

การเตรียมถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา

ณัฏกร สุขครัน

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2563

PREPARATION OF BIOCOKE FROM RUBBERWOODS RESIDUES

Natchakorn Sukkran

TNI

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

Thai-Nichi Institute of Technology

Graduate School

Academic year 2020

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา
โดย	ณัชร สุขครัน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ
(ดร. ดอน แก้วดก)

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

ณัชร สุขครัน : การเตรียมถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, 43 หน้า.

ในการศึกษาได้ทำการเตรียมถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา โดยศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกดสูงสุด ค่าความร้อน โดยกำหนดอุณหภูมิในการขึ้นรูป คือ 100 120 140 160 และ 180°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 10 15 20 และ 25 นาที และใช้ความดันในการขึ้นรูปคงที่เท่ากับ 16 MPa และความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้มีค่าประมาณ 10 wt.% ถ่านชีวภาพที่ได้จะนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ และวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของพื้นผิวถ่านชีวภาพ พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ โดยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิการขึ้นรูปในช่วง 100°C ถึง 180°C จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูป 100°C ถึง 140°C นอกจากนี้เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด และค่าความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยพบว่าเวลาที่ให้ค่าความหนาแน่นค่าการต้านทานแรงกด และค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 25 นาที

Natchakorn Sukkran : PREPARATION OF BIOCOKE FROM RUBBERWOODS RESIDUES. ADVISOR : ASST. PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG, 43 PP.

In this study, the was prepared from rubberwoods residues. Effect of forming condition on density, compressive strength and calorific values was investigated. Forming temperature was varied at 100, 120, 140, 160 and 180°C. Forming time was varied at 10, 15, 20 and 25 minutes. Forming pressure was fixed at 16 MPa. Moisture content of raw material was fixed at 10 wt.% The properties of obtained biocoke were determined. In addition, microstructure analysis of cracking surface of biocoke was conducted. It is found that density and calorific values gradually increase by increasing forming temperature. However, compressive strength increased when forming temperature is in the range of 100 - 140°C. In addition, density, compressive strength and calorific values of biocoke increased with the increase of forming time. The maximum density, compressive strength and calorific values of biocoke was obtained when biocoke was prepared at 25 min.

TNI

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2020

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือของของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณามอบโอกาสและคำแนะนำแนวทางการศึกษา แนวทางการสืบค้นข้อมูล และการพัฒนางานวิจัย ตลอดจนการใช้เครื่องมืออุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ดร.ดอน แก้วดก (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์และคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.มพรรณพ พักขาว (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำแนวทางการศึกษา และพัฒนางานวิจัย และขอขอบพระคุณ คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการใช้อุปกรณ์

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งผู้ที่กล่าวและผู้ที่ไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านและขอกราบกระคุณมา ณ โอกาสนี้

ณัชร สุขครัน

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ

บทที่

1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์.....	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
	1.5 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	3
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
	2.1 ชีวมวล.....	4
	2.2 ถ่านชีวภาพ.....	4
	2.3 องค์ประกอบทั่วไปของวัสดุชีวมวล.....	4
	2.4 เศษไม้ยางพารา.....	6
	2.5 การวัดค่าและวิเคราะห์ผล.....	7
	2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	14
	3.2 ขอบเขตการทดลอง.....	15
	3.3 วัสดุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	15
	3.4 การเตรียมวัสดุดิบ.....	16

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	3.5 การทดลอง.....	19
	3.6 การตรวจสอบผลจากการทดลอง.....	20
4	การวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	22
	4.1 การวิเคราะห์ชิ้นงานถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา.....	22
	4.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา.....	25
	4.3 ผลกระทบด้านอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางกายภาพ.....	27
	4.4 ผลกระทบด้านอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางความร้อน.....	28
	4.5 การเปรียบเทียบถ่านชีวภาพจากวัสดุอื่นๆ.....	30
5	สรุปผลการวิจัย.....	31
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	31
	5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง.....	33
	บรรณานุกรม.....	34
	ภาคผนวก.....	37
	ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพด้วยเครื่องมือชนิดแนวตั้ง.....	38
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบ.....	40
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	43

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย.....	3
2.1	Proximate Analysis.....	6
2.2	องค์ประกอบธาตุของเศษไม้ยางพารา.....	6
2.3	ปริมาณลิกโนเซลลูโลส.....	7
2.4	ค่าความร้อนของวัสดุที่นิยมนามาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล.....	8
2.5	สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ.....	13
4.1	เปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ.....	30
ข.1	ข้อมูลดิบของชิ้นงาน.....	40
ข.2	ข้อมูลดิบของชิ้นงาน 2.....	42

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	องค์ประกอบของเชื้อเพลิง.....	6
2.2	อุปกรณ์ทดสอบบอมป์แคลอรีมิเตอร์.....	7
2.3	แสดงค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดที่จุด Ultimate Strength.....	9
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	14
3.2	แผนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับอัดถ่านชีวภาพ.....	16
3.3	อุปกรณ์สำหรับกรองขนาดเศษไม้ยางพารา.....	17
3.4	เศษไม้ที่ได้จากการนำไปบดลดขนาด.....	17
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้บดเพื่อลดความชื้นของเศษไม้ยางพารา.....	18
3.6	อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อตรวจสอบความชื้น.....	18
3.7	ขั้นตอนในการอัดถ่านชีวภาพ.....	19
3.8	เครื่องทดสอบแรงกด.....	21
3.9	เครื่อง Bomb Calorimeter IKA, model C1.....	21
4.1	ลักษณะผิวของชิ้นงานมุมด้านบนและด้านข้างของแต่ละอุณหภูมิการขึ้นรูป (a)100°C- Top , (b)100°C-Side , (c)120°C-Top , (d)120°C-Side , (e)140°C-Top , (f)140°C-Side , (g)160°C-Top , (h)160°C-Side , (i)180°C-Top , (j)180°C- Side.....	22
4.2	ลักษณะผิวของชิ้นงานที่มีความเสียหายซึ่งเกิดจากความเค้นเนื่องจากความร้อน (a) Topview , (b) Sideview , (c) Centerview.....	24
4.3	ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่กาลังขยาย 500 เท่า ที่เวลาการขึ้นรูป 15 นาที (a)เศษ ไม้ที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป, (b)100°C , (c)120°C , (d)140°C , (e)160°C , (f)180°C.....	25
4.4	ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่กาลังขยาย 500 เท่า ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 180°C (a) เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที, (b) 15 นาที, (c) 20 นาที, (d) 25 นาที.....	26
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	28
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป.....	29
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพาราเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่าความร้อนของวัตถุดิบ และสภาวะในการขึ้นรูป.....	29
ก.1	ขั้นตอนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพโดยเครื่องมือชนิดแนวตั้ง.....	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนเป็นที่ต้องการมากในหลายอุตสาหกรรม โดยส่วนมากเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งส่งผลในเรื่องของฝุ่นละอองในอากาศที่จะมีโลหะต่าง ๆ ปนมาด้วย หรือการเผาไหม้ถ่านหินจะส่งผลให้เกิดก๊าซต่าง ๆ ซึ่งจะอยู่กับองค์ประกอบของถ่านหิน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบทั้งต่อสิ่งมีชีวิตโดยตรง และที่เป็นสาเหตุของสภาวะเรือนกระจกส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพราะเหตุนี้จึงเกิดแนวคิดว่าชีวมวล หรือมวลชีวภาพมาสร้างเป็น ถ่านชีวภาพ สำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทน และสามารถกล่าวได้ว่าเป็นพลังงานสะอาดซึ่งจากงานวิจัยพบว่าการนำถ่านชีวภาพมาทดแทนถ่านหินต่อหนึ่งตันสามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ไปได้ถึง 2.16 ตัน [1]

ถ่านชีวภาพ (Bio-coke) ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ จึงกลายหนึ่งในทางเลือกทางแก้ปัญหาข้างต้น ถ่านชีวภาพสามารถผลิตขึ้นจากนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำพวก เศษไม้ เส้นใยในในธรรมชาติต่าง ๆ หรือวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมไม้ และการแปรรูป นำมาอัดด้วยความร้อนที่ความดันสูง ซึ่งจะส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถจัดเก็บได้ง่าย มีค่าความร้อนที่สูง และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ลดลงได้ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้น ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพและสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวมวลจำเป็นต้องมีค่าที่สอดคล้องกับแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของถ่านชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับ อุณหภูมิที่ใช้ในการอัด แรงดันที่ใช้ในการอัด และ ระยะเวลาที่ใช้ในการอัด

จากงานวิจัยพบว่า ประเทศไทยมีกำลังการปลูก และผลิตไม้ยางพาราอยู่ที่ 20 ล้านตัน ในปี ค.ศ.2016 และมีแนวโน้มจะมากขึ้นเป็น 23 ล้านตัน ภายในปี ค.ศ.2020 [2] โดยถือว่าปริมาณผลิตไม้ยางพาราดังกล่าวถือว่าเป็นปริมาณการผลิตอันดับต้น ๆ ของการผลิตไม้ในประเทศไทย และพบว่าพื้นที่ในการผลิตอยู่ในพื้นที่ภาคใต้เป็นส่วนใหญ่ งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเศษไม้ยางพารามาใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ

1.2.วัตถุประสงค์

ศึกษาผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปผ่านชีวภาพต่อ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และค่าความแข็งแรงของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบตอสภาวะการขึ้นรูปถ่านชีวภาพได้แก่ อุณหภูมิ และ เวลา ในการขึ้นรูปต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพ

1.3.2 กำหนดสภาวะและขอบเขตการศึกษา

- 1) ความชื้นของเศษไม้ยางพาราประมาณ 10 %
- 2) เวลาที่ใช้ในการอัด 10 - 25 นาที
- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 100 °C - 180 °C
- 4) แรงดันที่ใช้ในการอัด 16 MPa
- 5) ควบคุมขนาดของวัตถุดิบไม่เกิน 1 mm

อาจมีการผสมวัสดุอื่นเพื่อปรับสมบัติของถ่านชีวภาพหากมีสมบัติไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการขึ้นรูป ต่อ สมบัติต่าง ๆ ของถ่านชีวมวลจากเศษไม้ยางพารา และปรับปรุงสมบัติของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา
2. สามารถนำถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเศษไม้ยางพาราไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้แสดงดัง ตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

	2019				2020											
	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1. ศึกษาหัวข้อวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←														→	
2. ทดลองความเป็นไปได้ของงานวิจัย		←										→				
3. กำหนดเงื่อนไขการทดลอง						←						→				
4. ดำเนินการทดลอง								←							→	
5. ตรวจสอบสมบัติของถ่านชีวภาพ									←						→	
6. นำเสนอผลงานทางวิชาการ													←	→		
5. สรุปผลการทดลองและจัดทำวิทยานิพนธ์													←			→

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) ได้รับคำจำกัดความจากกระทรวงพลังงานไว้ว่า “เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และสามารถนำพลังงานที่กักเก็บไว้เหล่านั้น มาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน” โดยชีวมวลนั้น ได้แก่ เศษไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งในการประยุกต์ใช้โดยการนำชีวมวลมาเผา เพื่อนำความร้อนที่ได้จากการเผา ไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ที่เป็นแหล่งพลังงานที่มีอย่างจำกัด โดยชีวมวลจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล

2.2 ถ่านชีวภาพ (Biocoke)

ถ่านชีวภาพ (Biocoke) เป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงชีวมวลก้อนแข็งที่ผลิตจากเศษไม้ ผงไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษอาหาร โดยถ่านชีวภาพมีค่าความร้อน ความหนาแน่นที่สูง มีปริมาณขี้เถ้าต่ำ ความชื้นต่ำและสามารถในการทนต่อแรงกดสูง ซึ่งค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้จะอยู่ที่ประมาณ 3,000-6000 kcal/kg และมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 1.1-1.3 g/cm³ โดยจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ อีกทั้งยังสามารถนำวัตถุดิบมากกว่า 1 ชนิดมาผสมกันเพื่อผลิตเป็นถ่านชีวภาพได้อีกด้วย

2.3 องค์ประกอบทั่วไปของวัสดุชีวมวล

2.3.1 ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลส เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังของเซลล์พืช ที่เกิดขึ้นจากหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว หรือที่เรียกว่าโพลีเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสอินทรีย์ ซึ่งโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสประกอบไปด้วยลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยที่ปริมาณของลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไปซึ่งปริมาณของ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในการขึ้นรูปและความหนาแน่นโดยตรงซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส กับอุณหภูมิในการอ่อนตัวของ สารแต่ละตัว โดยที่อุณหภูมิการอ่อนตัวของลิกนิน จะอยู่ในช่วง 127 ถึง 193°C เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในช่วง 167 ถึง 181°C และ เซลลูโลสจะอยู่ในช่วงมากกว่า 230°C [3]

2.3.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

จากรูปที่ 2.1 ปริมาณความชื้น คือปริมาณน้ำซึ่งหลงเหลืออยู่ในวัสดุชีวมวลและจะเป็นส่วนแรกที่จะระเหยออกไปก่อนเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาป โดยวัสดุที่มีปริมาณความชื้นสูงจะส่งผลต่อค่าความร้อนโดยตรงเนื่องจากค่าความร้อนจะต้องสูญเสียไปในการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้[4] หากมีค่ามากเกินไปจำเป็นจะต้องมีกระบวนการในการไล่ความชื้นออกเสียก่อน เช่น การอบไล่ความชื้น การตากวัสดุ เป็นต้น

2.3.3 สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters)

จากรูปที่ 2.1 สารที่ระเหยได้ คือองค์ประกอบของวัสดุชีวมวลซึ่งสามารถระเหยเมื่อได้รับความร้อน โดยปกติแล้ววัสดุชีวมวลที่มีปริมาณสารที่ระเหยได้สูง จะมีแนวโน้มที่ค่าความร้อนจะสูงไปด้วย แต่สารระเหยบางชนิดก็อาจก่อให้เกิดปัญหาอุปกรณ์ที่นำวัสดุชิ้นนั้นๆ ไปใช้งานได้[4]

2.3.4 คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

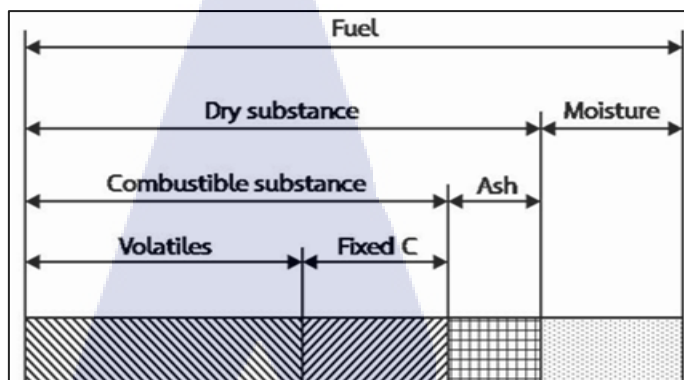
จากรูปที่ 2.1 คาร์บอนคงตัว คือสารประกอบคาร์บอนที่ระเหยได้ยากโดยจะคงเหลืออยู่ในถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิมากกว่า 750 องศาเซลเซียสยิ่งถ่านชีวภาพมีค่าคาร์บอนคงตัวมากจะสามารถลุกไหม้ได้นานโดยที่วัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าคาร์บอนคงตัวที่ต่างกัน[4]

2.3.5 เถ้า (Ash)

จากรูปที่ 2.1 เถ้า คือวัสดุที่หลงเหลือหลังจากการสันดาป ภายในเตาที่อุณหภูมิ 950°C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยจะประกอบไปด้วย ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ดังนั้นวัสดุชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงจะก่อให้เกิดความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าหลังจากการสันดาปได้[4]

2.3.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur)

จากรูปที่ 2.1 ปริมาณกำมะถันในวัสดุชีวมวล คือเมื่อทำการสันดาปชีวมวล กำมะถันจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์[4] ซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่างๆ เช่น ฝนกรด หรือ ความอันตรายต่อระบบหายใจในมนุษย์ ดังนั้นในการเลือกวัสดุชีวมวลควรเลือกวัสดุที่มีปริมาณกำมะถันน้อย



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง [4]

2.4 เศษไม้ยางพารา (Rubberwood Residue)

เศษไม้ยางพารา คือวัสดุที่เหลือจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ยางพารา หรืออุตสาหกรรมแปรรูปยางจากเศษไม้ยางพารา ซึ่งเศษไม้ยางพารามีความร้อนที่สูง และสามารถหาได้ง่ายในปัจจุบัน โดยในงานวิจัยพบว่า เศษไม้ยางพาราจากอุตสาหกรรมไม้ยางพารามีปริมาณมากเป็นอันดับ 2 ของประเทศไทยรองมาจากปาล์มน้ำมัน จึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพในงานวิจัยฉบับนี้โดยส่วนประกอบของเศษไม้ยางพาราจะเป็นดัง ตารางที่ 2.1 ,2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.1 Proximate Analysis

Test Item	Result (wt.%)	Test Method
Moisture	9.55	ASTM D5865
Volatile Matter	73.4	ASTM D5865
Fixed Carbon	15.81	ASTM D7582
Ash	1.24	ASTM D7582

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบธาตุของเศษไม้ยางพารา

Test Item	Result (wt.%)	Test Method
Carbon (C)	44.17	ASTM D5373
Hydrogen (H)	6.67	ASTM D5373
Nitrogen (N)	0.22	ASTM D5373
Oxygen (O)	47.7	ASTM D5373
Sulfur (S)	0	ASTM D4239

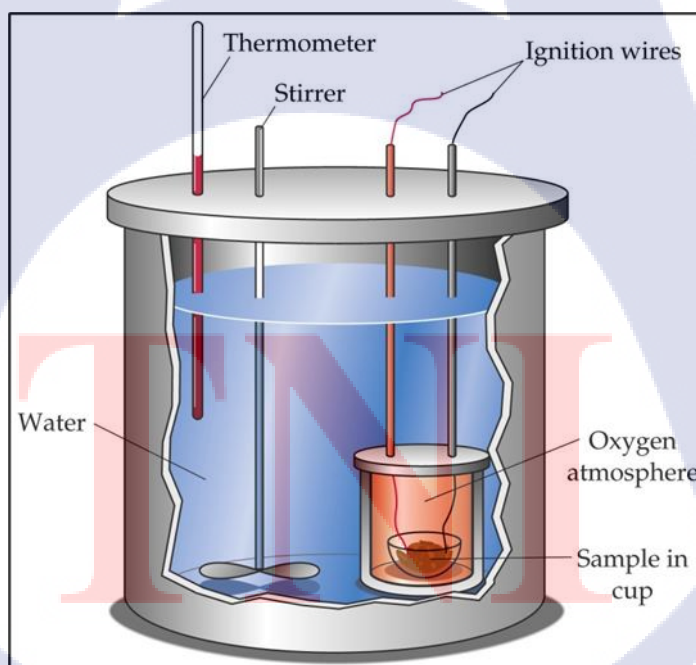
ตารางที่ 2.3 ปริมาณลิกโนเซลลูโลส

Test Item	Result (wt.%)	Test Method
Lignin	17.84	Van Soest Method
Cellulose	53.45	Van Soest Method
Hemicellulose	15.93	Van Soest Method

2.5 การวัดค่าและวิเคราะห์ผล

2.5.1 ค่าความร้อน (Calorific Value)

ค่าความร้อน คือปริมาณความร้อนที่จะบอกถึงพลังงานความร้อนที่ได้จากการนำวัสดุไปเผาภายใต้การเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ซึ่งผลจากการเผาไหม้แบบนี้จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำที่อยู่ในรูปของไอน้ำ โดยหน่วยของค่าความร้อนมักจะใช้เป็นค่าความร้อนจำเพาะ หรือพลังงานความร้อนต่อมวลวัสดุโดยในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้วิธีการทดสอบเป็น บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งค่าความร้อนของวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงดังตารางที่ 2.4



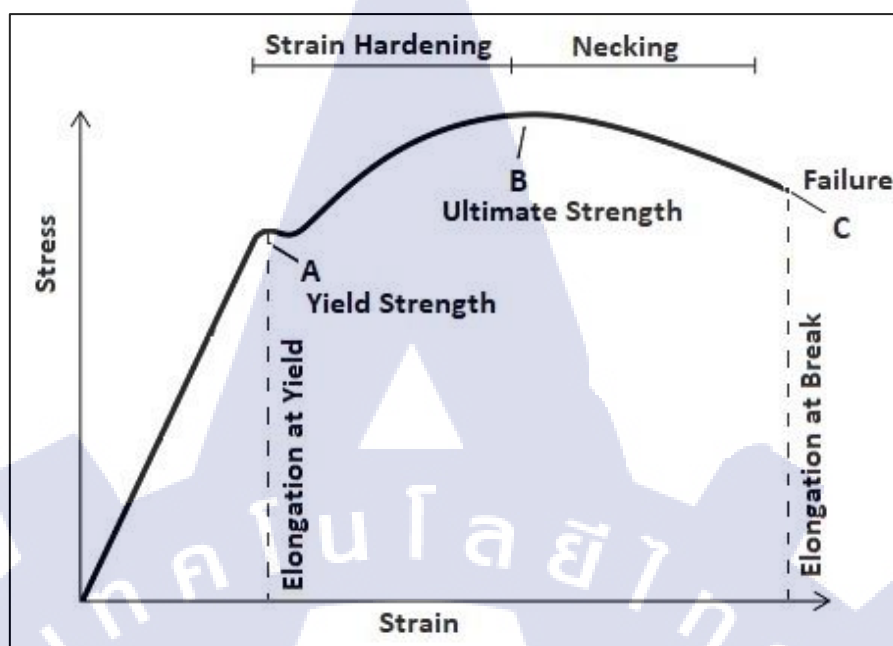
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ทดสอบบอมบ์แคลอริมิเตอร์ [5]

ตารางที่ 2.4 ค่าความร้อนของวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล[3]

เชื้อเพลิง	หน่วย	ปริมาณความร้อน(กิโลแคลอรี/หน่วย
ก๊าซชีวภาพ	ลบ.ม	5,000
ไม้ยางพารา	กก.	4,560
กะลามะพร้าว	กก.	4,830
ถ่านกะลามะพร้าว	กก.	7,760
ถ่านกะลาปาล์ม	กก.	4,820
เส้นใยปาล์ม	กก.	4,540
ซังข้าวโพด	กก.	4,990
ขี้เลื่อย	กก.	3,010
กากตะกอนจาก ระบบบำบัดน้ำเสีย	กก.	2,390 – 4,060

2.5.2 ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด (Compressive Strength)

การต้านทานแรงกดสูงสุดสามารถวัดค่าได้โดยการนำวัสดุไปทดสอบแรงกด และวิเคราะห์กราฟระหว่างความเค้น และความเครียดของวัสดุ โดยในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ผลจากการทดสอบแรงกดเพื่อวิเคราะห์ถึงความแข็งแรงของถ่านชีวภาพเมื่อทำการจัดเก็บ หรือขนส่งจะสามารถทนต่อแรงกดที่กระทำได้สูงสุดเพียงใด โดยในการวัดค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดได้มาจากการนำวัสดุไปทดสอบแรงกด (Compression Test) ซึ่งค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะวิเคราะห์ได้จากจุดค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength) จากการทดลองดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 แสดงค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดที่จุด Ultimate Strength [6]

2.5.3 ความหนาแน่นและค่าการจัดเก็บพลังงานต่อปริมาตร

ความหนาแน่น วัดค่าเพื่อสามารถนำไปคำนวณพื้นที่จัดเก็บ และการขนส่งยังการผลิตถ่านชีวภาพให้มีความหนาแน่นที่สูงส่งผลให้พื้นที่ที่ต้องใช้ในการจัดเก็บน้อยลงโดยความหนาแน่นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) และนำความหนาแน่นที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าการจัดเก็บพลังงานต่อปริมาตร (Energy Density) ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.2) และเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ

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

$$\text{ค่าการจัดเก็บพลังงานปริมาตร} = \frac{\text{ค่าความร้อนของวัสดุ}}{\text{ปริมาตรของวัสดุ}} \quad (2.2)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y. Fuchigami et al. [1] ได้ศึกษาการผลกระทบทางคาร์บอนไดออกไซด์ของการใช้ถ่านชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงการขนส่ง พบว่าตลอดทั้งกระบวนการของถ่านชีวภาพ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของถ่านชีวภาพ 1 ตัน จะอยู่ที่ 1.01 ตัน ซึ่งเมื่อนำถ่านชีวภาพมาทดแทนถ่านโค้กจะสามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ไปได้ 2.16 ตัน

D.A.I Goring [3] ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิอ่อนตัวของ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส โดยใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอ่อนตัวแนวตั้ง ได้พบว่าอุณหภูมิการอ่อนตัวของลิกนินจะอยู่ในช่วง 127°C ถึง 193°C อุณหภูมิอ่อนตัวเฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในช่วง 167°C ถึง 181°C แต่อุณหภูมิการอ่อนตัวของเซลลูโลสจะอยู่ที่สูงกว่า 231°C และหากทำการเติมน้ำเข้าไปอุณหภูมิการอ่อนตัวของลิกนินจะลดลงเหลือ 72°C ถึง 128°C

สุพิชญา เชิดเกียรติกุล [7] ทำการศึกษาผลกระทบการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจะส่งผลโดยตรงกับสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความกลลวาคือสมบัติทั้ง 2 จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ความดันและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป แต่สมบัติทางความร้อนจะมีเพียงความดัน และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่มีผลกระทบ ซึ่งการเพิ่มความดันในการขึ้นรูปค่าความร้อนจะมีค่าน้อยลง แต่การเพิ่มเวลาในการขึ้นรูปค่าความร้อนจะมีค่ามากขึ้น

ภริเดช สายเสริมศักดิ์ [8] ทำการศึกษาผลกระทบการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม พบว่าอุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปส่งผลโดยตรงกับสมบัติของถ่านชีวภาพ ซึ่งค่าความหนาแน่น ความแข็ง และความร้อนของถ่านชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูป 100°C ถึง 140°C แต่จะลดลงในช่วง 140°C ถึง 190°C และหากเพิ่มความชื้นของวัตถุดิบจะส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ค่าความร้อนจะลดลง

H. Murata et al. [9] ทำการศึกษาผลกระทบต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากเศษไม้เมื่อนำรำข้าวมาเป็นผสาน พบว่าการเพิ่มขึ้นของรำข้าวที่นำมาผสมส่งผลให้ความหนาแน่น ค่าความร้อนและค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.31 g/cm^3 ค่าความร้อนสูงสุดเท่ากับ $4,732\text{ kcal/kg}$ และค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดเท่ากับ 65 MPa

B. Hill and D. Pulkinen [10] ทำการศึกษาอุณหภูมิการผลิตที่มีผลต่อความทนทานของเชื้อเพลิงอัดแท่งต้นอัลฟัลฟา พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตจาก 60°C ถึง 104°C จะเป็นการเพิ่มความทนทานให้แก่เชื้อเพลิงอัดแท่ง 30 ถึง 50%

ณัฐภรณ์ สุวรรณาคี [11] ทำการศึกษาลักษณะของสภาวะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากกากมะพร้าว พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปมีผลต่อความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพ เมื่อให้อุณหภูมิในการทดลอง 170°C เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที จะให้ความหนาแน่นรวมสูงสุดเท่ากับ 1.18 g/cm^3 โดยในส่วนของสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปในช่วง อุณหภูมิห้อง ถึง 100°C ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงในช่วง 100°C ถึง 170°C และเวลาในการขึ้นรูป ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าสูงขึ้นในทุกๆเงื่อนไขการขึ้นรูป โดยค่าความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ $5,566 \text{ kcal/kg}$ ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 100°C เวลาในการขึ้นรูป 20 นาที

S. Mizuno et al. [12] ทำการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากสมุนไพรรูปปั้น พบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปและความชื้นของวัตถุดิบมีผลต่อความหนาแน่นและค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด โดยค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูป 160°C ถึง 170°C แต่จะมีค่าลดลงในช่วง 170°C ถึง 210°C และค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วง 160°C ถึง 200°C แต่จะลดลงในช่วง 200°C ถึง 210°C โดยในส่วนของค่าความชื้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นในทุกเงื่อนไขการขึ้นรูป แต่จะส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดน้อยลงเช่นเดียวกัน ซึ่งความหนาแน่นสูงสุดจะอยู่ที่ 1.38 g/cm^3 และค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดอยู่ที่ 127 MPa

T. Sawai et al. [13] ทำการศึกษาลักษณะของขนาดเศษไม้และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อสมบัติถ่านชีวภาพจากต้นบวบและต้นพลับ พบว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปส่งผลโดยตรงกับค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากต้นบวบในช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูป 140°C ถึง 160°C แต่ขนาดอนุภาคเศษไม้ในช่วงใหญ่กว่า 10 mm และเล็กกว่า 10 mm ไม่ส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากต้นบวบ ในกรณีของต้นพลับค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 180°C และเมื่อขนาดอนุภาคของเศษไม้เล็กลงส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากไม้พลับลดลงไปด้วยเช่นเดียวกัน

W. Wongsuwan et al. [14] ทำการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากเศษถั่วเหลืองพบว่าอุณหภูมิและขนาดของอนุภาคเศษถั่วเหลืองมีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพ โดยเมื่อทำการขึ้นรูปถ่านชีวภาพโดยกรองขนาดอนุภาคจากใหญ่กว่า $600 \mu\text{m}$ เหลือ เล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ ค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆเงื่อนไขอุณหภูมิการขึ้นรูป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ดีที่สุดคือ 170°C ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.29 g/cm^3 และค่าความร้อนเท่ากับ $4,940 \text{ kcal/kg}$

Y. Torii et al. [15] ทำการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่โดยใช้ถ่านจากไม้ซีดาร์ญี่ปุ่นเป็นตัวผสม พบว่าเมื่อผสมผงถ่านเข้าไปในตัวขึ้นงานจาก 0% เป็น 20% ค่าการต้านทานแรงกดและค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง โดยค่าการ

ต้านทานแรงกดสูงสุดเมื่อทำการผสมเข้าไปในชิ้นงาน 20% เท่ากับ 110 MPa ค่าความร้อนเท่ากับ 7,170 kcal/kg แต่ค่าความหนาแน่นลดลงเหลือ 1.15 g/cm³

S. Mizuno et al. [16] ทำการศึกษาลักษณะขนาดของถ่านชีวภาพจากชาเขียวโดยทำการทดลองขึ้นรูปถ่านชีวภาพเป็นทรงกระบอกและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านชีวภาพเป็น 8 mm, 12 mm, 20 mm, 48 mm คงที่อุณหภูมิการขึ้นรูปไว้ที่ 180°C และทดสอบค่าการต้านทานแรงกดภายใต้อุณหภูมิ 700°C พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านชีวภาพส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดโดยตรง โดยเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านชีวภาพมากขึ้นค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด

S. Mizuno et al. [17] ทำการศึกษาลักษณะขนาดอนุภาคและอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบโดยทำการทดลองขนาดอนุภาคจาก ไม่ลดขนาด ถึง เล็กกว่า 0.5 mm และอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปจาก 120°C ถึง 200°C พบว่าขนาดอนุภาคเศษไม้ที่เล็กลงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดเพิ่มขึ้นในช่วง ไม่ลดขนาด ถึง 0.5 mm แต่จะลดลงในช่วง เล็กกว่า 0.5 mm ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการขึ้นรูปส่งผลให้ความหนาแน่นและค่าการต้านทานแรงกดสูงขึ้นไปด้วยเช่นกัน

S. Cherdkeatikul and T. Ida. [18] ทำการศึกษาลักษณะของปริมาณเอมิเซลลูโลสต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากไม้ซีดาร์โดยทำการผสมเอมิเซลลูโลสตามอัตราส่วนดังนี้ 0, 2, 5, 8, 10 และ 15 wt.% พบว่าปริมาณเอมิเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดเพิ่มขึ้นในช่วง 0 ถึง 8 wt.% แต่จะส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดลดลงในช่วง 8 ถึง 15 wt.%

TNI

TAHITI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

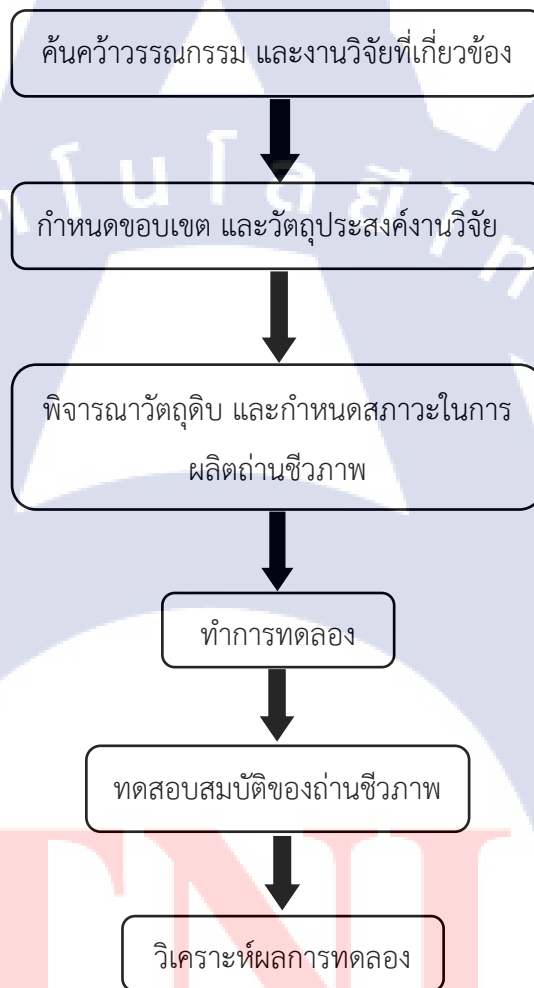
ตารางที่ 2.5 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถ่านชีวภาพ

ปี	นักวิจัย	วัตถุดิบ	บทสรุป
2019	ภีรเดช สายเสริมศักดิ์ [8]	กากปาล์ม	เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปค่าความหนาแน่น ความแข็ง และค่าความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าการต้านแรงกดจะเพิ่มขึ้นแคในช่วง 100°C-140°C
2015	สุพิชญา เชิดเกียรติกุล [7]	กากกาแฟ	สมบัติทางกายภาพและสมบัติกลเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ความดันและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป แต่สมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มความดันในการขึ้นรูปค่าความร้อนจะน้อยลง แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นรูปค่าความร้อนจะสูงขึ้น
2015	ณัฐภรณ์ สุวรรณาศี [11]	กากมะพร้าว	เวลาในการขึ้นรูปส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้นและอุณหภูมิในการขึ้นรูปส่งผลให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้น แต่ค่าความร้อนจะสูงขึ้นแคในช่วง อุณหภูมิห้อง ถึง 100°C และลดลงในช่วง 100°C-170°C
2015	W. Wongsuwan et al. [14]	ถั่วเหลือง	ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 425 μm ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของถ่านชีวภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับขนาดที่ใหญ่กว่า 425 μm
2011	T. Sawai et al. [13]	ต้นบ๊วย, ต้นพลับ	อุณหภูมิส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของต้นบ๊วยในช่วงอุณหภูมิ 140°C-160°C ส่วนต้นพลับนั้นค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 180°C
1965	D. A.I. Goring [3]	ลิกโนเซลลูโลส	อุณหภูมิอ่อนตัวของลิกนินในช่วง 127°C ถึง 193°C เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ในช่วง 167°C ถึง 181°C เซลลูโลสอุณหภูมิการอ่อนตัวจะสูงกว่า 231°C

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นดัง รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการทดลอง

3.2 ขอบเขตการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการผลิตถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพาราด้วยเครื่องอัดด้วยความร้อนที่ความดันสูงชนิดแนวตั้งโดยกำหนดตัวแปรต้น และตัวแปรตามดังนี้

3.2.1 ตัวแปรต้น

- 1) เวลาที่ใช้ในการอัดแบ่งออกเป็น 4 เวลาคือ 10 นาที 15 นาที 20 นาที และ 25 นาที
- 2) อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดแบ่งออกเป็น 5 อุณหภูมิคือ 100, 120, 140, 160 และ 180°C

3.2.2 ตัวแปรตาม

- 1) ความหนาแน่น (g/cm^3)
- 2) ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพ (kcal/kg)
- 3) ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด (MPa)

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

- 1) ความชื้นของวัตถุดิบเศษไม้ยางพารา ไม่เกิน 10 wt. %
- 2) ควบคุมขนาดของวัตถุดิบไม่เกิน 1 mm
- 3) น้ำหนักที่ใช้ในแต่ละครั้งที่ผลิตถ่านชีวภาพไม่เกิน 50 g

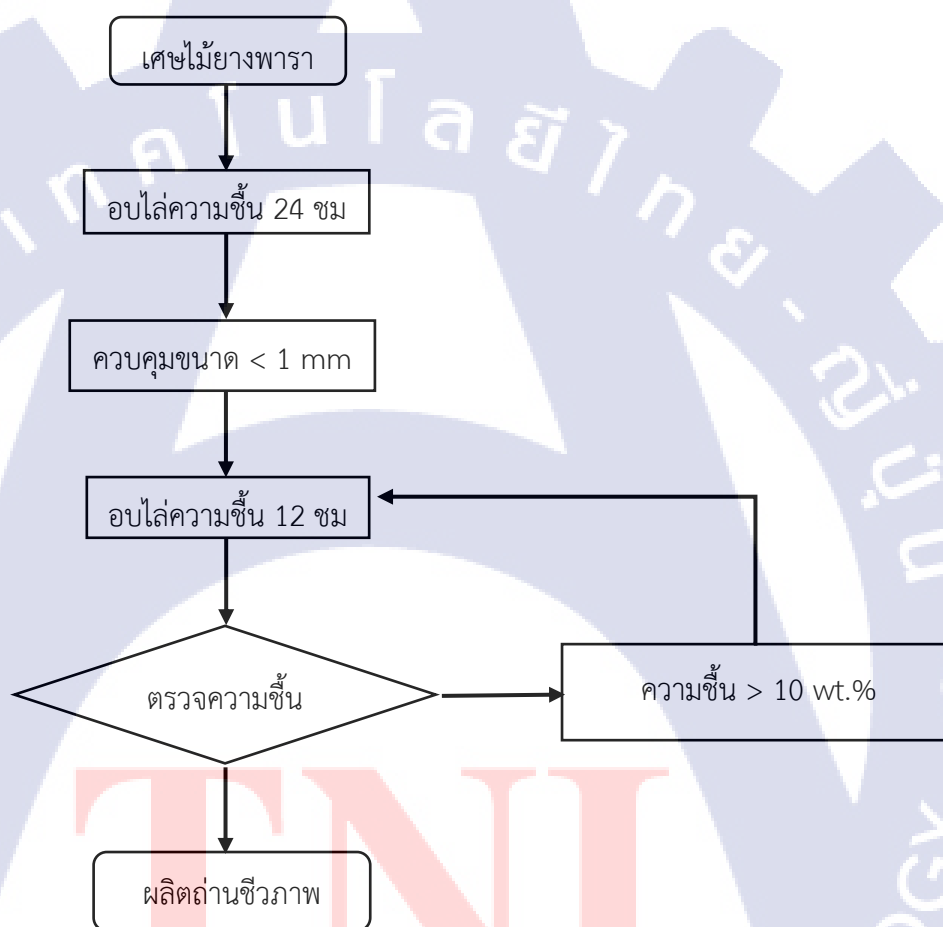
3.3 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เศษไม้ยางพารา
- 2) เครื่องบดลดขนาด
- 3) เครื่องคัดกรองขนาดอนุภาคผง
- 4) เครื่องวัดความชื้น
- 5) เครื่องอัดด้วยความร้อนที่ความดันสูงชนิดแนวตั้ง
- 6) ตู้อบลดความชื้น

3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

3.4.1 แผนการเตรียมวัตถุดิบ

เนื่องจากเศษไม้ยางพาราแรกเริ่มนั้นมีความชื้นสูง จึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้นให้ไม่เกิน 10 wt.% โดยใช้ตู้อบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำวัตถุดิบที่ทำการควบคุมความชื้นแล้วไปคัดกรองแยกขนาดโดยเลือกใช้เฉพาะวัตถุดิบที่มีขนาดไม่เกิน 1 mm โดยจะขั้นตอนการเตรียมจะทำการดัง รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับอัดแผ่นซีวีภาพ

3.4.2 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเศษไม้ยางพาราที่นำมาบดลดขนาด และทำการควบคุมให้มีขนาดไม่เกิน 1 mm โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเศษไม้ที่ได้จากการบดลดขนาดจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.4 ก่อนจะนำไปอบเพื่อลดความชื้นโดยอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.5 และนำไปตรวจสอบความชื้นที่อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.6 ตามลำดับโดยจะคัดเลือกเศษไม้ยางพาราที่มีค่าความชื้นต่ำกว่า 10 wt. %



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับบดลดขนาดเศษไม้ยางพารา



รูปที่ 3.4 เศษไม้ที่ได้จากการนำไปบดลดขนาด



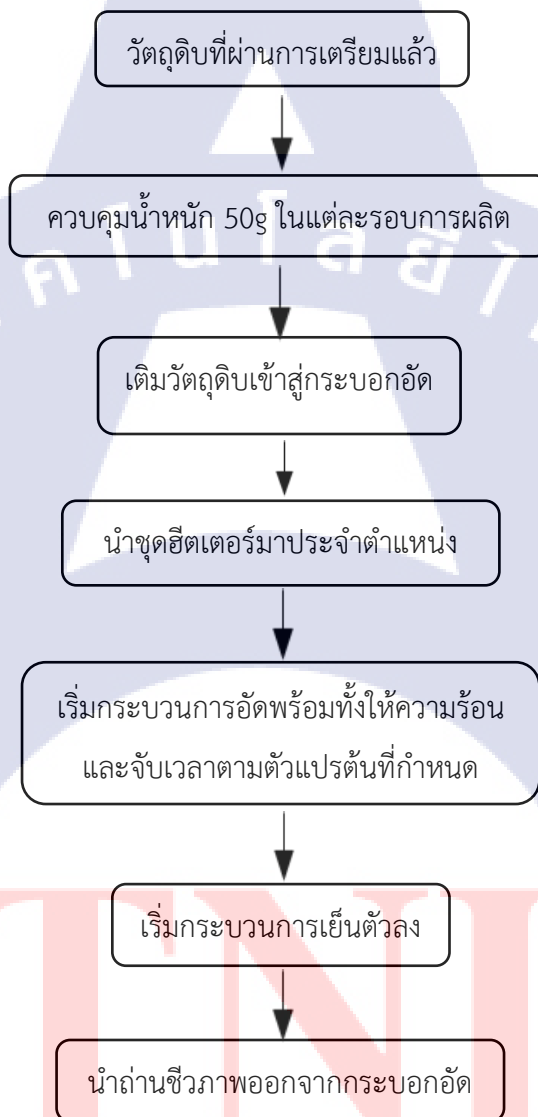
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บเพื่อลดความชื้นของเศษไม้ยางพารา



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อตรวจสอบความชื้น

3.5 การทดลอง

ทำการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้เครื่องอัดด้วยความร้อนที่ความดันสูง และทำการผลิตถ่านชีวภาพตามแผนผังขั้นตอนดัง รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนในการอัดถ่านชีวภาพ

3.6 การตรวจสอบผลจากการทดลอง

3.6.1 สมบัติทางกลและกายภาพ

1) สมบัติทางกายภาพ หาได้โดยนำถ่านชีวภาพที่ได้จากการทดลองไปชั่งน้ำหนักสุดท้าย วัดความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อคำนวณหา ปริมาตรของถ่านชีวภาพโดยใช้สมการที่ (3.1) และนำปริมาตรที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นดังสมการที่ (3.2)

$$V_{bc} = \frac{\pi}{4} d_{bc}^2 h_{bc} \quad (3.1)$$

โดย V_{bc} คือ ปริมาตรของถ่านชีวภาพ (cm^3)

d_{bc} คือ ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของถ่านชีวภาพ (cm)

h_{bc} คือ ความสูงของถ่านชีวภาพ (cm)

$$\rho_{bc} = \frac{m_{bc}}{V_{bc}} \quad (3.2)$$

โดย ρ_{bc} คือ ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพ (g/cm^3)

m_{bc} คือ มวลของถ่านชีวภาพ (g)

V_{bc} คือ ปริมาตรของถ่านชีวภาพ (cm^3)

2) สมบัติทางกล หาได้โดยนำถ่านชีวภาพไปทดสอบการทนต่อแรงกด (Compressive Strength) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทนต่อแรงกด ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกลดัง รูปที่ 3.8 และนำค่าแรงกดที่ได้มาคำนวณหาความเค้นสูงสุดของถ่านชีวภาพดังสมการที่ (3.3)

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{bc}}{A_{bc}} \quad (3.3)$$

โดย σ_{bc} คือ ค่าความเค้นสูงสุดของถ่านชีวภาพ (MPa)

F_{bc} คือ แรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพ (N)

A_{bc} คือ พื้นที่หน้าตัดของถ่านชีวภาพ (mm^2)



รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบแรงกด

3.6.2 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนสามารถหาได้จากการทดสอบ บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ซึ่งนำชิ้นทดสอบจากวัสดุก่อนการนำไปอัดเป็นถ่านชีวภาพ และหลังจากอัดเป็นถ่านชีวภาพโดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่อง Bomb Calorimeter IKA, model C1

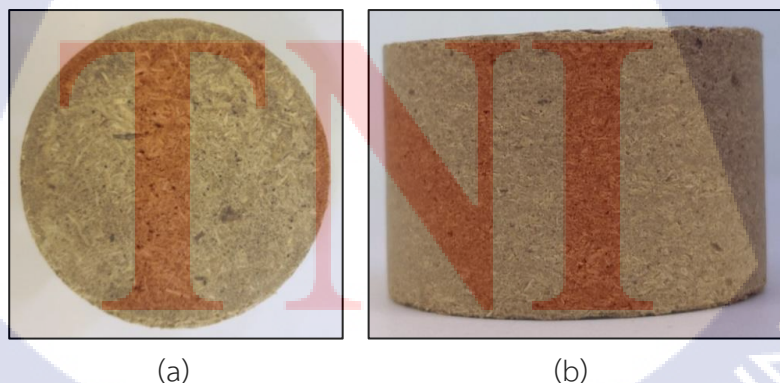
บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

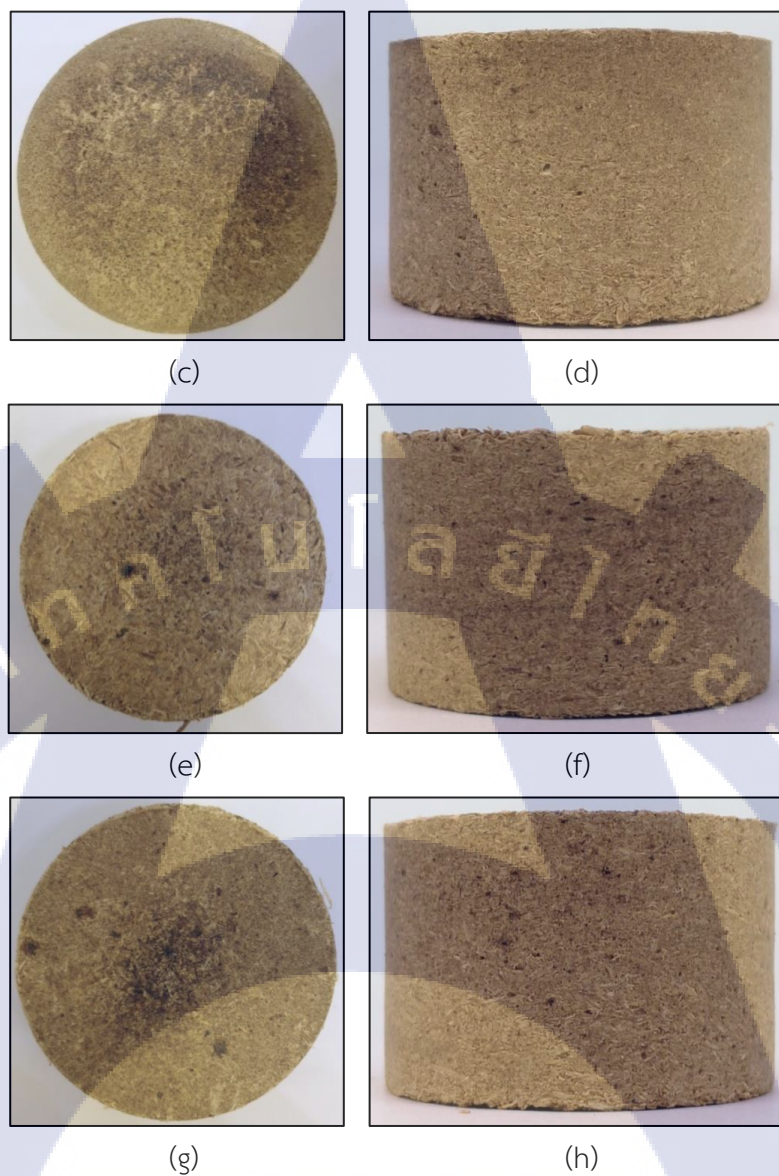
4.1 การวิเคราะห์ชิ้นงานถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา

ถ่านชีวภาพที่ได้จากการขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกโดยเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานจะอยู่ที่ 48 มิลลิเมตรซึ่งจะคงที่เนื่องจากกระบอกแม่พิมพ์และค่าความสูงของชิ้นงานซึ่งจะแปรผันขึ้นอยู่เงื่อนไขในการขึ้นรูป เช่น วัตถุดิบ อุณหภูมิในการขึ้นรูป ความดันในการขึ้นรูป เวลาในการขึ้นรูป และเงื่อนไขอื่นๆ เป็นต้น

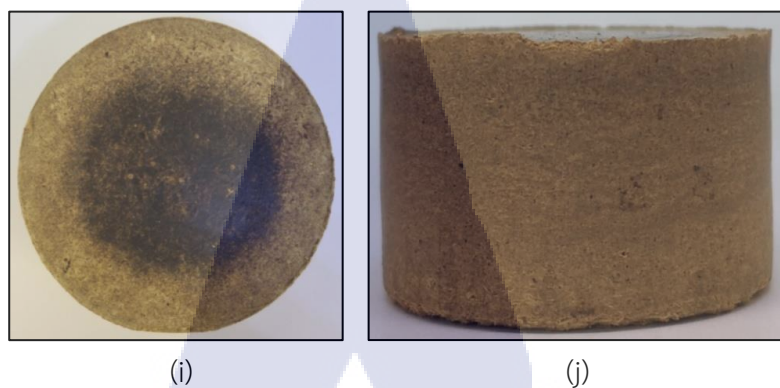
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าผิวตัวชิ้นงานมีแนวโน้มที่จะสีคล้ำขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการผลิต โดยที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 180°C พบว่าผิวของชิ้นงานจะมีสีคล้ำที่สุดและยังพบว่าในบางเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180°C ตัวชิ้นงานติดกับแม่พิมพ์ขณะนำชิ้นงานออกจากกระบอกอัดโดยจะพบได้บ่อยที่สุดที่เวลาในการขึ้นรูป 25 นาที โดยที่อุณหภูมิในการขึ้นรูป 180°C ตัวชิ้นงานมีการแตกร้าวซึ่งเหตุดังกล่าวเกิดจากที่อุณหภูมิการขึ้นรูปสูงทำให้การผสานกันระหว่างวัสดุดีขึ้นแต่ส่งผลด้านลบคือมีรพุนที่น้อยลงการแพร่ของความร้อน (Thermal Diffusivity) จากชิ้นงานสู่บรรยากาศภายนอกมากยิ่งขึ้น จึงเกิดการสะสมพลังงานและก่อให้เกิดการพองตัวจากภายใน ซึ่งในกรณีของเงื่อนไขการขึ้นรูปอุณหภูมิ 180°C เวลาที่ใช้ 25 นาที จากการระบายความร้อนที่น้อยและการสะสมพลังงานจึงก่อให้เกิดความเค้นเนื่องจากความร้อน (Thermal Stress) และสะสมความเค้นภายในเนื่องจากเป็นแม่พิมพ์แบบปิด ความเค้นสะสมเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่แตกร้าวจึงก่อให้เกิดการแตกร้าวเนื่องจากความเค้น (Thermal Stress Crack)



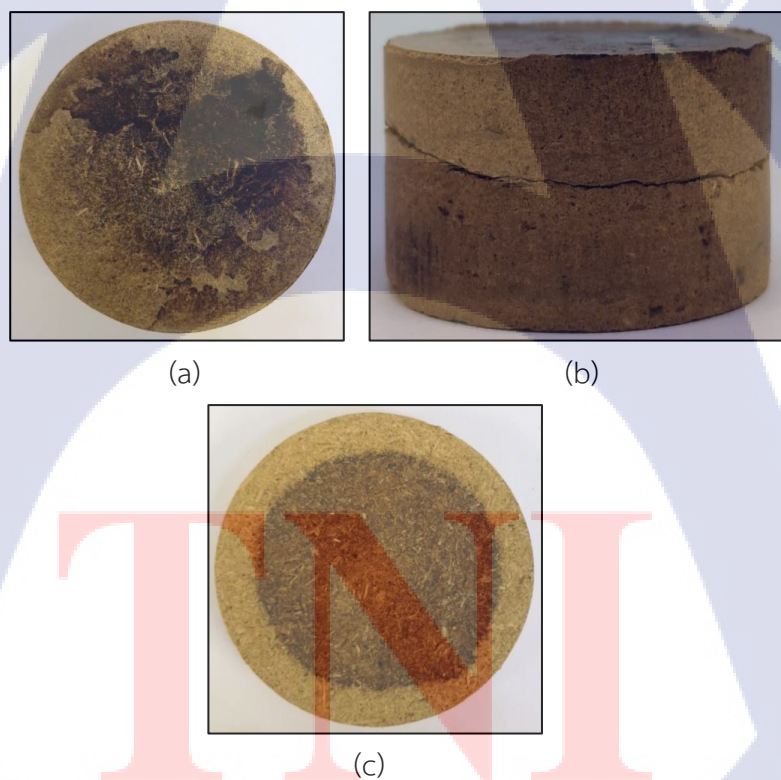
รูปที่ 4.1 ลักษณะผิวของชิ้นงานมุมด้านบนและด้านข้างของแต่ละอุณหภูมิการขึ้นรูป (a) 100°C -Top, (b) 100°C -Side, (c) 120°C -Top, (d) 120°C -Side, (e) 140°C -Top, (f) 140°C -Side, (g) 160°C -Top, (h) 160°C -Side, (i) 180°C -Top, (j) 180°C -Side



รูปที่ 4.1 ลักษณะผิวของชิ้นงานมุมด้านบนและด้านข้างของแต่ละอุณหภูมิการขึ้นรูป (a) 100°C-Top, (b) 100°C-Side, (c) 120°C-Top, (d) 120°C-Side, (e) 140°C-Top, (f) 140°C-Side, (g) 160°C-Top, (h) 160°C-Side, (i) 180°C-Top, (j) 180°C-Side (ต่อ)



รูปที่ 4.1 ลักษณะผิวของชิ้นงานมุมด้านบนและด้านข้างของแต่ละอุณหภูมิการขึ้นรูป (a) 100°C-Top, (b) 100°C-Side, (c) 120°C-Top, (d) 120°C-Side, (e) 140°C-Top, (f) 140°C-Side, (g) 160°C-Top, (h) 160°C-Side, (i) 180°C-Top, (j) 180°C-Side (ต่อ)

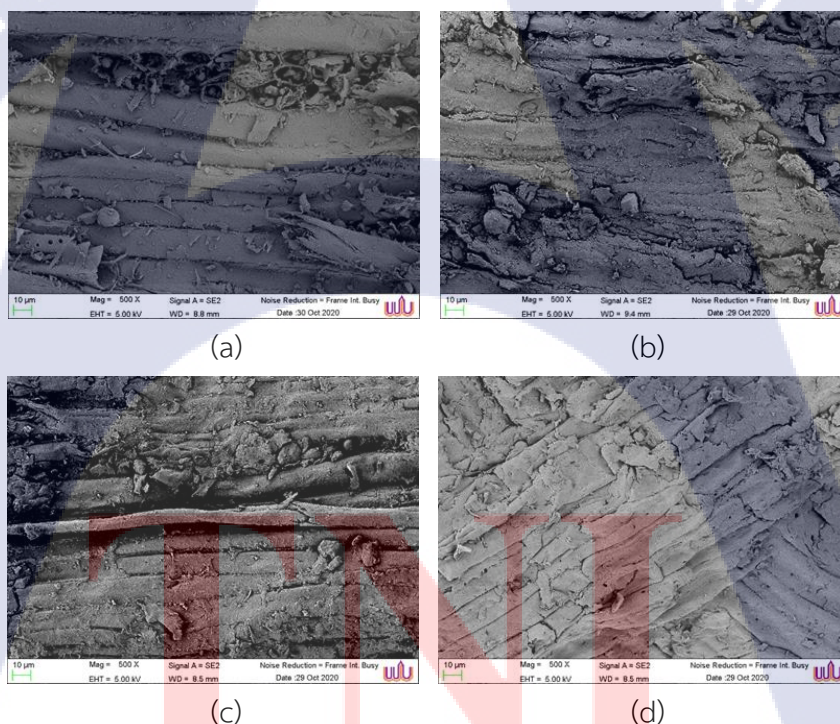


รูปที่ 4.2 ลักษณะผิวของชิ้นงานที่มีความเสียหายซึ่งเกิดจากความเค้นเนื่องจากความร้อน (a) Topview, (b) Sideview, (c) Centerview

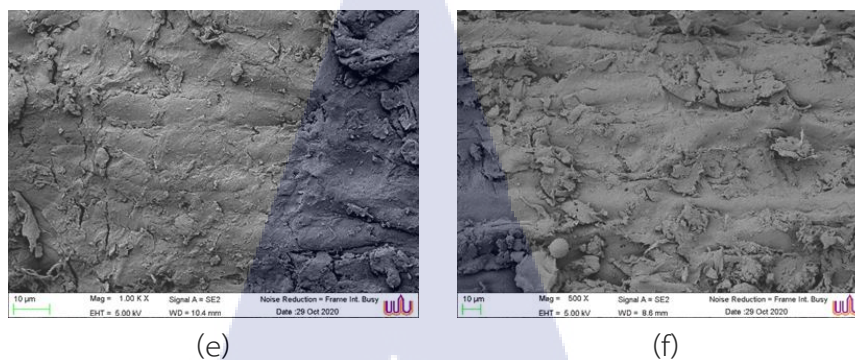
4.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา

การวิเคราะห์พื้นผิวของถ่านชีวภาพทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด ซึ่งก่อนทำการทดลองจำเป็นจะต้องทุบถ่านชีวภาพเพื่อลดขนาด และนำชิ้นส่วนบริเวณกึ่งกลางไปวิเคราะห์ผิวเพื่อดูลักษณะการยึดเกาะของเศษไม้ยางพาราเมื่อถูกขึ้นรูปด้วยความร้อนในช่วง 100°C ถึง 180°C

จากรูปที่ 4.3 ที่กำลังขยาย 500 เท่า เวลาในการขึ้นรูป 15 นาที พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นรูป ลักษณะการยึดเกาะของเศษไม้ยางพารามีการยึดเกาะที่เปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับเศษไม้ที่ยังไม่ได้ขึ้นรูปเนื่องจากการอ่อนตัวของ ลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลส ทำให้ค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ D.A.I Goring [3] และ T. Sawaii et al. [13] แต่ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปจาก 140°C ถึง 180°C พบว่าลักษณะการยึดเกาะบริเวณพื้นผิวเปลี่ยนไปเล็กน้อยอาจส่งผลให้ความหนาแน่นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

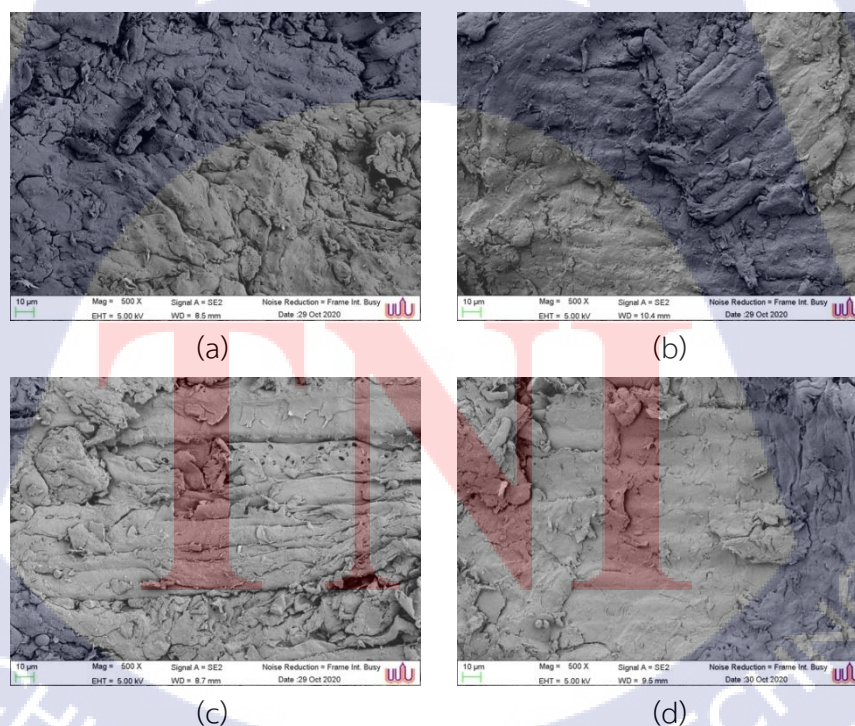


รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่เวลาการขึ้นรูป 15 นาที (a) เศษไม้ที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป, (b) 100°C, (c) 120°C, (d) 140°C, (e) 160°C, (f) 180°C



รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่เวลาการขึ้นรูป 15 นาที (a) เศษไม้ที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป, (b) 100°C, (c) 120°C, (d) 140°C, (e) 160°C, (f) 180°C (ต่อ)

จากรูปที่ 4.4 ที่กำลังขยาย 500 เท่า จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขเวลาในการขึ้นรูปต่างๆ จาก 10 นาที ถึง 25 นาที โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 160°C พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปการผสากันระหว่างเศษไม้บริเวณผิวมีแนวโน้มที่ดีขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าที่เวลา 25 นาที ช่องว่างหรือรูพรุนบริเวณผิวจะมีน้อยกว่าที่เวลา 10 นาที อย่างชัดเจน

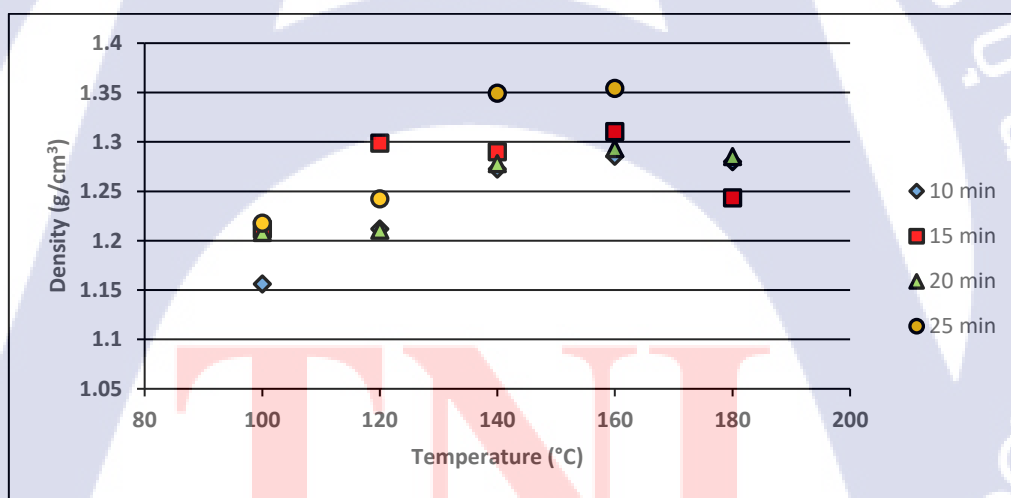


รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 180°C (a) เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที, (b) 15 นาที, (c) 20 นาที, (d) 25 นาที

4.3 ผลกระทบด้านอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพในงานวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (3.2) ในการหาความหนาแน่นรวม (Density) ของแต่ละสภาวะการขึ้นรูปที่ต่างกันคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 100 120 140 160 และ 180°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 10 15 20 และ 25 นาที ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปควบคุมไว้ที่ 16 MPa และความชื้นของวัตถุดิบในการขึ้นรูปควบคุมไว้ประมาณ 10 wt. %

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปถ่านชีวภาพ ซึ่งจะสอดคล้องกับภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปการผสมกันระหว่างเศษไม้ทำได้ดียิ่งขึ้น แต่พบว่าค่าความหนาแน่นรวมเริ่มมีแนวโน้มลดลงซึ่งจะสอดคล้องกับภาพถ่ายวิเคราะห์ชิ้นงานเมื่อขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิหรือเวลาที่สูงจะเกิดความเค้นเนื่องจากการระบายความร้อนทำได้ไม่ทันถ่านชีวภาพจึงมีการขยายตัว ความหนาแน่นจึงลดลง โดยที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 25 นาที พบว่าถ่านชีวภาพไม่สามารถขึ้นรูปที่สภาวะดังกล่าวได้ และมีการแตกร้าวที่บริเวณกึ่งกลางจึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพได้

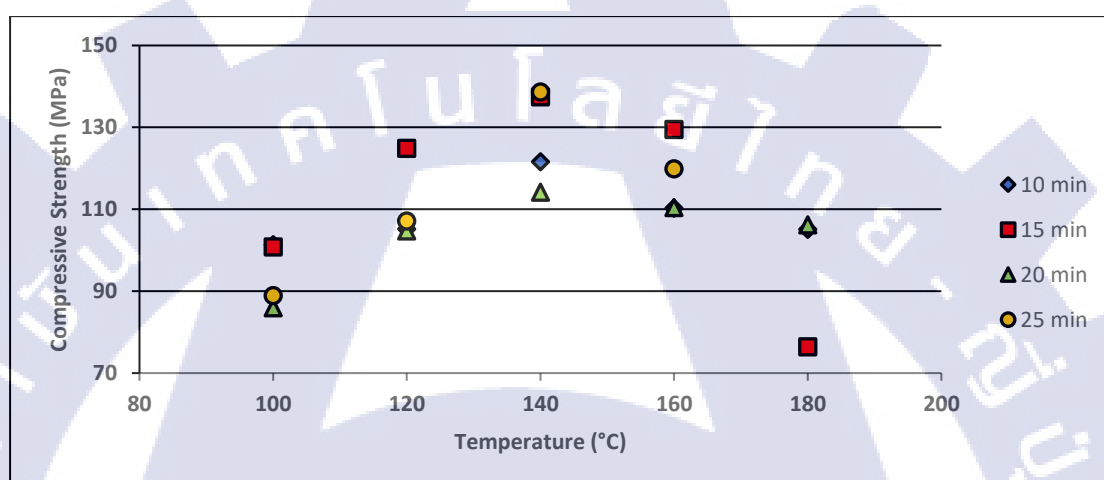


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และ เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

4.4 ผลกระทบด้านอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางกล

การวิเคราะห์สมบัติทางกลของถ่านชีวภาพทำได้โดยหาค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดด้วยเครื่อง EL36-4145/01 ADR Auto 2000/250 EN Compression Machine ดังรูปที่ 3.8

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้การขึ้นรูปถ่านชีวภาพค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนอันเป็นผลมาจากการยึดเกาะกันที่ดีขึ้นของเศษไม้ โดยมีค่าสูงสุดที่ 140°C ในทุก ๆ สภาวะเวลาในการขึ้นรูปก่อนจะค่อยๆ ลดลง และพบว่าที่อุณหภูมิ 180°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 25 นาที พบการแตกร้าวบริเวณผิวและไม่สามารถขึ้นรูปถ่านชีวภาพที่สภาวะดังกล่าวได้ ส่งผลให้ไม่สามารถหาค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดได้ ซึ่งผลกระทบดังกล่าวเกิดจากการสะสมความเค้นเนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการแตกร้าวบริเวณแกนกลาง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกดลดน้อยลง

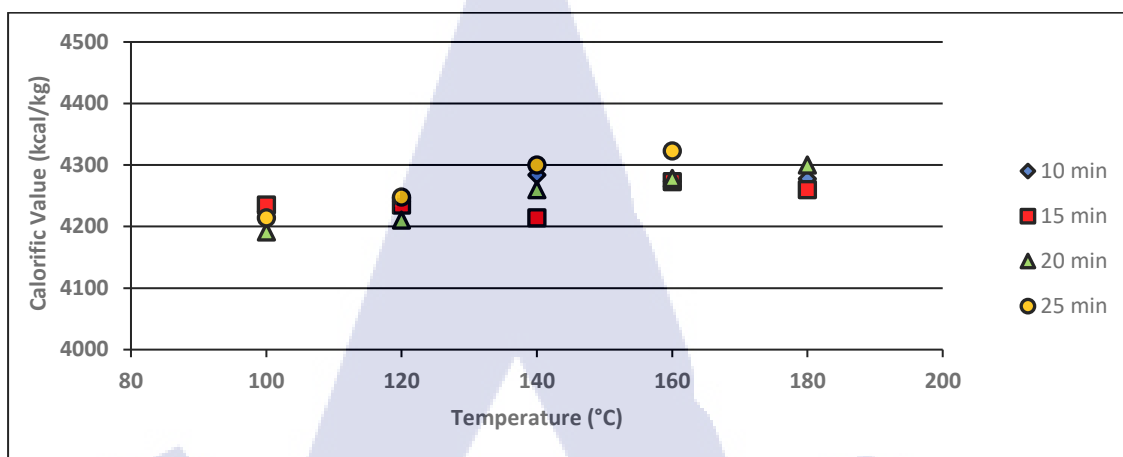


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป

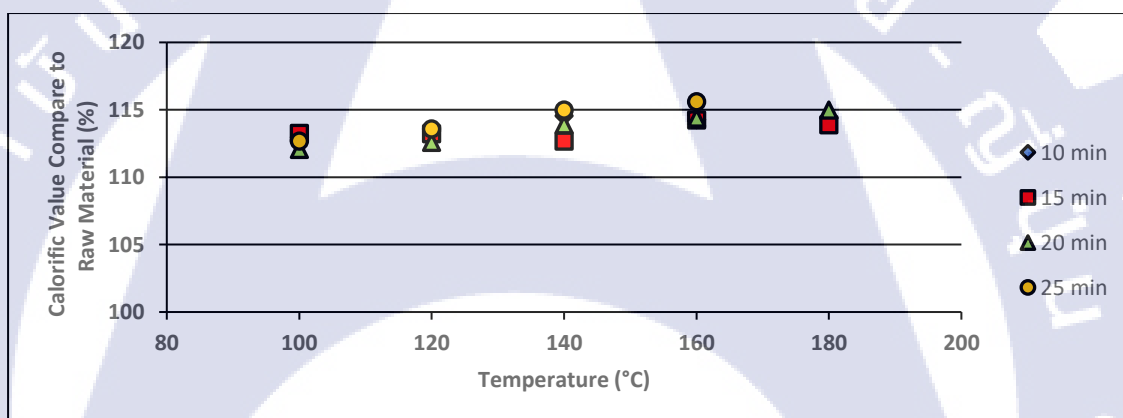
4.5 ผลกระทบด้านอุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพทำได้โดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ในรุ่น IKA, model C1 ซึ่งก่อนการทดสอบจำเป็นจะต้องทำการทุบถ่านชีวภาพเพื่อลดขนาด และควบคุมน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบ

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพาราส่งผลต่อค่าความร้อนของถ่านชีวภาพเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ขึ้นที่มีค่าความร้อนต่ำสุด และค่าความร้อนสูงสุดต่างกันเพียง 2.6% โดยค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 115.59% ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 160°C เวลาการขึ้นรูป 25 นาที และมีค่าต่ำสุดที่ 112.06% อุณหภูมิการขึ้นรูป 100°C เวลาการขึ้นรูป 20 นาทีดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพารา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความของถ่านชีวภาพจากเศษไม้ยางพาราเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของวัตถุดิบ และสถานะในการขึ้นรูป

4.5 การเปรียบเทียบถ่านชีวภาพจากวัสดุอื่นๆ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมบัติของถ่านชีวภาพ

	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความต้านทาน แรงอัดสูงสุด (MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
ถ่านชีวภาพจากไม้ยางพารา*	1.35	138	4,323
ถ่านชีวภาพจากกากมะพร้าว [11]	1.18	N/A	5,566
ถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม [8]	1.42	75	4,331
ถ่านชีวภาพจากเศษถั่วเหลือง [14]	1.29	N/A	4,940
ถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ [7]	1.33	69	4,910
ถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่กับต้นซีดาร์ ญี่ปุ่น [15]	1.40	110	7,170
ถ่านชีวภาพจากสมุนไพรญี่ปุ่น [12]	1.38	127	N/A
ถ่านโค้ก [1]	1.1	20	7,000
เศษไม้ยางพารา*	N/A	N/A	3,740

*หมายเหตุ : ข้อมูลจากการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสภาวะและการเตรียมการขึ้นรูปของเศษไม้ยางพารา โดยสภาวะการขึ้นรูปอันได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 100°C 120°C 140°C 160°C และ 180°C และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 10 นาที 15 นาที 20 นาที และ 25 นาที โดยที่ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปจะคงที่ที่ 16 MPa และความชื้นของวัตถุดิบประมาณ 10% ต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ คือสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) สมบัติทางกลได้แก่ ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด (Maximum Compressive Strength) สมบัติทางความร้อนได้แก่ ค่าความร้อน (Calorific Value)

5.1.1 ผลกระทบด้านอุณหภูมิในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขในการขึ้นรูปด้านอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล แต่จะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อสมบัติทางความร้อน

ผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพโดยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป ค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการอ่อนตัวของ ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสส่งผลให้การผสานระหว่างเศษไม้ทำได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งผลกระทบดังกล่าวจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ D.A.I Goring [3] และการวิเคราะห์ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นในช่วง 100°C ถึง 160°C แต่มีแนวโน้มน้อยลงในช่วง 160°C ถึง 180°C ซึ่งเป็นเหตุมาจากการใช้อุณหภูมิที่สูงในการผลิตถ่านชีวภาพในขณะกระบวนการเย็นตัวลง เมื่อถ่านชีวภาพผสานกันได้ดียิ่งขึ้นจะส่งผลคือรูพรุนน้อยลง ส่งผลให้การระบายความร้อนจากแกนกลางเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้นจึงเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนส่งผลให้ชิ้นงานมีการขยายตัวในช่วงเวลาดังกล่าว ค่าความหนาแน่นจึงมีค่าลดลง โดยค่าความหนาแน่นสูงสุดจะอยู่ที่ 1.35 g/cm³ ที่อุณหภูมิ 160°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 25 นาที และมีค่าความหนาแน่นทุกเงื่อนไขการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 1.15 g/cm³ ถึง 1.35 g/cm³

ผลกระทบต่อสมบัติทางกลพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูปค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มมากขึ้นอันเนื่องมาจากการอ่อนตัวของ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และการผสานกันระหว่างเศษไม้ทำได้ดียิ่งขึ้นโดยจะสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพ โดยค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นในช่วง 100°C ถึง 140°C และมีค่าลดลงในช่วง 140°C ถึง 180°C โดยการลดลงของค่าการ

ต้านทานแรงกดสูงสุดเป็นเหตุมาจากที่อุณหภูมิสูงการระบายความร้อนในช่วงกระบวนการเย็นตัวลงไม่สามารถทำได้ทันจึงเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อน และส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวภายในซึ่งการแตกร้าวดังกล่าวส่งผลให้เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบค่าแรงต้านทานแรงกด สามารถรับแรงกดได้น้อยลงเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 140°C โดยค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดอยู่ที่ 138.652 MPa ที่อุณหภูมิ 140°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 25 นาที และมีค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดทุกเงื่อนไขอยู่ในช่วง 76.407 MPa ถึง 138.652 MPa

ผลกระทบต่อสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปผ่านชีวภาพส่งผลโดยตรงแต่เพียงเล็กน้อยทุกเงื่อนไขการทดลองโดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูปค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 100°C ถึง 140°C และทรงตัวในช่วง 140°C ถึง 180°C โดยค่าความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ 4323.14 kcal/kg ที่อุณหภูมิ 160°C เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 25 นาที โดยรวมแล้วค่าความร้อนทุกเงื่อนไขการขึ้นรูปอยู่ในช่วง 4191.20 kcal/kg ถึง 4323.14 kcal/kg

5.1.2 ผลกระทบด้านเวลาในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพ

จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขในการขึ้นรูปด้านเวลาส่งผลกระทบโดยตรงต่อ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติทางความร้อน โดยการเพิ่มเวลาในการขึ้นรูปจาก 10 นาที เป็น 25 นาทีส่งผลให้ค่าความหนาแน่น ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุด และความร้อนมีค่ามากที่สุด

ผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพเมื่อเพิ่มเวลาในการขึ้นรูปความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากเวลาในการขึ้นรูปที่มากกว่าการยึดเกาะกันระหว่างเศษไม้ทำได้ดีขึ้นโดยเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ดีที่สุดคือ 25 นาที

ผลกระทบต่อสมบัติทางกลของถ่านชีวภาพพบว่าค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเงื่อนไขเวลาการขึ้นรูป 10 นาที ถึง 15 นาที และมีแนวโน้มลดลงในช่วง 15 นาที ถึง 25 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนสะสมภายในจนก่อให้เกิดความเค้นจากความร้อนส่งผลให้ชิ้นงานมีการแตกร้าวภายใน ค่าการต้านทานแรงกดสูงสุดจึงมีค่าน้อยลง

ผลกระทบต่อสมบัติทางความร้อนของถ่านชีวภาพพบว่าค่าความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ดีที่สุดคือ 25 นาที

5.2 แนวทางการทำวิจัยต่อเนื่อง

5.2.1 ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อสมบัติต่างๆของถ่านชีวภาพ

5.2.2 ทำการทดลองโดยหาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น อาทิเช่น กากกาแฟ กากปาล์ม หรือฟางข้าวมาผสม กับเศษไม้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของถ่านชีวภาพ

5.2.3 ทำการศึกษาผลกระทบขนาดเศษไม้ยางพาราที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อสมบัติต่างๆของถ่านชีวภาพ

5.2.4 ทำการศึกษาชิ้นงานที่เสียเพื่อหาต้นตอของปัญหาที่เกิดขึ้น และหาแนวทางแก้ไขหรือปรับปรุง



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] Y. Fuchigami et al., “Analysis of effect on CO² emission reduction and cost estimation for the use of Bio-coke: a case study of Osaka, Japan,” *Journal of Wood Science*, vol.62, no.1, pp. 93-100, October 2015.
- [2] P. Heemmuden, “Thailand's Rubberwood Industry: A New Rising Star,” [Online]. Available: <https://www.scbeic.com/en/detail/product/2987>. [Accessed: May 20, 2020].
- [3] 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: May 20, 2020].
- [4] สุภาภรณ์ อุณยะวงษ์ และคณะ, “คู่มือแนวทาง และเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน,” [Online]. Available: http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_ผนวก_ง_คู่มือนำร่อง.pdf. [Accessed: 20 พฤษภาคม 2563].
- [5] เตชะ ตันมีสุข และ วรางคณา สุขสม, “เอกสารวิชาการปฏิบัติการเคมี (ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 2),” กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2553.
- [6] Omnexus, “Strength at Break,” [Online] Available: <https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/strength-at-break-tensile>. [Accessed: May 20, 2020].
- [7] สุพิชญา เชิดเกียรติกุล, “ผลกระทบสภาวะการขึ้นรูปของถ่านชีวภาพจากกากกาแฟ,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [8] ภีรเดช สายเสริมศักดิ์, “ผลกระทบของสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากปาล์ม,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2562.
- [9] 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, Issue 5, pp. 283-288, July 2014.

- [10] B. Hill D. 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 Agriculture Development Fund, July 1988.
- [11] ณัฐภรณ์ สุวรรณาคี, “ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปต่อสมบัติของถ่านชีวภาพจากกากมะพร้าว,” วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2558.
- [12] S. Mizuno et al., “Formation characteristics of high density and high hardness new briquette based on herby biomass,” *Journal of the Japan Institute of Energy*, vol.91, no.1, pp. 41-47, January 2012.
- [13] T. Sawai et al., “Compressive strength properties of bio-solid fuel made from Pruned branch.” *Journal of High Temperature Society*, vol.36, Issue 1, pp. 36-40, May 2011.
- [14] W. Wongsuwan et al., “Effect of temperature on properties of biocoke from soybean residues,” *ATEM’15, JSME-MMD*, Toyohashi, Tokyo, 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, Issue 2, pp. 63-70, March 2012.
- [16] S. Mizuno et al., “Scale effect of compressive strength properties under high temperature, for green tea bio-coke,” *Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanics*, vol.13, Issue 2, pp. 190-193, December 2013.
- [17] S. Mizuno 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.3, Issue 5, pp. 269-275, January 2014.
- [18] S. Cherdkeatikul T. Ida., “The influence of additional hemicellulose on Japanese cedar based pre-carbonized solid biofuel properties,” *Mechanical Engineering Journal*, vol.6, Issue 6, pp. 1-8, October 2019.

ภาคผนวก

TNI

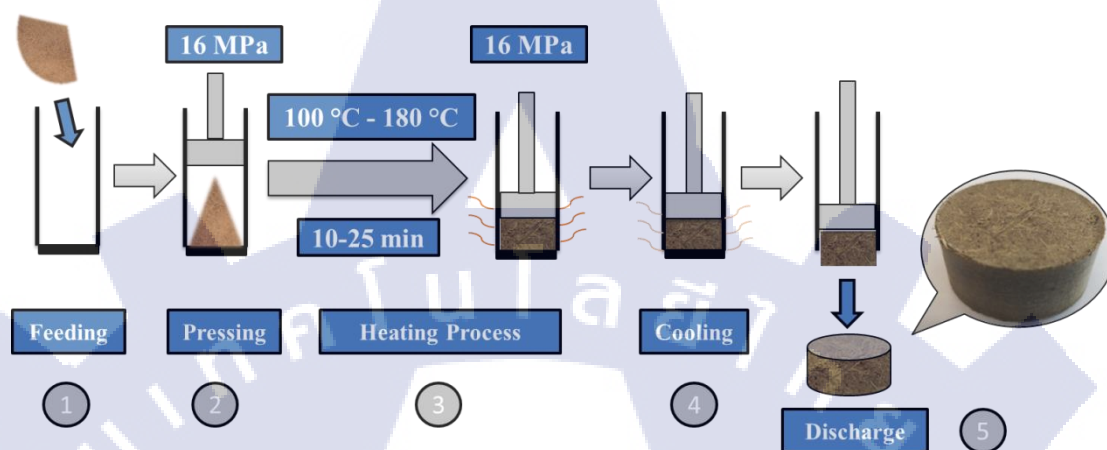
ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพด้วยเครื่องมือชนิดแนวตั้ง

TNI

ขั้นตอนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพด้วยเครื่องมือชนิดแนวตั้ง

การขึ้นรูปถ่านชีวภาพโดยใช้เครื่องมือชนิดแนวตั้งประกอบไปด้วยกระบวนการดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปถ่านชีวภาพโดยเครื่องมือชนิดแนวตั้ง

ขั้นตอนการเตรียมการขึ้นรูป

1. ทำการตรวจสอบระบบไฮดรอลิกและระบบทำความร้อนก่อนทำการอัด
2. ทำการตรวจสอบเครื่องวัดน้ำหนักสำหรับวัดตัวขึ้นงานเมื่ออัดเสร็จ
3. ติดตั้งกระบอกลอดและใส่ฐานทองเหลืองลงไปในกระบอกลอด
4. ตรวจวัดค่าความชื้นของวัสดุที่จะนำมาอัด
5. ตั้งค่าอุณหภูมิการผลิตที่เครื่องทำความร้อน

ขั้นตอนการขึ้นรูป

1. นำวัสดุที่ต้องการอัดใส่เข้าสู่กระบอกลอด
2. นำชิ้นทองเหลืองสำหรับอัดเข้าสู่ตำแหน่งพร้อมเปิดเครื่องอัดไฮดรอลิก
3. นำเครื่องทำความร้อนเข้าประจำตำแหน่งกระบอกลอด
4. เมื่อครบเวลาเงื่อนไขการขึ้นรูปนำเครื่องทำความร้อนออกจากกระบอกลอดและรอให้อุณหภูมิกระบอกลอดลดลงใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง
5. นำถ่านชีวภาพออกจากกระบอกลอด

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลดิบ

TNI

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบของชิ้นงาน

ตัวอย่างที่	เงื่อนไขการขึ้นรูป		ความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าการต้านทานแรงกด สูงสุด(MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)			
1	100	10	1.153	106.1	4,226
2	100	10	1.159	96.58	4,222
3	100	15	1.205	93.93	4,211
4	100	15	1.217	102.95	4,235
5	100	20	1.193	81.93	4,198
6	100	20	1.223	89.93	4,183
7	100	25	1.221	87.83	4,220
8	100	25	1.214	90.04	4,214
9	120	10	1.224	108.60	4,246
10	120	10	1.199	101.73	4,236
11	120	15	1.297	110.43	4,214
12	120	15	1.299	118.13	4,254
13	120	20	1.227	98.48	4,220
14	120	20	1.194	110.93	4,200
15	120	25	1.222	103.30	4,252
16	120	25	1.263	111.03	4,244
17	140	10	1.272	121.60	4,277
18	140	10	1.275	127.05	4,290
19	140	15	1.290	87.10	4,223
20	140	15	1.289	105.95	4,204
21	140	20	1.283	116.77	4,266
22	140	20	1.273	111.53	4,253
23	140	25	1.353	145.83	4,305
24	140	25	1.346	131.47	4,296

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบของชิ้นงาน(ต่อ)

ตัวอย่างที่	เงื่อนไขการขึ้นรูป		ความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าการต้านทานแรงกด สูงสุด(MPa)	ค่าความร้อน (kcal/kg)
	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)			
25	160	10	1.285	110.28	4,271
26	160	10	1.304	109.03	4,275
27	160	15	1.294	133.26	4,290
28	160	15	1.327	112.74	4,272
29	160	20	1.290	113.20	4,276
30	160	20	1.297	107.60	4,280
31	160	25	1.354	112.69	4,315
32	160	25	1.373	127.05	4,331
33	180	10	1.280	105.09	4,267
34	180	10	1.261	140.09	4,288
35	180	15	1.257	77.46	4,269
36	180	15	1.230	75.35	4,250
37	180	20	1.280	104.61	4,306
38	180	20	1.291	107.84	4,294
39	180	25	-	-	-
40	180	25	-	-	-

ประวัติย่อผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล

นายณัชร สุขครัน

วัน-เดือน-ปีเกิด

29 พฤศจิกายน พ.ศ.2536

ที่อยู่ปัจจุบัน

57/43 หมู่บ้านเสนานิเวศน์ ถนนเสนิคม 1 ซอย 118
แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว 10230

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2563

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (อยู่ระหว่างการอนุมัติจบ)

พ.ศ. 2555

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมยานยนต์
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประวัติการฝึกงาน และทำงาน

พ.ศ. 2562 - ปัจจุบัน

ผู้ช่วยนักวิจัยประจำห้องปฏิบัติการ

Advanced Material Technology

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2561

นักศึกษาฝึกงาน

บริษัท ชิกม่า แอนด์ ฮาร์ท จำกัด