

ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม

กীরเดช สายเสริมศักดิ์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2562

EFFECT OF FORMING CONDITIONS ON PROPERTIES OF BIOCOKE FROM PALM
RESIDUES

Peeradej Saiserssak

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirement
For the Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology
Graduate School
Academic year 2019

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม
โดย	ภีรเดช สายเสริมศักดิ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อาริรัตน์)

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

..... กรรมการ
(ดร. ดอน แก้วดก)

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

เกร็ดข สยเสริมศักดี : ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, 46 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการผลิตถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด โดยการทดลองชุดแรกทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 100 140 170 180 และ 190°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 10 15 20 และ 25 นาที และความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa และการทดลองชุดที่ 2 เป็นการศึกษาผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบตั้งต้นต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ ความชื้นของวัตถุดิบตั้งต้น คือ 0 5 10 15 และ 20% โดยกำหนดให้เวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปคงที่ที่ 15 นาที 180°C และ 16 MPa ตามลำดับ โดยทำการศึกษาของสภาวะในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น) สมบัติทางความร้อน (ค่าความร้อน) และสมบัติทางกล (ความต้านทานแรงอัดสูงสุด และความแข็ง)

จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิในการขึ้นรูป เวลาในการขึ้นรูป และความชื้น ส่งผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพอย่างชัดเจน โดยความหนาแน่น ความแข็งของถ่านชีวภาพ และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป ความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้น หากเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 100-140 °C แต่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 140-190°C นอกจากนี้ เมื่อเพิ่มความชื้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีความหนาแน่น และความแข็งของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความร้อนค่าลดลง ส่วนความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเป็น 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเท่ากับ 5% แต่มีแนวโน้มลดลงเพื่อวัตถุดิบมีความชื้นเพิ่มในช่วง 5-20%

PEERADEJ SAISERMSAK: EFFECT OF FORMING ON PROPERTIES OF BIOCOKE FROM
PLAM RESIDUES. ADVISOR: ASST. PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG, 46 PP.

In this research, used palm residues were used as raw material for the production of biocoke. The experiment was divided into two sets. The first set of experiment was focused on the study of effect of forming temperature and forming time on properties of biocoke. Forming temperature was varied at 100, 140, 170, 180 and 190°C. Forming time was varied at 10, 15, 20 and 25 minutes. The forming pressure was fixed at 16 MPa. The second set of experiment was focused on the study of effect of moisture content of raw material on properties of biocoke. The moisture content of raw material was controlled at 0, 5, 10, 15 and 20%. The forming temperature, forming time and forming pressure were fixed at 180°C, 15 minutes and 16 MPa, respectively. The effect of forming conditions on properties of produced biocoke such as physical property (density), thermal property (calorific value) and mechanical properties (maximum compressive strength and hardness) were investigated.

It was found that forming temperature, forming time and moisture content of raw materials has a significant effect on the properties of biocoke. Density, hardness and calorific value of biocoke increase with the increase of forming temperature and forming time. Maximum compressive strength of biocoke increases with the increase of forming temperature in the range of 100-140°C. However, maximum compressive strength of biocoke decreases with the increase of forming temperature in the range of 140-190°C. In addition, density and hardness and calorific value of biocoke increase with the increase of moisture content of raw materials. In contrast, calorific value of biocoke decreases with the increase of moisture content of raw materials. Maximum compressive strength of biocoke is lowest when the moisture content of raw materials is 0%. However, maximum compressive strength of biocoke increases when increase the moisture content of raw materials to 5%.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2019

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือของของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณามอบโอกาสและคำแนะนำ แนวทางการศึกษาต่อ แนวทางการสืบค้นข้อมูล แนวทางและการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ดอน แก้วดก (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิจัยนี้

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

ขอขอบพระคุณ คุณ สุพิชญา เชิดเกียรติกุล ที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการใช้อุปกรณ์

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งผู้ที่กล่าวและผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ภิรเดช สายเสริมศักดิ์

TNI

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารชีวมวล.....	4
2.2 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล.....	4
2.3 ถ่านชีวภาพ.....	5
2.4 สมบัติของถ่านชีวภาพ.....	5
2.5 กากปาล์ม (Palm Ground).....	6
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	10
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	10
3.2 ตัวแปรการทดลองชุดที่ 1.....	11
3.3 ตัวแปรการทดลองชุดที่ 2.....	11
3.4 วัตถุประสงค์.....	12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.5 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 1.....	13
	3.6 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 2.....	14
	3.7 ขั้นตอนการทดลอง.....	15
	3.8 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	17
4	วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	19
	4.1 ผลกระทบของสภาวะการผลิตของถ่านชีวภาพ.....	19
	4.2 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	26
5	สรุปผลการวิจัย.....	31
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	31
	5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง.....	32
	บรรณานุกรม.....	33
	ภาคผนวก.....	36
	ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเครื่องผลิตแบบแนวตั้ง.....	37
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบ.....	39
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	46

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	3
2.1 Lignocelluleric Composition.....	7
2.2 Proximate Analysis.....	7
2.3 Ultimate Analysis.....	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ.....	9
4.1 การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	29
ข.1 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็ง.....	40
ข.2 ข้อมูลดิบความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความร้อน.....	42
ข.3 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็งของการทดลองชุดที่ 2.....	44
ข.4 ข้อมูลดิบความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความร้อนของการทดลองชุดที่ 2.....	45

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	6
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	10
3.2 กากปาล์มที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว.....	12
3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 1.....	13
3.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 2.....	14
3.5 เครื่องวัดความชื้น.....	15
3.6 ตู้อบ.....	15
3.7 ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ.....	16
3.8 เครื่องอัดไฮดรอลิคแบบแนวตั้ง.....	16
3.9 ภาพจำลองเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์.....	17
3.10 เครื่องทดสอบการกด.....	18
3.11 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	18
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	19
4.2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 500 เท่า เวลา 15 นาที (a) 100°C (b) 140°C (c) 170°C (d) 180°C (e) 190°C.....	20
4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 1,000 เท่า เวลา 15 นาที (a) 100°C (b) 140°C (c) 170°C (d) 180°C (e) 190°C.....	21
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านบนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	22
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านข้างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	22
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก กากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	23
4.7 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ เวลา 15 นาที (a) ด้านบน 170°C (b) ด้านข้าง 170°C (c) ด้านบน 180°C (d) ด้านข้าง 180°C.....	24
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อ ความชื้นของวัตถุดิบ.....	26
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านบนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อ ความชื้นของวัตถุดิบ.....	27
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านข้างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อ ความชื้นของวัตถุดิบ.....	27
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจาก กากปาล์มต่อความชื้นของวัตถุดิบ.....	28
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อความชื้น ของวัตถุดิบ.....	29
ก.1 ภาพรวมขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ.....	38

TNI

TAHT - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันความต้องการที่เพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิงฟอสซิลนำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นตัวแปรสำคัญของการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศเนื่องจากก๊าซมลพิษนั้นไปทำลายชั้นโอโซน และก๊าซในชั้นบรรยากาศนั้นได้มีการกักเก็บรังสีไว้เป็นจำนวนมากจนทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

ถ่านชีวภาพเป็นชีวมวลที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยกระบวนการอัดร้อนที่ความดันสูง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชีวมวลโดยปราศจากกระบวนการคาร์บอนในเซลล์ [1] จากการวิจัยของ Kindai University ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้พัฒนาถ่านชีวภาพ โดยการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมและการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำถ่านชีวภาพ อาทิเช่น กากใบชานำมาผ่านกระบวนการอัดและให้ความร้อนที่ความดันสูง พบว่าถ่านชีวภาพที่ได้มีความแข็งแรง มีค่าความร้อนสูง และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลงได้ [2] ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ คือ อุณหภูมิ เวลาและความดัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของถ่านชีวภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมหลัก เช่น ความหนา ความต้านทานแรงอัด และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบเหลือใช้เช่น วัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรและเศษไม้ โดยชนิดของวัตถุดิบ อุณหภูมิ แรงดัน และ เวลาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของถ่านชีวภาพ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยผลผลิตปาล์มน้ำมันของไทยอยู่ที่ประมาณ 11-13 ล้านตัน/ปี สก๊ตเป็นน้ำมันปาล์มได้ 2 ล้านตัน/ปี หรือคิดเป็น 1.2% ของโลก ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์มดิบของไทยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคใต้และมีการกระจายไปในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น [3] โดยงานวิจัยนี้ได้นำกากปาล์มที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเล็งเห็นมีจำนวนมากสามารถหาได้ง่ายเหมาะที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูป และความชื้นของวัตถุดิบต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูป ได้แก่ เวลาในการขึ้นรูป อุณหภูมิในการขึ้นรูป และความชื้นของวัตถุดิบ ต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพ

1.3.2 เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป อยู่ในช่วง 10-25 นาที

1.3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป อยู่ในช่วง 100°C-190 °C

1.3.4 ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปคงที่ที่ 16 MPa

1.3.5 ความชื้นของวัตถุดิบ อยู่ในช่วง 0-20%

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงผลกระทบการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม

1.4.2 สามารถนำถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มไปเป็นพลังงานทางเลือกได้

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 1.1

TNI

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารชีวมวล

สารชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่จากธรรมชาติซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่างๆ เช่น เศษไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน การนำพลังงานมาใช้อาจทำได้โดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทน ซึ่งพลังงานจากฟอสซิล ที่มีอยู่อย่างจำกัดและกำลังจะหมดลง

2.2 องค์ประกอบทั่วไปของสารชีวมวล

สารชีวมวลนั้นมีหลากหลายชนิดซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกัน องค์ประกอบขั้นต้น ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยสารชีวมวลต่างชนิดกันนั้น ย่อมมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ธัญพืชมีแป้งมาก ในขณะที่ของเสียจากปศุสัตว์ มีโปรตีนมาก

2.2.1 เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เกิดจากน้ำตาลกลูโคส (Glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic bond) โดยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภท โฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (Homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช เช่น ผัก ผลไม้ และ เมล็ดธัญพืช โดยอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของพืชที่อยู่ร่วมกับเซลลูโลสพบมากในผัก และผลไม้ เฮมิเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ในโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส เป็น Heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด

2.2.3 ลิกนิน

ลิกนิน (lignin) เป็นคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) ประเภทใยอาหาร (Dietary fiber) ที่ไม่ให้พลังงาน โครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลของออกซิเจนเตต ฟีนิลโพรเพน (Oxygenated phenyl propane) มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 1,000-4,500 ดาลตัน ลิกนินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพืช โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรง อยู่ร่วมกับเซลลูโลส (Cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของเปลือก ชัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้นไปสู่อยอด เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย

2.3 ถ่านชีวภาพ

ถ่านชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยผ่านกระบวนการอัดด้วยแรงดันสูงและให้ความร้อน และพบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จะมีความแข็งแรง มีค่าความร้อนสูงและสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลงได้ ถ่านชีวภาพสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบเหลือใช้เช่น วัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรและเศษไม้

2.4 สมบัติของถ่านชีวภาพ

2.4.1 ค่าความร้อน (Calorific Value)

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักที่ถ่ายเทออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ สามารถหาได้ โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) โดยการนำวัตถุที่ต้องการทดสอบซึ่งน้ำหนักจากนั้นนำไปเกิดการสันดาป ความร้อนที่เกิดการสันดาปจะถูกถ่ายให้น้ำหล่อเย็นจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เปลี่ยนไป

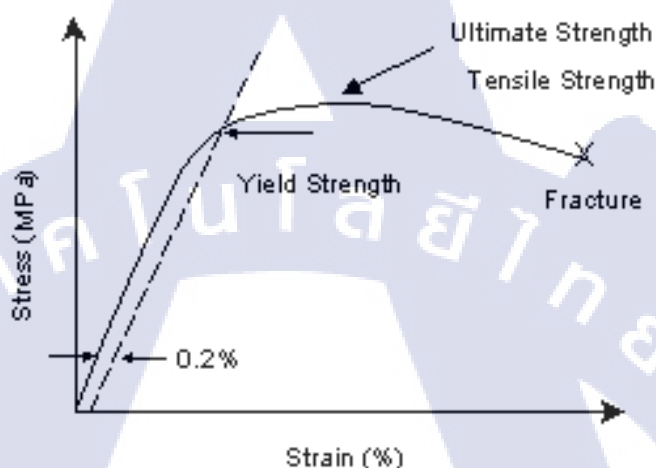
2.4.2 ค่าความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่น (Density) คือ ความหนาแน่นที่รวมช่องว่างทั้งหมดของวัตถุ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (2.1)$$

2.4.3 ความต้านทานแรงกดสูงสุด (Maximum Compressive Strength)

ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) คือ ความสามารถในการรับแรงหรือทนทานการอัดสูงสุดของวัสดุสามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องทดสอบการกด (Compression Machine) จากรูปที่ 2.1 ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) คือ จุดที่วัสดุสามารถรับแรงหรือทนทานการอัดสูงสุดของวัสดุ [4]



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด [4]

2.4.4 การทดสอบความแข็งแบบชอร์ Shore (Shore Hardness Test)

เป็นเครื่องทดสอบความแข็งของวัสดุ จำพวกยางและพลาสติก ซึ่งใช้การยืดหยุ่นตัวของวัสดุที่ถูกกดโดยสปริงที่แรงคงที่และมีหัวกดรูปทรงต่างๆ แล้ว วัดระยะยุบตัวของวัสดุด้วยไดอัลเกจ (Dial Gauge) บอกเป็น ค่าความแข็งแบ่งเป็น 100 สเกล

2.5 ปาล์ม (Palm Ground) [3]

ปาล์มเป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตภาคใต้ ซึ่งมีพื้นที่และภูมิอากาศเหมาะสม สำหรับส่วนของปาล์มที่นำมาผลิตน้ำมันนั้นได้มาจากส่วนของผลปาล์ม ซึ่งมีส่วนที่ให้น้ำมันอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนเนื้อของผลปาล์มเป็นส่วนเปลือกที่ห่อหุ้มกะลา

ตารางที่ 2.1 Lignocellulosic Composition

Test Item	Result (wt%)
Lignin	11.27
Cellulose	27.19
Hemicellulose	24.98

ตารางที่ 2.2 Proximate Analysis

Test Item	Result (wt%)	Test Method
Moisture	7.99	ASTM D5865
Volatile Matter	71.95	ASTM D5865
Fixed Carbon	16.83	ASTM D7582
Ash	3.23	ASTM D7582

ตารางที่ 2.3 Ultimate Analysis

Test Item	Result (wt%)	Test Method
Carbon (C)	44.65	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.93	ASTM D5373
Nitrogen (N)	2.34	ASTM D5373
Oxygen (O)	42.63	ASTM D5373
Sulfur (S)	0.22	ASTM D4239

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

H. Murata et al. [5] ทำการทดลองผลิตถ่านชีวภาพจากผงไม้โดยใช้รำข้าวเป็นตัวประสาน พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรำข้าวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้ค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วย

B. Hill and D.A. Pulkinen [6] ทำการศึกษาอุณหภูมิการผลิตที่มีผลต่อความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่งต้นอัลฟัลฟา พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตจาก 60°C-104°C จะเป็นการเพิ่มความทนทานให้แก่เชื้อเพลิงอัดแท่ง 30%-50%

สุพิชญา เชิดเกียรติกุล [7] ทำการทดลองผลิตถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความหนาแน่นรวมและค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต

ความดันที่ใช้ในการผลิต และเวลาที่ใช้ในการผลิต ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนนั้นคือ ความดัน และเวลา

ณัฐภรณ์ สุวรรณาคี [8] ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพ จากกากมะพร้าว พบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปมีผลต่อความหนาแน่นรวมของ ถ่านชีวภาพ เมื่อให้อุณหภูมิสูงสุดในการทดลอง 170°C และเวลาในการขึ้นรูปสูงสุด 20 นาที จะให้ ความหนาแน่นรวมสูงสุดเท่ากับ 1.18 g/cm^3

สำรวม โกศลนันท์ [9] ทำการผลิตเชื้อเพลิงจากกากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุ เหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ ชี้เสี้ยว ชังข้าวโพด และเห้งามันสำปะหลัง เพื่อศึกษาอัตรา ส่วนผสมที่มีผลกระทบต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยพบว่า เชื้อเพลิงผสมที่มีค่าความร้อนสูงสุด คือ กากไขมันผสมกับชังข้าวโพดที่ประกอบไปด้วยกากไขมัน 75% ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ $1,638 \text{ kJ/kg}$

D.A.I. Goring [10] ทำการศึกษาโดยการให้อุณหภูมิกับลิกนินเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยใช้แรงอัดจากแรงโน้มถ่วง พบว่าลิกนินจะอ่อนตัวที่ $127-193^{\circ}\text{C}$ โดย xylan และ glucomannan อ่อนตัวที่ 167°C และ 181°C เมื่อเติมน้ำให้กับวัตถุดิบจะทำให้จุดที่ทำให้อ่อนตัวลดลงถึง 54°C และพบว่าเซลลูโลสจะอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 230°C

S. Mizuno et al. [11] ศึกษาปัจจัยการผลิต (ความชื้นและอุณหภูมิ) ที่มีผลต่อความ หนาแน่นและความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากสมุนไพรญี่ปุ่น โดยความหนาแน่นสูงสุดอยู่ที่ 1.38 g/cm^3 และมีความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่ 127 MPa และได้รายงานว่าความชื้นและอุณหภูมิมี ผลต่อความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดสูงสุด

T. Sawai et al. [12] ได้ผลิตถ่านชีวภาพจากต้นบัวเพื่อศึกษาผลของความต้านทาน แรงอัดสูงสุด โดยมีความต้านทานแรงอัดสูงสุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูประหว่าง $140-160^{\circ}\text{C}$ โดยขนาด อนุภาคไม่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุด

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ

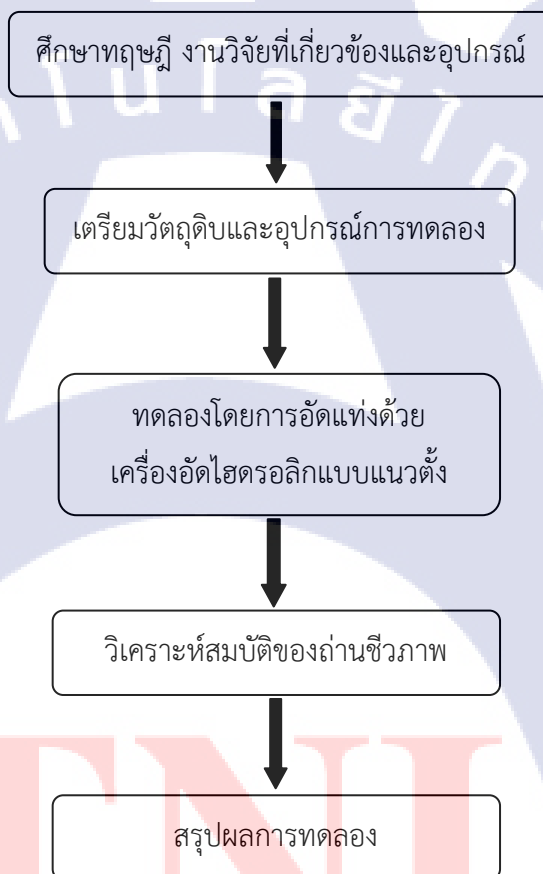
ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ			
ปี	ผู้วิจัย	วัตถุดิบ	ผลสรุป
2016	ณัฐภรณ์ สุวรรณาคี [8]	กากมะพร้าว	เมื่อให้อุณหภูมิสูงสุดในการทดลอง 170°C และเวลาในการขึ้นรูปสูงสุด 20 นาที จะให้ความหนาแน่นรวมสูงสุดเท่ากับ 1.18 g/cm ³
2016	สุพิชญา เชิดเกียรติกุล [7]	กากกาแฟ	อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต ความดันที่ใช้ในการผลิต และเวลาที่ใช้ในการผลิต ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนนั้นคือ ความดันและเวลา
2011	S. Mizuno et al. [11]	สมุนไพรรูปูน	ความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่น และต้านทานแรงอัดของถ่านชีวภาพ
1998	B. Hill and D.A. Pulkinen [6]	ต้นอัลฟัลฟา	เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตจาก 60°C-104°C จะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นให้แก่เชื้อเพลิงอัดแท่ง 30%-50%
2018	D.A.I. Goring [10]	ลิกนินเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส	ลิกนินจะอ่อนตัวที่ 127-193 °C และเซลลูโลสจะอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 230°C
2014	H. Murata et al. [5]	ผงไม้โดยใช้รำข้าวเป็นตัวประสาน	ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรำข้าวที่เพิ่มขึ้น
2010	สำรวม โกศลนันท์ [9]	กากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	พบว่าเชื้อเพลิงผสมที่มีค่าความร้อนสูงสุดคือ กากไขมันผสมกับขี้เถ้าขี้เถ้าที่ประกอบไปด้วยกากไขมัน

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ จากนั้นเตรียมวัสดุดิบและอุปกรณ์การทดลอง แล้วนำไปทดลองโดยการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแนวตั้งและนำถ่านชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติ โดยมีขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์การทดลอง

- (1) กากปาล์ม
- (2) ตู้อบ
- (3) เครื่องชั่งแบบละเอียด
- (4) เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแนวตั้ง
- (5) เครื่องกรองแยกขนาด
- (6) เครื่องวัดความชื้น

3.2 ตัวแปรการทดลองชุดที่ 1

3.2.1 ตัวแปรต้น

- (1) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 100 °C-190 °C
- (2) เวลาที่ใช้ในการอัด 10-20 นาที

3.2.2 ตัวแปรตาม

- (1) ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ (kcal/kg)
- (2) ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (MPa)
- (3) ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)
- (4) ค่าความแข็ง

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

- (1) ขนาดของวัตถุดิบ <1 mm
- (2) น้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ 50 g
- (3) ความชื้นของวัตถุดิบ ~ 10%
- (4) ความดันที่ใช้ในการอัดคงที่ 16 MPa

3.3 ตัวแปรการทดลองชุดที่ 2

3.3.1 ตัวแปรต้น

ความชื้นของวัตถุดิบ 0-20%

3.3.2 ตัวแปรตาม

- (1) ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ (kcal/kg)
- (2) ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (MPa)
- (3) ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)
- (4) ค่าความแข็ง

3.3.3 ตัวแปรควบคุม

- (1) ขนาดของวัตถุดิบ <1 mm
- (2) น้ำหนักของวัตถุดิบที่ใช้ 50 g
- (3) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 180 °C
- (4) เวลาที่ใช้ในการอัด 15 นาที
- (5) ความดันที่ใช้ในการอัดคงที่ 16 MPa

3.4 วัตถุดิบ

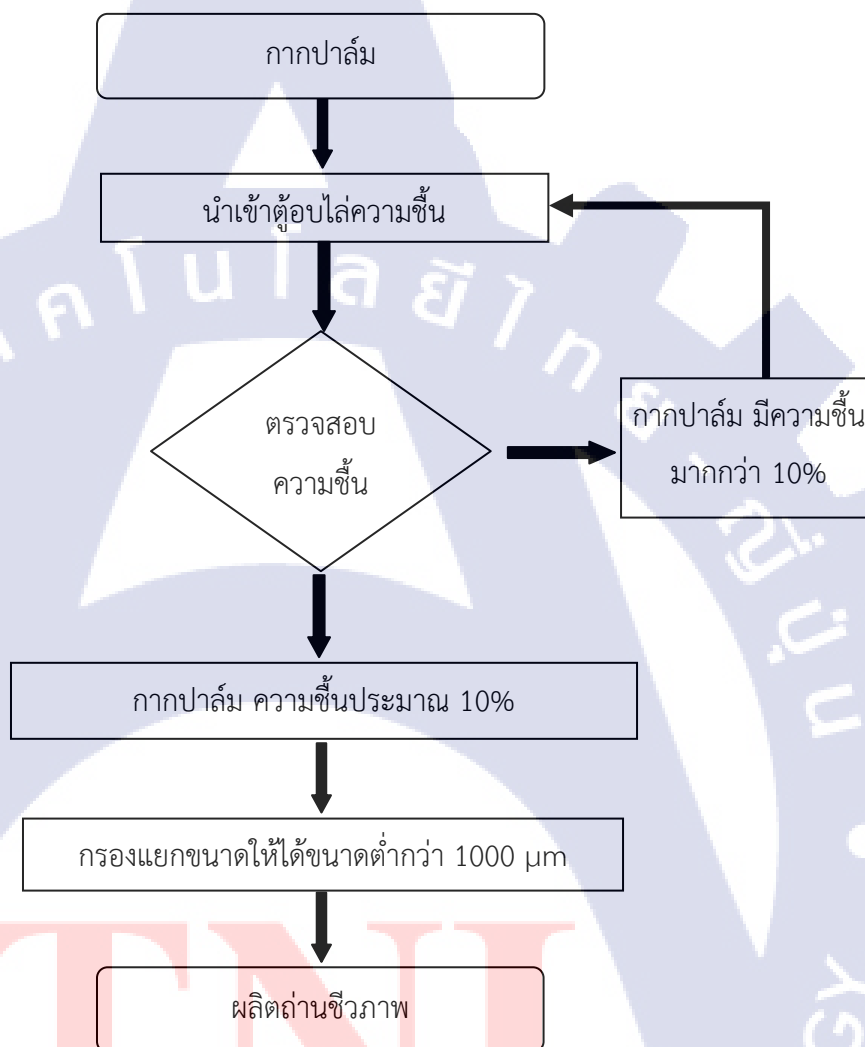
วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นกากปาล์ม ที่มาจากบริษัท JFK Feed โดยเป็นกากปาล์มเนื้อใน (กะเทาะเปลือก หรือกะลาออกก่อนแล้ว) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กากปาล์มที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว

3.5 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 1

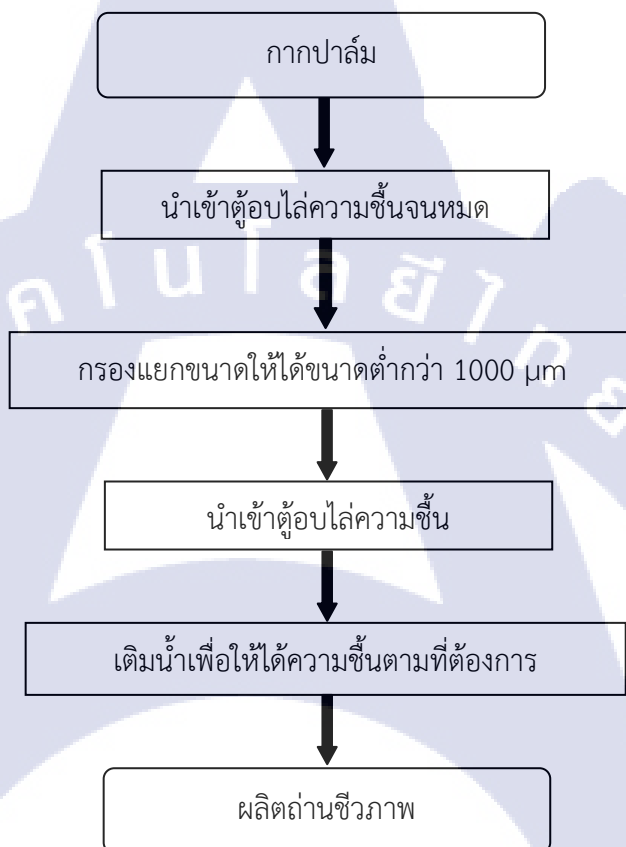
ในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องนำกากปาล์มเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้น เนื่องจากวัตถุดิบมีความชื้นสูง เมื่อวัตถุดิบมีความชื้นที่ 10% แล้วจึงนำไปแยกขนาดด้วยเครื่องกรองก่อนนำมาใช้ผลิตถ่านชีวภาพ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 1

3.6 การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 2

ในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องนำกากปาล์มเข้าตู้อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อไล่ความชื้นออกจนหมดโดยวัดจากน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง แล้วจึงนำไปแยกขนาดด้วยเครื่องกรอง จากนั้นนำวัตถุดิบมาเติมน้ำ เพื่อให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ ก่อนนำมาใช้ผลิตถ่านชีวภาพ



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการทดลองชุดที่ 2



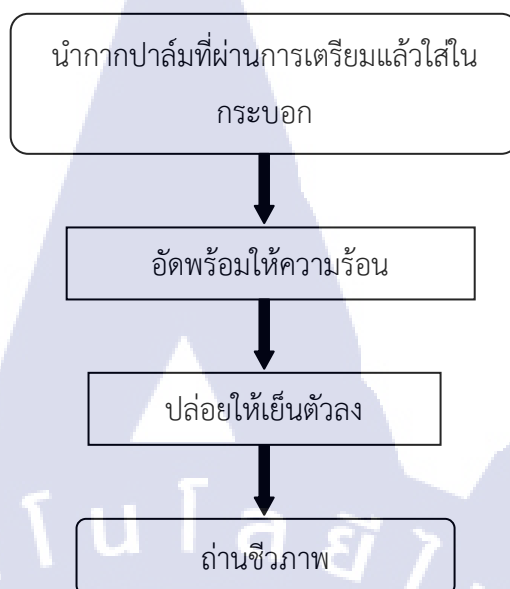
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้น



รูปที่ 3.6 ตู้อบ

3.7 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มโดยการนำกากปาล์มเข้าตู้อบไล่ความชื้นแล้วนำมาแยกขนาด โดยที่ค่าความชื้นต้องอยู่ประมาณ 10% สำหรับการทดลองชุดที่ 1 และการทดลองชุดที่ 2 เติมน้ำเพื่อให้ได้ความชื้นตามที่กำหนด จากนั้นนำกากปาล์มใส่เข้าในกระบอกสุบที่หุ้มด้วยแม่พิมพ์แท่งทองเหลือง แล้วปิดทับด้วยแม่พิมพ์แท่งทองเหลืองที่มีเข้าสำหรับรองรับลูกสุบพร้อมกับใส่เทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิ แล้วปรับตั้งค่าความดันตามที่ต้องการก่อนทำการอัดด้วยไฮดรอลิก หลังจากนั้นใช้ฮีทเตอร์ครอบกระบอกสุบและควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่ต้องการหลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลง ดังขั้นตอนในรูปที่ 3.7 และเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตถ่านชีวภาพ



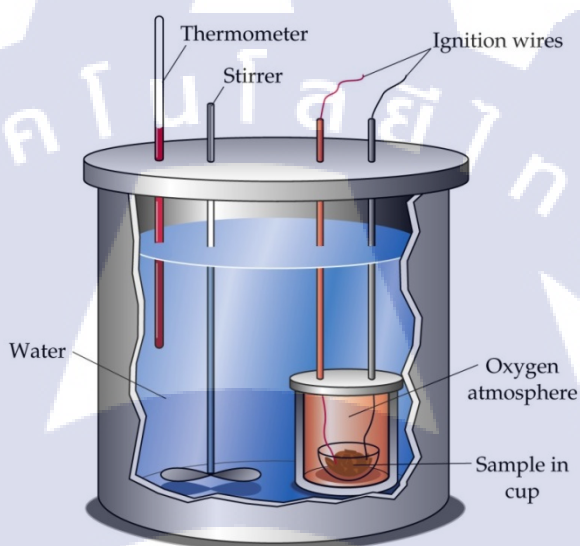
รูปที่ 3.8 เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบแนวตั้ง

3.8 การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ

การตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ มี 4 อย่าง ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความแข็ง

3.8.1 สมบัติทางความร้อน

ในการหาค่าความร้อนนั้น สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพจำลองเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ [13]

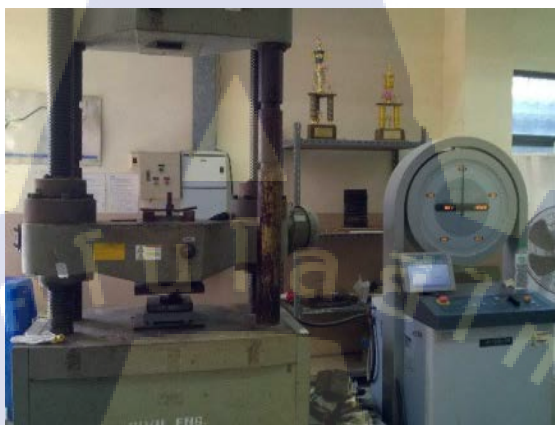
3.8.2 สมบัติทางกายภาพ

การหาค่าความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพนั้น ทำได้โดยการนำถ่านชีวภาพมาทำการชั่งน้ำหนัก และวัดความสูง จากนั้นคำนวณค่าความหนาแน่นจากสมการที่ (3.1)

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

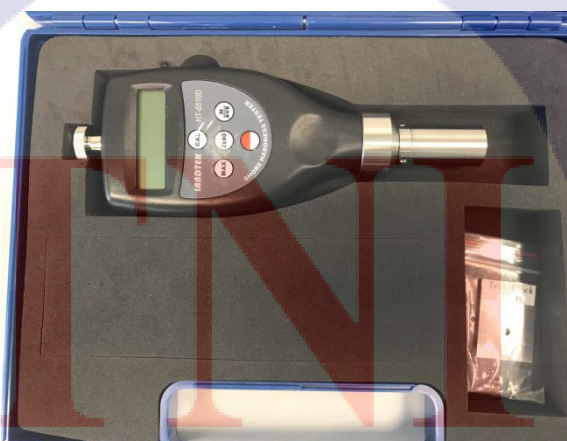
3.8.3 สมบัติทางกล

การทดสอบความต้านทานแรงอัดสูงสุดเป็นขีดจำกัดสูงสุดที่ถ่านชีวภาพสามารถรับแรงอัดได้ หรือเรียกว่า ความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) สามารถหาได้จากการทดสอบความต้านทานแรงอัดด้วยเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบการกด

การทดสอบความแข็ง (Hardness) แบบชอร์โดยใช้ Hardness Tester Shore D ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบความแข็ง

บทที่ 4

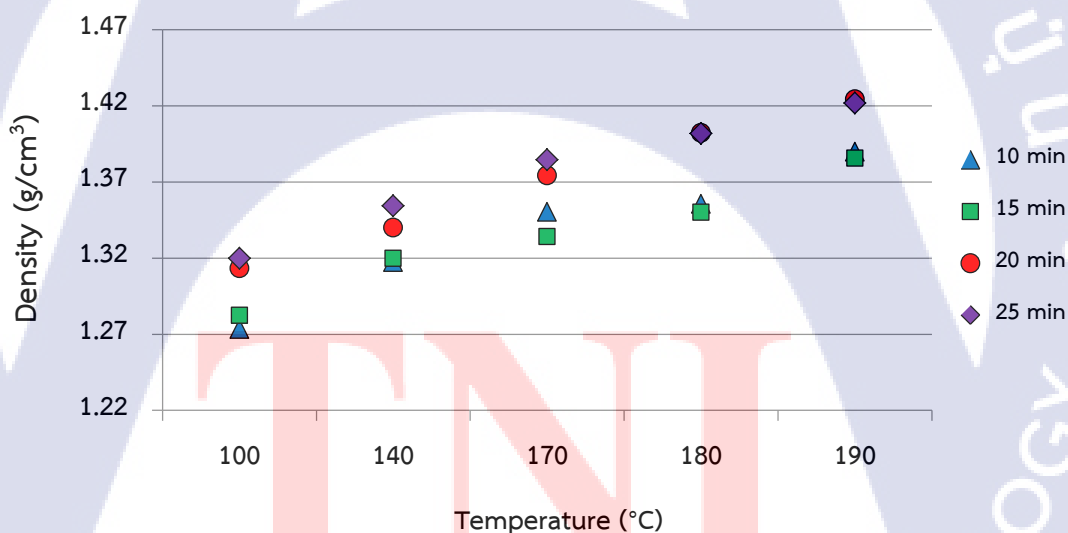
วิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลกระทบของสภาวะการผลิตของถ่านชีวภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพในงานวิจัยนี้ ทำได้โดยใช้สมการที่ (3.1) การหาค่าความหนาแน่น (Density) ของแต่ละสภาวะการขึ้นรูปที่ต่างกันคือ เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 10 15 20 และ 25 นาที ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 16 MPa อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 100 140 170 180 และ 190°C และ ควบคุมความชื้นที่ 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ โดยใช้อุณหภูมิที่ 180°C ความดัน 16 MPa และ เวลา 15 นาที

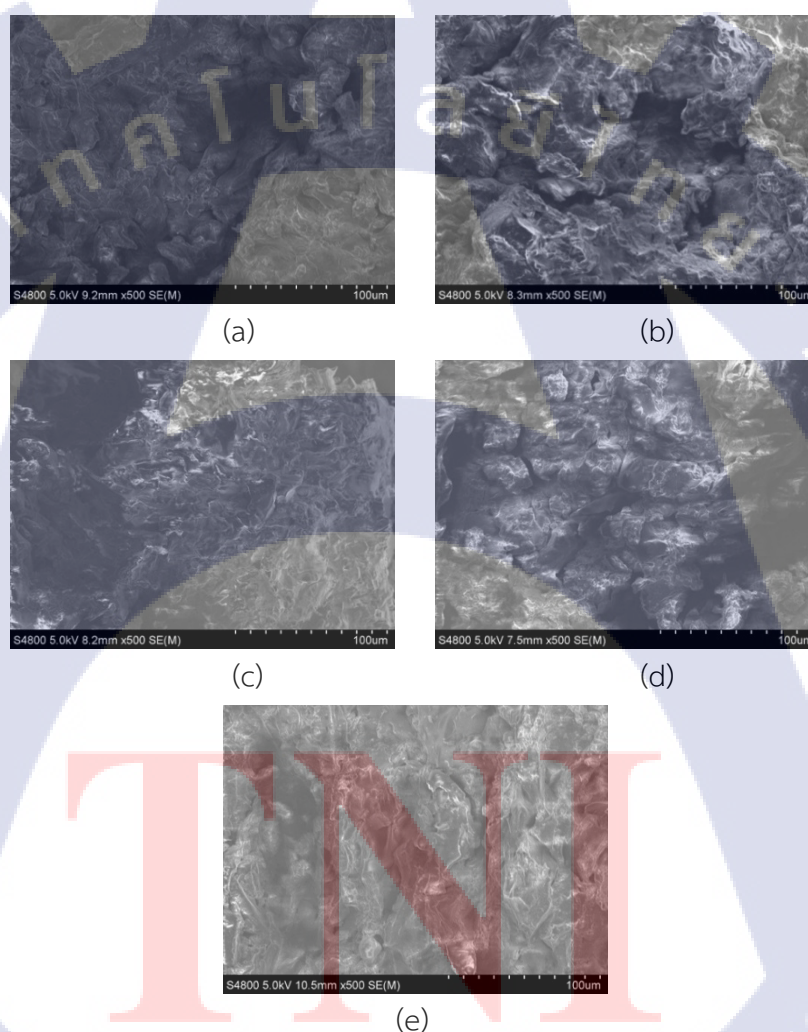
4.1.1 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 100 140 170 180 และ 190°C ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากกากปาล์มเพิ่มขึ้น



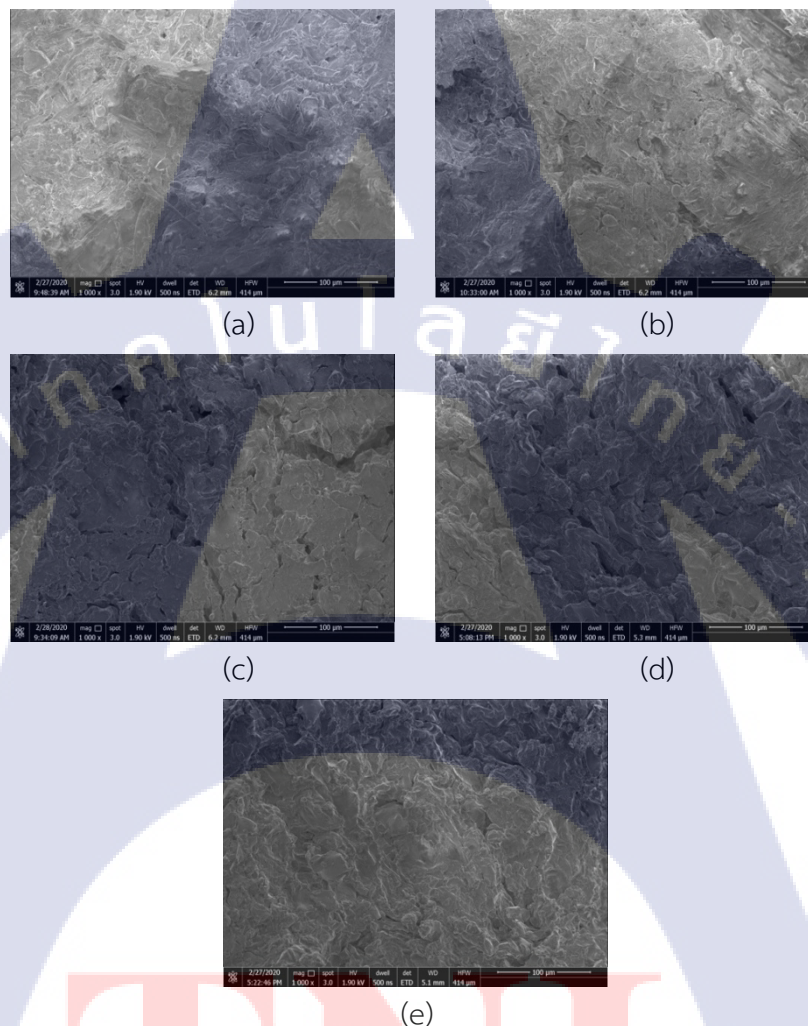
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.42 g/cm^3 เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 190°C เวลา 25 นาที จากการวิเคราะห์พบว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากกากปาล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการอ่อนตัวของ ลิกนิน (Lignin) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และอื่นๆ ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลนั้นลดลงส่งผลให้วัตถุดิบเกิดการยึดเกาะตัวกันดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ W. Wongsuwan et al. [14] และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความแข็งแรงพันธะ (Bond Strength) ของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ D.A.I. Goring [10]



รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 500 เท่า เวลา 15 นาที (a) 100°C (b) 140°C (c) 170°C (d) 180°C (e) 190°C

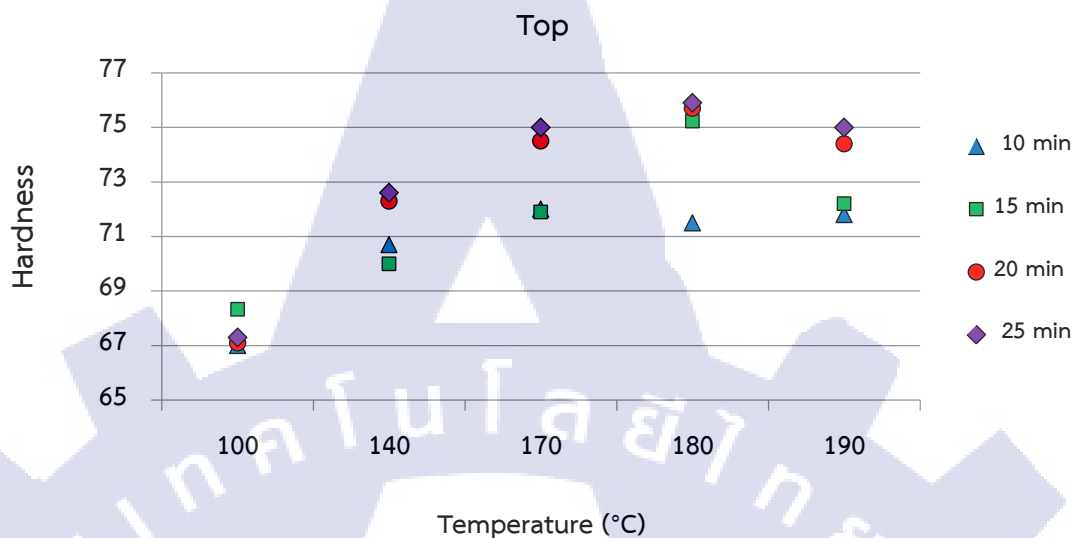
จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 500 เท่า เวลา 15 นาที ที่ 100°C 140°C 170°C 180°C และ 190°C จะเห็นว่าช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวมีขนาดเล็กลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลทดสอบความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ



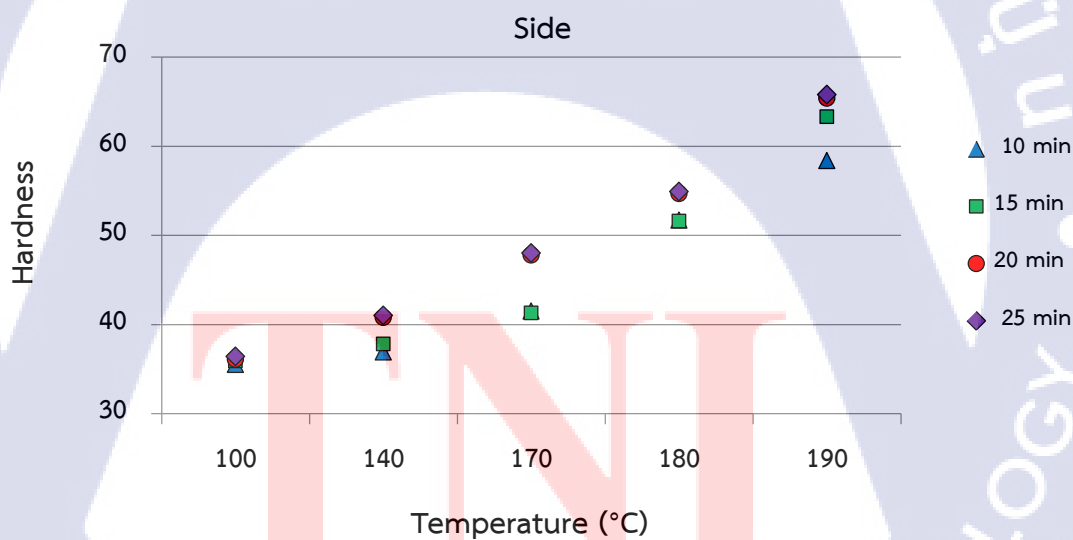
รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 1,000 เท่า เวลา 15 นาที (a) 100°C (b) 140°C (c) 170°C (d) 180°C (e) 190°C

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพกำลังขยาย 1,000 เท่า เวลา 15 นาที ที่ 100°C 140°C 170°C 180°C และ 190°C จะเห็นว่าเมื่อเทียบกับกำลังขยาย 500 เท่า ช่องว่างระหว่างพื้นที่ผิวมีขนาดเล็กลง

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านชีวภาพ ทำได้โดยการหาความแข็งโดยเครื่อง Hardness tester Shore D



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านบนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

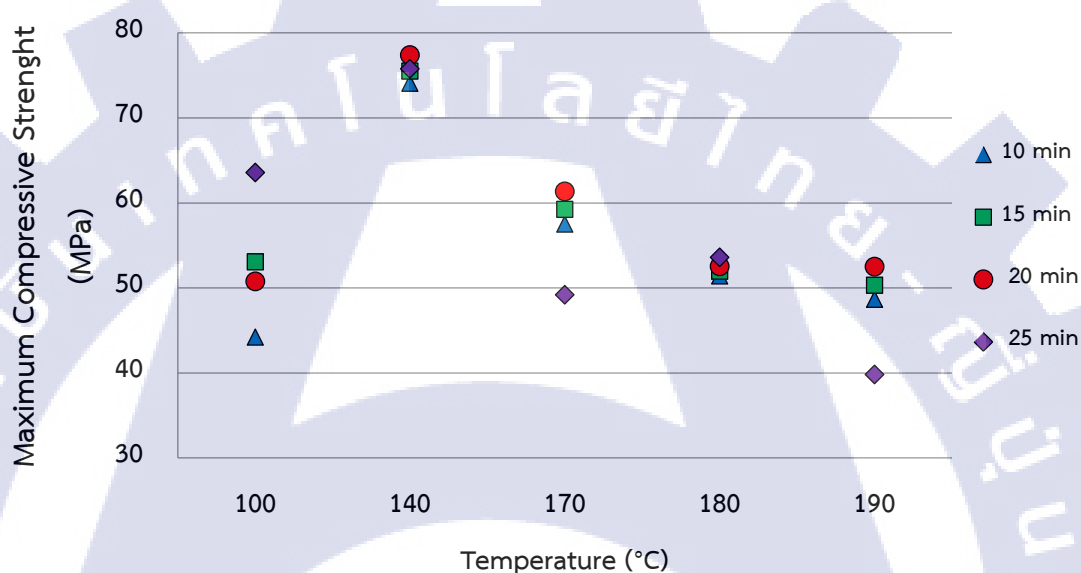


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านข้างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงผลค่าความแข็งของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม เวลาที่ใช้ 10 15 20 และ 25 นาที อุณหภูมิ 100 140 170 180 และ 190 °C ตามลำดับ จากการวิเคราะห์

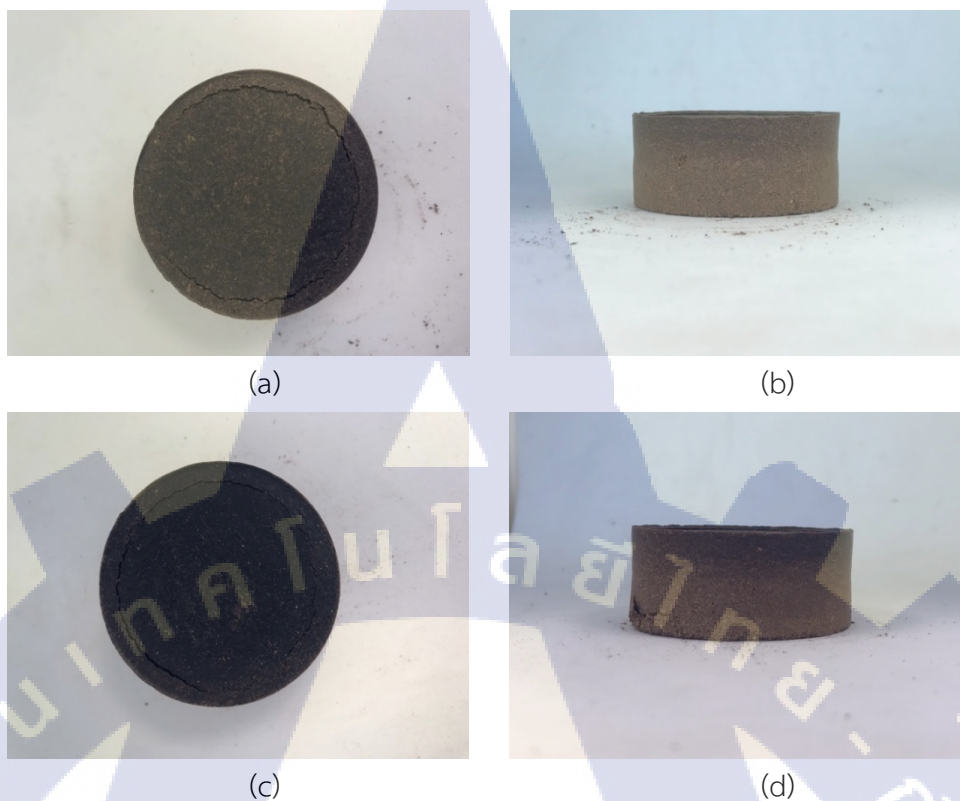
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปและค่าความแข็ง พบว่า อุณหภูมิและเวลาการขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงต่อค่าความแข็งของถ่านชีวภาพ โดยสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพทำได้โดยการหาความต้านทานแรงอัดสูงสุด โดยเครื่อง EL36-4145/01 ADR Auto 2000/250 EN Compression Machine แสดงในรูปแบบที่ 3.10



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปที่ 4.6 แสดงผลค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม เวลาที่ใช้ 10 15 20 และ 25 นาที อุณหภูมิ 100 140 170 180 และ 190°C ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป และค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด พบว่าที่อุณหภูมิ 140°C จะมีค่าความแข็งสูงสุด เนื่องจากถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิสูงกว่า 140°C จะเกิดการแตกรอบๆ ตัวขึ้นงาน ส่งผลให้เมื่อทดสอบมีค่าลดลง อาจส่งผลมาจากความชื้นของวัตถุดิบตั้งต้น โดยเมื่อเริ่มกระบวนการขึ้นรูปเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตส่งผลให้ความชื้นเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดแรงดันภายในตัวถ่านชีวภาพ ทำให้ถ่านชีวภาพขยายตัวออก และเกิดรอยแตก



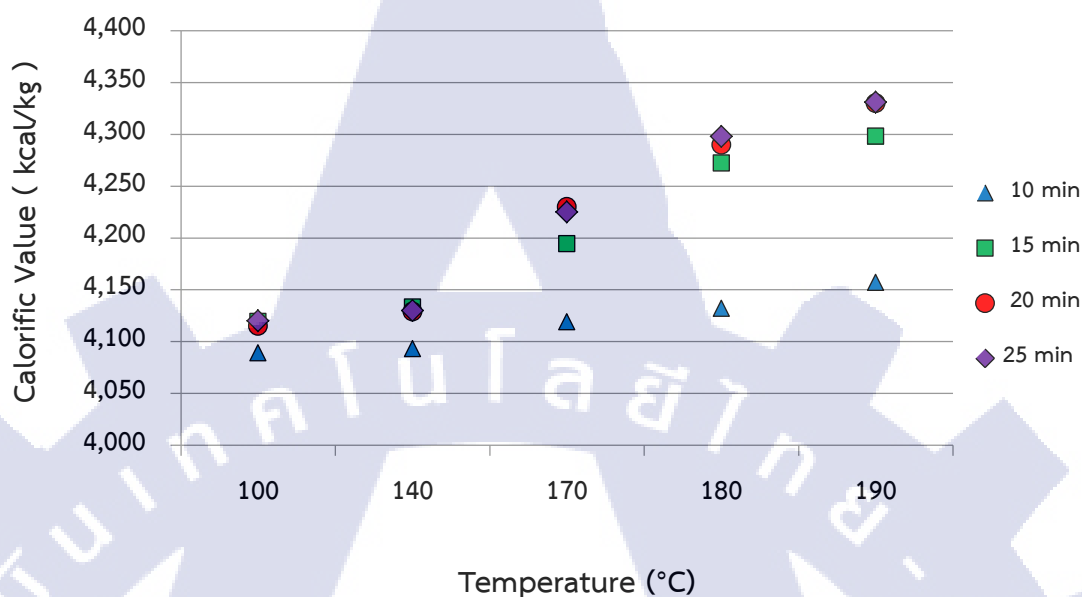
รูปที่ 4.7 ลักษณะของถ่านชีวภาพที่ เวลา 15 นาที (a) ด้านบน 170°C (b) ด้านข้าง 170°C
(c) ด้านบน 180°C (d) ด้านข้าง 180°C

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงลักษณะของถ่านชีวภาพแสดงให้เห็นถึงรอยแตกที่ เวลา 15 นาที ทั้ง 170°C และ 180°C จะเห็นได้ว่าเกิดรอยแตกบริเวณด้านบนและด้านข้างของถ่านชีวภาพส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดลดลง

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

การวัดค่าความร้อนในงานวิจัยนี้ใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (IKA, model C1) ในการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป



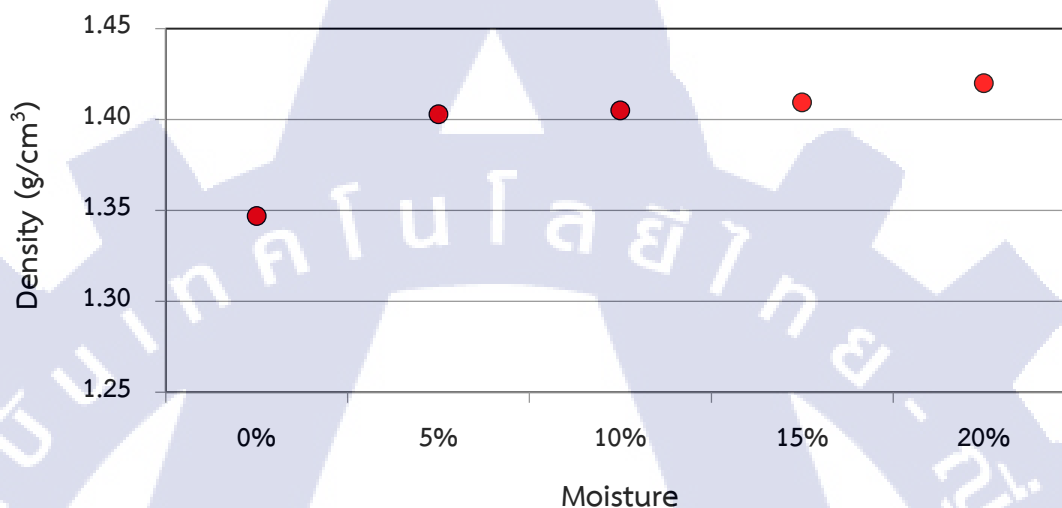
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปที่ 4.8 แสดงผลค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม เวลาที่ใช้ 10 15 20 และ 25 นาที อุณหภูมิ 100 140 170 180 และ 190°C ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผลิตและค่าความร้อนพบว่า อุณหภูมิการผลิตและเวลามีผลกระทบต่อผลกระทบของความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตต่อค่าความร้อน (Calorific Value) เนื่องจากกากปาล์มมีน้ำมันอยู่ด้วย ทำให้การถ่ายโอนความร้อนไม่ดี ดังนั้นเวลา 10 นาที ไม่เพียงพอสำหรับการถ่ายโอนความร้อนไปสู่แกนกลางกราฟค่าความร้อนจึงต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่นอย่างชัดเจน

4.2 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม

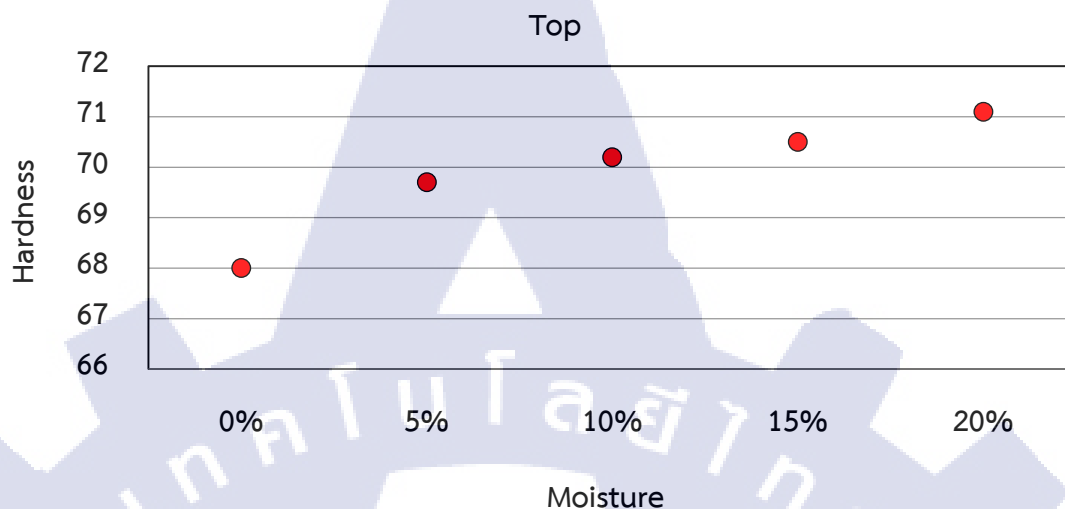
แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที ที่ความชื้น 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ



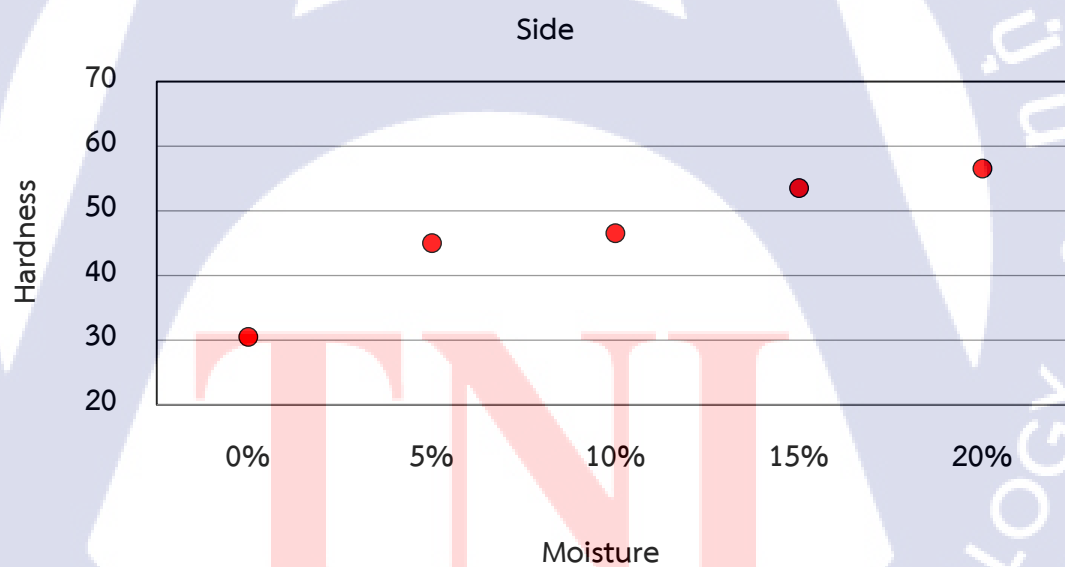
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อความชื้นของวัตถุดิบ

รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความชื้นต่อค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 180°C ความดัน 16 MPa เวลา 15 นาที ที่ความชื้น 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พบว่า ความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากกากปาล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้น เมื่อถึงกระบวนการให้ความร้อนในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ความชื้นระเหยออกทำให้ถ่านชีวภาพมีความหนาแน่นสูงขึ้น

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านชีวภาพทำได้โดยการหาค่าความแข็ง โดยเครื่อง Hardness tester Shore D



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านบนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อความชื้นของวัสดุดิบ

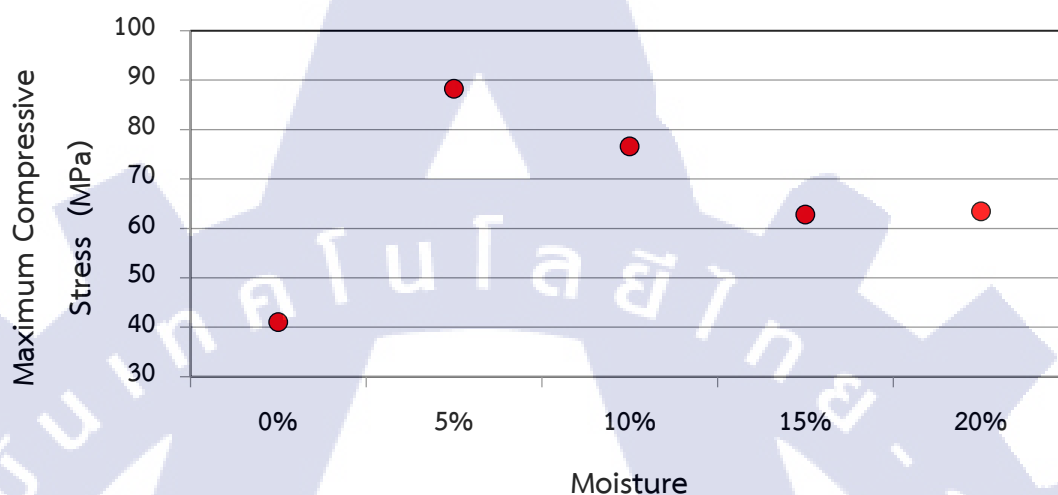


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแข็งด้านข้างของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อความชื้นของวัสดุดิบ

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลค่าความแข็งของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม เวลาที่ใช้ 15 นาที อุณหภูมิ 180°C ความชื้น 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ระหว่างความชื้นของวัสดุดิบและค่าความแข็งแรงพบว่า ความชื้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของถ่านชีวภาพโดยสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น

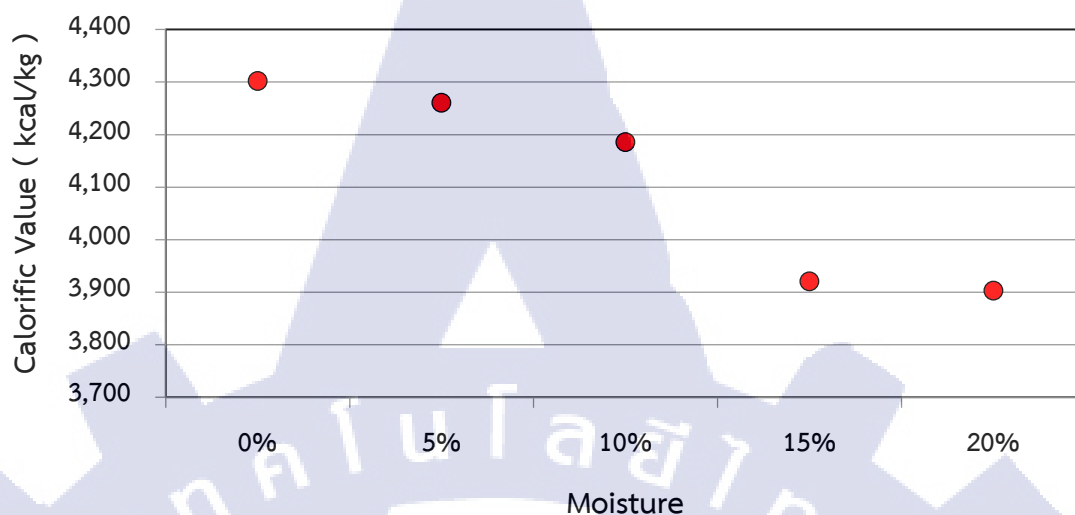
4.2.2 สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม ต่อความชื้นของวัสดุดิบ

รูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความชื้นต่อค่าความแข็งแรงแรงของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 15 นาที ความชื้น 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด พบว่าที่ความชื้น 5% จะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ 88.9 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Mizuno et al. [11] โดยที่อุณหภูมิเท่ากันเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงสูงสุดของถ่านชีวภาพจะลดลง

4.2.3 สมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์มต่อความชื้นของวัสดุดิบ

รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความชื้นต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 15 นาที ความชื้น 0 5 10 15 และ 20% ตามลำดับ พบว่า ค่าความร้อนลดลงต่อความชื้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อเกิดการเผาไหม้ความชื้นที่ออกมาจะส่งผลให้ค่าความร้อนลดลง

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ

	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความต้านทาน แรงอัดสูงสุด (Mpa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
ถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม	1.42	75	4,331
ถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ [7]	1.33	69	4,910
ถ่านชีวภาพจากสมุนไพรญี่ปุ่น [11]	1.38	127	N/A
ถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ญี่ปุ่น [15]	1.39	110	N/A
ถ่านโค้ก [16]	1.1	20	7,000

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ ในงานวิจัยก่อนหน้านี้และสมบัติของถ่านโค้ก ซึ่งจากการทดลองพบว่า สมบัติของถ่านชีวภาพจากกากปาล์มมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดสูงสุดสูงกว่าถ่านโค้กอย่างมาก แต่เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกันแต่ความต้านทานแรงอัดสูงมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากขนาดของอนุภาควัตถุดิบที่ใช้มีขนาดแตกต่างกัน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูป ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป แบ่งเป็น 4 เวลา คือ 10 นาที 15 นาที 20 นาที และ 25 นาที ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 16 MPa และ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 100°C 140°C 170°C 180°C และ 190°C และได้ศึกษาผลกระทบของความขึ้นต่อสมบัติของถ่านชีวภาพโดยแบ่งที่ความขึ้น 0 5 10 15 และ 20% ต่อสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) ได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Density) สมบัติทางความร้อน (Calorific Property) ได้แก่ ค่าความร้อน (Calorific Value) และสมบัติทางกล (Mechanical Property) ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) และความแข็ง (Hardness) ของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม ซึ่งเป็นกากปาล์มเนื้อในของประเทศไทยที่ผ่านการสกัดน้ำมันมาแล้ว

5.1.1 ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่า ความหนาแน่น ความแข็งของถ่านชีวภาพ และค่าความร้อนของถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป ส่วนความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 100-140°C แต่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 140-190°C

ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยพบว่าที่อุณหภูมิการขึ้นรูปสูงสุดในการทดลอง คือ 190°C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงสุด 20 นาที จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.42 g/cm³

ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความแข็งของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยพบว่าที่อุณหภูมิการขึ้นรูปสูงสุดในการทดลอง คือ 180°C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงสุด 25 นาที จะให้ค่าความแข็งด้านบนเท่ากับ 75.9 และที่อุณหภูมิการขึ้นรูปสูงสุดในการทดลอง 190°C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงสุด 25 นาที จะให้ค่าความแข็งด้านข้างเท่ากับ 65.8

ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม ถ่านชีวภาพจะมีค่าความร้อนสูงเมื่ออุณหภูมิ และเวลา ในการผลิตเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงสุดในการทดลอง 20 นาที อุณหภูมิการขึ้นรูป 190°C จะให้ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ 4,330 kcal/kg

ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม โดยพบว่าที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 140°C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 20 นาที จะให้ค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 77 MPa จากการทดสอบความต้านทานแรงอัดสูงสุดพบว่าถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิสูงกว่า 140°C จะเกิดการแตกรอบๆ ขึ้นงาน ส่งผลให้เมื่อทดสอบมีค่าลดลง อาจส่งผลมาจากความชื้นของวัตถุดิบตั้งต้น

5.1.2 ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่า เมื่อความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ถ่านชีวภาพที่ได้มีความหนาแน่น และความแข็งของถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความร้อนค่าลดลง ส่วนความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเป็น 0% และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัตถุดิบมีความชื้นเท่ากับ 5% แต่มีแนวโน้มลดลงเพื่อวัตถุดิบมีความชื้นเพิ่มในช่วง 5-20%

ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยพบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนความชื้นของวัตถุดิบพบว่าที่อุณหภูมิ 180°C ความดัน 16 MPa เวลา 15 นาที ความชื้น 20% จะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.42 g/cm^3

ผลกระทบของความชื้นของวัตถุดิบต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยพบว่า และเมื่อปรับเปลี่ยนความชื้นของวัตถุดิบพบว่าที่อุณหภูมิ 180°C ความดัน 16 MPa เวลา 15 นาที ความชื้น 0% จะมีค่าความร้อนสูงสุดที่ 4,302 kcal/kg

ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อความต้านทานแรงอัดสูงสุดของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกากปาล์ม โดยพบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนความชื้นของวัตถุดิบพบว่าที่อุณหภูมิ 180°C ความดัน 16 MPa เวลา 15 นาที ความชื้น 5% จะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ 88 MPa

5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง

5.2.1 ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงความดันเพื่อดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของสมบัติของถ่านชีวภาพ

5.2.2 ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาช่วงลดอุณหภูมิ (Cooling Down) เพื่อดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของสมบัติของถ่านชีวภาพ

5.2.3 ทำการศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม โดยผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิเช่น กากกาแฟ ชี้อเลี้ยง ซึ่งมีอยู่ในประเทศไทย เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของถ่านชีวภาพ



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] S. Cherdkeattikul et al., "Effects of forming temperature on biocoke properties from used coffee ground," *The 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering*, TSME, Petchaburi Thailand, December 16-18, 2015, pp. 1-5.
- [2] 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.
- [3] วาริรัตน์ เพชรลิช่วง, "อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน," [Online]. Available: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/IO_Oil_Palm_2017_TH.aspx. [Accessed: 12 มีนาคม 2563].
- [4] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, "การทดสอบแรงดึง," [Online]. Available: <http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/TensileTest.php>. [Accessed: 12 มีนาคม 2563].
- [5] H. Murata et al., "An experimental study for functional improvement of woody bio-coke by addition of rice bran," *Journal of Smart Processing*, vol.3, no.5, pp. 283-288, July 2014.
- [6] B. Hill and D.A. Pulkinen, "A Study of Factors Affecting Pellet Durability and Pelleting Efficiency in the Production of Dehydrated Alfalfa Pellets," (A Special Report), Tisdale, SK, Canada: Saskatchewan Dehydrators Association, 1998.
- [7] สุพิชญา เชิดเกียรติกุล, "ผลกระทบสภาวะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ," วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [8] ณัฐภรณ์ สุวรรณาคี, "ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากมะพร้าว," วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [9] สำรวม โกศลนันท์, "การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร," วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2553.

- [10] D.A.I. Goring, “*Thermal Softening, Adhesive Properties and Glass Transitions in Lignin, Hemicellulose and Cellulose*,” [Online] Available: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/02/1965.1.555.pdf>. [Accessed: March 12, 2020].
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] เดชะ ตันมีสุข และ วราภรณ์ สุขสม, “เอกสารวิชาการปฏิบัติการเคมี (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2),” กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2553.
- [14] W. Wongsuwan, et al., “Effect of temperature on properties of biocoke from soybean residues,” *International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, ATEM’15*, Toyohashi, Japan, October 4-8, 2015, pp. 298.
- [15] 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, January 2013.
- [16] Mizuho Information and Research Institute, “*Project for Promoting the Spread of Technologies to Counter Global Warming*,” Bangkok: Mizuho Information and Research Institute, Inc., 2015.

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

THAI - JAPANESE INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก

TNI

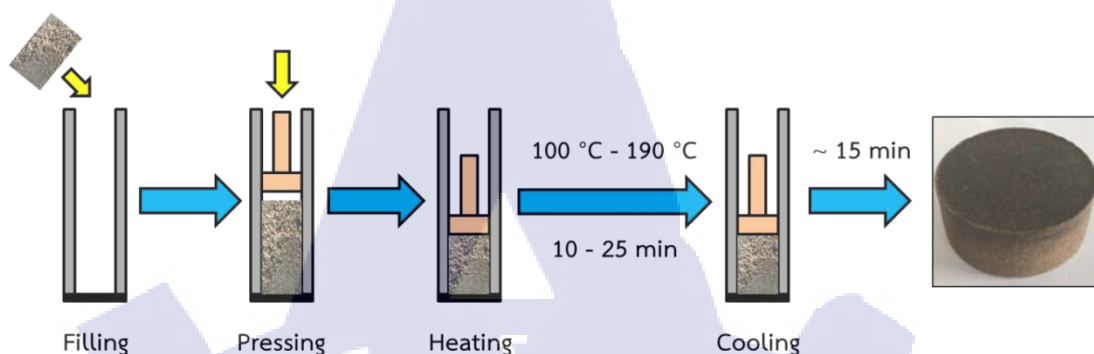
ภาคผนวก ก.

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.
ข้อมูลดิบ

TNI

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็ง

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ความแข็ง	
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(min)		ด้านบน	ด้านข้าง
1	190	10	1.394	70	58
2	190	10	1.391	72	55
3	190	10	1.391	71	58
4	180	10	1.372	71	52
5	180	10	1.370	72	52
6	180	10	1.370	71	51
7	170	10	1.352	71	40
8	170	10	1.356	71	39
9	170	10	1.354	72	41
10	140	10	1.323	69	35
11	140	10	1.319	71	34
12	140	10	1.320	70	36
13	100	10	1.271	66	33
14	100	10	1.278	67	37
15	100	10	1.270	67	35
16	190	15	1.392	73	64
17	190	15	1.390	72	66
18	190	15	1.390	72	63
19	180	15	1.383	76	50
20	180	15	1.382	74	52
21	180	15	1.380	75	51
22	170	15	1.354	70	39
23	170	15	1.356	69	39
24	170	15	1.350	71	41
25	140	15	1.318	69	38
26	140	15	1.319	71	39

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็ง (ต่อ)

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ความแข็ง	
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(min)		ด้านบน	ด้านข้าง
27	140	15	1.320	70	37
28	100	15	1.281	66	34
29	100	15	1.282	68	36
30	100	15	1.280	68	35
31	190	20	1.424	77	64
32	190	20	1.421	74	64
33	190	20	1.420	74	63
34	180	20	1.412	75	51
35	180	20	1.416	74	49
36	180	20	1.410	75	51
37	170	20	1.378	74	40
38	170	20	1.375	76	39
39	170	20	1.369	74	41
40	140	20	1.345	71	39
41	140	20	1.342	71	39
42	140	20	1.340	72	40
43	100	20	1.312	67	37
44	100	20	1.299	66	37
45	100	20	1.310	67	36
46	190	25	1.399	76	62
47	190	25	1.422	75	64
48	190	25	1.420	75	65
49	180	25	1.401	75	55
50	180	25	1.400	76	52
51	180	25	1.400	75	54
52	170	25	1.382	77	46

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็ง (ต่อ)

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความแข็ง	
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(min)		ด้านบน	ด้านข้าง
53	170	25	1.381	77	49
54	170	25	1.380	75	48
55	140	25	1.351	70	41
56	140	25	1.355	71	40
57	140	25	1.350	72	41
58	100	25	1.321	65	36
59	100	25	1.322	66	38
60	100	25	1.320	67	36

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความร้อน

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ความต้านทานแรงอัด สูงสุด (MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(min)		
1	190	10	48.69	4,163
2	190	10	48.63	4,147
3	180	10	50.05	4,139
4	180	10	51.39	4,122
5	170	10	56.55	4,118
6	170	10	57.47	4,119
7	140	10	77.92	4,091
8	140	10	74.40	4,093
9	100	10	43.37	4,181
10	100	10	44.20	4,089
11	190	15	51.46	4,293
12	190	15	50.97	4,298
13	180	15	50.36	4,279
14	180	15	51.47	4,272

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความร้อน (ต่อ)

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป		ความต้านทานแรงอัด สูงสุด (MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา(min)		
15	170	15	58.29	4,197
16	170	15	59.76	4,194
17	140	15	76.44	4,132
18	140	15	75.08	4,133
19	100	15	52.95	4,120
20	100	15	53.28	4,119
21	190	20	51.87	4,339
22	190	20	52.35	4,330
23	180	20	51.22	4,287
24	180	20	52.85	4,290
25	170	20	62.44	4,229
26	170	20	61.02	4,230
27	140	20	77.45	4,131
28	140	20	77.31	4,129
29	100	20	50.60	4,109
30	100	20	50.91	4,115
31	190	25	38.71	4,344
32	190	25	39.33	4,331
33	180	25	54.67	4,300
34	180	25	53.66	4,298
35	170	25	49.60	4,126
36	170	25	49.21	4,125
37	140	25	75.48	4,129
38	140	25	75.70	4,130
39	100	25	64.03	4,125
40	100	25	63.10	4,120

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลดิบความหนาแน่นเฉลี่ยและความแข็งของการทดลองชุดที่ 2

ตัวอย่างที่	สถานะการขึ้นรูป	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความแข็ง	
	ความชื้น(%)		ด้านบน	ด้านข้าง
1	20	1.422	72	57
2	20	1.426	70	56
3	20	1.420	71	56
4	15	1.410	69	53
5	15	1.407	70	51
6	15	1.409	70	53
7	10	1.401	70	49
8	10	1.404	71	47
9	10	1.405	70	46
10	5	1.402	68	45
11	5	1.399	68	43
12	5	1.403	69	45
13	0	1.348	68	35
14	0	1.351	69	37
15	0	1.349	68	30

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลดิบความต้านทานแรงอัดสูงสุดและความร้อนของการทดลองชุดที่ 2

ตัวอย่างที่	สภาวะการขึ้นรูป	ความต้านทานแรงอัด สูงสุด (MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	ความชื้น(%)		
1	20	64.71	3,910
2	20	62.44	3,907
3	20	63.25	3,902
4	15	61.98	3,921
5	15	62.33	3,919
6	15	62.76	3,920
7	10	76.57	4,179
8	10	76.22	4,188
9	10	76.91	4,185
10	5	88.18	4,263
11	5	87.23	4,275
12	5	88.06	4,260
13	0	40.31	4,310
14	0	39.50	4,309
15	0	41.80	4,302