถ่านชีวมวลที่ทำจากไม้สน มีความทนทานถึง 94% และ ถ่านชีวมวลที่ทำจากไม้ล้มลุกมีความทนทานถึง 97%

L. F. Madiedo et al. [27] ศึกษาความแข็งแรงทางกลของถ่านอัดแท่งกับชีวมวลพบว่า ลำดับความแข็งแรงของถ่านชีวภาพตามชีวมวล Lignin > Lignocellulosic Tree-pruning Wastes > Pine Sawdust > Torrified Pine Sawdust

H. Hara et al. [28] ศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากก้อนเห็ดเหลือทิ้งพบว่า ถ่านชีวภาพที่ผลิตที่อุณหภูมิการก่อตัว 150 และ 170 °C มีความหนาแน่นและความแข็งแรงเชิงกลสูงที่สุด และใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด

A. Demirbas et al. [29] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลิกนินและค่าความร้อนของสารชีวมวล พบว่าความร้อนสูงสุดไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่งผลกระทบต่อความพันธะของลิกนิน

A. L. Sullivan et al. [30] ศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อนและการเผาไหม้ทางเคมีของชีวมวลเซลลูโลส พบว่าพันธะทางเคมีของสารชีวมวลสามารถตัดได้ด้วยความร้อนโดยจะต้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเร่งปฏิกิริยาการคายน้ำ หากอุณหภูมิมากเกินไปจะเกิดการไหม้เกรียมของสารชีวมวล

โดยสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยถ่านชีวภาพ

ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ		
ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	ผลสรุป
I. Tamioet et al. [16]	กากใบชา	อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการแล้วเท่ากับ 180°C และความดันที่เหมาะสม คือ การให้ความดันในกระบวนการคงที่เท่ากับ 20 MPa
M. Satoru et al. [17]	บล็อกเคอร์รี่ ใบไม้ของต้นเขอรี่ที่ตายแล้วและเม็ดมะม่วง	ค่าถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนของวัตถุดิบแต่ละชนิด
M. Satoru et al. [18]	เกลบ	ขนาดอนุภาคขนาดเล็กจะส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาของลิกนินมากกว่าขนาดอนุภาคขนาดใหญ่
Y. Torii et al. [19]	ไม้ไผ่และถ่านซีดาร์ญี่ปุ่น	ค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความดันของการผลิตเพิ่มขึ้น และค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่อุณหภูมิสูงจะมากขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนจากถ่านซีดาร์สูงขึ้น โดยที่ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดประมาณ 32.6 MPa
H. Murata et al. [20]	ผงไม้ที่มีส่วนผสมของรำข้าว	ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของรำข้าวที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยถ่านชีวภาพ (ต่อ)

ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ		
ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	ผลสรุป
M. Seo et al. [21]	ไม้ป๊อปล่า	เมื่ออัตราส่วนของชีวมวลเพิ่มขึ้นขนาดของก้อนอนุภาคจะเล็กลงแต่ได้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นพร้อมกับพื้นที่ผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้นด้วยในขณะที่ยังคงคาร์บอนในเซลล์ที่อุณหภูมิสูงพบว่าเป็นผลเสียต่อถ่านชาร์แม้ว่าพวกสารอินทรีย์โอโรเอะจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงก็ตาม
I.E. Smith et al. [22]	ฟางข้าว	อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปและความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบมีผลต่อค่าความเสถียรของเชื้อเพลิงแท่งเป็นอย่างมาก
W. C. Edwards et al. [23]	ขี้เลื่อยของต้นสน	ค่าถ่วงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอัดเพิ่มมากขึ้นโดยพบว่าค่าถ่วงจำเพาะมีค่าสูงสุดเมื่อให้อุณหภูมิในการอัดที่ 190°C และ เมื่อให้อุณหภูมิสูงเกินไป ค่าถ่วงจำเพาะ จะมีค่าลดลง เนื่องจากเชื้อเพลิงแข็งเกิดการสลายตัว
T. Sawai et al. [24]	เศษไม้ของต้นบ๊วยและต้นพลับ	อุณหภูมิและขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีผลต่อค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด
S. Mizuno et al. [25]	สมุนไพรญี่ปุ่น	ความชื้นและอุณหภูมิมิมีผลต่อความหนาแน่น และต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพ
J. S. Tumuluru et al. [26]	ไม้และไม้ล้มลุก	ความชื้นร้อยละ 15 และ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกที่ใช้อัด 12.7 มิลลิเมตร ทำให้ถ่านชีวมวลมีความทนทานดีที่สุด ซึ่งถ่านชีวมวลที่ทำจากไม้สน มีความทนทานถึงร้อยละ 94 และ ถ่านชีวมวลที่ทำจากไม้ล้มลุกมีความทนทานถึงร้อยละ 97
L. F. Madiedo et al. [27]	ถ่านอัดแท่งและชีวมวล	ลำดับความแข็งแรงของถ่านชีวภาพตามชีวมวล Lignin > Lignocellulosic Tree-pruning Wastes > Pine Sawdust > Torrified Pine Sawdust

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยถ่านชีวภาพ (ต่อ)

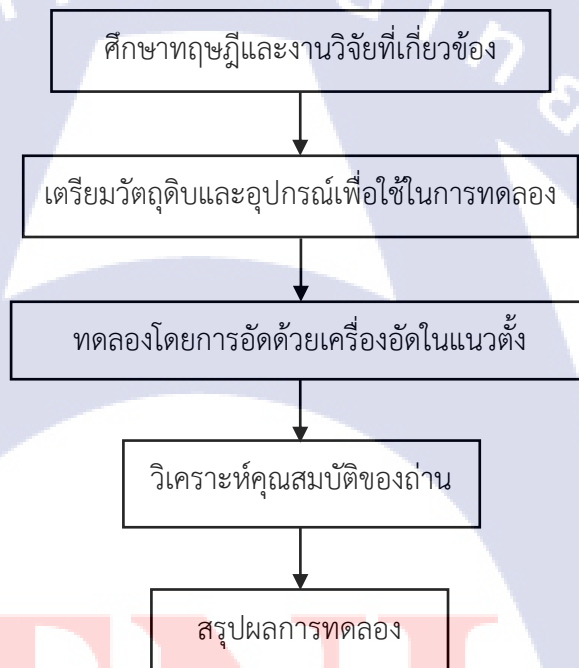
ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ		
ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	ผลสรุป
H. Hara et al. [28]	ก้อนเห็ดเหลือทิ้ง	ถ่านชีวภาพที่ผลิตที่อุณหภูมิการก่อตัว 150 และ 170 °C มีความหนาแน่นและความแข็งแรงเชิงกลสูงที่สุด และใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด
A. Demirbas et al. [29]	ลิกนินและค่าความร้อนของสารชีวมวล	ความร้อนสูงสุดไม่ได้ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับเฮมิเซลลูโลส แต่ส่งผลกระทบต่อความผันระของลิกนิน
A. L. Sullivan et al. [30]	การสลายตัวด้วยความร้อนและการเผาไหม้ทางเคมีของชีวมวลเซลลูโลส	พันธะทางเคมีของสารชีวมวลสามารถตัดได้ด้วยความร้อนโดยจะต้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเร่งปฏิกิริยาการคายน้ำ หายอุณหภูมิมากเกินไปจะเกิดการไหม้เกรียมของสารชีวมวล

จากที่ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยถ่านชีวภาพพบว่า มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ จึงทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด เพราะจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดมีน้อย โดยมีองค์ประกอบที่เป็นลิกนินน้อย แต่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจำนวนมาก หากนำมาทำถ่านชีวภาพจะมีความแตกต่างและมีประโยชน์กว่าวัตถุดิบอื่นหรือไม่

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเตรียมวัสดุดิบและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลอง ทำการทดลองด้วยการอัดด้วยเครื่องอัดในแนวตั้ง และนำชิ้นงานไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกล โดยมีขั้นตอนการทำงานดังแผนภาพในรูปที่ 3.1



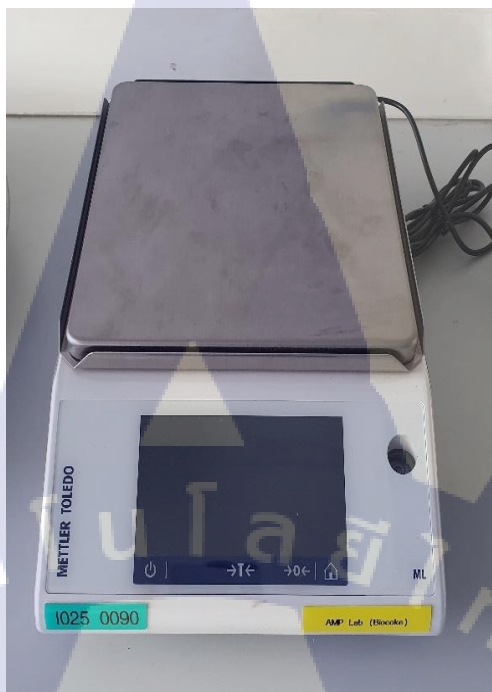
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 วัสดุดิบและอุปกรณ์การทดลอง

1. เปลือกข้าวโพด
2. ตู้อบความชื้น
3. เครื่องวัดความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2
4. เครื่องชั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.3
5. เครื่องอัดถ่านชีวภาพในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4
6. อุปกรณ์ใช้ตัดเปลือกข้าวโพด



รูปที่3.2 เครื่องวัดความชื้น



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่ง



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดถ่านชีวภาพในแนวตั้ง

3.2 ตัวแปรในการทดลอง

3.2.1 ตัวแปรต้น

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 150 °C 160 °C 170 °C 180 °C 190 °C
2. ขนาดของวัตถุดิบ 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร

3.2.2 ตัวแปรตาม

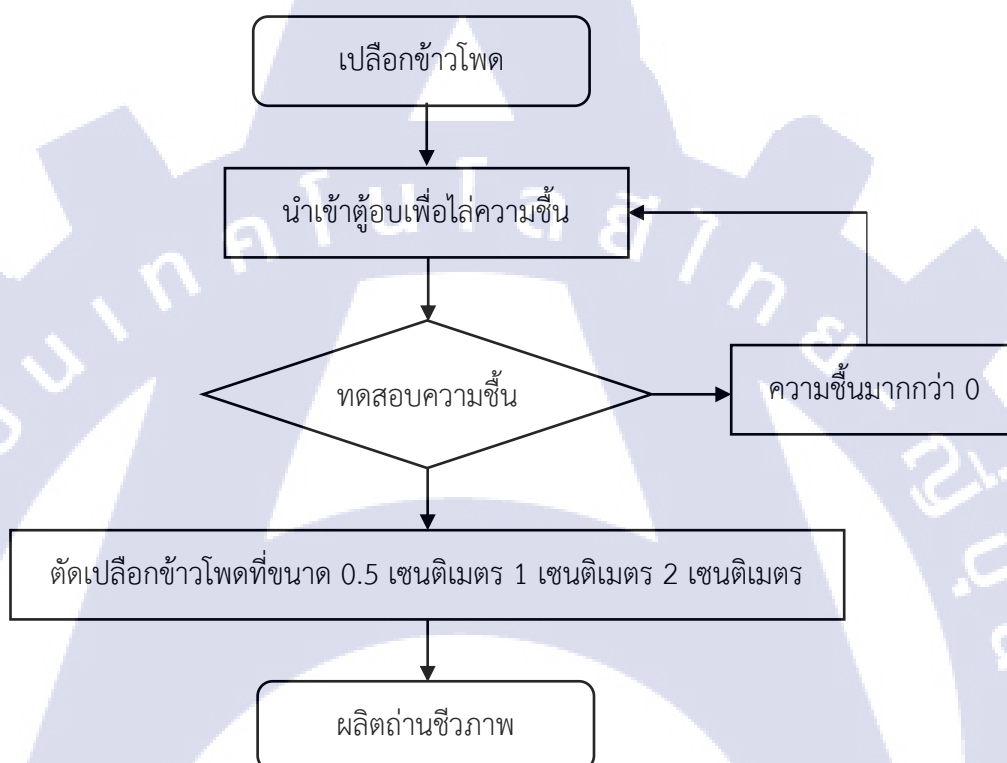
1. ค่าความหนาแน่น (g/cm³)
2. ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (MPa)
3. ค่าความร้อน (kcal/kg)

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

1. เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 15 นาที
2. ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa
3. น้ำหนักของวัตถุดิบตั้งต้น 50 กรัม

3.3 เตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง

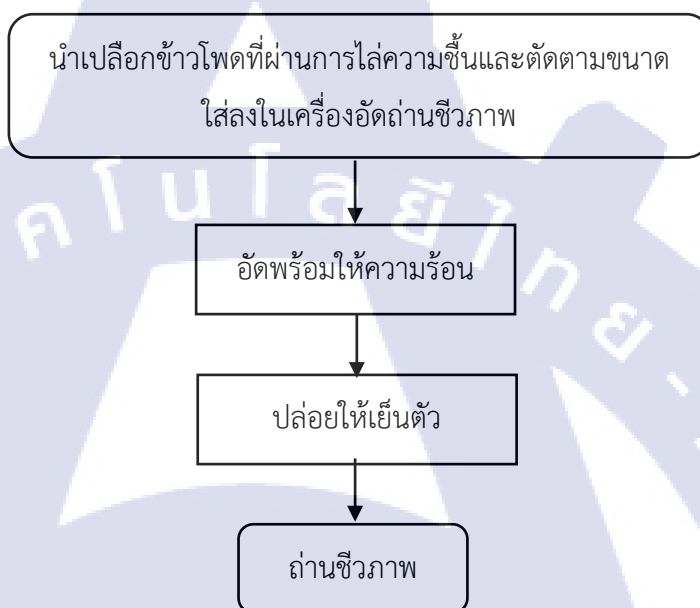
นำเปลือกข้าวโพดเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้น ตรวจสอบความชื้นของชิ้นงานโดยการนำเข้าเครื่องทดสอบความชื้น หากเปลือกข้าวโพดยังมีความชื้นอยู่ให้นำเข้าตู้อบความชื้นเพื่อไล่ความชื้นจนหมด ทดสอบความชื้นอีกครั้ง ตัดเปลือกข้าวโพดที่ขนาด 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร ดังแผนภาพในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

นำเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการไล่ความชื้นจนหมด ใส่ลงในเครื่องอัดผ่านชีวภาพในแนวตั้ง โดยแยกทดลองที่ขนาดของชิ้นงาน 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร ทำการอัดที่อุณหภูมิ 150°C 160°C 170°C 180°C 190°C เวลา 15 นาที โดยใช้ความดันในการอัดคงที่ 16 MPa หลังอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกให้นำฮีทเตอร์ออกและปล่อยให้เย็นตัวลง ดังแผนภาพในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทดลอง

3.5 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ

3.5.1 วิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพ

วิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพ โดยวัดความสูง, เส้นรอบวง และชั่งน้ำหนักของชิ้นงานหลังปล่อยให้เย็นตัวและนำออกจากกระบอกสูบ จากนั้นคำนวณความหนาแน่นของชิ้นงานจากสมการที่ (3.1)

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (3.1)$$

3.5.2 วิเคราะห์สมบัติทางกล

วิเคราะห์หาสมบัติทางกลโดยการทดสอบความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) ของชิ้นงานที่สามารถรับแรงกดได้สูงสุด

3.5.3 วิเคราะห์สมบัติทางด้านความร้อน

วิเคราะห์หาค่าความร้อนของถ่านชีวภาพด้วยเครื่องบอมบ์แคลลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter)

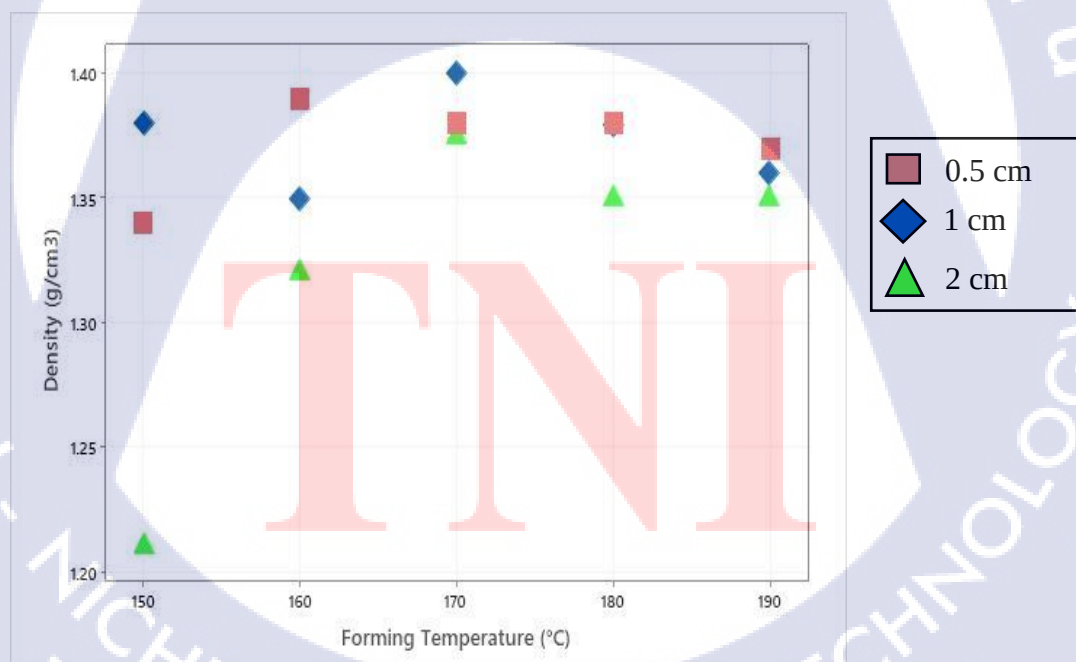
บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการวิจัย

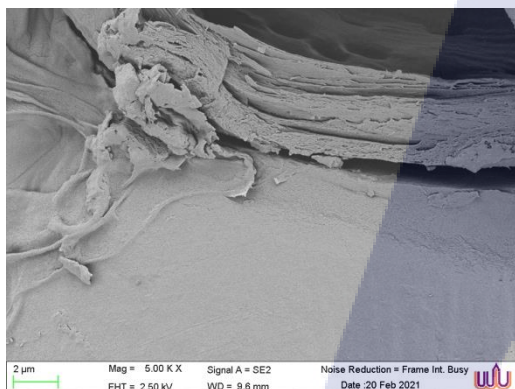
การผลิตถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดที่แต่ละสภาวะการขึ้นรูปต่างกัน โดยกำหนดขนาดของวัตถุดิบ (เปลือกข้าวโพด) 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร และ 2 เซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 15 นาที ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 16 MPa อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 150 160 170 180 และ 190°C

4.1 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

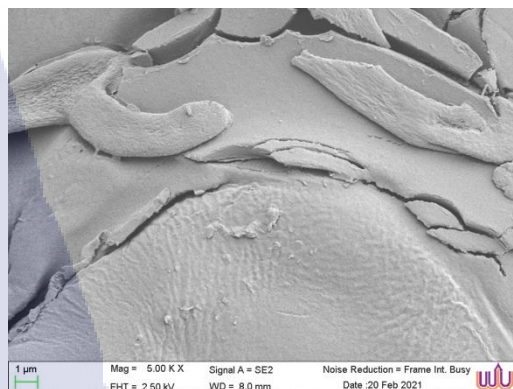
รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 150 160 170 180 190°C และ ความคุมขนาดของชิ้นงาน 0.5 1 2 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ขนาดวัตถุดิบ 0.5 และ 1 เซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าขนาดวัตถุดิบ 2 เซนติเมตร โดยที่ขนาดวัตถุดิบ 2 เซนติเมตร จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับวัตถุดิบ 0.5 และ 1 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงกว่า 170 องศา



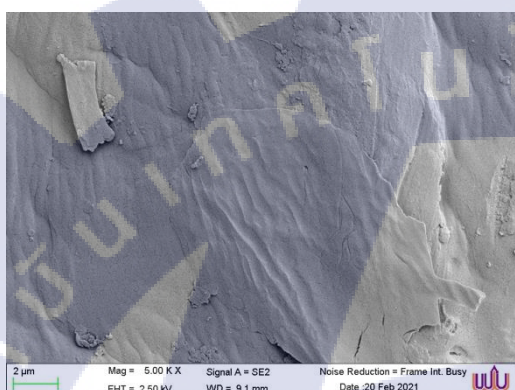
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป



(a)



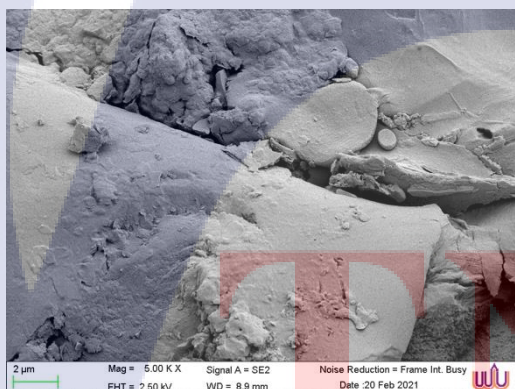
(b)



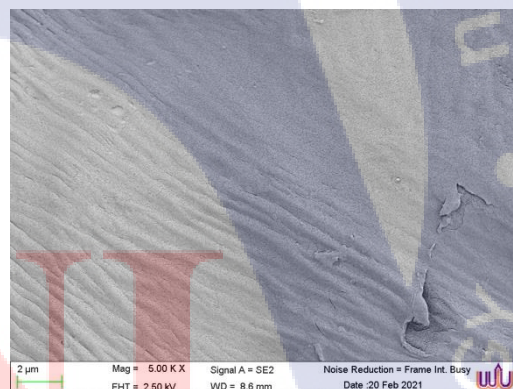
(c)



(d)



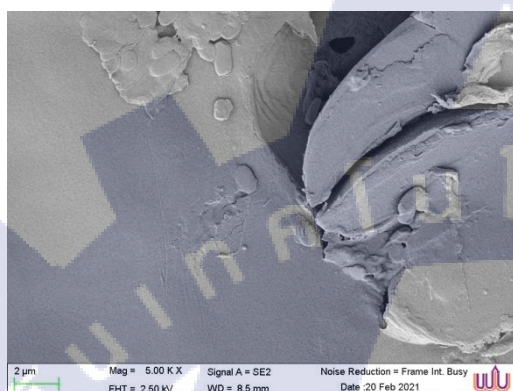
(e)



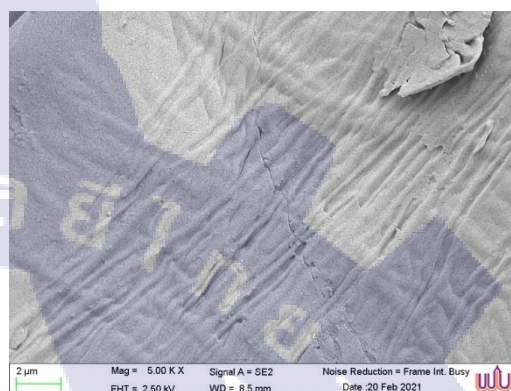
(f)

รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า (a) วัดอุณหภูมิตั้งต้นที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นงานและ ขึ้นงานจากเปลือกข้าวโพดขนาด 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (b) 150°C (c) 160°C (d) 170°C (e) 180°C (f) 190°C

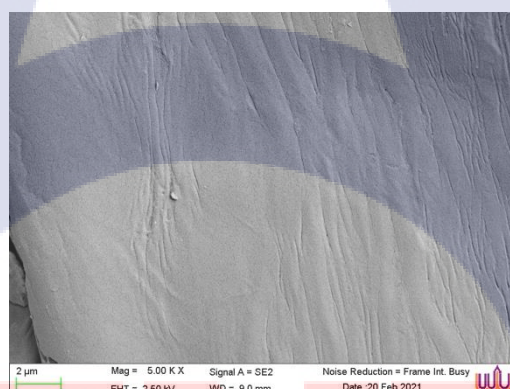
จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า ของขนาดชิ้นงาน 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (b) 150°C (c) 160°C (d) 170°C (e) 180°C (f) 190°C เปรียบเทียบกับ (a) วัตถุดิบตั้งต้นที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูปชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวมีขนาดเล็กลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และพื้นผิวของชิ้นงานมีความละเอียดสูงสุดที่อุณหภูมิ 170°C สอดคล้องกับผลทดสอบความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ



(a)



(b)

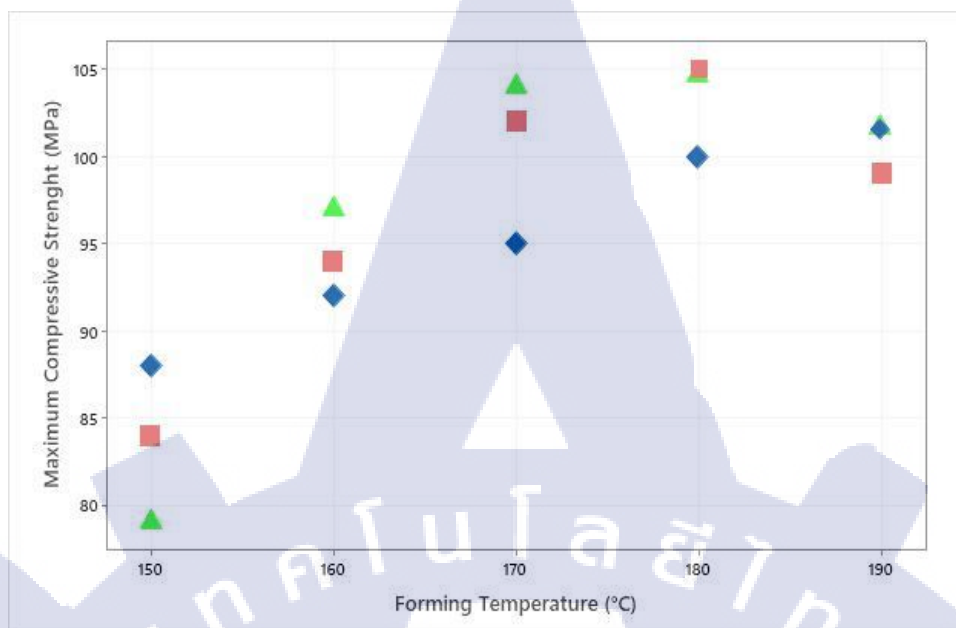


(c)

รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า ขนาดชิ้นงาน (a) 0.5 เซนติเมตร (b) 1 เซนติเมตร (c) 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 170°C

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 5,000 เท่า ขนาดชิ้นงาน (a) 0.5 เซนติเมตร (b) 1 เซนติเมตร (c) 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 170°C จะเห็นได้ว่าความละเอียดและช่องว่างของพื้นผิวมีขนาดใกล้เคียงกัน

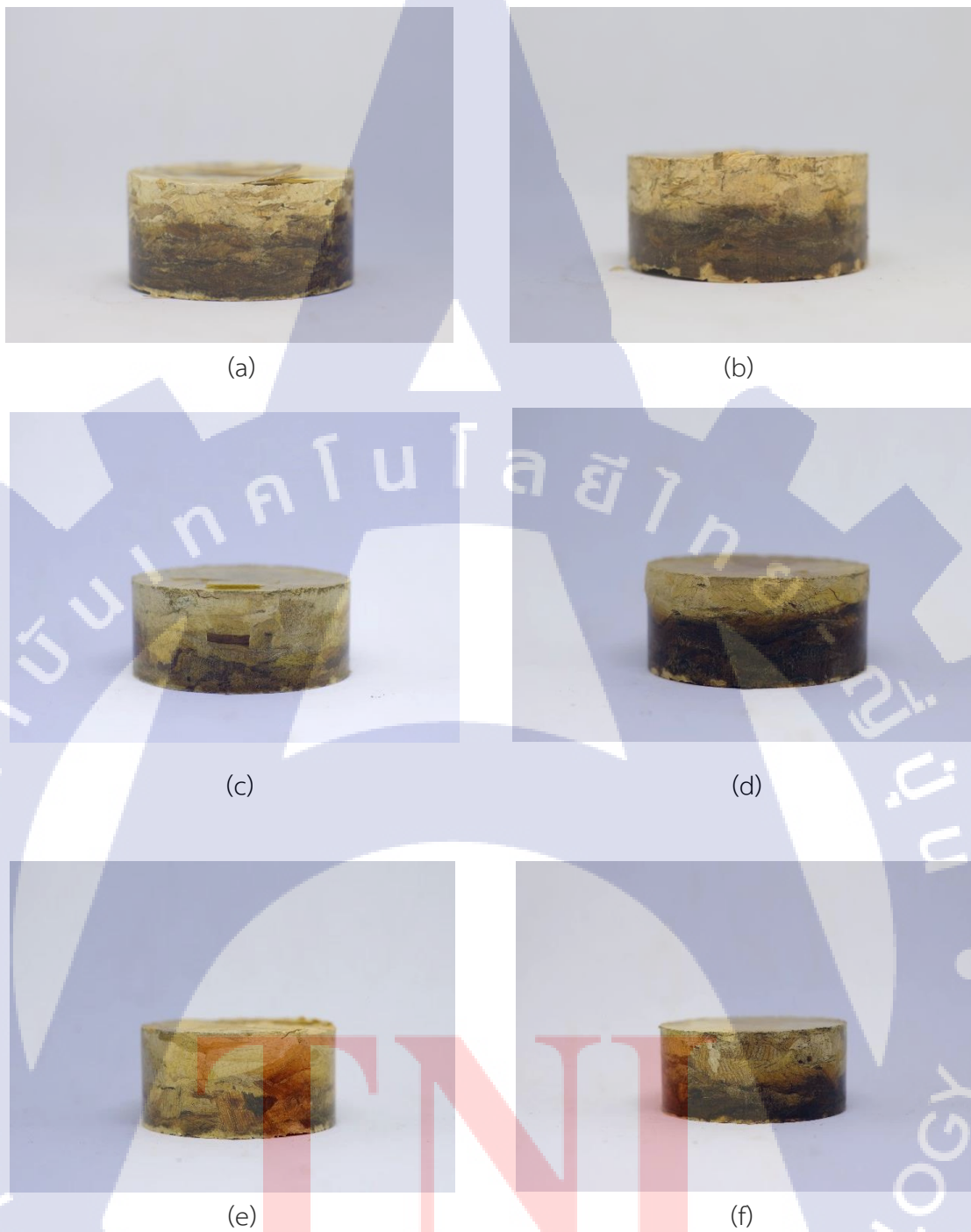
การวิเคราะห์สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพทำได้โดยการหาค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดด้วยเครื่อง EL36-4145/01 ADR Auto 2000/250 EN Compression Machine



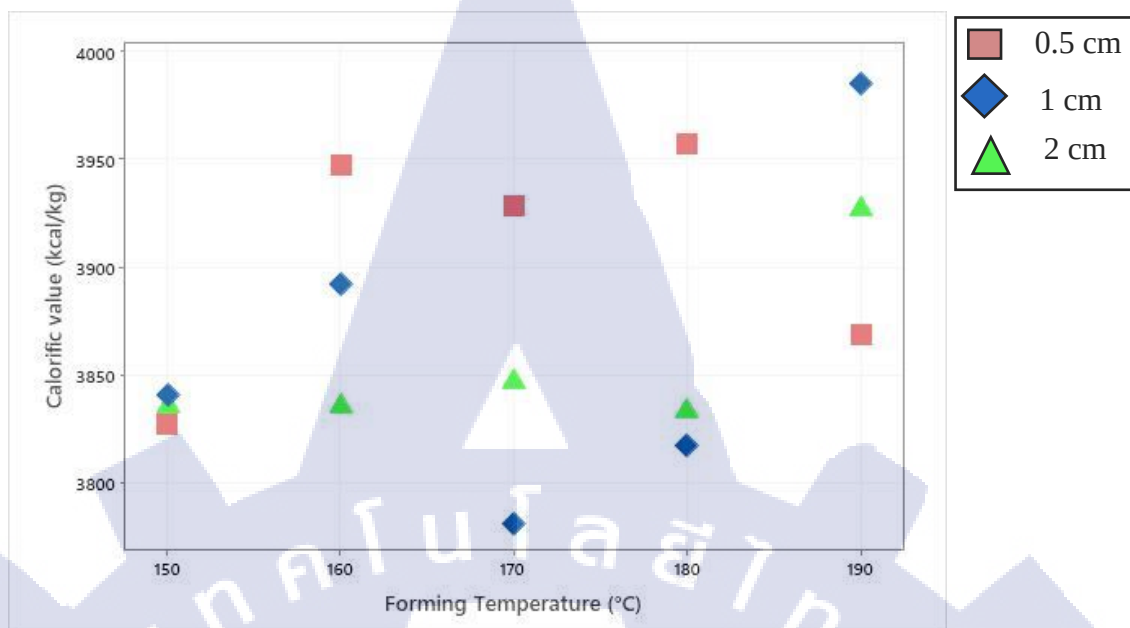
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดต่ออุณหภูมิและขนาดของชิ้นงาน

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดที่อุณหภูมิ 150 160 170 180 190°C และ ควบคุมขนาดของชิ้นงาน 0.5 1 2 เซนติเมตร ตามลำดับจากการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป และค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด พบว่าที่อุณหภูมิ 180°C จะมีค่าความแข็งแรงสูงสุด เนื่องจากถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิสูงกว่า 180°C สามารถเห็นได้จากสีของชิ้นงานที่มีความเข้มขึ้น ส่งผลให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าลดลงดังรูปที่ 4.5

TNI



รูปที่ 4.5 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ ขนาดชิ้นงาน 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (a) 180°C (b) 190°C, ขนาดชิ้นงาน 1 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (c) 180°C (d) 190°C และขนาดชิ้นงาน 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ (e) 180°C (f) 190°C



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดต่ออุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปที่ 4.6 แสดงผลค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 150 160 170 180 190°C และ ควบคุมขนาดของชิ้นงาน 0.5 1 2 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผลิตและค่าความร้อน พบว่าเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิการผลิต 160°C 170°C 180°C มีแนวโน้มในการให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าสถานะการขึ้นรูปอื่นๆ

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปของถ่ายชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด ขนาด 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 150°C 160°C 170°C 180°C 190°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 15 นาที และความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 16 MPa โดยทำการศึกษาผลกระทบของการขึ้นรูปที่มีต่อ สมบัติทางกายภาพ (Physical Property) และสมบัติทางความร้อน (Calorific Property) และสมบัติทางกล (Mechanical Property)

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ (Physical Property)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) พบว่า ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กจะให้ค่าความหนาแน่น มากกว่าชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ โดยในการผลิตถ่านชีวภาพ ความหนาแน่นของชิ้นงานที่มากส่งผลสำคัญในแง่ของขนาดของถ่านชีวภาพในการเก็บรักษาและการขนส่ง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพดที่ขนาด 0.5 และ 1 เซนติเมตร จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่า ขนาด 2 เซนติเมตร และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอัดสูงกว่า 170°C ค่าความหนาแน่นจะเริ่มลดลงเล็กน้อย

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อน (Calorific Property)

จากการศึกษาพบว่า ความหนาแน่น ความแข็งของถ่านชีวภาพ และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง $150-180^{\circ}\text{C}$ ซึ่งชิ้นงานที่ขนาด 0.5 เซนติเมตร มีแนวโน้มค่าความร้อนที่สูงเมื่อทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ $150-180^{\circ}\text{C}$ และในทุกกรณี มีค่าความร้อนใกล้เคียงเป้าหมายในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

5.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางกล (Mechanical Property)

ความต้านทานแรงกดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการอัดที่อุณหภูมิ $150-180^{\circ}\text{C}$ และ มีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 โดยขนาดของชิ้นงานมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรในการผลิตถ่ายชีวภาพสามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด โดยสถานะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ เปลือกข้าวโพดที่ขนาด 0.5 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 180°C เนื่องจากสถานะการผลิตดังกล่าวมีความหนาแน่นและค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพมากที่สุด เพื่อนำไปต่อยอดการผลิตในปริมาณมาก

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองขั้นต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และทำการทดลองเพิ่มเติมซึ่งจำเป็นจะต้องมีการทดลองอีกหลายขั้นตอนก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

5.2 ข้อเสนอแนะและ แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง

5.2.1 ทดลองเพิ่มเติมที่ความดันต่างๆ เพื่อดูแนวโน้มค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ

5.2.2 ทำการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากเปลือกข้าวโพด โดยผสมกับวัสดุเหลือใช้อื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของถ่านชีวภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้น

5.2.3 ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทดลองที่อุณหภูมิ 180°C เพื่อดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

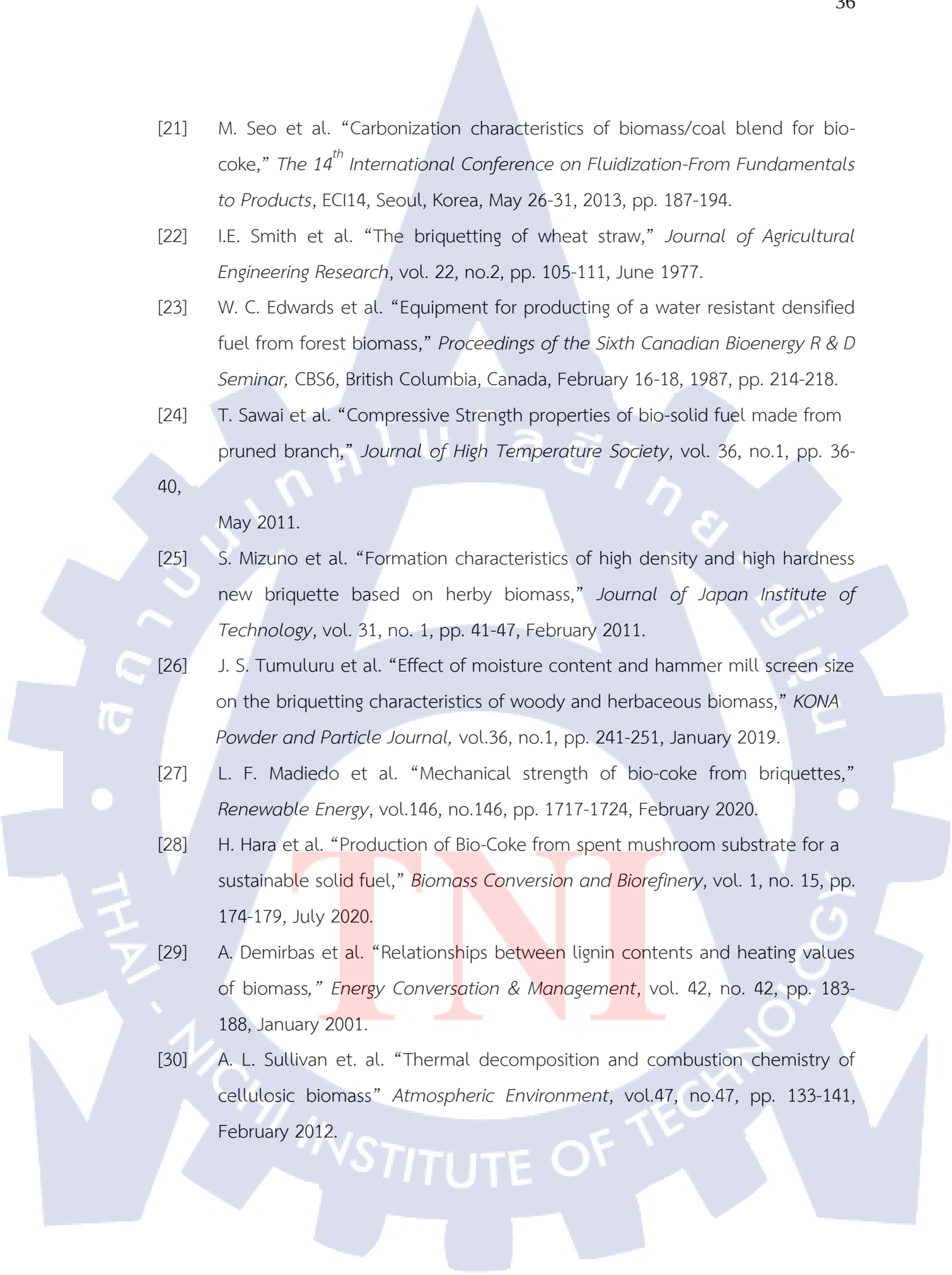
บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “*Research and Development in the Field of Energy Conservation and Renewable Energy in Thailand*,” [Online]. Available: <http://weben.dede.go.th/webmax/artall-eng3.pdf> [Accessed : January 3,2015].
- [2] Office of Agricultural Economics, “*Research Showing Details of Maize in Thailand*,”[Online].Available:<https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/maize%20province%20dit%2062.pdf> [Accessed : January 1,2020].
- [3] พุทธิธร แสงรุ่งเรือง, *การพัฒนาเตาผลิตก๊าซชีววมวลจากมูลฝอยจากภาคเกษตรพื้นที่จังหวัดนนทบุรี*, กรุงเทพฯ : ห้องสมุดศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต, 2551.
- [4] I. Kazuyoshi et al. “Combustion simulation and quick-freeze observation of a cupola-furnace process using a bio-coke Fuel based on tea scum,” *Journal of High Temperature Society*, vol. 35, no.2, pp. 91-96, May 2009.
- [5] J. K. Koseret et al. “Densification of water hyacinth-basic data,” *Fuel*, vol. 61, no.9, pp. 791-798, February 1982.
- [6] มูลนิธิเกษตรรักษสิ่งแวดล้อม (ประเทศไทย), “*พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์*,” [Online]. Available : <http://www.aecth.org/upload/13823/Q8ru0PsGgR.pdf>. [Accessed : 21 มีนาคม 2521].
- [7] กลุ่มพลังงานชีววมวล สำนักวิจัย คำนวณพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “*คู่มือพลังงานชีววมวล*,” [Online]. Available : <http://www.eppo.go.th/engy/Load/ET08.pdf>. [Accessed : 3 มกราคม 2558].
- [8] สำนักงานนโยบายและพลังงาน กระทรวงพลังงาน, “*ชีววมวล*,” [Online]. Available : <http://www.eppo.go.th/vrs/VR5102.pdf>. [Accessed : 10 มกราคม 2558].
- [9] S. C. Bhattacharya, *Biocoal Technology and Economics*, Bangkok : Asian Institute of Technology, 1990.
- [10] M. Fardous et al. “Binderless lignocellulose composite from bagasse and mechanism of self-bonding,” *Holzforschung*, vol. 36, no. 3, pp. 131-135, February 1982.

- [11] H. V. Lee et al. "Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: Structure and chemical process," *The Scientific World Journal*, vol. 59, no. 8, pp. 187-193, August 2014.
- [12] Present5, "Bioconversion Technology," [Online]. Available: <https://present5.com/bioconversion-technologies-for-industrial-bioprocesses-bioprocess-considerations/> [Accessed : January 1,2020].
- [13] ปราโมทย์ วีรานุกุล, "การใช้กากมะพร้าว ต้นข้าวโพดและเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นในอัดความหนาแน่นปานกลาง," รายงานผลการวิจัยทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี 2554, กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 2554.
- [14] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, *ทฤษฎีและเทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งและชีวมวล*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.
- [15] อิทธิพล เตียวณิษฐ์, *กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงสำหรับการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโลหะ (OPTICAL MICROSCOPE)*, พิมพ์ครั้งที่1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [16] I. Tamioet et al. "The technical production development of advanced alternative coke fuel, bio-coke, by non-carbonized transfer technology," *Japan Institute of Energy*, vol. 90, no.1, pp. 2-9, August 2011.
- [17] M. Satoru et al. "A study of physical properties of high-density solid biomass, bio-coke, with unutilized biomass," *Journal of JSEM*, vol. 11, no. Special_Issue, pp. 19-24, June 2011.
- [18] M. Satoru et al. "Effect of crushing particle size on cold/hot compressive strength of high-density and high-hardness solid fuel produced from raw rice husk," *Journal of Smart Processing*, vol. 5, no. 5, pp. 269-275, August 2014.
- [19] Y. Torii et al. "Forming characteristics of bio-coke with a mixture of bamboo and carbonized Japanese cedar," *Journal of Smart Processing*, vol. 1, no. 2, pp. 63-70, July 2012.
- [20] H. Murata et al. "An experimental study for functional improvement of woody bio-coke by the addition of rice bran," *Journal of Smart Processing*, vol. 3, no.5, pp. 283-288, July 2014.

- 
- [21] M. Seo et al. "Carbonization characteristics of biomass/coal blend for bio-coke," *The 14th International Conference on Fluidization-From Fundamentals to Products*, ECI14, Seoul, Korea, May 26-31, 2013, pp. 187-194.
- [22] I.E. Smith et al. "The briquetting of wheat straw," *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 22, no.2, pp. 105-111, June 1977.
- [23] W. C. Edwards et al. "Equipment for producing of a water resistant densified fuel from forest biomass," *Proceedings of the Sixth Canadian Bioenergy R & D Seminar*, CBS6, British Columbia, Canada, February 16-18, 1987, pp. 214-218.
- [24] 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, May 2011.
- [25] 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, February 2011.
- [26] J. S. Tumuluru et al. "Effect of moisture content and hammer mill screen size on the briquetting characteristics of woody and herbaceous biomass," *KONA Powder and Particle Journal*, vol.36, no.1, pp. 241-251, January 2019.
- [27] L. F. Madieto et al. "Mechanical strength of bio-coke from briquettes," *Renewable Energy*, vol.146, no.146, pp. 1717-1724, February 2020.
- [28] H. Hara et al. "Production of Bio-Coke from spent mushroom substrate for a sustainable solid fuel," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 1, no. 15, pp. 174-179, July 2020.
- [29] A. Demirbas et al. "Relationships between lignin contents and heating values of biomass," *Energy Conversion & Management*, vol. 42, no. 42, pp. 183-188, January 2001.
- [30] A. L. Sullivan et. al. "Thermal decomposition and combustion chemistry of cellulosic biomass" *Atmospheric Environment*, vol.47, no.47, pp. 133-141, February 2012.

ภาคผนวก

TNI

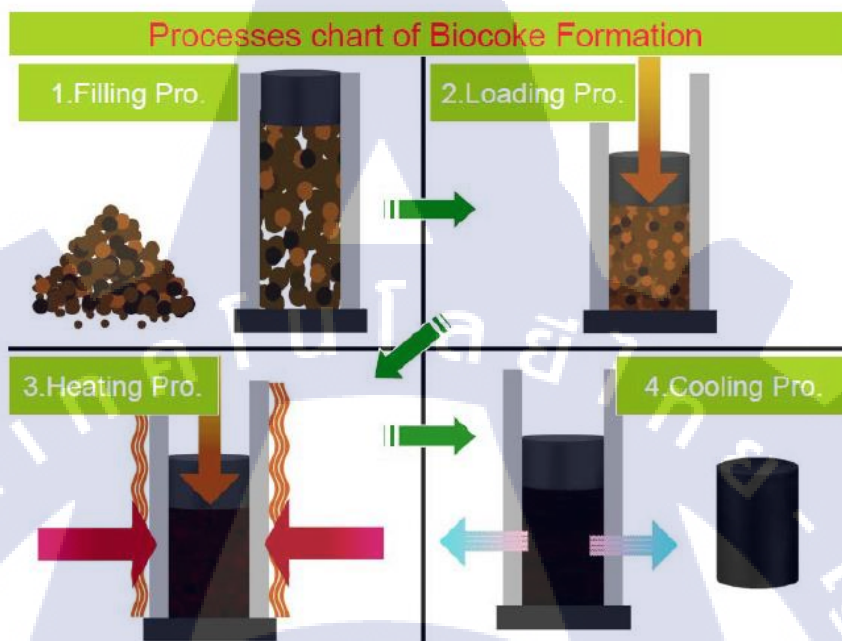
ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการผลิตผ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง

TNI

ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง

ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ แสดงในรูป ก.1



รูปที่ ก.1 ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ

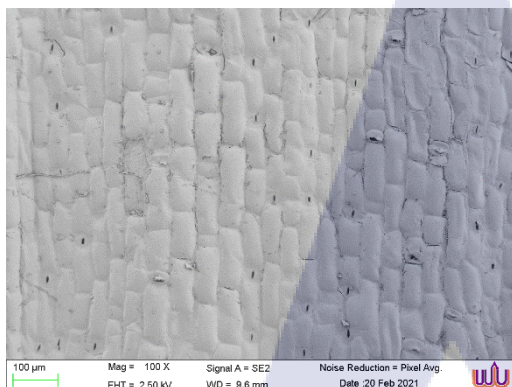
ขั้นตอนการผลิต

1. ใส่ก้อนทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร จำนวน 2 ก้อน และสูง 50 มิลลิเมตร บริเวณด้านล่างของกระบอกลูกสูบเพื่อรองรับวัตถุดิบ
2. นำวัตถุดิบ 50 กรัม ใส่ลงในกระบอกลูกสูบ จากนั้นนำก้อนทองเหลืองที่มีรูใส่เทอร์โมคัปเปิล ปิดด้านบน
3. นำลูกสูบมาประกอบเข้ากับก้อนทองเหลืองด้านบน จากนั้นกดด้วยไฮดรอลิกจนได้ความดัน 16 MPa
4. นำฮีตเตอร์ไฟฟ้ามาครอบกระบอกลูกสูบเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการและคงที่ไว้เป็นเวลา 15 นาที
5. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้แล้ว นำฮีตเตอร์ไฟฟ้าออก และรออุณหภูมิกระบอกลูกสูบลดลง
6. นำถ่านชีวภาพออกจากกระบอกลูกสูบ

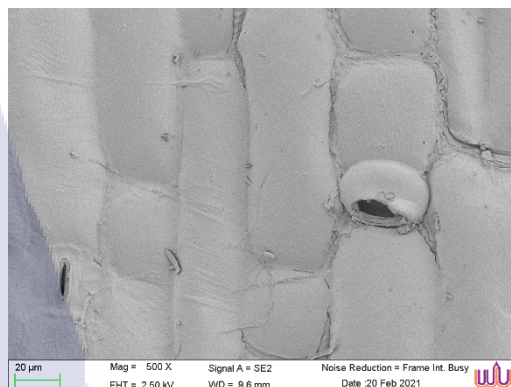
ภาคผนวก ข.

ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของลักษณะพื้นผิวของเปลือกข้าวโพด

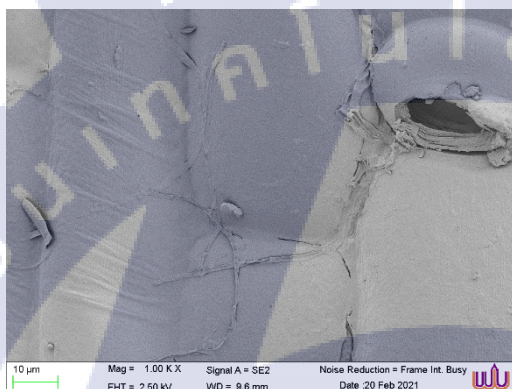
TNI



(A : กำลังขยาย 100 เท่า)



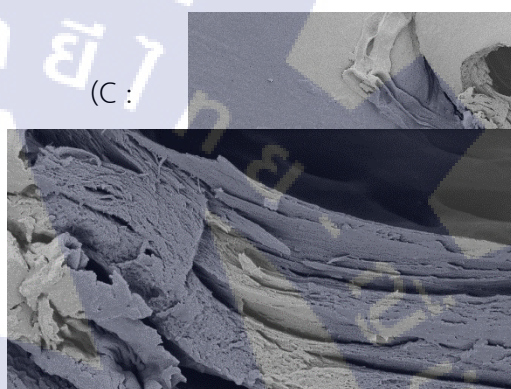
(B : กำลังขยาย 500 เท่า)



กำลังขยาย 1000 เท่า

(D :

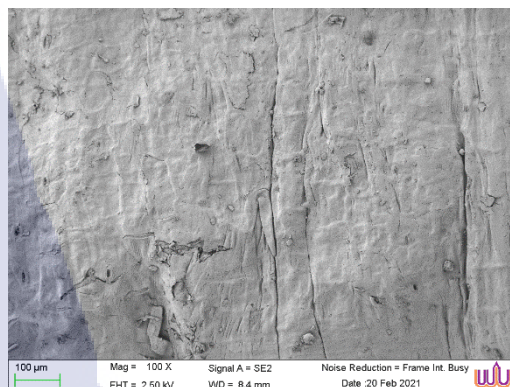
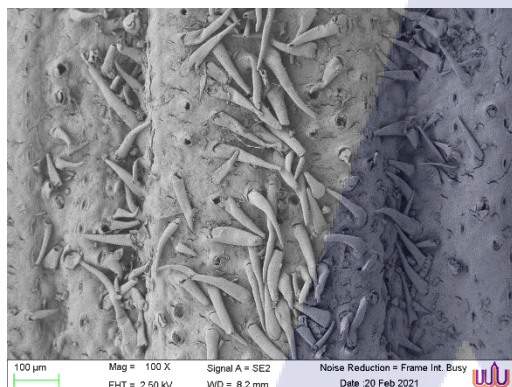
กำลังขยาย 2000 เท่า)



(E : กำลังขยาย 5000 เท่า)

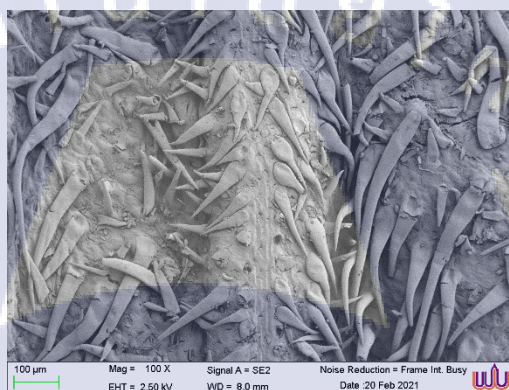
(F : กำลังขยาย 10000 เท่า)

รูปที่ ข.1 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยายขนาดต่างๆ ของเปลือกข้าวโพด ก่อนทำการขึ้นรูป



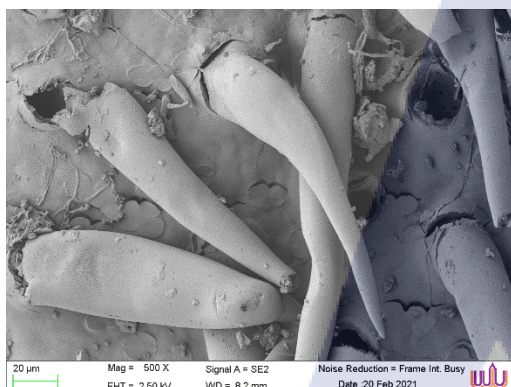
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

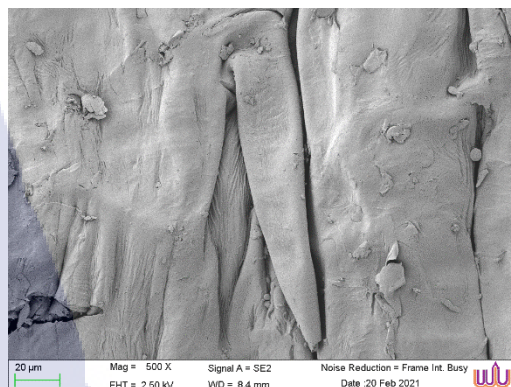


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

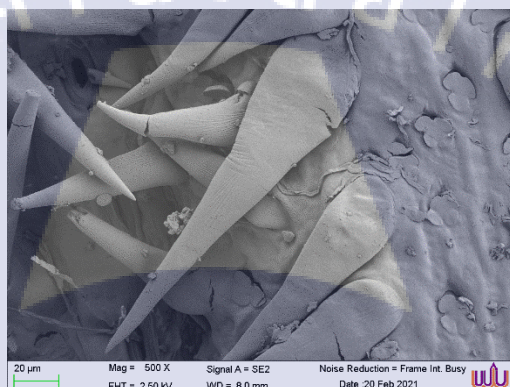
รูปที่ ข.2 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)



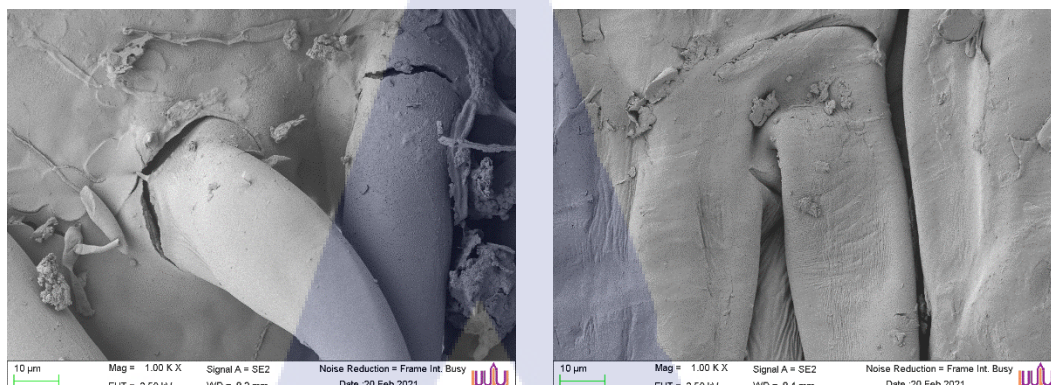
(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



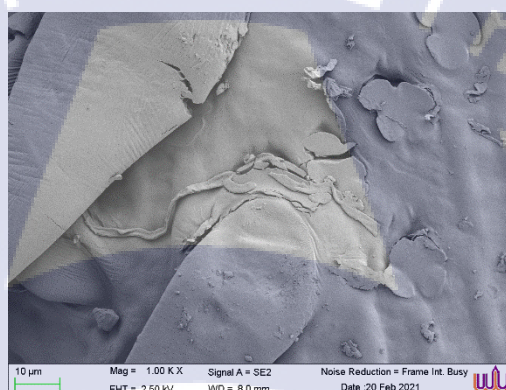
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.3 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa

TNI

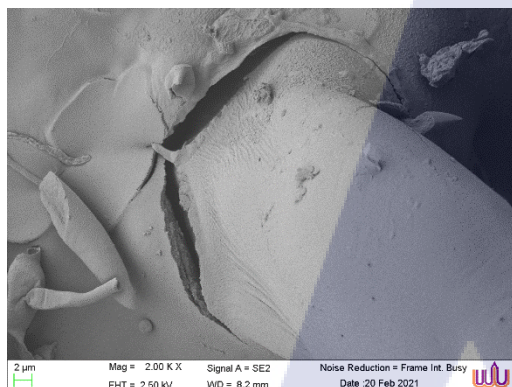


(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร) (B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

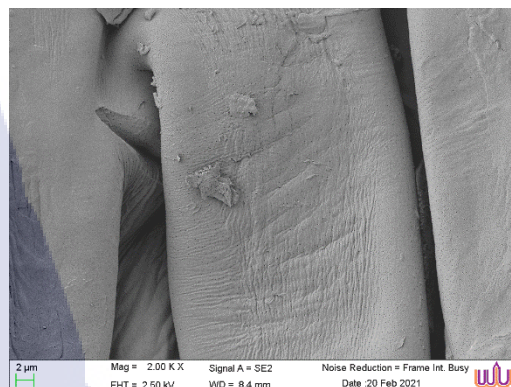


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

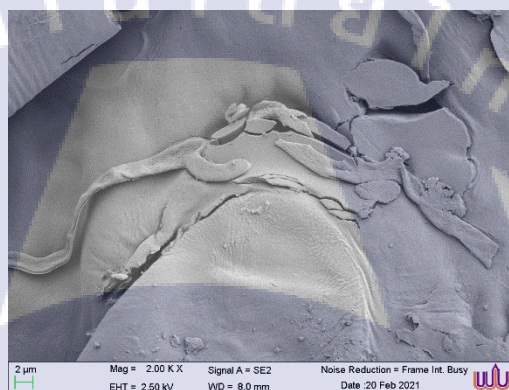
รูปที่ ข.4 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

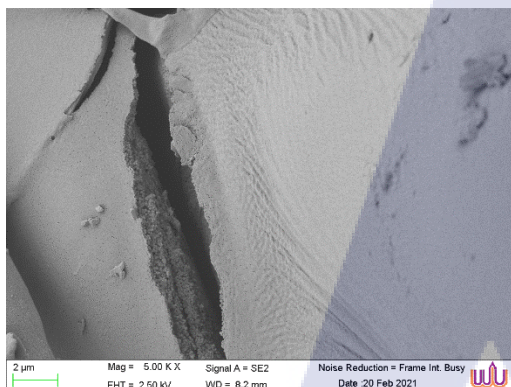


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

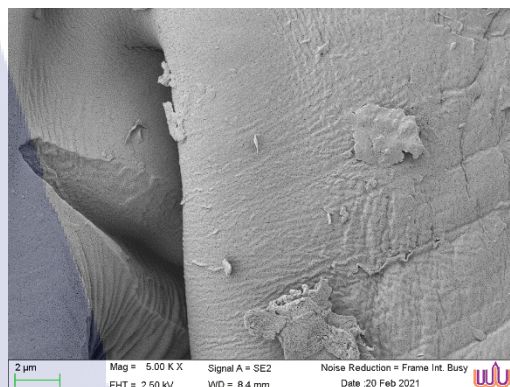


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

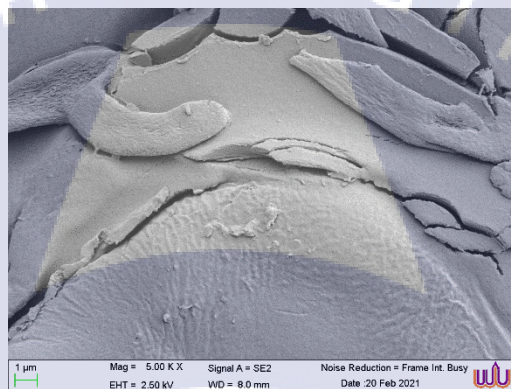
รูปที่ ข.5 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

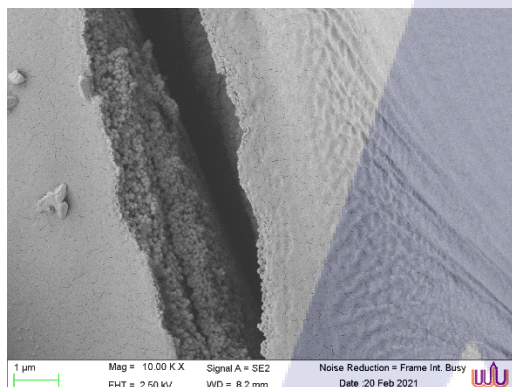


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

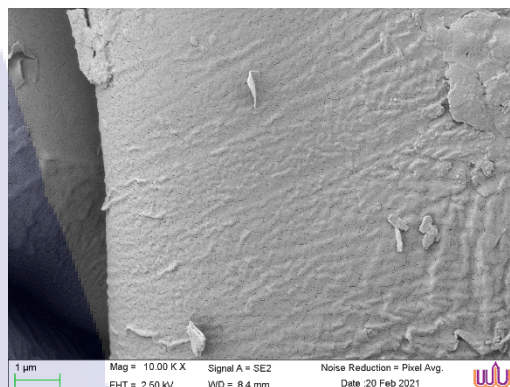


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

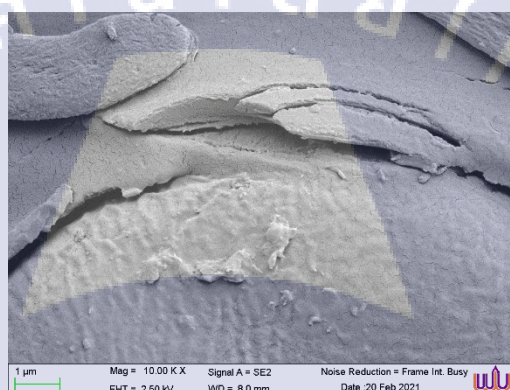
รูปที่ ข.6 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

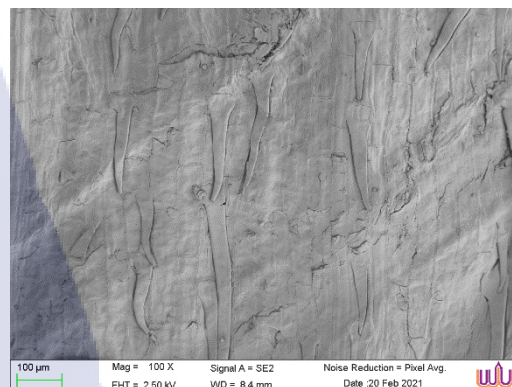
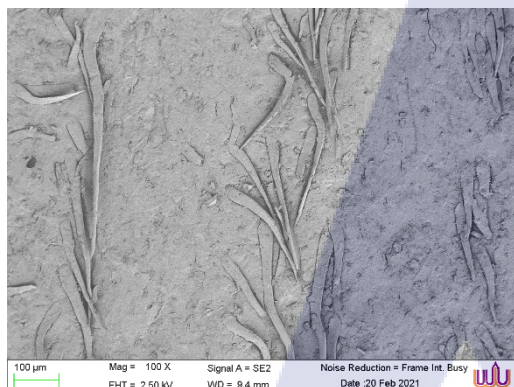


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



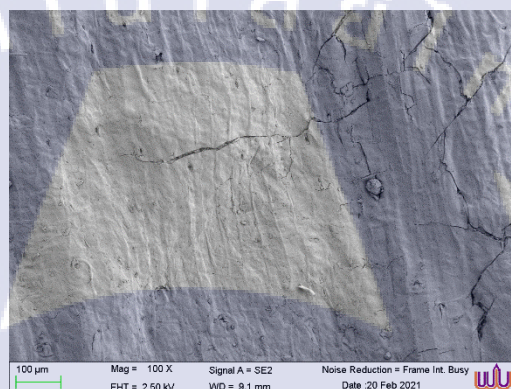
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.7 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



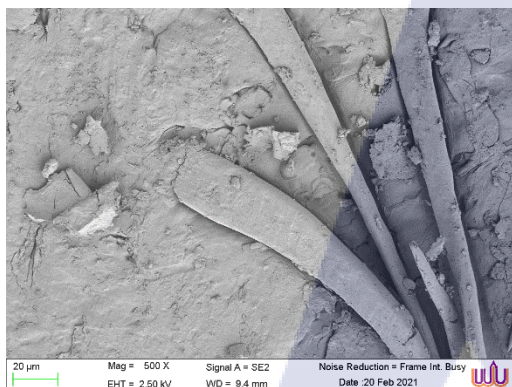
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

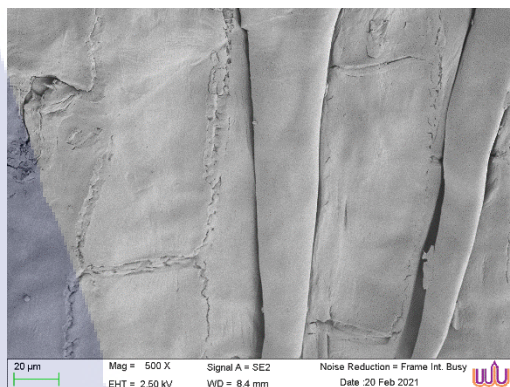


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

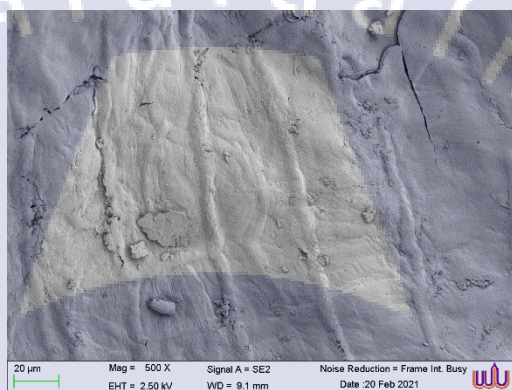
รูปที่ ข.8 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

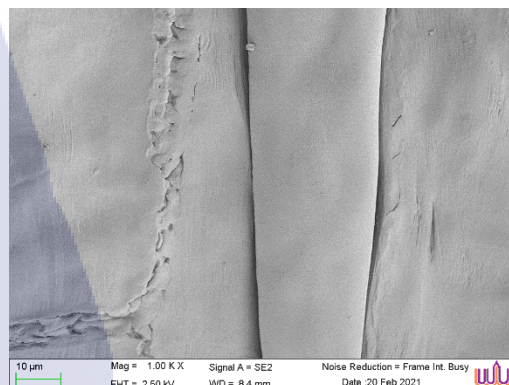
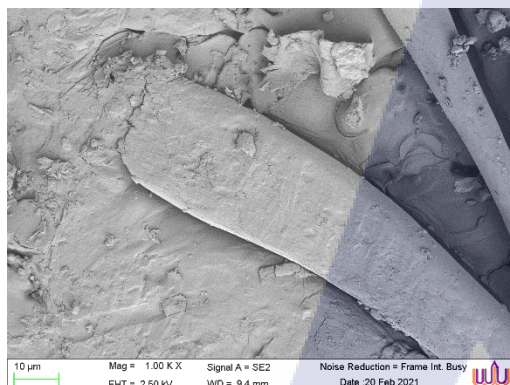


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



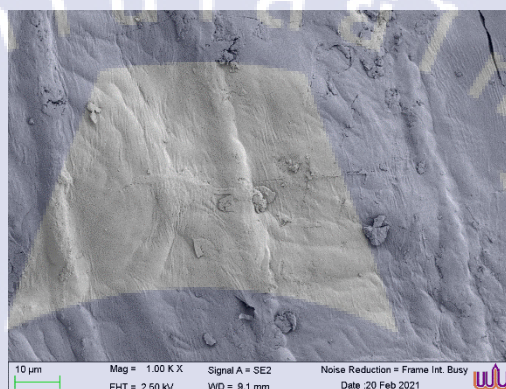
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.9 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



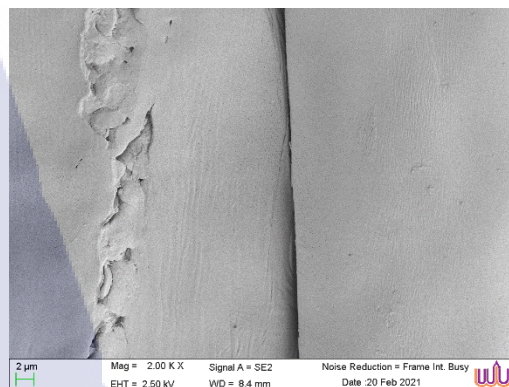
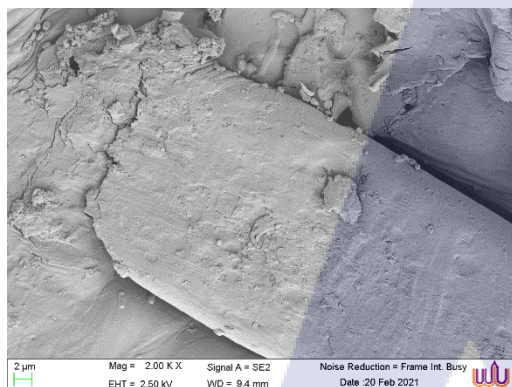
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



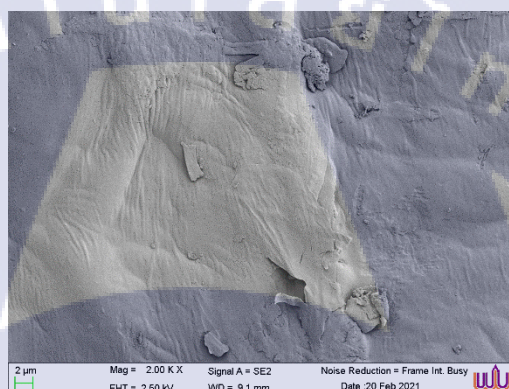
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.10 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



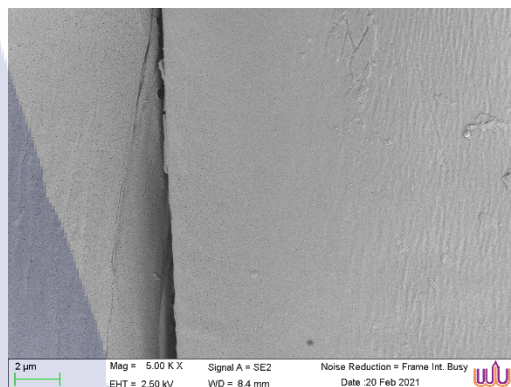
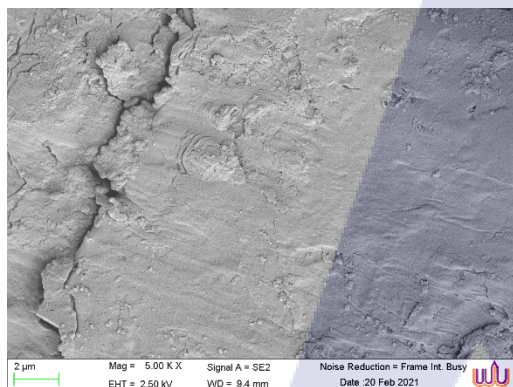
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



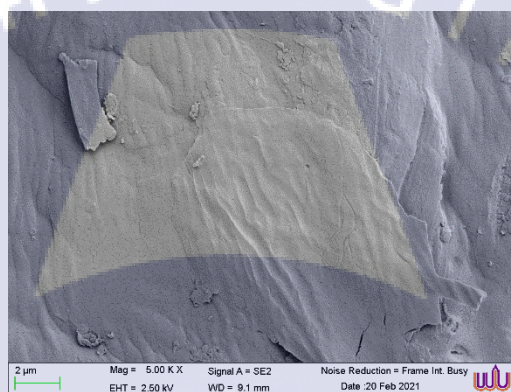
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.11 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



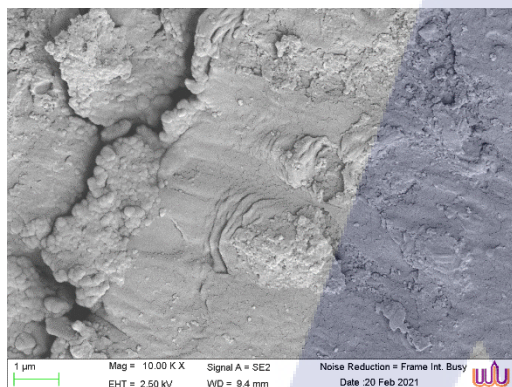
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

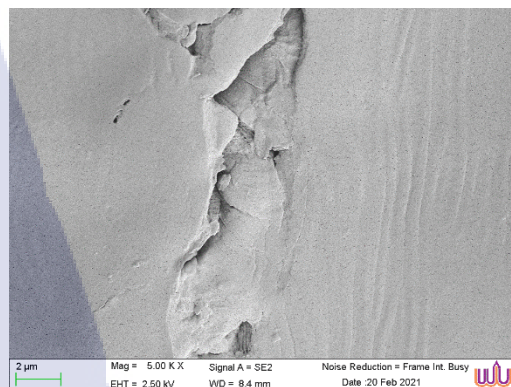


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

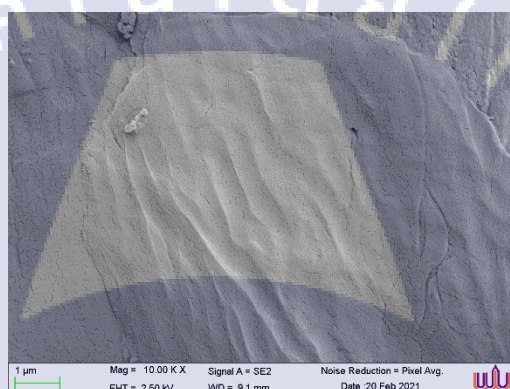
รูปที่ ข.12 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

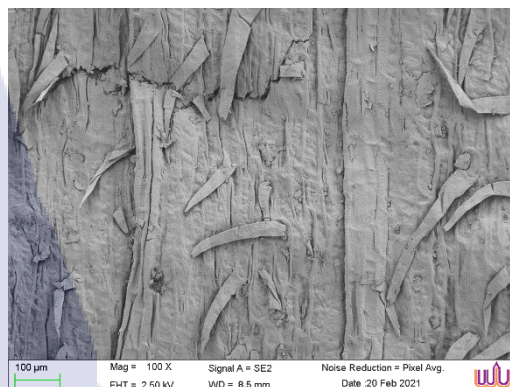
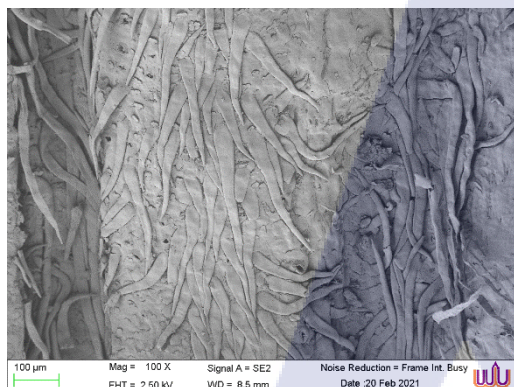


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



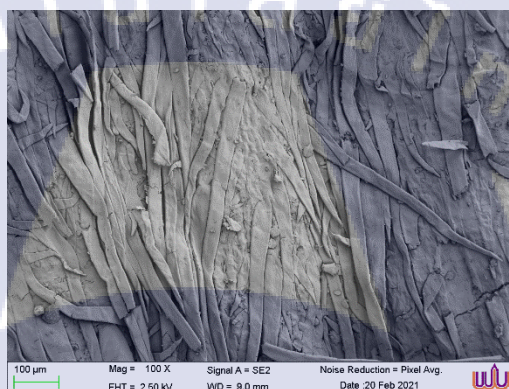
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.13 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 160 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



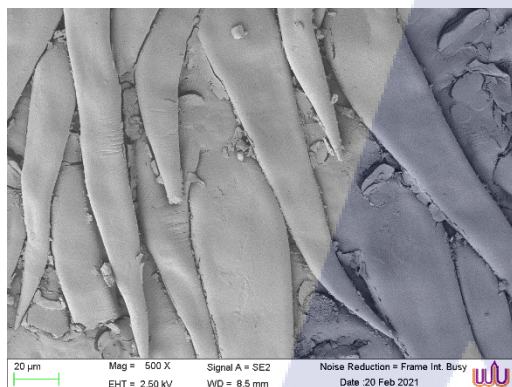
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

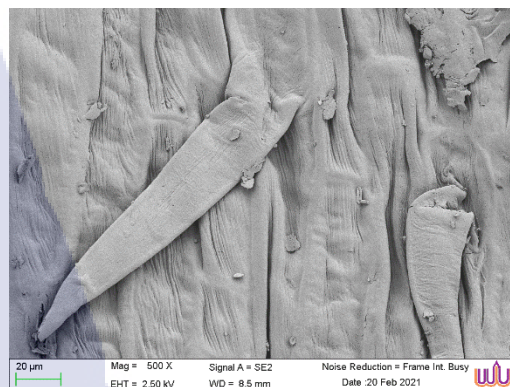


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

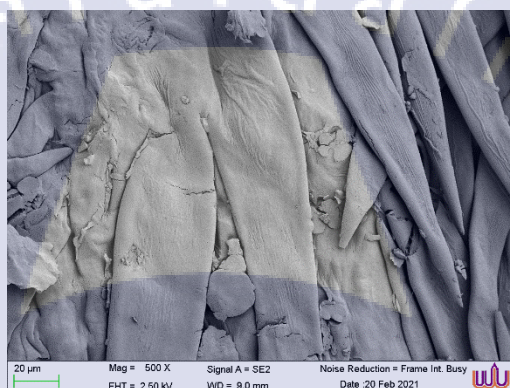
รูปที่ ข.14 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

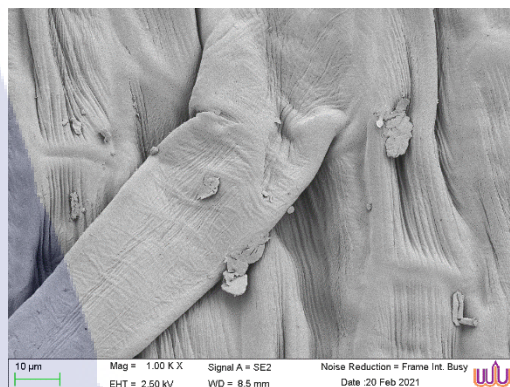
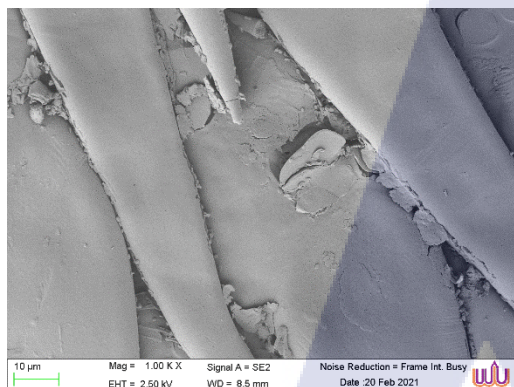


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



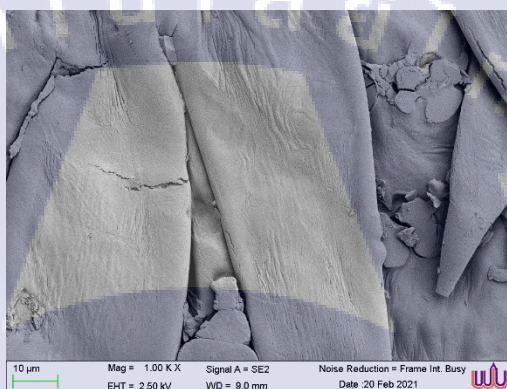
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.15 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



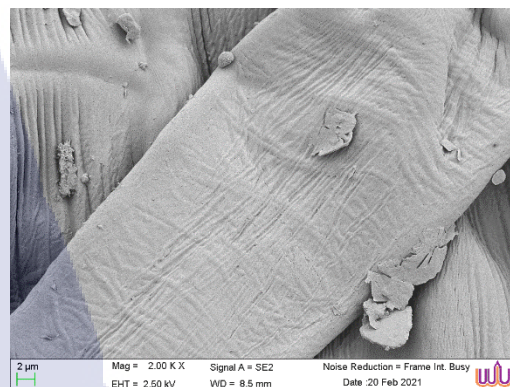
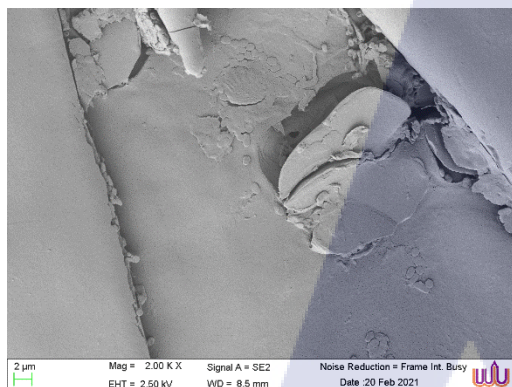
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



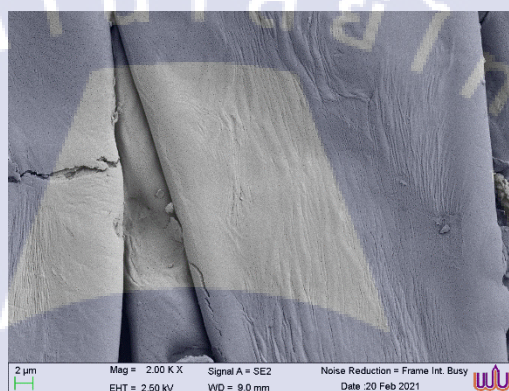
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.16 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



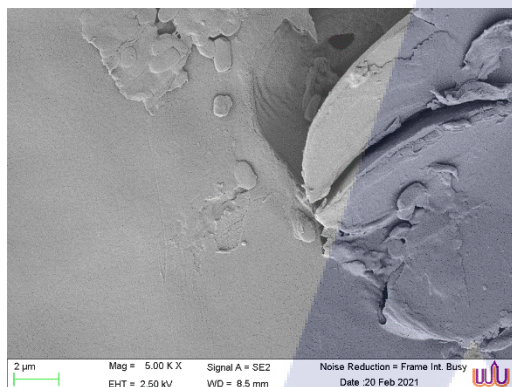
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

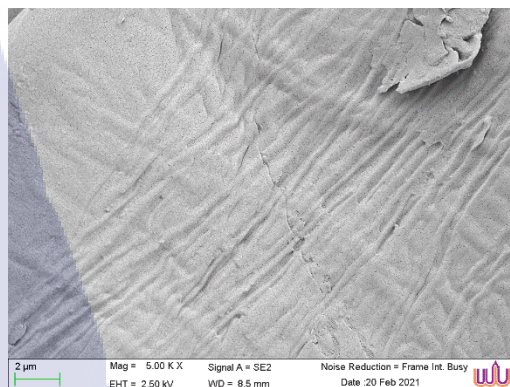


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

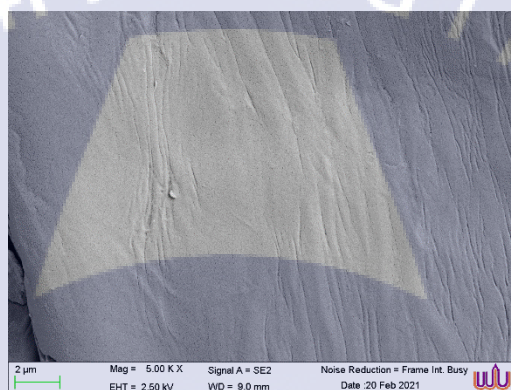
รูปที่ ข.17 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

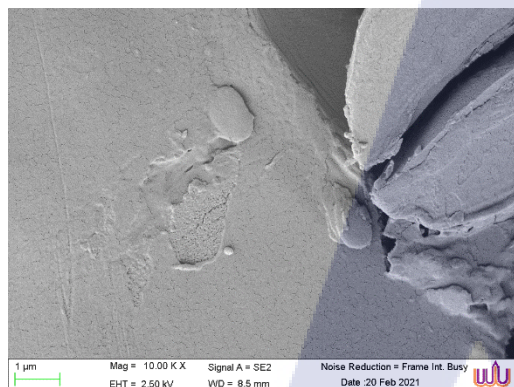


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

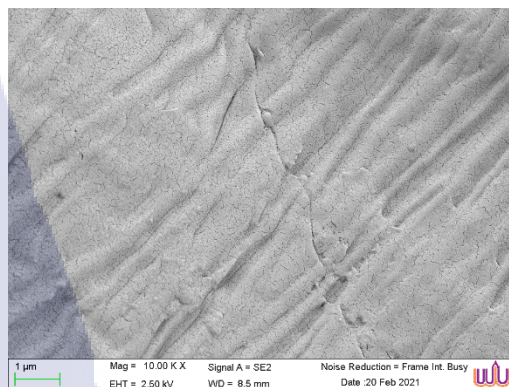


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

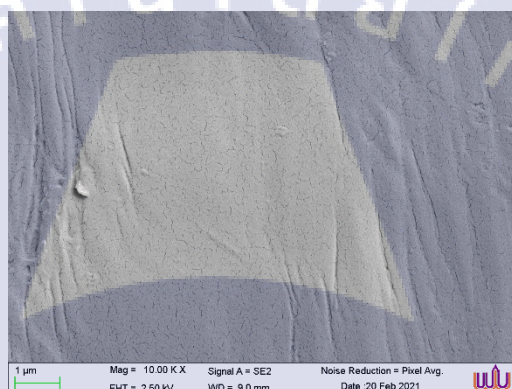
รูปที่ ข.18 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

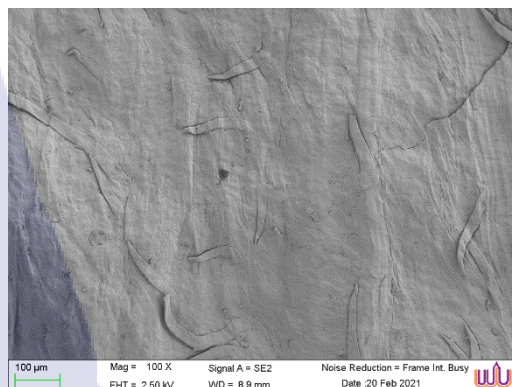
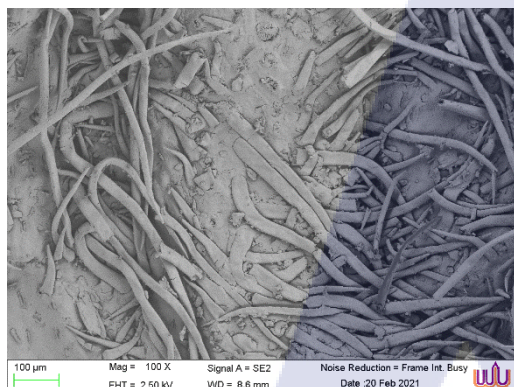


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



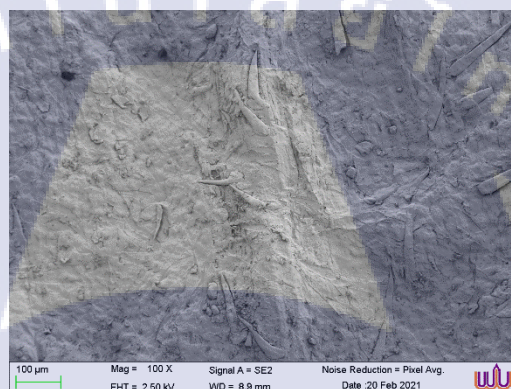
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.19 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 170 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



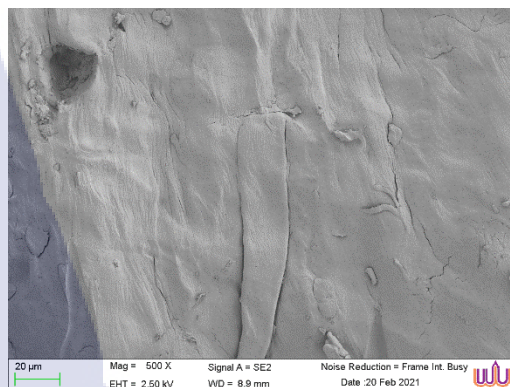
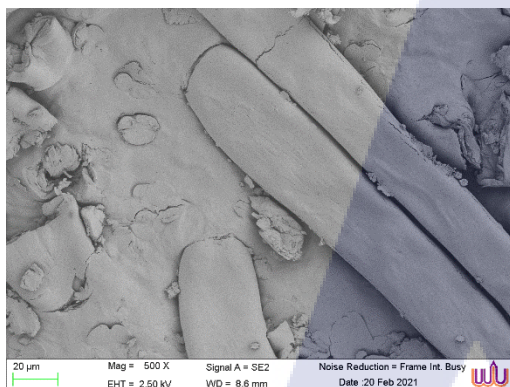
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



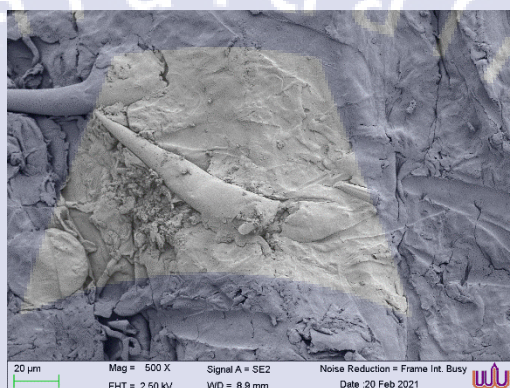
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.20 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



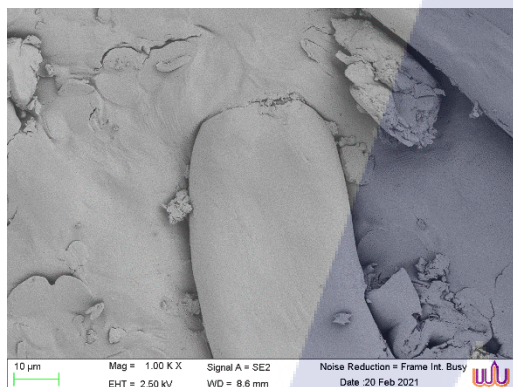
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

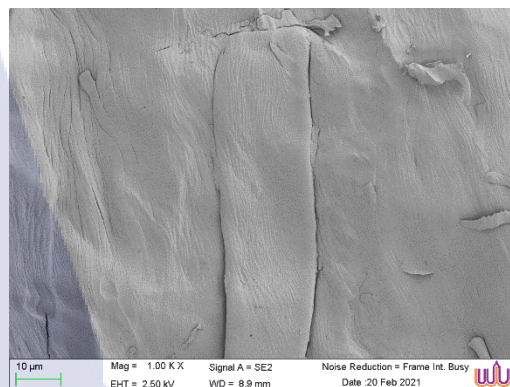


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

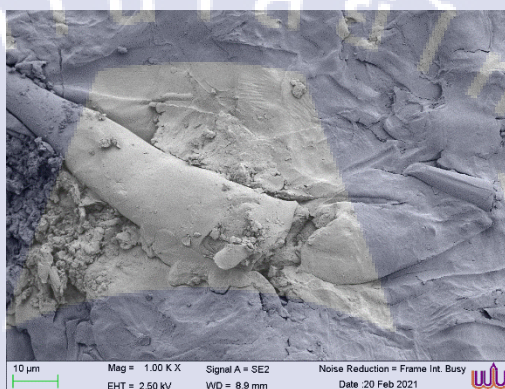
รูปที่ ข.21 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

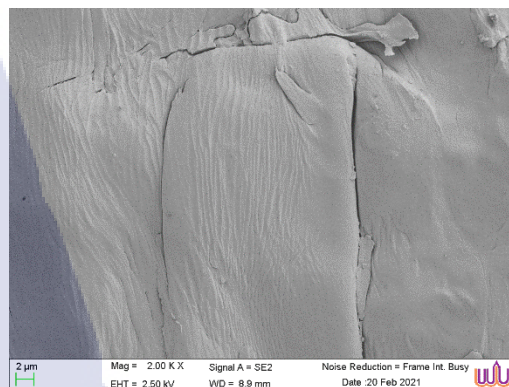
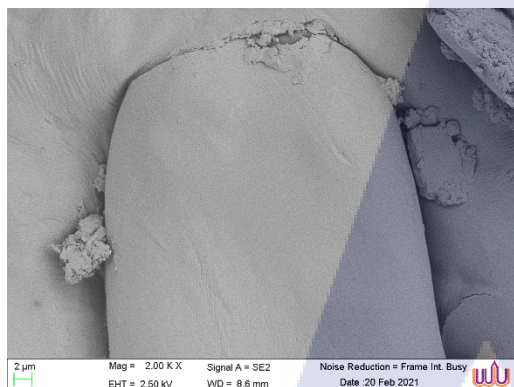


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



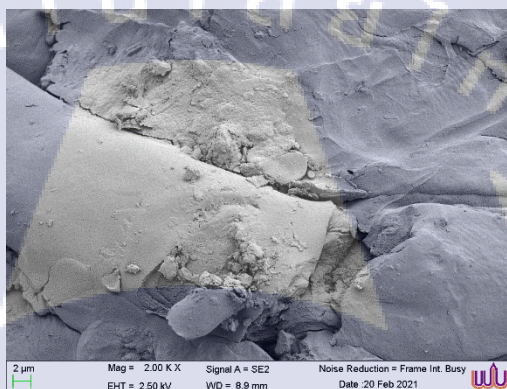
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.22 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



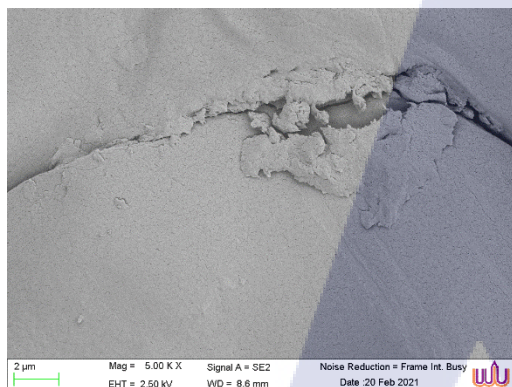
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

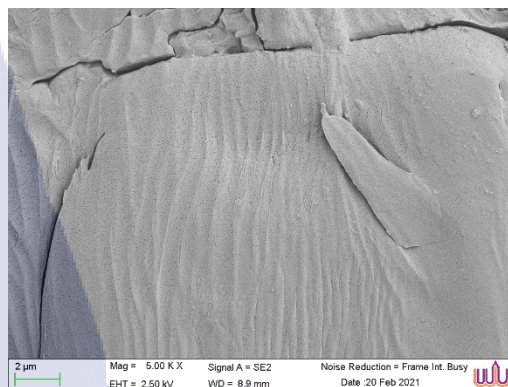


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

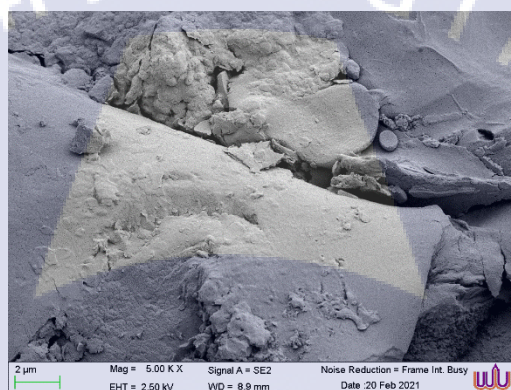
รูปที่ ข.23 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

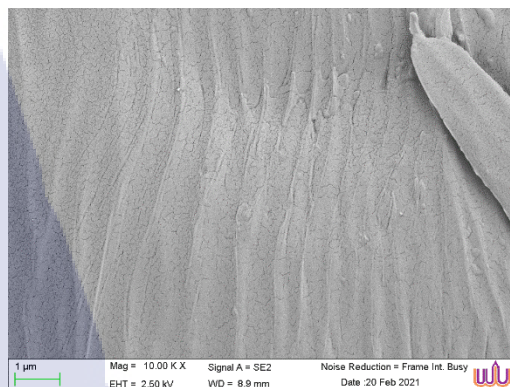
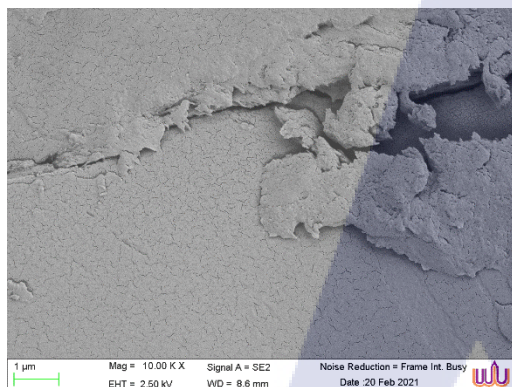


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



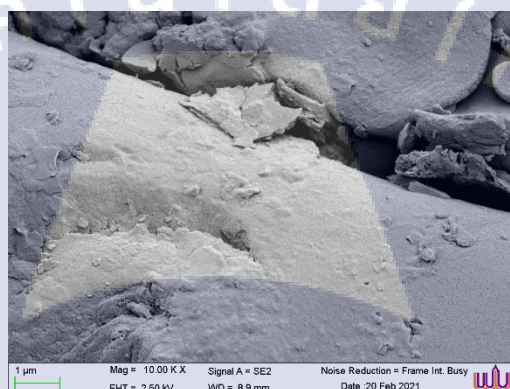
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.24 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



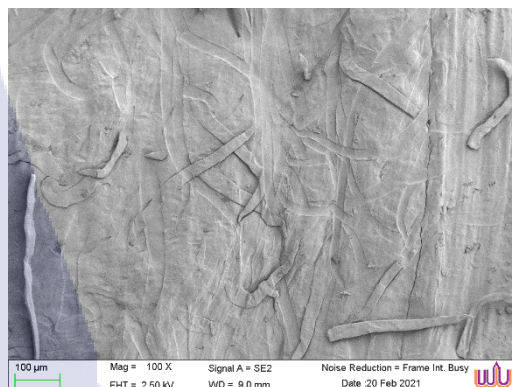
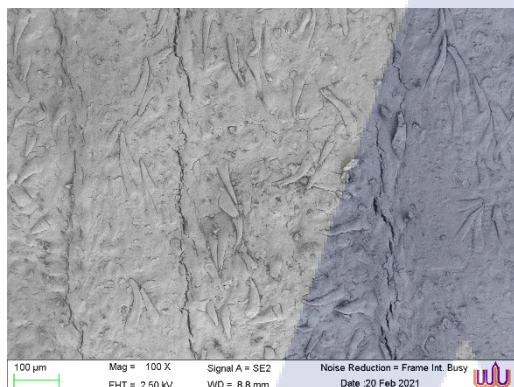
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



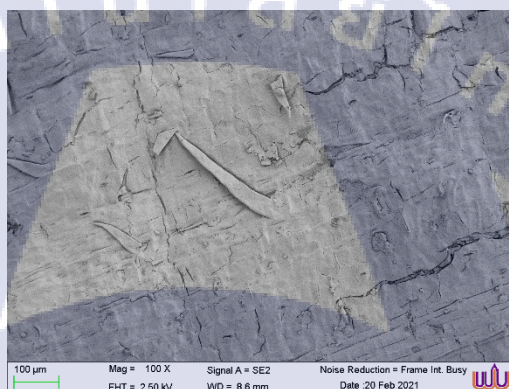
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.25 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 180 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



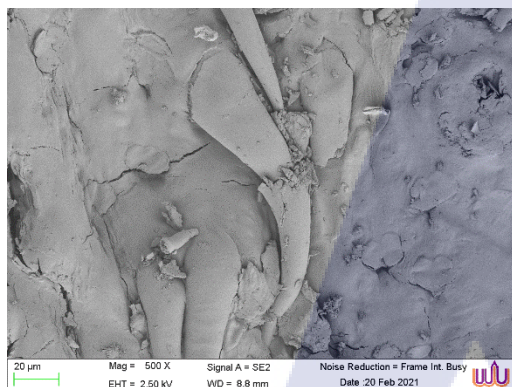
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

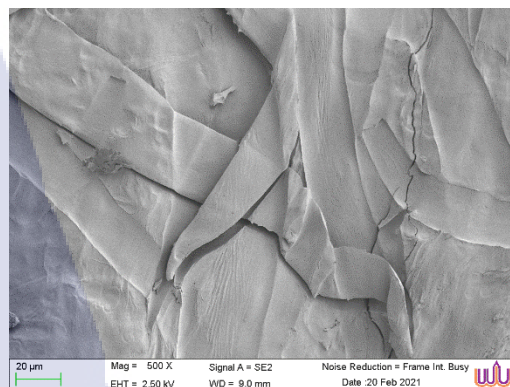


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

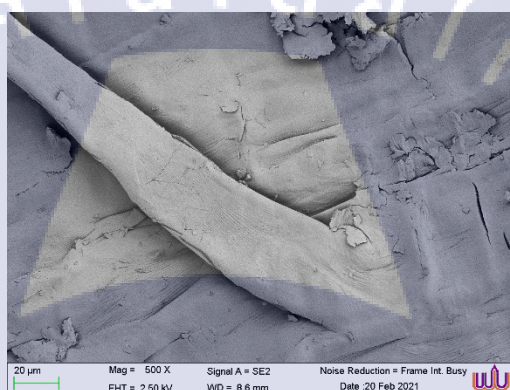
รูปที่ ข.26 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 100 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

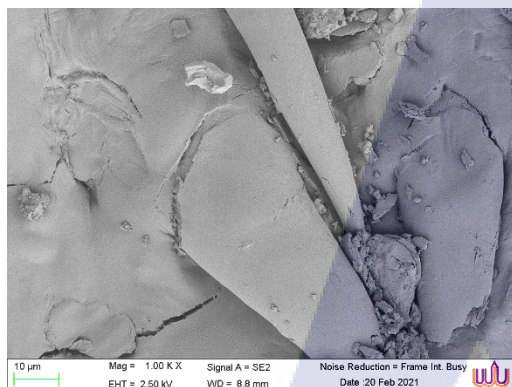


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)

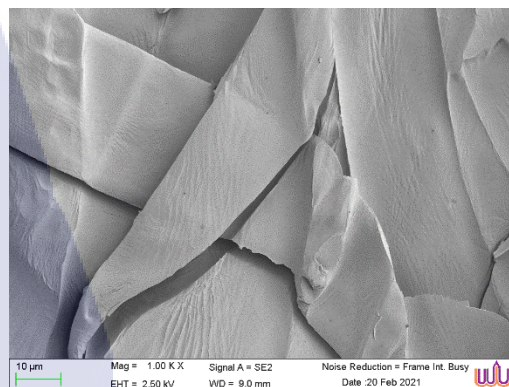


(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

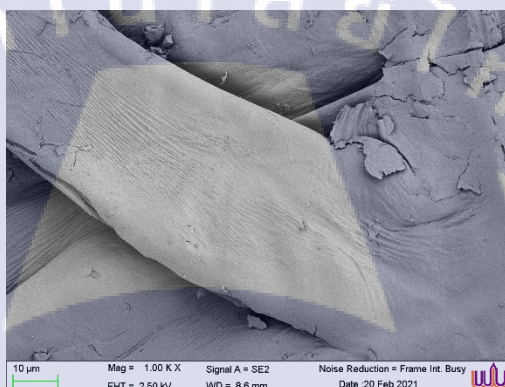
รูปที่ ข.27 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 500 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

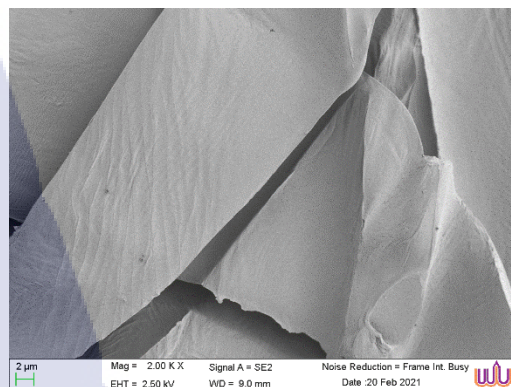
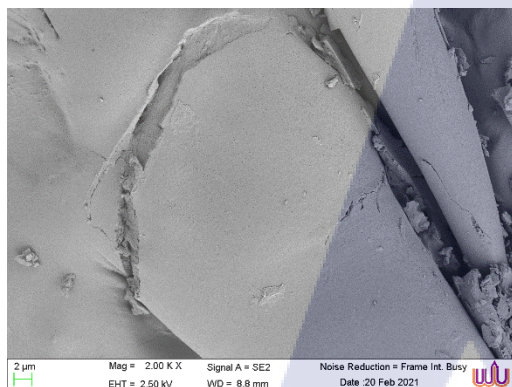


(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



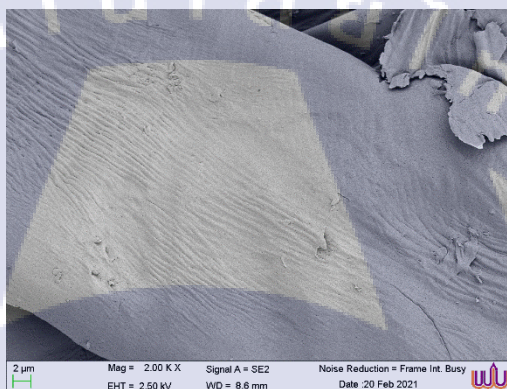
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.28 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



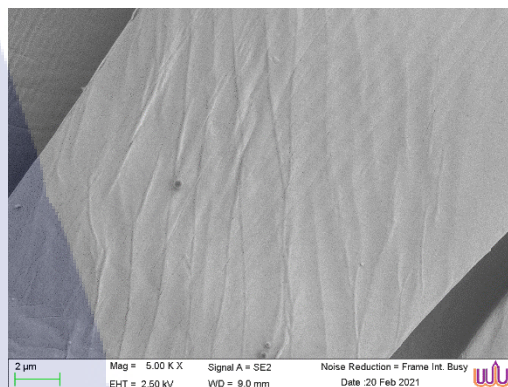
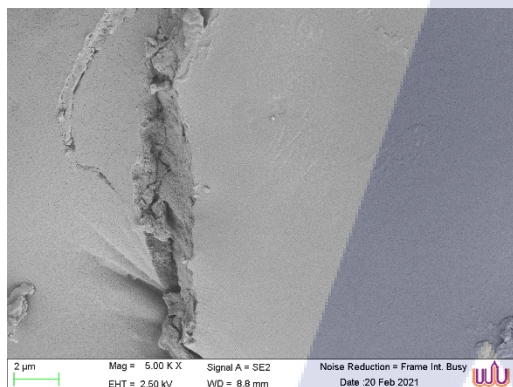
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



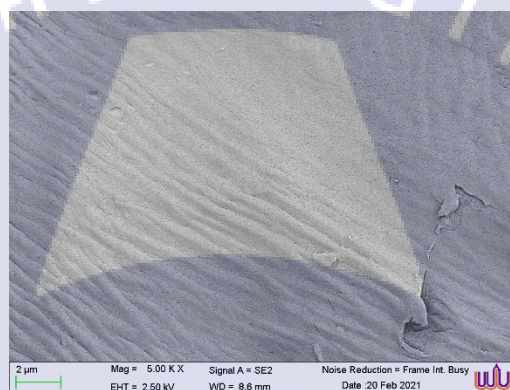
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.29 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 2000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



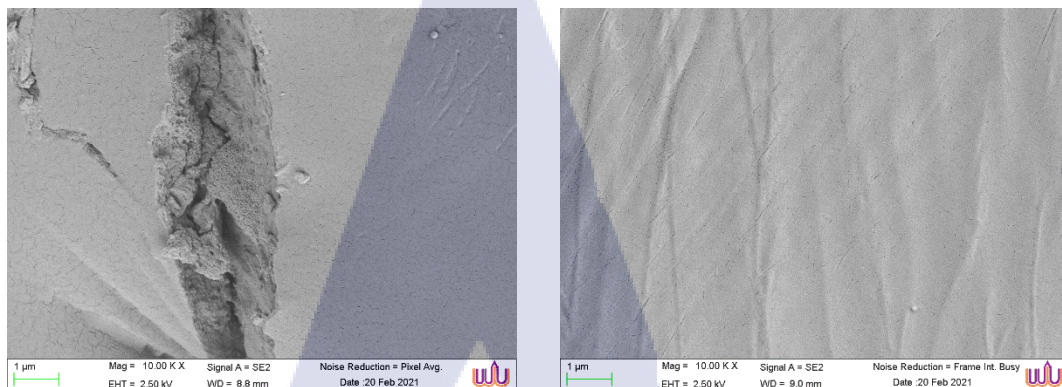
(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



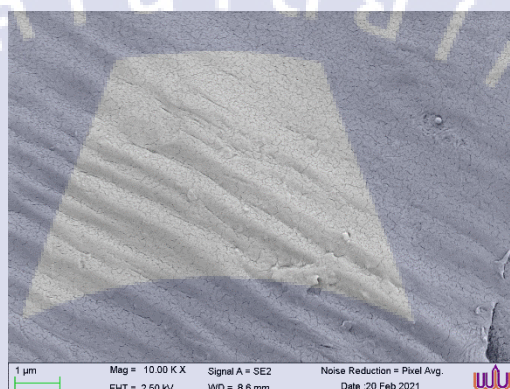
(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.30 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 5000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa



(A : เปลือกข้าวโพดขนาด 0.5เซนติเมตร)

(B : เปลือกข้าวโพดขนาด 1เซนติเมตร)



(C : เปลือกข้าวโพดขนาด 2เซนติเมตร)

รูปที่ ข.31 ลักษณะพื้นผิวที่มีกำลังขยาย 10000 เท่าของถ่านชีวภาพของเปลือกข้าวโพดขนาด 0.5 1 และ 2 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขการผลิต อุณหภูมิ 190 เวลา 15 นาที ความดัน 16 MPa

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลดิบ

TNI

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลคุณสมบัติสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ลักษณะชิ้นงาน			
	อุณหภูมิ (°C)	ขนาดเปลือก ข้าวโพด (cm)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/ cm ³)
1	150	0.5	2.9	50.19	52.48	0.96
2	150	0.5	2	49.77	36.19	1.38
3	160	0.5	2.1	50.47	36.19	1.39
4	160	0.5	2	50.05	36.19	1.38
5	170	0.5	2	49.82	36.19	1.38
6	170	0.5	2	49.89	36.19	1.38
7	180	0.5	2	50.3	36.19	1.39
8	180	0.5	2	49.82	36.19	1.38
9	190	0.5	2	49.51	36.19	1.37
10	190	0.5	2	49.3	36.19	1.36
11	150	1	2	50	36.19	1.38
12	150	1	2	49.84	36.19	1.38
13	160	1	2	49.75	36.19	1.37
14	160	1	2.1	50.35	38	1.32
15	170	1	2.4	50.66	43.43	1.17
16	170	1	2.1	50.2	38	1.32
17	180	1	2	49.65	36.19	1.37
18	180	1	2	50	36.19	1.38
19	190	1	2.1	49.74	38	1.31
20	190	1	1.95	49.53	35.29	1.40

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลดิบสภาวะการขึ้นรูปชิ้นงาน (ต่อ)

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ลักษณะชิ้นงาน			
	อุณหภูมิ (°C)	ขนาดเปลือก ข้าวโพด (cm)	ความสูง (cm)	น้ำหนัก (g)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/ cm ³)
21	150	2	2.5	50.79	45.24	1.12
22	150	2	2.25	52.77	40.72	1.30
23	160	2	2.2	51.3	39.81	1.29
24	160	2	2.1	51	38	1.34
25	170	2	2	50.01	36.19	1.38
26	170	2	2	49.91	36.19	1.38
27	180	2	2	49.87	36.19	1.38
28	180	2	2.1	50.59	38	1.33
29	190	2	2.1	50.37	38	1.33
30	190	2	2	50.09	36.19	1.38