



ค่าใช้จ่ายในการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทอรีไฟร์อัดแท่ง

โดย

นายไพศาล คำสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ค่าใช้จ่ายในการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทอรีไฟร์อัดแท่ง

โดย

นายไพศาล คำสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PRODUCTION COST AND PHYSICAL PROPERTIES OF TORREFIED PELLET

By

Mr. Paisan Comsawang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Engineering Program in Energy Engineering

Department of

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2014

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ ค่าใช้จ่ายในการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทอรีไฟร์อัดแท่ง ” เสนอโดย นายไพศาล คำสว่าง เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐ รัชยะพงษ์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุระ ตันดี)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์)
...../...../.....

55406207: สาขาวิศวกรรมพลังงาน

คำสำคัญ: ทอรีแฟคชัน / ชีวมวล / ค่าความร้อน / ค่าความหนาแน่นบักก์ / ค่าความหนาทาน / ทอรีไฟร์-อัดแท่ง / อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ / การขึ้นรูปอัดแท่ง

ไพศาล คำสว่าง: ค่าใช้จ่ายในการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทอรีไฟร์อัดแท่ง อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์. 140 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษา กระบวนการผลิตเชื้อเพลิง คุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล และการใช้พลังงานของกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลที่นำมาศึกษา ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม สำหรับเงื่อนไขของอุณหภูมิ เวลา และ ขนาดอนุภาคของกระบวนการการผลิตของทั้ง 2 กระบวนการ จะดำเนินการศึกษาที่เงื่อนไขของอุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลาทอรีแฟคชัน 60 นาที และขนาดอนุภาคชีวมวล 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร สำหรับกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง ชีวมวลจะถูกทอรีไฟร์ในเตาปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่ง (Fixed bed) และถูกนำมาขึ้นรูปอัดแท่งด้วยเครื่องขึ้นรูปชนิดไดน์แบบหมุน (Rotary flat die) สำหรับกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลจะถูกนำมาขึ้นรูปอัดแท่งก่อนที่จะนำมาทอรีไฟร์ จากการศึกษา พบว่า กรณีทอรีไฟร์-อัดแท่ง ไม่สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ที่เงื่อนไขต่างๆ ในขณะที่กรณีอัดแท่ง-ทอรีไฟร์สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ที่เงื่อนไขต่างๆ โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตกรณีอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันสูงขึ้น ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 280 องศาเซลเซียส กรณีของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม มีค่าใช้จ่ายสูงสุดคือ 1.49, 1.58, 3.59, 2.43 และ 2.33 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส กรณีของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดคือ 1.19, 1.39, 2.90, 1.31 และ 1.86 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับคุณสมบัติเชื้อเพลิงของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ พบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่นบักก์และค่าความหนาทานลดลง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

55406207: MAJOR: ENERGY ENGINEERING

KEY WORD: TORREFACTION / BIOMASS / HEATING VALUE / BULK DENSITY / DURABILITY / PELLETIZATION OF TORREFIED BIOMASS / TORREFACTION OF BIOMASS PELLET/ PELLETING

PAISAN COMSAWANG: PRODUCTION COST AND FUEL PROPERTIES OF TORREFIED PELLET. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NITIPONG SOPONPONGPIPAT, Ph.D. 140 pp.

Both processes of torrefied pellet production including pelletization of torrefied biomass and torrefaction of biomass pellet of cassava rhizome, rice straw, sugar cane leaves, corncob and oil palm leaf were investigated to quantify mass yield, energy consumption and pellet properties; heating value, bulk density and durability. The torrefaction temperatures of 230, 250 and 280 °C, residence time of 60 min and particles size of 2, 5 and 9 mm were conducted. For pelletization of torrefied biomass, biomass was torrefied using fixed bed reactor. Later it was pelletized by rotary flat die. For torrefaction of biomass pellet, biomass was pelletized before carried out into torrefaction process. The results showed that pelletization of torrefied biomass could not be carried out in various conditions while the torrefied of biomass pellet could be produced under the conditions listed above. The production cost of torrefied of biomass pellet increased when the torrefaction temperature increased. The torrefaction temperature at 280°C showed the highest production cost of cassava rhizome, rice straw, sugar cane leaves, corncob and oil palm leaf of 1.49, 1.58, 3.59, 2.43, and 2.33 baht/kg, respectively. The torrefaction temperature at 230°C showed the lowest production cost of cassava rhizome, rice straw, sugar cane leaves, corncob and oil palm leaf of 1.19, 1.39, 2.90, 1.31, and 1.86 baht/kg, respectively. For the fuel properties of torrefaction of biomass pellet, it can be concluded that an increasing of torrefied temperature results in an increasing of higher heating value and energy density. In contrast, an increasing of torrefied temperature results in a decreasing of bulk density and durability.

Department of Mechanical Engineering
Student's signature.....

Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2014

Thesis Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความดูแลเอาใจใส่ และได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาหลายๆท่าน คือ ผศ.ดร. นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ ผศ.ดร. ธีระศักดิ์ หุดากร อาจารย์ ดร. ณัฐ ธิษะพงษ์ อาจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธาราวดี และอาจารย์ ดร. วีระนุช อินทะกันท์ ที่ช่วยในการให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ และติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. สุระ ตันดี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรสุพรรณบุรี ซึ่งเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญ ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัย ตรวจสอบความถูกต้องของภาษาในการจัดพิมพ์เล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณสำนักงานและแผนพัฒนาพลังงานในการสนับสนุนเงินทุนวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือและกำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้วิจัยไม่อาจกล่าวนามได้หมด ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ในโอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
ขั้นตอนของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย.....	4
ความจำกัดของการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
ชีวมวล.....	6
องค์ประกอบทั่วไปของชีวมวล.....	6
การศึกษาสมบัติแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน.....	7
การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล.....	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
วัตถุดิบและเครื่องมือสำหรับงานวิจัย.....	18
สถานที่ทำการวิจัย.....	21
ระยะเวลาการวิจัย.....	21
งบประมาณการวิจัย.....	21
การวางแผนการทดลอง.....	21
ขั้นตอนการขึ้นรูปอัดเม็ดชีวมวลทอรีแฟคชัน.....	25
ขั้นตอนการทดสอบสมบัติ ผลได้ชีวมวล พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง และ	

ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งซีเมนต์มวลทอรีแฟคชั่นทั้งกระบวนการ.....	26
4 ผลและอภิปรายผล.....	32
5 สรุปผลการทดลอง.....	74
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก. ตารางคุณสมบัติและพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้ง กระบวนการ.....	83
ภาคผนวก ข. ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิต ทอรีไฟร์เพลสด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	99
ภาคผนวก ค. กราฟคุณสมบัติ พลังงาน และค่าใช้จ่ายของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรี ไฟร์.....	123
ภาคผนวก ง. กราฟพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิตของกระบวนการอัดแท่ง- ทอรีไฟร์.....	134
ประวัติผู้วิจัย.....	140

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าใช้จ่ายการผลิตการขึ้นรูปอัดแท่งซีเมนต์.....	13
3.1	ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย.....	21

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แนวโน้มความต้องการพลังงานในอนาคต.....	1
2.1 เครื่องอะไดอะแบติก บอมบ์คาลอริมิเตอร์.....	8
2.2 เครื่องทดสอบค่าความหนาแน่นบัคก์.....	10
2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของความไม่ชอบน้ำของชีวมวลทอรีไฟร์แห้งตะเกียบ และชีวมวลดิบ.....	10
2.4 เครื่องวัดความทนทาน.....	11
2.5 ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการทอรีแฟคชัน.....	14
2.6 กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ.....	15
2.7 แสดงกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลและกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ทอรีแฟคชัน.....	16
3.1 เครื่องสับหยาบ.....	19
3.2 เครื่องสับละเอียด.....	19
3.3 เตาปฏิกรณ์ทอรีแฟคชัน.....	20
3.4 เครื่องอัดขึ้นรูปแท่งขนาดเล็กชนิดไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die)	20
3.5 แผนการทดลองกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์	23
3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของ บอมบ์คาลอริมิเตอร์.....	27
3.7 เครื่องวัดความทนทาน.....	30
3.8 เครื่องกิโวลต์ดัมมิเตอร์.....	30
4.1 แผนภูมิการขึ้นรูปแท่งได้ของเหง้ามัน.....	33
4.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ด้วยกระบวนการ อัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	34
4.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากฟางข้าว ด้วยกระบวนการ อัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	35
4.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากใบยอดอ้อย ด้วยกระบวนการ อัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	36
4.5 แผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากซังข้าวโพด ด้วยกระบวนการ	

	อัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	37
4.6	แผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากทางปาล์ม ด้วยกระบวนการ อัดแท่ง – ทอรีไฟร์.....	38
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าความร้อน ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร.....	40
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าความทนทาน ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม.....	42
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีไฟร์กับค่าความหนาแน่นบักก์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพดและทางปาล์ม.....	44
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความร้อนของทอรีไฟร์เพลเลตจาก เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	45
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความทนทาน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม.....	47
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความหนาแน่นบักก์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม.....	48
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับผลได้ของชีวมวลของ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร.....	50
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับผลได้ของชีวมวล ของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	52
4.15	รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับ ค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร.....	53
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันกับ ค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์.....	55

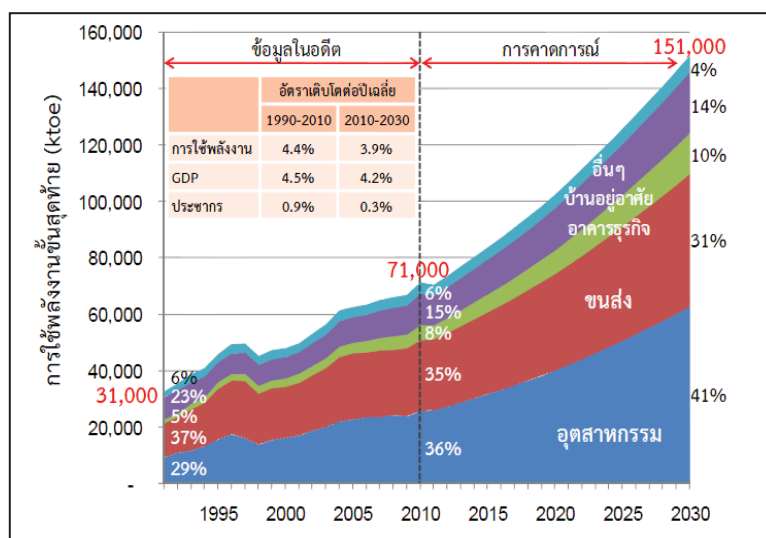
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร.....	57
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	59
4.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร.....	61
4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส.....	63
4.21	การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ของชีวมวลขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร.....	65
4.22	การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นบักก์ของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ของชีวมวลขนาด 9 มิลลิเมตร.....	66
4.23	การเปรียบเทียบค่าความทนทานของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ของชีวมวลขนาด 9 มิลลิเมตร.....	68
4.24	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับค่าความหนาแน่นพลังงานของเห้งมันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง.....	69
4.25	การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ของชีวมวลขนาด 9 มิลลิเมตร.....	71
4.26	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับค่าใช้จ่ายของเห้งมันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 1 โดยในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ถึง 2553 การใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 4.4 ต่อปี การเติบโตดังกล่าวเกิดขึ้นควบคู่กับอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 4.5 ต่อปี โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ในภาคการขนส่งและภาคอุตสาหกรรม และแนวโน้มความต้องการพลังงานในอนาคตในระยะเวลา 20 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้พลังงานจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องที่อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปี



รูปที่ 1.1 แนวโน้มความต้องการพลังงานในอนาคต ที่มา:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ๒๕๕๓ <http://www.dede.go.th/dede/index>.

จากสถานการณ์การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลต่อความต้องการพลังงานในอนาคต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการหาพลังงานทดแทนเพื่อรองรับความต้องการพลังงานในอนาคต ซึ่งพลังงานทดแทนมีหลายด้าน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำ พลังงานจากลม พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ และพลังงานจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น แต่สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงทำให้มีปริมาณชีวมวลที่เหลือใช้เป็นจำนวนมากที่ยังไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ เหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม เป็นต้น ดังนั้นการนำพลังงานจากชีวมวลมาใช้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำชีว

มวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมและปรากฏการณ์เรือนกระจก เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำเข้าสู่วัฏจักรคาร์บอน ทำให้ไม่ปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ แต่อย่างไรก็ตามการนำพลังงานจากชีวมวลมาใช้ประโยชน์ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ปริมาณความชื้นสูง ค่าความร้อนและความหนาแน่นของพลังงานต่ำ แต่สามารถปรับปรุงข้อด้อยนี้ได้ด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการคาร์บอนไนเซชันหรือ เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ การทำถ่าน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิและพลังงานสูง แต่ยังมีอีกกระบวนการหนึ่งที่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการทำถ่าน แต่สามารถปรับปรุงค่าความร้อนได้เช่นกัน ซึ่งเรียกว่า กระบวนการทอรีแฟคชัน (Torrefaction) เป็นกระบวนการปรับปรุงทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส ทำให้ชีวมวลมีปริมาณความชื้นต่ำ และค่าความร้อนสูงขึ้น แต่ในกรณีที่ชีวมวลที่มีความหนาแน่นพลังงานต่ำ สามารถปรับปรุงได้โดยกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง ทำให้ชีวมวลมีความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงข้างต้นจะทำให้ชีวมวลมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่ดีขึ้น และสะดวกต่อการใช้งาน การจัดเก็บ และการขนส่ง ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในบางกระบวนการเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงทางความร้อน ดังนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนและการดำเนินการของขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

จากการศึกษาจากรายงานงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่า การขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันยังไม่มีการศึกษาที่แพร่หลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน โดยกระบวนการในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ พร้อมศึกษาคุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล และวิเคราะห์การใช้พลังงาน กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันทั้งกระบวนการ โดยชีวมวลที่ใช้ได้แก่ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันทั้งสองแบบ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่นบดอัด และค่าความทนทาน

1.2.3 ศึกษาผลได้ของชีวมวลในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง

1.2.4 ศึกษาค่าความหนาแน่นของพลังงาน

1.2.5 ศึกษาพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่ง

1.2.6 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการทอรีแฟคชันสูงขึ้น ทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น แต่ค่าความหนาแน่นบักก์ ความทนทาน และผลได้ชีวมวลน้อยลง

1.3.2 เมื่อขนาดของอนุภาคของชีวมวลใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นบักก์ ค่าความทนทาน ผลได้ของชีวมวลในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง และพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่งเพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน ทั้งสองแบบ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ โดยใช้เครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชนิด ไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die)

1.4.2 ขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลาทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง

1.4.3 ใช้ตะแกรงสำหรับคัดแยกขนาดในการขึ้นรูปอัดแท่ง 3 ขนาด ได้แก่ 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

1.4.4 ชีวมวลที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว

1.4.5 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการลดขนาด กระบวนการทอรีแฟคชัน และการขึ้นรูปอัดแท่ง

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อหาเงื่อนไขและวิธีการที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

1.5.2 ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชัน และขนาดชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติชีวมวล ผลได้ของชีวมวล และพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่งของชีวมวล 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน(พันธุ์ *M. esculenta*) ทางปาล์ม(พันธุ์ *Elaeis quineensis*) ใบและยอดอ้อย(พันธุ์ *Saccharum spontaneum* L.) ชังข้าวโพด(พันธุ์ *Z.mays*) และฟางข้าว(พันธุ์ *Oryza sativa* L.)

1.5.3 ทำการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันทั้งสองแบบ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ที่ขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร และอุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลาในการทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง

1.5.4 ทำการศึกษาคุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล และพลังงานในการการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ที่ขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร และอุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลาในการทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง

1.5.5 ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ ได้แก่ ค่าใช้จ่าย การลดขนาด กระบวนการทอรีแฟคชัน และการขึ้นรูปอัดแท่ง

1.5.6 สรุปผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน พร้อมเขียนรายงานสรุปการวิจัย

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1.6.1 แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน 5 ชนิด ได้แก่ เหน้้ำมัน ทาง ปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว จะได้จากการผลิตของห้องปฏิบัติการวิจัยของ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

1.6.2 วิเคราะห์คุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล และพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ทอรีแฟคชัน

1.6.3 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ ของกระบวนการ ทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

1.7 ความจำกัดของการวิจัย

ทำการศึกษาคูณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่ง และค่า ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ ของชีวมวล 5 ชนิด ได้แก่ เหน้้ำมัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ (Pellet) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตร หรือ วัสดุธรรมชาติอื่น ๆ มาย่อยละเอียด แล้วนำมาขึ้นรูปอัดแท่งด้วยความร้อนกับหัวอัด ที่มีลักษณะเป็นรูเล็ก ๆ โดยที่ความขนาดของรูเท่ากับขนาดของแท่งตะเกียบ

1.8.2 การขึ้นรูปอัดแท่ง (Pelletization) คือ การขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลให้เป็นแท่ง

1.8.3 เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ วัสดุชีวมวลที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทางการเกษตร ได้แก่ เหน้้ำมัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว เป็นต้น

1.8.4 ขนาดอนุภาค (Particle size) คือ ขนาดของวัสดุที่เล็กมาก ซึ่งได้มาจากการ ลดทอนขนาดของวัสดุ

1.8.5 ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในไม้และวัชพืช มีความสัมพันธ์ต่อ คุณสมบัติของไม้และวัชพืชในด้านต่าง ๆ

1.8.6 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (Bulk density) คือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร จะขึ้นกับขนาดของอนุภาค โดยสัมพันธ์กับปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค

1.8.7 ค่าความร้อน (Heating value) คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงหนัก 1 กรัม มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม หรือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม

1.8.8 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแท่งเชื้อเพลิง (Diameter) คือ ขนาดความโตของหน้าตัดแท่งเชื้อเพลิงตามแนวขวาง

1.8.9 ปริมาณเถ้า (Ash content) คือ ร้อยละของปริมาณสารที่เหลือจากการเผาเชื้อเพลิง

1.8.10 สิ่งปน (Fine) คือ ร้อยละของเศษวัสดุที่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษไม้ มูลสัตว์ และกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร [2] ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้เป็นแป้งและน้ำตาล กักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราจะได้พลังงานออกมา เมื่อนำชีวมวลมาเผาไหม้ เกิดพลังงานความร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

2.2 องค์ประกอบทั่วไปของชีวมวล

องค์ประกอบทั่วไปของชีวมวล [3] ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แป้ง โปรตีน และสารอื่นๆ (อินทรีย์และอนินทรีย์) ดังแสดงต่อไปนี้

2.2.1 เซลลูโลส

โพลีแซคคาไรด์ที่ดึกดูโคสถูกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้ากลูโคซิดิกซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{12}O_6)_n$ คือดึกกรีของโพลิเมอร์ไรเซชันซึ่งมีความกว้างตั้งแต่หลายพันจนถึงหลายหมื่น จำนวนผลลัพธ์ของการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสคือ ดึกดูโคส(โมโนแซคคาไรด์) แต่บางส่วนให้ผลลัพธ์เป็นไดแซคคาไรด์ (เซลลูโบโอส) และโพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีลำดับ $n = 3$ ถึง 10 เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นผลึกและต้านทานต่อการกรดและด่าง

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

โพลีแซคคาไรด์ซึ่งมีจำนวนยูนิตคาร์บอนเท่ากับ 5 โมโนแซคคาไรด์รวมถึง ดีไฮโดรและดีอะราโบโนส และคาร์บอนเท่ากับ 6 โมโนแซคคาไรด์รวมถึง ดีแมนโนส ดีกาแลคโตส และดึกดูโคส โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 5 มีจำนวนมากกว่า โมโนแซคคาไรด์ที่มีคาร์บอนเท่ากับ 6 สูตรโมเลกุลโดยเฉลี่ยคือ $(C_5H_8O_4)_n$ เนื่องจากดึกกรีโพลิเมอร์ไรเซชันของเฮมิเซลลูโลสเท่ากับ 50-200 โดยมีขนาดเล็กกว่าเซลลูโลส จึงสามารถสลายพันธะได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลสเป็นจำนวนมากสามารถละลายได้ในสารละลายเบส เฮมิเซลลูโลสทั่วไปคือไซแลน ซึ่งประกอบด้วยไซโลสด้วยพันธะ 1,4

2.2.3 ลิกนิน

สารประกอบที่ประกอบด้วย ยูนิตฟีนิลโพรเพนและอนุพันธ์ ซึ่งเชื่อมกันเป็นสามมิติ โครงสร้างนั้นซับซ้อนและยังไม่มี การเข้าใจอย่างแท้จริง โครงสร้างสามมิตินั้นยากที่จะสลายโดยจุลทรีย์และสารเคมี นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงทางกลและการป้องกันร่วมด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินถูกพบอย่างสา กลในสารชีวมวลชนิดต่างๆ และแหล่งคาร์บอนธรรมชาติจำนวนมากมายบนโลก

2.2.4 แป้ง

โพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยยูนิตของดีกลูโคส แต่ถูกเชื่อมกันโดยพันธะแอลฟาไกลูโคไซด์ิก เนื่องจากความต่างของโครงสร้างพันธะ เซลลูโลสละลายน้ำ แต่บางส่วนของแป้งจะละลายในน้ำร้อน (อะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 จนถึง 50,000 ประมาณ 10%-20% ของแป้ง) และบางส่วนของแป้งไม่ละลาย แป้งถูกพบในเมล็ด ราก และลำต้น ซึ่งถือเป็นอาหาร

2.2.5 โปรตีน

เป็นสารประกอบโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งกรดอะมิโนหลายตัวถูกโพลิเมอร์ไรซ์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติต่างกันขึ้นกับชนิดของกรดอะมิโนและอัตราส่วนขององค์ประกอบของกรดอะมิโนและลำดับของโพลิเมอร์ไรเซชัน โปรตีนไม่ใช่สารประกอบพื้นฐานของสารชีวมวลและมีสัดส่วนน้อยกว่าสามสารข้างต้นที่กล่าวมา

2.2.6 สารอื่นๆ (อินทรีย์และอนินทรีย์)

ปริมาณของสารประกอบอินทรีย์อื่นๆมีได้หลากหลายขึ้นกับชนิดสารอินทรีย์ที่มีจำนวนมากได้แก่ กลีเซอรอล(ตัวอย่าง เช่น น้ำมันผักกาดก้านขาว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ) และซูโครสในอ้อย

2.3 การศึกษาคุณสมบัติทางชีวมวลทอรีแฟคชัน

การศึกษาคุณสมบัติทางชีวมวลทอรีแฟคชัน เป็นการรวมกันระหว่างกระบวนการทอรีแฟคชัน และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง ดังนั้นคุณสมบัติที่ถูกปรับปรุงได้แก่ ค่าความร้อน ความหนาแน่นบัก ความไม่ชอบน้ำ และความทนทาน จะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ค่าความร้อน

ค่าความร้อนเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากเมื่อนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรงและการเผาไหม้ร่วม ซึ่งค่าความร้อนจะแบ่งการรายงานออกเป็นสองแบบคือ HHV และ LHV วิธีการหาค่าความร้อนด้วยการเผาไหม้โดยตรงสามารถทำได้ด้วยการใช้ อะโดอะแบติก บอมบ์คาลอริมิเตอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีระหว่างสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ [4] ด้วยมาตรฐาน ASTM –E 711 [5], NBR 8633/84 standard [6]



รูปที่ 2.1 เครื่องอะไดอะแบติก บอมป์คาลอริมิเตอร์

2.3.1.1 การคำนวณค่าความร้อน

การคำนวณอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่แท้จริง ได้ดังสมการ

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad (1)$$

- เมื่อ
- a คือ เวลาของการจุดระเบิด
 - b คือ เวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 60% ของที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด
 - c คือ เวลาที่เริ่มต้นของคาบ (หลังจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น) ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลายเป็นคงที่
 - t คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ถูกต้อง (องศาเซลเซียส)
 - t_c คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่อ่านที่เวลาจุดระเบิด
 - t_a คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่อ่านได้
 - r_1 คือ อัตรา (องศาเซลเซียสต่อนาที) ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีก่อนจุดระเบิด
 - r_2 คือ อัตรา (องศาเซลเซียสต่อนาที) ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีหลังจากเวลาที่เริ่มต้นของคาบ c

ค่าความร้อนgrossของการเผาไหม้

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (2)$$

เมื่อ	H_g	คือ ค่าความร้อนรวมจากการเผาไหม้ (จุลต่อกรัม)
	W	คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอรีมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
	m	คือ มวลของตัวอย่างเป็น (กรัม)
	e_1	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO_3) 23.9 แคลอรี
	e_2	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (H_2SO_4) 13.7 แคลอรี
	e_3	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลวด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร เมื่อใช้ Parr 45C10 สายฟิวนิคเกิลโครม)

ค่ามาตรฐานคาลอรีมิเตอร์

$$W = \frac{H_m + e_1 + e_3}{t} \quad (3)$$

เมื่อ	W	คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอรีมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
	H	คือ Heat of combustion of Standard benzoic acid (ให้พลังงาน 6318 แคลอรีต่อกรัม)
	m	คือ มวลของตัวอย่างเป็นกรัม
	t	คือ ผลรวมของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)
	e_1	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO_3) 23.9 แคลอรี
	e_3	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลวด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร เมื่อใช้ Parr 45C10 สายฟิวนิคเกิลโครม)

2.3.2 ความหนาแน่นบัคค์

ค่าความหนาแน่นบัคค์ คือน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ ASTM E-873 [7, 8] ด้วยการบรรจุลงในกล่องกว้าง 305 mm ยาว 305 mm สูง 305 mm โดยปล่อยเชื้อเพลิงด้วยความสูงจากปากของกล่อง 610 mm จากนั้นเอากล่องกระแทกพื้นจากความสูง 150 mm จำนวน 5 ครั้งพร้อมกับเติมเชื้อเพลิงจนกว่าจะเต็ม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและคำนวณค่า ความหนาแน่นบัคค์

$$\rho_{bulk} = \frac{(m_f - m_b)}{V_b} \quad (4)$$

เมื่อ	ρ_{bulk}	คือ ความหนาแน่นบัคค์ (กรัมต่อลิตร)
	m_f	คือ มวลของวัตถุที่ต้องการวัด (กรัม)

m_b คือ มวลของกล่อง (กรัม)

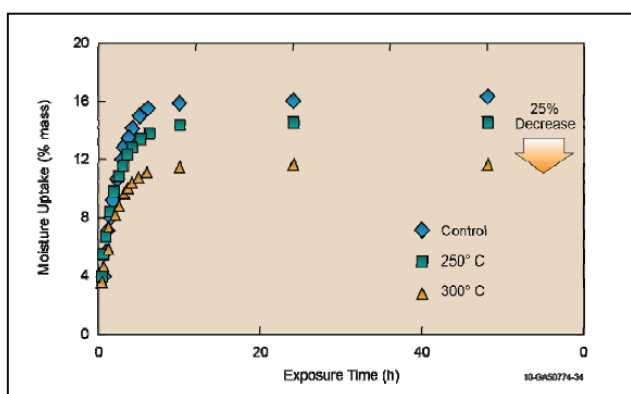
v_b คือ ปริมาตรของกล่อง (ลิตร)



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบค่าความหนาแน่นบัคค์

2.3.3 ความไม่ชอบน้ำ

เป็นการศึกษาปริมาณความชื้นที่ชีวมวลดูดเข้าไป ซึ่งจะทำให้ชีวมวลเน่าสลายและผุพังได้ง่าย เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน ๆ เมื่อนำชีวมวลมาผ่านการทอริไฟล์จะทำให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ความร้อนจะทำลาย OH-groups ที่อยู่ในชีวมวล ทำให้มีโครงสร้างที่ไม่อึดตัว ไม่มีขี้ [9] และ lignin กลายเป็นสารพลาสติกธรรมชาติที่เคลือบอยู่ในชีวมวล ทำให้ ชีวมวลทอริไฟล์ มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้ระยะเวลาการจัดเก็บเพื่อใช้งานนานขึ้น และทนทานต่อการสลายตัวต่อสภาพแวดล้อม วิธีการทดสอบคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของชีวมวลทอริไฟล์แห่งตะเกียบ โดยการจุ่มน้ำ 15 ชั่วโมงและทำการวัดค่าความชื้นด้วยการชั่งน้ำหนัก ซึ่ง Sokhansanj et al.[10] ได้ทำการเปรียบเทียบความชื้นที่ดูดเข้าไปใน เชื้อเพลิงทอริไฟล์แห่งตะเกียบ กับชีวมวลดิบพบว่า มีการดูดความชื้นลดลง 25% ในการดูดน้ำกลับเมื่อเทียบกับตัวที่ควบคุม สามารถแสดงได้รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของความไม่ชอบน้ำของชีวมวลทอริไฟล์แห่งตะเกียบและชีวมวลดิบ ที่มา: Tumuluru J.S., and others “Review on Biomass Torrefaction Process and Product Properties”. S-1041 Symposium on Thermochemical Conversion, Oklahoma State University, Stillwater, (August 2nd 2011).

2.3.4 ความทนทาน

การวัดค่าความทนทาน (Durability) โดยนำตัวอย่างจำนวน 0.5 กิโลกรัมใส่ในเครื่องวัดความทนทานดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากนั้นเดินเครื่องให้หมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 1/8 นิ้ว เศษผงและส่วนที่แตกออกจะร่วงผ่านตะแกรง ในขณะที่เพลเลตที่สมบูรณ์จะอยู่บนตะแกรง นำเพลเลตที่อยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความทนทานจากสมการ [12]

$$PDI = 100 \times \frac{WPW}{IW} \quad (5)$$

เมื่อ PDI คือ ค่าความทนทานแบ่งเชื้อเพลิง
 WPW คือ น้ำหนักแห้งชีวมวลที่สมบูรณ์ไม่แตกหัก
 IW คือ น้ำหนักแห้งชีวมวลเริ่มต้น



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดความทนทาน

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายต้นทุน และค่าใช้จ่ายการดำเนินการ โดยค่าใช้จ่ายต้นทุน ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่ดิน, อาคาร, อุปกรณ์, การติดตั้ง และการซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายการดำเนินการ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายพลังงานความร้อน ค่าใช้จ่ายไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายบุคลากร [13] การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตทั้งกระบวนการจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ Mani et al. (2006) [14] ได้แสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดของกระบวนการขึ้นรูป ดังสมการที่ 6

$$C_T = C_c + C_{op} \quad (6)$$

เมื่อ	C_T	คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (\$/y)
	C_c	คือ ค่าใช้จ่ายต้นทุนทั้งหมด (\$/y)
	C_{op}	คือ ค่าใช้จ่ายการดำเนินการ (\$/y)

ค่าใช้จ่ายต้นทุนทั้งหมด (C_c) สามารถหาได้จากสมการที่ 7

$$C_c = eC_{cq} \quad (7)$$

เมื่อ	e	คือ ปัจจัยกู้คืนต้นทุน
	C_{cq}	คือ ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ (\$)

ปัจจัยกู้คืนต้นทุน (e) หาได้จากสมการที่ 8

$$e = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (8)$$

เมื่อ	i	คือ อัตราดอกเบี้ย (ทศนิยม)
	N	คือ อายุการใช้งานของอุปกรณ์ (ปี)

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ (C_{eq}) หาได้จากสมการที่ 9

$$C_{eq} = \alpha_{eq} P^{n_{eq}} \quad (9)$$

เมื่อ	α_{eq}	คือ หน่วยค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ (\$)
	n_{eq}	คือ Factor มาตรฐานของอุปกรณ์
	P	คือ ลักษณะตัวแปรของอุปกรณ์

ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สำหรับความสามารถในการผลิตเฉพาะไม่สามารถหาได้ สมการที่ 10 ได้มาจากความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายกับ ความสามารถในการผลิตที่ใช้ เพื่อหาค่าใช้จ่าย อุปกรณ์

$$C_{eq_1} = C_{eq_2} \left(\frac{C_1}{C_2} \right)^g \quad (10)$$

เมื่อ C_1, C_2 คือ ความสามารถในการผลิตของอุปกรณ์
 g คือ เลขชี้กำลังช่วง 0.4-0.8

สุดท้ายจะได้ค่าใช้จ่ายการผลิตการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล C_p (\$/kg) ดังสมการที่

11

$$C_p = \frac{C_T}{t_{op} G_p} \quad (11)$$

เมื่อ C_T คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(\$/y)
 t_{op} คือ ชั่วโมงการดำเนินการทั้งหมดของโรงงานต่อปี (h/y)
 G_p คือ อัตราการผลิต (kg/h)

ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของค่าใช้จ่ายการผลิตการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งหมด สามารถสรุปค่าใช้จ่ายต่างๆ ในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 แสดงค่าใช้จ่ายการผลิตการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล

ค่าใช้จ่ายการผลิตการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล	ค่าใช้จ่ายต้นทุน (\$/t)	ค่าใช้จ่ายการดำเนินการ (\$/t)	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (\$/t)	สัดส่วนค่าใช้จ่ายทั้งหมด (%)
Raw material	0.34	19.39	19.73	39.02
Drying operation	2.46	7.84	10.3	20.37
Hammer mill	0.25	0.7	0.95	1.88
Pellet mill	1.43	1.88	3.31	6.55
Pellet cooler	0.13	0.21	0.34	0.67
Screening	0.11	0.05	0.16	0.32
Packing	0.56	1.37	1.93	3.82
Pellet Storage	0.07	0.01	0.08	0.16
Miscellaneous equipment	0.43	0.33	0.76	1.5
Personnel cost	0	12.74	12.74	25.19
Land use and building	0.21	0.05	0.26	0.51
Total cost	5.99	44.58	50.57	100

ที่มา: Sylvia H. and others, “Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce”. Applied Energy 103, (February 2013):827-832.

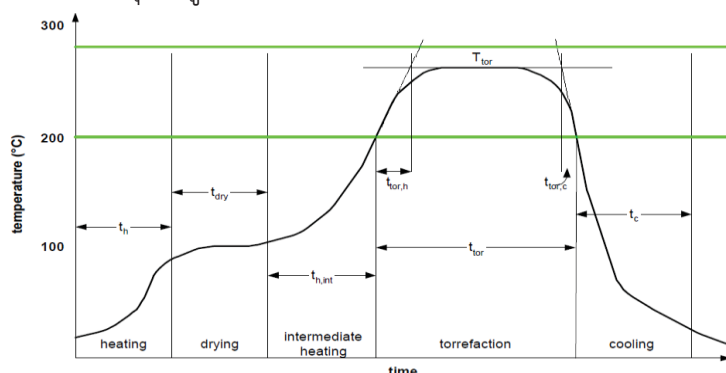
จากตารางที่ 2.1 ค่าใช้จ่ายที่มากที่สุด คือค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ รองลงมา คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับบุคลากร การอบแห้ง การอัดแท่ง และการเก็บบรรจุ แต่อย่างไรก็ตามชีวมวลที่ผ่านการทอรีแฟคชันเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์การขึ้นรูปอัดแท่งของชีวมวลที่ผ่านการทอรีแฟคชันยังไม่แพร่หลาย แต่ชีวมวลที่ผ่านการขึ้นรูปอัดแท่งมีการใช้มานานแล้ว ดังแสดงในสมการที่ 5-10 ซึ่งเป็นการหาค่าใช้จ่ายการผลิตของทั้งกระบวนการ แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการทอรีแฟคชันเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถนำมาพิจารณาในค่าใช้จ่ายการผลิตทั้งหมดได้

2.5 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 กระบวนการทอรีแฟคชัน

กระบวนการทอรีแฟคชัน คือ กระบวนการปรับปรุงชีวมวลด้วยความร้อนทางเคมี ซึ่งเป็นกระบวนการไพโรไลซิสอ่อน ช่วงอุณหภูมิการดำเนินการอยู่ในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนต่ำภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย โดยกระบวนการปรับปรุงชีวมวลด้วยความร้อนทางเคมี ทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบในชีวมวลที่ประกอบไปด้วย เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและ ลิกนิน ซึ่งเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่มีความว่องไวในการสลายตัวมากที่สุดช่วงอุณหภูมิ 225-235 องศาเซลเซียส, เซลลูโลส ที่ช่วงอุณหภูมิ 305-375 องศาเซลเซียส และ ลิกนินค่อยๆ สลายตัวในช่วงอุณหภูมิ 250-500 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความหนาแน่นของพลังงานสูง ความชื้นต่ำ ความสามารถในการบดดีขึ้น และมีความไม่ชอบน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ ชีวมวลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติ [16-18]

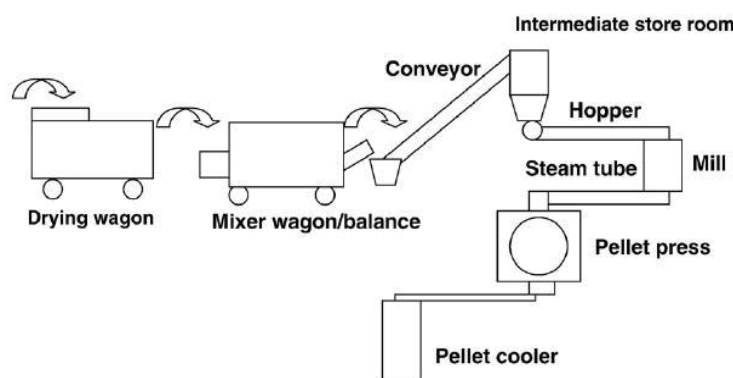
สำหรับหลักการทำงานของกระบวนการทอรีแฟคชันนั้น มีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยเริ่มแรกเป็นขั้นตอนการทำความร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงช่วงอุณหภูมิของการอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นได้มีการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงของการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส และสุดท้ายช่วงการระบายความร้อน ทำให้อุณหภูมิเย็นลงจนถึงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม [19]



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการทอรีแฟคชัน ที่มา: Bergman, Boersma P.C.A., and others “Torrefaction for Entrained-Flow Gasification of Biomass”. Energy research Centre of the Netherlands. (2004)

2.5.2 กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

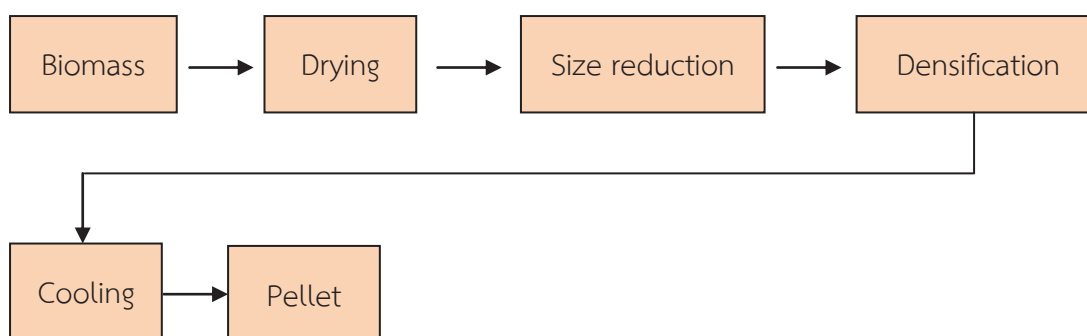
ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลปัจจัยที่สำคัญของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล คือ ปริมาณความชื้นของชีวมวล [20] โดยกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ชีวมวลถูกอัดผ่านแม่พิมพ์โดยใช้ลูกกลิ้งในการอัดเพื่อทำให้ชีวมวลเป็นเม็ดทรงกระบอก โดยการอัดจะทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและผนัง ทำให้อุณหภูมิชีวมวลเพิ่มขึ้น 70-100 องศาเซลเซียส เป็นผลให้ส่วนประกอบลิกนินอ่อนตัวลง กลายเป็นตัวประสานยึดติดธรรมชาติ ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิแม่พิมพ์ และปริมาณความชื้น เป็นปัจจัยสำคัญในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล เมื่ออุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้นส่งผลให้เม็ดชีวมวลแข็งแรงขึ้น ในขณะที่ปริมาณความชื้นสูงขึ้น ส่งผลให้เม็ดชีวมวลอ่อนตัวลงเนื่องจากการเพิ่มความชื้นส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและผนังลดลง [21] โดยกระบวนการการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลแยกออกเป็น 4 กระบวนการหลัก ได้แก่ การอบแห้ง การลดขนาด การขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลและการหล่อเย็น [22] จากการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลของ Samuelsson et al. (2009) [23] ได้สร้างชุดการทดลองได้แก่ เครื่องโม่ หรือ เครื่องบดเพื่อลดขนาดชีวมวล เครื่องอัดแท่งขึ้นรูป และเครื่องอบแห้ง ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการทั้งหมดของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.6



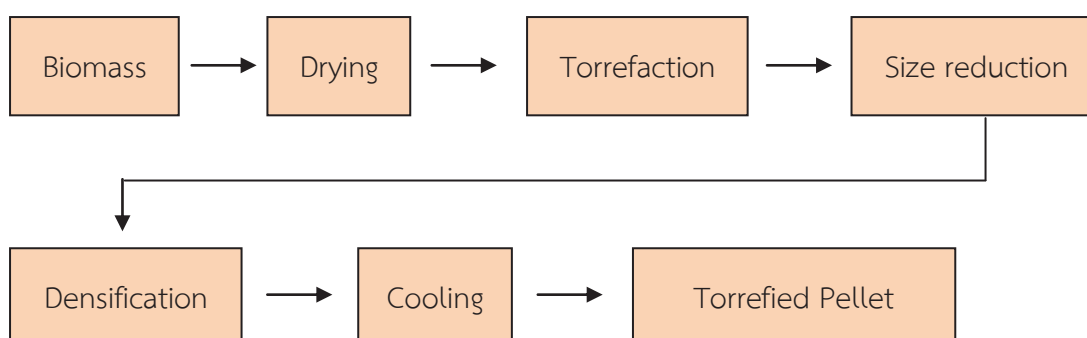
รูปที่ 2.6 กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งกระบวนการ ที่มา: Samuelsson R., and others “Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet Quality” Fuel Processing Technology 90 (2009): 1129–34.

จากรูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล โดยชีวมวลจะถูกอบแห้งและมาซึ่งน้ำหนักจากนั้นถูกลำเลียงไปตามสายพานพักอยู่ห้องเก็บ และผ่านกรวยมาเข้าเครื่องบดอัดให้มีขนาดเล็ก และผ่านท่ออบแห้งให้มีอุณหภูมิสูง ไปเข้าเครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล และถูกทำให้เย็นตัวลง

จากกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลข้างต้น เป็นกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน ซึ่งกรณีการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน มีกระบวนการที่คล้ายกันกับกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน ต่างกันตรงที่มีกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มเข้ามาก่อนการลดขนาด ดังแสดงในรูป 2.7 [24]



ก. กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล



ข. กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

Li et al. (2012) [25] ได้ทำการขึ้นรูปอัดแท่งชี้อยู่ที่ทอรีแฟคชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบ fluidizer bed ที่อุณหภูมิ 260, 270, 280, 290 และ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่า ไม่สามารถขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลได้ที่อุณหภูมิแม่พิมพ์เดียวกันกับการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปอัดแท่งเป็น 170 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้ขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันได้ Larsson et al. (2012) [26] ได้ทำการขึ้นรูปอัดแท่งไม้สนที่ทอรีแฟคชันระดับห้องปฏิบัติการ(pilot scale) โดยควบคุมปริมาณความชื้นที่ 11 และ 15 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิทอรีแฟคชันที่ 270 และ 300 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ช่วง 60-105 องศาเซลเซียส พบว่า การขึ้นรูปอัดแท่งของไม้สนที่ทอรีแฟคชัน มีการใช้พลังงานที่สูงกว่าการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ไม่ผ่านการทอรีแฟคชัน เม็ดชีวมวลมีความทนทานต่ำจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นในการขึ้นรูปอัดแท่ง และต้องการส่วนผสม

สิ่งเจือปนสูงที่ช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล Wolfgang et al. (2011) [27] และ Wolfgang et al. (2012) [28] ได้ทำการขึ้นรูปอัดแท่งไม้สนทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 250, 275 และ 300 องศาเซลเซียส และฟางข้าวสาลีทอรีแฟคชัน ที่อุณหภูมิ 150 และ 300 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยศึกษาคุณสมบัติของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลโดยใช้เครื่องกดอัดแท่งชีวมวลแบบเดี่ยว (Single pellet press) และค่าความทนทานของแท่งชีวมวลโดยใช้เครื่องทดสอบการอัด (Compression testing) จากงานวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนมีผลกระทบต่อ การขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวล และคุณสมบัติของชีวมวลมาก โดยที่เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้นและการดูดซับน้ำน้อยลง แต่แรงเสียดทานช่องกดของเครื่องขึ้นรูปอัดแท่งสูงขึ้น ซึ่งทำให้การใช้พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งสูงขึ้น และแท่งชีวมวลมีความแข็งแรงต่ำ Felpli et al. (2005) [29] รายงานถึงคุณสมบัติของไม้ที่ผ่านการอัดเป็นก้อน (Briquette) แล้วนำไปผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน ที่อุณหภูมิ 220 – 270 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดความชื้นน้ำ และค่าความร้อน จากการวิจัยพบว่า การผลิตชีวมวลทอรีไฟร์ในลักษณะนี้ทำให้ชีวมวลมีความทนทานต่อน้ำได้ดี และชีวมวลไม่แตกยุ่ยเมื่อจมน้ำเป็นเวลานาน ในขณะที่ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชีวมวลดิบ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน โดย Pirraglia et al. (2013) [30] ศึกษาค่าใช้จ่ายต้นทุนสำหรับการผลิตแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการจัดส่งชีวมวล แรงงาน และ การใช้พลังงาน พบว่า ค่าใช้จ่ายการจัดส่งชีวมวลเป็น ค่าใช้จ่ายสูงสุดที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายต้นทุนสำหรับการผลิตแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันที่ อุณหภูมิต่างๆ ศึกษาคุณสมบัติ และวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทั้งชีวมวลดิบ และชีวมวลทอรีแฟคชัน ซึ่งการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน มีการศึกษาที่ไม่แพร่หลาย และยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่าง กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง กับ กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน ได้แก่ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ โดยพิจารณาเปรียบเทียบเศรษฐศาสตร์ด้านการใช้พลังงานของกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน และศึกษาคุณสมบัติของชีวมวล โดยชีวมวลที่ทำการศึกษา ได้แก่ เหน้กมัน ทางปาล์ม ใบและ ยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว ซึ่งชีวมวลเหล่านี้ยังไม่เคยถูกนำมาศึกษา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “ค่าใช้จ่ายในการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทอรีไพร์อัดแท่ง” มีรายละเอียดเกี่ยวกับการดำเนินการวิจัย ดังนี้

- 3.1 วัตถุประสงค์และเครื่องมือสำหรับงานวิจัย
- 3.2 สถานที่ทำการทดลอง
- 3.3 ระยะเวลาการทดลอง
- 3.4 งบประมาณการวิจัย
- 3.5 การวางแผนการทดลอง
- 3.6 ขั้นตอนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีไพร์
- 3.7 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติ ผลได้ชีวมวล พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง และค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีไพร์ทั้งกระบวนการ
- 3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองและการสรุปการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์และเครื่องมือสำหรับงานวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วัตถุประสงค์และเครื่องมือสำหรับการวิจัย ดังนี้

- 3.1.1 วัตถุประสงค์ คือ เหมืองแร่ ทางป่าไม้ ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว
- 3.1.2 เครื่องมือสำหรับการวิจัย
 - 3.1.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชีวมวล
 - 3.1.2.1.1 เครื่องสับหยาบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดขนาดชีวมวลให้มีขนาดเล็กกลง โดยชีวมวลที่ผ่านเครื่องสับหยาบจะมีขนาดในช่วง 1 – 5 เซนติเมตร เครื่องสับหยาบที่ใช้งานเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องสับหยาบ

3.1.2.1.2 เครื่องสับละเอียดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเตรียมชีวมวลดิบที่ผ่านการสับหยาบ หรือชีวมวลทอรีไฟร์ให้มีขนาดเล็กกลง โดยตะแกรงที่ใช้คัดขนาดในเครื่องสับละเอียดมีสามขนาดคือ 2, 5 และ 9 มิลลิเมตรเครื่องสับละเอียดที่ใช้งานเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องสับละเอียด

3.1.2.1.3 เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผสมชีวมวลดิบ หรือชีวมวลทอรีไฟร์ที่ผ่านการสับละเอียดแล้ว เข้ากับน้ำเพื่อปรับความชื้นให้เหมาะสมก่อนขึ้นรูปแท่ง

3.1.2.2 เตาปฏิกรณ์ทอรีแฟคชั่นใช้สำหรับทอรีไฟร์ชีวมวลดิบ และชีวมวล ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปแท่งแล้ว โดยเตาปฏิกรณ์ทอรีแฟคชั่นที่ใช้เป็นเตาปฏิกรณ์ที่พัฒนาขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เตาปฏิกรณ์ทอรีแฟคชั่น

3.1.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้

3.1.2.3.1 เครื่องขึ้นรูปอัดแท่ง (Pellet Mill) ใช้สำหรับขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลดิบ และชีวมวลทอรีไฟร์ โดยใช้เครื่องขึ้นรูปอัดแท่งชนิดไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดขึ้นรูปแท่งขนาดเล็กชนิดไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die)

3.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

3.3 ระยะเวลาการวิจัย

เริ่มการทดลองเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2557 และการสรุปผลการทดลองพร้อมเขียนรายงานการวิจัยจะแล้วเสร็จภายในเดือนมีนาคม 2557 ซึ่งการดำเนินการตลอดระยะเวลาการวิจัยสามารถเขียนเป็นตารางสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย

รายการการดำเนินการวิจัย	ระยะเวลาของการดำเนินการวิจัย
1. รวบรวมข้อมูลเพื่อหาเงื่อนไขที่ใช้ในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน	ต.ค. 2556
2. ทดลองขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลและหาเงื่อนไขในการขึ้นรูปอัดแท่ง	ต.ค. 2556
3. ขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันพร้อมเก็บพลังงานและผลได้ชีวมวล	พ.ย. 2556
4. ศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงทอรีแฟคชัน ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่นบดอัด ความไม่ชอบน้ำ และค่าความทนทาน	พ.ย. 2556
5. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ	ธ.ค. 2556 – ม.ค. 2557
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย	ก.พ. 2557
7. เขียนรายงานการวิจัย	ก.พ.- มี.ค. 2557

3.4 งบประมาณการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้จะใช้งบประมาณเพื่อดำเนินการศึกษาและวิจัยเป็นจำนวนเงินโดยประมาณ 1,800,000 บาท (หนึ่งล้านแปดแสนบาทถ้วน)

3.5 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นแผนการดำเนินงานโดยรวมของงานวิจัยนี้และแผนการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 แผนการดำเนินงาน

3.5.1.1 จัดหาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ต้องการศึกษาจำนวน 5 ชนิด คือ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว

3.5.1.2 กำหนดตัวแปรของการวิจัยที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิทอรีแฟคชันและขนาดอนุภาคของชีวมวล โดยค่าของตัวแปรของการวิจัยจะมีการปรับให้แตกต่างกันตัวแปรละ 3 ค่า คือ อุณหภูมิทอรีแฟคชันที่ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง และขนาดอนุภาคของชีวมวล ที่ 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

3.5.1.3 ดำเนินการทอรีแฟคชัน ชีวมวล 5 ชนิด คือ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบ และยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว ตามเงื่อนไขในข้อ 3.5.1.2

3.5.1.4 นำชีวมวลที่ได้จากการทอรีแฟคชัน มาขึ้นรูปอัดแท่ง

3.5.1.5 เก็บค่าผลได้ชีวมวล และพลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง

3.5.1.6 วิเคราะห์คุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงทอรีแฟคชัน ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่นบักก์ ความไม่ชอบน้ำ และค่าความทนทาน

3.5.1.7 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันทั้งกระบวนการ ของกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

3.5.2 แผนการทดลอง

แผนการทดลองขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว แบ่งออกเป็นสองกระบวนการ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ โดยกรณีกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง ชีวมวลจะถูกลดขนาด ทอรีไฟร์ และขึ้นรูปอัดแท่ง กรณีกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลจะถูกลดขนาด ขึ้นรูปอัดแท่ง และทอรีไฟร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ก. กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

3.6 ขั้นตอนการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

สำหรับการขึ้นรูปอัดเม็ดชีวมวลทอรีแฟคชัน จะดำเนินการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชันของชีวมวล 5 ชนิด คือ เหง้ามัน ทางปาล์ม ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และฟางข้าว โดยขั้นตอนของการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ดังต่อไปนี้

3.6.1 กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

3.6.1.1 การสับหยาบ

นำชีวมวลมาทำการลดขนาดด้วยเครื่องสับหยาบเพื่อลดขนาด โดยชีวมวลที่ผ่านการสับหยาบจะมีขนาดยาวประมาณ 1-5 เซนติเมตร

3.6.1.2 การสับละเอียด

นำชีวมวลที่ผ่านการสับหยาบแล้วมาสับละเอียดด้วยเครื่องสับละเอียดเพื่อลดขนาด โดยชีวมวลที่สับละเอียดใช้ขนาดตะแกรง 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

3.6.1.3 การทอรีแฟคชัน

นำชีวมวลที่ได้จากการสับหยาบ และสับละเอียด มาเข้าสู่กระบวนการทอรีแฟคชัน ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส และเวลาในกระบวนการทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง

3.6.1.4 การผสมน้ำตามอัตราส่วน

การผสมน้ำกับชีวมวลจะทำการผสมด้วยอัตราส่วนร้อยละโดยมวลของชีวมวลที่นำมาทดลอง ซึ่งในการผสมจะพิจารณาถึงการขึ้นรูปอัดเม็ดเชื้อเพลิงได้เป็นสำคัญ ถ้าหากอัตราส่วนผสมของน้ำใดที่นำมาผสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วทำให้สามารถขึ้นรูปอัดเม็ดได้ ก็จะถืออัตราส่วนของน้ำอัตราส่วนนั้นเหมาะสมสำหรับการผสมกับชีวมวลเพื่ออัดแท่งเชื้อเพลิงแบบตะเกียบ ซึ่งชีวมวลแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนผสมของน้ำที่แตกต่างกัน

3.6.1.5 การขึ้นรูปอัดแท่ง

การขึ้นรูปอัดแท่งจะอัดโดยใช้เครื่องแบบไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die) ซึ่งก่อนการขึ้นรูปอัดแท่ง จะต้องทำการเดินเครื่องเพื่อให้แผ่นรังผึ้งสำหรับการอัดขึ้นรูปมีความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะมีผลทำให้ลิกนินในชีวมวลละลายมาเชื่อมประสานอนุภาคของชีวมวลเข้าด้วยกัน และทำให้สามารถขึ้นรูปอัดแท่งได้ สำหรับการเดินเครื่องเพื่อให้แผ่นรังผึ้งร้อนจะใช้รำข้าวผสมกับน้ำมันพืชเทใส่ลงไปและหมุนเวียนจนกว่าแผ่นรังผึ้งจะมีอุณหภูมิตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงนำชีวมวลที่ผสมน้ำแล้วเทลงไปเพื่อขึ้นรูปอัดแท่งเชื้อเพลิง

3.6.1.6 การผึ่งให้เย็น

หลังจากที่แท่งเชื้อเพลิงออกจากเครื่องขึ้นรูปอัดเม็ดแล้ว จะต้องนำมาผึ่งให้เย็นเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งขึ้นและไม่แตกหักง่ายขณะบรรจุหรือเคลื่อนย้าย ซึ่งการผึ่งเย็นจะผึ่งด้วยการวางตากลม หรืออาจใช้พัดลมเป่าให้เย็นก็ได้ตามความเหมาะสม

3.6.2 กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เป็นกระบวนการที่นำชีวมวลมาอัดแท่งจากนั้นนำไปทอรีไฟล์ ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งดังข้างต้น แต่จะแตกต่างกันตรงที่ขั้นตอนของกระบวนการทอรีไฟล์ขั้น อยู่ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการ

3.7 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติ ผลได้ชีวมวล พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง และค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีไฟล์ขั้นทั้งกระบวนการ

ในขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติ ผลได้ชีวมวล พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่ง และค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีไฟล์ขั้นทั้งกระบวนการ สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

3.7.1 การทดสอบคุณสมบัติแท่งเชื้อเพลิงทอรีไฟล์ขั้น

การทดสอบคุณสมบัติแท่งเชื้อเพลิงทอรีไฟล์ขั้น ประกอบไปด้วย ค่าความร้อน ค่าความหนาแน่นบักก์ และค่าความทนทาน ดังแสดงต่อไปนี้

3.7.1.1 การหาค่าความร้อนด้วยบอมบ์คาลอริมิเตอร์

3.7.1.1.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.7.1.1.1.1 ชั่งตัวอย่างชีวมวลให้มีน้ำหนัก

แน่นอนประมาณ 1 กรัม

3.7.1.1.1.2 นำตัวอย่างชีวมวลที่จะบรรจุในลูก

บอมบ์มาวางในที่วางของบอมบ์เฮด ตัดสายลวด ยาว 10 เซนติเมตร นำไปสอดในรูเล็ก ๆ โดยเลื่อนแคปขึ้นเมื่อสอดเสร็จแล้วทั้งสองข้างให้ดึงแคปลง ขั้นตอนนี้ต้องระวังอย่าให้ลวดแตะโดนขอบของลูกบอมบ์ แต่ต้องให้ลวดแตะบนตัวอย่าง

3.7.1.1.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง (ตามมาตรฐาน ASTM

D3286-85)

3.7.1.1.2.1 นำบอมเฮดใส่ออกซิเจนบอมบ์ปิดฝา

3.7.1.1.2.2 เติมออกซิเจนในบอมบ์โดยการเปิด

วาล์วของถังแก๊สออกซิเจนตั้งความดันเกจไว้ที่ 200 พีเอสไอ

3.7.1.1.2.3 เติมน้ำลงในกระบอกสแตนเลส

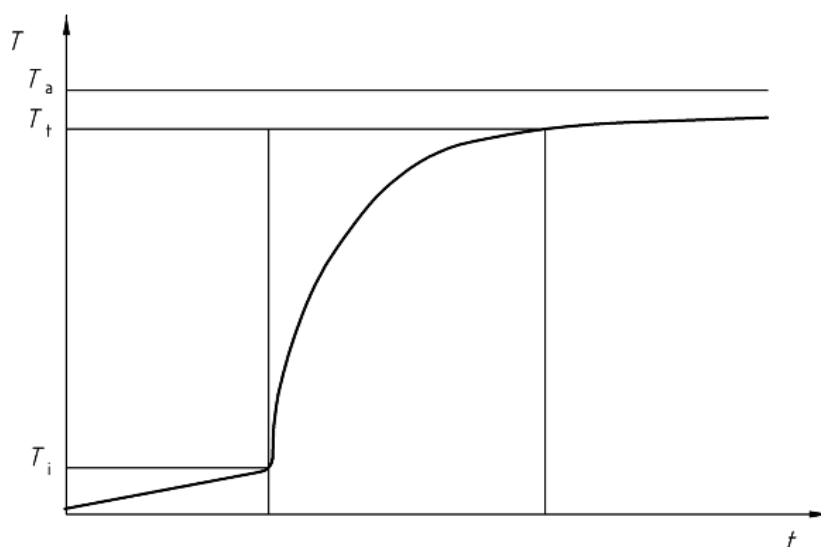
(bucket) ประมาณ 2000 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่องบอมบ จากนั้นนำลูกบอมบที่อัดอากาศแล้วต่อสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิดให้กับลูกบอมบ จากนั้นปิดฝาถังที่มีใบกวนติดอยู่บนฝา เพื่อใช้ในการกวนให้อุณหภูมิของน้ำกระจายทั่วถึงกัน

3.7.1.1.2.4 ใส่เทอร์โมมิเตอร์ลงไปในถังเพื่อใช้

ในการดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จับเวลา โดยปล่อยให้เครื่องทำงานประมาณ 5 นาที จากนั้นจุดระเบิด และบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที จนกว่าอุณหภูมิจะเริ่มคงที่

3.7.1.1.2.5 เมื่อเครื่องทำงานเสร็จ ให้เปิดฝา นำ

ออกซิเจนบอมบ ออกมา ใส่ก้ำช็อก เปิดฝา นำหัวบอมบวางบนขาตั้ง วัดความยาวของลวดที่เหลือจากการเผาไหม้ และทำการชั่งน้ำหนักชีวมวลที่เหลือจากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับอุณหภูมิจะได้ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

3.7.1.1.3 การคำนวณค่าความร้อน

การคำนวณอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่แท้จริง ได้ดังสมการ

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b) \quad (11)$$

เมื่อ	a	คือ เวลาของการจุดระเบิด
	b	คือ เวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 60% ของที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด

c	คือ เวลาที่เริ่มต้นของคาบ (หลังจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น)ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกลายเป็นคงที่
t	คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ถูกต้อง (องศาเซลเซียส)
t_c	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่อ่านที่เวลาจุดระเบิด
t_a	คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่อ่านได้
r_1	คือ อัตรา (องศาเซลเซียสต่อนาที) ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีก่อนจุดระเบิด
r_2	คือ อัตรา (องศาเซลเซียสต่อนาที) ที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 นาทีหลังจากเวลา c

3.7.1.1.4 ค่าความร้อนรอกของการเผาไหม้

$$H_g = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (12)$$

เมื่อ	H_g	คือ ค่าความร้อนรวมจากการเผาไหม้ (จุลต่อกรัม)
	W	คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอริมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
	m	คือ มวลของตัวอย่างเป็น (กรัม)
	e_1	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO_3) 23.9 แคลอรี
	e_2	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (H_2SO_4) 13.7 แคลอรี
	e_3	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร

เมื่อใช้ Parr 45C10 สายฟิวนิกเกิลโครม)

3.7.1.1.5 ค่ามาตรฐานคาลอริมิเตอร์

$$W = \frac{H_m + e_1 + e_3}{t} \quad (13)$$

เมื่อ	W	คือ ค่าความจุความร้อนของบอมคาลอริมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)
	H	คือ Heat of combustion of Standard benzoic acid (ให้พลังงาน 6318 แคลอรีต่อกรัม)
	m	คือ มวลของตัวอย่างเป็นกรัม

t	คือ ผลรวมของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)
e_1	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเกิดของ (HNO ₃) 23.9 แคลอรี
e_3	คือ ค่าแก้ไข สำหรับ ความร้อนในการเผาไหม้ลวด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร

เมื่อใช้ Parr 45C10 สายพิวนิกเกิลโครม)

3.7.1.2 การทดสอบค่าความหนาแน่นบักก์ (ตามมาตรฐาน ASTM E 711)

โดยชีวมวลจะถูกนำไปใส่ลงในกล่องที่มีขนาด 305x305x305 ลูกบาศก์เมตร เพื่อหาค่าความหนาแน่นบักก์ จากสมการ

$$\rho_{bulk} = \frac{(m_f - m_b)}{v_b} \quad (14)$$

เมื่อ	ρ_{bulk}	คือ ความหนาแน่นบักก์ (กรัมต่อลิตร)
	m_f	คือ มวลของวัตถุที่ต้องการวัด (กรัม)
	m_b	คือ มวลของกล่อง (กรัม)
	v_b	คือ ปริมาตรของกล่อง (ลิตร)

3.7.1.3 ค่าความทนทาน

การวัดค่าความทนทาน (Durability) โดยนำตัวอย่างจำนวน 0.5 กิโลกรัมใส่ในเครื่องวัดความทนทานดังแสดงในรูปที่ 3.7 จากนั้นเดินเครื่องให้หมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 1/8 นิ้ว เศษผง และส่วนที่แตกออกจะร่วงผ่านตะแกรง ในขณะที่เพลเลตที่สมบูรณ์จะอยู่บนตะแกรง นำเพลเลตที่อยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก และนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความทนทานจากสมการ

$$PDI = 100 \times \frac{WPW}{IW} \quad (15)$$

เมื่อ	PDI	คือ ค่าความทนทานแบ่งเชื้อเพลิง
	WPW	คือ น้ำหนักแห้งชีวมวลที่สมบูรณ์ไม่แตกหัก
	IW	คือ น้ำหนักแห้งชีวมวลเริ่มต้น



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความหนาทน

3.7.2 ผลได้ของชีวมวล

หาได้จากการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้าย ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Mass\ Yield = \frac{M_o}{M_i} \times 100 \quad (16)$$

เมื่อ $Mass\ Yield$ คือ ผลได้ของชีวมวล (%)

M_o คือ มวลสุดท้าย (Kg)

M_i คือ มวลเริ่มต้น (Kg)

3.7.3 ค่าพลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชัน

ในการเก็บค่าพลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการประกอบไปด้วย การสับหยาบ การสับละเอียด การทอรีแฟคชัน และการขึ้นรูปอัดแท่ง โดยการสับหยาบ การสับละเอียด และการขึ้นรูปอัดแท่ง ใช้กิโลวัตต์มิเตอร์ในการวัดพลังงาน โดยเครื่องกิโลวัตต์มิเตอร์ดังแสดงในรูป 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องกิโลวัตต์มิเตอร์

และค่าพลังงานการทอรีแฟคชั่น หาได้โดยการคำนวณจากสมการที่แสดงดังนี้

$$Q_{in} = \Delta LPG \times HHV \times \eta \quad (17)$$

เมื่อ	Q_{in}	คือ ค่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (MJ)
	ΔLPG	คือ ผลต่างระหว่างปริมาณของแก๊สที่ใช้เริ่มต้น กับ แก๊สที่เหลืออยู่ (Kg)
	HHV	คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ (MJ / Kg)
	η	คือ ประสิทธิภาพของเตาแก๊ส (0.65)

3.7.4 ค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชั่นทั้งกระบวนการ

ในขั้นตอนหาค่าใช้จ่ายในการขึ้นรูปอัดแท่งชีวมวลทอรีแฟคชั่นทั้งกระบวนการสามารถหาได้จากสมการ

$$P_{total} = (P_{torrefied} + P_{pellet}) \times F \quad (18)$$

โดยที่

$$P_{pellet} = P_1 + P_2 + P_3 \quad (19)$$

$$P_{torrefied} = Q_{in} \times 0.28 \quad (20)$$

เมื่อ	P_1	คือ พลังงานที่ใช้ในการบดหยาบ (kWh)
	P_2	คือ พลังงานที่ใช้ในการบดละเอียด (kWh)
	P_3	คือ พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูป (kWh)
	$P_{torrefied}$	คือ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (kWh)
	P_{pellet}	คือ พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูป (kWh)
	P_{total}	คือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด
	F	คือ ค่าไฟฟ้า (Bath / kWh)
	Q_{in}	คือ ค่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (MJ)

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผล

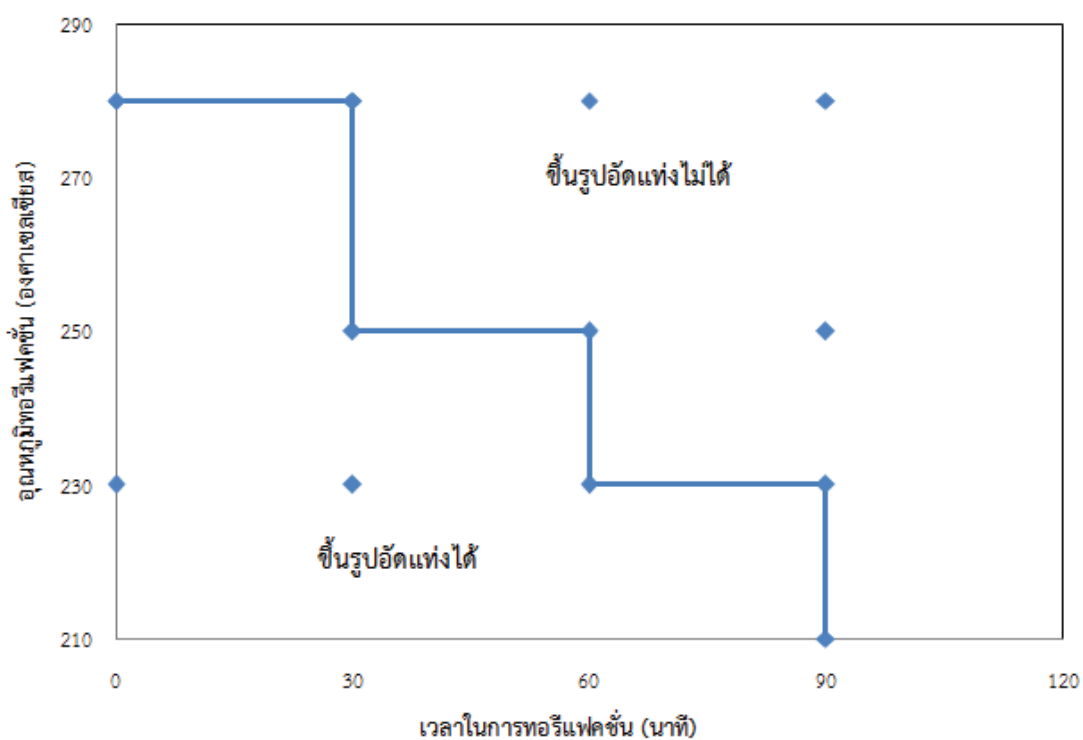
จากการทดลอง เพื่อศึกษากระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลต คุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล และการใช้พลังงานการผลิตของทอรีไฟร์เพลเลต ทั้ง 2 กระบวนการผลิต คือ กระบวนการทอรีไฟร์อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคชีวมวล 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร และอุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลาทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง สามารถอภิปรายผลผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 กรณีกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิการขึ้นรูปแท่งได้ของเหง้ามัน โดยแกนตั้งแสดงอุณหภูมิทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) และแกนนอนแสดงเวลาที่ใช้ในการทอรีไฟร์ชีวมวล (นาท) จากรูปจะพบว่าเหง้ามันทอรีไฟร์สามารถขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิ 230, 250, และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลาที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเท่ากับ 30 นาท แต่ถ้าหากเวลาในการทอรีไฟร์เท่ากับ 60 นาท เหง้ามันทอรีไฟร์ที่เงื่อนไขของอุณหภูมิทอรีแฟคชันไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส จะสามารถขึ้นรูปได้เช่นกัน และที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจาก ที่อุณหภูมิ และเวลาในการทอรีแฟคชันมากกว่าค่าข้างต้น ลิกนินที่เป็นสารสำคัญในการเชื่อมประสานอนุภาคเข้าด้วยกันเป็นแท่ง จะสลายและเปลี่ยนคุณสมบัติไปจนมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะยึดอนุภาคเข้าด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stelte et al. [27] ที่ทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งของฟางข้าวสาลีที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชันเท่ากับ 150, 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส จากการศึกษาการขึ้นรูปพบว่าเมื่อชีวมวลที่ผ่านการทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาขึ้นรูปอัดแท่งพบว่าไม่เกิดการเกาะติด และการรวมตัวกันระหว่างอนุภาค เมื่อทำการอัดแท่ง ซึ่งส่งผลคุณสมบัติที่ได้มีความเสถียรเชิงกลที่แย่ และค่าความหนาแน่นต่ำ

นอกจากนี้ยังพบว่าไม่สามารถอัดแท่งชีวมวลทอรีไฟร์จาก ฟางข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม โดยใช้เครื่องอัดแท่งไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในระดับชุมชน

ดังนั้นสรุปได้ว่าการผลิตทอรีไฟร์เพลสด้วยกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง โดยการใช้เครื่องอัดแท่งได้นแบบหมุน (Rotary Flat Die) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในระดับชุมชน สามารถขึ้นรูปอัดแท่งแห้งได้ในช่วงที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่นเท่ากับ 230, 250, และ 280 องศาเซลเซียสใช้เวลา 30 นาที และสามารถขึ้นรูปได้ถ้าเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นไม่เกิน 250 องศาเซลเซียสที่เวลาในการทอรีไฟร์เท่ากับ 60 นาที และไม่สามารถอัดแท่งชีวมวลทอรีไฟร์จาก ฟางข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับชุมชน



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิการขึ้นรูปแท่งได้ของแห้ง

4.2 กรณีกระบวนการอัดแท่ง - ทอรีไฟร์

4.2.1 กระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตด้วยกระบวนการอัดแท่ง - ทอรีไฟร์

4.2.1.1 กรณีเหง้ามัน

รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ด้วยกระบวนการอัดแท่ง - ทอรีไฟร์ เหง้ามันดิบจะถูกสับหยาบ จากนั้นเหง้ามันสับหยาบจะถูกสับละเอียดผ่านตะแกรงที่กำหนดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร เมื่อได้เหง้ามันสับละเอียดแล้วจะผสมน้ำเพื่อปรับสภาพความชื้น ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนการผสมเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.2 เมื่อปรับสัดส่วนความชื้นแล้ว จะนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สำหรับกรณีเหง้ามันพบว่าสามารถขึ้นรูปแท่งได้โดยผ่านเครื่องขึ้นรูปเพียงรอบเดียว จากนั้นนำชีวมวลแท่งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชั่น



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง - ทอรีไฟร์

4.2.1.2 กรณีฟางข้าว

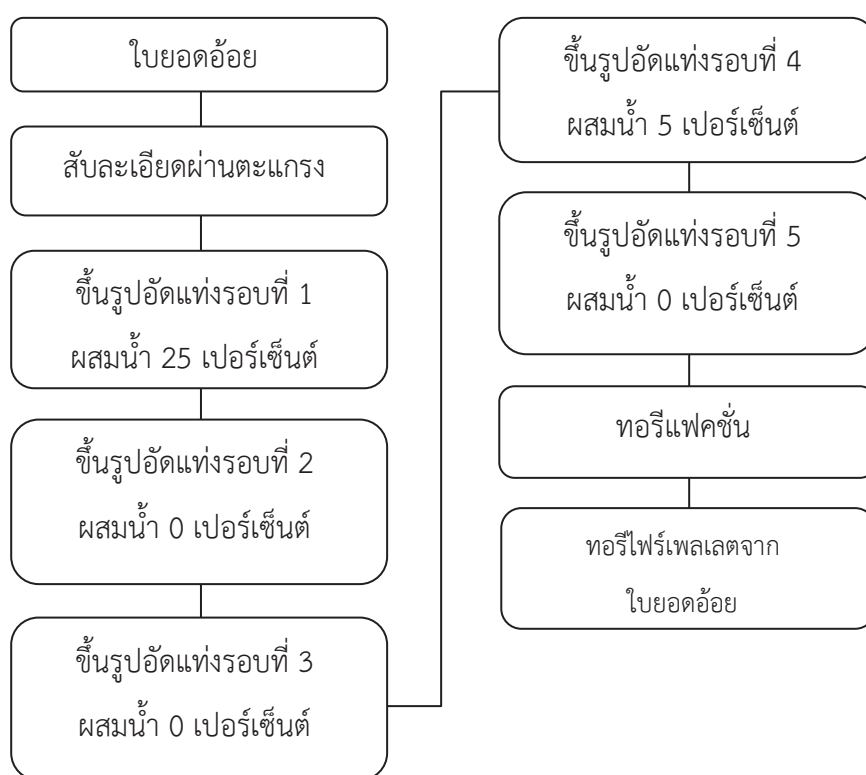
รูปที่ 4.3 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากฟางข้าว ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ฟางข้าวดิบจะถูกสับละเอียดผ่านตะแกรงที่กำหนดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร เมื่อได้ฟางข้าวสับละเอียดแล้วจะผสมน้ำเพื่อปรับสภาพความชื้น ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนการผสมเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อปรับสัดส่วนความชื้นแล้ว จะนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สำหรับกรณีฟางข้าวพบว่าสามารถขึ้นรูปแท่งได้โดยผ่านเครื่องขึ้นรูปเพียงรอบเดียว จากนั้นนำชีวมวลแท่งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชั่น



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากฟางข้าว
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

4.2.1.3 กรณีไดยอดอ้อย

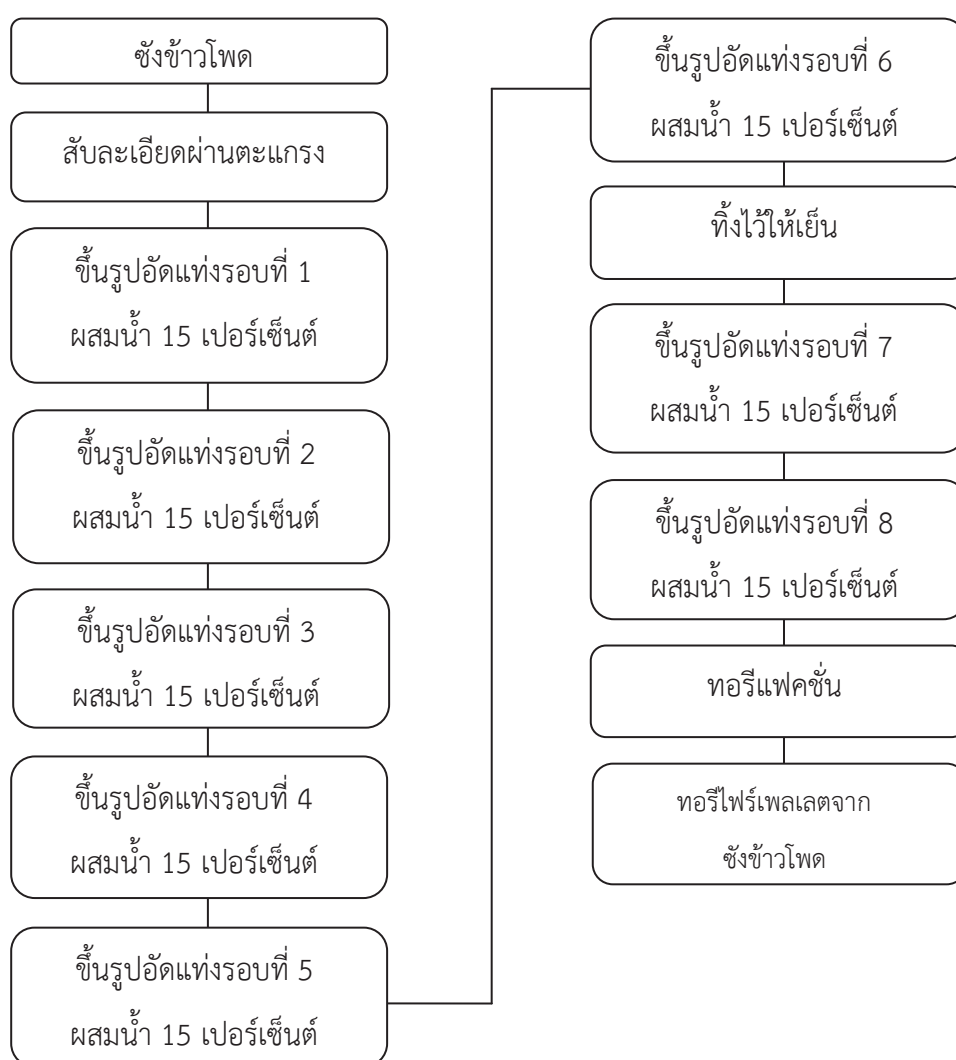
รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากไดยอดอ้อย ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ไดยอดอ้อยดิบจะถูกสับละเอียดผ่านตะแกรงที่กำหนดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร เมื่อได้ไดยอดอ้อยสับละเอียดแล้วจะผสมน้ำเพื่อปรับสภาพความชื้น ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนการผสมเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.4 เมื่อปรับสัดส่วนความชื้นแล้ว จะนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สำหรับกรณีไดยอดอ้อยพบว่าสามารถขึ้นรูปแท่งได้โดยไม่ต้องผ่านเครื่องขึ้นรูป 5 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแท่งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชั่น



รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากไดยอดอ้อย
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

4.2.1.4 กรณีซังข้าวโพด

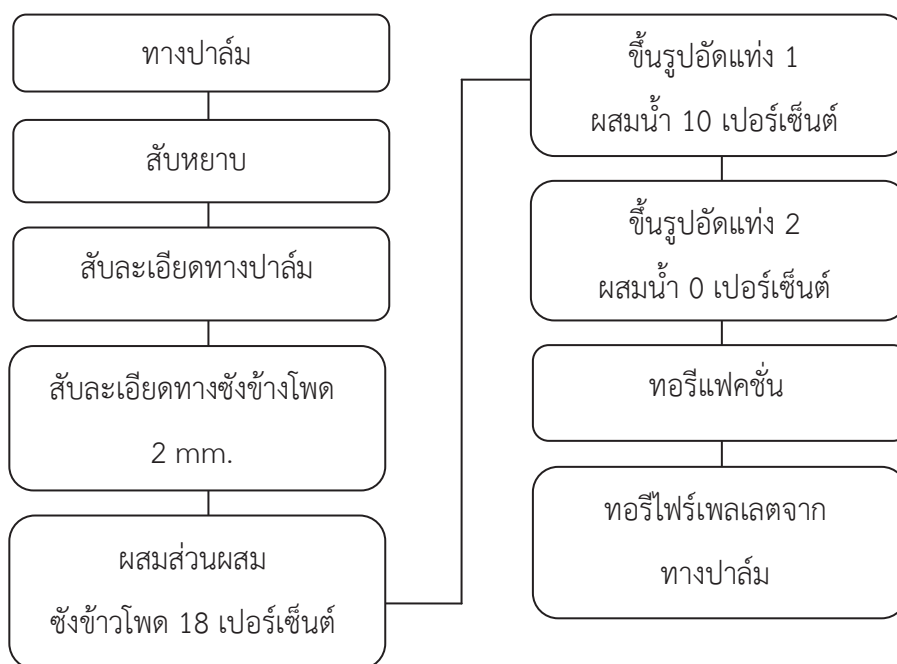
รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากซังข้าวโพด ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ซังข้าวโพดดิบจะถูกสับละเอียดผ่านตะแกรงที่กำหนดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร เมื่อได้ซังข้าวโพดสับละเอียดแล้วจะผสมน้ำเพื่อปรับสภาพความชื้น ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนการผสมเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อปรับสัดส่วนความชื้นแล้ว จะนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สำหรับกรณีซังข้าวโพดพบว่าสามารถขึ้นรูปแท่งได้โดยไม่ต้องผ่านเครื่องขึ้นรูป 8 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแท่งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชั่น



รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากซังข้าวโพด
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

4.2.1.5 กรณีทางปาล์ม

รูปที่ 4.6 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากทางปาล์ม ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ทางปาล์มดิบจะถูกสับหยาบ จากนั้นทางปาล์มสับหยาบจะถูกสับละเอียดผ่านตะแกรงที่กำหนดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร เมื่อได้ทางปาล์มสับละเอียดแล้วจะผสมกับน้ำเพื่อปรับสภาพความชื้น และซังข้าวโพดสับละเอียดเพื่อลดแรงเสียดทานในขณะที่อยู่ในเครื่องอัดแท่ง และป้องกันเครื่องติด ทำให้สามารถป้อนชีวมวลต่อเนื่องได้ ซึ่งรายละเอียดสัดส่วนการผสมเป็นดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อปรับสัดส่วนความชื้นแล้ว จะนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สำหรับกรณีทางปาล์มพบว่าสามารถขึ้นรูปแท่งได้โดยผ่านเครื่องขึ้นรูป 2 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแท่งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชั่น



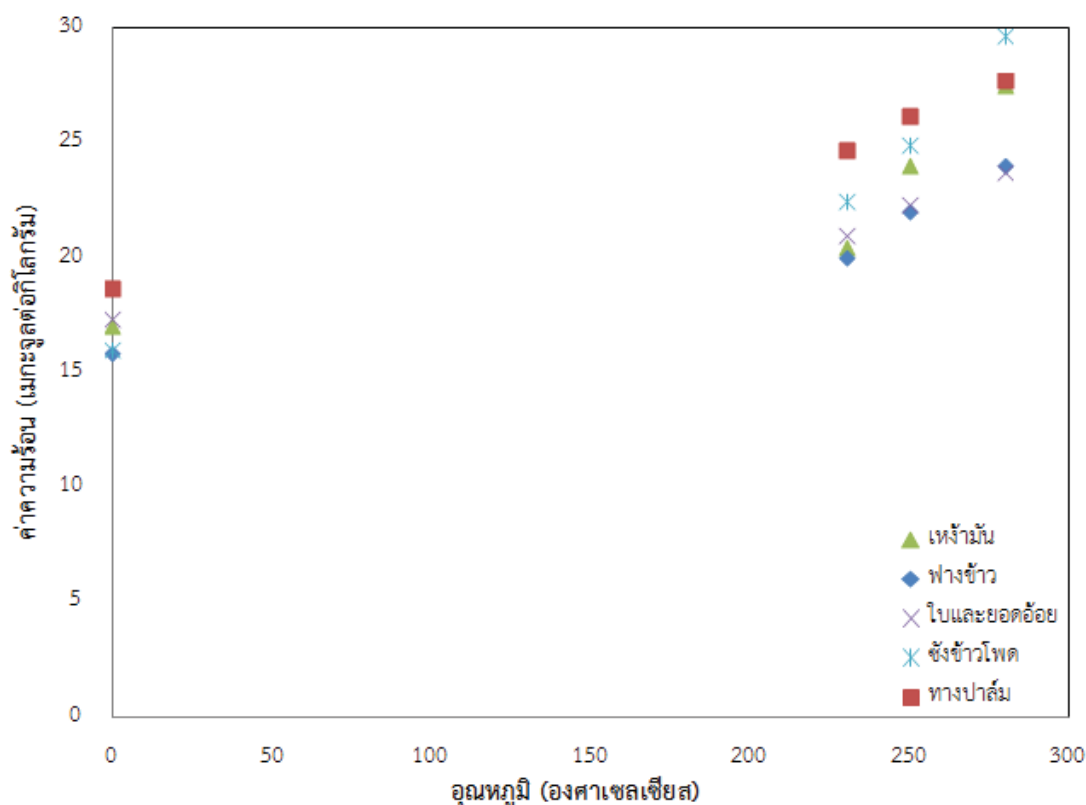
รูปที่ 4.6 แสดงแผนภูมิกระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากทางปาล์ม
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความหนาน และความหนาแน่นบักก์ ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อค่าความร้อน ของทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงอุณหภูมิทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส สำหรับเหง้ามันจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 20.49, 24.07 และ 27.49 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ฟางข้าวจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 20.09, 22.10 และ 24.06 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 21.00, 22.37 และ 23.74 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ชังข้าวโพดจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 22.50, 25.00 และ 29.70 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และทางปาล์มจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 24.77, 26.25 และ 27.78 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชนิดของชีวมวล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของเหง้ามันทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับเหง้ามันดิบ คิดเป็น 20.39, 41.45 และ 61.56 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของฟางข้าวทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับฟางข้าวดิบ คิดเป็น 26.22, 38.88 และ 51.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับใบและยอดอ้อยดิบ คิดเป็น 21.05, 28.95 และ 36.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของชังข้าวโพดทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับชังข้าวโพดดิบ คิดเป็น 40.33, 55.92 และ 85.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนของทางปาล์มทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับทางปาล์มดิบ คิดเป็น 32.11, 40.03 และ 48.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกระบวนการทอรีแฟคชันเป็นกระบวนการกระทำด้วยความร้อน ซึ่งความร้อนจะถูกให้กับชีวมวลเพื่อทำการสลายพันธะทางเคมี (พันธะโควาเลนต์) ของโครงสร้างของชีวมวลได้แก่ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ด้วยปฏิกิริยาดีไฮเดชัน และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน ทำให้สัดส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน และสัดส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน ลดลงอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prins et al. [18] ที่ได้ศึกษาคุณสมบัติของค่าความร้อนของมะเดื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250, 270 และ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น สัดส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนจะลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ดังนั้นสรุปได้ว่าสำหรับทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นทุกชนิดชีวมวล



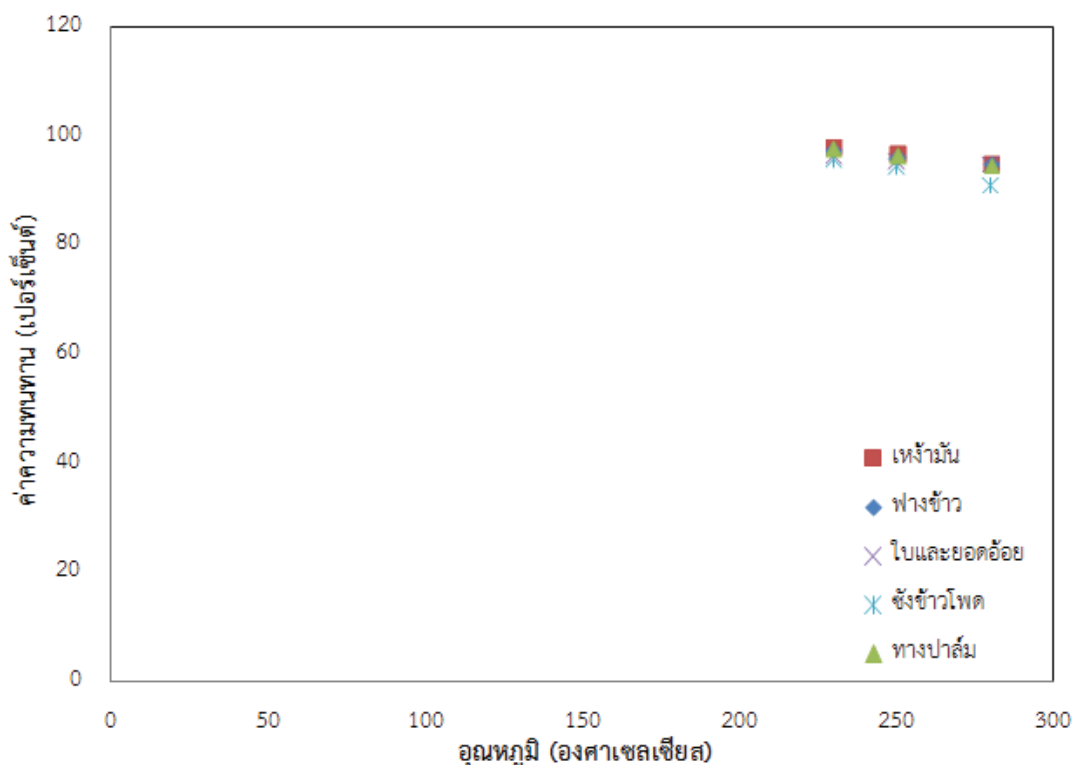
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าความร้อนของทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพดและ ทางปาล์ม ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าความหนาแน่น ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าความหนาแน่น (เปอร์เซ็นต์) จากรูปจะพบว่าทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส สำหรับเหง้ามันมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 98.10, 97.0 และ 95.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 97.40, 96.20 และ 95.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 96.60, 95.70 และ 95.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชังข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 96.10, 94.90 และ 91.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทางปาล์มมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 97.80, 96.60 และ 94.90

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความทนทานมีแนวโน้มลดลงทุกชนิดของชีวมวล สำหรับค่าความทนทานที่ลดลงของเหง้ามันทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าความทนทานของเหง้ามันทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 1.12 และ 2.36 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานที่ลดลงของฟางข้าวทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าความทนทานของฟางข้าวทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 1.23 และ 2.36 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานที่ลดลงของใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าความทนทานของใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 0.93 และ 1.45 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานที่ลดลงของซังข้าวโพดทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าความทนทานของซังข้าวโพดทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 1.25 และ 4.79 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนทานที่ลดลงของทางปาล์มทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 250 และ 280 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับค่าความทนทานของทางปาล์มทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 1.23 และ 2.96 เปอร์เซ็นต์

สำหรับสาเหตุของการลดลงนี้เนื่องจากการกระทำทางความร้อนของกระบวนการทอรีแฟคชันที่ทำให้เกิดการสลายตัวของ เฮมิเซลลูโลส และลิกนินบางส่วน ทำให้ชีวมวลที่ถูกทอรีไฟร์มีความพรุน ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงน้อยลง เป็นผลให้สามารถรับแรงกระแทกได้น้อยลง และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นความพรุนก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถรับแรงกระแทกได้น้อยลงด้วย จึงส่งผลให้ค่าความทนทานมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Shang et al. [31] ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อค่าความทนทานของชีวมวลแท่งตะเกียบจากสนสก๊อตทอรีไฟร์ ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 270 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันสูงขึ้น ค่าความทนทานจะมีค่าลดลง

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ค่าความทนทานของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม มีค่าความทนทานลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นทุกชนิดชีวมวล



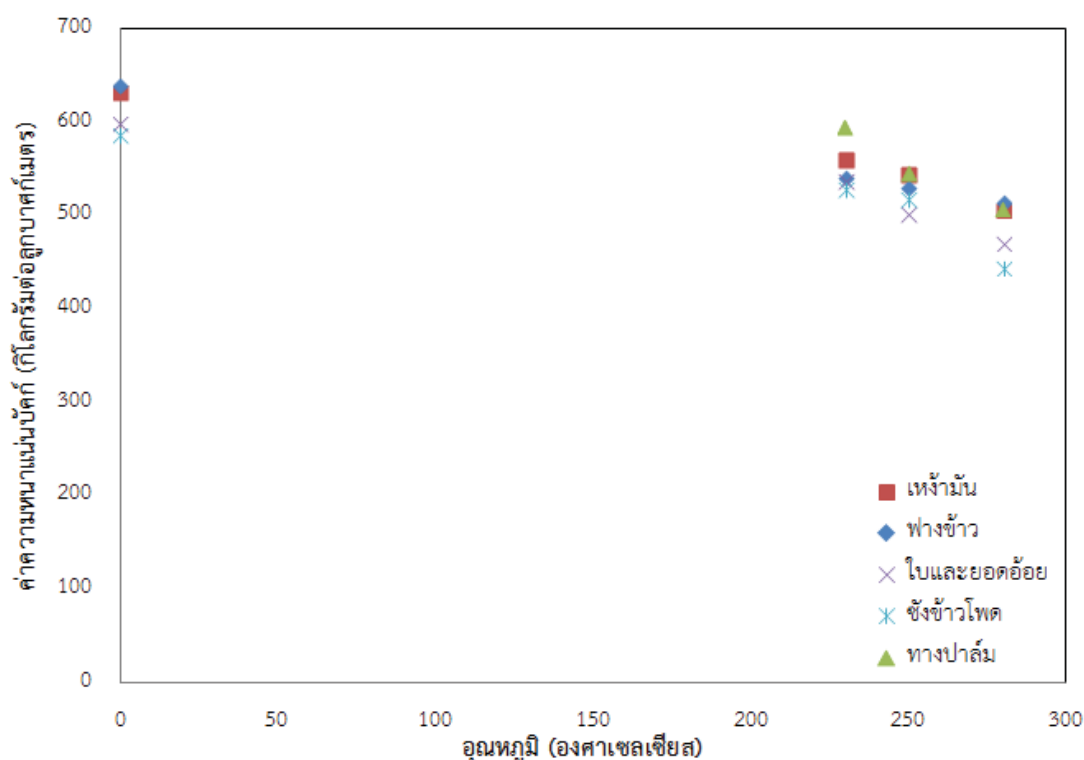
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าความหนาแน่น ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีไฟร์กับค่าความหนาแน่นบักก์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าความหนาแน่นบักก์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า เหง้ามันที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน และผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ 623.79, 561.65, 544.88 และ 507.24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ฟางข้าวที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน และผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ 639.16, 541.91, 530.44 และ 514.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน และผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ 599.51, 538.75, 502.66 และ 471.72 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซังข้าวโพดที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน และผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ 586.24, 529.19, 517.79 และ 444.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และทางปาล์มที่ไม่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน และผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศา

เซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ 701.79, 595.75, 546.87 และ 508.96 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบักก์ ลดลงทุกชนิดชีวมวล สำหรับเห้งมันทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่อเทียบกับเห้งมันดิบ คิดเป็น 11.24, 13.89 และ 19.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับฟางข้าวทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่อเทียบกับฟางข้าวดิบ คิดเป็น 15.21, 17.01 และ 19.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่อเทียบกับใบและยอดอ้อยดิบ คิดเป็น 10.13, 16.15 และ 21.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับซังข้าวโพดทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่อเทียบกับซังข้าวโพดดิบ คิดเป็น 9.37, 11.67 และ 24.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทางปาล์มทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่อเทียบกับทางปาล์มดิบ คิดเป็น 15.11, 22.07 และ 27.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สำหรับการลดลงของความหนาแน่นบักก์ เกิดจากกระบวนการทางความร้อนในกระบวนการมอรีแฟคชัน ทำให้เชื้อเพลิงมีรูพรุน ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบักก์ลดลง และเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. [25] ที่ได้ศึกษาความหนาแน่นของชีวมวลแห้งตะเกียบที่ทำการทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 260, 270, 280, 290 และ 300 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นของชีวมวลจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียมวลของชีวมวลเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทอรีไฟร์เพลเลตจากเห้งมัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น



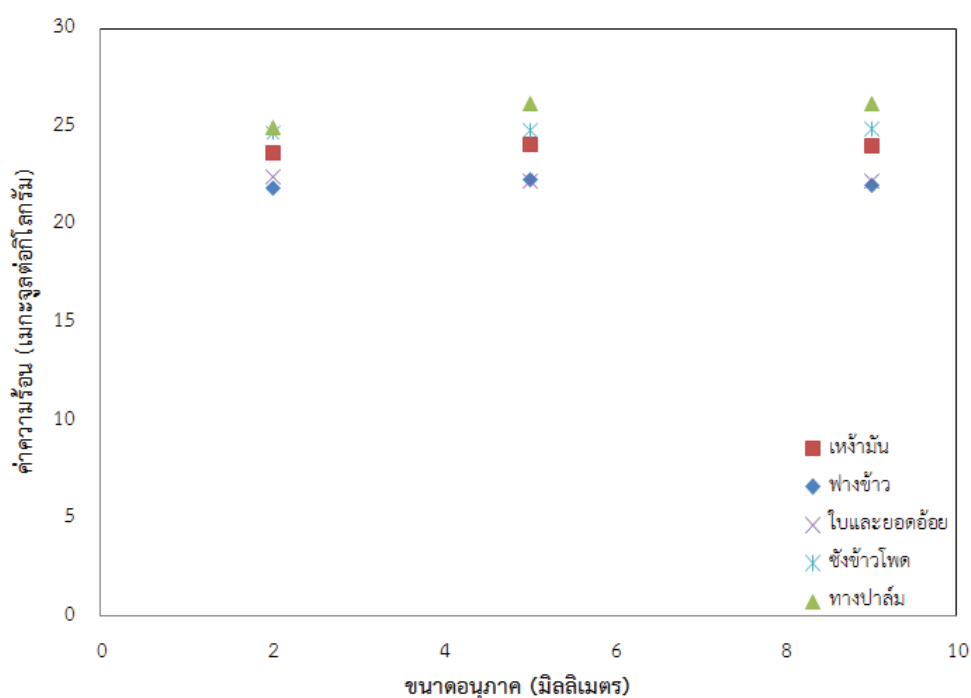
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีไฟร์กับค่าความหนาแน่นบัคก์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

4.2.3 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความทนทาน ความหนาแน่นบัคก์ และ ผลได้ชีวมวล ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคของชีวมวลที่มีผลต่อค่าความร้อนของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้ามันฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส แกนนอนแสดงขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า ที่ขนาดอนุภาคของชีวมวล 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร สำหรับเหม้ามันจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 23.74, 24.16 และ 24.07 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ฟางข้าวจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 21.91, 22.37 และ 22.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ชังข้าวโพดจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 24.80, 24.90 และ 25.00 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และทางปาล์มจะมีค่าความร้อนเท่ากับ 25.00, 26.25 และ 26.25 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อค่าความร้อนเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น สำหรับทุกชนิดชีวมวล

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชีวมวลดิบซึ่งผ่านเครื่องสับละเอียดมีขนาดขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง ซึ่งรูปร่างและความหนาแน่นของแท่งชีวมวลที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลมาเข้าสู่กระบวนการทอรีแฟคชั่น จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ค่าความร้อนมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยไม่มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ชัดเจนเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Peng et al. [10] ที่ได้ศึกษาชีวมวลทอรีไฟร์ที่ขนาด 0.23, 0.67 และ 0.81 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที จากนั้นนำมาศึกษาค่าความร้อน ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่ได้จะมีค่า 20.53, 21.25 และ 20.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที จึงสรุปได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน

ดังนั้นสรุปได้ว่าสำหรับทอรีไฟร์เพลเลตจากเห้งมัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น จะไม่มีผลต่อค่าความร้อนสำหรับทุกชนิดชีวมวล

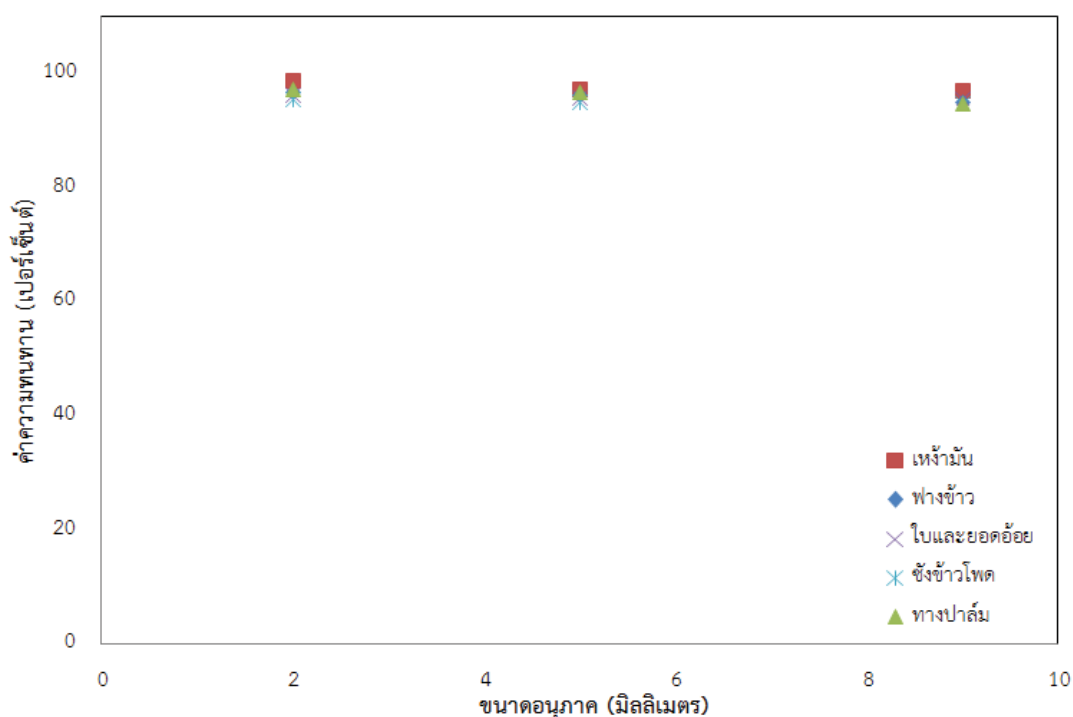


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความร้อนของทอรีไฟร์เพลเลตจากเห้งมัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความหนาน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงค่าความหนาน (เปอร์เซ็นต์) จากรูปจะพบว่าทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตรสำหรับเหง้ามันมีค่าความหนานเท่ากับ 98.80, 97.20 และ 97.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ฟางข้าวมีค่าความหนานเท่ากับ 96.90, 96.40 และ 95.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยมีค่าความหนานเท่ากับ 96.40, 95.90 และ 95.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชังข้าวโพดมีค่าความหนานเท่ากับ 95.60, 95.10 และ 94.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทางปาล์มมีค่าความหนานเท่ากับ 97.30, 96.80 และ 94.90 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนานมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชีวมวลที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร เมื่อนำมาขึ้นรูปอัดแท่งจะทำให้มีการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคได้ดี และมีความหนาแน่นสูงกว่าชีวมวลที่มีขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร เพียงเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลมาเข้าสู่กระบวนการทอรีแฟคชัน ความร้อนที่ให้กับชีวมวลจะแทรกเข้าตัวเข้าไปบริเวณช่องว่างระหว่างอนุภาคที่ยึดเกาะกันของชีวมวลขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร ได้ยากกว่าชีวมวลขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร จึงส่งผลให้ชีวมวลที่ขึ้นรูปด้วยชีวมวลขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีความเปราะกว่าชีวมวลที่ขึ้นรูปด้วยชีวมวลขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร เล็กน้อย ซึ่งทำให้ค่าความหนานมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยซึ่งถือได้ว่าไม่ต่าง เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Peng et al. [10] ที่ได้ศึกษาชีวมวลทอรีไฟร์ที่ขนาดอนุภาค 0.23 และ 0.81 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาขึ้นรูปอัดแท่งและทำการศึกษาค่าความหนาน พบว่าชีวมวลขนาดอนุภาค 0.23 และ 0.81 มิลลิเมตร ที่ผ่านการทอรีไฟร์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที และ อัดแท่งจะมีความหนานเท่ากับ 4.57 และ 5.09 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าค่าความหนานจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม เมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อค่าดัชนีความแข็งแรง



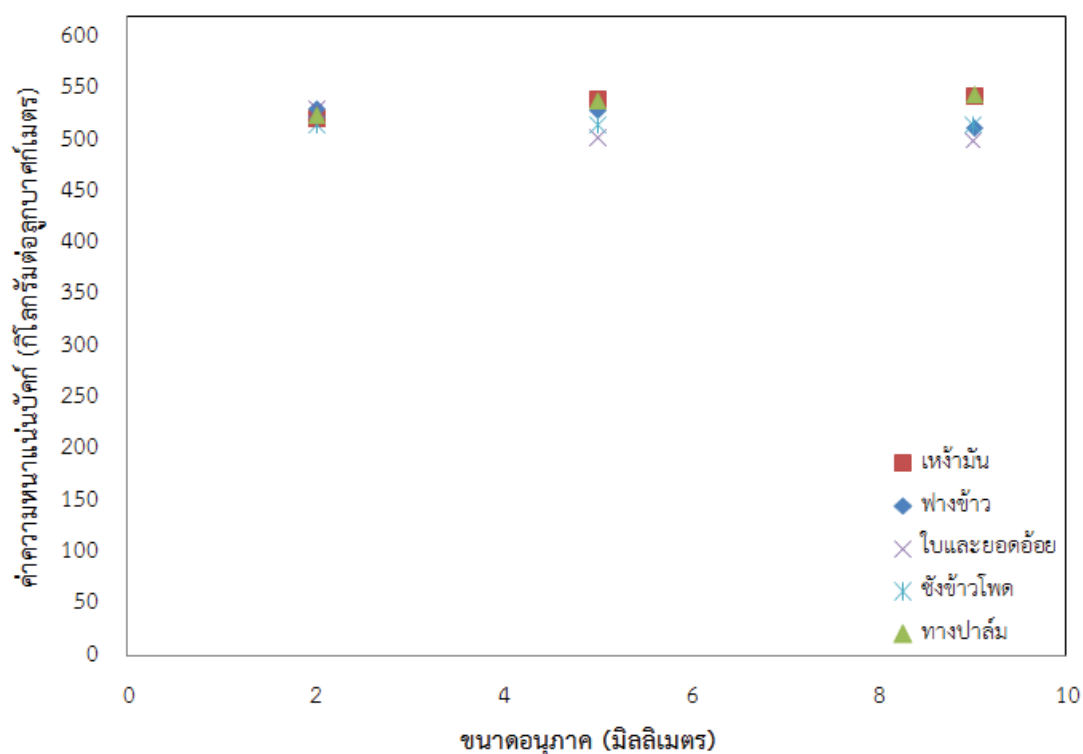
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความทนทาน
ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้จํานํน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย
ชังข้าวโพด และทางปาลํม

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความหนาแน่น
บักก์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้จํานํน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชัง
ข้าวโพด และทางปาลํม แกนนอนขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงค่าความหนาแน่นบักก์
(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า เหม้จํานํน ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าความ
หนาแน่นบักก์เท่ากับ 523.82, 542.34 และ 544.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ฟางข้าว
ค่าความหนาแน่นบักก์เท่ากับ 532.71, 530.39 และ 514.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ
ใบและยอดอ้อย ค่าความหนาแน่นบักก์เท่ากับ 533.23, 505.08 และ 502.66 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์
เมตร ตามลำดับ ชังข้าวโพด ค่าความหนาแน่นบักก์เท่ากับ 517.80, 517.80 และ 517.80 กิโลกรัม
ต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทางปาลํม และค่าความหนาแน่นบักก์เท่ากับ 526.61, 540.55 และ
546.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น จะไม่ส่งผลให้ค่าความ
หนาแน่นบักก์เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจนสำหรับทุกชนิดชีวมวล ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชีวมวลที่มี
ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ถูกนำมาทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน ดังนั้นน้ำหนักของ
ชีวมวลที่สลายตัวไปจึงมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น

บัคก์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Peng et al. [10] ที่ได้ศึกษาผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อค่าความหนาแน่นบัคก์ สำหรับขนาดอนุภาค 0.23, 0.67 และ 0.81 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15 นาที จะมีค่าความหนาแน่นบัคก์เท่ากับ 157, 197 และ 165 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคได้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าทอริไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชั่งข้าวโพด และทางปาล์ม เมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น จะไม่ส่งต่อค่าความหนาแน่นบัคก์



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าความหนาแน่นบัคก์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ของทอริไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชั่งข้าวโพด และทางปาล์ม

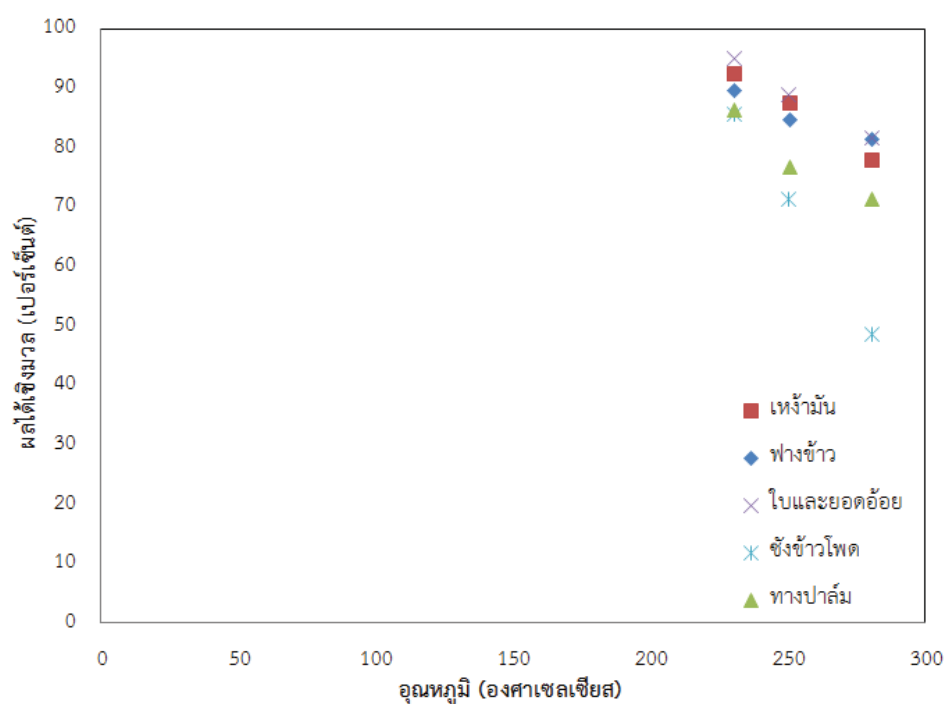
4.2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติผลได้ของชีวมวล ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน กับผลได้ของชีวมวลของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงผลได้ของชีวมวล (เปอร์เซ็นต์) จากรูปพบว่า เหง้ามันที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 92.62, 87.63 และ 78.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ฟางข้าวที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 89.87, 85.06 และ 81.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 95.4, 89.2 และ 82.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชังข้าวโพดที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 86.00, 71.66 และ 48.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทางปาล์มที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 86, 77.2 และ 71.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลได้ของชีวมวลมีแนวโน้มลดลงทุกชนิดชีวมวล ซึ่งที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีผลได้ของเหง้ามันทอรีไฟร์ต่ำกว่าที่เหง้ามันทอรีไฟร์อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 5.38 และ 15.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีผลได้ของฟางข้าวทอรีไฟร์ต่ำกว่าฟางข้าวทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 5.35 และ 9.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีผลได้ของใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ต่ำกว่าใบและยอดอ้อยทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 6.49 และ 14.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีผลได้ของชังข้าวโพดทอรีไฟร์ต่ำกว่าชังข้าวโพดทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 16.67 และ 43.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีผลได้ของทางปาล์มทอรีไฟร์ต่ำกว่าทางปาล์มทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 10.97 และ 17.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการศึกษาผลอุณหภูมิที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลของทั้งกระบวนการ จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลได้ของชีวมวลของทั้งกระบวนการมีค่าลดลง เนื่องจากผลได้ของชีวมวลที่กล่าวถึงในการทดลองนี้ได้รวมผลได้ของชีวมวลของกระบวนการลดขนาดกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง และกระบวนการทอรีแฟคชัน ซึ่งผลได้ของกระบวนการลดขนาดและกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งจะมีค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลได้ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชันมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มขึ้น เนื่องจากในกระบวนการทอรีแฟคชัน

ทำให้เกิดการสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วน ส่งผลให้ผลได้เชิงมวลมีค่าลดลง และเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันสูงขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผลได้เชิงมวลมีค่าลดลงยิ่งขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลได้ของชีวมวลมีค่าลดลง ทุกชนิดของชีวมวล



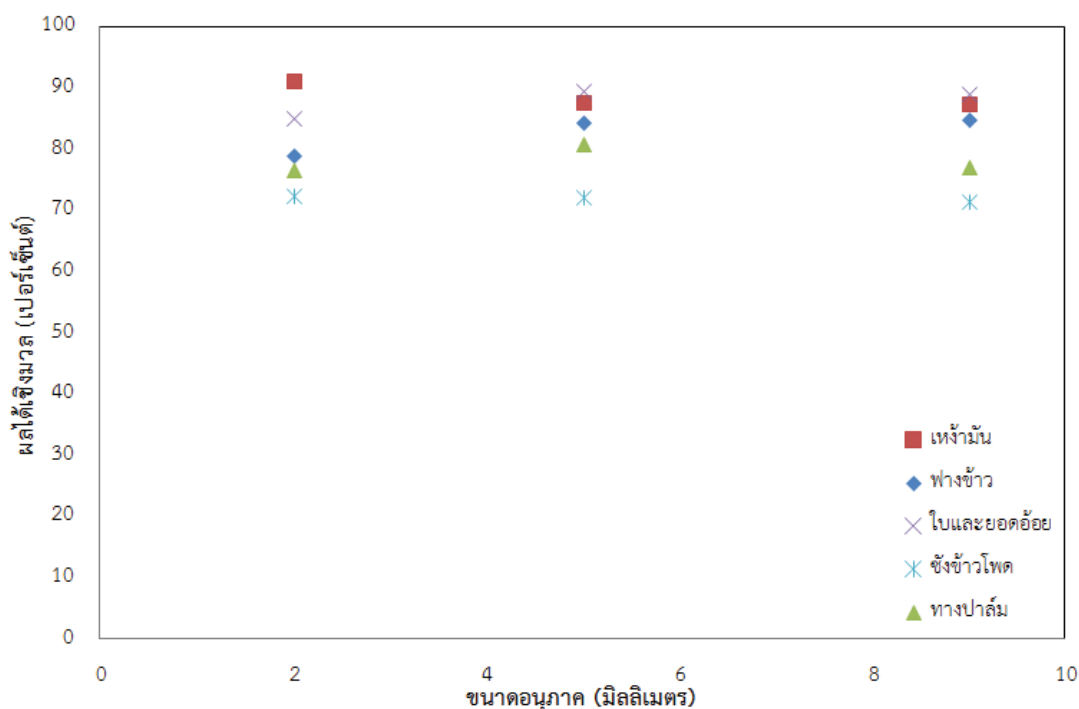
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับผลได้ของชีวมวลของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร

4.2.5 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อผลได้ชีวมวล ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับผลได้ของชีวมวล ของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส แกนนอนแสดงขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงผลได้ของชีวมวล (เปอร์เซ็นต์) จากรูปพบว่า เหง้ามันที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 91.40, 87.80 และ 87.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ฟางข้าวที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 79.22, 84.49 และ 85.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใบและยอดอ้อยที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 85.20, 89.70 และ 89.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชังข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 72.58, 72.21 และ 71.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และทางปาล์มที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าผลได้ของชีวมวลเท่ากับ 76.70, 81.00 และ 77.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อผลได้ของชีวมวล

จากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลของทั้งกระบวนการซึ่งดำเนินการที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 250 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลได้ของชีวมวลของทั้งกระบวนการไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากผลได้ของชีวมวลที่กล่าวถึงในการทดลองนี้ได้รับรวมผลได้ของชีวมวลของกระบวนการลดขนาด กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง และกระบวนการทอรีแฟคชั่น ซึ่งผลได้ของกระบวนการลดขนาดและกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งจะมีค่าเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลได้ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชั่นมีค่าต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ (ผลได้ของชีวมวลจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มขึ้น) แต่ที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ผลได้เชิงมวลมีค่าไม่ต่างกันเนื่องจาก ที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ถูกมอริไฟร์ที่อุณหภูมิเดียวกัน ส่งผลให้ผลได้เชิงมวลมีค่าไม่ต่างกันเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นที่จะไม่ส่งผลต่อผลได้ของชีวมวล ทุกชนิดของชีวมวล



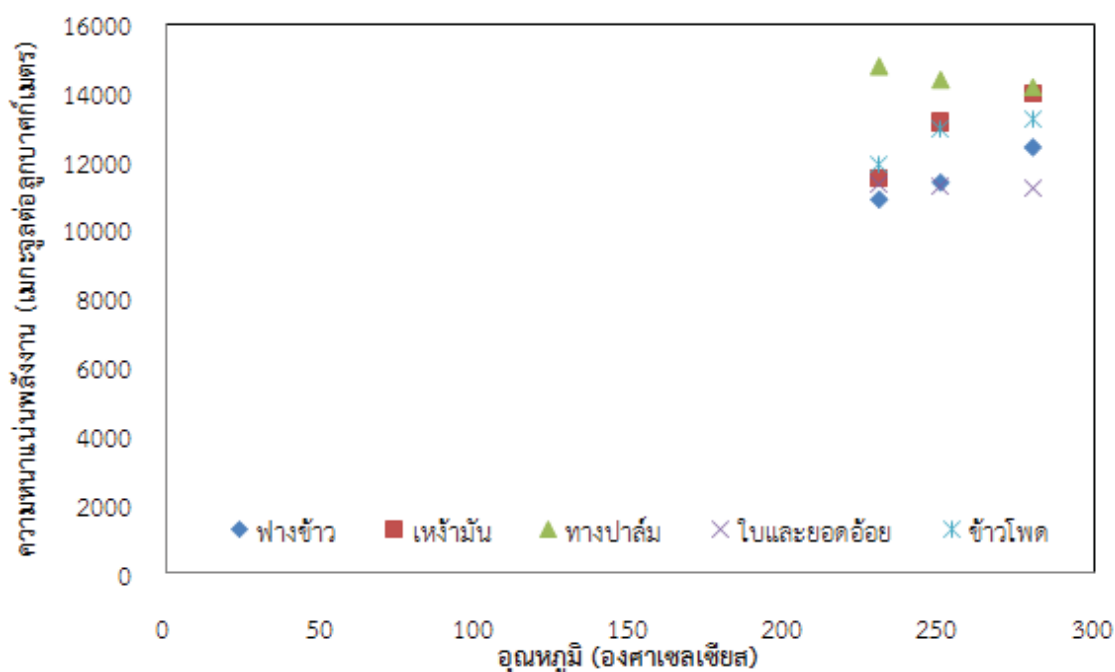
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับผลได้ของชีวมวล ของเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ช้างข้าวโพด และทางปาล์ม ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

4.2.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงาน ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ช้างข้าวโพด และทางปาล์ม

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น กับค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (องศาเซลเซียส) แกนตั้งค่าความหนาแน่นพลังงาน (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า ชีวมวลอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานของฟางข้าวเท่ากับ 10885.87, 11372.75 และ 12381.44 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เหม้ามันจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 11508.01, 13118.10 และ 13948.13 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทางปาล์มจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 14755.23, 14356.05 และ 14138.53 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ใบและยอดอ้อยจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 11314.3, 11244.81 และ 11198.78 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และช้างข้าวโพดจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 11906.92, 12841.36 และ 13212.57 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟคชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานของฟางข้าว เหง้ามัน ใบและยอดอ้อย และซังข้าวโพด มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ในขณะที่ค่าความหนาแน่นพลังงานของทางปาล์มจะมีค่าลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความหนาแน่นพลังงานหาได้จาก ผลคูณของค่าความร้อนกับค่าความหนาแน่นบักก์ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนของฟางข้าว เหง้ามัน ใบและยอดอ้อย และซังข้าวโพด เพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่ค่าความหนาแน่นบักก์ดังแสดงดังรูปที่ 4.9 มีค่าความหนาแน่นบักก์ลดลงเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าความหนาแน่นของพลังงานของฟางข้าว เหง้ามัน ใบและยอดอ้อย และซังข้าวโพด เพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และในอีกแง่หนึ่งพบว่า กรณีค่าความหนาแน่นพลังงานของทางปาล์ม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นพลังงานมีค่าลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ค่าความหนาแน่นบักก์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ลดลงอย่างมาก เป็นผลทำให้ค่าความหนาแน่นของพลังงานของทางปาล์มลดลงเมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟคชันเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเทอร์แฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานของฟางข้าว เหง้ามัน ใบและยอดอ้อย และซังข้าวโพดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนาแน่นพลังงานของทางปาล์มจะมีค่าลดลง



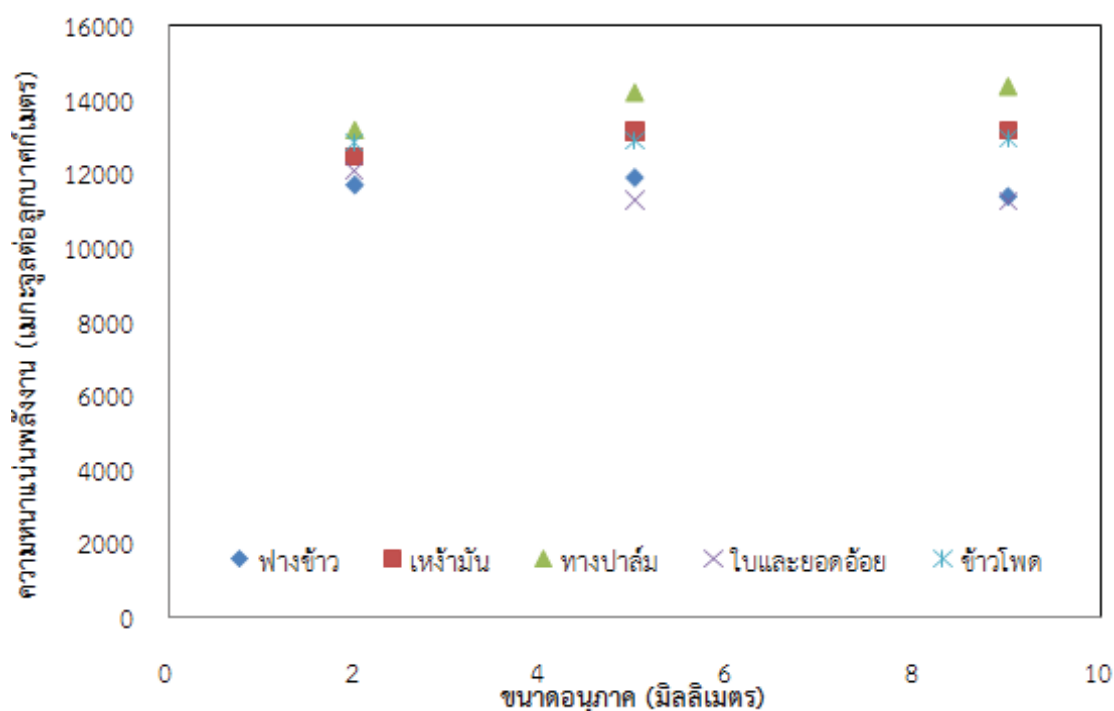
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการเทอร์แฟคชันกับค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอร์ไฟร์ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร

4.2.7 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงาน ของชีวมวล ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น กับค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ แกนนอนแสดงขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (มิลลิเมตร) แกนตั้งค่าความหนาแน่นพลังงาน (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า ชีวมวลอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 250 องศาเซลเซียส ที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานของฟางข้าวเท่ากับ 11673.68, 11865.10 และ 11372.75 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เหง้ามันจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 12435.53, 13102.30 และ 13118.1 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทางปาล์มจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 13165.88, 14190.08 และ 14356.05 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ใบและยอดอ้อยจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 12031.19, 11270.26 และ 11244.81 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และชังข้าวโพดจะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 12841.36, 12893.14 และ 12944.92 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจาก 2 มิลลิเมตร เป็น 5 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจาก 5 มิลลิเมตร เป็น 9 มิลลิเมตร ค่าความหนาแน่นพลังงานกลับมีค่าลดลง ของชีวมวลทุกชนิดจึงไม่สามารถระบุแนวโน้มที่ชัดเจนได้ ดังนั้นเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นพลังงาน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการคำนวณค่าความหนาแน่นพลังงานเกิดจากค่าความร้อนคูณด้วยค่าความหนาแน่นบักก์ ดังนั้นเมื่อค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นบักก์สูงขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานสูงขึ้น แต่จากการศึกษาค่าความร้อน (แสดงในรูปที่ 4.10) และค่าความหนาแน่นบักก์ (แสดงในรูปที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนและค่าความหนาแน่นบักก์ ดังนั้นเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นพลังงานเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นพลังงานของทุกชนิดชีวมวล



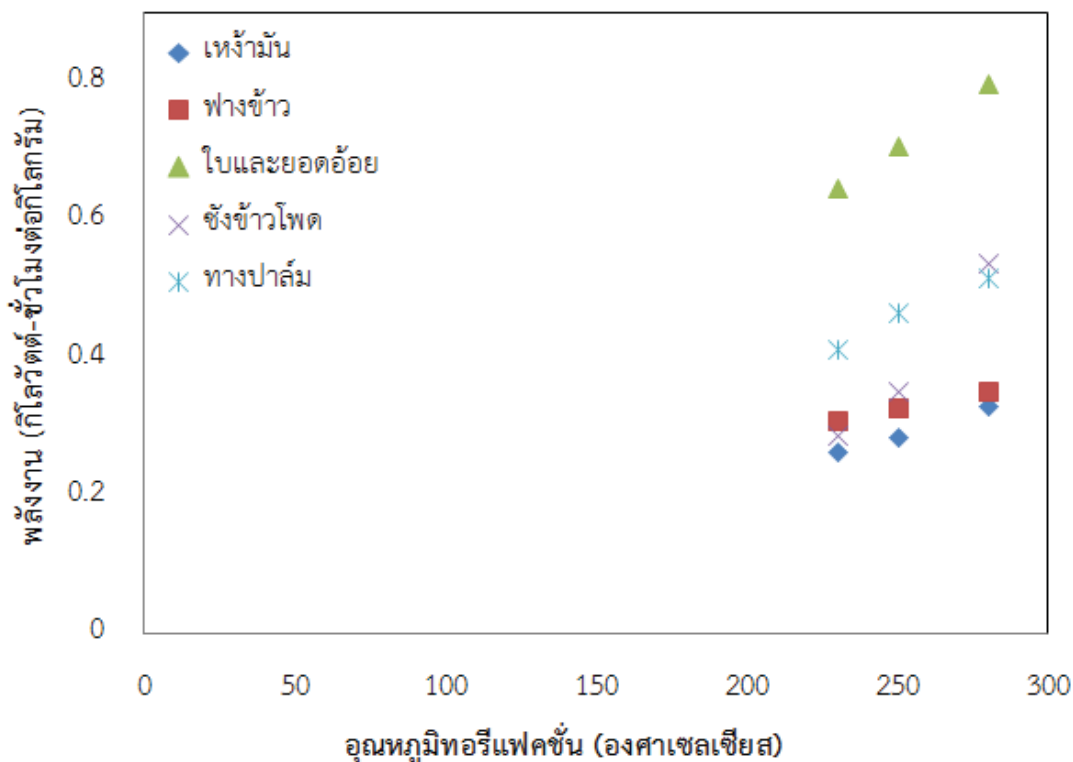
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันกับค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

4.2.8 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการของชีวมวลทั้ง 5 ชีวมวล ได้แก่ เหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงอุณหภูมิทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของเหม้ามันที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.26, 0.29 และ 0.33 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของฟางข้าวที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.31, 0.33 และ 0.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของใบและยอดอ้อยที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.65, 0.71 และ 0.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของชังข้าวโพดที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.29, 0.36 และ 0.54 กิโลวัตต์-

ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรณีทอรีไฟร์เพลเลตของทางปาล์มที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.41, 0.47 และ 0.52 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชีวมวลทอรีไฟร์เพลเลต กรณีทอรีไฟร์เพลเลตแห้งมันที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 8.72 และ 25.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตฟางข้าวที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 6.70 และ 14.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตใบและยอดอ้อยที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 9.83 และ 23.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตซังข้าวโพดที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 22.12 และ 85.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรณีทอรีไฟร์เพลเลตทางปาล์มที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 12.91 และ 25.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ การลดขนาด การขึ้นรูปอัดแท่ง และกระบวนการทอรีแฟคชัน ซึ่งในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ได้ทำการลดขนาดและขึ้นรูปอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการทอรีแฟคชัน ซึ่งมีการใช้พลังงานที่เท่ากัน แต่ในส่วนพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนมากขึ้นเพื่อให้ในได้ช่วงอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่ต้องการ ส่งผลให้การใช้พลังงานสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen and Kuo [32] ที่ทำการทอรีไฟร์เส้นใยปาล์มและยูคาลิปตัส ที่อุณหภูมิ 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 300 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานความร้อนมากกว่า 250 องศาเซลเซียส

ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มขึ้นทุกชนิดของชีวมวล



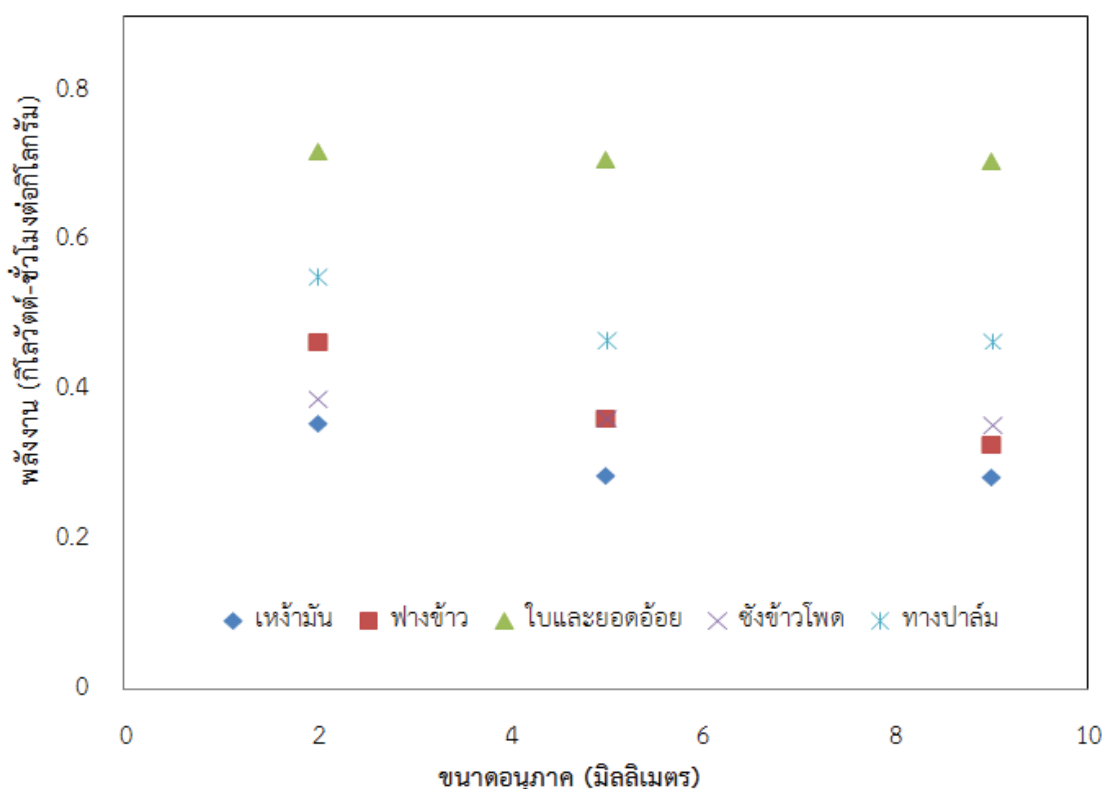
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอร์แฟกซ์กับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร

4.2.9 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิตอร์แฟกซ์ 250 องศาเซลเซียส ของทอร์ไฟร์เพลเลตเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ช้างข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิตอร์แฟกซ์ 250 องศาเซลเซียส ของทอร์ไฟร์เพลเลตเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ช้างข้าวโพด และทางปาล์ม แกนตอนแสดงขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า กรณีทอร์ไฟร์เพลเลตของเหม้ามันที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.36, 0.29 และ 0.29 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอร์ไฟร์เพลเลตของฟางข้าวที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.47, 0.36 และ 0.33 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอร์ไฟร์เพลเลตของใบและยอดอ้อยที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.72, 0.71 และ 0.71 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของซังข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.39, 0.37 และ 0.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรณีทอรีไฟร์เพลเลตของทางปาล์มที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 0.55, 0.47 และ 0.47 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการมีแนวโน้มลดลงทุกชีวมวลทอรีไฟร์เพลเลต กรณีทอรีไฟร์เพลเลตแห้งมันที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 19.32 และ 20.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตฟางข้าวที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 22.10 และ 29.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตใบและยอดอ้อยที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 1.42 และ 1.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตซังข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 6.57 และ 9.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรณีทอรีไฟร์เพลเลตทางปาล์มที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 15.25 และ 15.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ การลดขนาด การขึ้นรูปอัดแท่ง และกระบวนการทอรีแฟกชัน เมื่อพิจารณาผลของการลดขนาด พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง เนื่องจากในกระบวนการลดขนาด มีการใช้ขนาดตะแกรงเพื่อคัดแยกขนาดอนุภาคให้ได้ตามที่กำหนด เมื่อขนาดตะแกรงในการคัดแยกอนุภาคใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ชีวมวลที่ทำการลดขนาดสามารถผ่านตะแกรงได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ใช้พลังงานในการลดขนาดลดลง ในขณะที่พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ทำให้ยากต่อการขึ้นรูปอัดแท่ง ส่งผลให้ใช้พลังงานในการขึ้นรูปอัดแท่งมากขึ้น เมื่อเทียบกับอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Peng et al. [10] ที่ทำการขึ้นรูปอัดแท่งที่อนุภาคต่างๆ พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ทั้งกระบวนการ พบว่าการใช้พลังงานลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น

ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงทุกชนิดของชีวมวล



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

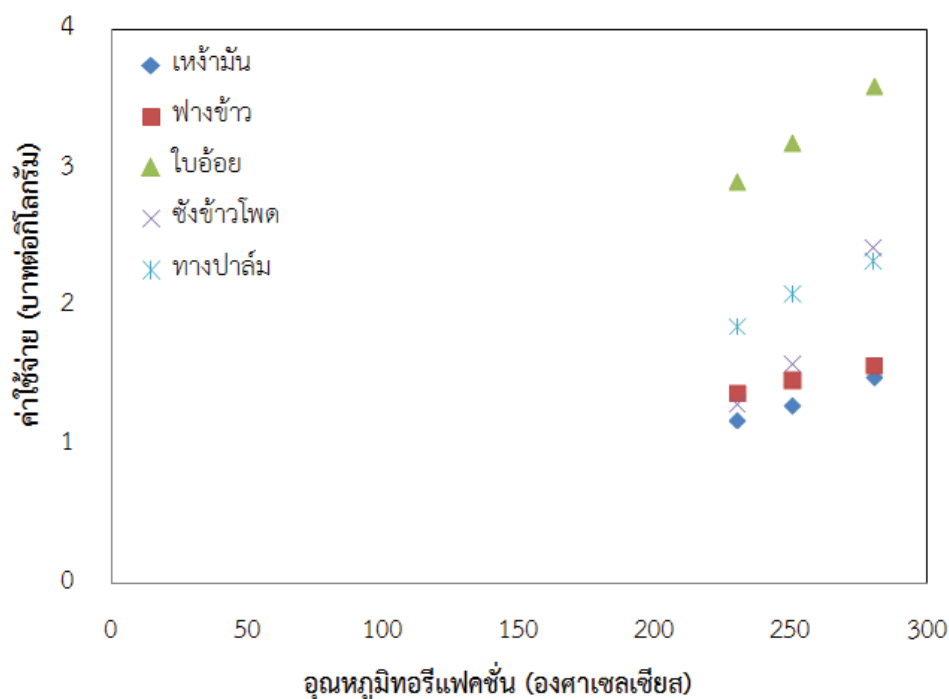
4.2.10 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการของชีวมวลทั้ง 5 ชีวมวล ได้แก่ เหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชั่งข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอรีแฟคชันกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร ของทอรีไฟร์เพลเลตจากเหม้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชั่งข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงอุณหภูมิทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ (บาทต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของเหม้ามันที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.19, 1.29 และ 1.49 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของฟางข้าวที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.39, 1.48 และ 1.58 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของใบและยอดอ้อยที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 2.90, 3.19 และ 3.59 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอรีไฟร์เพลเลตของชั่งข้าวโพด

ที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.31, 1.59 และ 2.43 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรณีเทอร์โฟลเพลตของทางปาล์มที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.86, 2.10 และ 2.33 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟลคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกชีวมวลเทอร์โฟลเพลต กรณีเทอร์โฟลเพลตเห้งามันที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 8.72 และ 25.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีเทอร์โฟลเพลตฟางข้าวที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 6.70 และ 14.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีเทอร์โฟลเพลตใบและยอดอ้อยที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 9.83 และ 23.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีเทอร์โฟลเพลตซังข้าวโพดที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 22.12 และ 85.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรณีเทอร์โฟลเพลตทางปาล์มที่อุณหภูมิเทอร์แฟลคชัน 250 และ 280 องศาเซลเซียส มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส คิดเป็น 12.91 และ 25.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการคำนวณค่าใช้จ่ายของกระบวนการอัดแท่ง-เทอร์โฟลสามารถคำนวณได้จากพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ (ดังแสดงในหัวข้อ 4.2.8) คูณกับค่าไฟฟ้ามีค่าคงที่เท่ากับ 4.5 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ก็จะได้ผลของค่าใช้จ่ายของแต่ละกระบวนการ และเมื่อวิเคราะห์ผลของค่าใช้จ่ายที่ใช้ทั้งกระบวนการจะแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายรวมทั้งกระบวนการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้เมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟลคชันเพิ่มขึ้น

ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเทอร์แฟลคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มขึ้นทุกชนิดของชีวมวล



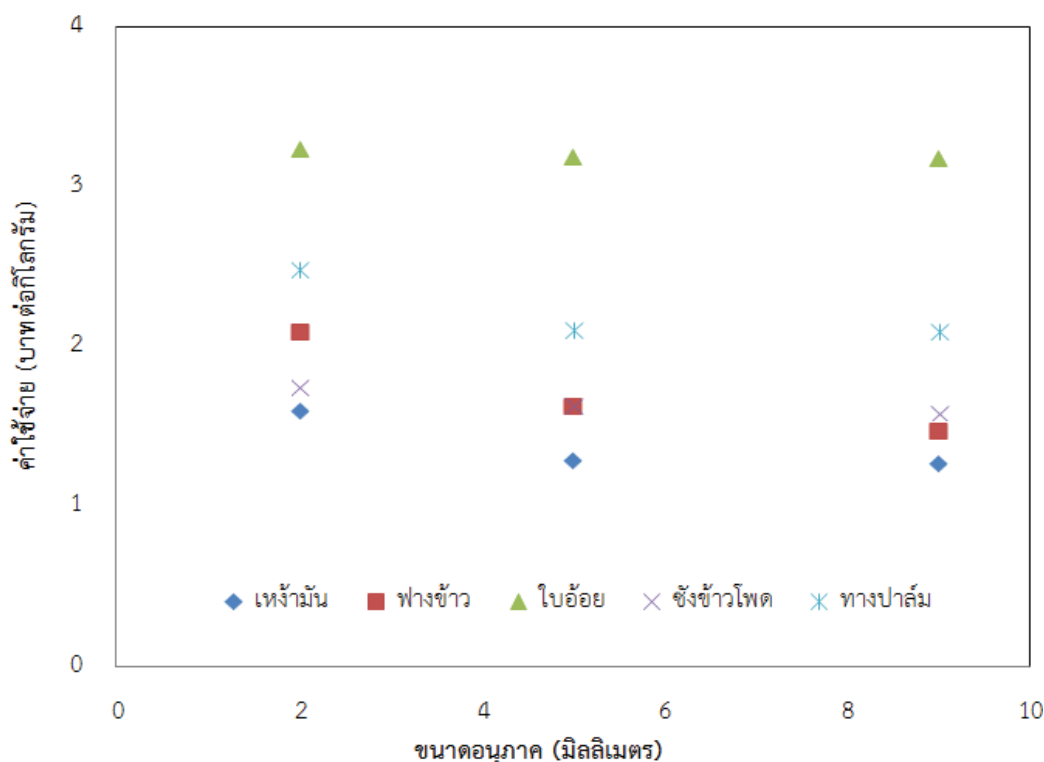
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการทอร์เควชันกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่ขนาด 9 มิลลิเมตร

4.2.11 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิทอร์เควชัน 250 องศาเซลเซียส ของทอร์เควไฟร์เพลเลตเหน้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิทอร์เควชัน 250 องศาเซลเซียส ของทอร์เควไฟร์เพลเลตเหน้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม แกนนอนแสดงขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร) แกนตั้งแสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ (บาทต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า กรณีทอร์เควไฟร์เพลเลตของเหน้ามันที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.62, 1.30 และ 1.29 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอร์เควไฟร์เพลเลตของฟางข้าวที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 2.10, 1.64 และ 1.48 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอร์เควไฟร์เพลเลตของใบและยอดอ้อยที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 3.25, 3.20 และ 3.19 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ กรณีทอร์เควไฟร์เพลเลตของชังข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 1.76, 1.64 และ 1.59 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรณีทอร์เควไฟร์เพลเลตของทาง

ปาล์มที่ขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ 2.49, 2.11 และ 2.10 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการมีแนวโน้มลดลงทุกชีวมวลทอริไฟร์เพลเลต กรณีทอริไฟร์เพลเลตแห้งที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุหภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 19.32 และ 20.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอริไฟร์เพลเลตฟางข้าวที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุหภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 22.10 และ 29.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอริไฟร์เพลเลตใบและยอดอ้อยที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุหภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 1.42 และ 1.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กรณีทอริไฟร์เพลเลตซังข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุหภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 6.57 และ 9.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรณีทอริไฟร์เพลเลตทางปาล์มที่ขนาดอนุภาค 5 และ 9 มิลลิเมตร มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงเมื่อเทียบกับอนุหภูมิ 2 มิลลิเมตร คิดเป็น 15.25 และ 15.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ ประกอบไปด้วยกระบวนการลดขนาด กระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง และกระบวนการทอริแฟคชัน ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละกระบวนการจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ (ซึ่งอธิบายวิธีการคำนวณไว้ในหัวข้อ 4.2.9) ของการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ด้วย ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดสำหรับการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ ของชีวมวลขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร จะถูกนำมาพิจารณา จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้ในการอัดแท่งทอริไฟร์ของชีวมวลขนาด 2 มิลลิเมตร มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 5 มิลลิเมตร และ 9 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากถ้าต้องการลดขนาดอนุภาคให้มีขนาดเล็กลงมากๆ จำเป็นจะต้องใช้พลังงานอย่างมากในการลดขนาด จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงทุกชนิดของชีวมวล



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

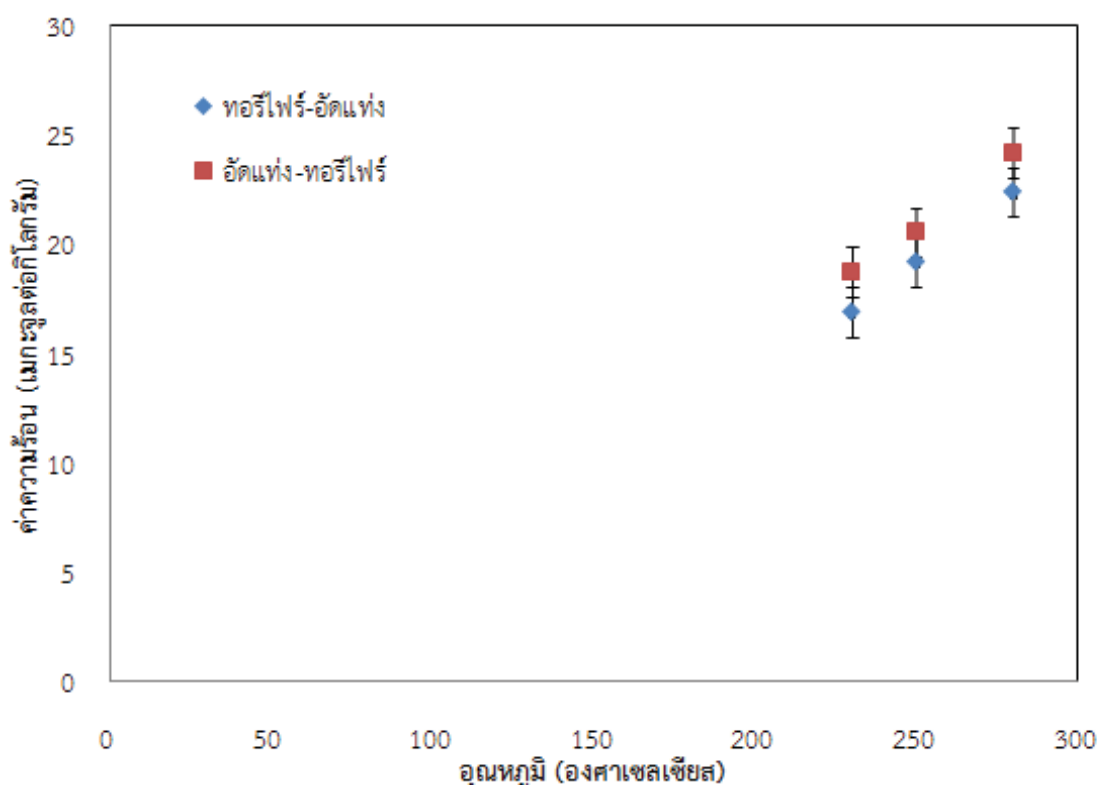
4.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของชีวมวล พลังงาน และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

สำหรับการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะดำเนินการเปรียบเทียบที่เงื่อนไขของกระบวนการทอรีไฟร์แฟคชั่นที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เนื่องจากการศึกษาในหัวข้อ 4.1 ชีวมวลทอรีไฟร์-อัดแท่งจะสามารถขึ้นรูปอัดแท่งได้ ที่เงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์แฟคชั่นไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 60 นาที แต่ในขณะที่ดำเนินการศึกษากระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งของชีวมวลทอรีไฟร์ที่เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการทอรีไฟร์ 30 นาที จะพบว่าชีวมวลทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส สามารถขึ้นรูปได้ ดังนั้นเมื่อต้องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จึงเลือกศึกษาที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์แฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

4.3.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

จากรูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์ แพลกซ์กับค่าความร้อนของเห้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์แพลกซ์ (องศาเซลเซียส) แกนตั้งค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า เห้งน้ำมันอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์แพลกซ์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความร้อนเท่ากับ 18.72 ± 1.13 , 20.54 ± 1.13 และ 24.20 ± 1.13 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เห้งน้ำมันทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิทอรีไฟร์แพลกซ์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความร้อนเท่ากับ 16.44 ± 1.13 , 19.63 ± 1.13 และ 22.37 ± 1.13 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีไฟร์แพลกซ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และในอีกแง่หนึ่งพบว่า ค่าความร้อนของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ มีค่าความร้อนที่ไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ เนื่องจากในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เชื้อเพลิงจะถูกทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์แพลกซ์เดียวกัน ส่งผลให้ค่าความร้อนของทั้งสองกระบวนการมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์แพลกซ์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ



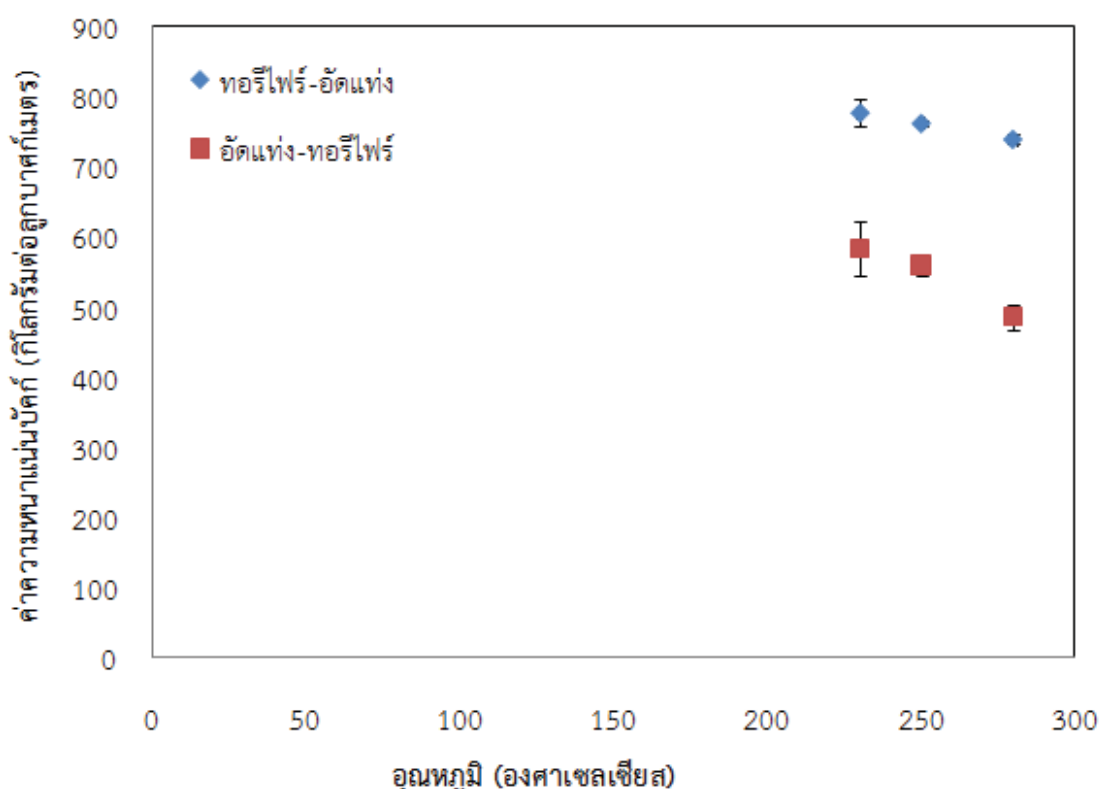
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับค่าความร้อนของ
 เหม้ามันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ และกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่ง

4.3.2 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นบักซ์ของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่งและกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์

จากรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน กับค่าความหนาแน่นบักซ์ของเหม้ามันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ และกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่ง แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งค่าความหนาแน่นบักซ์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า เหม้ามันอัดแท่ง-ทอริไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นบักซ์เท่ากับ 583.26 ± 38.97 , 559.68 ± 15.98 และ 486.30 ± 17.98 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เหม้ามันทอริไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นบักซ์เท่ากับ 777.28 ± 20.15 , 762.43 ± 3.69 และ 739.69 ± 5.76 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบักซ์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ และกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่งมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และค่าความหนาแน่นบักซ์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ จะมีค่าความหนาแน่นบักซ์น้อยกว่า ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรี

ไฟร์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส คิดเป็น 24.96, 26.59 และ 34.26 เปอร์เซ็นต์ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากกรณีกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง ชีวมวลถูกทอรีไฟร์ทำให้เกิดการสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วน ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีรูปพรุน แต่จะถูกอัดให้แน่นด้วยกระบวนการอัดแท่ง ทำให้เชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นบักศ์สูง ในขณะที่กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลจะถูกอัดแท่ง จากนั้นถูกทอรีไฟร์ ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วน ส่งผลให้เชื้อเพลิงมีรูปพรุน เป็นผลให้เชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นบักศ์ลดลง และต่ำกว่ากระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบักศ์มีค่าลดลง และค่าความหนาแน่นบักศ์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นบักศ์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

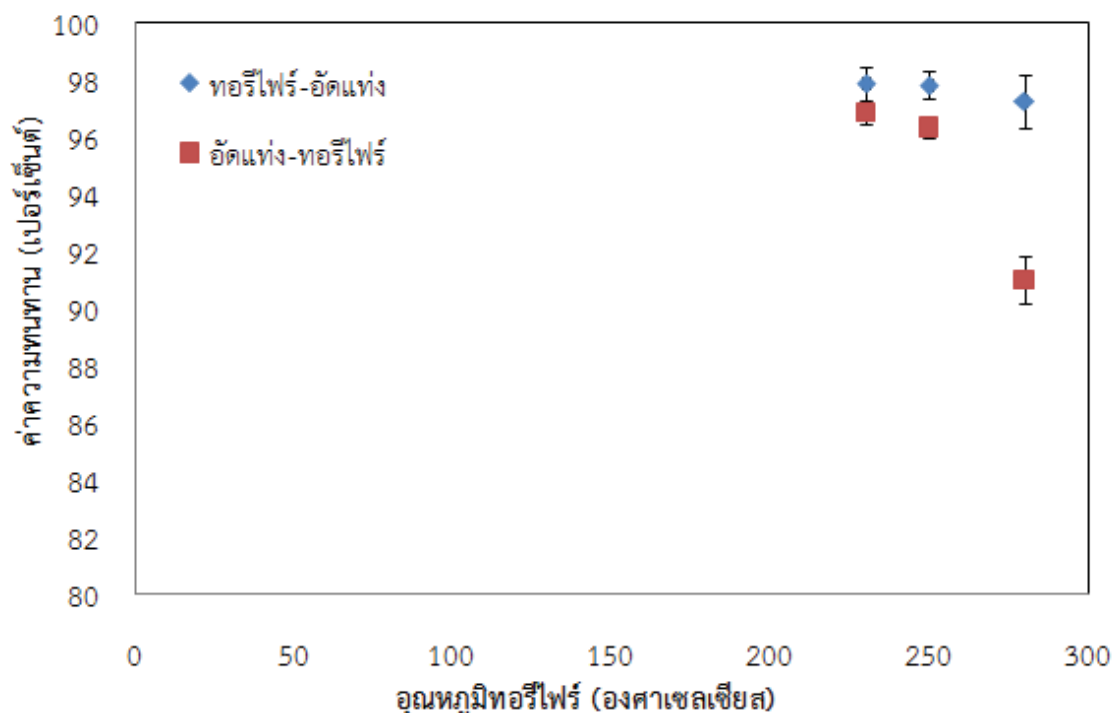


รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชันกับค่าความหนาแน่นบักศ์ของเหง้ามันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

4.3.3 การเปรียบเทียบค่าความทนทานของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง

จากรูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น กับค่าความทนทานของเห้งามันที่ผ่านกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (องศาเซลเซียส) แกนตั้งค่าความทนทาน (เปอร์เซ็นต์) จากรูปพบว่า เห้งามันอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความทนทานเท่ากับ 96.81 ± 0.36 , 96.29 ± 0.32 และ 90.96 ± 0.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เห้งามันทอรีไฟร์-อัดแห้งที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความร้อนเท่ากับ 97.85 ± 0.61 , 97.79 ± 0.48 และ 97.24 ± 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้งมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และอีกแง่หนึ่งพบว่า ค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ จะมีค่าความทนทานน้อยกว่า ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง ที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส คิดเป็น 1.06, 1.52 และ 6.45 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง ชีวมวลจะถูกทอรีไฟร์ทำให้เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินบางส่วน ทำให้ชีวมวลสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วน และเกิดรูพรุน แต่จะถูกอัดให้แน่นในกระบวนการอัดแห้ง ทำให้รูพรุนที่เกิดในพื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงน้อยลง ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นและสามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้นเมื่อเข้าเครื่องทดสอบ ในขณะที่กระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ เชื้อเพลิงจะถูกอัดให้แน่น และจะถูกทอรีไฟร์ทำให้เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส และลิกนินบางส่วน ทำให้ชีวมวลสูญเสียมวลของสารระเหยบางส่วน และเกิดรูพรุน ส่งผลให้สามารถรับแรงกระแทกได้น้อยลง และเป็นผลให้ค่าความทนทานของกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ ต่ำกว่ากระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความทนทานมีค่าลดลง และค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชั่นกับค่าความทนทานของเหง้ามันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

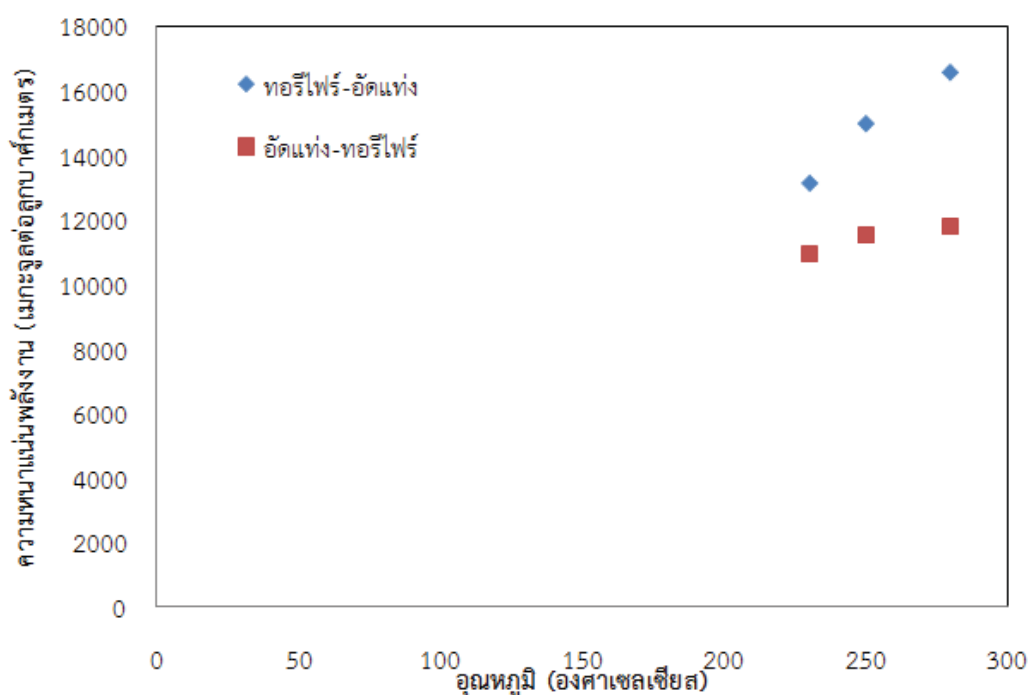
4.3.4 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

จากรูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น กับค่าความหนาแน่นพลังงานของเหง้ามันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (องศาเซลเซียส) แกนตั้งค่าความหนาแน่นพลังงาน (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) จากรูปพบว่า เหง้ามันอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นบักก์เท่ากับ 10917.60, 11498.20 และ 11766.76 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เหง้ามันทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิทอรีแฟคชั่น 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเท่ากับ 13129.84, 14967.45 และ 16547.27 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีค่าน้อยกว่า ค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิที่ใช้ใน

กระบวนการทอรีไฟร์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส คิดเป็น 16.85, 23.18 และ 28.89 เปอร์เซ็นต์

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่าความหนาแน่นพลังงานสามารถหาได้จากผลคูณของค่าความร้อน และค่าความหนาแน่นบักก์ จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง มีค่าค่าความร้อนที่ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าความหนาแน่นบักก์ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าค่าความหนาแน่นบักก์ของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมิต่ำกว่าค่าความหนาแน่นบักก์ที่ได้จากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมาก จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานของกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง มีค่าสูงกว่ากระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีค่าต่ำกว่าค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชั่นกับค่าความหนาแน่นพลังงานของเห้จ้มนที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

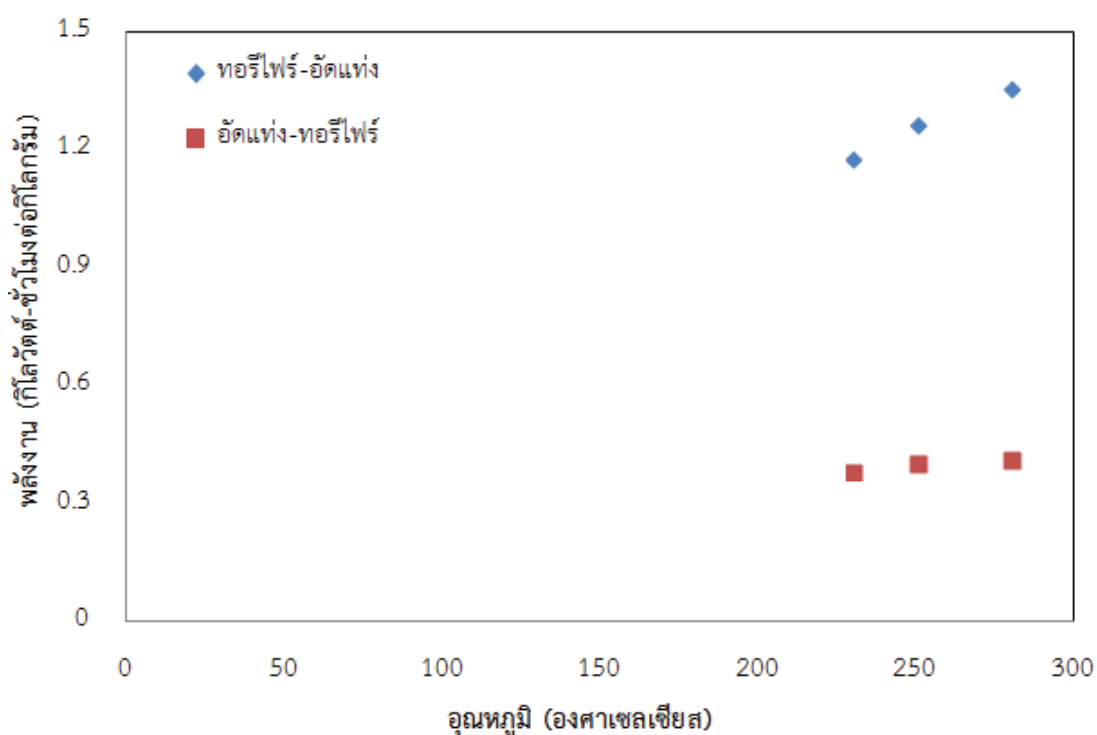
4.3.5 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

จากรูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ(กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่น (องศาเซลเซียส) จากรูปพลังงานที่ใช้จากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที จะมีค่าเท่ากับ 1.18, 1.27 และ 1.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมตามลำดับ พลังงานที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที จะมีค่าเท่ากับ 0.38, 0.40 และ 0.42 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้แสดงในขั้นต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่งทอรีไฟร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งจะมีค่าสูงกว่ากระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ คิดเป็น 67.41, 68.17, และ 69.36 เปอร์เซ็นต์ ของชีวมวลที่ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด กระบวนการทอรีแฟคชั่น และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง จากข้อมูลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ จะแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งมีค่าใกล้เคียงกัน ของทั้งสองกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นของทั้ง 2 กระบวนการนั้นมีความต่างกันเนื่องจากความหนาแน่นของชีวมวลที่นำมาทอรีไฟร์ของแต่ละกระบวนการนั้นมีความแตกต่างกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพรวมของพลังงานที่ใช้ของทุกกระบวนการพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นจะส่งผลต่อภาพรวมของพลังงานที่ใช้มากที่สุด ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ผลของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้ ของทั้งสองกระบวนการนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen and Kuo [32] ที่ทำการทอรีไฟร์เส้นใยปาล์มและยูคาลิปตัส ที่อุณหภูมิ 250 และ 300 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 300 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานความร้อนมากกว่า 250 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ พบว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมีค่าสูง เนื่องจากชีวมวลที่นำมาทอรีไฟร์มีค่าความหนาแน่นต่ำ เป็นผลให้การใช้พลังงานต่อกิโลกรัมมีค่ามาก ในขณะที่กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลที่นำมาทอรีไฟร์มีค่าความหนาแน่นสูง เป็นผลให้การใช้พลังงาน

ต่อกิโลกรัมน้อย ทำให้การใช้พลังงานของกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ มีค่าต่ำกว่ากระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้พลังงานที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้งจะมีค่าสูงกว่ากระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์



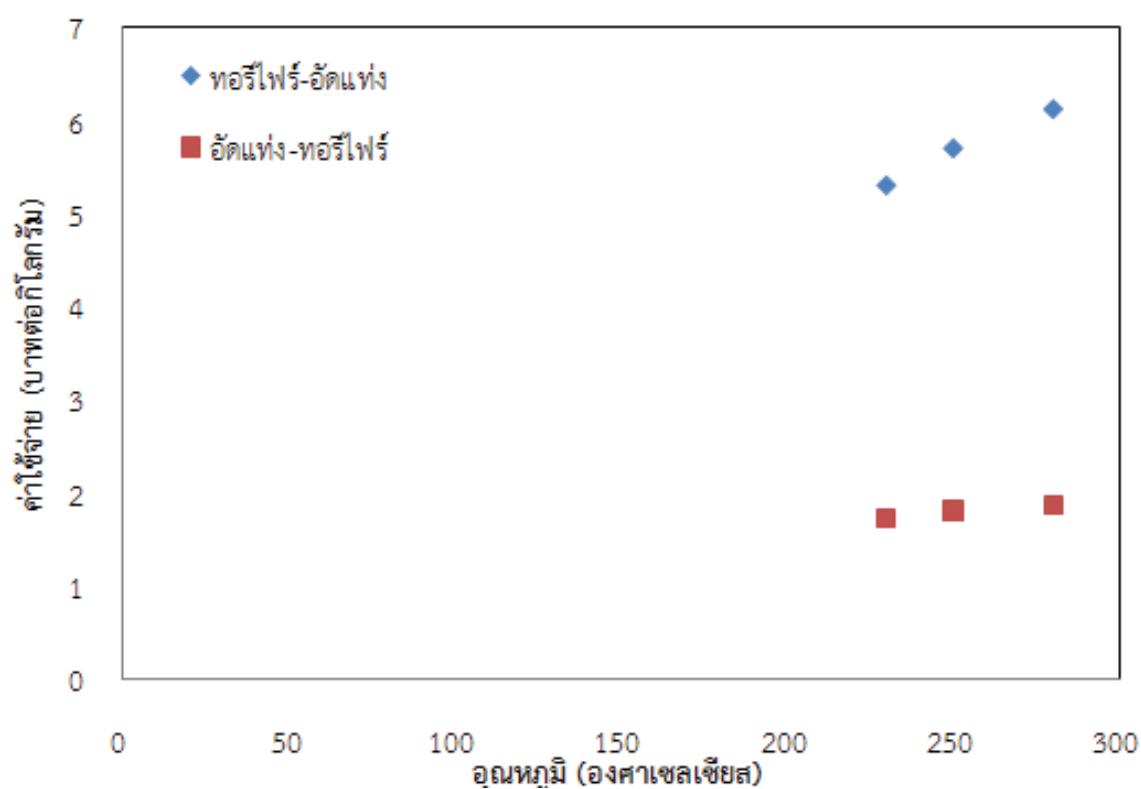
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้งที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส

4.3.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง และกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์

จากรูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน กับค่าใช้จ่ายของเห้จ้ำมันที่ผ่านกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแห้ง แกนนอนแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชัน (องศาเซลเซียส) แกนตั้งแสดงค่าใช้จ่าย (บาทต่อกิโลกรัม) จากรูปพบว่า เห้จ้ำมันอัดแห้ง-ทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.73, 1.81 และ 1.87 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เห้จ้ำมันทอรีไฟร์-อัดแห้งที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 5.30, 5.70 และ 6.12 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น

ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งค่าใช้จ่ายของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีค่าน้อยกว่า ค่าใช้จ่ายของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งที่อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส คิดเป็น 67.41, 68.17 และ 69.36 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์สามารถคำนวณได้จากพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ (ดังแสดงในหัวข้อ 4.3.5) คูณกับค่าไฟฟ้ามีค่าคงที่เท่ากับ 4.5 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ก็จะได้ผลของค่าใช้จ่ายของแต่ละกระบวนการ และเมื่อวิเคราะห์ผลของค่าใช้จ่ายที่ใช้ทั้งกระบวนการจะแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายรวมทั้งกระบวนการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เนื่องจากพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด กระบวนการทอรีแฟคชัน และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง จากข้อมูลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ จะแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด และกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันนั้นแตกต่างกัน เนื่องจากกรณีของกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง ชีวมวลจากการลดขนาดจะถูกนำมาทอรีไฟร์ก่อนขึ้นรูปอัดแท่ง ซึ่งชีวมวลเหล่านี้มีค่าความหนาแน่นต่ำ เป็นผลให้การใช้พลังงานต่อกิโลกรัมมีค่ามาก ในขณะที่กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ชีวมวลจากการลดขนาดจะถูกนำมาอัดแท่งก่อนทอรีไฟร์ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้มีค่าความหนาแน่นสูง เป็นผลให้การใช้พลังงานต่อกิโลกรัมน้อย ทำให้การใช้พลังงานของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ มีค่าต่ำกว่ากระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง ซึ่งส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวลดลงตามไปด้วย

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุนหภูมิในกระบวนการทอริแฟคชั่นกับค่าใช้จ่ายของเหง้า
มันที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอริไฟร์ และกระบวนการทอริไฟร์-อัดแท่ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เพื่อศึกษากระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลต คุณสมบัติ ผลได้ของชีวมวล การใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตของทอรีไฟร์เพลเลต ทั้ง 2 กระบวนการผลิต คือ กระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคชีวมวล 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร และอุณหภูมิทอรีแฟคชัน 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ที่เวลาทอรีแฟคชัน 1 ชั่วโมง สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 กรณีกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

สามารถสรุปได้ว่าการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตด้วยกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง โดยการใช้เครื่องอัดแท่งไดน์แบบหมุน (Rotary Flat Die) ซึ่งเป็นเครื่องที่เหมาะสมในระดับชุมชน สามารถขึ้นรูปอัดแท่งแห้งได้ในช่วงที่อุณหภูมิทอรีแฟคชันเท่ากับ 230, 250, และ 280 องศาเซลเซียสใช้เวลา 30 นาที และสามารถขึ้นรูปได้ถ้าเงื่อนไขของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันไม่เกิน 250 องศาเซลเซียสที่เวลาในการทอรีไฟร์เท่ากับ 60 นาที และไม่สามารถอัดแท่งชีวมวลทอรีไฟร์จาก ฟาง ข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และหางปาล์ม ดังนั้นกระบวนการนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับชุมชน

5.2 กรณีกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

5.2.1 กระบวนการผลิตทอรีไฟร์เพลเลต ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

5.2.1.1 กรณีแห้งสำหรับอัดแท่ง

แห้งสำหรับอัดแท่งดิบจะถูกสับหยาบ สับละเอียด ผสมน้ำ ขึ้นรูปอัดแท่งโดยผ่านเครื่องขึ้นรูปเพียงรอบเดียว จากนั้นนำชีวมวลแห้งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชัน

5.2.1.2 กรณีฟางข้าว

ฟางข้าวจะถูกสับละเอียด ผสมน้ำ ขึ้นรูปอัดแท่งโดยผ่านเครื่องขึ้นรูปเพียงรอบเดียว จากนั้นนำชีวมวลแห้งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชัน

5.2.1.3 กรณีไบยอตอ้อย

ไบยอตอ้อยสับละเอียด ผสมน้ำ ขึ้นรูปอัดแท่งโดยผ่านเครื่องขึ้นรูป 5 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแห้งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชัน

5.2.1.4 กรณีซังข้าวโพด

ซังข้าวโพดสับละเอียด ผสมน้ำ ขึ้นรูปอัดแท่งโดยผ่านเครื่องขึ้นรูป 8 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแห้งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชัน

5.2.1.5 กรณีทางปาล์ม

ทางปาล์มจะถูกสับหยาบ สับละเอียด ผสมน้ำและซังข้าวโพดสับละเอียด ขึ้นรูปอัดแท่งโดยผ่านเครื่องขึ้นรูป 2 รอบ จากนั้นนำชีวมวลแห้งไปเข้าเครื่องทอรีแฟคชัน

5.2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความหนานทาน และความหนาแน่นบักก์ สำหรับขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความหนานทาน และความหนาแน่นบักก์ สำหรับขนาดอนุภาค 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ของเหง้ามัน ฟางข้าว ไบยอตอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงหนานทาน และค่าความหนาแน่นบักก์มีค่าลดลงทุกชนิดชีวมวล

5.2.3 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความหนานทาน และความหนาแน่นบักก์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส

ผลของขนาดอนุภาคที่มีผลต่อคุณสมบัติค่าความร้อน ค่าความหนานทาน และความหนาแน่นบักก์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ของเหง้ามัน ฟางข้าว ไบยอตอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น จะไม่มีผลต่อค่าความร้อน ค่าความหนานทาน และค่าความหนาแน่นบักก์สำหรับทุกชนิดชีวมวล

5.2.4 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ สำหรับชีวมวลขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ สำหรับชีวมวลขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ของเหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว ไบยอตอ้อย ซังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลได้ของชีวมวลมีค่าลดลง ทุกขนาดอนุภาคของชีวมวล

5.2.5 ผลของขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส

ผลของขนาดที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อผลได้ของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่า เมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น จะไม่ส่งผลกระทบต่อผลได้ของชีวมวล ทุกชนิดของชีวมวล

5.2.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงาน ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานของฟางข้าว เหง้ามัน ใบและยอดอ้อย และชังข้าวโพดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความหนาแน่นพลังงานของทางปาล์มจะมีค่าลดลง

5.2.7 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงาน ของชีวมวลทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ เหง้ามัน ฟางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลในการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นพลังงานของทุกชนิดชีวมวล

5.2.8 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ สำหรับชีวมวลขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ สำหรับชีวมวลขนาด 2, 5 และ 9 มิลลิเมตร ของเหง้ามัน ฟางข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่า เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มขึ้นทุกชนิดของชีวมวล

5.2.9 ผลของขนาดอนุภาคที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส

ผลของขนาดอนุภาคที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อทอรีไฟร์ที่อุณหภูมิ 230, 250 และ 280 องศาเซลเซียส ของเหง้ามันสำ พางข้าว ใบยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงทุกชนิดของชีวมวล

5.2.10 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการของชีวมวลทั้ง 5 ชีวมวล ได้แก่ เหง้ามัน พางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่ออุณหภูมิทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการเพิ่มขึ้นทุกชนิดของชีวมวล

5.2.11 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ ที่อุณหภูมิทอรีแฟคชัน 250 องศาเซลเซียส ของทอรีไฟร์เพลเลตเหง้ามัน พางข้าว ใบและยอดอ้อย ชังข้าวโพด และทางปาล์ม

ผลของขนาดอนุภาคที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ เมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการลดลงทุกชนิดของชีวมวล

5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของชีวมวล พลังงาน และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งและกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

5.3.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งและกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง มีค่าความร้อนที่ไม่แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ

5.3.2 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นบัคค์ของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งและกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นบัคค์มีค่าลดลง และค่าความหนาแน่นบัคค์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นบัคค์ของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

5.3.3 การเปรียบเทียบค่าความทนทานของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความทนทานมีค่าลดลง และค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าความทนทานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

5.3.4 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ได้จากกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ และกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์ จะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นพลังงานของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

5.3.5 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้พลังงานที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่งจะมีค่าสูงกว่ากระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

5.3.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง และกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์จะมีค่าน้อยกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์-อัดแท่ง

รายการอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ๒๕๕๓
- [2] Basu P. Biomass gasification and pyrolysis. Oxford: Elsevier; 2010. p. 1-359.
- [3] สถาบันพลังงานญี่ปุ่น. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย; 2008.
- [4] Sheng C, Azevedo JLT. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. Biomass and Bioenergy 2005;28(5):499-07.
- [5] Erol M, Haykiri-Acma H, Kucukbayrak S. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. Renewable Energy 2010;35(1):170-3.
- [6] Rousset P, A guitar C, Labbe N, Commandre JM. Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction. Bioresource Technology 2011;107(17):8225-31.
- [7] Ferro DT, Vigouroux V, Grimm A, Zanzi R. Torrefaction of agricultural and forest residues. Cubasolar, 2004.
- [8] Prins MJ. Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction Technische Universiteit Eindhoven, 2005.
- [9] Abdullah H, Wu H. Biochar as a Fuel: 1. Properties and Grindability of Biochars Produced from the Pyrolysis of Mallee Wood under Slow-Heating Conditions. Energy & Fuels 2009;23(8):4174-81.
- [10] Peng JH, Bi HT, Sokhansanj S, Lim JC. A Study of Particle Size Effect on Biomass Torrefaction and Densification. Energy & Fuels 2012;26(6):3826-39.
- [11] Tumuluru JS, Wright CT, Hess RJ, D. Boardman R, Sokhansanj S. Review on Biomass Torrefaction Process and Product Properties. S-1041 Symposium on Thermochemical Conversion, Oklahoma State University, Stillwater, August 2nd, 2011.
- [12] Pellet Fuels Institute Standard Operating Procedure for: Durability Testing – Residential/Commercial Pellet Fuels by Kansas State University Code: LD2668.T4.1962 Y68

- [13] Nolan A, Donnell K M, Devlin G J, Carroll J P, and Finnan J. Economic Analysis of Manufacturing Costs of Pellet Production in the Republic of Ireland Using Non-Woody Biomass. *The Open Renewable Energy Journal* 2006; 3: 1-11.
- [14] Mani S, Sokhansanj S, Bi X, A. Turhollow. Economics of Producing Fuel Pellets from Biomass. *Applied Engineering in Agriculture* 2006; 22: 421- 6.
- [15] Sylvia H. Larsson, Magnus Rudolfsson, Martin Nordwaeger, Ingemar Olofsson, Robert Samuelsson. Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce. *Applied Energy* 2012
- [16] Wang G J, Luo Y H, Deng J, et al. Pretreatment of biomass by torrefaction. *Chinese Sci Bull* 2011; 56: 1442–8
- [17] Prins MJ, Ptasiński KJ, Janssen FJJG. Torrefaction of wood Part 1. Weight loss kinetics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2006; 77: 28-34
- [18] Prins MJ, Ptasiński KJ, Janssen FJJG. Torrefaction of wood Part 2. Analysis of dproducts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2006; 77:35-40
- [19] Bergman, P.C.A. Boersma, A.R. et al (2004). Torrefaction for Entrained-Flow Gasification of Biomass. Energy research Centre of the Netherlands.
- [20] Arshadi M, Gref R, Geladi P, Dahlqvist S-A, Lestander T. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality. *Fuel Process Technol* 2008;89:1442–7.
- [21] Nielsen NPK, Holm JK, Felby C. Effect of fiber orientation on compression and frictional properties of sawdust particles in fuel pellet production. *Energy Fuel* 2009;23:3211–6
- [22] MANUNYA PHANPHANICH B.S., Kasetsart University, Thailand, 2003, PELLETING CHARACTERISTICS OF TORREFIED FOREST BIOMASS
- [23] Samuelsson R, Thyrel M, Michael Sjöström, Torbjörn A. Lestander. Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. *Fuel Processing Technology* 2009; 90: 1129–34.
- [24] Bergman, P.C.A. 2005. Combined torrefaction and pelletisation: The TOP Process. ECN-C--05-073.

- [25] Li H, Liu X, Legros R, Xiaotao T B, Lim C J, ShahabSokhansanj. Pelletization of torrefied sawdust and properties of torrefied pellets. *Applied Energy* 2012; 93: 680–685.
- [26] Sylvia H. Larsson, Magnus Rudolfsson, Martin Nordwaeger, IngemarOlofsson, Robert Samuelsson. Effects of moisture content, torrefaction temperature, and die temperature in pilot scale pelletizing of torrefied Norway spruce. *Applied Energy* 2012
- [27] Wolfgang Stelte, Craig Clemons, Jens K. Holm, Anand R. Sanadi, Jesper, Ahrenfeldt,Lei Shang, Ulrik B. Henriksen. Pelletizing properties of torrefied spruce. *Biomass and bioenergy* 2011; 35: 4690-4698
- [28] Wolfgang Stelte, Craig Clemons, Jens K. Holm, Anand R. Sanadi, Jesper, Ahrenfeldt,Lei Shang, Ulrik B. Henriksen. Pelletizing properties of torrefied wheat straw. *Biomass and bioenergy* 2013; 49: 214-221
- [29] Felix Fonseca Felfli, Carlos Alberto Luengo, Jose Antonio Suárez, Pedro AnibalBeatón. Wood briquette torrefaction. *Energy for Sustainable Development*, Volume IX No. 3, September 2005
- [30] Adrian Pirraglia, Ronalds Gonzalez, Daniel Saloni, Joseph Denig. Technical and economic assessment for the production of torrefied ligno-cellulosic biomass pellets in the US. *Energy Conversion and Management* 2013; 66: 153-164
- [31] Lei Shang ,Niels Peter K. Nielsen^c, Jonas Dahl, Wolfgang Stelte, Jesper Ahrenfeldt, Jens Kai Holm, Tobias Thomsen, Ulrik B. Henriksen. Quality effects caused by torrefaction of pellets made from Scots pine. *Fuel Processing Technology* 2012;101: 23-28.
- [32] Wei-Hsin Chen and Shih-Hsien Liu. Thermal characterization of oil palm fiber and eucalyptus in torrefaction. *Energy* 2014:1-9.
- [33] Young-Hun Kim, Soo-Min Lee, Hyoung-Woo Lee, Jae-Won Lee. Physical and chemical characteristics of products from the torrefaction of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*). *Bioresource Technology* 2012: 120-5.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติและพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปอัดแท่งทั้งกระบวนการ

ตารางผนวก ก.1 ตารางแสดงผลของค่าความร้อนกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	230	2	19.16
		5	19.17
		9	20.09
เห้ง้ามัน		2	19.79
		5	20.12
		9	20.49
ทางปาล์ม		2	24.57
		5	25.06
		9	24.77
ใบและยอดอ้อย		2	20.89
		5	21.31
		9	21.00
ซังข้าวโพด		2	21.91
		5	22.00
		9	22.50

ตารางผนวก ก.1 ตารางแสดงผลของค่าความร้อนกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	250	2	21.91
		5	22.37
		9	22.10
เห้งจ้ำมัน		2	23.74
		5	24.16
		9	24.08
ทางปาล์ม		2	25.00
		5	26.25
		9	26.25
ใบและยอดอ้อย		2	22.56
		5	22.31
		9	22.37
ซังข้าวโพด		2	24.80
		5	24.90
		9	25.00

ตารางผนวก ก.1 ตารางแสดงผลของค่าความร้อนกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	280	2	23.51
		5	23.86
		9	24.06
เห้ง้ามัน		2	26.89
		5	27.39
		9	27.50
ทางปาล์ม		2	27.30
		5	27.28
		9	27.78
ใบและยอดอ้อย		2	24.65
		5	22.31
		9	23.74
ซังข้าวโพด		2	29.28
		5	29.50
		9	29.70

ตารางผนวก ก.2 ตารางแสดงผลของค่าความหนาแน่นบักก์กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความหนาแน่นบักก์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฟางข้าว	230	2	552.89
		5	550.70
		9	541.92
เห้ง้ามัน		2	538.43
		5	550.75
		9	561.65
ทางปาล์ม		2	573.95
		5	590.58
		9	595.75
ใบและยอดอ้อย		2	555.33
		5	520.91
		9	538.75
ซังข้าวโพด		2	529.20
		5	529.20
		9	529.20

ตารางผนวก ก.2 ตารางแสดงผลของค่าความหนาแน่นบักก์กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความหนาแน่นบักก์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฟางข้าว	250	2	532.71
		5	530.39
		9	514.54
เห้งน้ำมัน		2	523.82
		5	542.34
		9	544.88
ทางปาล์ม		2	526.61
		5	540.55
		9	546.87
ใบและยอดอ้อย		2	533.23
		5	505.08
		9	502.66
ซังข้าวโพด		2	517.80
		5	517.80
		9	517.80

ตารางผนวก ก.2 ตารางแสดงผลของค่าความหนาแน่นบักก์กระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความหนาแน่นบักก์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฟางข้าว	280	2	502.41
		5	516.15
		9	514.54
เห้ง้ามัน		2	496.12
		5	506.99
		9	507.24
ทางปาล์ม		2	498.11
		5	502.29
		9	508.96
ใบและยอดอ้อย		2	497.36
		5	473.34
		9	471.72
ซังข้าวโพด		2	444.87
		5	444.87
		9	444.87

ตารางผนวก ก.3 ตารางแสดงผลของค่าความทนทานกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความทนทาน (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	230	2	98.10
		5	97.60
		9	95.10
เห้ง้ามัน		2	98.80
		5	98.30
		9	98.10
ทางปาล์ม		2	98.50
		5	98.00
		9	94.90
ใบและยอดอ้อย		2	97.30
		5	96.80
		9	96.60
ซังข้าวโพด		2	96.80
		5	96.30
		9	96.10

ตารางผนวก ก.3 ตารางแสดงผลของค่าความทนทานกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความทนทาน (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	250	2	96.90
		5	96.40
		9	95.10
เห้ง้ามัน		2	98.80
		5	97.20
		9	97.00
ทางปาล์ม		2	97.30
		5	96.80
		9	94.90
ใบและยอดอ้อย		2	96.40
		5	95.90
		9	95.70
ซังข้าวโพด		2	95.60
		5	95.10
		9	94.90

ตารางผนวก ก.3 ตารางแสดงผลของค่าความทนทานกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ค่าความทนทาน (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	280	2	95.60
		5	95.10
		9	95.10
เห้ง้ามัน		2	95.90
		5	95.40
		9	95.20
ทางปาล์ม		2	95.60
		5	95.10
		9	94.90
ใบและยอดอ้อย		2	95.90
		5	95.40
		9	95.20
ซังข้าวโพด		2	92.20
		5	91.70
		9	91.50

ตารางผนวก ก.4 ตารางแสดงผลของผลได้ของชีวมวลกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ผลได้ของชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	230	2	81.92
		5	85.98
		9	89.87
เห้งน้ำมัน		2	91.40
		5	93.70
		9	92.62
ทางปาล์ม		2	84.90
		5	87.20
		9	86.70
ใบและยอดอ้อย		2	89.50
		5	95.30
		9	95.40
ซังข้าวโพด		2	87.10
		5	86.66
		9	86.00

ตารางผนวก ก.4 ตารางแสดงผลของผลได้ของชีวมวลกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ผลได้ของชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	250	2	79.22
		5	84.49
		9	85.06
เห้งน้ำมัน		2	91.40
		5	87.80
		9	87.63
ทางปาล์ม		2	76.70
		5	81.00
		9	77.20
ใบและยอดอ้อย		2	85.20
		5	89.70
		9	89.20
ซังข้าวโพด		2	72.58
		5	72.21
		9	71.66

ตารางผนวก ก.4 ตารางแสดงผลของผลได้ของชีวมวลกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ผลได้ของชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)
ฟางข้าว	280	2	72.56
		5	80.02
		9	81.63
เห้ง้ามัน		2	67.40
		5	77.60
		9	78.04
ทางปาล์ม		2	68.60
		5	73.90
		9	71.70
ใบและยอดอ้อย		2	74.20
		5	80.40
		9	82.00
ซังข้าวโพด		2	49.47
		5	49.22
		9	48.85

ตารางผนวก ก.5 ตารางแสดงผลของพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปทั้งกระบวนการของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	230	2	0.47
		5	0.35
		9	0.31
เห้งจ้มน		2	0.32
		5	0.26
		9	0.26
ทางปาล์ม		2	0.49
		5	0.46
		9	0.41
ใบและยอดอ้อย		2	0.68
		5	0.66
		9	0.65
ซังข้าวโพด		2	0.32
		5	0.30
		9	0.29

ตารางผนวก ก.5 ตารางแสดงผลของพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปทั้งกระบวนการของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	250	2	0.47
		5	0.36
		9	0.33
เห้งจ้ามัน		2	0.36
		5	0.29
		9	0.29
ทางปาล์ม		2	0.55
		5	0.47
		9	0.47
ใบและยอดอ้อย		2	0.72
		5	0.71
		9	0.71
ซังข้าวโพด		2	0.39
		5	0.37
		9	0.36

ตารางผนวก ก.5 ตารางแสดงผลของพลังงานในกระบวนการขึ้นรูปทั้งกระบวนการของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์(ต่อ)

ชนิดชีวมวล	อุณหภูมิทอรีไฟร์ (องศาเซลเซียส)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	พลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)
ฟางข้าว	280	2	0.52
		5	0.39
		9	0.35
เห้งจำนั้		2	0.45
		5	0.34
		9	0.33
ทางปาล์ม		2	0.63
		5	0.52
		9	0.52
ใบและยอดอ้อย		2	0.84
		5	0.80
		9	0.80
ซังข้าวโพด		2	0.59
		5	0.56
		9	0.54

ภาคผนวก ข

ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลต
ด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

ตารางผนวก ข.1 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากเหง้า
มันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

ขนาด อนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชั่น (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	230	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.1320	22.2	100	0.5940
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1176	122.4	100	0.5292
		ทอรีแฟคชั่น	0.845MJ/kg(ความร้อน)	13.33	91.4	0.1026
5	230	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.09	30	100	0.405
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1188	101	100	0.5346
		ทอรีแฟคชั่น	0.845 MJ/kg(ความร้อน)	13.33	93.7	0.1026
9	230	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.0420	57.14	100	0.189
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1636	73.35	97.8	0.7362
		ทอรีแฟคชั่น	0.845 MJ/kg(ความร้อน)	13.33	94.7	0.1026
2	250	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.1320	22.2	100	0.5940
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1176	122.4	100	0.5292
		ทอรีแฟคชั่น	1.105MJ/kg(ความร้อน)	12.8	92.2	0.1342
5	250	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.09	30	100	0.4050
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1188	101	100	0.5346
		ทอรีแฟคชั่น	1.105 MJ/kg(ความร้อน)	12.8	87.8	0.1342
9	250	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.0420	57.14	100	0.189
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1636	73.35	97.8	0.7362
		ทอรีแฟคชั่น	1.105 MJ/kg(ความร้อน)	12.8	89.6	0.1342

ตารางผนวก ข.1 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้า
มันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาด อนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	280	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.1320	22.2	100	0.594
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1176	122.4	100	0.5292
		ทอรีแฟคชัน	1.377 MJ/kg(ความร้อน)	12.8	67.4	0.1672
5	280	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.09	30	100	0.405
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1188	101	100	0.5346
		ทอรีแฟคชัน	1.377 MJ/kg(ความร้อน)	12.8	77.6	0.1672
9	280	สับหยาบ	0.0158	72.0	100	0.0711
		สับละเอียด	0.0420	57.14	100	0.1890
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1636	73.35	97.8	0.7362
		ทอรีแฟคชัน	1.377 MJ/kg(ความร้อน)	12.8	79.8	0.1672

ตารางผนวก ข.1 ตารางสรุปกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากเหง้ามัน
สำปะหลังด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคและอุณหภูมิทอรีแฟคชันต่างๆ

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน (°C)	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวล วัตถุดิบ	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg) ฐานมวล ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวล ผลิตภัณฑ์
2	230	122.4	91.40	1.4189	111.87
5	230	101	93.70	1.1881	94.64
9	230	73.35	92.62	1.1865	67.94
2	250	122.4	82.20	1.6162	100.61
5	250	101	87.80	1.3040	88.68
9	250	73.35	87.63	1.2900	64.28
2	280	122.4	67.40	2.0200	82.50
5	280	101	77.60	1.5179	78.38
9	280	73.35	78.04	1.4909	57.24

ตารางผนวก ข.2 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากฟางข้าวด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg)
2	230	สับละเอียด	0.2167	7.5	100	0.975
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอรีแฟคชัน	1.122 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	79.4	0.1362
5	230	สับละเอียด	0.154	10.34	100	0.693
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอรีแฟคชัน	1.122 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	86.5	0.1362
9	230	สับละเอียด	0.094	16.67	100	0.423
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1531	39.2	98	0.689
		ทอรีแฟคชัน	1.122 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	91.7	0.1362
2	250	สับละเอียด	0.2167	7.5	100	0.975
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอรีแฟคชัน	1.224 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	79.7	0.1486
5	250	สับละเอียด	0.154	10.34	100	0.693
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอรีแฟคชัน	1.224 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	85	0.1486
9	250	สับละเอียด	0.094	16.67	100	0.423
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1531	39.2	98	0.689
		ทอรีแฟคชัน	1.224 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	86.8	0.1486

ตารางผนวก ข.2 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากฟางข้าวด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิทอริแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg)
2	280	สับละเอียด	0.2167	7.5	100	0.975
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอริแฟคชัน	1.489 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	73	0.1808
5	280	สับละเอียด	0.154	10.34	100	0.693
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1207	66.27	99.4	0.543
		ทอริแฟคชัน	1.489 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	80.5	0.1808
9	280	สับละเอียด	0.094	16.67	100	0.423
		ขึ้นรูปอัดแท่ง (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.1531	39.2	98	0.689
		ทอริแฟคชัน	1.489 MJ/kg (ความร้อน)	10.67	83.3	0.1808

ตารางผนวก ข.2 ตารางสรุปกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากฟางข้าวด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคและอุณหภูมิทอริแฟคชันต่างๆ

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิทอริแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวลวัตถุดิบ	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg) ฐานผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานผลิตภัณฑ์
2	230	66.27	78.92	2.0960	52.30
5	230	66.37	85.98	1.5960	57.06
9	230	39.2	89.87	1.3889	35.23
2	250	66.27	79.22	2.1038	52.50
5	250	66.27	84.49	1.6388	55.99
9	250	39.2	85.06	1.4820	33.34
2	280	66.27	72.56	2.3412	48.09
5	280	66.27	80.02	1.7706	53.03
9	280	39.2	81.63	1.5837	32.00

ตารางผนวก ข.3 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากใบ
ยอดอ้อยด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอริแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ต่อ มวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	230	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.108	27.7	92.3	0.4860
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.072			0.3240
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.069			0.3105
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.022			0.0990
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.036			0.1620
		ทอริแฟคชัน	1.06 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	89.5	0.1287
5	230	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.11	20.4	90.7	0.4950
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0735			0.3308
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0368			0.1656
		ทอริแฟคชัน	1.06 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	95.3	0.1287

ตารางผนวก ข.3 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากใบ
ยอดอ้อยด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอริแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
9	230	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.158	19	95.0	0.7110
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0702			0.3159
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.0526			0.2367
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ทอริแฟคชัน	1.06 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	76.8	0.1287
2	250	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.108	27.7	92.3	0.4860
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.072			0.3240
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.069			0.3105
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.022			0.0990
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.036			0.1620
		ทอริแฟคชัน	1.43 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	85.2	0.1736

ตารางผนวก ข.3 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากใบ
ยอดอ้อยด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอริแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
5	250	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.11	20.4	90.7	0.4950
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0735			0.3308
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0368			0.1656
		ทอริแฟคชัน	1.43 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	89.7	0.1736
9	250	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.158	19	95.0	0.7110
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0702			0.3159
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.0526			0.2367
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ทอริแฟคชัน	1.43 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	76.8	0.1736

ตารางผนวก ข.3 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากใบ
ยอด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	280	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.108	27.7	92.3	0.4860
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.072			0.3240
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.069			0.3105
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.022			0.0990
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.036			0.1620
		ทอรีแฟคชัน	1.65 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	74.2	0.2004
5	280	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.11	20.4	90.7	0.4950
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0735			0.3308
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.055			0.2475
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0368			0.1656
		ทอรีแฟคชัน	1.65 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	80.4	0.2004

ตารางผนวก ข.3 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากใบ
ยออด้อยด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชั่น (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
9	280	สับละเอียด	0.27	6.43	100	1.2150
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 25% w/w)	0.158	19	95.0	0.7110
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0702			0.3159
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.0526			0.2367
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.0351			0.1580
		ทอรีแฟคชั่น	1.65 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	82.0	0.2004

ตารางผนวก ข.3 ตารางสรุปกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากใบยออด้อยด้วย
กระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคและอุณหภูมิทอรีแฟคชั่นต่างๆ

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชั่น (°C)	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวล วัตถุดิบ	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg) ฐานมวล ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวลผลิตภัณฑ์
2	230	27.7	89.5	3.0449	24.79
5	230	20.4	95.3	2.9697	19.44
9	230	19.0	76.8	3.8064	14.59
2	250	27.7	85.2	3.2513	23.60
5	250	20.4	89.7	3.2051	18.30
9	250	19	89.2	3.3276	16.95
2	280	27.7	74.2	3.7694	20.55
5	280	20.4	80.4	3.6092	16.40
9	280	19	82.0	3.6524	15.58

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากซังข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชั่น ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	230	สับละเอียด	0.053	50	100	0.239
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0380	43.09	98.75	0.171
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ทอรีแฟคชั่น	1.352 MJ/kg (ความร้อน)	9.33	88.2	0.1642

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW- h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
5	230	สับละเอียด	0.033	85.71	100	0.149
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254	36.28	98.25	0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ทอรีแฟคชัน	1.352 MJ/kg (ความร้อน)	9.33	88.2	0.1642

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
9	230	สับละเอียด	0.009	200	100	0.041
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256	31.2	97.5	0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0385			0.173
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0128			0.058
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ทอรีแฟคชัน	1.352 MJ/kg (ความร้อน)	9.33	88.2	0.1642

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	250	สับละเอียด	0.053	50	100	0.239
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0380	43.09	98.75	0.171
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ทอรีแฟคชัน	1.515 MJ/kg (ความร้อน)	8.33	73.50	0.1840

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากซังข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
5	250	สับละเอียด	0.033	85.71	100	0.149
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254	36.28	98.25	0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ทอรีแฟคชัน	1.515 MJ/kg (ความร้อน)	8.33	73.50	0.1840

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชั่น ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
9	250	สับละเอียด	0.009	200	100	0.041
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256	31.2	97.5	0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0385			0.173
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0128			0.058
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ทอรีแฟคชั่น	1.515 MJ/kg (ความร้อน)	8.33	73.50	0.1840

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	280	สับละเอียด	0.053	50	100	0.239
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0380	43.09	98.75	0.171
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0253			0.114
		ทอรีแฟคชัน	1.865 MJ/kg (ความร้อน)	9.33	50.10	0.2265

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้
ข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
5	280	สับละเอียด	0.033	85.71	100	0.149
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254	36.28	98.25	0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0127			0.057
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0254			0.114
		ทอรีแฟคชัน	1.865 MJ/kg (ความร้อน)	9.33	50.10	0.2265

ตารางผนวก ข.4 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอริไฟร์เพลเลตจากซังข้าวโพดด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอริไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอริแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
9	280	สับละเอียด	0.009	200	100	0.041
		ชั้นรูปอัดแท่ง 1 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256	31.2	97.5	0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 2 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 3 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0385			0.173
		ชั้นรูปอัดแท่ง 4 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 5 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0128			0.058
		ชั้นรูปอัดแท่ง 6 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 7 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ชั้นรูปอัดแท่ง 8 (ผสมน้ำ 15% w/w)	0.0256			0.115
		ทอริแฟคชัน	1.865 MJ/kg _{thermal}	9.33	50.10	0.2265

ตารางผนวก ข.4 ตารางสรุปกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากขี้ข้าวโพดด้วย
กระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคและอุณหภูมิทอรีแฟคชันต่างๆ

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวล วัตถุดิบ	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg) ฐานมวล ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวลผลิตภัณฑ์
2	230	43.09	87.10	1.4445	37.53
5	230	36.28	86.66	1.3480	31.44
9	230	31.2	86.00	1.3095	26.83
2	250	43.09	72.58	1.7608	31.27
5	250	36.28	72.21	1.6452	26.20
9	250	31.2	71.66	1.5992	22.36
2	280	43.09	49.47	2.6693	21.32
5	280	36.28	49.22	2.5000	17.86
9	280	31.2	48.85	2.4330	15.24

ตารางผนวก ข.5 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากทางปาล์มด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	230	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.1375	17.14	100	0.6188
		สับละเอียดซึ่งข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.102	75.43	93.2	0.4590
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.091			0.4095
		ทอรีแฟคชัน	1.02 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	91.1	0.1239
5	230	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.082	28.57	100	0.3690
		สับละเอียดซึ่งข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 3% w/w)	0.0959	71.48	88.0	0.4316
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.108			0.4860
		ทอรีแฟคชัน	1.02 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	93.2	0.1239
9	230	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.046	40	100	0.2070
		สับละเอียดซึ่งข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.094	56.53	89.8	0.4230
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.13			0.5850
		ทอรีแฟคชัน	1.02 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	96.6	0.1239

ตารางผนวก ข.5 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลตจากทาง
ปาล์มด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	250	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.1375	17.14	100	0.6188
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.102	75.43	93.2	0.4590
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.091			0.4095
		ทอรีแฟคชัน	1.22 MJ/Kg (ความร้อน)	16	82.3	0.1481
5	250	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.082	28.57	100	0.3690
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 3% w/w)	0.0959	71.48	93.2	0.4316
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.108			0.4860
		ทอรีแฟคชัน	1.22 MJ/Kg (ความร้อน)	16	86.9	0.1481
9	250	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.046	40	100	0.2070
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.094	56.53	89.8	0.4230
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.13			0.5850
		ทอรีแฟคชัน	1.22 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	86.0	0.1481

ตารางผนวก ข.5 ตารางการใช้พลังงาน กำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากทางปาล์มด้วยกระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ (ต่อ)

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน (°C)	กระบวนการ	การใช้พลังงาน (kW-h/kg)	กำลังการผลิต (kg/h)	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่า ดำเนินการ (บาท/kg)
2	280	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.1375	17.14	100	0.6188
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 10% w/w)	0.102	75.43	93.2	0.4590
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.091			0.4095
		ทอรีแฟคชัน	1.49 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	73.6	0.1809
5	280	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.082	28.57	100	0.3690
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 3% w/w)	0.0959	71.48	93.2	0.4316
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.108			0.4860
		ทอรีแฟคชัน	1.49 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	79.3	0.1809
9	280	สับหยาบ	0.0085	300	100	0.0383
		สับละเอียดทางปาล์ม	0.046	40	100	0.2070
		สับละเอียดซังข้าวโพด	0.053	50	100	0.2385
		ขึ้นรูปอัดแท่ง1 (ผสมน้ำ 5% w/w)	0.094	56.53	89.8	0.4230
		ขึ้นรูปอัดแท่ง2 (ผสมน้ำ 0% w/w)	0.13			0.5850
		ทอรีแฟคชัน	1.49 MJ/Kg (ความร้อน)	10.67	79.8	0.1809

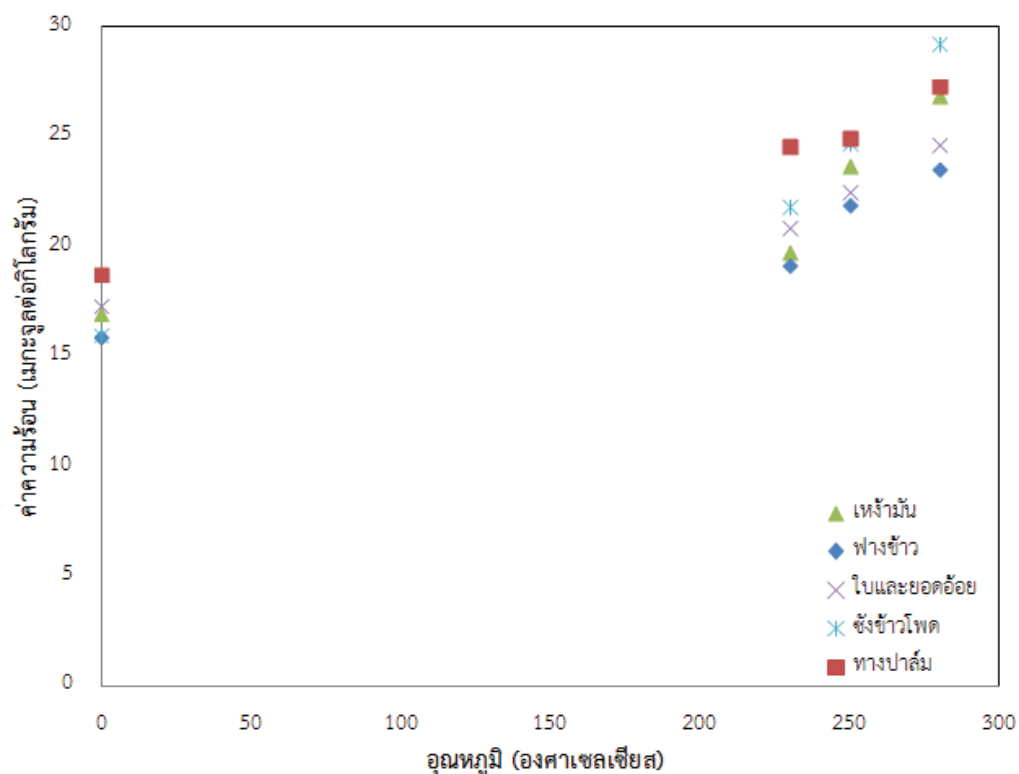
ตารางผนวก ข.5 ตารางสรุปกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตในการผลิตทอรีไฟร์เพลเลตจากทางปาล์มด้วย
กระบวนการอัดแท่ง – ทอรีไฟร์ ที่ขนาดอนุภาคและอุณหภูมิทอรีแฟคชันต่างๆ

ขนาดอนุภาค (mm)	อุณหภูมิ ทอรีแฟคชัน ($^{\circ}\text{C}$)	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานมวล วัตถุดิบ	สัดส่วนมวลผลิตภัณฑ์ ต่อมวลตั้งต้น (%)	ต้นทุนค่าดำเนินการ (บาท/kg) ฐานผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (kg/h) ฐานผลิตภัณฑ์
2	230	75.43	84.9	2.2238	64.04
5	230	71.48	82.0	2.0577	58.61
9	230	56.53	86.7	1.8636	49.01
2	250	75.43	76.7	2.4931	57.85
5	250	71.48	81.0	2.1130	57.90
9	250	56.53	77.2	2.1242	43.64
2	280	75.43	68.6	2.8353	51.74
5	280	71.48	73.9	2.3604	52.82
9	280	56.53	71.7	2.3329	40.53

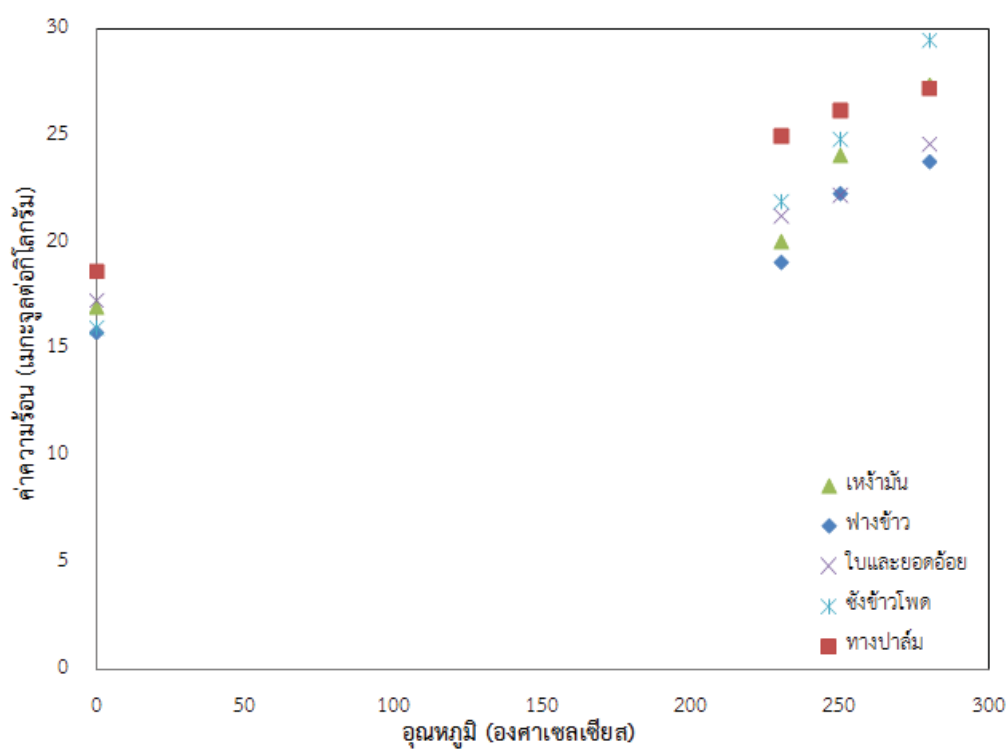
ภาคผนวก ค

กราฟคุณสมบัติ พลังงาน และค่าใช้จ่ายของกระบวนการอัดแห้ง-ทอรีไฟร์

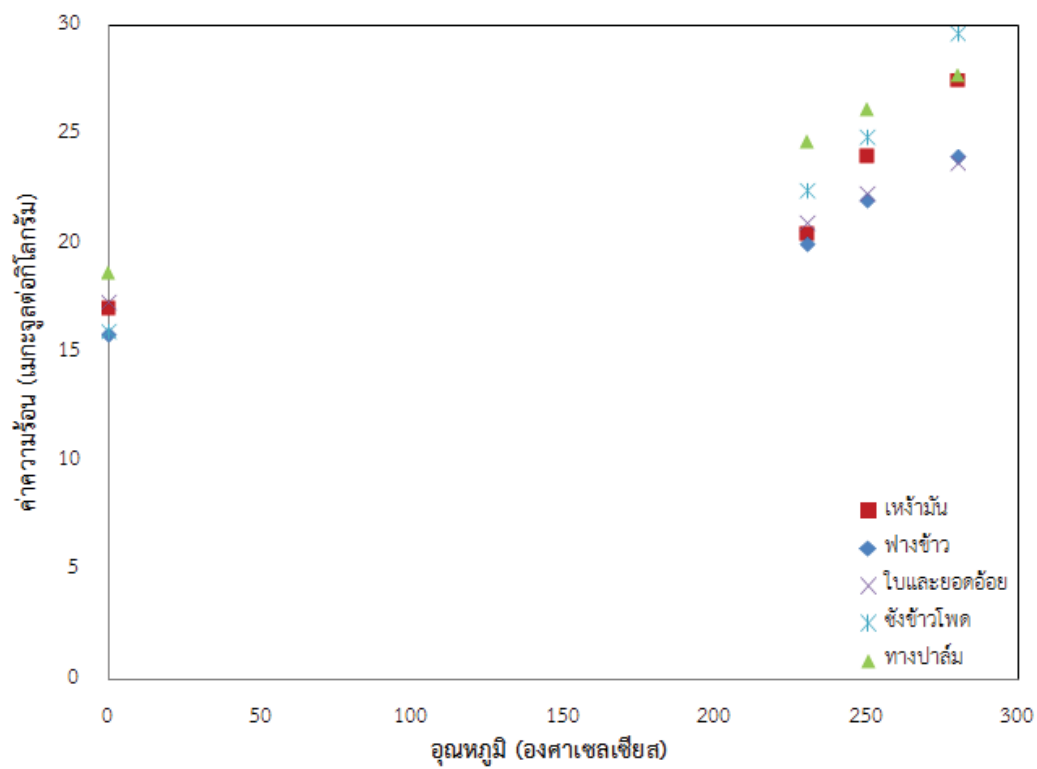
ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อน



ภาพผนวก ค.1 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อนของอนุภาคขนาด 2 มิลลิเมตร

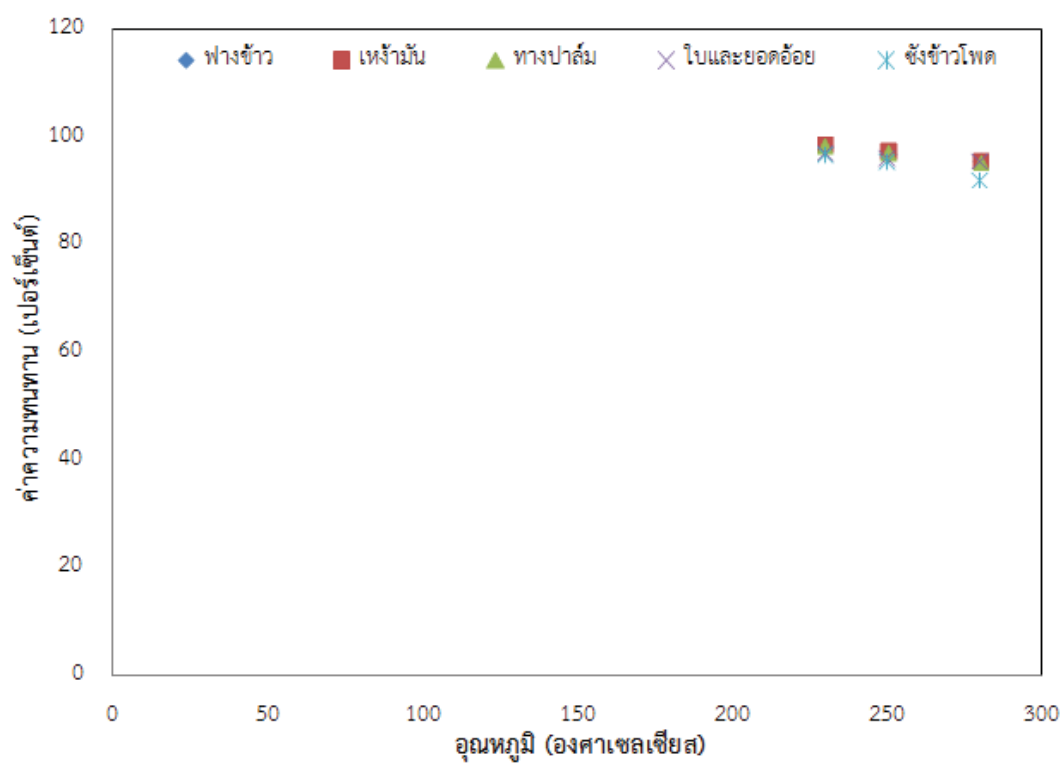


ภาพผนวก ค.2 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อนของอนุภาคขนาด 5 มิลลิเมตร

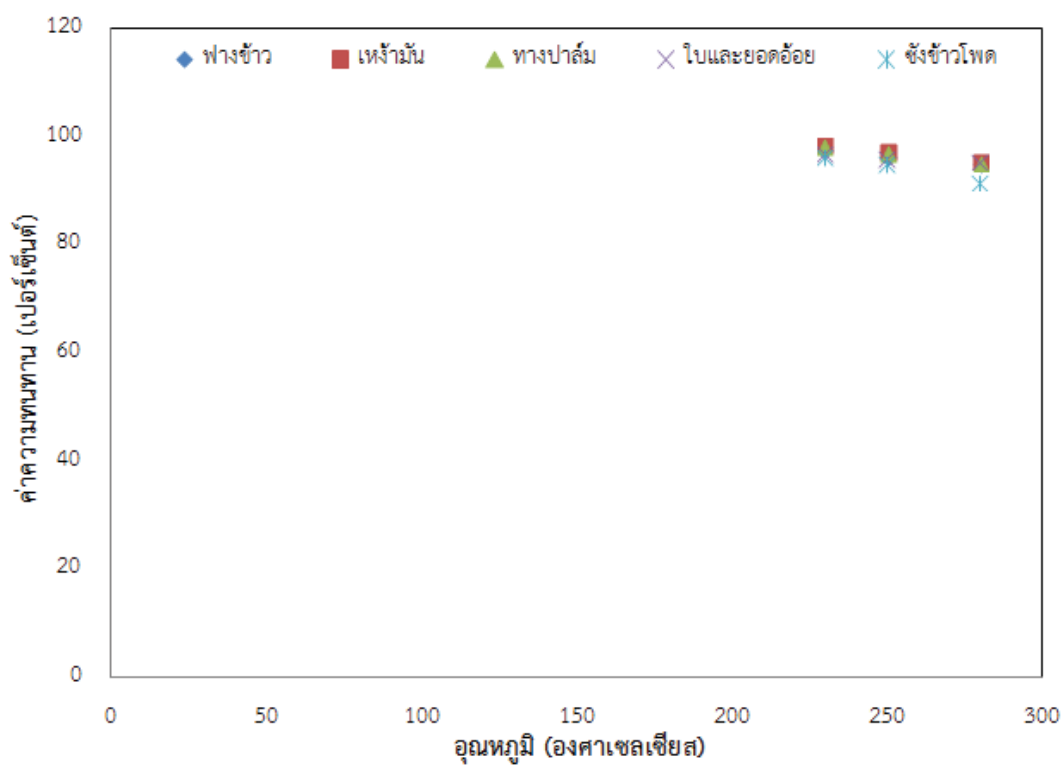


ภาพผนวก ค.3 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความร้อนของอนุภาคขนาด 9 มิลลิเมตร

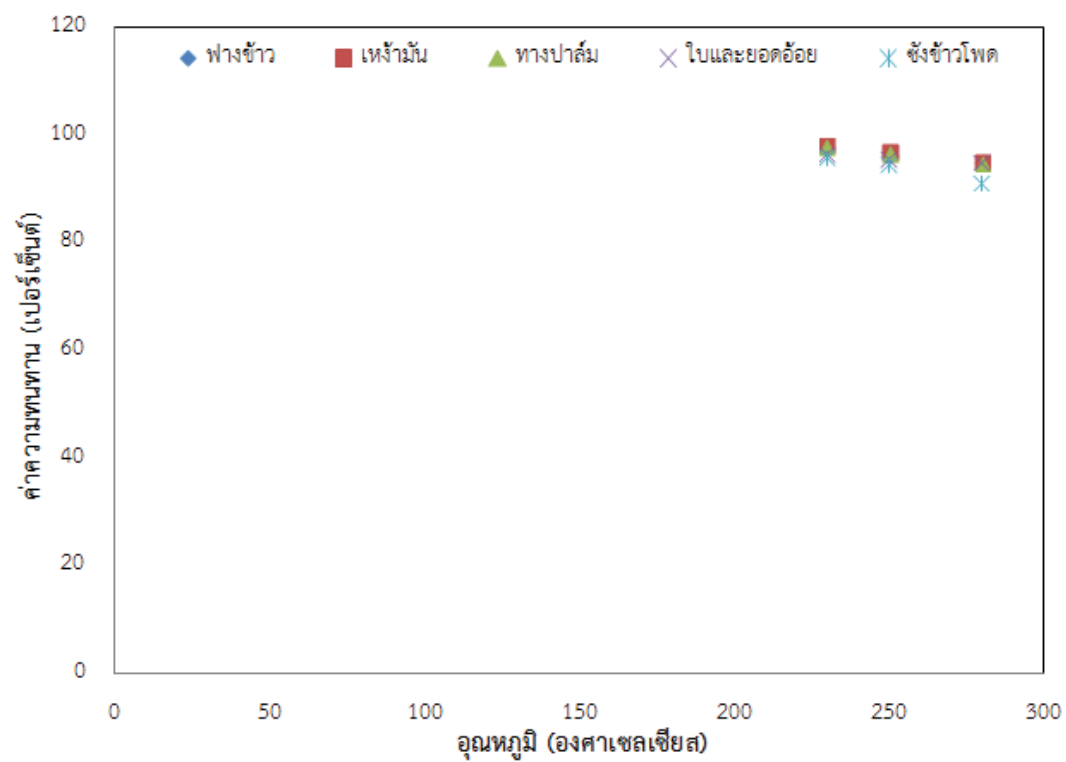
ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความทนทาน



ภาพผนวก ค.4 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความทนทานของอนุภาคขนาด 2 มิลลิเมตร

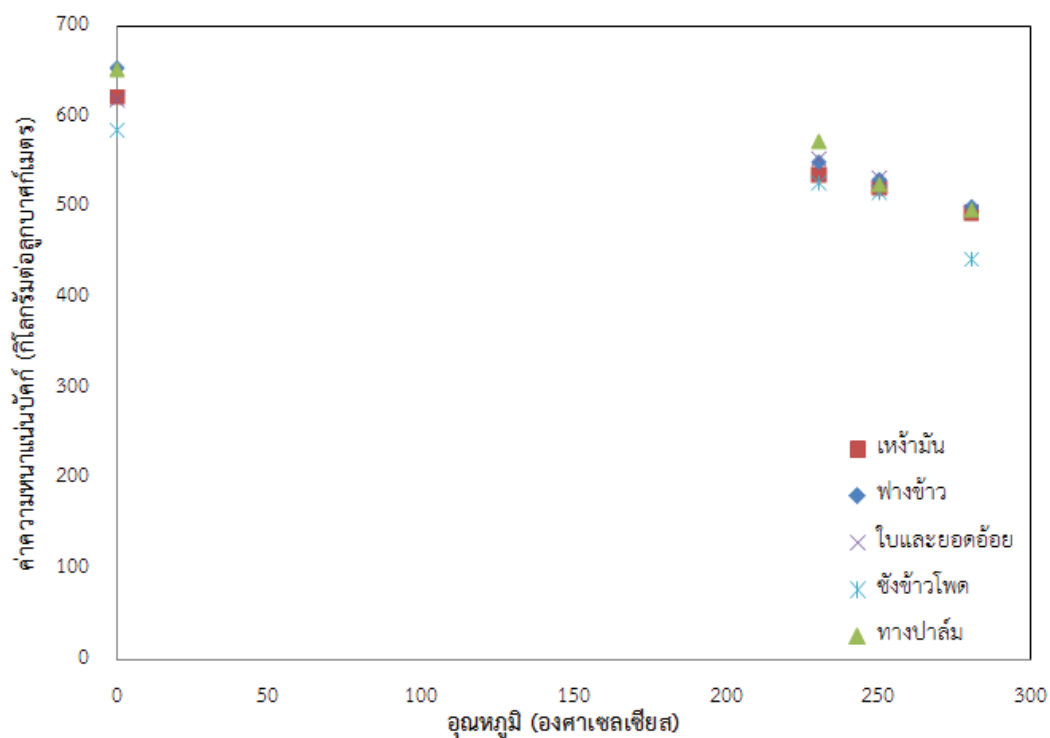


ภาพผนวก ค.5 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความทนทานของอนุภาคขนาด 5 มิลลิเมตร

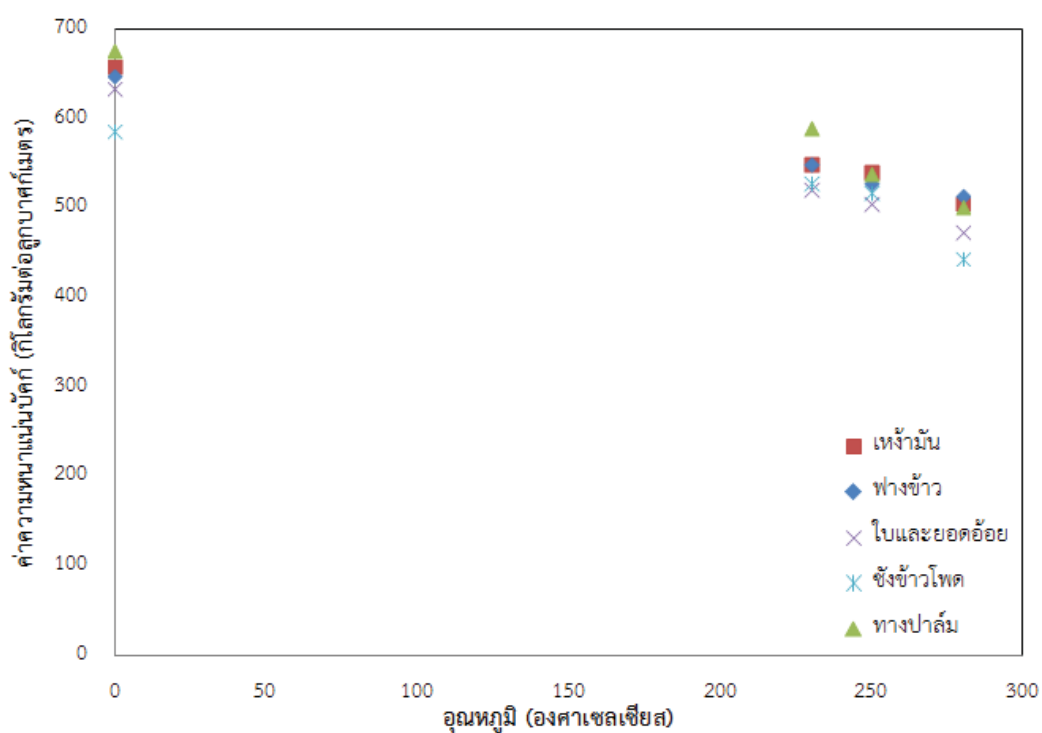


ภาพผนวก ค.6 ผลของอนุหภูมิทอรัฟเฟชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความทนทานของอนุภาคขนาด 9 มิลลิเมตร

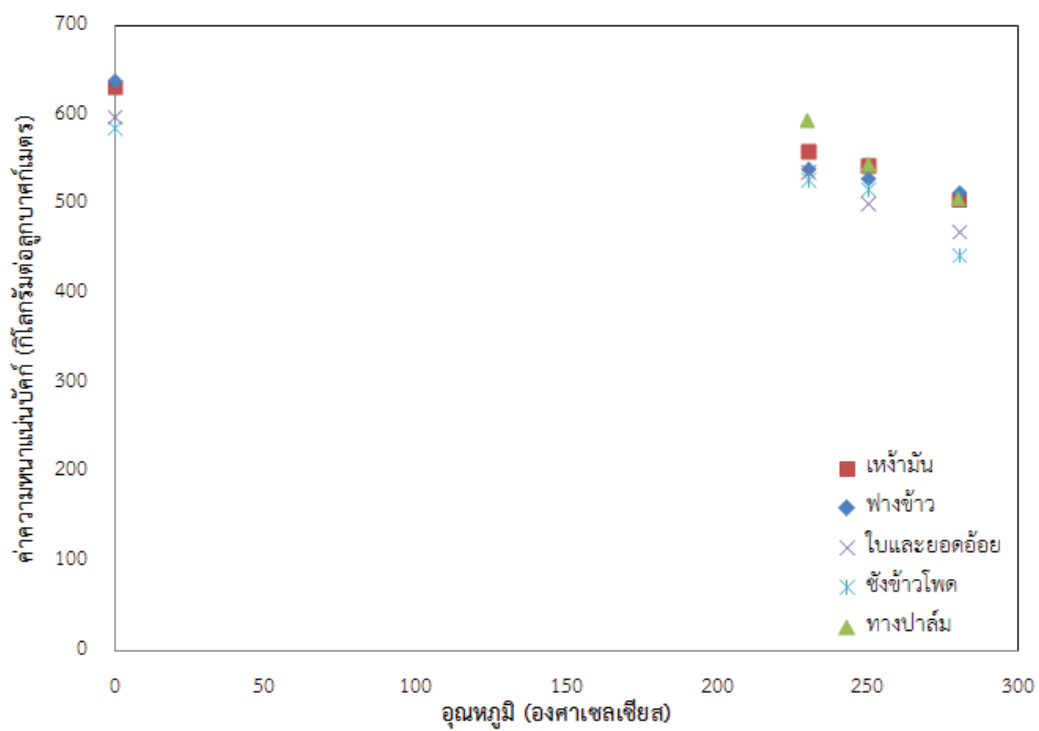
ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นบัก



ภาพผนวก ค.7 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นบักของอนุภาคขนาด 2 มิลลิเมตร

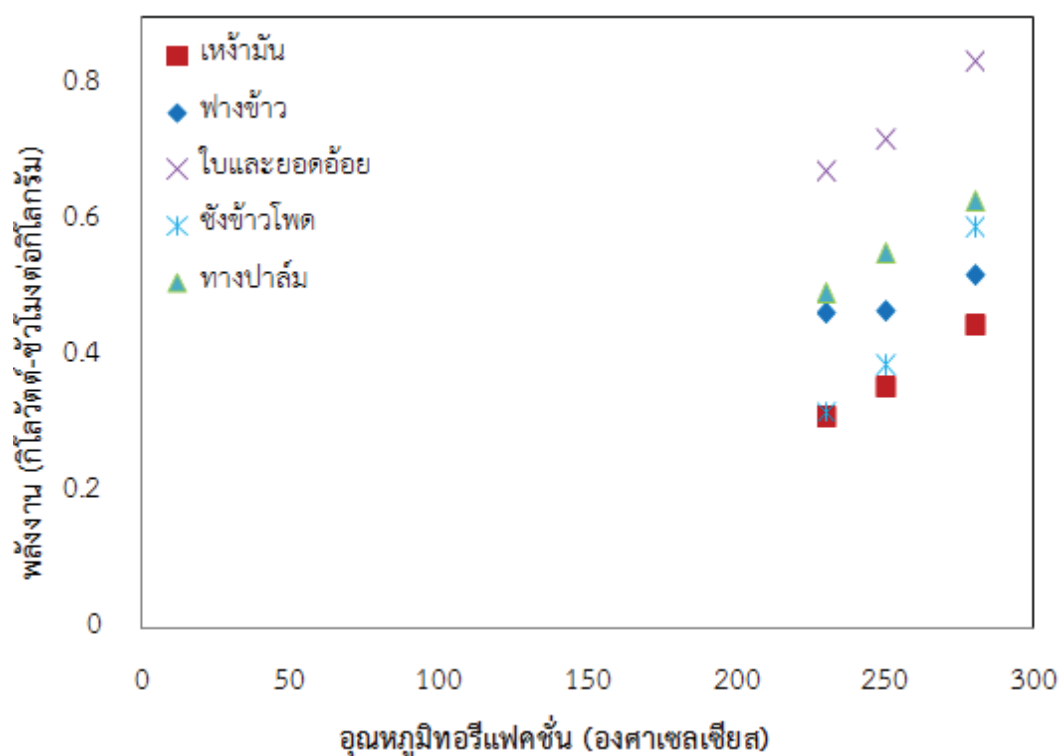


ภาพผนวก ค.8 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อคุณสมบัติค่าความหนาแน่นบักของอนุภาคขนาด 5 มิลลิเมตร



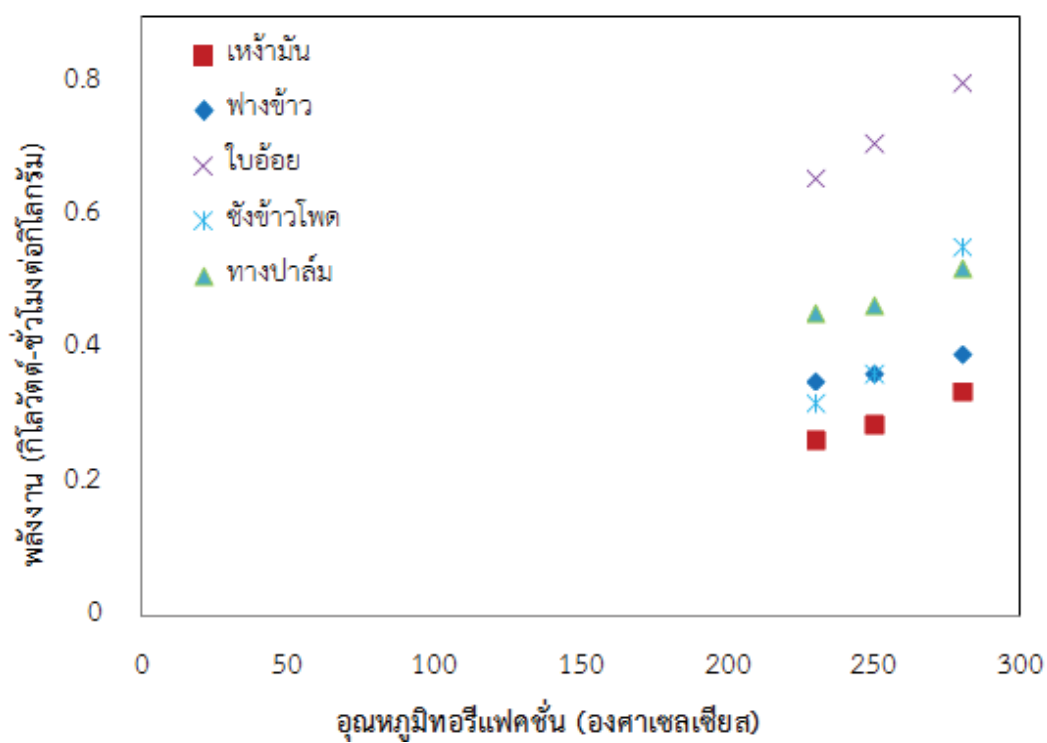
ภาพผนวก ค.9 ผลของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติค่าความหนาแน่นบัคของอนุภาคขนาด 9 มิลลิเมตร

ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าพลังงานในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์



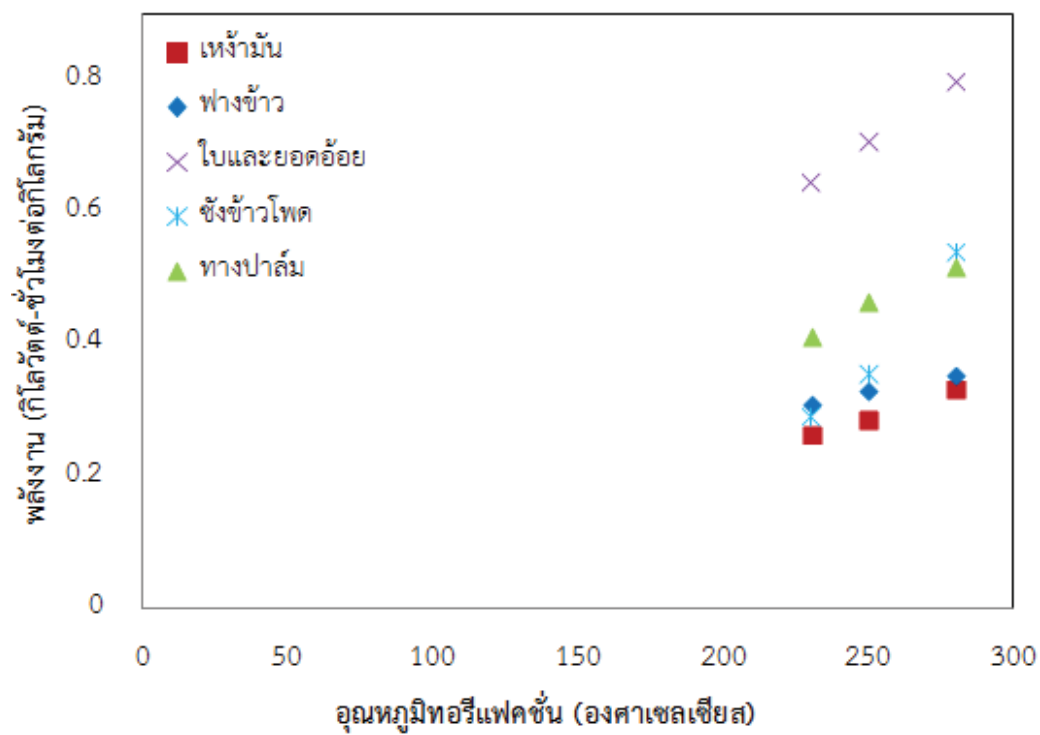
ภาพผนวก ค.10 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าพลังงานในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ของอนุภาค

ขนาด 2 มิลลิเมตร



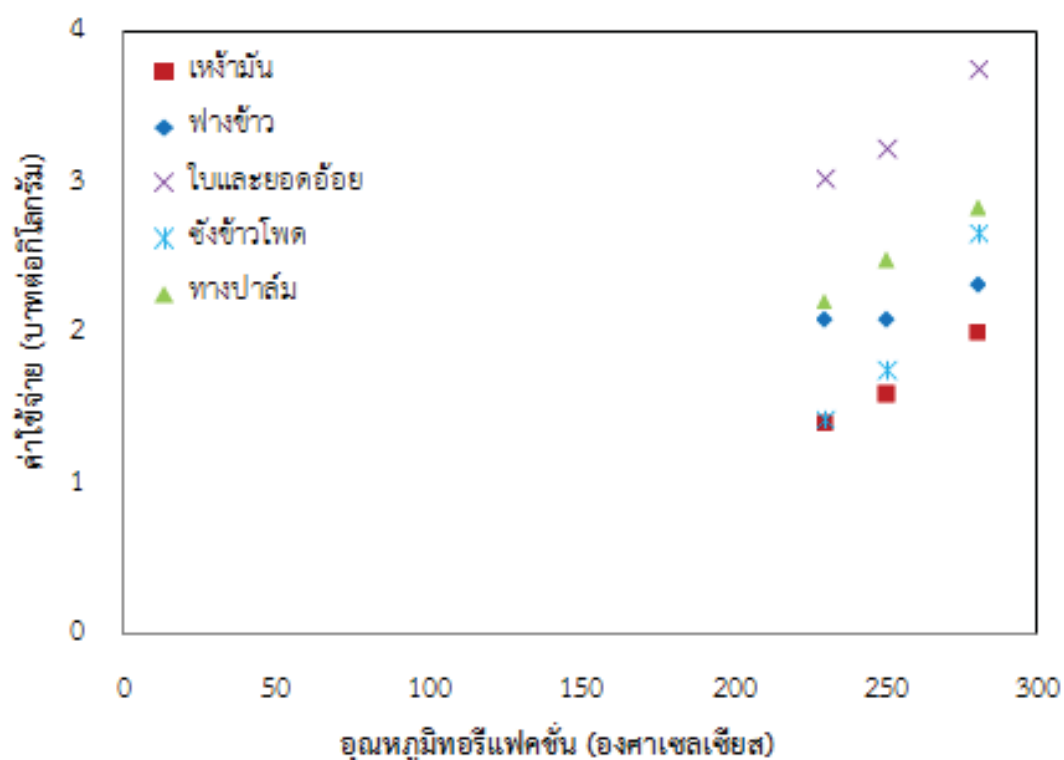
ภาพผนวก ค.11 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าพลังงานในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ของอนุภาค

ขนาด 5 มิลลิเมตร



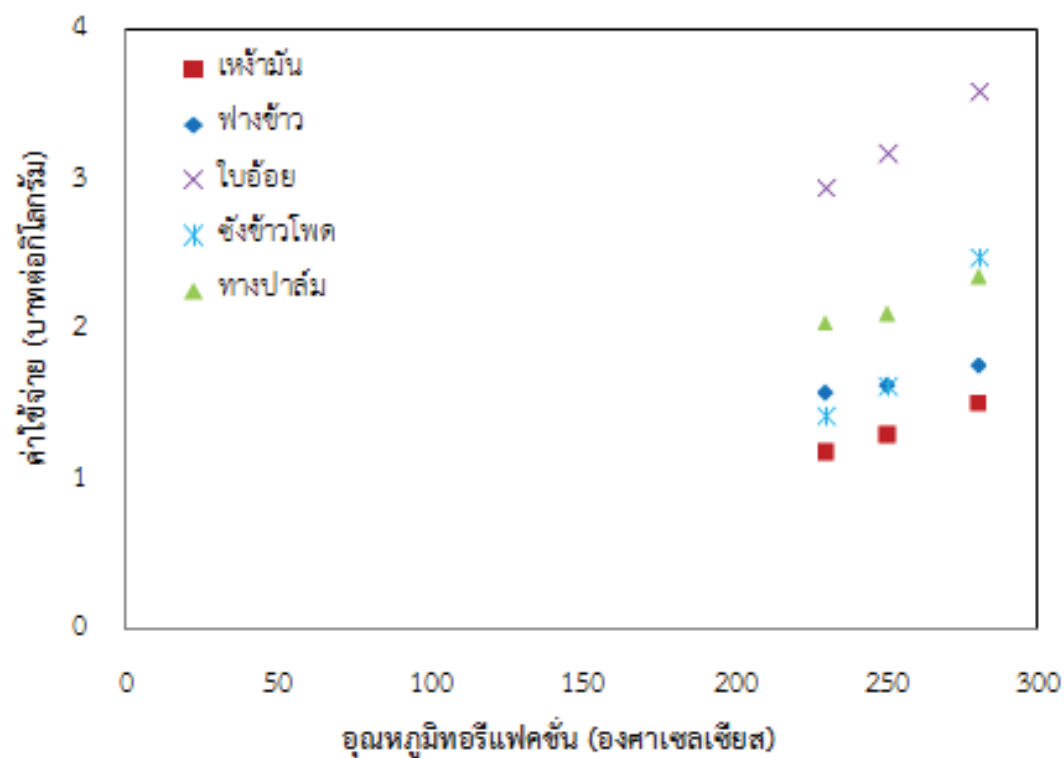
ภาพผนวก ค.12 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชั่นที่มีต่อค่าพลังงานในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ของอนุภาค
ขนาด 9 มิลลิเมตร

ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์



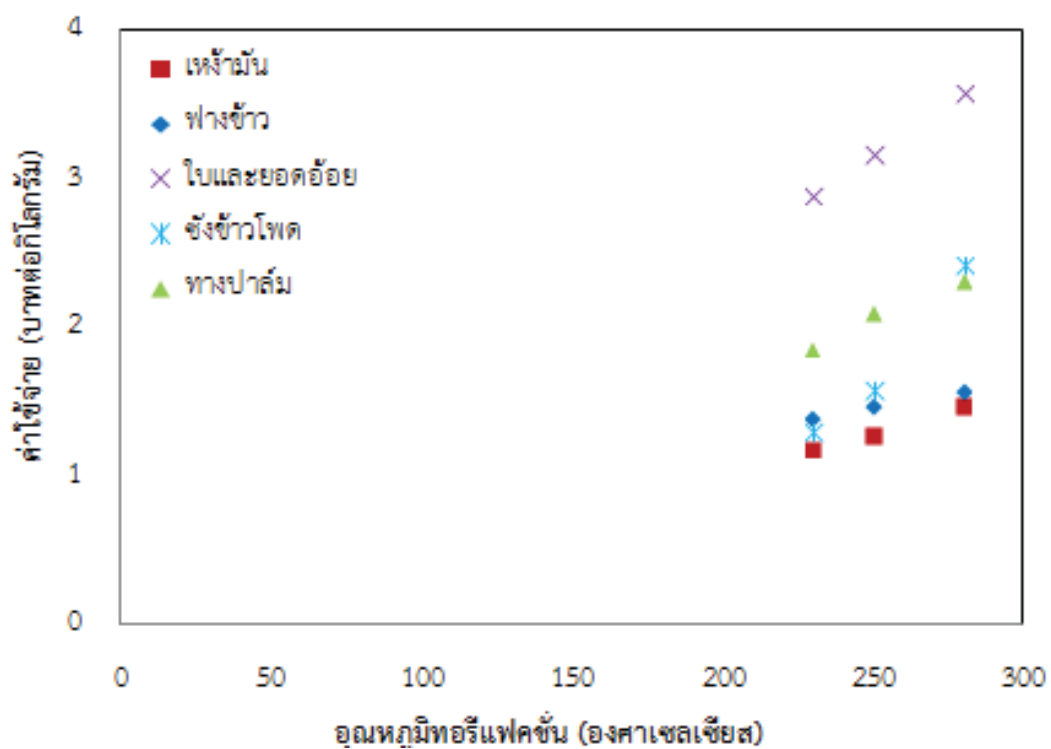
ภาพผนวก ค.13 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ของอนุภาค

ขนาด 2 มิลลิเมตร



ภาพผนวก ค.14 ผลของอุณหภูมิทอรีแฟคชันที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอรีไฟร์ของอนุภาค

ขนาด 5 มิลลิเมตร



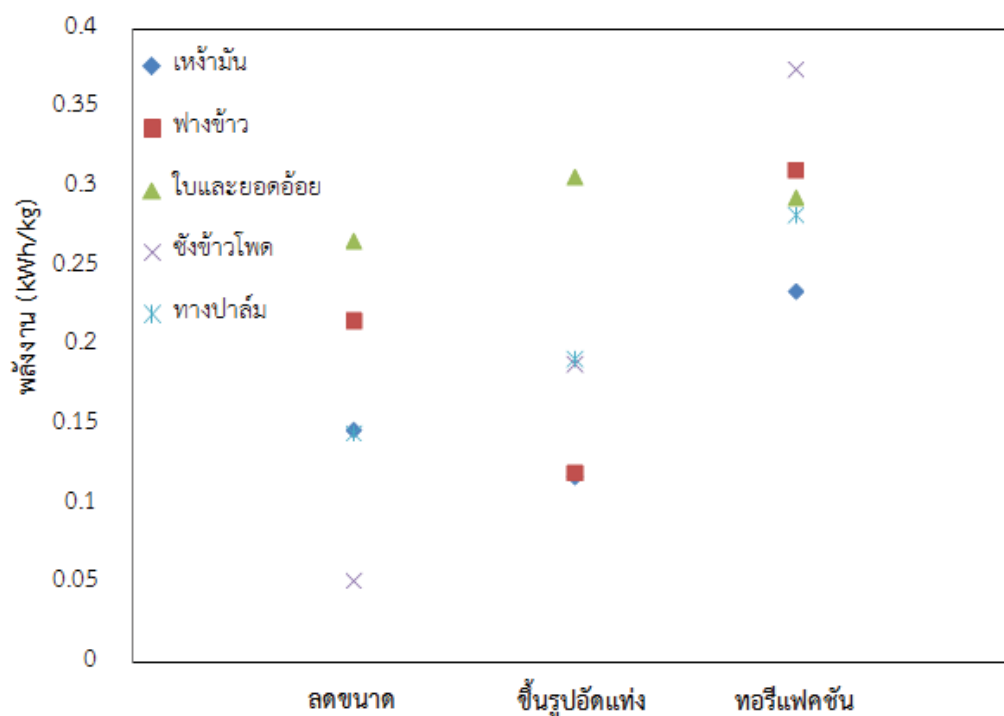
ภาพผนวก ค.15 ผลของอุณหภูมิทอริแฟคชั่นที่มีต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการ อัดแท่ง-ทอริไฟร์ของอนุภาค

ขนาด 9 มิลลิเมตร

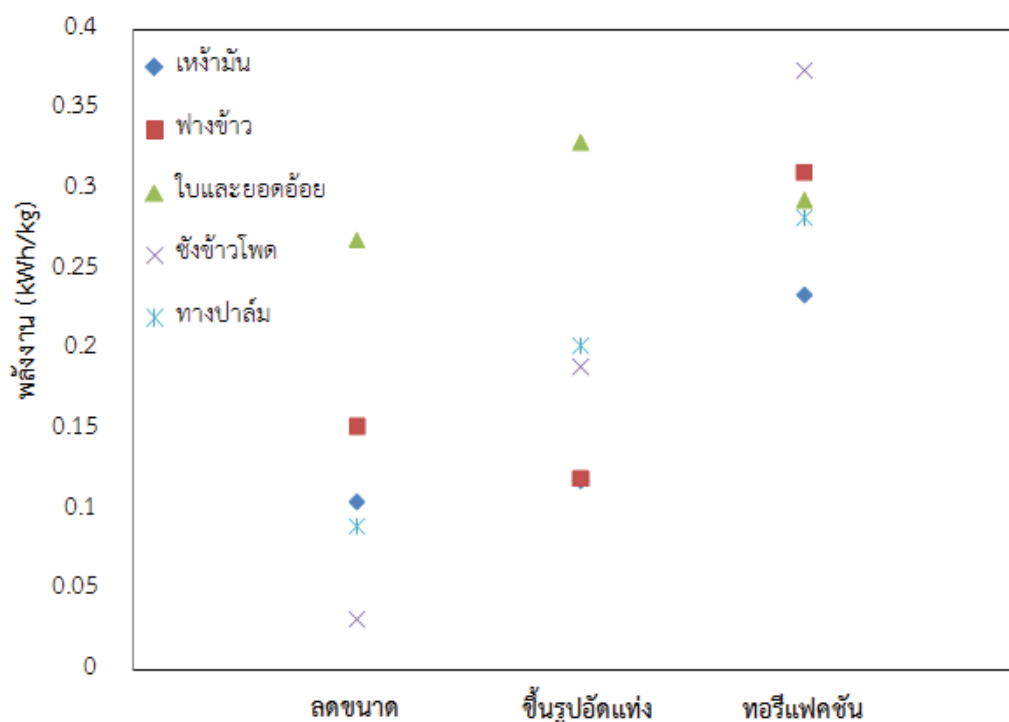
ภาคผนวก ง

กราฟพลังงานที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิตของกระบวนการอัดแท่ง-ทอรีไฟร์

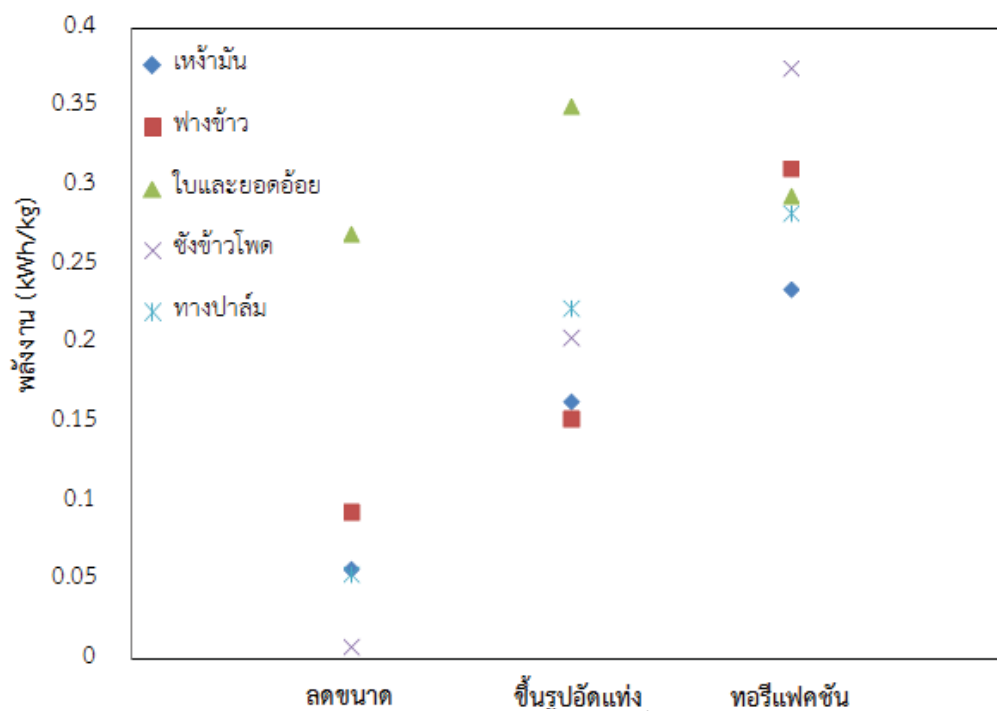
กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต



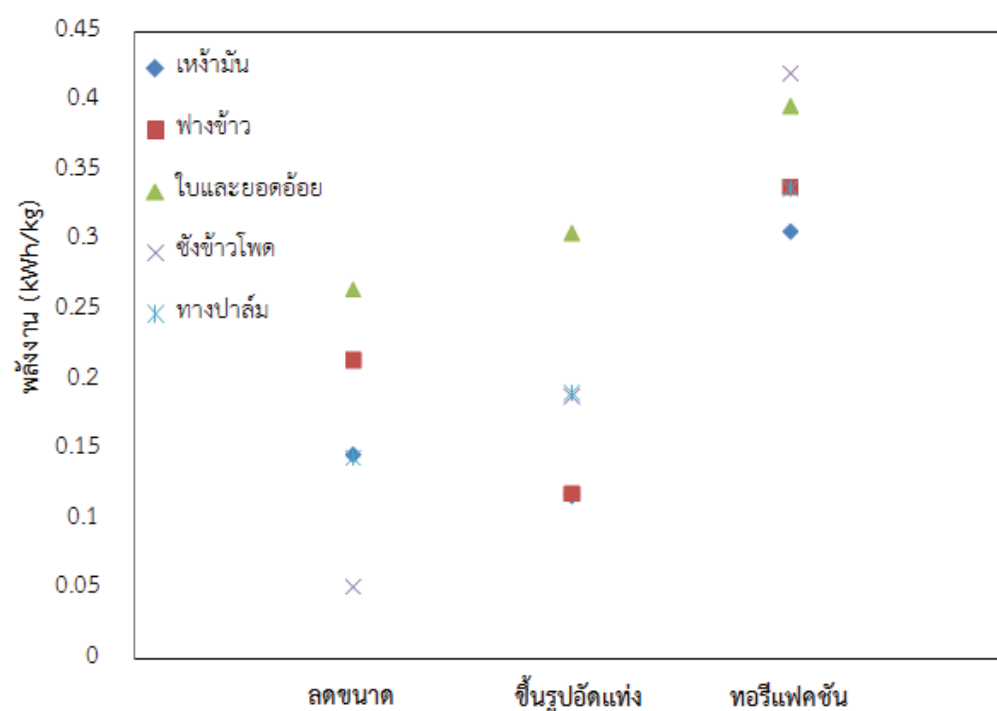
ภาพผนวก ง.1 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 230 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร



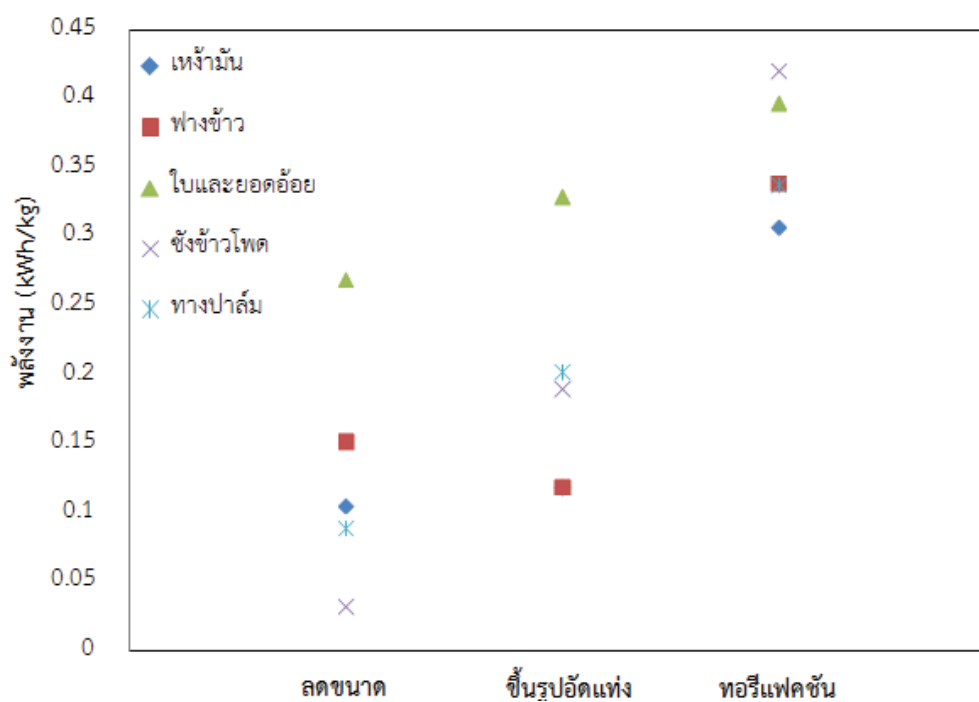
ภาพผนวก ง.2 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 230 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 5 มิลลิเมตร



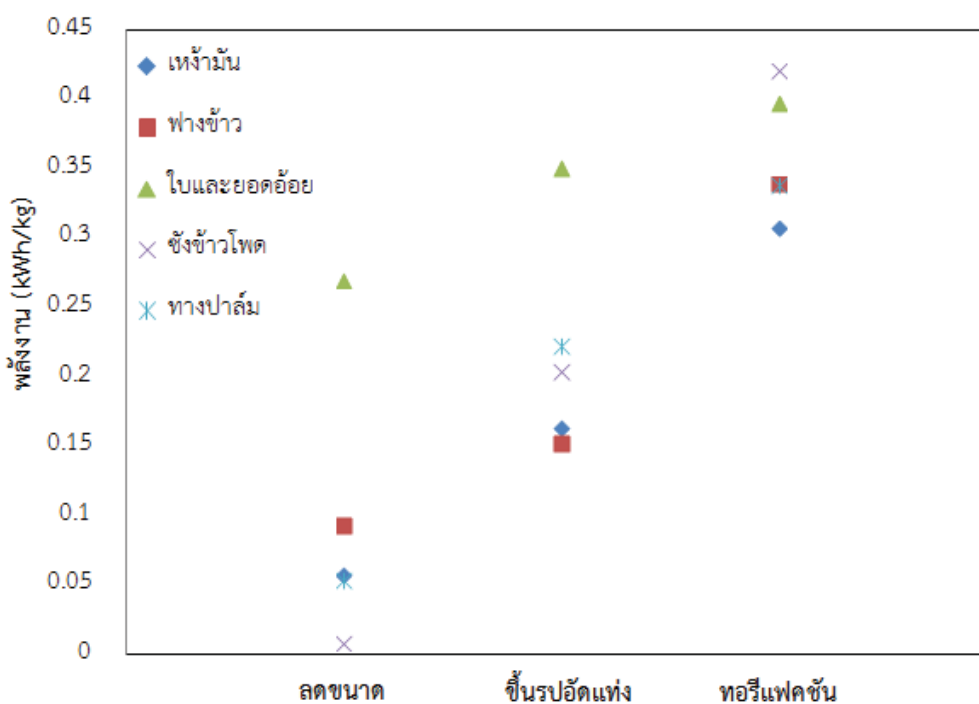
ภาพผนวก ง.3 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 230 องศาเซลเซียส
ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร



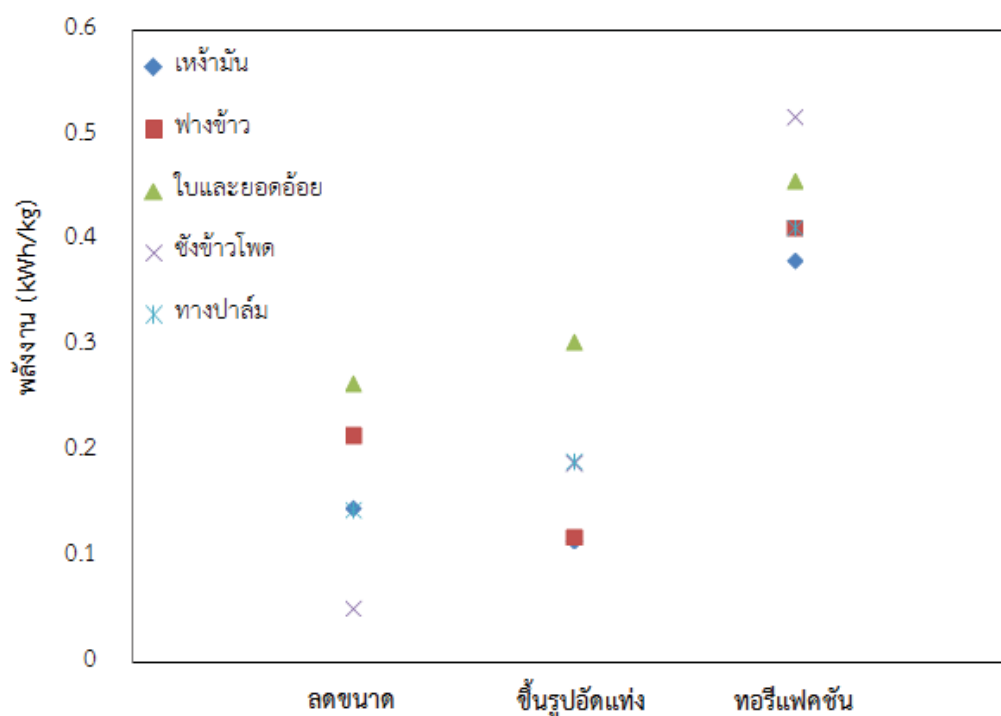
ภาพผนวก ง.4 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 250 องศาเซลเซียส
ขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร



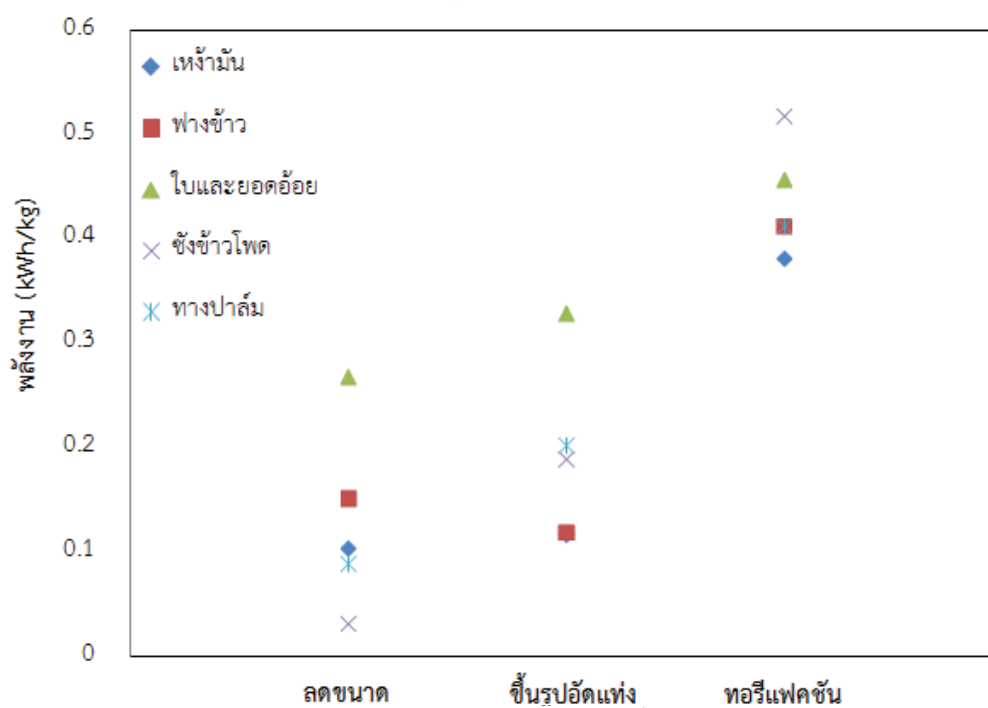
ภาพผนวก ง.5 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 250 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 5 มิลลิเมตร



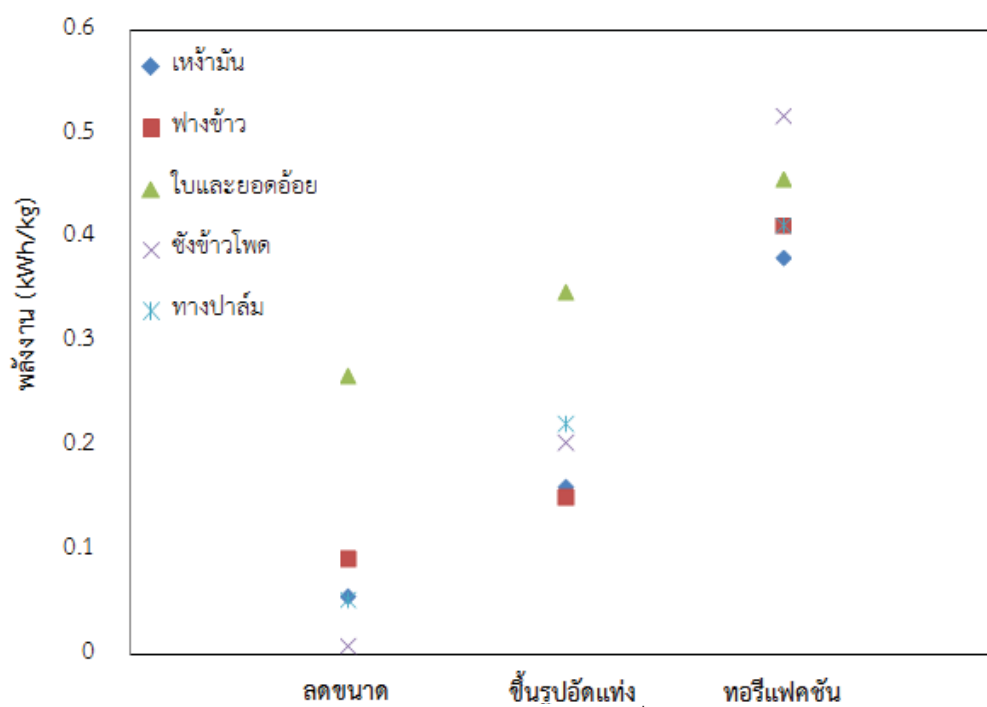
ภาพผนวก ง.6 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 250 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร



ภาพผนวก ง.7 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 280 องศาเซลเซียส
ขนาดอนุภาค 2 มิลลิเมตร



ภาพผนวก ง.8 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 280 องศาเซลเซียส
ขนาดอนุภาค 5 มิลลิเมตร



ภาพผนวก ง.9 กราฟแสดงพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ที่อุณหภูมิทอรีไฟร์ 280 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 9 มิลลิเมตร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - สกุล	นายไพศาล คำสว่าง
ที่อยู่ภูมิลำเนา	167 หมู่ 6 ตำบลบ่อนอก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77210
วันเดือนปีเกิด	9 ธันวาคม 2532
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2545-2547	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนห้วยกอกวิทยาลัย
พ.ศ. 2548-2550	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนห้วยกอกวิทยาลัย
พ.ศ. 2551-2554	ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร