

การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาระบบสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว

ภาสินี ลาดลา

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ ดุษฎี)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ต้นตีกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว
ชื่อผู้เขียน	นางสาวภาสินี ลาดลา
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี

บทคัดย่อ

กระบวนการอัดแท่งเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานต่ำอีกทั้งยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับการอัดแบบอื่น ๆ ซึ่งการอัดแบบนี้ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ง่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งระดับชุมชนให้สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยมีการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในปริมาณที่ต่ำ การดำเนินการทำการดัดแปลงอุปกรณ์ของตัวเครื่องโดยเพิ่มชุดให้ความร้อนบริเวณทางเข้าของชีวมวลก่อนทำการอัดแท่งเพื่อทำการอุ่นให้ชีวมวลมีการอ่อนตัวเกิดการยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้นและสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ง่าย การทดสอบเบื้องต้นได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อหากล้างการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปและอัตราการสิ้นเปลืองทางพลังงาน โดยได้กำหนดตัวแปรคือ ใช้วัสดุชีวมวล 3 ชนิด ประกอบด้วย แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ ขนาด 1-3 mm ที่อัตราส่วนชีวมวลหลัก 1,000 g ต่อตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง 20% ผลการศึกษาพบว่า แท่งเชื้อเพลิงของชีวมวลทั้ง 3 ชนิดยึดเกาะกันเป็นแท่งที่อุณหภูมิเฉลี่ย 50-70 °C และเวลาที่ใช้ในการผลิตประมาณ 50-60 min การพิจารณากล้างการผลิตเมื่อระยะเวลาในการผลิตเพิ่มมากขึ้นทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่กำลังการผลิตที่ได้จะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อนำชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมาทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C ความเร็วรอบที่เหมาะสมพบว่า ความเร็วรอบที่ 360 rpm เมื่อใช้เกลียวอัดแบบเกลียวรูปกรวยให้ความเหมาะสมสูงสุด แล้วทำการออกแบบและดัดแปลงเครื่องอัดแท่งชีวมวลตามเงื่อนไข กำลังการผลิตของทางใบปาล์มและเศษไม้มีกำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกันเท่ากับ 31.01 และ 39.08 เท่า และแกลบมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 1.49 เท่า การศึกษาโดยนำชีวมวลมาทำการให้ความร้อนด้วยชุดเพิ่มความร้อนพบว่า ที่อุณหภูมิ 225 °C มีการใช้ระยะเวลาและการใช้พลังงานที่น้อยที่สุด เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ แกลบและทางใบปาล์มมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 987.34 kg/m³ และ 1,014.03 kg/m³ ส่วนเศษไม้มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 994.67 kg/m³ ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทั่วไปมี ค่าความต้านทานแรงกดอัด เครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วน มีค่าเท่ากับ 4.70, 5.86 และ 5.96 MPa ค่าดัชนีการแตกร่วนและค่าความต้านทานการน้ำของ แกลบ

ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เมื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งชีวมวลจะให้ค่ามากกว่าใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วน ดัชนีแคร์วอนที่ได้มีค่าเท่ากับ 89.48, 98.30 และ 96.61% ค่าความต้านทานน้ำเท่ากับ 75.13%, 93.19% และ 89.67% ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณารายได้สุทธิเมื่อมีการใช้เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งของการนำชีวมวลมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงจะมีรายได้เพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าจากเดิมที่มีการจำหน่ายเป็นวัสดุชีวมวล โดยมีผลตอบแทนสุทธิ(NPV) เท่ากับ 1,894,441.87 baht และมีระยะเวลาการคืนทุนสั้นที่สุด 0.20 y

คำสำคัญ : เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเกลียวอัด, การอุ่นชีวมวล, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, เชื้อเพลิงอัดแท่ง, ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



Title	MODIFICATION OF CHARCOAL BRIQUETTE MACHINE FOR DENSIFICATION PROCESS OF GREENFUEL BRIQUETTE
Author	Miss Pasinee Ladla
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Natthawud Dussadee

ABSTRACT

Biomass briquette process cold type is low energy consumption and inexpensive machine compared to other types of briquette machines and hence easily accessible to the community. Therefore, this research was aimed to study the modification of charcoal briquetting machine for compressing biomass briquettes fuel to save cost of production and increase production capacity. The modification of the equipment involves addition of heating system at the entry of biomass before production in order to pre-heat the biomass so it becomes silky is able to bond together and forms easily into briquetting. The study was performed on the performance of the charcoal briquetting machine in order to find the production capacity, temperature of effect and the rate of energy waste. The variables were specified as follows: (1) Three types of biomass materials consisting of rice husk, palm leaf and wood chips (2) 1-3 mm size (3) Main biomass ratio of 1000 g per 20% binder material. The experimental results revealed that all three briquettes form different types of biomasses binds with each other at a temperature of 50-60 degrees Celsius. Furthermore, in terms of production capacity, when the production duration increases, the energy usage increases while the production capacity decreases. three types of biomasses were heated at 70 °C. The most suitable value was obtained when the machine compression speed was set at 360 rpm using the conical screw press. The design and modification of the Biomass Briquetting Machine followed the optimum conditions. At this condition, it was observed that the production capacity

increased. Palm leaves and wood chips with the same production capacity increased at same level of 31.01 and 39.08 times while the rice husk production capacity increased of 1.49 times. Likewise, when biomasses was heated at 225 °C, this temperature was found to be the best condition with the least amount of time and energy utilization. Analysis of physical properties of compressed fuel after the final process shows the value to be higher than the standard of briquette fuel, which has a general average value of 600 kg/m³. The rice husk and palm leaf pathways gave the average of the biomass briquetting machine more than the charcoal briquette machine at 987.34 kg/m³ and 1,014.03 kg/m³. As for the wood chips, the density was, which has 994.67 kg/m³. The biomass briquetting machine has an average compressive strength resistance greater than the previous device in all values, which are equal to 4.70%, 5.86% and 5.96% cracking index values of the three types of compressed fuel. In comparison between the charcoal briquette fuel and biomass briquetting machine, it was found that the biomass briquetting machine has average pressure resistance more than all the charcoal briquette fuel with values of 89.48%, 98.30% and 96.61%. The average water absorption resistance exceeded the charcoal briquette fuel in all values of 75.13%, 93.19% and 89.67%. Finally, the economic value analysis considering the net income using the briquette fuel machine presents that the income will increase 10 years from the biomass sale with a net present value of palm leaf is equal to 1,894,441.87 baht and payback period of 0.20 years

Keywords : Briquette Screw press Machine, Pre-heat, Agricultural waste, Briquettes fuel, Physical properties of briquette fuel

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี ที่ได้รับเกียรติเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดถึงให้ความรัก ความดูแลเอาใจใส่ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์ รองศาสตราจารย์ เสมอขวัญ ตันติกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง ซึ่งได้ให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาร่วมในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมไปถึงตรวจแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ทุนอุดหนุนใน "โครงการผลิตและพัฒนาบัณฑิตทางด้านพลังงาน ในกลุ่มประเทศอาเซียน ในระดับบัณฑิตศึกษา" ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ การสนับสนุนทุนวิจัย จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ "โครงการ การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับใช้กับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว" ประจำปีงบประมาณ 2561

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวัสดุในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สู่ตลาดเชิงพาณิชย์ จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใน "โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร" ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่าน บุคลากรทุกคน รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่คอยให้การสนับสนุน ให้คำแนะนำ รวมถึงคอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน เป็นกำลังใจให้จนทำให้สำเร็จการศึกษา ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
สารบัญภาพผนวก.....	ด
สารบัญตารางผนวก.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์.....	3
ขอบเขตการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและตรวจสอบเอกสาร.....	5
ชีวมวลและพลังงานชีวมวล.....	5
วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	11
2. วิธีการอัดแบบแห้ง.....	11
เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	14
กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	18
โครงสร้างของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	19
1) ระบบส่งกำลัง (Power Transmission).....	20

2) ร่องลื่น หรือ แบริ่ง (Bearing).....	28
3) เกลียวอัด (Screw).....	29
4) ช่องป้อนวัสดุ (Feed hopper).....	37
5) กระบอกลเกลียวอัด (Extruder barrel).....	37
6) แม่พิมพ์กระบอกล (Die)	38
การประเมินคุณภาพและสมบัติของการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	38
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	41
การตรวจสอบเอกสาร.....	42
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ในการดำเนินงานวิจัย	49
3.1 ชีวมวลในงานวิจัย	49
3.2 การเตรียมชีวมวล.....	52
3.3 ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง.....	53
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง	55
3.4.1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	56
3.4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง.....	60
3.4.3 เครื่องมือ วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	62
3.4.4 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า.....	65
3.5 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง.....	66
3.6 การทดสอบผลิตถ่านและเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเบื้องต้น โดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	68
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....	71
4.1) ผลการทดลองการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง	71
4.1.1 การประเมินกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเครื่องอัดถ่าน	71
4.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	71
4.1.3 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เหมาะสม	75

4.1.4 การวิเคราะห์หาความเร็วรอบที่เหมาะสม	77
4.1.5 การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของเกลิยวอัด.....	77
4.2) ผลการตัดแปลงและพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	78
ส่วนที่ 1 การตัดแปลงชุดให้ความร้อนชีวมวลก่อนการอัด	79
1.1 ตัวถังบรรจุชีวมวล.....	79
1.2 มอเตอร์ใบกวนของชุดเพิ่มความร้อน	80
1.3 ใบกวนสำหรับถังผสมชีวมวล	81
1.4) ชุดเพิ่มอุณหภูมิชีวมวล	82
ส่วนที่ 2 การตัดแปลงชุดเกลิยวอัด	83
ส่วนที่ 3 การตัดแปลงชุดระบบส่งกำลังเพื่อได้ความเร็วรอบที่เหมาะสม.....	84
ส่วนที่ 4 การปรับปรุงโครงสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	84
4.3) การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	87
4.3.1 กำลังการผลิต	87
4.3.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	87
4.4) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ.....	88
4.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	91
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	95
ข้อเสนอแนะ	96
ภาคผนวก.....	97
ภาคผนวก ก แบบเครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	98
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	114
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ.....	122
ภาคผนวก ง การเผยแพร่งานวิจัย.....	126
บรรณานุกรม.....	155



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินศักยภาพของชีวมวลแต่ละชนิด	9
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติชีวมวลโดยวิธีการประมาณ (Proximate Analysis).....	51
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis).....	52
ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	78
ตารางที่ 5 เงื่อนไขการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	93
ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอัดแท่งชีวมวล	94



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งความดันต่ำ	3
ภาพที่ 2 ชีวมวลที่ได้จากการเพาะปลูก	6
ภาพที่ 3 ชีวมวลที่เกิดจากไฟไหม้ป่า.....	6
ภาพที่ 4 ชีวมวลที่ได้จากหลังการเก็บเกี่ยว	7
ภาพที่ 5 ชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้	7
ภาพที่ 6 ชีวมวลจากมูลสัตว์.....	8
ภาพที่ 7 ชีวมวลจากขยะ.....	8
ภาพที่ 8 การเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล	10
ภาพที่ 9 แท่งชีวมวลแบบสด	11
ภาพที่ 10 แท่งชีวมวลจากกระบวนการอัดร้อน	12
ภาพที่ 11 แท่งเชื้อเพลิงแบบใช้ตัวประสาน	13
ภาพที่ 12 ตัวประสานที่นิยมใช้	14
ภาพที่ 13 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	15
ภาพที่ 14 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย.....	15
ภาพที่ 15 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยชุดลดความร้อนที่กระบอกอัด.....	16
ภาพที่ 16 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง.....	17
ภาพที่ 17 เครื่องอัดเม็ด	18
ภาพที่ 18 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	19
ภาพที่ 19 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องอัดแท่ง	20
ภาพที่ 20 การส่งกำลังด้วยสายพานแบบเปิด	23
ภาพที่ 21 การส่งกำลังด้วยสายพานแบบปิด	24

ภาพที่ 22	เพลาขณะอยู่ภายใต้ภาวะต่าง ๆ	27
ภาพที่ 23	(ก) แบร็งก์าบ และ (ข) แบร็งก์ูปีน	28
ภาพที่ 24	ช่วงการทำงานของเกลียวอัด	30
ภาพที่ 25	ลักษณะของเกลียวอัดแบบต่าง ๆ	32
ภาพที่ 26	ลักษณะต่าง ๆ ของช่องป้อนวัสดุ	37
ภาพที่ 27	การให้ความร้อนกระบอกอัดด้วยเตาเผาถ่าน	43
ภาพที่ 28	การศึกษาการสึกหรอของเกลียวอัด	43
ภาพที่ 29	การเพิ่มความหนาแน่นด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรู	44
ภาพที่ 30	ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงาน	50
ภาพที่ 31	ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัย	51
ภาพที่ 32	การลดขนาดทางใบปาล์ม	52
ภาพที่ 33	การลดขนาดกลบและเศษไม้	53
ภาพที่ 34	ตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง	53
ภาพที่ 35	เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	54
ภาพที่ 36	เกลียวอัดแบบสกรู	55
ภาพที่ 37	กระบอกแม่พิมพ์ทรงหกเหลี่ยม	55
ภาพที่ 38	เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด	56
ภาพที่ 39	เครื่องย่อยชีวมวลแบบละเอียด	56
ภาพที่ 40	ชุดส่งกำลัง	57
ภาพที่ 41	ชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง	58
ภาพที่ 42	ชุดอุ่นให้ความร้อนชีวมวล	59
ภาพที่ 43	ชุดโครงสร้างและชุดควบคุมการทำงาน	59
ภาพที่ 44	เครื่องชั่งน้ำหนักชีวมวล	60
ภาพที่ 45	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด	61

ภาพที่ 46 ชุดเครื่องวัดอุณหภูมิแบบติดแผง	61
ภาพที่ 47 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบแสงเลเซอร์.....	62
ภาพที่ 48 เวอร์เนียคาลิปเปอร์แบบดิจิตอล.....	62
ภาพที่ 49 เครื่องทดสอบดัชนีการแตกร่วน.....	63
ภาพที่ 50 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด.....	64
ภาพที่ 51 อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานน้ำ.....	64
ภาพที่ 52 มิเตอร์ไฟฟ้า.....	65
ภาพที่ 53 แคลมป์มิเตอร์	66
ภาพที่ 54 การผสมชีวมวลเข้ากับตัวประสาน	66
ภาพที่ 55 การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	67
ภาพที่ 56 ลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	67
ภาพที่ 57 ทดสอบการอัดเบื้องต้นของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง.....	69
ภาพที่ 58 การประเมินสมรรถนะของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งในเบื้องต้น.....	69
ภาพที่ 59 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	70
ภาพที่ 60 กำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	72
ภาพที่ 61 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	72
ภาพที่ 62 ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	73
ภาพที่ 63 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	74
ภาพที่ 64 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	75
ภาพที่ 65 อุณหภูมิในการอุ่นที่เหมาะสมของแกลบ.....	76
ภาพที่ 66 อุณหภูมิในการอุ่นที่เหมาะสมของทางใบปาล์ม.....	76
ภาพที่ 67 อุณหภูมิในการอุ่นที่เหมาะสมของเศษไม้.....	77
ภาพที่ 68 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง.....	79
ภาพที่ 69 ตัวถังบรรจุชีวมวล.....	80

ภาพที่ 70 ชุดมอเตอร์ใบกวนชุดให้ความร้อนซีวมวล	81
ภาพที่ 71 ชุดมอเตอร์ต้นกำลังของตัวถังชุดเพิ่มอุณหภูมิ	82
ภาพที่ 72 ชุดเพิ่มอุณหภูมิซีวมวล	83
ภาพที่ 73 เกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง.....	83
ภาพที่ 74 เกลียวอัดที่ได้จากการดัดแปลงสำหรับผลิตซีวมวลอัดแท่ง	84
ภาพที่ 75 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง.....	85
ภาพที่ 76 เครื่องอัดแท่งซีวมวล (Isometric)	85
ภาพที่ 77 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งซีวมวล	86
ภาพที่ 78 อุณหภูมิที่เหมาะสมของแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้.....	87
ภาพที่ 79 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	88
ภาพที่ 80 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	89
ภาพที่ 81 ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	90
ภาพที่ 82 ความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง.....	90
ภาพที่ 83 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	91

สารบัญภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 แบบแสดงด้านหน้า ด้านข้าง ด้านหลัง และด้านบน ของเครื่องอัดแท่งซีมวล.....	99
ภาพผนวกที่ 2 แบบแสดงฐานโครงสร้างของเครื่องอัดแท่งซีมวล.....	100
ภาพผนวกที่ 3 แบบแสดงขนาดของเกลียวอัดแบบสกรูรูปกรวย.....	101
ภาพผนวกที่ 4 แบบแสดงขนาดกระบอกอัดของเครื่องอัดแท่งซีมวล.....	102
ภาพผนวกที่ 5 แบบแสดงขนาดช่องป้อนวัสดุของเครื่องอัดแท่งซีมวล.....	103
ภาพผนวกที่ 6 แบบแสดงชุดเพิ่มความร้อน ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน.....	104
ภาพผนวกที่ 7 แบบแสดงขนาดของกระบอกอัด.....	105
ภาพผนวกที่ 8 แบบแสดงปกเพลากลียวอัด.....	106
ภาพผนวกที่ 9 แบบแสดงกระบอกแม่พิมพ์.....	107
ภาพผนวกที่ 10 แบบแสดงโตะวางชุดกระบอกอัด.....	108
ภาพผนวกที่ 11 แบบแสดงโตะรองรับซีมวล.....	109
ภาพผนวกที่ 12 แบบแสดงชุดแท่นวางมอเตอร์.....	110
ภาพผนวกที่ 13 แบบแสดงฟูล์วซ์ชุดเพิ่มความร้อนให้ซีมวล.....	111
ภาพผนวกที่ 14 แบบแสดงฟูล์วซ์เกลียวอัด.....	112
ภาพผนวกที่ 15 แบบแสดงฟูล์วซ์เกลียวตาม.....	113
ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11.....	127
ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14.....	138
ภาพผนวกที่ 18 The 26 th Tri-U international Joint Seminar and Symposium.....	146
ภาพผนวกที่ 19 โปสเตอร์นิทรรศการแสดงผลงาน งานเกษตรแม่โจ้ 85 ปี.....	153
ภาพผนวกที่ 20 แผ่นพับนิทรรศการแสดงผลงาน งานเกษตรแม่โจ้ 85 ปี.....	154

สารบัญตารางผนวก

หน้า

ตารางผนวกที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	115
ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล...	116
ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	117
ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล .	118
ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	119
ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล .	120
ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง	121



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การใช้พลังงานนับเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เนื่องจากพลังงานถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ก่อให้เกิดการขับเคลื่อนในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเทคโนโลยีตลอดจนก่อให้เกิดการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงส่งผลให้มนุษย์มีความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานที่มีการนำมาใช้ส่วนใหญ่มาจากพลังงานจากฟอสซิล ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและในด้านต่าง ๆ เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงานขั้นต้นพบว่าประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าปิโตรเลียมจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากทั้งในรูปแบบของน้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 56 ของความต้องการในการใช้ปิโตรเลียมทั้งหมด เนื่องจากประเทศไทยมีข้อจำกัดในเรื่องของศักยภาพในการผลิตทำให้ไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงาน ทางกระทรวงพลังงานจึงได้มีการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาโดยมีเป้าหมายคือ ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเป็น 30% โดยแบ่งออกเป็นภาคไฟฟ้า 4.27% ภาคความร้อน 19.15% และภาคขนส่ง 6.65% โดยที่ผ่านมามีการนำชีวมวลมาใช้ในภาคไฟฟ้าและภาคความร้อนถึง 5,570 MW และ 22,100 ktoe (กานต์นลิน, 2559) นอกจากนี้ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่กว่า 12.3 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 34 ประกอบอาชีพเกษตรกร (กระทรวงสาธารณสุข, 2557) โดยในแต่ละปีจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด ฟางข้าว แกลบ เศษไม้ ทลายปาล์ม กากอ้อย เป็นต้น เป็นจำนวนมากซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมกำจัดทิ้งโดยการนำไปเผาทำลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง แต่ในการกระทำดังกล่าวกลับส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมทำลายหน้าดินทำให้ดินขาดธาตุอาหาร และเกิดหมอกควันที่ส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศที่อาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ และการทำลายชั้นบรรยากาศ หากเราพิจารณาทางด้านพลังงานแล้วชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่การที่จะนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้นั้นมีข้อจำกัดคือ วัสดุจากชีวมวลเหล่านี้มีค่าความหนาแน่นและมีค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ เมื่อทำการเผาไหม้จะเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการ

เพิ่มความหนาแน่นให้กับเชื้อเพลิงก่อนการนำไปใช้งานโดยการใช้เครื่องอัดแท่งเพื่อเป็นการเพิ่มความหนาแน่น ในปัจจุบันเครื่องอัดแท่งมีหลายประเภทตามลักษณะในการผลิตเพื่อนำไปใช้งาน เครื่องอัดแท่งแบบใช้ความดันสูงเป็นเครื่องที่มีราคาแพงเหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรม เครื่องอัดแท่งแบบความดันปานกลางเป็นเครื่องอัดแท่งแบบใช้ความร้อนแต่มีข้อเสียคือมีการใช้พลังงานสูงในการทำให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวลง และทำให้ตัวเครื่องมีการสึกหรอสูง เครื่องอัดแท่งความดันต่ำเป็นเครื่องอัดแท่งที่มีกำลังการผลิตไม่สูงมากเฉลี่ยที่ประมาณ 20-10 kg/h มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในชุมชนแต่มีข้อเสียคือ ต้องมีการใช้ตัวประสานในปริมาณที่ค่อนข้างสูงจึงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในด้านต้นทุนการผลิต อีกด้านเครื่องอัดแท่งชีวมวลนี้ส่วนใหญ่จะออกแบบมาภายใต้พื้นฐานการใช้อัดถ่าน

เครื่องอัดแท่งถ่านเป็นเครื่องอัดที่ใช้ความดันต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวและเครื่องอัดแท่งชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำเครื่องอัดแท่งถ่านมาใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว เพื่อเป็นการลดต้นทุนในด้านการผลิตให้ชุมชนสามารถนำมาใช้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง แต่การนำเครื่องอัดแท่งถ่านมาประยุกต์ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถอัดให้ออกมาเป็นแท่งได้ในครั้งเดียว ต้องมีการนำชีวมวลมาป้อนกลับซ้ำ ๆ เป็นจำนวนมากกว่า 5 รอบ ขึ้นไปจึงจะทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นแท่งได้ จึงส่งผลให้กระบวนการอัดแท่งมีความยุ่งยาก มีเช่นนั้นต้องมีการนำตัวผสมมาใช้เพื่อช่วยให้เกิดการยึดเกาะซึ่งต้องมีการนำมาใช้ในปริมาณที่สูงมากซึ่งอาจจะส่งผลถึงต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น และอีกประการ คือ อาจเป็นผลเนื่องมาจากขณะที่ทำการอัดอุณหภูมิในการอัดไม่สูงพอที่จะทำให้ลิกนินอ่อนตัว จนทำให้ชีวมวลยึดเกาะกันได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งระดับชุมชนให้สามารถใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลเขียวให้มีการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในปริมาณที่ต่ำ โดยมีแนวคิดในการพัฒนาคือ ทำการดัดแปลงอุปกรณ์ในส่วนของตัวเครื่องโดยการเพิ่มระบบให้ความร้อนบริเวณทางเข้าของชีวมวลก่อนที่จะทำการอัดแท่ง เพื่อทำการอุ่นชีวมวลทำให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดเพื่อให้ชีวมวลมีการยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้นและสามารถออกมาเป็นแท่งได้ง่าย โดยประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย คือ มุ่งหวังเพื่อพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านสำหรับการใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นสำหรับชุมชน เพื่อนำชีวมวลอัดแท่งไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ที่จะเป็ผลในการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคตอันใกล้



ภาพที่ 1 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งความดันต่ำ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการใช้งานการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (เชื้อเพลิงเขียว)
2. เพื่อศึกษาและทดสอบตัวแปรทางด้านอุณหภูมิและลักษณะทางกายภาพของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเขียว
3. เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานและคุณภาพเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้
4. เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการนำเครื่องผลิตเชื้อเพลิงเขียวไปใช้งานในระดับชุมชน

ขอบเขตการศึกษา

1. เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องอัดแท่งถ่านแบบธรรมดา
2. ทำการทดสอบชีวมวลอย่างน้อย 2 ชนิด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่ให้อัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น
2. ได้ข้อมูลตัวแปรและค่าสมรรถนะของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสม
3. ได้เชื้อเพลิงชีวอัดแท่งที่มีคุณสมบัติที่เป็นไปตามมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่ง
4. ได้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการดัดแปลงหรือปรับปรุงเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



บทที่ 2

ทฤษฎีและตรวจสอบเอกสาร

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึง ชีวมวลและพลังงานชีวมวล เทคโนโลยีในการเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ชีวมวล เชื้อเพลิงอัดแท่ง ลักษณะการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โครงสร้างของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเกลียวอัด และการประเมินคุณภาพและสมบัติของการอัดแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งแต่ละหัวข้อแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชีวมวลและพลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ ประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) กำมะถัน (S) และไนโตรเจน (N) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้ความร้อน หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยอาศัยจุลินทรีย์ ชีวมวลสามารถแบ่งประเภทตามปริมาณความชื้นภายในชีวมวล (Moisture Content) เพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีในการแปรรูป โดยชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นสูงประมาณ 50 % โดยน้ำหนัก เช่น ชานอ้อย, มูลสัตว์ และ กากน้ำตาล เป็นต้น เรียกประเภทของชีวมวลนี้ว่า “Wet Conversion Process” ส่วนชีวมวลที่มีความชื้นต่ำ เช่น ฟางข้าว, ไม้พิน และ แกลบ เป็นต้น เรียกว่า “Dry Conversion Process” (McKendry et al., 2002) แต่ ณ ที่นี้จะแบ่งประเภทของชีวมวลเป็น 6 ประเภท จากแหล่งกำเนิดของชีวมวลนั้น ๆ (Monique et al., 2003) และ (นคร, 2553) ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1) ชีวมวลที่เกิดจากการเพาะปลูก ซึ่งชีวมวลประเภทนี้มีการปลูกขึ้นมาแล้วเหลือจากใช้ในจุดประสงค์หลักของการปลูก เช่น ปลูกเพื่อเป็นอาหารแก่คนหรือสัตว์ หรือปลูกขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรง ชีวมวลประเภทนี้ เช่น ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด ถั่วเหลือง และ มันสำปะหลัง เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2

ประเภทที่ 2) ชีวมวลที่เกิดขึ้นหลังการเกิดไฟไหม้ป่า ดังภาพที่ 3 ชีวมวลชนิดนี้จะเกิดขึ้นหลังมีการเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นประจำ โดยชีวมวลประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นเศษกิ่งไม้และลำต้น ของต้นไม้ที่หลงเหลือจากไฟไหม้ป่า

ประเภทที่ 3) ชีวมวลที่เกิดขึ้นจากของเสียทางการเกษตร โดยจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปพืชผลทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว กะลาปาล์ม เป็นต้น ดังภาพที่ 4



(ก) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์



(ข) ปาล์มน้ำมัน



(ค) ต้นถั่วเหลือง



(ง) มันสำปะหลัง

ภาพที่ 2 ซีวมวลที่ได้จากการเพาะปลูก

ที่มา: สมาคมแปงมันสำปะหลังไทย (2562), แนวหน้าโลกธุรกิจออนไลน์ (2562)



ภาพที่ 3 ซีวมวลที่เกิดจากไฟไหม้ป่า

ที่มา: ชาวไทยพีบีเอส (2562)



(ก) แกลบ

(ข) ฟางข้าว

(ค) กะลาปาล์ม

ภาพที่ 4 ซีวมวลที่ได้จากหลังการเก็บเกี่ยว

ที่มา:

มติชนออนไลน์ (2561), คมชัดลึกออนไลน์ (2562) และ บริษัท ไฮบริด เอ็นเนอร์จี จำกัด (2560)

ประเภทที่ 4) ซีวมวลที่เกิดขึ้นในป่าและอุตสาหกรรมป่าไม้ สามารถหาได้ในป่า เช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ที่หักจากต้นไม้ ต้นไม้ที่ตายไปแล้ว หรือแม้แต่ของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ เช่น ขี้เลื่อย และ ปีกไม้เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 5



(ก) ขี้เลื่อย

(ข) เศษไม้

ภาพที่ 5 ซีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้

ที่มา: Shutterstock (2558)

ประเภทที่ 5) ซีวมวลจากมูลสัตว์ เป็นสิ่งปฏิกูลที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ เช่น มูลวัว มูลแพะ มูลไก่ เป็นต้น ดังภาพที่ 6 ซึ่งซีวมวลเหล่านี้จะมีความชื้นที่สูงต้องนำไปผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้งานได้



(ก) มูลวัว

(ข) มูลแพะ

(ค) มูลไก่

ภาพที่ 6 ชีวมวลจากมูลสัตว์

ที่มา: แจ็คฟาร์ม (2562), Sapon Banana (2562) และ พารวย ดินเกษตร (2560)

ประเภทที่ 6) ชีวมวลจากขยะชุมชน ชีวมวลประเภทนี้คือขยะที่เราทิ้งกันทุก ๆ วัน ซึ่งสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ขยะชุมชน (Municipal Solid Waste) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ชีวมวลจากขยะ

ที่มา: ไทยรัฐออนไลน์ (2562)

ชีวมวลที่ถูกแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ นั้น จะเห็นได้จากข้อมูลทางสถิติของ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556) พบว่า ปริมาณชีวมวลที่คงเหลือจากการนำไปใช้งานมีทั้งสิ้นประมาณ 63 ล้านตัน โดยข้อมูลปริมาณศักยภาพบางส่วน แสดงในตารางที่ 1 อ้างอิงจากข้อมูลของปีการเพาะปลูกในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งชีวมวลที่เหลือนี้สามารถนำมาแปลงสภาพ (นคร, 2553) ใช้งานในด้านพลังงานได้อย่างหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น กระบวนการเผาให้ความร้อนโดยตรงหรือทางอ้อม กระบวนการเพิ่มความหนาแน่น กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการผลิต

ก๊าซชีวภาพ และกระบวนการอื่น ๆ หากมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จะสามารถทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ (สีบพงษ์, 2011) นอกจากนี้หากเราพิจารณาถึงคุณสมบัติข้อดีของชีวมวล ไม่ว่าจะเป็น ความหนาแน่นที่ต่ำ ความชื้นในวัสดุที่สูง การขนส่งข้ามจังหวัดที่ต้องมีค่าใช้จ่าย อีกทั้งในเรื่องของการกำจัดที่ไม่ถูกต้องโดยส่วนใหญ่นั้น จะทำการเผาทิ้ง ทำให้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาข้อเสียของชีวมวลให้สามารถนำมาใช้งานในแง่ของพลังงานได้โดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินศักยภาพของชีวมวลแต่ละชนิด

ชนิดของ ชีวมวล	ปริมาณที่เกิดขึ้น (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	ค่าความร้อน (TJ)
1. ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	134,308.56
2. แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	1,879.09
3. ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	1,163.99
4. ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	28,789.29
5. ใบและลำต้นถั่ว	65,017.48	3,250.87	61,766.61	1,002.47
เหลือียง เขียว ลิสง				
6. ตอ รากและกิ่งก้าน ไม้ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	5,751.98
7. กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	393.89
8. ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	15,985.00
9. เปลือกและกาบ มะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,334.11	54.11
10. เปลือกมะม่วง	70,038.56	1,674.28	68,364.29	375.32
หิมพานต์				
11. จั่นและทะลาย มะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.06	3,635.71

ที่มา: ข้อมูลของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2556 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าวัสดุเหลือทิ้งนำมาใช้ ทดแทนไม้ฟืนและถ่าน วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ ไม่ว่าจะจากพืชไม้หรือของเหลือทิ้งจากการเกษตร สามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณค่าด้วยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่น (Densification) ด้วยการอัดแท่ง ดังภาพที่ 8 โดยจะทำให้ชีวมวลมีความหนาแน่นสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรต่าง ๆ ก่อนอัดแท่งมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณมากไม่สะดวก ต่อการขนส่งและเก็บรักษา เมื่อนำมาอัดแท่งแล้วจะมีปริมาตรลดลงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา วัสดุทางการเกษตรก่อนอัดแท่งจะมีค่าความร้อนประมาณหนึ่งในสามของถ่านหินโดยน้ำหนัก และหนึ่งในสี่โดยปริมาตร แต่เมื่อมีการอัดแท่งแล้วสามารถเพิ่มค่าความร้อนเป็น สองในสามของถ่านหินโดยน้ำหนักและเกือบสามในสี่โดยปริมาตร (ณัฐนิช, 2560) ถึงแม้ว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นเวลานานแล้วก็ตามแต่ประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำมากและมีข้อจำกัดหลายประการ กล่าวคือ 1. วัสดุเหลือใช้เหล่านี้มีความหนาแน่นต่ำต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บและเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากทำให้การใช้ถูกจำกัดอยู่ในบริเวณใกล้เคียงแหล่งผลิตเท่านั้น 2. การขนส่งไปบริเวณห่างไกลจะให้ผลไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่ได้รับ 3. การเผาไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็วเพราะมีความหนาแน่นต่ำและมีค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรต่ำทำให้ต้องใช้ปริมาตรที่มากจึงเสียค่าขนส่งและใช้แรงงานมากกว่า ดังนั้นจึงมีผลทำให้ การใช้วัสดุเหลือใช้หรือฟืนถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เช่น ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการค่าความร้อนสูงมาก ๆ และไม่จำเป็นต้องควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา ความชื้นในวัสดุ ค่าความชื้นที่ได้จากวัสดุสดจะให้ค่าความร้อนน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการอบแห้งหรือตากให้แห้ง นอกจากนี้วัสดุที่เปียกยังเกิดการผุเน่าเปื่อย เนื่องจากการทำลายของเห็ดราและการกัดกินของแมลง



ภาพที่ 8 การเพิ่มความหนาแน่นชีวมวล

ที่มา: (ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558)

วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การอัดแท่งเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนสภาพเศษชีวมวลให้เป็นแท่ง เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ชีวมวล สามารถทำได้หลายรูปแบบตามการใช้งาน เช่น อัดเป็นแท่งเล็กหรือเม็ดอัดเป็นลูกบาศก์ เป็นต้น สามารถจำแนกได้ 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

1. วิธีการอัดแบบสด

โดยทั่วไปการอัดแท่งจากชีวมวลชนิดต่าง ๆ ต้องนำมาผ่านการลดขนาดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ และทำการอัดในระบอบกึ่งความชื้นสูงประมาณ 40%-60% เพื่อลดแรงอัดและช่วยในการจับตัวเป็นแท่ง การอัดทำโดยใช้พืชชนิดเดียวอัดด้วยสารเหนียว ๆ ในพืชเอง เช่น เพคติน กัมเจลาติน เป็นต้น หรืออาจใช้พืชชนิดอื่น ๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสานเพราะตัวมันเองไม่มีน้ำและยางเหนียวเพียงพอที่จะทำให้ชีวมวลจับตัวเป็นแท่งได้ เช่น ถั่วแระ ผักตบชวา เป็นต้น จากการอัดโดยไม่ใช้ความร้อนหรือที่เรียกว่าแท่งเชื้อเพลิงเขียว ดังภาพที่ 9 เมื่อแห้งจะมีรูพรุนทำให้ติดไฟง่ายหรืออาจนำมาเผาเป็นถ่านได้



ภาพที่ 9 แท่งชีวมวลแบบสด

ที่มา : Brooker et al. (1992)

2. วิธีการอัดแบบแห้ง

สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.1) การอัดแบบใช้ความร้อน หรือ อัดร้อน (Hot densification)

เป็นวิธีการอัดที่ใช้ความร้อนสูง และแรงอัดสูงระดับปานกลาง ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น แรงดัน และขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น โดยความร้อนจะทำให้ลิกนินและเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของผนังเซลล์พืชอ่อนตัวลงที่อุณหภูมิประมาณ 130-190 °C กลายเป็นตัวประสานที่ทำให้วัสดุจับตัวกันเป็นแท่ง ดังภาพที่ 10 วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น ชีลื้อย แกลบ เศษไม้ เป็นต้น โดยส่วนประกอบที่สำคัญของการอัดแบบร้อนจะอยู่ที่ เกลียวอัด และกระบอกหรือกระบอกอัดต้นแบบ ที่มักจะนิยมให้ความร้อนแบบอัดโน้มนัดด้วยขดลวดไฟฟ้าหรือวิธีการเผาแบบต่าง ๆ และระบบระบายความร้อนที่ห้องเฟือง ก่อนที่จะนำวัสดุมาทำการอัดต้องมีการบดให้วัสดุมีขนาดเล็ก และลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 12 การอัดจะใช้แรงอัดสูงที่ประมาณ 0-100 kg/cm³ จากนั้นทำการอัดให้วัสดุเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งและแน่น แต่ข้อเสียของการอัดร้อน คือต้องทำการอุ่นเครื่องก่อนประมาณ 30 min เพื่อให้กระบอกอัดมีอุณหภูมิ 260-300 °C และเกิดการสึกหรอของเกลียวอัดได้เร็ว เนื่องจากเป็นส่วนที่รับแรงมากที่สุด



ภาพที่ 10 แท่งชีวมวลจากกระบวนการอัดร้อน

ที่มา : Brooker et al. (1992)

2.2) การอัดแบบเย็น (Cold densification)

เป็นวิธีการอัดที่สามารถทำได้กับวัสดุ ไม่ว่าจะสดและแห้ง แต่การอัดแบบนี้จะไม่มีระบบให้ความร้อน ใช้แรงในการอัดและอุณหภูมิที่ต่ำ โดยการอัดแบบเย็นจะอาศัยความสามารถของตัวชีวมวลที่มีความเหนียวของเส้นใย หรือเพคติน เจลลาติน และกัม ในการจับตัวหรือประสานกัน เพื่อให้เป็นแท่งโดยตัวประสานที่ดีจะต้องมีความเหนียวที่ทำให้วัสดุสามารถยึดเกาะกันได้ดี ก่อนที่จะนำวัสดุมาทำการอัดต้องมีการบดให้วัสดุมีขนาดเล็กและลดความชื้นให้เหลือประมาณ 50% จะอัดได้ดี

ที่สุดหากต่ำกว่านี้อาจจะอัดได้ไม่ดีมาก สำหรับวัสดุบางชนิดสามารถอัดได้ดีที่ความชื้นประมาณ 40% โดยในกระบวนการอัดแท่งสามารถแบ่งได้ 3 แบบคือ

1) แบบไม่ใช้ตัวประสาน ซึ่งนิยมใช้กับพืชที่มีความเหนียวและเส้นใยในการประสานกัน เช่น ต้นถั่วแระ (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2560) ใบปาล์ม (นฤมล และคณะ, 2555) และ ผักตบชวา (ณิชา, 2559) เป็นต้น

2) แบบใช้ตัวประสาน ตัวประสาน คือ สารที่นำมาผสมกับวัสดุเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างวัสดุในกระบวนการอัดแท่งเพื่อให้วัสดุยึดติดกันเป็นก้อนได้ดียิ่งขึ้นตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นการลดความดันและอุณหภูมิในการอัด ดังภาพที่ 11 โดยในการใช้ตัวประสานจะพิจารณาจาก ราคา และปริมาณในการใช้ ซึ่งจะต้องมีอัตราส่วนที่น้อยที่สุดแต่วัสดุสามารถจับตัวกันได้ดีที่สุด ตัวประสานที่ใช้ต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (Adhesive force) ที่สูงเพื่อให้วัสดุสามารถจับตัวกันได้ดียิ่งขึ้น โดยตัวประสานที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล ดังแสดงในภาพที่ 12 (ธีรศักดิ์, 2559) กากสาเหล้ม้า ลิกไนต์ปนดินเหนียว กาว มูลสัตว์ น้ำมันดิน บิทูเมน เป็นต้น

3) ถ่านอัดแท่ง ดังแสดงในภาพที่ 8 คือ การนำถ่านที่บดละเอียดมาผสมกับตัวประสาน เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือกากน้ำตาล เพื่อให้ถ่านจับตัวได้ดี ทั้งนี้ในกระบวนการการอัดแบบเย็นมีข้อเสียคือต้องนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแล้วไปตากแดดหรืออบแห้งก่อนที่จะนำไปใช้



ภาพที่ 11 แท่งเชื้อเพลิงแบบใช้ตัวประสาน

ที่มา: ธนาพล และคณะ (2558)



(ก) แป้งมันสำปะหลัง



(ข) กากน้ำตาล

ภาพที่ 12 ตัวประสานที่นิยมใช้

ที่มา: Qian Judy (2016) และ Banana8888 (2562)

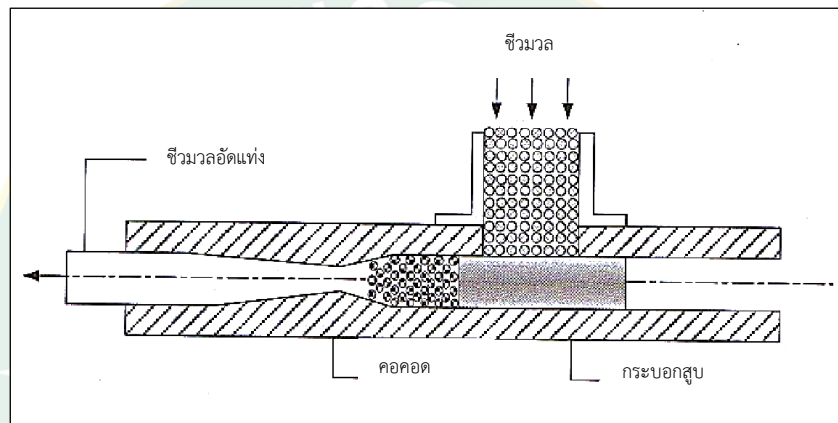
เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

เครื่องอัดแท่ง (Biomass Briquettes Machines) เป็นเทคโนโลยีทางด้านพลังงานที่สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้แก่วัสดุอาจทำได้ทั้งแบบอัดร้อน และแบบอัดเย็น ตามความเหมาะสมของชีวมวลแต่ละชนิดและการนำไปใช้งาน โดยเครื่องอัดแท่งสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม (ณัฐนิช, 2560) ดังต่อไปนี้

1) เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press) ประกอบด้วย ลูกสูบชัก (Reciprocating Piston) เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่องป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered Die) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical Chock) หรือรูปเรียว จะทำหน้าที่ดันการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 °C แสดงดังภาพที่ 13 และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-100 mm เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1,000 kg/h และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ

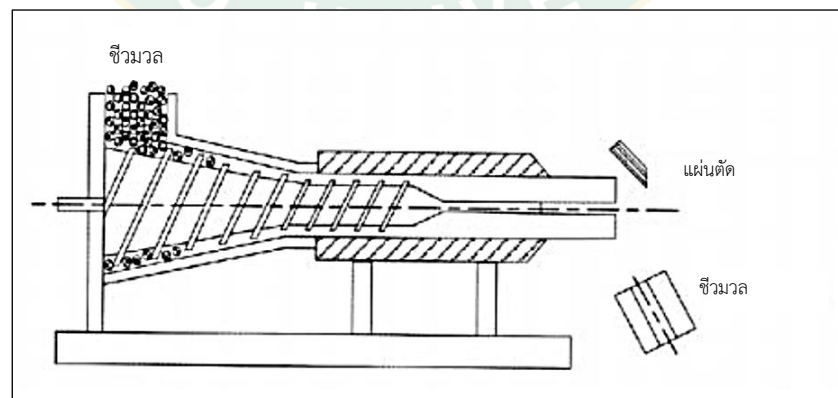
2) เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ในเครื่องอัดแบบเกลียว วัตถุดิบที่ใช้อัดจากช่องป้อน (Feed Hopper) ถูกส่งผ่านและอัดด้วยเกลียว แบ่งเครื่องอัดแบบนี้ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.1) เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical Screw Press) มีหลักการทำงาน คือ เกรียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพื้นเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 mm การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 °C ส่งผลให้ลิกนินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัดแสดงดังภาพที่ 14 กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้ อยู่ในช่วง 500-1,000 kg/h อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 kW วัสดุที่ใช้ทำการอัด ควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้น 8-10%



ภาพที่ 13 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

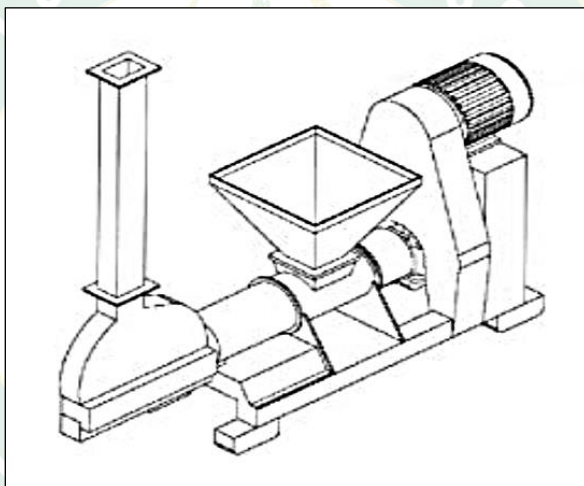
ที่มา: ญัฐนิช (2560)



ภาพที่ 14 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

ที่มา ญัฐนิช (2560)

2.2) เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw Press with a Heated Die) มีหลักการทำงานคือ วัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อยผ่านเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนระหว่าง 200-350 °C ความร้อนนี้ทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกยึดตัวกันดี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 mm โดยเฉพาะการออกแบบของหัวเกลียวทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 mm. เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้อยู่ในช่วง 50-500 kg/h วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีปริมาณความชื้นในช่วง 8-12% ปัญหาใหญ่ของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของเกลียวและกระบอกอัดแสดงดังภาพที่ 15

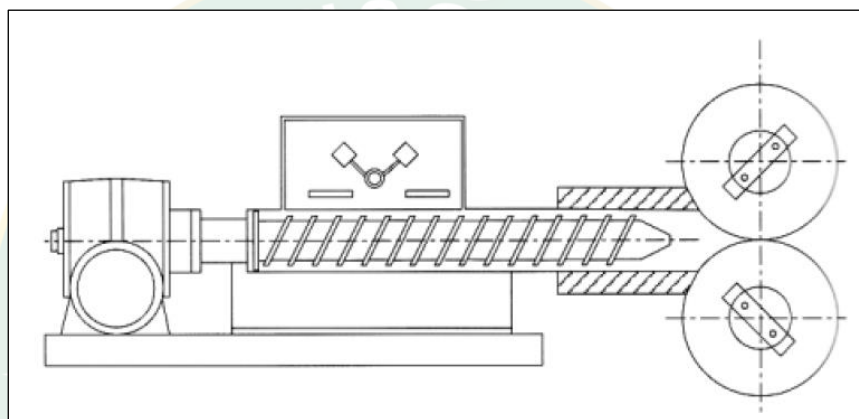


ภาพที่ 15 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

ที่มา: ณัฐนิช (2560)

2.3) เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-Screw Press) เครื่องอัดแบบนี้ มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw Parts) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสูงทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 °C จึงต้องมีส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด สำหรับวัตถุดิบที่ใช้อัดควรมีขนาด 30-80 mm และวัตถุดิบที่มีปริมาณความชื้น 25% ขึ้นไปจึงจะสามารถทำการอัดได้ โดยไม่ต้องทำให้แห้งเสียก่อน กำลังการผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2,800-3,600 kg/h ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

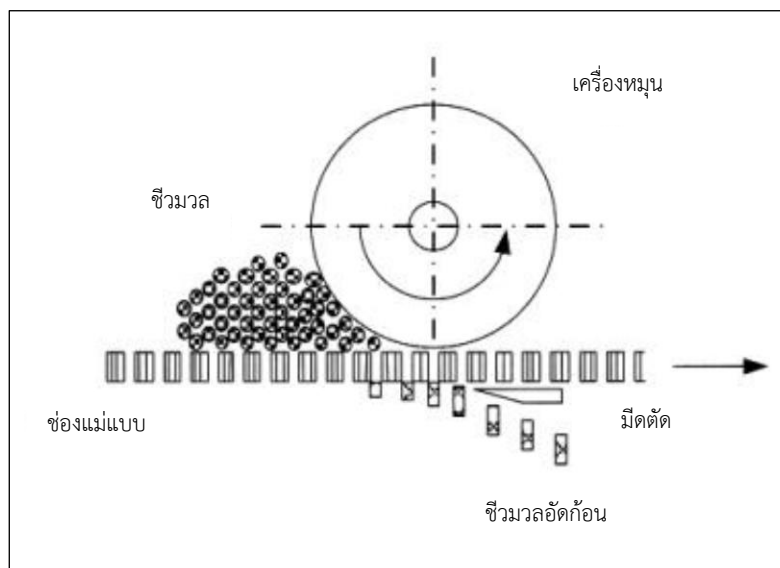
3. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งนี้มีหลักการทำงานโดย จะเริ่มทำงานอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางตรงกันข้ามทำให้วัตถุดิบถูกอัดแน่น เข้าไปในตัวรองรับแท่นอัด (Pillow-Shape Briquetted) การอัดแท่งแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่นและแท่งอัดที่ได้มีความหนาแน่นน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่น เนื่องจากช่วงเวลาในการอัดสั้นทำให้ยากต่อการสร้างสถานะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลาย ลิโนลิตได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จดีจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วยที่ทำให้วัสดุเกาะติดกันดีแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

ที่มา: ญัฐนิช (2560)

4) เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing Press) เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงอัดระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่เจาะเป็นรูซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk Matrix Press) และเครื่องอัดแม่พิมพ์วงแหวน (Ring Matrix Press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดความยาวที่กำหนดให้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 mm และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-15 mm ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะทำการอัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ดแสดงดังภาพที่17



ภาพที่ 17 เครื่องอัดเม็ด

ที่มา: ญัฐนิช (2560)

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

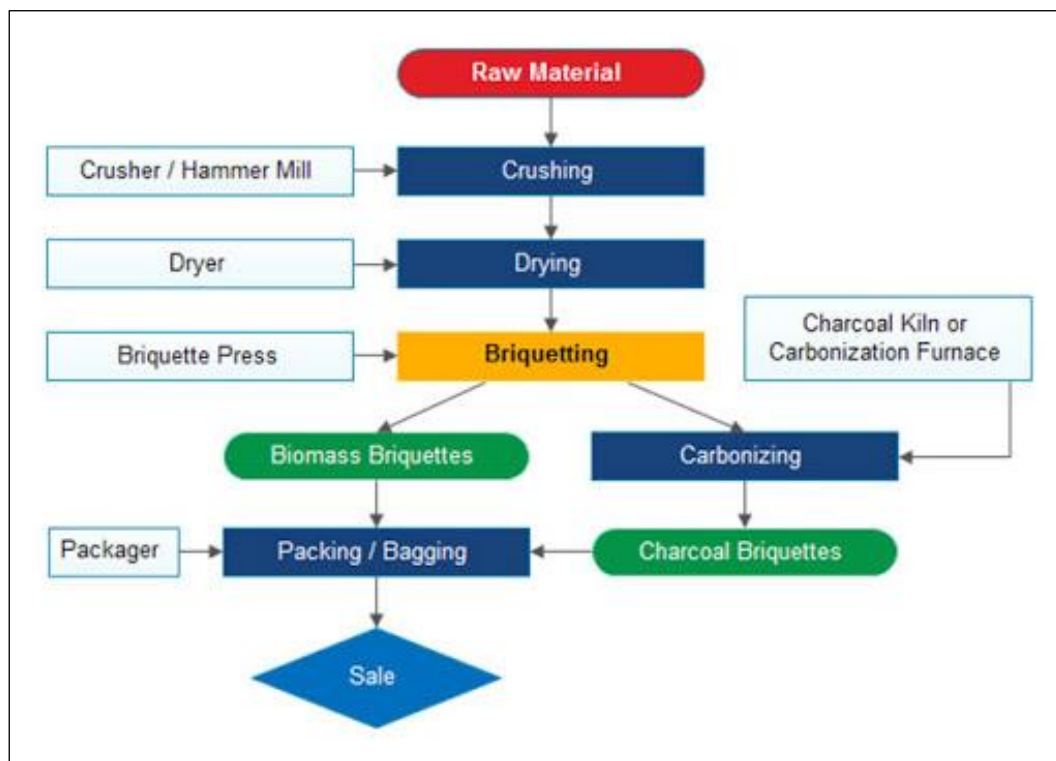
กระบวนการในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีขั้นตอนขึ้นรูปทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังภาพที่ 18 ดังต่อไปนี้ (กัณมณี, 2559)

การย่อย (Grinding) คือ การลดขนาดของวัสดุให้มีความเหมาะสมและง่ายต่อการขึ้นรูป สามารถทำได้โดยใช้เครื่องบดย่อย และนำมาร้อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่ต้องการ

การผสม (Mixing) คือ การนำวัสดุหลักที่จะทำการอัดแท่งมาทำการผสมกับตัวประสานและน้ำเพื่อให้ได้ซีวมวลอัดแท่งที่ดีและมีคุณภาพมากที่สุด

การอัดขึ้นรูป (Pressing) คือ การนำวัสดุที่ผ่านการผสมตามที่ต้องการแล้วเข้าเครื่องอัดแท่ง เพื่อเข้าสู่กระบวนการเพื่อเพิ่มความดันตามลักษณะ และความเหมาะสมของวัสดุและการนำไปใช้งาน

การทำให้แห้ง (Drying) คือ การนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมาทำให้มีค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุด การทำให้แห้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปตากแดด การนำไปอบที่ตู้อบ เป็นต้น

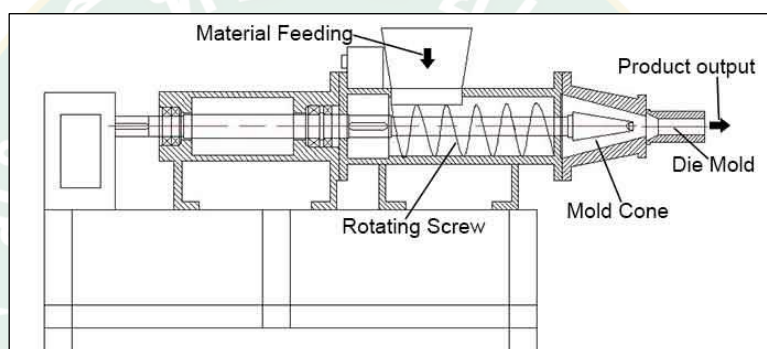
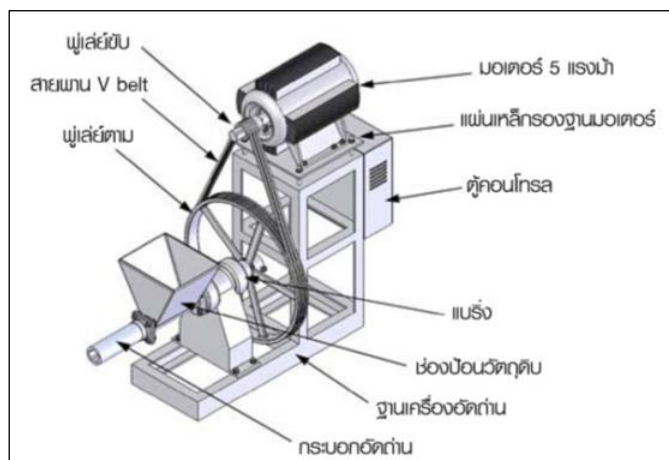


ภาพที่ 18 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ที่มา: AGICO GROUP (2015)

โครงสร้างของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

โครงสร้างของเครื่องอัดโดยทั่วไป แสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งในการอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องอัดแบบสกรู มีส่วนประกอบที่สำคัญทั้งหมด 6 ส่วน ได้แก่ ระบบส่งกำลัง ชุดแบร์ริง ชุดเกลียวอัด ชุดป้อนวัสดุ ชุดกระบอกเกลียวอัด และกระบอกแม่พิมพ์ ระบบส่งกำลังมีความทนทานต่อการเสียดสีที่อุณหภูมิสูง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ไฟฟ้าชนิด 3 สาย ทดสอบด้วยสายพานและระบบเฟืองเฉียง เมื่อป้อนวัสดุเข้าเครื่องอัดโดย ผ่านช่องป้อนวัสดุที่ติดตั้งอยู่เหนือเกลียวอัดแล้ว จะถูกเกลียวอัดติดกับผนังกระบอกอัด เมื่อวัสดุถูกอัดเป็นแท่งเคลื่อนผ่านกระบอกอัดออกมายังฐานรองรับวัสดุ โดยรายละเอียดส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดแท่งมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 19 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องอัดแท่ง

ที่มา:

บริษัท สตรีม อาคิเทคเทอร์ล แอนด์ เอ็นจิเนียริง จำกัด และ MaxTon Industrial Co.,

โครงสร้างของเครื่องอัดแท่งแบ่งออกเป็น 6 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

1) ระบบส่งกำลัง (Power Transmission)

โดยส่วนใหญ่ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปมีหลายประเภทตามความเหมาะสมของแต่ละงาน ซึ่งหลักการส่งกำลังของเครื่องจักรกล คือ การส่งกำลังจากต้นกำลังหรือสามารถเรียกได้อีกอย่างว่า เฟลาขับ ส่งกำลังไปยังจุดที่ต้องการ เพื่อจะใช้กำลังงานไปใช้งานเรียกว่า เฟลาตาม หรือ เฟลางาน ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลได้แก่ การส่งกำลังด้วยเฟือง โซ่ สายพาน คัปปลิ่ง เฟลา และลูกเบี้ยว เป็นต้น ซึ่งระบบส่งกำลังมีส่วนประกอบที่สำคัญหลักแบ่งเป็น 4 ส่วน ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า พู่เลย์ สายพาน และเฟลา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

เป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง โดยจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กจะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้าการหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิม มอเตอร์ที่ใช้ในงานในปัจจุบันแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปตามความต้องการ ความเร็วรอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเป็นอุปกรณ์ในการส่งกำลังของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยจะส่งกำลังไปที่พู่เล่ย์ตัวขับที่เชื่อมต่อกับสายพานไปยังพู่เล่ย์ตัวตาม และส่งต่อไปที่เพลลาเพื่อขับเคลื่อนการอัดวัสดุ มอเตอร์ที่ใช้ในงานในปัจจุบันสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานของกระแสไฟฟ้าได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1.1.1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1.1.1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่า ซิงเกิลเฟส มอเตอร์ (A.C. Sing Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูงส่วนใหญ่มตามบ้านเรือน ได้แก่ สปลิตเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor) เซ็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

1.1.1.2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.1.1.2.1) มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟส

1.1.1.2.2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 V. มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย

1.1.2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี. มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้ 3 ชนิดได้แก่

1.1.2.1) มอเตอร์แบบอนุกรม หรือเรียกว่า ซีรีส์มอเตอร์

1.2.2) มอเตอร์แบบอนุขนาน หรือเรียกว่า ชันท์มอเตอร์

1.2.3) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสม หรือเรียกว่า คอมเปาเวร์ดมอเตอร์

การหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไปภายในเครื่องจักรประเภทเครื่องกลต่าง ๆ ทำงานด้วยการหมุนกำลังจากมอเตอร์ ดังนั้น มอเตอร์จึงเป็นเครื่องกลที่ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นประเภทหนึ่ง ซึ่งหาขนาดของมอเตอร์ได้จาก สมการที่ 1

$$W_p = \frac{2\pi T_s N}{60}$$

สมการที่ 1

เมื่อ	W_p	คือ	ขนาดของมอเตอร์ (hp)
	N	คือ	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)
	T_s	คือ	แรงบิด (N-m)

1.2 มู่เลย์ หรือ พู่เลย์ (Pulley)

เป็นอุปกรณ์ในระบบสายพาน ที่ทำงานควบคู่กับอุปกรณ์อื่น ๆ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทาง การหมุน ความหย่อนของสายพานในระบบลำเลียง เพื่อปรับสายพานให้สายพานเดินได้ตามแนวตลอดการเคลื่อนที่ของสายพาน

การวางตำแหน่งของพู่เลย์ โดยปกติในการวางตำแหน่งของพู่เลย์ในระบบสายพานลำเลียงแบบง่าย ๆ จะวางในตำแหน่งของหัวและท้ายของโครงสร้างของสายพานลำเลียง แต่ถ้าเป็นระบบสายพานลำเลียงที่เป็นระบบใหญ่ ที่มีความยาวของสายพานประมาณ 50 m ขึ้นไป จะมีพู่เลย์ที่เรียกว่า Take up pulley ไว้เพื่อปรับความตึงของสายพานและลัดตัดใช้ทดสายพานให้ผิวสายพานสัมผัสกับลวดขับสายพาน เพื่อให้ได้มุมโอบของสายพานที่มากขึ้นเรียกว่าลวดทดสายพาน โดยการเลือกขนาดพู่เลย์สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 ดังนี้

$$M_p = \frac{L_p \times L_R}{M_R}$$

สมการที่ 2

เมื่อ	M_p	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เลย์ต้นกำลัง (m)
	M_R	คือ	ความเร็วรอบของต้นกำลัง (rpm)
	L_p	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพู่เลย์ของโหลด (m)
	L_R	คือ	ความเร็วรอบของโหลด (rpm)

1.3 สายพาน (Belt)

เป็นอุปกรณ์ที่คล้องโยงเครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อให้หมุนไปด้วยกัน สามารถรับการสั่นสะเทือนได้ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากหรือใช้ในงานเพื่อเป็นส่วนรองรับวัสดุสิ่งของต่าง ๆ ทำให้วัสดุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสายพานไปด้วย ข้อดีของสายพาน คือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ โดยการเลือกใช้สายพานจะขึ้นอยู่กับชนิดและการใช้

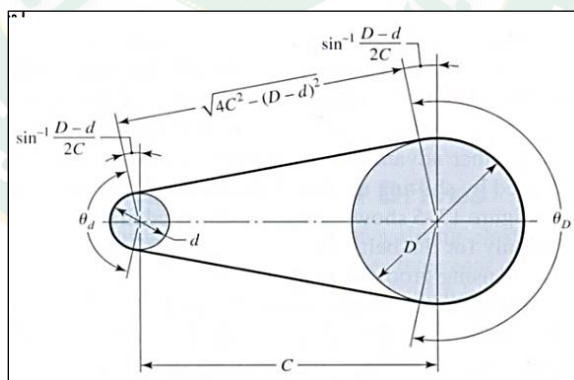
งาน โดยสายพานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ (ดำรง, 2556) ได้แก่ 1. สายพานส่งกำลัง (Transmission belt) 2. สายพานลำเลียง (Conveyor belt)

การใช้งานในเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง มักนิยมใช้สายพานประเภทสายพานส่งกำลัง เพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งเช่นเดียวกับเฟืองหลัก การทำงานสายพานจะประกอบด้วย ล้อสายพาน 2 ตัว ที่เป็นตัวขับและตัวตาม และมีสายพานเป็นตัวส่งถ่ายกำลังในการขับ โดยสายพานส่งกำลังสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะของหน้าตัดสายพาน ได้แก่

- สายพานลิ้ม (V-Belts) จะมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู
- สายพานแบน (Flat Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- สายพานกลม (Ropes Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม
- สายพานไทม์มิ่ง (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

โดยวัสดุที่ใช้ทำสายพานต้องมีค่าความต้านของแรงที่สูง สามารถบิดตัวได้ดี และต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง โดยลักษณะการวางสายพานส่งกำลังจากพูลเลย์ตัวขับไปยังพูลเลย์ตัวตามด้วยสายพานแบนที่นิยมใช้กัน ได้แก่

1.3.1) สายพานแบบเปิด (Open Belt Drive) เป็นการใช้งานแบบลักษณะที่พูลเลย์ขับไปยังพูลเลย์ตัวตามหมุนไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การส่งกำลังด้วยสายพานแบบเปิด

ที่มา : Brooker et al. (1992)

สำหรับการคำนวณหาความยาวของสายพานแบบเปิดสามารถคำนวณจากสมการที่ 5,6 และการคำนวณมุมสัมผัสของสายพานสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 7 ดังนี้

$$L = \sqrt{4C^2 (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D-d)\theta \quad \text{สมการที่ 5}$$

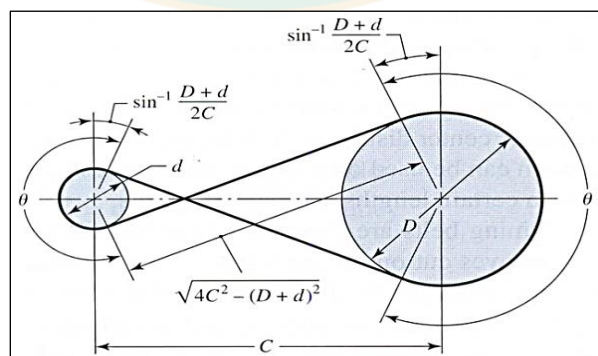
$$\theta_d = \pi - 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \quad \text{สมการที่ 6}$$

$$\theta_D = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ

L	คือ	ความยาวของสายพาน (mm)
C	คือ	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของพูลี่ทั้งสองตัว (mm)
D	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวตาม (mm)
d	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวขับ (mm)
θ	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลี่ (rad)
θ_d	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลี่ตัวขับ (rad)
θ_D	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลี่ตัวตาม (rad)

1.3.2) สายพานแบบไขว้ (Crossed or Twist Belt Drive) การใช้งานสายพานแบนในลักษณะที่พูลี่ตัวขับ และตัวตามหมุนไปในทิศทางตรงข้ามกันดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การส่งกำลังด้วยสายพานแบบปิด

ที่มา : Brooker et al. (1992)

สามารถคำนวณหาของความยาวสายพานแบบปิด จากสมการที่ 8 และ สมการที่ 9 ดังนี้

$$L = \sqrt{4C^2 - (D+d)^2} + \frac{1}{2}(D+d)\theta \quad \text{สมการที่ 8}$$

$$\theta = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ

L	คือ	ความยาวของสายพาน (mm)
C	คือ	ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของพูลีย์ทั้งสองตัว (mm)
D	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์ตัวตาม (mm)
d	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์ตัวขับ (mm)
θ	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลีย์ (rad)
θ_d	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลีย์ตัวขับ (rad)
θ_D	คือ	มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลีย์ตัวตาม (rad)

1.4) เพลา (Shaft)

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน และมักจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม สัมผัสกับส่วนอื่น ๆ เช่น พูลีย์ (Pulleys) เฟือง (Gear) ล้อช่วยแรง (Flywheels) ข้อเหวี่ยง (Crank) และชิ้นส่วนสำหรับส่งกำลังอื่น ๆ ซึ่งเพลาต้องรองรับภาระต่าง ๆ ได้แก่ แรงดึง (Tension) แรงดัด (Bending) แรงกด (Compression) หรือแรงบิด (Torsion) ภาระเหล่านี้จะกระทำเพียงอย่างเดียวหรือกระทำพร้อม ๆ กันในขณะเดียวกันเมื่อแรงเหล่านี้มากระทำบนเพลา ก็มักจะต้องการหาความแข็งแรงทั้งทางสถิตยศาสตร์ (Static Strength) และทางการล้า (Fatigue Strength) ในการออกแบบเพลาจะใช้หลักเกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก (Soderberg Approach) (ฉัตรชัย, 2556) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกาได้ระบุเพลาที่ใช้งานทั่วไปควรจะใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานได้ดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม}$$

$$\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลาที่มีร่องลิ่ม}$$

ในกรณีเพลาที่ไม่มีร่องลิ่ม $\tau_d = 3.0 \sigma_y$ หรือ $\tau_d = 0.18 \sigma_U$ และถ้าเพลาที่มีร่องลิ่มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าดังกล่าว

$$3.0 \sigma_y = \sigma_U 0.18 \quad \text{ดังนั้น} \quad \sigma_y = 0.6 \sigma_U$$

การออกแบบเพลลาที่เป็นเพลลากลมตันสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 10 ดังต่อไปนี้

$$\tau = \frac{16}{\pi(d_s)^3} \left(\frac{4}{3} \left(K_f \frac{\sigma_y}{\sigma_n} M \right) + T^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

สมการที่ 10

เมื่อ

τ	คือ	ความเค้นเฉือน (N/mm ²)
d_s	คือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (mm)
σ_y	คือ	ความต้านแรงดึงคราก (N/mm ²)
σ_U	คือ	ความต้านแรงทนทาน (N/mm ²)
K_f	คือ	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง (ไร้หน่วย)
M	คือ	โมเมนต์ดัดสูงสุด (N-m)
T	คือ	โมเมนต์บิดบนเพลลา (N-m)

ความเค้นเฉือนของเพลลา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 ดังนี้

$$\tau = \frac{\tau_y}{N}$$

สมการที่ 11

เมื่อ

τ_y	คือ	ความเค้นเฉือนสูงสุด (N/mm ²)
N	คือ	ค่าความปลอดภัย

ความต้านแรงทนทานของเพลลา คำนวณได้จากสมการที่ 12 ดังนี้

$$\sigma_n = K_a K_b \sigma_n'$$

สมการที่ 12

เมื่อ

τ_y	คือ	ความเค้นเฉือนสูงสุด (N/mm ²)
σ_n	คือ	ขีดจำกัดความทนทาน (N/mm ²)
K_a	คือ	ตัวประกอบของผิว (ไร้หน่วย)
K_b	คือ	ตัวประกอบของขนาด (ไร้หน่วย)

ซึ่ง

$$K_b = 1.00 \text{ สำหรับ } d > 8 \text{ mm}$$

$$K_b = 0.85 \text{ สำหรับ } 8 < d < 50 \text{ mm}$$

$$K_b = 0.75 \text{ สำหรับ } d > 50 \text{ mm}$$

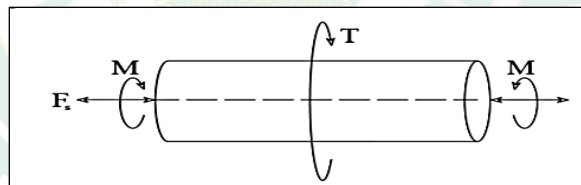
$$\sigma_n = 0.5 \sigma_U \text{ สำหรับ เหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง } \sigma_U < 1,380 \text{ N/mm}^2$$

และ $HB < 400$

$$\sigma_n' = 0.690 \text{ สำหรับ เหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง } \sigma_U > 1380 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_n' = 0.4 \sigma_U \text{ สำหรับ เหล็กกล้าหล่อและเหล็กหล่อ}$$

การออกแบบเพลลาของสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) จะพิจารณาจากเพลลา ส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาจะหมุนอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 11 จากนั้นแรงที่กระทำกับเพลลา ยังอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ก็ได้ ดังนั้นเพลลา จึงเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าเป็นส่วนใหญ่สำหรับวิธีการของสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้ามาเกี่ยวข้องด้วย



ภาพที่ 22 เพลลาขณะอยู่ภายใต้ภาระต่าง ๆ

ที่มา : Brooker et al. (1992)

สำหรับขนาดของเพลลา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13 ดังนี้

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลลา (m)

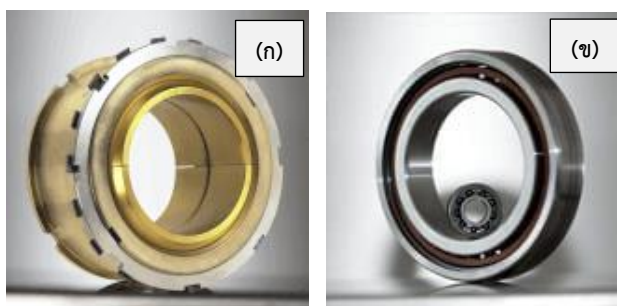
C_m	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด (ไร้หน่วย)
C_t	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ไร้หน่วย)
M	คือ	โมเมนต์ตัดที่กระทำกับเพลลา (N-m)
T	คือ	ทอร์กที่กระทำกับเพลลา (N-m)
τ_d	คือ	ความเค้นเฉือนใช้งาน (N/m ²)

2) รองลื่น หรือ แบริ่ง (Bearing)

รองลื่น คือ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ใช้รองรับแรงจากเพลลา ทั้งในแนวรัศมีและแนวแกน มีหน้าที่หลักในการรับน้ำหนัก และถ่ายทอดแรงที่เกิดจากเพลลาไปสู่อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มีการหมุน ช่วยลดแรงเสียดทานหรือลดความฝืดระหว่างการหมุน หรือการเลื่อน สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อเกิดการสึกหรอหรือชำรุด โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนเพลลาหรือเฟืองแบริ่ง ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องมีการเสียดสีมากจึงทำให้เกิดการสึกหรอเร็ว ดังนั้นต้องทำการหล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่นเพื่อทำให้การหมุนคล่องตัว และตรวจสอบเปลี่ยนใหม่เมื่อสึกหรอหรือชำรุด โดยแบริ่ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

2.1) แบริ่งกาบ (plain bearing) ดังแสดงในภาพ 23 (ก) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง มีแกนหมุนอยู่ภายใน แบริ่ง เรียกว่า เจอร์นอล ส่วนรูปทรงกระบอกกลวง เรียกว่า เจอร์นอลแบริ่ง ทำด้วยโลหะ ส่วนผสมของโลหะ หรือพลาสติก ที่มีเนื้ออ่อนกว่าเจอร์นอล แบริ่งกาบแบ่งออกเป็น ทรัสต์แบริ่ง ซึ่งตัวเจอร์นอลได้รับแรงกดและหมุนอยู่ภายใน เจอร์นอลแบริ่ง กับ ไกด์แบริ่ง ซึ่งตัวเจอร์นอลเคลื่อนที่กลับไปกลับมาตามแนวยาวของเจอร์นอลแบริ่ง

2.2) แบริ่งลูกปืน (rolling bearing) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ช่วยการหมุนเคลื่อนที่ที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอก เช่น ลูกปืนที่ทำด้วยโลหะแข็งมีลักษณะกลมเหมือนลูกบอล ดังแสดงในภาพที่ 23 (ข)



ภาพที่ 23 (ก) แบริ่งกาบ และ (ข) แบริ่งลูกปืน

ที่มา: บริษัท คลูเบอร์ ลูบริเคชั่น (ประเทศไทย) จำกัด

วิธีการเลือกใช้แบริ่ง

1) อายุการใช้งาน หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบริ่งหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง

2) อายุประเมิน (Rating Life) ของแบริ่งจำนวนหนึ่งที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึงจำนวนล้ารอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบริ่ง 90% จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการล้า และใช้แทนด้วยอายุการใช้งาน L_{10}

3) แรงสถิตประเมิน (Basic Static Load Rating) หมายถึงแรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งและใช้แทนด้วย C_0 ค่าของ C_0 สำหรับแบริ่งอนุกรมมิติต่าง ๆ แรงพลวัตประเมินค่า C เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดแบริ่ง เพื่อให้รองรับอายุใช้งานตามความต้องการ โดยการเปลี่ยนแปลงและอายุใช้งานจริงมาเป็นแรงและอายุใช้งานที่แสดงไว้ในแค็ตตาล็อก (คือแรงในแนวรัศมีที่ทำให้มีอายุการประเมินเท่ากับหนึ่งล้ารอบ) หรือในทางกลับกัน คือ การเลือกรองล้นจากแค็ตตาล็อกแล้วเปลี่ยนให้รับแรงได้เท่าที่ต้องการในใช้การทำงานจริง และดูว่าอายุที่ประเมินจะได้ตามอายุการใช้งานที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการดังนี้ ให้ L_{10} เป็นอายุการใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้ารอบ m_r และ P เป็นแรงในแนวรัศมีที่รองล้นจะต้องรับขณะใช้งานจริงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แรงสมมูล (Equivalent Force) จากสมการด้านล่างจะทำให้ทราบค่าของรองล้นที่เลือกมาจากการประเมินอายุจำนวนหนึ่งล้ารอบว่าสามารถทำงานได้กี่ล้ารอบขณะใช้งานจริง

การประเมินอายุของแบริ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 14 ดังนี้

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^k$$

สมการที่ 14

เมื่อ	L_{10}	คือ	อายุการประเมินการใช้งานจริง (ล้ารอบ)
	C	คือ	แรงพลวัตประเมิน (N)
	P	คือ	แรงสมมูล (N)

3) เกลียวอัด (Screw)

เกลียวอัด คือ ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำหน้าที่รับส่วนผสมที่ป้อนเข้ามาและลำเลียงไปยังกระบอกไต้ โดยส่วนใหญ่ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงจะเลือกใช้เกลียวอัดที่มี

ระยะพิทช์คงที่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวช่วงแรกคงที่จากนั้นค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากต้องการลด ปริมาตรของวัสดุลงในร่องเกลียวมีลักษณะโค้ง เพื่อไม่ให้วัสดุที่ป้อนเข้าไปเกิดการติดในร่องเกลียว สำหรับเกลียวด้านหลังทำหน้าที่รับวัสดุที่ป้อนเข้ามา และดันส่งไปยังเกลียวด้านหน้า ที่หัวเกลียวจะมี แกนสำหรับเจาะรูตรงกลางที่แทงเชื้อเพลิงเพื่อให้มีการระบายอากาศร้อนที่เกิดในกระบวนการ และ สะดวกในการนำไปตากแห้ง

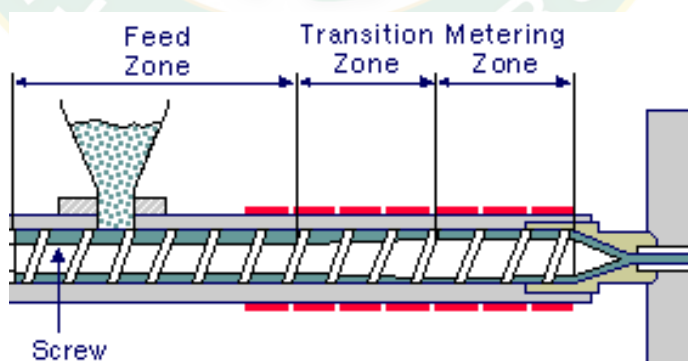
ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเกลียวอัด

เกลียวอัด ทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุที่ทำการผสมแล้วไปยังด้านหน้าและทำการเพิ่มความดันไป ด้วยเกลียวอัด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในภาพที่ 24 ได้แก่

1) ดันนี่ช่วงป้อน (Feed Zone) เป็นส่วนของเกลียวที่รับส่วนผสมของวัสดุจากช่องป้อนปกติ แล้วช่วงป้อนจะมีลักษณะเป็นร่องเกลียวลึกเพื่อให้วัสดุตกลงสู่เกลียวได้โดยง่ายหน้าที่ของช่วงป้อน คือ ลำเลียงวัสดุเข้าสู่เกลียวไปตามแกนปกติแล้วความยาวของเกลียวในช่วงป้อนจะประมาณ 10% - 25% ของความยาวเกลียวทั้งหมดของเกลียวอัด

2) ช่วงอัด (Transition Zone) เป็นส่วนของเกลียวระหว่างช่วงป้อนและช่วงตวงวัดสามารถ ทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การลดความสูงของเกลียวไปตามทิศทางการอัด และอีก วิธีคือการลดระยะพิทช์ ซึ่งจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเมื่อถูกเกลียวดันให้ผ่านช่วงนี้โดยความยาว ของเกลียวอัดจะอยู่ในช่วง 10-25% ของความยาวทั้งหมด

3) ช่วงตวงหรือช่วงวัด (Metering Zone) เป็นส่วนของเกลียวที่ใกล้กับปลายของเกลียวอัด



ภาพที่ 24 ช่วงการทำงานของเกลียวอัด

ที่มา: Brooker et al. (1992)

การออกแบบและลักษณะของเกลียวอัด

เกลียวอัดที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีทั้งหมด 5 แบบ ดังนี้

1) แบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันเกลียวอัด (Increasing root diameter) เป็นลักษณะที่มีการเพิ่มขนาดที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันให้มากขึ้นตามลำดับมีระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเกลียวที่คงที่ส่วนกระบอกอัดควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 25 (ก)

2) แบบลดระยะพิทช์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันคงที่ (Decrease pitch, constant root diameter) เป็นลักษณะที่มีการลดระยะห่างระหว่างฟันลงเรื่อย ๆ ดังแสดงในภาพที่ 25 (ข) โดยเส้นผ่านของโคนฟันและกระบอกอัดจะมีค่าคงที่

3) แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันคงที่ แต่กระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง (constant root diameter screw in decreasing diameter) เป็นลักษณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดมีขนาดลดลงแต่ระยะพิทช์ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนฟันของเกลียวอัดมีค่าคงที่ ดังภาพที่ 25 (ค)

4) แบบเกลียวอัดภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันคงที่ แต่ระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดลดลง (constant root diameter, decreasing pitch screw in barrel with decreasing diameter) เป็นลักษณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดและระยะพิทช์มีขนาดเล็กลง ตามการออกแบบ แต่เส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันของเกลียวอัดจะมีขนาดคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 25 (ง)

5) แบบระยะพิทช์ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัด และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัดคงที่ (constant pitch and diameter of screw and constant diameter barrel with compression chamber) เป็นลักษณะที่ทุกส่วนของกระบอกอัดและเกลียวอัดคงที่แต่ที่ห้องอัดของเกลียวอัด ดังแสดงในภาพที่ 25 (จ)



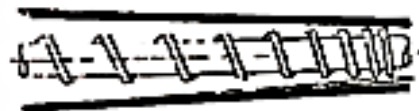
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 25 ลักษณะของเกลียวอัดแบบต่าง ๆ

การออกแบบเพื่อหาแรงบิดของเกลียวอัด (ธราเทพ และคณะ, 2544)

ความดันที่เกิดขึ้นในร่องเกลียวจากความดันที่ผิวด้านในของกระบอกอัดที่มีอยู่สองแนว คือ แนวรัศมี และแนวแกนของเกลียวอัด การวัดความดันที่เกิดขึ้นทั้งสองแนวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือสเตรนเกจแล้วนำค่าความเครียดที่วัดได้มาคำนวณย้อนกลับเป็นความดันที่เกิดบนผิวด้านในของกระบอกอัด จากนั้นนำความดันที่คำนวณได้มาหาค่าเฉลี่ย โดยความดันเฉลี่ยที่ได้จะมีสองแนว จากนั้นพิจารณาว่าที่บนเกลียวเกิดความดันในร่องเกลียวอย่างสม่ำเสมอซึ่งมีค่าเท่ากับความดันเฉลี่ยที่หาได้แล้วนำมาพิจารณาเพื่อหาแรงบิดที่ต้องการได้โดยอาศัยหลักการของความเสียหายระหว่างวัสดุที่ป้อนกับร่องเกลียว และในการหาแรงบิดจะพิจารณาเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1) ด้านสันเกลียวด้านซ้าย ความดันที่เกิดบนสันเกลียวด้านซ้ายจะมีทิศตั้งฉากกับผิวของสันเกลียว จะได้แรงปฏิกิริยาบนผิวสันเกลียว และสามารถหาค่าแรงเสียหายที่เกิดบนสันเกลียวซ้ายได้โดยพิจารณาทีละครึ่ง Lead สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 15 และสมการที่ 16 ดังนี้

ที่แกน Z

$$\sum F_z = N = \bar{P} A = \frac{\bar{P} h}{2} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 15

ที่แกน X

$$\sum F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P} h}{2} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 16

2) เกลียวด้านขวา ความดันที่เกิดบนสันเกลียวด้านขวาจะมีทิศตั้งฉากกับผิวของสันเกลียวจะได้แรงปฏิกิริยาบนผิวที่สันเกลียว และสามารถหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดบนสันเกลียวขวาได้ โดยพิจารณาทีละครึ่ง Lead สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 17 และสมการที่ 18 ดังนี้

ที่แกน Z

$$\sum F_z = -N = \bar{P} A = \frac{\bar{P} h}{2} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 17

ที่แกน X

$$\sum F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P} h}{2} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 18

3) ท่อร่องเกลียว ความดันที่เกิดจะมีทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวของท่อร่องเกลียว จะได้แรงปฏิกิริยาบนท่อร่องเกลียว และสามารถหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดบนท่อร่องเกลียวได้ โดยพิจารณาทีละครึ่ง Lead สามารถคำนวณได้ตั้งสมการที่ 19 และสมการที่ 20 ดังนี้

ที่แกน X

$$\sum F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P} (p - b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 19

ที่แกน Y

$$\sum F_y = N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 20

4) ผนังด้านในของกระบอกอัด ความดันที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางกับพื้นที่ผิวของผนังด้านในของกระบอกอัดเกลียว จึงหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวด้านในของกระบอกอัดได้ และสามารถหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นบนผิวด้านในของกระบอกอัดได้ โดยพิจารณาทีละครั้ง Lead สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 21 และสมการที่ 22 ดังนี้

ที่แกน X

$$\sum F_x = \mu N = \frac{\mu \bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 21

ที่แกน Y

$$\sum F_y = -N = \bar{P}A = \frac{\bar{P}(p-b)}{4} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2}$$

สมการที่ 22

เมื่อพิจารณาการรวมแรงในแกน X ทั้งหมดจะได้ดังสมการที่ 23

$$\sum F_x = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-h)}{2} + h \right)$$

สมการที่ 23

เมื่อทำการรวมแรงในแกน Y ทั้งหมด เมื่อ $\sum F_y = 0$ และพิจารณาการรวมแรงในแกน Z ทั้งหมด เมื่อ $\sum F_z = 0$ ทำให้พบว่าจากการรวมแรงในแกน X คือ แรงเสียดทานรวมในร่องเกลียวในครึ่ง Lead และกำหนดให้ F_f เป็นแรงเสียดทานรวมในร่องเกลียวในครึ่ง Lead จะได้ดังสมการที่ 24 ดังนี้

$$F_f = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right)$$

สมการที่ 24

และทำการแตกแรงในแนวสัมผัสกับรัศมีของเพลลา F_t และขนานกับเพลลา F_a ซึ่งจะได้ตามสมการที่ 25 และสมการที่ 26 ดังนี้

$$F_a = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \sin \lambda$$

สมการที่ 25

$$F_t = \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \cos \lambda$$

สมการที่ 26

จากสมการข้างต้น พบว่า F_a และ F_t เป็นแรงของครึ่ง Lead จึงต้องหาในหนึ่ง Lead เมื่อพิจารณาในลักษณะของแวกเตอร์ สามารถคำนวณได้จากแรงบิดดังสมการที่ 27

$$T = F_t (d_s - h)$$

สมการที่ 27

เพราะฉะนั้นแรงบิดที่เกิดกับเกลียวอัดสามารถหาได้ดังสมการที่ 28 ดังนี้

$$T = \mu (d_s - h) NP \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \cos \lambda$$

สมการที่ 28

สำหรับแรงผลักดัน ที่รับแรงจากแปรงลูกลูกกลิ้งเฉียง F_{Tr} คำนวณได้ดังสมการที่ 29 ดังนี้

$$F_{Tr} = \frac{\pi (d_s)^2 P}{4} \mu \bar{P} \sqrt{P^2 + \pi^2 (d_s - h)^2} \left(\frac{(p-b)}{2} + h \right) \sin \lambda$$

สมการที่ 29

เมื่อ T คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นในเกลียว (N-mm)
 μ คือ สัมประสิทธิ์ความฝืดในร่องเกลียว (ไร้หน่วย)

d_s	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัด (mm)
h	คือ	ความสูงของสันเกลียวอัด (mm)
b	คือ	ความหนาของเกลียวอัด (mm)
λ	คือ	มุมความลาดเอียงของเกลียวอัด (degree)
p	คือ	ระยะพิทช์ของเกลียวอัด (mm)
P	คือ	แรงดันที่เกิดขึ้นในเกลียวอัด (N-mm ²)
N	คือ	จำนวนฟันของเกลียวอัด (ไร้หน่วย)

สำหรับการคำนวณในช่วงการอัดอนุภาค ในการคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงในช่วงการอัดจะมีความแตกต่างจากการคำนวณในช่วงลำเลียง เนื่องจากสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณช่วงที่ลำเลียงไม่เกิดการอัดตัวของอนุภาคในร่องเกลียวทำให้ความดันในเบตอนุภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง หากความดันแตกต่างระหว่างความดันในร่องเกลียวที่บริเวณทางเข้า (P_1) และความดันในร่องเกลียวที่บริเวณทางออกของร่องเกลียวเดียวกัน (P_2) ไม่เกิดขึ้น ($P_2/P_1=1$) จะทำให้เทอมของตัวแปร M_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ในช่วงการอัดนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของร่องเกลียว เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้เบตอนุภาค โดยการลดลงของปริมาตรของร่องเกลียวจะเป็นการลดลงของความสูงของใบสกรู สำหรับความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดตัวของเบตอนุภาค เพื่อเพิ่มความหนาแน่นหาได้จากกรทดลองซึ่งได้ความสัมพันธ์ของความดันและความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงตามความดันดังสมการที่ 30

$$P = a \exp(bD)$$

สมการที่ 30

เมื่อ	P	คือ	ความดันที่ใช้ในการอัด (MPa)
	D	คือ	ความหนาแน่นของเบตอนุภาคชีวมวล (kg/m ³)
	a, b	คือ	ค่าคงที่ของสมการเอมไพริคัล ($a = 0.05818$, $b = 0.0041$)

ดังนั้นความดันในร่องเกลียวที่บริเวณทางเข้า (P_1) ของร่องเกลียวอัดร่องแรกให้มีค่าเท่ากับ ความดันบรรยากาศ และความดันในร่องเกลียวที่บริเวณทางออกของร่องเกลียวเดียวกัน (P_2) จะต้องหาความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจากปริมาตรของร่องเกลียวที่ลดลง จากนั้นนำความหนาแน่นที่ได้แทนค่าลงในสมการที่ 30 ซึ่งความดัน P_2 ที่หาได้จากร่องเกลียวอัดร่องแรกจะเป็นค่า P_1 ของร่องเกลียวอัดร่องต่อไป โดยจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้ความหนาแน่นที่ต้องการในการคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงทั้งสองช่วงนั้นจะใช้วิธีคำนวณซ้ำ (Iteration) โดยจะกำหนดอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

และความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ซึ่งจะสมมติความสูงของใบเกลียวเริ่มต้นโดยกำหนดให้ระยะพิทช์ของร่องเกลียวให้มีค่าคงที่ แล้วคำนวณซ้ำจนได้อัตราการผลิตและค่าความหนาแน่นที่ต้องการของร่องเกลียวสุดท้าย ซึ่งในการออกแบบสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงในการวิจัยได้กำหนดให้อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้ที่ 1 kg/min และค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าประมาณ $1,000 \text{ kg/m}^3$ (เกรียงไกร และคณะ, 2554)

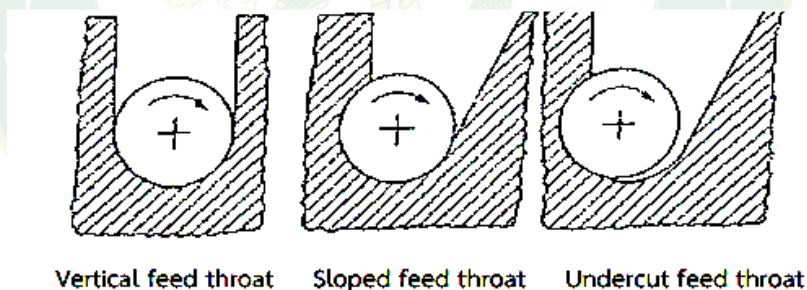
4) ช่องป้อนวัสดุ (Feed hopper)

เป็นช่องสำหรับป้อนวัสดุเข้าสู่เกลียว โดยจะมีลักษณะของช่องเปิด แสดงดังภาพที่ 26 ดังนี้

4.1) ช่องเปิดที่มีแนวของช่องตั้งลงมา (Vertical feed throat) สัมผัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกลูกเกลียว

4.2) ช่องเปิดที่มีด้านข้างของช่องเปิดเอียงทำมุมกับแนวตั้ง (Sloped feed throat) สัมผัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกลูกเกลียวในลักษณะนี้จะช่วยให้การป้อนวัสดุเข้าสู่เกลียวอัดได้ดีกว่า

4.3) ช่องเปิดที่กว้านลงต่ำจนถึงด้านล่างของเกลียวอัด (Undercut feed throat) เพื่อช่วยให้การป้อนวัสดุมีลักษณะอ่อน และป้อนเข้าสู่เกลียวได้ดีขึ้น



ภาพที่ 26 ลักษณะต่าง ๆ ของช่องป้อนวัสดุ

ที่มา: ธรเทพ และคณะ (2544)

5) กระบอกลูกเกลียวอัด (Extruder barrel)

เป็นชิ้นส่วนทรงกระบอกลูกเกลียวอัดอย่างพอเหมาะ ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกลูกเกลียวในตัวในของกระบอกลูกเกลียวอัดที่มีลักษณะเป็นร่องที่เกิดจากการซ้อนกันของแผ่นเหล็ก โดยร่องจะทำหน้าที่เป็นตัวลดการสิ้นเปลืองของวัสดุบริเวณสันเกลียว โดยอัตราความยาวของกระบอกลูกเกลียวอัด (L/D) คือ ระยะริมสุดของช่วงป้อนจนถึงปลายสุดของกระบอกลูกเกลียวอัด ทารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ที่เป็นสัดส่วน

ที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างค่าความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีค่าเท่ากับ 1 ครอบงอเกลียวอัดในอุตสาหกรรมอาหารมักมีค่า L/D ตั้งแต่ 1: 1 ถึง 20: 1

6) แม่พิมพ์กระบอก (Die)

เป็นช่องทางที่เปิดให้วัสดุออกมาเป็นแท่งลักษณะของกระบอกใดหรือเรียกว่า กระบอกแม่พิมพ์ จะแตกต่างกันออกไป เช่น ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทรงกระบอกหกเหลี่ยม เป็นต้น ตามที่ออกแบบเพื่อนำไปใช้งานโดยรูปแบบที่ง่าย คือ รูปทรงกระบอกกลม

การประเมินคุณภาพและสมบัติของการอัดแท่งเชื้อเพลิง

การประเมินคุณภาพ และสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จะใช้ข้อบังคับประกอบที่สำคัญของเชื้อเพลิงเป็นหลัก วิเคราะห์ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) แบ่งออกเป็นคุณสมบัติทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความร้อน และคุณสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความทนแรงอัด ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการอัดแท่งแล้วเชื้อเพลิงจะต้องมีค่าความร้อนที่สูงและยังต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยเฉพาะคาร์บอนคงตัวในปริมาณสูงแต่ มีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือถ้าและความชื้นในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งได้แสดงเกณฑ์ตามคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรมไว้ ดังนี้ (เจนจิรา, 2560)

1) ค่าความร้อน (Calorimetric Value or Heating Value)

คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อของเสียถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่าความร้อนของการเผาไหม้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ค่าความร้อนสูง และค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นเมกะจูล (MJ) หรือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (kcal/kg)

1.1) ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) คือ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของวัสดุชนิดนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ น้ำที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุที่ทำให้การเผาไหม้และเกิดการควบแน่น และสามารถทำการทดสอบได้ โดยการนำชีวมวลหนัก 1 kg ลดความชื้น หรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อนโดยค่าที่วัดได้ คือ ค่าความร้อนสูงต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV}=\text{LHV}+5.72(9\text{H}+\text{M}) \text{ kcal/kg} \text{ หรือ } \text{HHV}=\text{LHV}+23.95(9\text{H}+\text{M}) \text{ kJ/kg}$$

เมื่อ	H	คือ	ปริมาณร้อยละของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล
	M	คือ	ปริมาณร้อยละของความชื้นในชีวมวล

1.2) ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) คือ ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเสียที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝงค่าความร้อนสูง และค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในวัสดุชนิดนั้น ๆ จะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในวัสดุที่ทำการเผาไหม้ ดังนั้น ในกรณีของวัสดุมีความชื้นมาก ๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลม เพื่อลดความชื้นวัสดุ จะถูกกำหนดตามมาตรฐาน ASTM-D5865 วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 31 (S.H.Sengar et al., 2012)

$$\text{Heating value} = \frac{W \times (T_1 - T_2)}{X}$$

สมการที่ 31

เมื่อ	W	คือ	ปริมาณเทียบเท่าพลังงานจากเครื่องวิเคราะห์ (kJ/kg)
	T ₁ -T ₂	คือ	อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของการทดสอบ (°C)
	X	คือ	น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

2) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของแท่งเชื้อเพลิงต่อปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น kg/m³ หาได้จากสมการที่ 32 (Nalladurai et al., 2009)

$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}$$

สมการที่ 32

เมื่อ	ρ	คือ	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/m ³)
	m	คือ	มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg)
	r	คือ	รัศมีของแท่งเชื้อเพลิง (m)
	h	คือ	ความยาวของแท่งเชื้อเพลิง (m)

3. ความต้านทานแรงกดอัด (Compression test) คือ การทดสอบความแข็งของแท่งเชื้อเพลิง โดยใช้แรงกดในทิศทางตรงและกดตรงพื้นที่วงกลมของแท่งเชื้อเพลิงทั้ง 2 ด้าน และเพิ่มแรง

ขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งแท่งเชื้อเพลิงแตกหัก หรือขาดออกจากกันสามารถอ่านค่าได้จากเครื่องวัดความต้านทานแรงกดอัด หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 33 (A.I saac et al., 2009)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

สมการที่ 33

เมื่อ	σ	คือ	ความต้านทานแรงกดอัด (kg/cm ²)
	F	คือ	ขนาดแรงกดอัด (kg)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่ใช้รับแรงกดอัด (cm ²)

4) ดัชนีการแตกร่วน (Shatter index test)

คือ ค่าที่ใช้กำหนดความแข็งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คำนวณได้จากสมการที่ 34 (Davies et al., 2014)

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100$$

สมการที่ 34

เมื่อ	W_1	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ (g)
	W_2	คือ	คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบ (g)

5) ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ (Water resistance) (S.H.Sengar et al., 2012)

ค่าความต้านทานน้ำเป็นการทดสอบเพื่อวัดความต้านทานน้ำ เมื่อเชื้อเพลิงอัดแท่งสัมผัสกับน้ำหรือฝนในระหว่างการจัดเก็บหรือการขนส่ง ทำการทดสอบโดยนำแท่งเชื้อเพลิงมาทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบและนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 S จากนั้นนำมาซับให้แห้งจนไม่มีน้ำหยดและนำมาชั่งน้ำหนักหลังทดสอบ (Davies et al., 2014) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 35 และสมการที่ 36

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100$$

สมการที่ 35

$$\text{Water resistance (\%)} = 100 - \text{Water gained}$$

สมการที่ 36

เมื่อ	W_1	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ (g)
	W_2	คือ	คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบ (g)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิบ่งชี้ถึง จำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการ อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบหรือศูนย์ได้ขึ้นอยู่กับขนาด (Magnitude) ของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (PVC) ของโครงการนั้น

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^k \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

สมการที่ 37

เมื่อ	t	คือ	ปี
	M	คือ	อายุของโครงการ
	K	คือ	ระยะเวลาในการก่อสร้างระบบ
	R	คือ	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่เหมาะสม
	B _t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C _t	คือ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการในปีที่ t

หลักการตัดสินใจ (Decision rule) ที่แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ และการเงินหรือไม่นั้น ให้พิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิคือ เมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงว่าโครงการนั้นมีความเหมาะสมที่จะลงทุนได้ กล่าวคือมูลค่าปัจจุบันผลประโยชน์รวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมนั่นเอง

2. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการคือ ผลตอบแทนเป็นร้อยละต่อโครงการ หรือหมายถึงอัตราดอกเบี้ยในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของโครงการมีค่าเท่ากับ 0 ณ จุดนี้จำเป็นต้องอธิบายเพิ่มเติมถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราดอกเบี้ยกับขนาดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ถ้าอัตราดอกเบี้ยระดับหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการคิดลดแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลงแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก อัตราดอกเบี้ยระดับใหม่ที่สูงกว่าจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลง และลดลงต่อไปตราบเท่าที่อัตราดอกเบี้ยยังคงเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในที่นี้จะมีอัตราดอกเบี้ยระดับหนึ่ง

ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 0 พอดี ซึ่งก็คือ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ เมื่อกำหนดให้ r คือ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ และค่าของ r จะสามารถหาได้จากสมการที่ 38 ดังนี้

$$\sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0 \quad \text{สมการที่ 38}$$

เมื่อ	t	คือ	ปี
	r	คือ	อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่เหมาะสม
	B_t	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C_t	คือ	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการในปีที่ t

3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุน

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{มูลค่าเครื่องอัดแท่งชีวมวล}}{\text{รายได้สุทธิ}} \quad \text{สมการที่ 39}$$

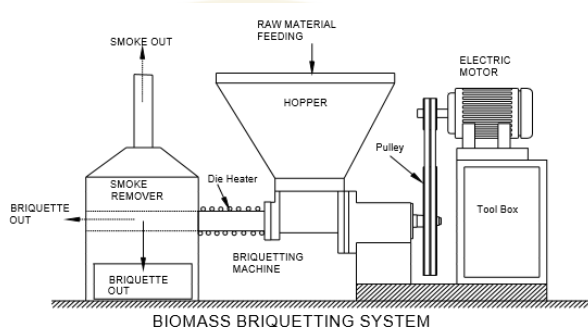
เมื่อรายได้จากการประหยัดเชื้อเพลิง คือ $X_1 - X_2$

เมื่อ	X_1	คือ	ค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจากเครื่องอัดแท่งชีวมวล
	X_2	คือ	ค่าใช้จ่ายจากเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

การตรวจสอบเอกสาร

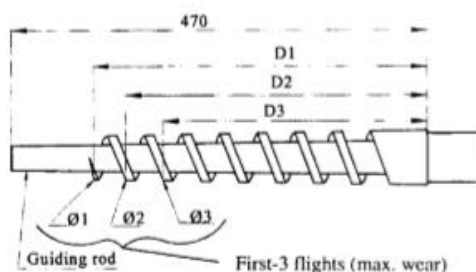
Dass. et al. (2015) ศึกษาการผลิตชีวมวลอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อใช้แทน ถ่านหิน ลิกไนต์ และฟืน มีความหนาแน่น 1200-1450 kg/m³ เมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลที่ผ่านมาประมาณ 60-180 kg/m³ ค่าขนส่งและการเก็บรักษาลดลงอย่างมาก เครื่องให้อัตราการผลิต 7 kg/h ศึกษาผลของความชื้นในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและตัวประสานที่ใช้ในการศึกษาความหนาแน่นของถ่านอัดก้อน การใช้พลังงานต่อกิโลกรัม และค่าความร้อนต่อกิโลกรัม ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาห้องถิ่ง โดยใช้ถ่านอัดแท่งที่เตรียมไว้ได้รับ 5%

G. R. Shakya et al (2003) ศึกษาการพัฒนาเครื่องอัดแท่งเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งเนปาล ได้ทำการวิจัยและพัฒนาในด้านการอัดแท่งชีวมวลเพื่อลดปัญหาค่าใช้จ่ายที่สูงในการผลิตจึงได้พัฒนาอุปกรณ์สำหรับเผากระบอแม่พิมพ์ใหม่และดัดแปลงเตาแบบดั้งเดิมสำหรับการเผากระบอแม่พิมพ์ เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่กระบอแม่พิมพ์ให้ง่ายต่อการขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังกล่าวถึงเทคนิคใหม่ที่ประหยัดต้นทุนในการผลิตสกรูที่ใช้ในความร้อน เครื่องอัดก้อนสกรู และประสิทธิภาพการทำงานที่ส่งผลถึงการลดต้นทุนในการผลิตดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การให้ความร้อนกระบออัดด้วยเตาเผาถ่าน

R. M. Singh (2000) การศึกษาการสึกหรอของสกรูของเครื่องผลิตแกลบอัดแท่ง เพื่อใช้แทนไม้ฟันในประเทศเนปาล ผลการศึกษาพบว่าการสึกหรอของสกรูส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่สามฟันแรกของสกรูเนื่องจากมีแรงดันสูงที่สุด ดังภาพที่ 28 การทดสอบแสดงให้เห็นว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์และออสเทนนิติกสามารถเพิ่มเวลาการทำงานของสกรูได้สองเท่าเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของสกรูแบบธรรมดา การใช้เทคโนโลยีการเชื่อมแบบใหม่ด้วยเทคโนโลยีการพ่นด้วยผงความร้อนเพื่อเคลือบพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอด้วยผง Eutalloy เพื่อเพิ่มชั่วโมงการทำงานได้มากกว่า 15 h

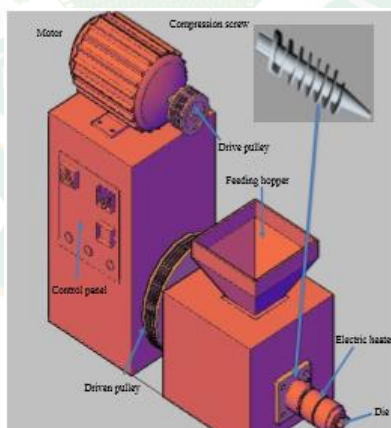


ภาพที่ 28 การศึกษาการสึกหรอของเกลียวอัด

SN. Muhammad et al (2016) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัดแท่งแบบสกรูเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้วัสดุชีวมวล ดังภาพที่ 29 ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความ

หนาแน่นของวัสดุชีวมวลที่ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความทนทานมากกว่า 90% ตัวเครื่องประกอบด้วยสกรู วัสดุชีวมวลที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 mm และมีความชื้นน้อยกว่า 12% สกรูหมุนที่ 300 rpm มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 15 kw ที่อัดวัสดุนี้ผ่านแม่พิมพ์ซึ่งได้รับความร้อนจากภายนอก กำลังการผลิตของเครื่องคือ 200 kg/h ระยะเวลาคืนทุนของเครื่อง 4 months

จุฑารัตน์ และคณะ (2557) ศึกษาการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากฟางข้าว แกลบ ต้นข้าวโพด และซังข้าวโพด ที่เกิดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ภายใต้การอัดเม็ดที่อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดเม็ด โดยเริ่มจากการ นำเอาชีวมวลมาบดย่อย ร่อนคัดขนาด ซึ่งขนาดชีวมวลที่ใช้อยู่ในช่วง 1-3 mm โดยวิเคราะห์คุณสมบัติความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานน้ำ และค่าความร้อน โดยพบว่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมส่งผลต่อการขึ้นรูปเป็นเม็ดของชีวมวลทั้ง 4 ชนิด โดยอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 70-80 °C และ 10-15% ตามลำดับ ความหนาแน่นรวมของชีวมวลอัดเพิ่มขึ้นเม็ดอยู่ในช่วง 1,152-1,291 kg/m³ ส่วนค่าความต้านทานแรงกด ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานน้ำ และค่าความร้อน มีค่าอยู่ในช่วง 141.54-182.14 kg/cm², 68-98%, 78-88% และ 17.6-21.2 MJ/kg. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดและสามารถนำไปส่งเสริมการใช้ชีวมวลอัดเม็ดในระดับชุมชนได้



ภาพที่ 29 การเพิ่มความหนาแน่นด้วยเครื่องอัดแท่งแบบสกรู

ณัฐกิตติ์ และคณะ (2554) การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งซังและเปลือกข้าวโพดด้วยเทคนิคการอัดรีดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาว ใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาวในอัตราส่วน 2:1, 1:1 และ 1:2 ที่อัตราส่วนสมวัสดุเหลือทิ้งร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก อีกทั้งเปลี่ยนอัตราส่วนผสมยังต่อเปลือกข้าวโพด 20: 80 50: 50 และ 80: 20 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษา

พบว่าแห้งเชื้อเพลิงที่เหมาะสมคืออัตราส่วนผสมวัสดุเหลือทิ้ง 20-80 ตัวประสานเชื้อเพลิง 1: 2 อัตราส่วนผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มีค่าความร้อน 12.77 MJ/kg และความหนาแน่น 940 kg/m³ ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลร้อยละ 16.31 โดยมีเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบ 203,000 Baht ค่าใช้จ่ายรายปี เท่ากับ 361.061 Baht/y ให้ผลตอบแทนสุทธิ 58,984 Baht และคืนทุนภายใน 3.44 y จะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดมีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ประทีป และคณะ (2555) ศึกษาพลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว โดยนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิค คือ สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแห้งเชื้อเพลิง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแห้งเชื้อเพลิงเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชน ในทางปฏิบัติ แห้งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้น้ำแปะมันสำหรับอัดที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของ เชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2,865-4,185 Cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8.55-13.36 ค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแห้ง เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 7.25-23.40, 67.62-76.31, 3.33-5.28 และ 2.26-10.71 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุด คือ ทางมะพร้าว 1 kg. ต่อน้ำแปะมันสำหรับอัด 1.25 litter การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 15.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 Baht และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 y 1 m ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน

มนตรี และคณะ (2552) ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร รวมไปถึงการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยมีหลักการทำงาน 3 กระบวนการในเครื่องเดียว คือ กระบวนการบดละเอียด กระบวนการผสม และกระบวนการอัด ซึ่งสามารถทำงานโดยใช้ตู้ควบคุมการทดสอบการใช้งานเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ กะลากาแฟ และซังข้าวโพดต่อตัวประสานคือ แปะมัน กากน้ำตาล และน้ำ พบว่าอัตราส่วนผสมวัสดุ: กากน้ำตาล: แปะมัน: น้ำ ที่เหมาะสมในการอัดก้อนเชื้อเพลิงคือ 1: 0.5: 0.5: 0.3 และเมื่อทำการตรวจสอบค่าความหนาแน่นก้อนเชื้อเพลิงแข็งที่ได้จาก แกลบ กะลากาแฟ และซังข้าวโพด จะได้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 154.64, 185.02, 116.28

kg/m³ ตามลำดับ และเมื่อทำการตรวจสอบค่าความร้อนก่อนเชื้อเพลิงแข็งที่ได้ จาก แกลบ กะลา กาแฟ และซังข้าวโพด จะได้ค่าความร้อนเท่ากับ 3,914.19, 4,385.84, 2,620.26 kcal/kg ตามลำดับ

มนตรี และคณะ (2552) การศึกษาการออกแบบสกรูอัดรีด สำหรับผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ในกระบวนการอัดรีดเย็น และศึกษาผลของสัดส่วนมวลโมลาสซึ่งใช้เป็นตัวประสานและขนาดของมุมอัดรีดต่ออัตราการผลิตและสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงที่อัดได้ วัตถุประสงค์ที่ใช้คือผงถ่าน กะลามะพร้าวผสมกับผงถ่านไยกะลามะพร้าวในสัดส่วน 40: 64 ในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมของโมลาสต่อวัตถุดิบดังนี้ 10: 100, 15: 100 และ 20: 100 และมุมอัดรีดของแม่พิมพ์จะเปลี่ยนไปดังนี้คือ 1.0, 1.1, 1.2 และ 1.3 องศา ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าสกรูที่ออกแบบไว้ใช้งานได้ดีโดยมีอัตราการผลิตอยู่ในช่วง 0.75-0.90 kg/min ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้ สำหรับผลของโมลาสพบว่ามวลของโมลาสที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการผลิตและความแข็งแรงของแท่งเชื้อเพลิง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของมุมอัดรีดจะทำให้ทั้งอัตราการผลิตและความแข็งแรงลดลงในทุก ๆ เงื่อนไขการทดลองค่าการต้านทานแรงกด มีค่าระหว่าง 2.49-2.87 MPa ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ในทางอุตสาหกรรม นอกจากนี้เชื้อเพลิงแท่งที่อัดได้ยังมีความสามารถต้านทานแรงกระแทกได้อย่างดีเยี่ยม สำหรับพลังงานที่ใช้ในการอัดรีดแท่งเชื้อเพลิงพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.040-0.179 kWh/kg

มนตรี และคณะ (2552) ศึกษาการออกแบบเครื่องกวนผสมน้ำยาอเนกประสงค์ผสมสมุนไพรเพื่อลดระยะเวลาการผสม เพื่อพัฒนาเครื่องผสมของเหลว (Liquid mixing appliance) สำหรับการผสมน้ำยาอเนกประสงค์ ซึ่งมีส่วนผสมของสารสกัดจากสมุนไพรชนิดต่าง ๆ โดยมีองค์ประกอบที่มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันสำหรับวิสาหกิจชุมชนเพื่อส่งเสริมการสร้างอาชีพตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง โดยเครื่องผสมของเหลวที่พัฒนาขึ้นนี้มีระบบส่งกำลังที่ใช้กับเครื่องกวนนี้ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสสลับขนาด 0.5 hp 220 V มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนมอเตอร์เท่ากับ 2.5 cm. ความเร็วรอบ 2 ระดับ ที่ 58 และ 1080 rpm และสามารถปรับเปลี่ยนใบกวนมาตรฐาน 3 แบบ ได้แก่ MJU1 MJU2 และ MJU3 ตามลำดับ เครื่องสามารถผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำยาอเนกประสงค์ได้ครั้งละ 40 litter จากผลการศึกษาพบว่าการผสมด้วยใบกวนใน MJU 3 ความเร็วรอบที่ระดับ 58 rpm จะเป็นสมภาวะการผสมน้ำยาอเนกประสงค์สำหรับผสมสารสกัดจากสมุนไพรที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เวลาในการผสม 65 min และเกิดแรงบิดน้อยที่สุด

มนตรี และคณะ (2552) ศึกษาพัฒนาชุดเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยหมัก โดยมีการออกแบบส่วนประกอบที่สำคัญคือ ถังผสมพร้อมใบกวนแบบ (Double Ribbon Mixer) ชุดป้อนวัตถุดิบ ชุดกระบอกอัด ชุดควบคุมระบบไฟฟ้า ระบบส่งกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 2200 W เป็นต้นกำลัง หลักการทำงานของเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยหมัก คือ เมื่อนำปุ๋ยหมักแบบสำเร็จผสมกับสารโดโลไมท์ และน้ำผสมให้เข้ากันทำการเปิดช่องป้อนวัตถุดิบได้ถังผสมโดยมีใบกวนเป็นตัวลำเลียง

วัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบป้อนเข้าสู่ชุดกระบอกอัด จากนั้นเกลียวอัดจะทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่กระบอกอัดเม็ดอย่างต่อเนื่องโดยมีใบมีดคอยตัดเม็ดปุ๋ยที่ป้อนออกมาทางปลายกระบอกจากนั้น นำเม็ดปุ๋ยที่ได้ไปตากแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจะทำให้เม็ดปุ๋ยแข็งตัวเร็วขึ้น จากการทดสอบพบว่าเครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ยหมักสามารถผสมวัตถุดิบและลำเลียงวัตถุดิบ ได้เป็นอย่างดี โดยนำปุ๋ยหมัก 50 kg. ผสมกับโดโลไมท์ 5 kg. น้ำ 14 litter ความเร็วรอบถังผสม 49 rpm ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 68 rpm สามารถอัดปุ๋ยเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm มีความยาว 10 ± 5 mm ค่าความชื้นก่อนอัด 66.5% และความชื้นหลังอัด 66.33% ผลิตได้สูงสุด 652 kg/h สามารถตัดเม็ดปุ๋ยหมักได้เองอัตโนมัติจากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเมื่อให้เครื่องต้นแบบมีราคา 29,098 Baht พบว่ามีระยะคืนทุนที่ 142.89 วัน

สุภวรรณ และคณะ (2555) ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากใบสะเดาแห้งร่วมกับซีลี้อยเผา ด้วยเทคนิคเกลียวอัดใช้ใบสะเดาแห้งกับเศษซีลี้อยเผาและใช้น้ำแ่่งมันเป็นตัวประสานใช้เครื่องอัดถ่านขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า 1 phase 3 hp ที่ความเร็วรอบเกลียวอัด 210 rpm. การทดลองใช้ตัวประสานมีอัตราส่วนต่อน้ำ คือ 2: 3 และอัตราส่วนระหว่างตัวประสานกับใบสะเดาแห้งผสมซีลี้อยเผา คือ 0.5: 3, 0.5: 5, 0.5: 7, 13: 1:5 และ 1: 7 ซึ่งสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ทดสอบ ได้แก่ ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ค่าการต้านทานแรงกด และประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของเชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่าค่าความร้อนอยู่ในช่วง 152-23.8 FU/kg ถ้าผสมซีลี้อยเผาเข้าไปจะทำให้ได้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น ค่าการต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 400-900 kPa จะแปรผันตรงกับปริมาณระหว่างตัวประสานกับน้ำหนักของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อน 51.59% และประสิทธิภาพเฉลี่ยของเกลียวอัด 34.27%

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งและผลิตถ่านอัดแท่ง โดยส่วนใหญ่จะใช้ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร ได้แก่ แกลบ เศษไม้ ชังข้าวโพด ทางมะพร้าว ฟางข้าว กะลากาแฟ เป็นต้น และใช้แ่่งมันสำหรับปะหลัง กากน้ำตาล เป็นตัวประสาน เนื่องจากโดยทั่วไปการผลิตถ่านอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น จะใช้วิธีการอัดแบบอัดเย็นคือ ต้องทำการผสมวัตถุดิบตัวหลักและตัวประสานด้านนอกให้เข้ากันก่อน แล้วจึงจะสามารถนำเข้าไปใส่ตัวเครื่องและทำการอัดออกมาได้ โดยวิธีการผลิตแบบนี้ เมื่อเปิดเครื่องเริ่มทำงานในช่วงแรก เครื่องจะยังไม่เกิดความร้อนจากการเสียดสีของตัววัตถุดิบกับกระบอกอัด จึงต้องทำการอัดวนซ้ำหลายรอบจนทำให้ตัวประสานละลายจึงจะสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทั้งนี้ทำให้เกิดปัญหาในการผลิต ทำให้มีระยะเวลาในการอัดที่ค่อนข้างนาน เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเกิดความร้อน โดยงานวิจัยที่ได้ศึกษามาได้มีการทำเครื่องผสม ซึ่งน่าจะใกล้เคียงกับการผสมชีวมวลก่อนนำไปผลิต ซึ่งจากปัญหาข้างต้นจะเห็นว่า

เครื่องอัดถ่านหรือเครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งยังไม่มีผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องผสมและเครื่องอุ่นชีวมวลก่อนกระบวนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบ พัฒนาและดัดแปลงเครื่องอัดถ่านอัดแท่งให้สามารถนำมาใช้งานกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งได้ เพื่อที่จะลดระยะเวลาในการอัด อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับครัวเรือน ชุมชน หรือสามารถสร้างเป็นอาชีพได้



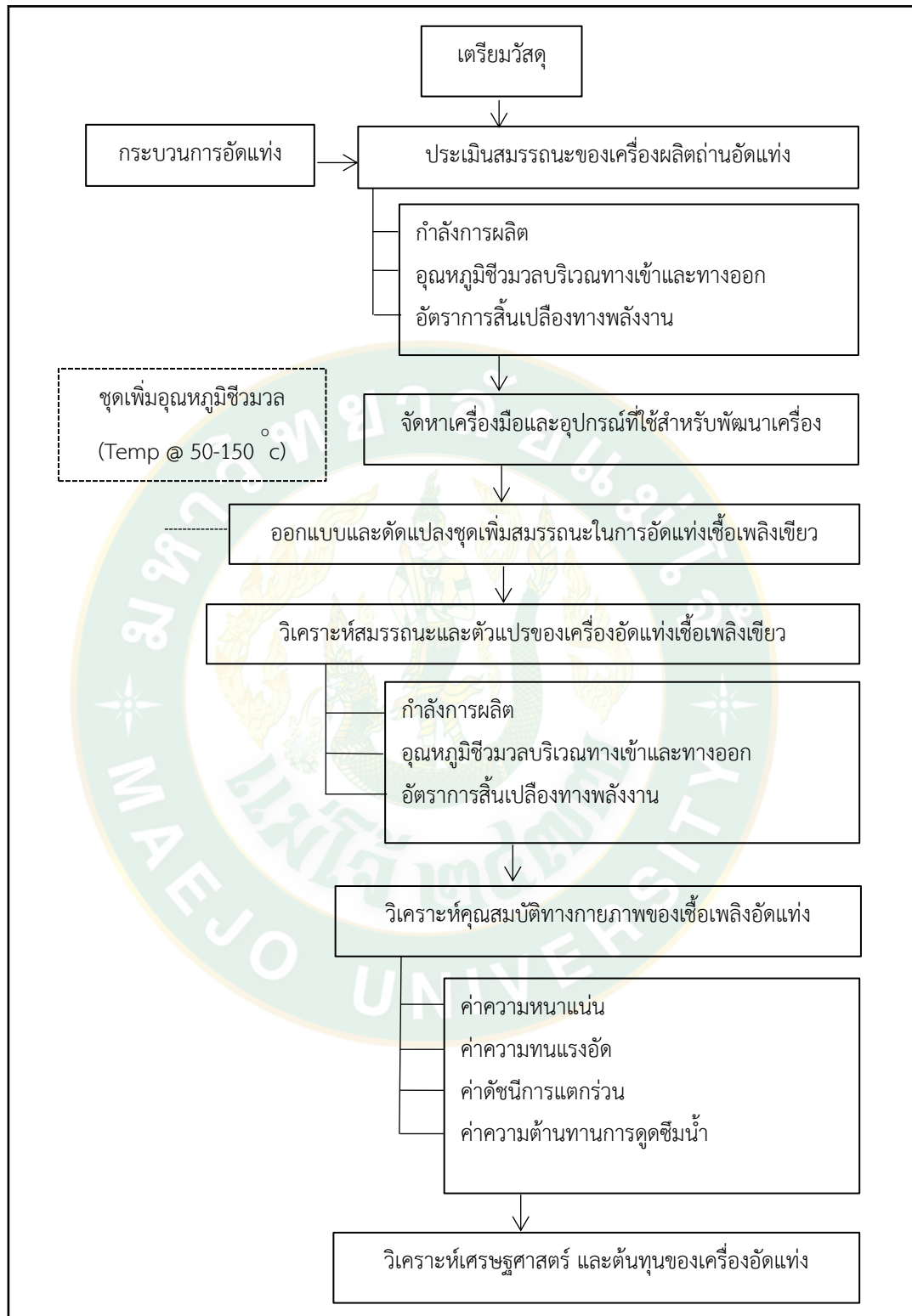
บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ในการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้เป็นการแสดงเนื้อหาของ อุปกรณ์ เครื่องมือ วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยหลักการดำเนินงานวิจัยจะทำการศึกษากการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม เนื้อหาของข้อมูลใช้สำหรับการนำไปพัฒนาออกแบบเครื่องอัดแท่งใหม่ ให้สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ รายละเอียด วิธีการศึกษากการวิจัยแสดงดังรูปที่ 30 หลังจากได้รวบรวมข้อมูลตัวแปรที่สำคัญก็ดำเนินการออกแบบเครื่องอัดแท่งให้มีสมรรถนะสูงกว่าเครื่องอัดแท่งแบบดั้งเดิม หลังจากนั้นดำเนินการทดสอบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลชนิดต่าง ๆ รวมถึงการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและประเมินเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการผลิตในที่สุด

3.1 ชีวมวลในงานวิจัย

วัสดุชีวมวลที่นำมาทดลองมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แกลบ ทางปาล์ม และเศษไม้ ดังภาพที่ 31 โดยแกลบนำมาจากโรงสีสุกชัย ในพื้นที่ตำบลสันป่าเปา อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ทางใบปาล์ม รวบรวมจากศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ส่วนเศษไม้ รวบรวมจากโรงงานแปรรูปไม้ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ในเบื้องต้นได้นำชีวมวลทั้งสามชนิดไปวิเคราะห์ทางเคมี โดยวิธีการประมาณ และแบบแยกธาตุ ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยวิธีการประมาณ พบว่า เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด มีความชื้นอยู่ในช่วง 6.34 – 8.81 ส่วนสาระหะเหย มีค่าอยู่ในช่วง 69-85% ปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 1.63-7.91% และปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 1.8-17.92% แสดงดังตารางที่ 2 โดยเฉลี่ยคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติสอดคล้องกับชีวมวลทั่วไปที่มีอยู่ในประเทศไทย (Shinya Yokoyama, 2002) ค่าความร้อนของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 14.70-15.87 MJ/kg ทั้งนี้ปริมาณความชื้นที่อยู่ในชีวมวลจะมีผลต่อค่าความร้อนของชีวมวล สำหรับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่า แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ มีปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 39.60-47.31% ปริมาณออกซิเจนอยู่ในช่วง 38.53-41.37% ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.21-0.68% และมีปริมาณไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 5.29-6.01% ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 30 ไตอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงาน



(ก) แกลบ

(ข) เศษไม้



(ค) ทางใบปาล์ม

ภาพที่ 31 ซีวมวลที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติซีวมวลโดยวิธีการประมาณ (Proximate Analysis)

พารามิเตอร์	แกลบ	ทางใบปาล์ม	เศษไม้
ความชื้น (%)	6.38 ± 0.05	8.18 ± 1.25	6.34 ± 1.64
สารระเหย (%)	69.58 ± 2.28	85.24 ± 3.64	83.95 ± 3.52
เถ้า (%)	17.92 ± 0.36	4.95 ± 0.07	1.8 ± 0.28
คาร์บอนคงตัว (%)	6.12 ± 2.01	1.63 ± 0.09	7.91 ± 2.16
ค่าความร้อน (MJ/kg)	14.96 ± 33.00	14.74 ± 15.27	15.87 ± 10.43

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis)

พารามิเตอร์	เศษไม้	ทางปาล์ม	แกลบ
คาร์บอน (%)	47.310 ± 0.047	43.287 ± 0.083	39.60 ± 0.17
ออกซิเจน (%)	40.645 ± 0.568	41.375 ± 0.052	38.53 ± 0.41
ไนโตรเจน (%)	0.212 ± 0.005	0.685 ± 0.008	0.35 ± 0.00
ไฮโดรเจน (%)	6.010 ± 0.023	5.781 ± 0.033	5.29 ± 0.02

3.2 การเตรียมชีวมวล

ภายหลังจากรวบรวมชีวมวลทั้งสามชนิด ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเตรียมชีวมวลก่อนจะนำไปใช้ในกระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยเริ่มจากลดขนาดของทางใบปาล์มบดย่อยด้วยเครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด แสดงดังภาพที่ 32 จากนั้นนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น ในส่วนของเศษไม้และแกลบนั้นทำการลดขนาดด้วยเครื่องบดย่อยแบบละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 33 จากนั้นนำชีวมวลที่ผ่านการย่อยไปร่อนผ่านรูดะแกรงให้มีขนาด 1-3 mm ตามที่กำหนด เมื่อเสร็จขั้นตอนเก็บชีวมวลบรรจุลงถุงไว้ในที่แห้งเพื่อรอการนำไปใช้งานในกระบวนการผลิต สำหรับตัวประสานที่ใช้ในการช่วยยึดเกาะอนุภาคระหว่างชีวมวล (ณัฐกิตติ์ และคณะ, 2554) ซึ่งเลือกใช้แป้งมันสำปะหลัง ที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก สามารถหาซื้อได้จากร้านค้าทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 32 การลดขนาดทางใบปาล์ม



ภาพที่ 33 การลดขนาดเกลบและเศษไม้



ภาพที่ 34 ตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง

3.3 ข้อมูลพื้นฐานของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเกลียวอัดแบบสกรู เป็นเครื่องที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อดัดแปลงให้สามารถทำงานให้มีสมรรถนะสูงขึ้น เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งมีขนาด ความกว้าง 610 mm ยาว 1,102.5 mm และสูง 1,090 mm ดังภาพที่ 35 ประกอบด้วยมอเตอร์ ผลิตภัณท์ของ Mitsubishi รุ่น Super line three phase ขนาด 3 hp (2.2 kW) มีความเร็วรอบ 1,420 rpm แรงดันไฟฟ้า 220 V. และกระแสไฟฟ้า 8.7 A. ส่งกำลังขับเคลื่อน

ผ่านศูนย์กลาง 1.25 inch ผ่านสายพาน B-44 จำนวน 1 เส้น ผ่านฟูลเลอร์ร่อง B ขนาด 3 inch. ทดสอบครั้งที่ 1 ด้วยฟูลเลอร์ขนาด 6 inch จากนั้นส่งกำลังไปยังฟูลเลอร์ขนาด 3 inch ทดสอบอีกครั้งและขับด้วยฟูลเลอร์ร่อง B สองร่อง ส่งกำลังผ่านสายพาน B-74 จำนวน 2 เส้น ไปยังเพลลาเพื่อขับเกลียวอัดแบบสกรู ดังภาพที่ 36 ที่มีเพลลากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32.2 mm ยาว 490 mm ระยะพิตช์ช่วงต้น 71.4 mm ระยะพิตช์ช่วงปลาย 57.6 mm และมีโคนฟันขนาด 10.6 mm โดยเครื่องอัดมีพื้นที่รองรับวัสดุบริเวณด้านบนขนาด 380x80x100 mm ซิวมวลผ่านช่องป้อนขนาด 140x300 mm เข้ากระบอกอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63.75 mm ยาว 208.5 mm ซิวมวลอัดแท่งผ่านกระบอกแม่พิมพ์รูปทรงหกเหลี่ยม ดังภาพที่ 37 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 463 mm ยาว 116 mm ยึดหน้าแปลนด้วยน็อตหัวหกเหลี่ยม จำนวน 4 ตัว ขนาด 3/8 x 1 1/2 inch เมื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดถ่าน ซึ่งใช้ถ่านเป็นวัสดุทดสอบพบว่า มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 48 kg/h ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 0.011 kWh และทำการทดสอบอัดซิ่วมวลทั้งสามชนิด ได้แก่ แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ พบว่า มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 0.993 kg/h 1.01 kg/h และ 1.29 kg/h ตามลำดับ จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ มีค่าความหนาแน่น 1,357.68 kg/m³ 1,170.72 kg/m³ และ 866.55 kg/m³ ตามลำดับ

จากข้อมูลการผลิตถ่านอัดแท่งจะให้กำลังการผลิตที่สูงในขณะที่นำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวจะมีอัตราการผลิตต่ำกว่า 10 เท่า ขณะที่คุณสมบัติทางกายภาพมีค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า กลไกที่ทำให้การยึดเกาะของซิ่วมวลเป็นอีกปัญหาที่ส่งผลให้การยึดเกาะมีประสิทธิภาพต่ำ (MURINA et al., 2017)



ภาพที่ 35 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง



ภาพที่ 36 เกลียวัดแบบสกรู



ภาพที่ 37 ครอบแม่พิมพ์ทรงหกเหลี่ยม

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง

3.4.1) เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด

เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด ดังแสดงในภาพที่ 38 กำลังมาจากเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 11 hp ส่งกำลังต่อสายพานเพื่อหมุน 1 ใบมีดสับ และ 21 ใบมีดเหวี่ยงแบบอสิระ สามารถสับย่อยวัสดุได้ทุกประเภททั้งสดและแห้ง มีกำลังการทำงานไม่ต่ำกว่า 560 kg/h (ณัฐติ และคณะ, 2558) สำหรับเครื่องย่อยนี้จะใช้ย่อย ทางใบปาล์ม มีขั้นตอนการย่อย คือ ตัดครึ่งทางใบปาล์มให้มีความยาวพอประมาณที่จะสามารถนำเข้าช่องป้อนด้านบน ใบมีดจะทำหน้าที่ย่อยผ่านรูตะแกรงแบ่งเป็นสองส่วย กล่าวคือ ส่วนที่หยาบจะถูกย่อยออกมาไปทางด้านข้างของเครื่อง และส่วนที่ละเอียดผ่านตะแกรงลงที่รองรับด้านล่าง หลังจากทำการย่อยเสร็จ นำส่วนที่หยาบกลับมาเข้าเครื่องอีกครั้งเพื่อทำการบดให้มีความละเอียดมากขึ้น จากนั้นนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น

3.4.2) เครื่องบดย่อยชีวมวลแบบละเอียด

เครื่องย่อยแบบละเอียด power crusher machine รุ่น F-19ZSIII ดังภาพที่ 39 ใช้มอเตอร์ขนาด 2.2 hp กำลังไฟฟ้าขาออก 1.5-2.2 kW ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 V ใช้สายพานในการส่งกำลัง ความเร็วรอบในการบดย่อย 5,500 rpm (เจนจิรา, 2561) ภายในเครื่องมือชุดนี้และบดชีวมวล

ทั้งหมด 4 ชุด โดยชีวมวลที่ผ่านเครื่องจะมีขนาดระหว่าง 0.3-0.5 mm โดยจะใช้เครื่องนี้ย่อย เศษไม้ และแกลบเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยเก็บบรรจุให้อยู่ในที่ความชื้นต่ำเพื่อนำไปงาน



ภาพที่ 38 เครื่องย่อยปุ๋ยพืชสด



ภาพที่ 39 เครื่องย่อยชีวมวลแบบละเอียด

3.4.1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

ในการวิจัยได้มุ่งเน้นการพัฒนาตัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งที่มีอยู่ให้สามารถนำไปใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลให้ได้ เครื่องนี้ได้ตัดแปลงมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ประกอบด้วย ชุดส่งกำลัง ชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง ชุดเพิ่มความร้อน โครงสร้างและชุดควบคุมการทำงาน ดังต่อไปนี้

3.4.1.1 ชุดส่งกำลัง

สำหรับชุดส่งกำลังของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ใช้มอเตอร์ผลิตภัณท์ของ Mitsubishi รุ่น Super line ขนาด 3 hp ความเร็วรอบ 1,440 rpm ส่งกำลังไปยังฟูลีย์ตัวขับ 3 ร่อง ขนาด 6 inch และส่งกำลังไปยังฟูลีย์ตัวตาม 3 ร่อง ขนาด 20 inch โดยใช้สายพานร่อง B จำนวน 3 เส้น ในการขับเพื่อให้แกนเพลลาที่เชื่อมต่อกับเกลียวอัดทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ชุดส่งกำลัง

3.4.1.2 ชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เกลียวอัด ครอบกอดอัด ชุดป้อนเชื้อเพลิง และครอบแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 41 ในส่วนของครอบกอดอัด มีลักษณะทรงครอบกอดหุ้มเกลียวอัดอย่างพอดี มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm ยาว 844 mm ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้กับชีวมวลในการอัดแท่ง โดยเกลียวอัดเป็นเกลียวอัดแบบเกลียวรูปกรวย ทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุที่ทำการผสมแล้วไปยังด้านหน้าและทำการเพิ่มความดันขณะที่วัสดุเคลื่อนที่เข้าไปยังครอบกอดอัดเพื่อทำการอัดขึ้นรูป โดยเกลียวอัดประกอบด้วยสองชิ้นส่วน ได้แก่ ส่วนของแกนเกลียว ทำจากแท่งอลูมิเนียม ขนาดของแกนกลางเกลียวในช่วงต้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm ช่วงปลาย 35 mm ยาว 405 mm และส่วนของฟันเกลียว ทำจากอลูมิเนียมชนิดแผ่น มีความหนา 10 นำมาพันเชื่อมเข้ากับแกนเกลียว จำนวน 7 ฟัน ส่วนหัวของเกลียวอัดที่ใช้ต่อเชื่อมกับเพลลาขับเป็นเหล็กทรงสี่เหลี่ยมมีขนาด 24x24x30 mm เส้นผ่านศูนย์กลางโตนอก 12.5 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา 29.8

mm และระยะพิตช์เกลียวป้อน 35 mm ชุดป้อนเชื้อเพลิง (Hopper) ใช้สำหรับรองรับวัสดุเพื่อป้อนวัสดุเข้าสู่เกลียว โดยจะมีลักษณะของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมขนาดคางหมูขนาดกว้าง 200 mm สูง 300 mm ทำจากเหล็กแผ่นดำหนา 1.2 mm สามารถรองรับวัสดุได้สูงสุด 3 kg และกระบอกแม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นทรงกระบอก สูง 240 mm มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 49.6 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 70.9 mm ไสร่องลดการลื่นไถล 5 mm และกลิ้งสแตย์ 5 rad ฐานรองมีลักษณะเป็นแผ่นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 200x200 mm หนา 25 mm



ภาพที่ 41 ชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง

3.4.1.3 ชุดอุ่นให้ความร้อนชีวมวล

ชุดอุ่นชีวมวล ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิให้โครงสร้างลิกนินของชีวมวลอ่อนตัวทำให้อัดได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ประกอบด้วย ตัวถัง ทำจากเหล็กแผ่นดำหนา 30 mm ม้วนให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง 320.2 mm สูง 300 mm บริเวณขอบด้านบนของตัวถังทำด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm ห่างจากระยะขอบบน 5 mm และมีช่องทางออกของชีวมวลบริเวณด้านล่างของถังถึงขนาด 70x190 mm ไบกววน ทำหน้าที่ดันวัสดุให้เกิดการเคลื่อนที่โดยไบกววนที่ได้ทำการออกแบบทำจากเหล็กแผ่นดำหนา 30 mm นำมาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 ใบ ขนาด 90x130 mm ติดเอียงทำมุม 50 rad เพื่อซ้อนต่อกันวัสดุด้านล่างถึงให้เคลื่อนที่ขึ้นจากมอเตอร์ฟ้าขนาด 1/4 hp ที่ความเร็วรอบ 73 rpm และฝาให้ความร้อนโดยประยุกต์ใช้ฝาเครื่องอบลมร้อน ด้านล่างของถังชุดอุ่นจะมีการเจาะรูเพื่อส่งกำลังจากมอเตอร์เพื่อหมุนไบกววนและบริเวณด้านข้างตัวถังสูงขึ้นมาจากด้านล่าง 10 mm ได้ทำการเจาะรูใส่สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K แบบหัวสกรูเพื่อวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 42

3.4.1.4 ชุดโครงสร้างและชุดควบคุมการทำงาน

ชุดโครงสร้างของเครื่องอัดแท่งที่ได้ทำการดัดแปลง มีขนาดของความกว้าง 944.37 mm ยาว 1,500 mm และสูง 1,368.37 mm เป็นส่วนที่ใช้รองรับน้ำหนักของชิ้นส่วนต่าง ๆ ฐานด้านล่างสุดของเครื่องมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 380 mm และยาว 1,500 mm ทำจากเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็นรูปตัวซี หรือเรียกกันว่าเหล็กไลต์เกจ ขนาด กว้าง 100 mm ยาว 50 mm และสูง 20 mm สำหรับชุดควบคุมการทำงาน ประกอบด้วย เบรกเกอร์ 63 A 3 phase ของ QUBIX รุ่น NF30-CW ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนของเครื่องอัดแท่ง เชื่อมด้วย เบรกเกอร์ 10 A ควบคุมการทำงานของชุดอุ่นซีเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 42 ชุดอุ่นให้ความร้อนซีเมนต์



ภาพที่ 43 ชุดโครงสร้างและชุดควบคุมการทำงาน

3.4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการอัดแท่ง

3.4.2.1) เครื่องชั่งน้ำหนักชีวมวล

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ของ CST รุ่น CDR – 30 ดังภาพที่ 44 เป็นเครื่องชั่งชนิดแสดงการประมวลผลแบบตัวเลข โดยอาศัยหลักการอิเล็กทรอนิกส์ ทำงานจากแผงวงจร (Main Board) ต่อเชื่อมกับส่วนรับน้ำหนัก (Load Cell) เหมาะสมกับงานที่ต้องการควบคุมความแม่นยำและความรวดเร็วในการทำงาน อาศัยพลังงานจากกระแสไฟฟ้าสลับ 220 V ผ่านแบตเตอรี่แบบชาร์จขนาด 6 V สามารถใช้งานได้นานประมาณ 60 h มีพิกัดกำลัง 30 kg ความละเอียด 1 g ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักวัตถุดิบก่อนและชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังการทดลอง



ภาพที่ 44 เครื่องชั่งน้ำหนักชีวมวล

3.4.2.2) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด ผลิตภัณฑ์ของ Aeropak มีย่านวัดอุณหภูมิในช่วง 20 ± 500 °C ความละเอียด 0.5 °C เวลาในการตอบสนอง 0.5 S ขนาดเครื่อง 230 x 100 x 56 mm ดังภาพที่ 45 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิกระบอกอัด เกลียวอัด และเชื้อเพลิงอัดแท่งในระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.4.2.3) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสชนิดหัวเกลียว (Thermocouple)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสชนิดหัวเกลียว ผลิตภัณฑ์ของ รุ่น JBS-3310 ขนาด 2 CLAS วัดอุณหภูมิได้สูงสุด 400 °C ความละเอียด 0.5 °C ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของชีวมวลในถังผสม เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยทำการต่อเชื่อมกับเครื่องวัดควบคุมอุณหภูมิแบบติดแผง ผลิตภัณฑ์ของ Aeropak รุ่น AP-400-301 (Temperature indicating Controllers) ควบคุมการทำงานแบบ PID / On-Off ความเที่ยงตรง $\pm 0.5\%$ FS ดังภาพที่ 46



ภาพที่ 45 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด



ภาพที่ 46 ชุดเครื่องวัดอุณหภูมิแบบติดแผง

3.4.2.4) เครื่องวัดความเร็วรอบแบบแสงเลเซอร์

เครื่องวัดความเร็วรอบเป็นแบบแสงเลเซอร์ รุ่น DIGICON DT-246L ดังภาพที่ 47 เป็นเครื่องวัดชนิดแสดงการประมวลผลแบบตัวเลขผ่านจอแสดงผล : LCD 5 หลัก โดยอาศัยหลักการใช้เลเซอร์เป็นต้นกำเนิดแสง ทำให้สามารถตรวจวัดวัตถุเป้าหมายได้ไกลถึง 2 m เหมาะสำหรับใช้ในการตรวจวัดค่า RPM ของอุปกรณ์ และเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน หรือยากต่อการเข้าถึงตัวเครื่องหรือเข้าใกล้ตัวเครื่องไม่ได้ ใช้วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ LSI ในการประมวลผล และใช้ผลึกคริสตัลเป็น Time Base ให้ความเที่ยงตรงสูงถึง 0.05% การตรวจวัดครั้งสุดท้าย ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด จะถูกบันทึกลงสู่หน่วยความจำโดยอัตโนมัติและสามารถเรียกข้อมูลขึ้นมาดูได้ ย่านการวัด : 10~99,999 RPM ระยะตรวจวัดโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 25~2000 mm ขนาดของเครื่อง 72x190x37

mm ใช้ไฟแบตเตอรี่ AA (UM-3) 1.5V จำนวน 4 ก้อน ใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ ความเร็วรอบของเพลาอัดแท่งเชื้อเพลิง



ภาพที่ 47 เครื่องวัดความเร็วรอบแบบแสงเลเซอร์

3.4.3 เครื่องมือ วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

3.4.3.1) อุปกรณ์วิเคราะห์ความหนาแน่น

การวัดความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้หลักการวัดขนาดรูปทรงของชีวมวลเชิงปริมาตรเทียบกับมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เครื่องมือวัดขนาดที่ใช้คือ เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล (Digital Vernier caliper) ขนาด 6 นิ้ว ผลิตภัณฑ์ของ HACHI รุ่น 801353 ดังแสดงในภาพที่ 48 แสดงผลที่ความละเอียด 0.1 mm ค่าความแม่นยำ ± 0.2 mm มีระยะวัด 0-150 mm ใช้สำหรับวัดความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อใช้ในการหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้ การวัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์สามารถยอมรับค่าที่วัดได้ (เจนจิรา, 2561)



ภาพที่ 48 เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล

3.4.3.2) เครื่องทดสอบดัชนีการแตกร่วน (Shatter index machine)

การทดสอบดัชนีการแตกร่วน เพื่อทดสอบความแข็งแรง ทนทาน ในการขนส่งของ เชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำได้โดยการตัดแท่งเชื้อเพลิงซีวมวลให้มีขนาด 100 mm. ซึ่งนำหนักก่อนการทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบแบบชนิดหมุนตามมาตรฐาน ASAC 5269.53 (T. Michael et al., 2006) ซึ่งการทำงานของเครื่องจะ ใช้กำลังจากมอเตอร์ร่วมกับชุดอินเวอร์เตอร์ส่งกำลังไปยังสายพาน ร่อง V ทดรอบเพลาชับหมุนด้วยความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 10 min (เจตน์สิทธิ์, 2554) จากนั้นนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 เครื่องทดสอบดัชนีการแตกร่วน

3.4.3.3) เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด (Compressive strength)

เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด ประกอบด้วยแม่แรงกระปุก แบบไฮดรอลิก ผลิตภัณฑ์ของ komoto ขนาด 200 kg. ฐานรองรับแรงกดอัดซีวมวล ประมวลผลด้วยเครื่องวัดความดันแบบดิจิทัล สามารถอ่านความดันตั้งแต่ 0- 60 MPa ดังภาพที่ 50 โดยวิธีการทดสอบทำได้โดยตัดเชื้อเพลิงอัดแท่งให้มีขนาด 100 mm นำวางบนฐานรอง จากนั้นใช้แรงโยกไฮดรอลิกให้แท่งเชื้อเพลิงซีวมวลชนฐานด้านบนจนเกิดการแตกหัก (ธนศิษฐ์ และคณะ, 2559) พร้อมกับอ่านค่าที่ได้จากหน้าจอแสดงผล



ภาพที่ 50 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดอัด

3.4.3.4) เครื่องทดสอบความต้านทานน้ำ (Water resistance)

การทดสอบความต้านทานน้ำนั้นจะเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับน้ำ หรือมีความชื้นสูงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคือ ภาชนะเปิดใส่น้ำให้มี ปริมาตร 1,000 ml ดังภาพที่ 51 ทำการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบ นำตัวอย่างทดสอบให้ ลอยน้ำ เป็นเวลา 30 S (เจนจิรา, 2561) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ



ภาพที่ 51 อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานน้ำ

3.4.4 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า

3.4.4.1 มิเตอร์ไฟฟ้า (Electricity meter)

มิเตอร์ไฟฟ้า (Electricity meter) ใช้สำหรับวัดค่าปริมาณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับทั้งของอุปกรณ์ในบ้านเรือน และในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้าเป็น kWh หลักการทำงานของมิเตอร์ไฟ คือจะอ่านข้อมูลการใช้ไฟจากการวัดจำนวนรอบที่หมุนของจานในมิเตอร์แล้วส่งกลับมายังศูนย์บันทึกข้อมูลแสดงผลเป็น kWh เพื่อคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิต นำไปสู่การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้มิเตอร์ไฟฟ้ามิเตอร์ Mitsubishi 3 phase (4สาย) ขนาด 15A / (45A) ดังภาพที่ 52 โดยช่วงแรงดันใช้งาน 198/342 - 242/419 V ความถี่อ้างอิง 50 Hz ช่วงอุณหภูมิ ความชื้น Temperature / Humidity 0-55 °C / 0-95 %RH ความเร็วรอบ 80 rpm การสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 2 W/10VA



ภาพที่ 52 มิเตอร์ไฟฟ้า

3.4.4.2 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)

แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter) ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรหรือในระบบไฟฟ้า โดยสามารถวัดค่ากระแสได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับ สายไฟโดยตรง เพื่อคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิต นำไปสู่การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยใช้เครื่องตรวจวัดกำลังไฟฟ้าชนิดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของ UNI-T รุ่น UT200B ดังภาพที่ 53 สามารถวัดแรงดันไฟสูงสุด 600 Vac/dc มีความแม่นยำ $\pm (1.5\% + 5)$, $\pm (1\% + 3)$ สำหรับกระแสสลับ กระแสตรง ตามลำดับ วัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด 200 Aac/dc มีความแม่นยำ $\pm (1.5\% + 5)$ และวัดความต้านทานสูงสุด 20 Ω มีความแม่นยำ $\pm (1+4\%)$



ภาพที่ 53 แคลมป์มิเตอร์

3.5 วิธีการอัดแท่งเชื้อเพลิง

3.5.1 ภายหลังจากลดขนาดของชีวมวลแล้ว นำมาชั่งน้ำหนักโดยมีอัตราส่วนระหว่าง ชีวมวล: ตัวประสาน (100: 20 %โดยน้ำหนัก) ผสมคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 54 จากนั้นเติมน้ำเพื่อให้ชีวมวลจับตัวกับตัวประสาน เมื่อผสมเสร็จทดสอบจับชีวมวลมาหนึ่งกำมือ จากนั้นออกแรงบีบ สังเกตดูการจับตัวกันเป็นก้อนของชีวมวล หากยังไม่สามารถเป็นแท่งได้ทำการเติมน้ำเข้าไปผสม โดยชีวมวลแต่ละชนิดจะใช้น้ำในการผสมไม่เท่ากัน หากบีบแล้วสามารถเป็นก้อนก็สามารถนำเข้าไปเครื่องอัดแท่งเพื่อทำการขึ้นรูปในกระบวนการต่อไปได้



ภาพที่ 54 การผสมชีวมวลเข้ากับตัวประสาน

3.5.2 หลังจากผสมวัตถุดิบเข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว นำเข้าชุดให้ความร้อน หมุนปรับอุณหภูมิฟาบอบลมร้อนไปที่ 225 °C ตั้งเวลาประมาณ 20 min จากนั้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนรอจนให้อุณหภูมิชีวมวลถึง 70 °C จากนั้นปล่อยชีวมวลลงสู่เครื่องอัดแท่งทำการอัดขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 55

3.4.3) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปตากแดดเป็นเวลา 5-7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 56 เพื่อทำการลดความชื้นจนให้เหลือไม่เกิน 10% เมื่อแท่งเชื้อเพลิงแห้งแล้วตัดให้มีขนาดตามที่ต้องการ นำบรรจุเข้าถุงซิปล็อคเพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่อไป



ภาพที่ 55 การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง



ภาพที่ 56 ลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

3.6 การทดสอบผลิตถ่านและเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเบื้องต้น โดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบนำถ่านและชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ทำการอัดแท่งเพื่อให้ทราบอุณหภูมิที่ทำให้ชีวมวลสามารถขึ้นรูปยึดเกาะกันเป็นแท่ง ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่ากำลังการผลิต และอัตราการสิ้นเปลืองทางพลังงาน โดยทำการให้ความร้อนชีวมวลทั้งสามเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป กำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C โดยใช้ความร้อนจากแก๊ส LPG ทำการคั่วชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 61 จากการทดสอบอุณหภูมิในการอุ่นพบว่า อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 70 °C ชีวมวลทั้งสามชนิดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ซ้ำทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าขณะที่ทำการอัดวนรอบซ้ำ ๆ จนกว่าจะเป็นแท่ง ในขณะที่เดียวกันหากอุ่นชีวมวลโดยใช้อุณหภูมิ 80, 90 และ 100 °C สามารถทำให้การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งใช้เวลารวดเร็ว แต่จะต้องใช้พลังงานในการให้ความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ 70 °C จึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานกับชีวมวลทั้งสามชนิด

นอกจากการอุ่นเพื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลก่อนอัดขึ้นรูปแล้ว ยังทำการทดสอบเปลี่ยนขนาดฟูลีย์ 5 ขนาด เพื่อทดสอบเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง ดังภาพที่ 57 ที่ความเร็วรอบ 270, 308, 360, 432 และ 480 rpm พบว่าความเร็วรอบ 270 และ 308 rpm เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามชนิดไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ เนื้อของชีวมวลแตกเมื่อออกจากกระบอกลูกปั๊ม ดังแสดงในภาพที่ 58 ซึ่งความเร็วรอบที่ชีวมวลสามารถเป็นแท่งได้อยู่ที่ 360 และ 432 rpm ผิวของแท่งเชื้อเพลิงที่ออกจากกระบอกลูกมีความเรียบ ไม่แตก เรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 59 ทั้งนี้ผลการทดสอบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเบื้องต้นโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งในที่กล่าวมานั้น อาจจะมีตัวแปรที่ส่งผลเนื่องมาจากความเร็วรอบของเกลิยวอดที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลไปถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตเนื่องจากเครื่องเป็นชนิดแรงดันต่ำ ต้องอาศัยความร้อนและแรงคนที่ช่วยในการกดอัด รวมถึงลักษณะของเกลิยวอดเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ อีกทั้งไม่สามารถเปลี่ยนเป็นเกลิยวอดชนิดอื่น ๆ ได้ จึงส่งผลให้เมื่อนำเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งยังไม่บรรลุผลเท่าที่ควร จึงเป็นที่มาในการดัดแปลงเครื่องอัด



ภาพที่ 57 ทดสอบการอัดเบื้องต้นของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง



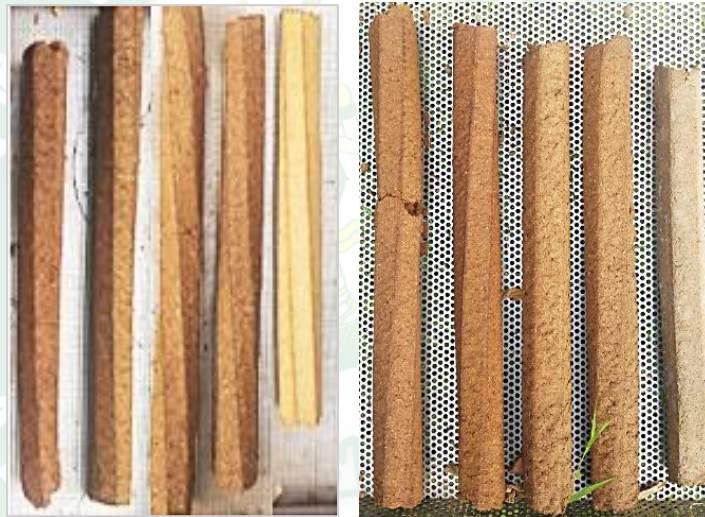
ภาพที่ 58 การประเมินสมรรถนะของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งในเบื้องต้น



(ก) 270 rpm

(ข) 308 rpm

(ค) 360 rpm



(ง) 432 rpm

(จ) 480 rpm

ภาพที่ 59 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นเนื้อหาในส่วนของผลการทดลอง ประกอบด้วย ผลการทดลองการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1) ผลการทดลองการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

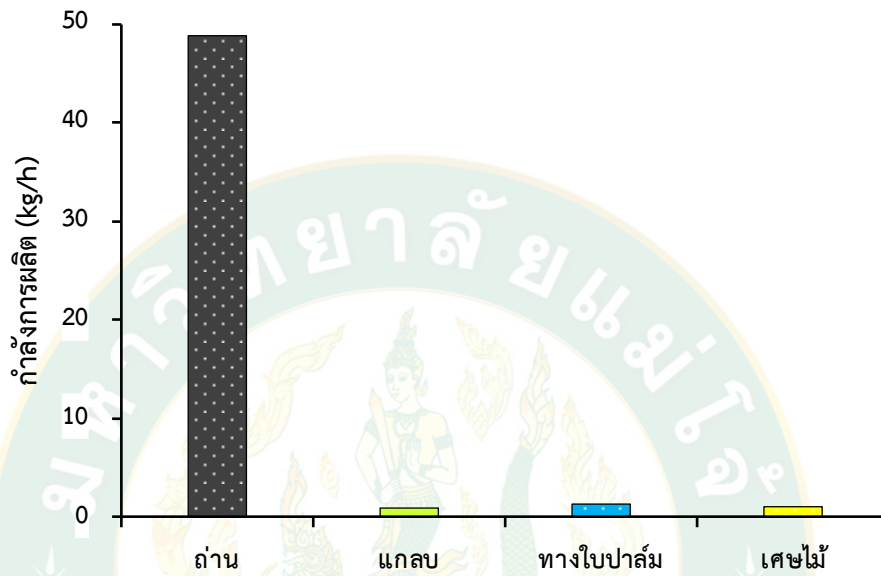
4.1.1 การประเมินกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเครื่องอัดถ่าน

การศึกษาวิธีการผลิตแท่งเชื้อเพลิงด้วยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง โดยการนำชีวมวลทั้งสามชนิดทำการทดสอบที่อัตราส่วนชีวมวลหลัก 1,000 g ต่อตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง 20% จากผลการทดลองพบว่า ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงของชีวมวลทั้งสามชนิดจะยึดเกาะกันเป็นแท่งที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C และเวลาที่ใช้ในการผลิตประมาณ 50-60 min จากการพิจารณากำลังการผลิตพบว่าเวลาที่ใช้ในการผลิตจะแปรผกผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตและการใช้พลังงานกล่าวคือ เมื่อระยะเวลาในการผลิตเพิ่มมากขึ้นก็จะมีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นแต่กำลังการผลิตที่ได้จะมีค่าลดลง จากผลการทดลองพบว่าเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งที่ใช้มีกำลังการผลิตของถ่านเท่ากับ 48 kg/h เมื่อนำมาทำการทดสอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งของ แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ พบว่าให้ค่ากำลังการผลิตที่ต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.996, 1.29 และ 1.01 kg/h ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 60 อย่างไรก็ตามสาเหตุที่ทำให้ชีวมวลอัดแท่งมีค่ากำลังการผลิตที่ต่ำ อาจเป็นผลมาจากพื้นฐานของตัวเครื่องถูกออกแบบเพื่อใช้สำหรับผลิตถ่านอัดแท่งเพียงเท่านั้น หรือวัสดุที่ใช้อุณหภูมิต่ำในการขึ้นรูปหากนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งต้องมีการดัดแปลงตัวเครื่องเพื่อให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุชีวมวล

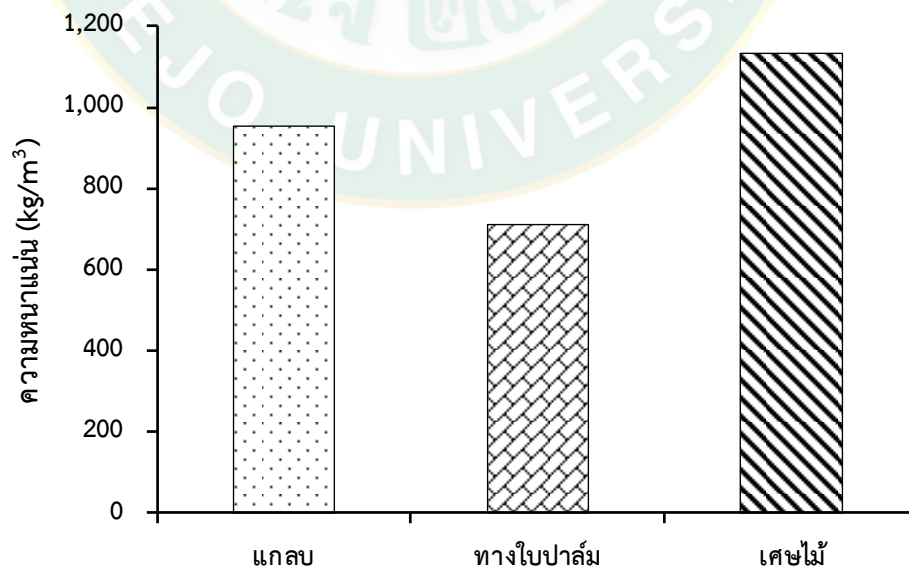
4.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.1.2.1 ความหนาแน่น การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งของชีวมวลทั้งสามชนิดประกอบด้วย แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ โดยจากการนำมาวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น พบว่าในภาพรวมของค่าความหนาแน่นของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ภายใต้เงื่อนไขและตัวแปรที่เหมาะสมส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m³ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปใช้งาน โดยเศษไม้ให้ค่าความหนาแน่นที่มากที่สุด รองลงมาเป็น แกลบ และปาล์ม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 61 ในภาพรวมของค่าความหนาแน่น

ของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด อย่างไรก็ตามถ้าต้องการค่าความหนาแน่นที่เพิ่มสูงขึ้นอาจต้องมีการเพิ่มตัวประสานหรือการกระตุ้นให้ชีวมวลเกิดความร้อน (ทศพร และคณะ, 2018) เพื่อที่จะนำไปสู่การเพิ่มค่าความหนาแน่นให้สูงขึ้น

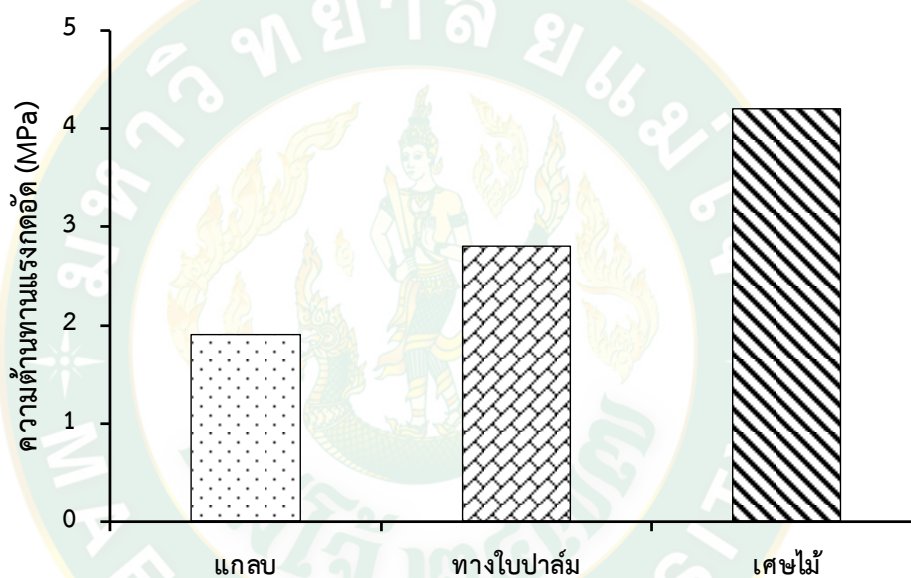


ภาพที่ 60 กำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง



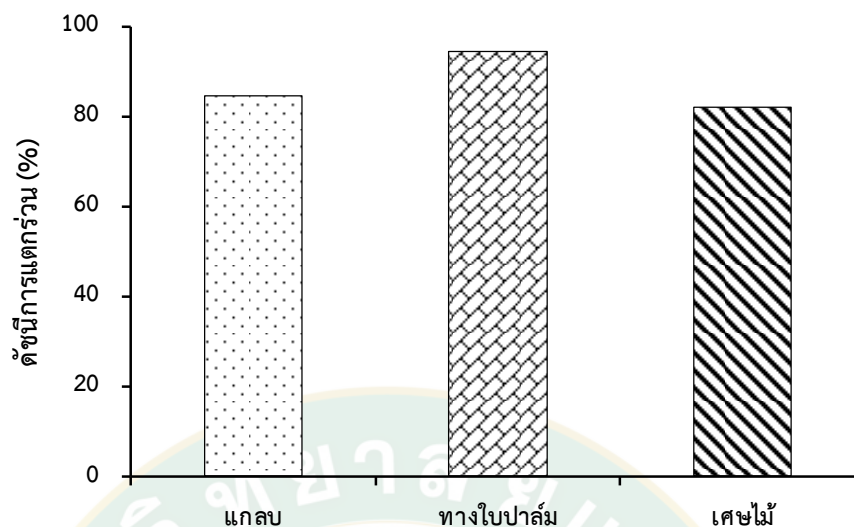
ภาพที่ 61 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

4.1.2.2 ค่าความต้านทานแรงกดอัด วิเคราะห์ได้จากการนำแท่งเชื้อเพลิงไปทดสอบกับเครื่องต้านทานแรงกดอัด โดยการนำไปวางในแนวตั้งแล้วทำการกดอัดเชื้อเพลิงจนแท่งเชื้อเพลิงมีการเสียสภาพเกิดการแตกร้าว ผลการทดสอบพบว่าเศษไม้มีค่าต้านทานแรงกดอัดมากที่สุดรองลงมาคือ ทางใบปาล์ม และแกลบ เท่ากับ 2.81 และ 4.20, 2.81 และ 1.90 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 62 ทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุมาจากภายในตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากการอัดมีปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคภายในของเชื้อเพลิงไม่ประสานกันและเกิดความเปราะได้ง่าย (เจตน์สิทธิ์, 2554)



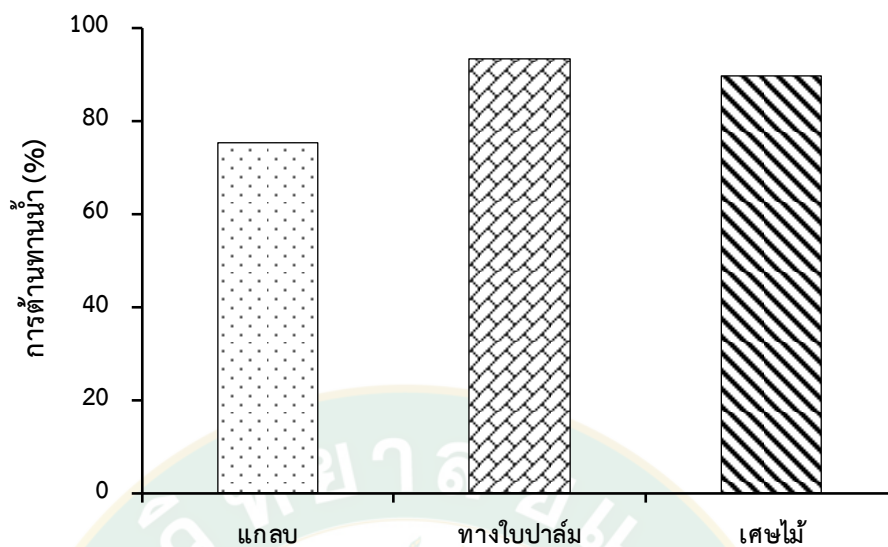
ภาพที่ 62 ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

4.1.2.3 ค่าดัชนีการแตกร่วน สำหรับค่าดัชนีการแตกร่วนของแท่งเชื้อเพลิงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการประเมินความทนทานต่อการแตกย่อยของแท่งเชื้อเพลิง ทั้งในด้านของการใช้งานการจัดเก็บและการขนส่ง โดยทั่วไปมาตรฐานของค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจะต้องมีค่า 90-99% ตามมาตรฐานการใช้เชื้อเพลิงในประเทศไทย (กรมอนุรักษ์พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกันของชีวมวลทั้ง 3 ชนิดพบว่าทางใบปาล์มให้ค่าดัชนีการแตกร่วนสูงที่สุด 94.52% ในขณะที่แกลบและเศษไม้ให้ค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 84.64% และ 82.26% ตามลำดับ. ดังแสดงในภาพที่ 63



ภาพที่ 63 ดัชนีการแปรกร่นของเชื้อเพลิงอัดแห้งโดยใช้เครื่องผลิตถ้ำนอัดแห้ง

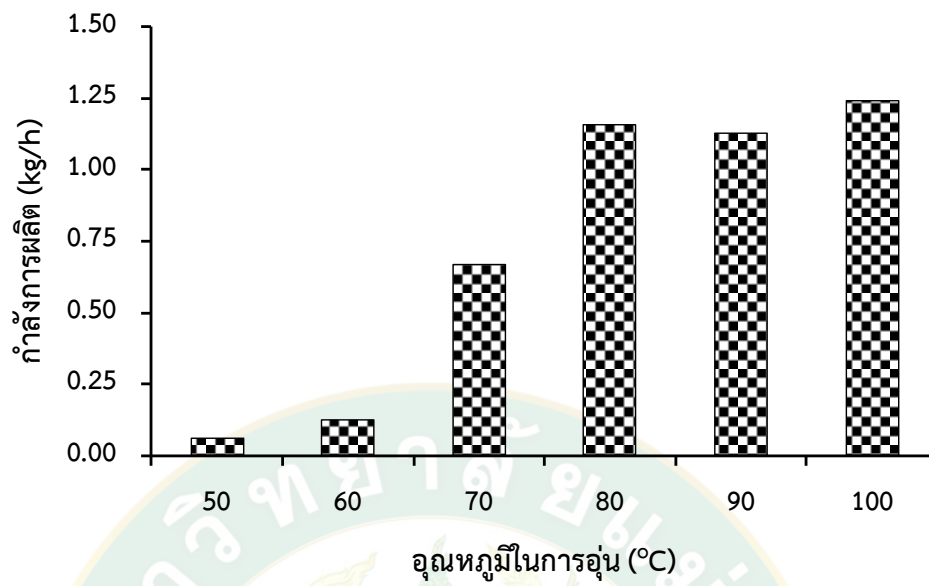
4.1.2.4 ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ คือ การวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของแท่งเชื้อเพลิง โดยแท่งเชื้อเพลิงที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการต้านทานการซึมของน้ำได้ดี ความต้านทานต่อการซึมของน้ำจะมีประโยชน์ในด้านการเก็บรักษาและการรักษาคุณภาพของแท่งเชื้อเพลิง เพื่อไม่ให้ค่าความร้อนลดลงซึ่งมีสาเหตุมาจากความชื้นของอากาศที่สามารถแทรกเข้าทางผิวของแท่งเชื้อเพลิงได้ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีค่าต่ำลง ผลการศึกษาวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแห้งทั้ง 3 ชนิด พบว่าชีวมวลทั้งสามชนิดมีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำของ กลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เท่ากับ 84.64, 94.52 และ 82.26 ดังแสดงในภาพที่ 64 ซึ่งทางใบปาล์มให้ค่าที่มากที่สุดรองลงมาคือ กลบและเศษไม้ (ธนศิษฏ์ และคณะ, 2559)



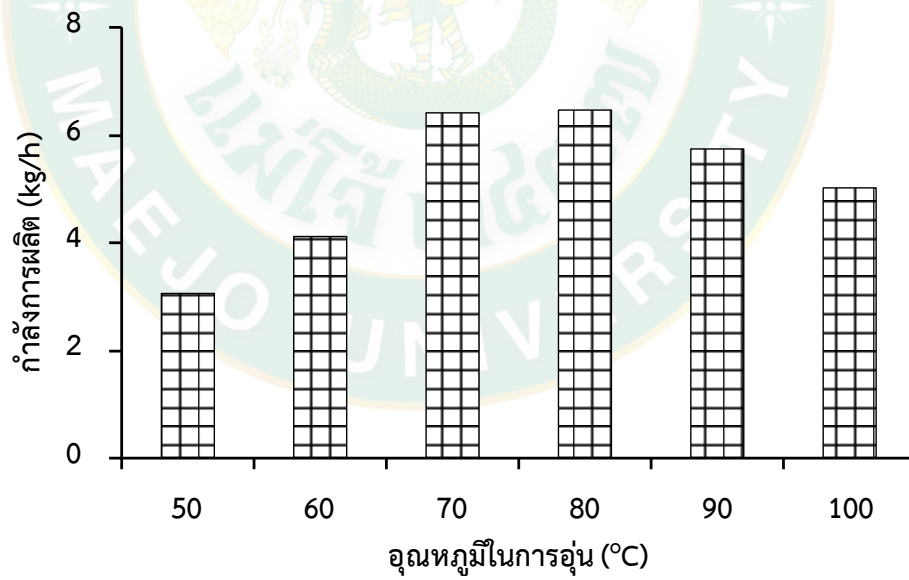
ภาพที่ 64 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

4.1.3 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เหมาะสม

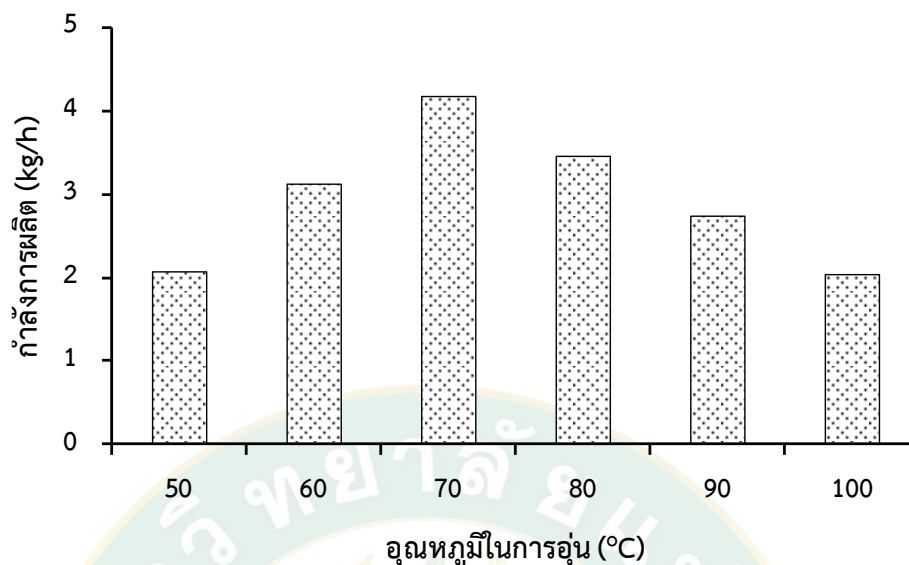
จากการทดสอบการนำเศษไม้ ทางใบปาล์ม และแกลบ มาทำการเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการนำชีวมวลมาทำการเพิ่มความร้อน โดยที่อุณหภูมิที่ 70 °C มีกำลังการผลิตเฉลี่ยที่มากที่สุดของชีวมวลทั้งสามชนิด ยกเว้นแกลบที่ให้ค่ากำลังการผลิตที่สูงที่การเพิ่มอุณหภูมิที่ 100, 90 และ 80 °C ดังแสดงในภาพที่ 65, 66 และ 67 อาจเป็นผลมาจากผิวของแกลบมีลักษณะแข็ง มีเนื้อหยาบ และไม่มีส่วนประกอบที่เป็นกลุ่มยางเหนียวที่ช่วยในการยึดเกาะให้วัสดุสามารถขึ้นรูปได้ (ทศพร และคณะ, 2018)



ภาพที่ 65 อุณหภูมิในการอุ่นที่เหมาะสมของแกลลอป



ภาพที่ 66 อุณหภูมิในการอุ่นที่เหมาะสมของทางใบปาล์ม



ภาพที่ 67 อุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมของเศษไม้

4.1.4 การวิเคราะห์หาความเร็วรอบที่เหมาะสม

จากการทดสอบเพื่อทดสอบเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องอัดแท่งถ่าน ที่ความเร็วรอบ 270, 308, 360, 432 และ 480 rpm พบว่า ที่ความเร็วรอบ 270 และ 308 rpm เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามชนิดไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดีเท่าที่ควรแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีความเปราะ มีรอยแตกเล็กเมื่อออกจากกระบอกลูกปั๊ม ซึ่งความเร็วรอบที่ชีวมวลสามารถเป็นแท่งได้อยู่ที่ 360 และ 432 rpm ผิวของแท่งเชื้อเพลิงที่ออกจากกระบอกลูกปั๊มมีความเรียบ ไม่แตก เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีรายละเอียดแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4 ทั้งนี้ผลการทดสอบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเบื้องต้นโดยใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งในทีกล่าวมานั้นอาจจะมีตัวแปรที่ส่งผลเนื่องมาจากความเร็วรอบของเกลียวอัดที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลไปถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตเนื่องจากเครื่องเป็นชนิดแรงดันต่ำ ต้องอาศัยความร้อนและแรงคนที่ช่วยในการกดอัด

4.1.5 การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของเกลียวอัด

ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมของเกลียวอัดจากการทดลองได้ทำการเลือกใช้เกลียวอัดทั้งหมด 2 ลักษณะ ด้วยกันคือ 1.แบบระยะพิทช์และเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดและเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกลูกอัดคองที่ เป็นลักษณะที่ทุกส่วนของกระบอกลูกอัดและเกลียวอัดคองที่ยาว 490 mm เพลากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32.2 mm ระยะพิทช์ช่วงต้น 71.4 mm ระยะพิทช์ช่วงปลาย 57.6 mm และมีโคนฟันขนาด 10.6 mm และ 2. เกลียวอัดมีลักษณะแบบรูปกรวยแบบลด

ระยะพิทช์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟันคงที่ เป็นลักษณะที่มีการลดระยะห่างระหว่างฟันลงเรื่อย ๆ โดยเส้นผ่านของโคนฟันและกระบอกอัดจะมีค่าคงที่ ยาว 405 mm เพลากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm ระยะพิทช์ช่วงต้น 35 mm ระยะพิทช์ช่วงปลาย 12.5 mm .จากนั้นนำมาทำการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยขนาดที่ 2 ให้ค่ากำลังการผลิตที่สูงกว่าเมื่อนำมาทดสอบในการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงทำการเลือกใช้เกลียวอัดแบบที่ 2

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ชีวมวล	ความเร็วเกลียวอัด (rpm)	ลักษณะกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง
เศษไม้	270	อัดตัวเป็นก้อน ใช้เวลาในการขึ้นรูปช้า มีรอยแตกยาวลึก
	308	อัดตัวเป็นก้อนแน่น ใช้เวลาในการขึ้นรูปช้า ไม่ยึดเกาะกันเป็นแท่งยาว
	360	อัดตัวเป็นก้อนแน่น รูปทรงได้ตามที่ต้องการ
	430	อัดตัวเป็นก้อนแน่น รูปทรงได้ตามที่ต้องการ
	480	อัดตัวเป็นก้อนแน่น มีรอยร้าวเพียงเล็กน้อย

4.2) ผลการดัดแปลงและพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

เนื้อหาในบทนี้จะ เป็นข้อมูลของการดัดแปลงและพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเกลียวอัดรูปกรวย ดังแสดงในภาพที่ 68 โดยได้การดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องหลักๆออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การดัดแปลงชุดให้ความร้อนชีวมวลก่อนการอัด ส่วนที่ 2 การดัดแปลงชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง ส่วนที่ 3 การดัดแปลงชุดส่งกำลัง และ ส่วนที่ 4) เป็นการดัดแปลงชุดโครงสร้างเครื่องอัดแท่งชีวมวล โดยรายละเอียดของการดัดแปลงส่วนประกอบแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 68 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงซีวมวลอัดแห้ง

ส่วนที่ 1 การตัดแปลงชุดให้ความร้อนซีวมวลก่อนการอัด

ชุดให้ความร้อนซีวมวลก่อนการอัด ประกอบไปด้วย ตัวถังบรรจุซีวมวล ไบคอนสำหรับผสมซีวมวล ชุดมอเตอร์ไบคอน และชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนซีวมวล

1.1 ตัวถังบรรจุซีวมวล

การออกแบบถังผสมเป็นแบบแนวตั้ง ตัวถังเป็นรูปทรงกระบอกสูง เนื่องจากตัวถังรูปทรงกระบอกที่มีก้นถึงเป็นลักษณะที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีความแคบและมีช่องว่างจากการเคลื่อนที่ของไบคอนน้อย (วรวิทย์, 2550) โดยกำหนดให้ตัวถังสามารถบรรจุซีวมวลได้มากที่สุดครั้งละ 3 kg วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปตัวถังทำจากเหล็กแผ่นดำ หนา 3.0 mm นำม้วนให้เป็นถังทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 320.2 mm สูง 300 mm ห่างจากขอบด้านบนของตัวถังลงมา 5 mm ได้มีการนำเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm นำม้วนรอบตัวถังบริเวณด้านในเพื่อไว้สำหรับรองรับฝาหม้ออบลมร้อน และบริเวณด้านล่างของตัวถังได้ทำการเจาะรูสำหรับติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสชนิดหัวเกลียว เพื่อใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของซีวมวลในถังผสมขณะให้ความร้อน และทำการเจาะช่องเพื่อไว้สำหรับเป็นทางออกของซีวมวลบริเวณด้านหน้า มีขนาดความกว้าง 70 mm และยาว 190 mm สามารถ เปิด-ปิด ได้ด้วยการขยับตัวฝาปิดช่องทางออกของซีวมวลขึ้นและลง ดังแสดงในภาพที่ 69



ภาพที่ 69 ตัวถังบรรจุชีวมวล

1.2 มอเตอร์ใบกวนของชุดเพิ่มความร้อน

ในส่วนของชุดมอเตอร์ใบกวนได้มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ของ MITSUBISHI รุ่น SP-KR(QR) กำลังมอเตอร์ 1/4 HP (0.2 kW) 1 phase 220 V 4 pole มีความเร็วรอบ 1,450 rpm มาใช้งานเพื่อส่งกำลังไปให้แก่เพลahmenของใบกวนทำงานเพื่อทำหน้าที่สำหรับผสมชีวมวลให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงทั้งถังบรรจุชีวมวล มีการลดความเร็วรอบโดยใช้เกียร์ทดรอบ ผลิตภัณฑ์ของ CPG รุ่น PORD ชนิดเกียร์ทดแบบแนวนอน เพลากลางด้านล่าง สำหรับงานขับแพลahmenแนวดิ่งเพื่อใช้งานคู่กับมอเตอร์ 1/4 HP ถึง 20 HP มีอัตราทด 1:20 rpm ได้ความเร็วรอบในการหมุนใบกวน 73 rpm ดังแสดงในภาพที่ 70



ภาพที่ 70 ชุดมอเตอร์ใบกวนชุดให้ความร้อนชีวมวล

1.3 ใบกวนสำหรับถังผสมชีวมวล

ในส่วนของการออกแบบถังผสมหัวใจหลักสำคัญที่สุด คือ การออกแบบใบกวน โดยจะต้องคำนึงถึงจุดประสงค์ของกระบวนการที่ชัดเจนว่าวัสดุที่ใช้ผสมมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร เพื่อจะนำมาใช้เลือกชนิดของใบกวนให้ตรงกับกระบวนการผสม (เจนจิรา, 2560) โดยในการทดสอบวัสดุที่เรานำมาใช้ในการผสมเป็นวัสดุชีวมวลที่มีความหนืดต่ำหรือความหนืดปานกลาง ดังนั้นเราจึงทำการเลือกใช้เหล็กแผ่นดำ หนา 3.0 mm มาใช้ในการผลิตใบกวน เนื่องจากมีความแข็งแรงและสามารถทนต่อการผุกร่อน ประกอบด้วยใบกวนทั้งหมด 2 ใบ ที่ยึดติดกับแกนเพลามีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบบคงที่ ที่ความเร็วรอบ 73 rpm มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 90 mm ยาว 130 mm ติดแบบเอียงทำมุมกับกันถึง 50 rad เพื่อให้ในระหว่างที่ทำการหมุนใบกวนจะทำหน้าที่ในการช้อนวัสดุด้านล่างขึ้นเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวไปยังวัสดุได้อย่างทั่วถึง โดยใบกวนใบที่ 1 จะถูกติดตั้งให้อยู่ชิดขอบด้านข้างของตัวถัง และใบกวนใบที่ 2 จะถูกติดตั้งให้อยู่ชิดกับแกนเพลลา ซึ่งใบกวนทั้งสองจะมีระยะห่างจากถังและเพลลาประมาณ 3.0 mm ดังแสดงในภาพที่ 71



ภาพที่ 71 ชุดมอเตอร์ต้นกำลังของตัวถังชุดเพิ่มอุณหภูมิ

1.4) ชุดเพิ่มอุณหภูมิชีวมวล

การเพิ่มอุณหภูมิชีวมวลก่อนการอัดใช้หลักการให้ความร้อนชีวมวลโดยการใช้ลมร้อนโดยการนำฝาม้ออบลมร้อนที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามต้องการ ตั้งแต่ 65-250 °C ของผลิตภัณฑ์ Smart home 12L MV008 รุ่น MV008 ใช้กำลังไฟ 1,200-1,400 W ให้ความร้อนโดยการใช้หลอด Halogen และมีพัดลมในการช่วยกระจายความร้อนเพื่อให้ความร้อนกระจายตัวอย่างทั่วถึง ตัวฝาทำจากแก้วที่ทนต่อความร้อนสามารถมองเห็นวัสดุด้านในขณะทำการทดสอบได้ ทำงานได้นานติดต่อกันถึง 60 min ตัวเครื่องมีระบบนิรภัยเมื่อยกหูจับในแนวตั้งเครื่องจะหยุดทำงานอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 72



ภาพที่ 72 ชุดเพิ่มอุณหภูมิซีวมวล

ส่วนที่ 2 การดัดแปลงชุดเกลียวอัด

การดัดแปลงชุดเกลียวอัด จากเดิมเกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแห้งที่เรานำมาใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแบบลตระยะพิทซ์ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนพินคองที่เป็นลักษณะที่มีการลดระยะห่างระหว่างพินลงเรื่อย ๆ โดยเส้นผ่านของโคนพินและกระบอกอัดจะมีค่าคงที่ มีความยาวทั้งหมด 490 mm เพลากลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32.2 mm ระยะพิทซ์ช่วงต้น 71.4 mm ระยะพิทซ์ช่วงปลาย 57.6 mm และมีโคนพินขนาด 10.6 mm ดังแสดงในภาพที่ 73 เมื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตซีวมวลอัดแห้งได้กำลังการผลิตของ แกลบ ทางไบปาล์ม และเศษไม้ เท่ากับ 0.993, 1.29 และ 1.01 kg/h ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าที่ต่ำ ดังนั้นจึงได้ทำการดัดแปลงชุดเกลียวอัดและจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าเกลียวอัดควรมีระยะพิทซ์คงที่ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดในช่วงแรกคงที่จากนั้นค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากต้องการลดปริมาตรของวัสดุโดยร่องเกลียวจะมีลักษณะโค้งเพื่อไม่ให้วัสดุเข้าไปติดในร่องเกลียว สำหรับเกลียวด้านหลังที่ทำหน้าที่รองรับวัสดุเข้าสู่กระบอกอัดและดันไปยังเกลียวส่วนหน้า และที่ส่วนหัวของเกลียวอัดจะมีแกนสำหรับเจาะรูตรงกลางของแท่งเชื้อเพลิง เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดีขึ้นต่อการตากแห้งและการเผาไหม้ (เจนจิรา, 2560) ดังภาพที่ 74 ซึ่งส่งผลให้ได้กำลังการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น โดยแกลบ ทางไบปาล์ม และเศษไม้ เท่ากับ 1.48, 40 และ 39.47 kg/h



ภาพที่ 73 เกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแห้ง



ภาพที่ 74 เกลียวอัดที่ได้จากการดัดแปลงสำหรับผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ส่วนที่ 3 การดัดแปลงชุดระบบส่งกำลังเพื่อได้ความเร็วรอบที่เหมาะสม

จากการทดสอบเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งเบื้องต้นพบว่า ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ได้ทำการทดสอบคือที่ความเร็วรอบ 360 rpm ดังนั้นเราจึงได้ดำเนินการโดยใช้มอเตอร์ ผลิตภัณฑ์ของ MITSUBISHI รุ่น SF-JR ชนิดหุ้มมิด กำลัง 3 HP (2.2 kW) 3 phase 220/380 V 4 pole 3 สาย IP44 ความเร็วรอบ 1,440 rpm ในการดัดแปลงได้มีการนำสายพานชนิด B-74 มาใช้เพื่อส่งกำลังจากพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนผ่านศูนย์กลาง 6 inch ไปยังพูลเลย์ตัวตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 inch จำนวน 3 เส้น โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมในการผลิตชีวมวลอัดแท่งจาก ทางใบปาล์มและเศษไม้ อยู่ที่ความเร็วรอบ 310 rpm และกลับที่ความเร็วรอบประมาณ 380 rpm และอาจมีการนำอินเวอร์เตอร์มาใช้ในการปรับความเร็วรอบเพื่อควบคุมรอบตามที่เราต้องการ

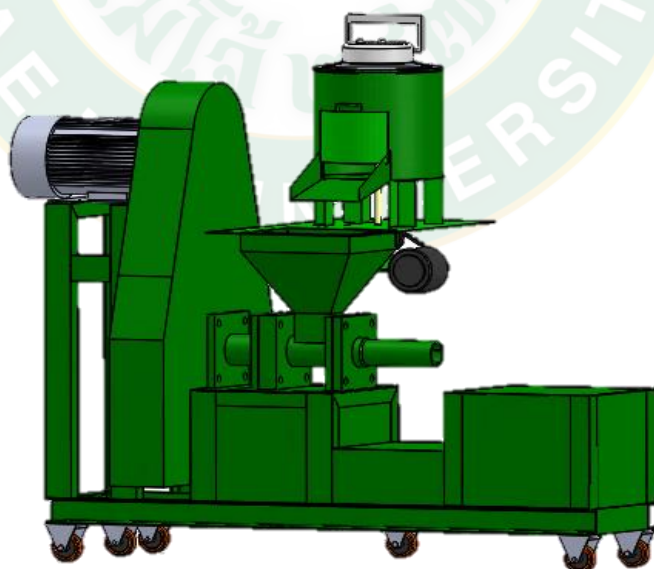
ส่วนที่ 4 การปรับปรุงโครงสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

โครงสร้างพื้นฐานเดิมของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 610x1,102.5x1,090 mm ดังภาพที่ 75 หากสังเกตด้วยสายตาคงพบว่าจุดศูนย์กลางของมวลไม่อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของตัวเครื่อง แต่อยู่ห่างจุดศูนย์กลางของตัวเครื่องไปทางด้านหลัง และวัสดุที่ใช้ทำขาโต๊ะหรือฐานโครงสร้างยังไม่แข็งแรงพอในการการกดวัสดุ เนื่องจากเครื่องเป็นชนิดแรงดันต่ำ ดังนั้นต้องมีการใช้แรงเพื่อช่วยกดวัสดุบริเวณช่วงเกลียวป้อนซึ่งก็มีความสูงทำให้จากการทดสอบการใช้งานพบว่าการส่งแรงในการกดอัดส่งแรงได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงได้ทำการดัดแปลงโครงสร้างของเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่ง โดยเริ่มจากชุดฐานโครงสร้างของตัวเครื่องได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะเป็นฐานรูปสี่เหลี่ยมวางกับพื้นเพื่อรองรับน้ำหนักทั้งหมดของตัวเครื่องและเพื่อป้องกันการพลิก เนื่องจากจุดศูนย์กลางของตัวเครื่องไม่อยู่ในจุดกึ่งกลางของตัวเครื่อง และการจัดเรียงอุปกรณ์ได้ทำการจัดเรียงให้มีความใกล้เคียงกับรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมเนื่องจากจุดศูนย์กลางของตัวเครื่องจะอยู่ในบริเวณที่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมด และที่สำคัญคือเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ทำการดัดแปลงเป็นเครื่องที่ใช้แรงดันต่ำต้องมีการใช้แรงในการช่วยกดวัสดุ ดังนั้นจึงได้ทำการติดตั้งช่องทางเข้าของชีวมวลในระยะที่

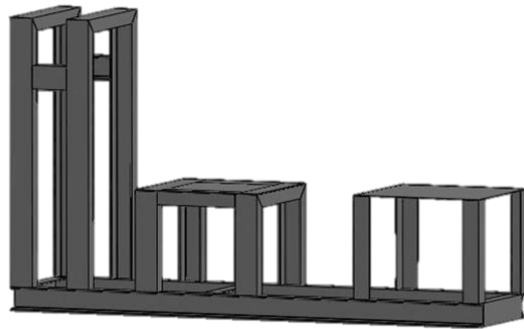
ไม่สูงมากเพื่อความสะดวกในการถอดและการป้อนวัสดุ เครื่องอัดแท่งซีเมนต์ที่ทำการดัดแปลงแสดง
ในภาพที่ 76 และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอัดแท่งซีเมนต์ แสดงดังภาพที่ 77



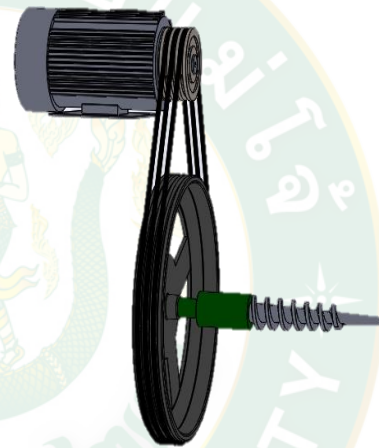
ภาพที่ 75 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง



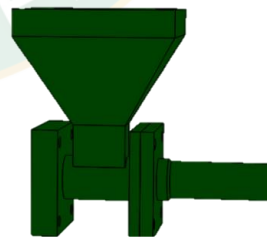
ภาพที่ 76 เครื่องอัดแท่งซีเมนต์ (Isometric)



(ก) โครงสร้างเครื่องอัดแท่งซีวมวล



(ข) ชุดส่งกำลัง



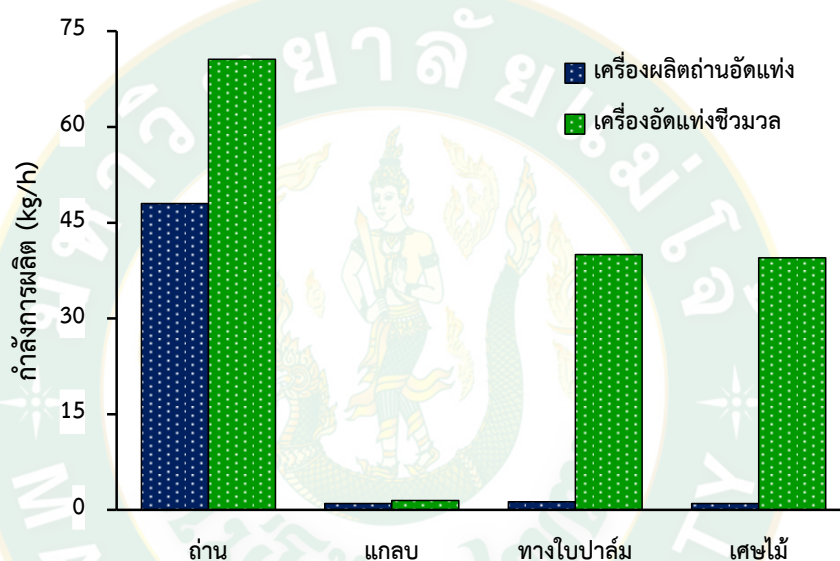
(ค) ชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง

ภาพที่ 77 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งซีวมวล

4.3) การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.3.1 กำลังการผลิต

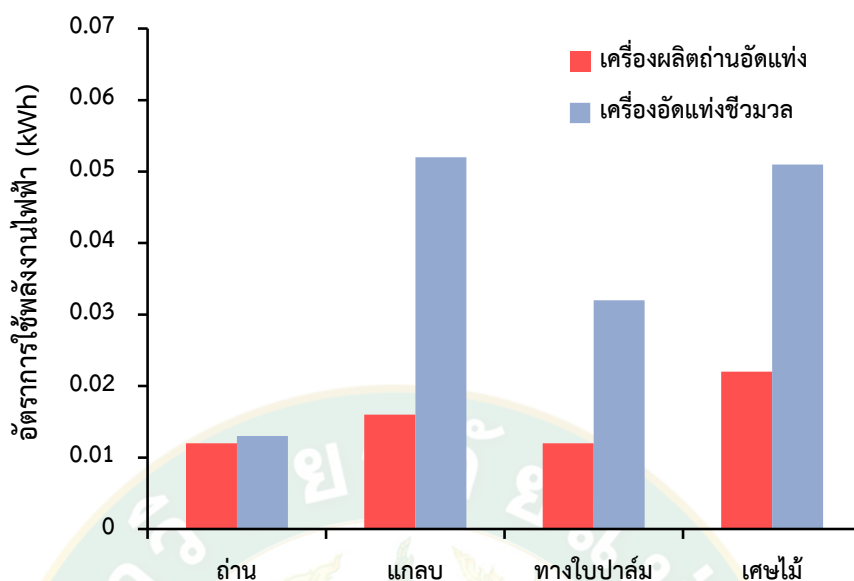
การประเมินกำลังการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งและเครื่องอัดแท่งชีวมวล จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ค่ากำลังการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นของ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ถึง 31 และ 39 เท่า ส่วนแกลบให้ค่ากำลังการผลิตที่ใกล้เคียงกันของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง โดยเครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ค่าสูงขึ้นเล็กน้อย แสดงดังภาพที่ 78



ภาพที่ 78 อุณหภูมิที่เหมาะสมของแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้

4.3.2 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

การประเมินอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งกับเครื่องอัดแท่งชีวมวล จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่า เนื่องจากการเพิ่มชุดเพิ่มอุณหภูมิมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชีวมวลทั้งสามชนิด โดยแกลบและเศษไม้มีค่าการใช้พลังงานที่มากที่สุด แสดงดังภาพที่ 79 อาจเป็นสาเหตุจากตัววัสดุมีความแข็งจึงต้องมีการใช้ความร้อนในปริมาณที่สูงเพื่อให้วัสดุยึดเกาะกันเป็นแท่ง



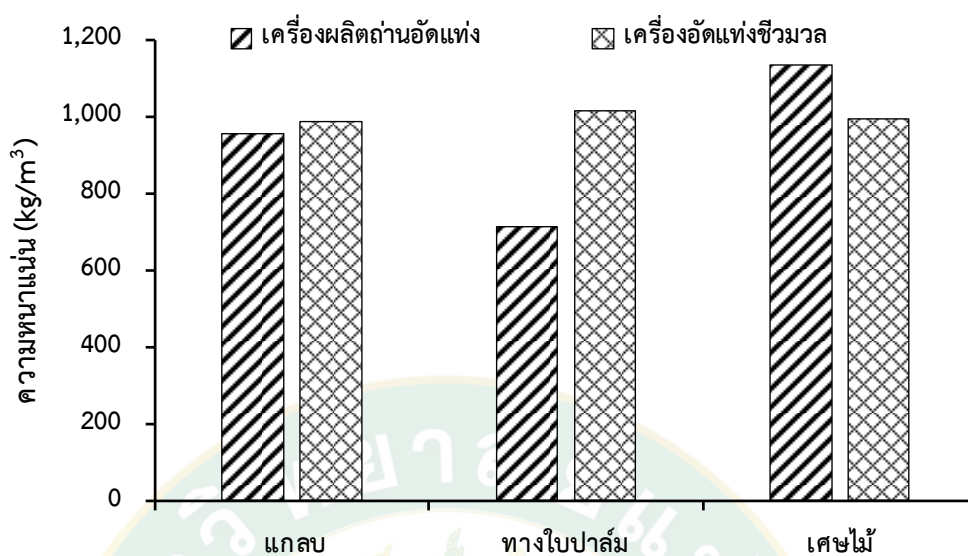
ภาพที่ 79 อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า

4.4) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เพื่อเป็นการทดลองที่เหมาะสมสูงสุดคืออุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชีวมวลก่อนที่อุณหภูมิ 70 °C ความเร็วรอบ 360 rpm และใช้เกลียวอัดแบบที่ทำการออกแบบคือมีลักษณะของเกลียวอัดเป็นรูปกรวย โดยผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.4.1 ค่าความหนาแน่น

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามชนิดระหว่างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งและเครื่องอัดแท่งชีวมวล พบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามาตรฐานทุกค่า โดยแกลบและทางใบปาล์มให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่าการใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง เท่ากับ 987.34 และ 1,014.03 kg/m³ แต่ในส่วนของเศษไม้พบว่าการใช้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าการใช้เครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งเฉพาะเศษไม้มีค่าเท่ากับ 1,132.85 และ 994.67 แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นรวมของเครื่องอัดแท่งชีวมวลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่มากกว่า อาจเป็นผลมาจากการนำชีวมวลไปทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวและทำหน้าที่ประสานกันของเนื้อชีวมวลได้เร็วและดียิ่งขึ้น และยังส่งผลให้ไฟเบอร์ที่ละลายน้ำในตัวของวัสดุละลายส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เนื้อชีวมวลยึดเกาะกันและส่งผลดีที่ต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 80 (N.d. kaliyan et al., 2009)



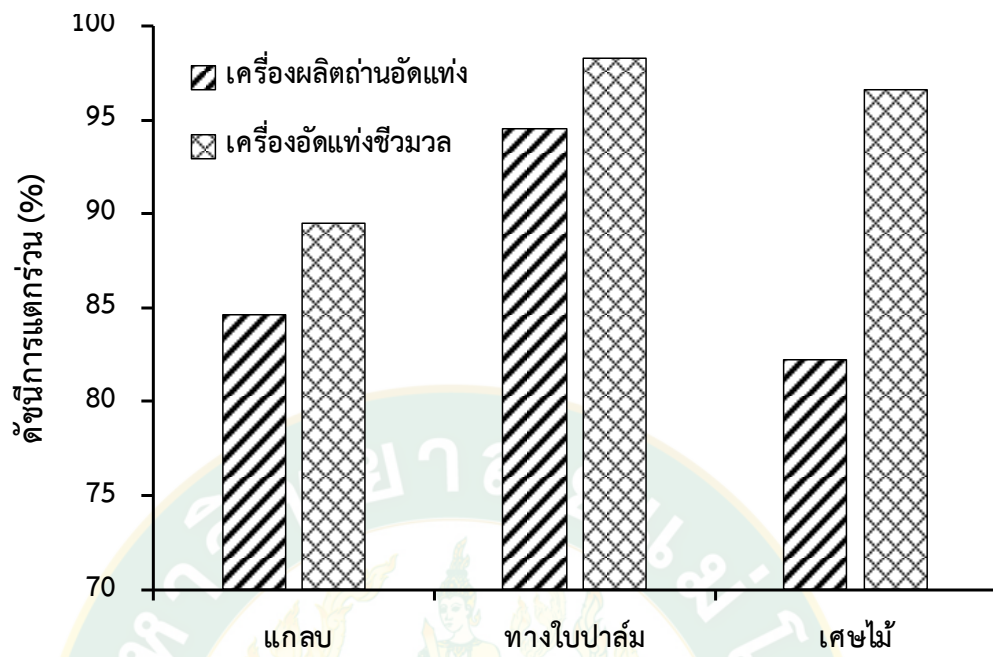
ภาพที่ 80 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.4.2 ค่าดัชนีการแตกร่วน

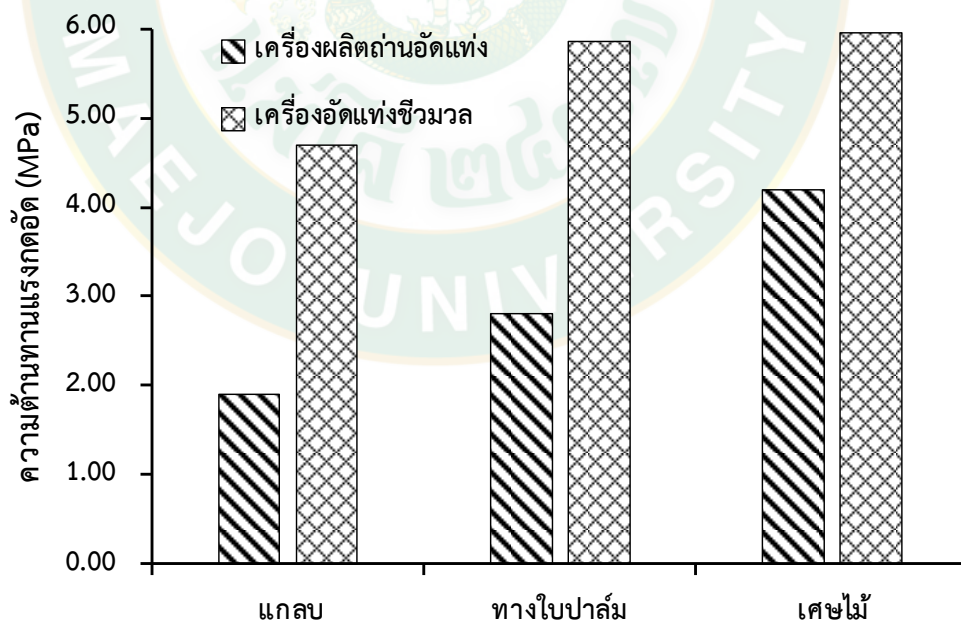
เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติการแตกร่วนที่สูงจะส่งผลให้มีความทนทานต่อการนำไปใช้งาน และการขนส่งของชีวมวล โดยค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามชนิดระหว่างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งและเครื่องอัดแท่งชีวมวล พบว่าเครื่องอัดแท่งชีวมวลมีค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยสูงกว่าเครื่องเดิมในทุกค่า ซึ่งเท่ากับ 89.48, 98.30 และ 96.61% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 81 ซึ่งอาจเกิดจากไฟเบอร์ ลิกนิน และสารระเหยกลุ่มยางเหนียวต่าง ๆ ที่มีอยู่ภายในตัววัสดุได้รับความร้อน จึงทำให้ไฟเบอร์ และ ลิกนิน อ่อนตัวจนเกิดแรงยึดเกาะระหว่างเนื้อชีวมวลที่สูงพอ (Rukayya I. Muazu et al., 2010)

4.4.3 ค่าความต้านทานแรงกดอัด

การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งสามชนิดระหว่างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งและเครื่องอัดแท่งชีวมวล พบว่าเครื่องอัดแท่งชีวมวลมีค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยสูงกว่าเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งในทุกค่าซึ่ง มีค่าเท่ากับ 4.70, 5.86 และ 5.96 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 82 ซึ่งชีวมวลที่ได้จากการผลิตจากเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งมีค่าความต้านทานแรงกดอัดต่ำ อาจเป็นผลมาจากความชื้นที่เหลืออยู่ในแท่งเชื้อเพลิงส่งผลให้ความชื้นไปทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค จึงมีความต้านทานแรงกดและเกิดความเปราะได้ง่าย (T. Rajaseenivasan et al., 2016)



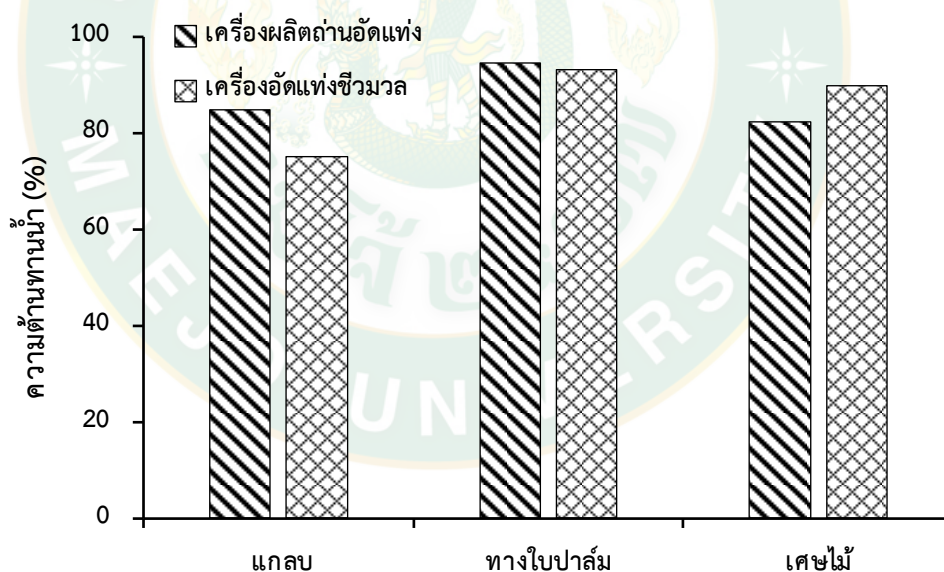
ภาพที่ 81 ดัชนีการแตกกร่อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ 82 ความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.4.4 ค่าความต้านทานน้ำ

การวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการต้านทานการซึมของน้ำได้ดีความต้านทานต่อการซึมของน้ำจะมีประโยชน์ในด้านการเก็บรักษาและการรักษาคุณภาพของเชื้อเพลิงไหม้ให้ค่าความร้อนลดลงซึ่งมีสาเหตุมาจากความชื้นของอากาศที่สามารถแทรกเข้าทางผิวของเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งจะส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลง ผลการศึกษาวិเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งกับเครื่องอัดแท่งชีวมวล พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตด้วยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งอัดแท่งมีค่าที่สูงกว่าของแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เท่ากับ 85.19%, 93.20% และ 89.67% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 83 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชีวมวลก่อนทำการอัดแท่ง ส่งผลให้ความชื้นในตัววัสดุลดลงทำให้ลดการเกิดช่องว่างในแท่งเชื้อเพลิง และความร้อนยังส่งผลให้ชีวมวลอ่อนตัวลงและยึดเกาะได้ดียิ่งขึ้นและส่งผลให้มีค่าความต้านทานน้ำที่มากกว่าการผลิตโดยใช้เครื่องอัดแท่งซึ่งมีค่าเท่ากับ 80.24%, 90.15% และ 82.26%



ภาพที่ 83 ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

4.5 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยเครื่องที่ทำการดัดแปลงซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน

(Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) การวิเคราะห์ที่ค่าปัจจุบันสุทธิจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องที่ทำการดัดแปลงที่กำลังพิจารณามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดการทำงานถ้าผลตอบแทนสุทธิมีค่าเป็นบวกมากแสดงว่าการลงทุนดังกล่าวสมควรแก่การลงทุน และให้การวิเคราะห์ที่ค่าอัตราผลตอบแทนภายในเป็นการหาค่า Discount rate (i) ที่ทำให้ค่าผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์หากค่าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าของทุน Discount rate (i) ถือได้ว่าการลงทุนดังกล่าวมีความเหมาะสมในการลงทุน โดยตารางที่ 5 แสดงเงื่อนไขในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตชีวมวลอัดแท่ง ผลการศึกษาพบว่า การดัดแปลงเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งเป็นเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งมีเงินลงทุนสร้างเครื่องจำนวน 60,000 baht ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งทั้ง 3 ชนิด กำหนดให้มีการทำงานทั้งหมด 300 วัน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง และราคาขายชีวมวลอัดแท่งอยู่ที่ 5 baht/kg โดยชีวมวลแต่ละชนิดมีรายละเอียดของเศรษฐศาสตร์ดังนี้

ทางใบปาล์ม สามารถอัดเป็นแท่งได้ผลผลิตทั้งหมด 96,000 kg/y มีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 0.5 baht/kg ต้นทุนค่าแบริ่งมันสำปะหลัง 0.046 baht/kg ต้นทุนค่าไฟฟ้า 0.208 baht/kg และต้นทุนค่าแรงงาน 1.0667 baht/kg รวมแล้วมีต้นทุนในการผลิต 1.8972 baht/kg .คิดเป็นทั้งปีมีต้นทุนในการผลิต 182,128.00 baht/y สามารถจำหน่ายได้เป็นเงินจำนวน 480,000.00 baht/y โดยรายได้สุทธิทั้งหมดอยู่ที่ 297,872.00 baht/y ผลตอบแทนสุทธิ (NPV) 1,894,441.87 baht มีระยะเวลาคืนทุน 0.20 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 83.25% ที่ทำให้ค่า NPV เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ซึ่งถือได้ว่าการลงทุนดังกล่าวมีความเหมาะสมในการลงทุน

เศษไม้ สามารถอัดเป็นแท่งได้ผลผลิตทั้งหมด 94,728 kg/y มีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 0.75 baht/kg ต้นทุนค่าแบริ่งมันสำปะหลัง 0.06 baht/kg ต้นทุนค่าไฟฟ้า 0.172 baht/kg และต้นทุนค่าแรงงาน 1.0525 baht/kg รวมแล้วมีต้นทุนในการผลิต 2.0979 baht/kg คิดเป็นทั้งปีมีต้นทุนในการผลิต 198,727.27 baht/y สามารถจำหน่ายได้เป็นเงินจำนวน 473,640.00 baht/y โดยรายได้สุทธิทั้งหมดอยู่ที่ 274,912.73 baht/y ผลตอบแทนสุทธิ (NPV) 1,743,798.08 baht มีระยะเวลาคืนทุน 0.21 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 82.0%

แกลบ สามารถอัดเป็นแท่งได้ผลผลิตทั้งหมด 3,552 kg/y มีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 0.5 baht/kg ต้นทุนค่าแบริ่งมันสำปะหลัง 0.046 baht/kg ต้นทุนค่าไฟฟ้า 4.02 baht/kg และต้นทุนค่าแรงงาน 0.0395 baht/kg รวมแล้วมีต้นทุนในการผลิต 6.3087 baht/kg .คิดเป็นทั้งปีมีต้นทุนในการผลิต 22,408.35 baht/y สามารถจำหน่ายได้เป็นเงินจำนวน 17,760.00 baht/y โดยรายได้สุทธิทั้งหมดอยู่ที่ -4,648.35 baht/y ทั้งนี้ค่าที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าชีวมวลประเภทแกลบ ไม่ควรที่จะนำมาผลิตชีวมวลอัดแท่งเนื่องด้วยมีกำลังการผลิตที่ต่ำ ซึ่งเครื่องอัดแท่งชีวมวลนี้ไม่สามารถรองรับการอัดแกลบ

ด้วยวิธีการอัดแบบเย็นได้ ซึ่งการอัดที่เหมาะสมกับแกลบจะต้องใช้วิธีการอัดแบบร้อนถึงจะสามารถอัดแกลบได้อย่างรวดเร็วและยังต้องใช้พลังงานที่สูงขึ้นตามด้วย สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอัดแท่งซีมวลแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 เงื่อนไขการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ลำดับ	รายการ	ทางใบ			หน่วย
		แกลบ	ปาล์ม	เศษไม้	
1	กำลังการผลิต	1.48	40	39.47	Kg/h
2	ชั่วโมงการใช้งาน	8	8	8	h/d
3	จำนวนวันที่ทำงาน	300	300	300	d/y
4	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการ	1.005	0.052	0.043	kWh/kg
5	ต้นทุนซื้อวัตถุดิบ	0.5	0.5	0.75	Baht/kg
6	แป้งมันสำปะหลัง*	0.3	0.3	0.3	baht/kg
	ต้นทุนแป้งมัน	0.06	0.06	0.06	baht/kg
7	ค่าไฟฟ้า	4	4	4	baht/kWh
	ต้นทุนค่าไฟฟ้า	4.02	0.208	0.172	baht/kg
8	ค่าแรง	300	300	300	baht/d
	ต้นทุนค่าแรงงาน	0.0395	1.0667	1.0525	baht/kg
	ราคาขายซีมวลอัดแท่ง**	5	5	5	baht/kg
9	เงินลงทุนสร้างเครื่องอัดแท่งซีมวล	60,00	60,000	60,000	baht
10	มูลค่าซาก	5,000.	5,000.00	5,000.00	baht
11	อายุการใช้งาน	10	10	10	y
12	ค่าบำรุงรักษาคิดเป็น 10% ของค่าเครื่อง	6,000	6,000	6,000	baht/y
13	ดอกเบี้ยในการกู้เงินมาลงทุน	8.5	8.5	8.5	%

* (वलันต์ และคณะ) ** (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย)

ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอัดแห้งชีวมวล

รายการ	แถบ	ทางใบปาล์ม	เศษไม้
ผลตอบแทนสุทธิ (NPV) (baht)	-	1,894,441.87	1,743,798.08
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) (%)	-	0.8325	0.82
ระยะเวลาคืนทุน (y)	-	0.20	0.21



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด อุณหภูมิที่เหมาะสมสูงสุดในการอัดแท่งชีวมวล แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงสุด เท่ากับ 90 °C, 70 °C และ 70 °C โดยความเร็วรอบที่เหมาะสมได้เท่ากับ 360 rpm และ 432 ตามลำดับ การใช้เกลียวอัดใช้เกลียวอัดที่มีลักษณะเป็นรูปกรวยแบบลดระยะพิทซ์โดยเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนฟังก์ที่เป็นลักษณะที่มีการลดระยะห่างระหว่างฟันลงเรื่อย ๆ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของโคนฟันและกระบอกอัดจะมีค่าคงที่ให้อัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด จากเงื่อนไขที่เหมาะสมสูงสุดได้นำมาพัฒนาตัดแปลงเครื่องอัดแท่งให้สามารถอัดเชื้อเพลิงชีวมวล (เชื้อเพลิงเขียวได้) โดยมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นและคุณสมบัติทางกายภาพสูงขึ้น

การพัฒนาตัดแปลงเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้พัฒนาตัดแปลงทั้งหมด 4 ส่วน ประกอบด้วย การเพิ่มชุดให้ความร้อนก่อนการอัด การปรับความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการอัด การเลือกใช้เกลียวอัด ผลจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง โดยการใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงให้ผลผลิตสูงขึ้นเฉลี่ยของ แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ มีค่าเท่ากับ 1.48 kg/h, 40 kg/h และ 39.47 kg/h มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.999, 0.036, และ 0.037.kWh/kg ตามลำดับ

ในด้านคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งภายใต้การทดสอบที่เงื่อนไขเหมาะสมสูงสุด คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ของแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยความหนาแน่นมีค่าเฉลี่ย 987.34, 1014.03 และ 994.67 kg/m³ ดัชนีการแตก ร่วน 89.48%, 98.30% และ 96.61% ค่าความต้านทานน้ำ 89.48%, 98.30% และ 96.61% และ ความต้านทานแรงกด 4.70 , 5.86 และ 5.96 MPa

ในส่วนของการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการใช้เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งใหม่ให้ค่า NPV ของ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ มีค่าเท่ากับ 1,894,441.87 และ 1,743,798.08 baht ตามลำดับ ซึ่ง แกลบไม่สามารถหาค่าได้ ในส่วนของ IRR เท่ากับ 83.25% และ 82.00% ตามลำดับ และมีระยะเวลาในการคืนทุน 0.20 และ 0.21 ปี ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละชนิดมีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 1.8972 baht/kg ถึง 2.0979 baht/kg

ข้อเสนอแนะ

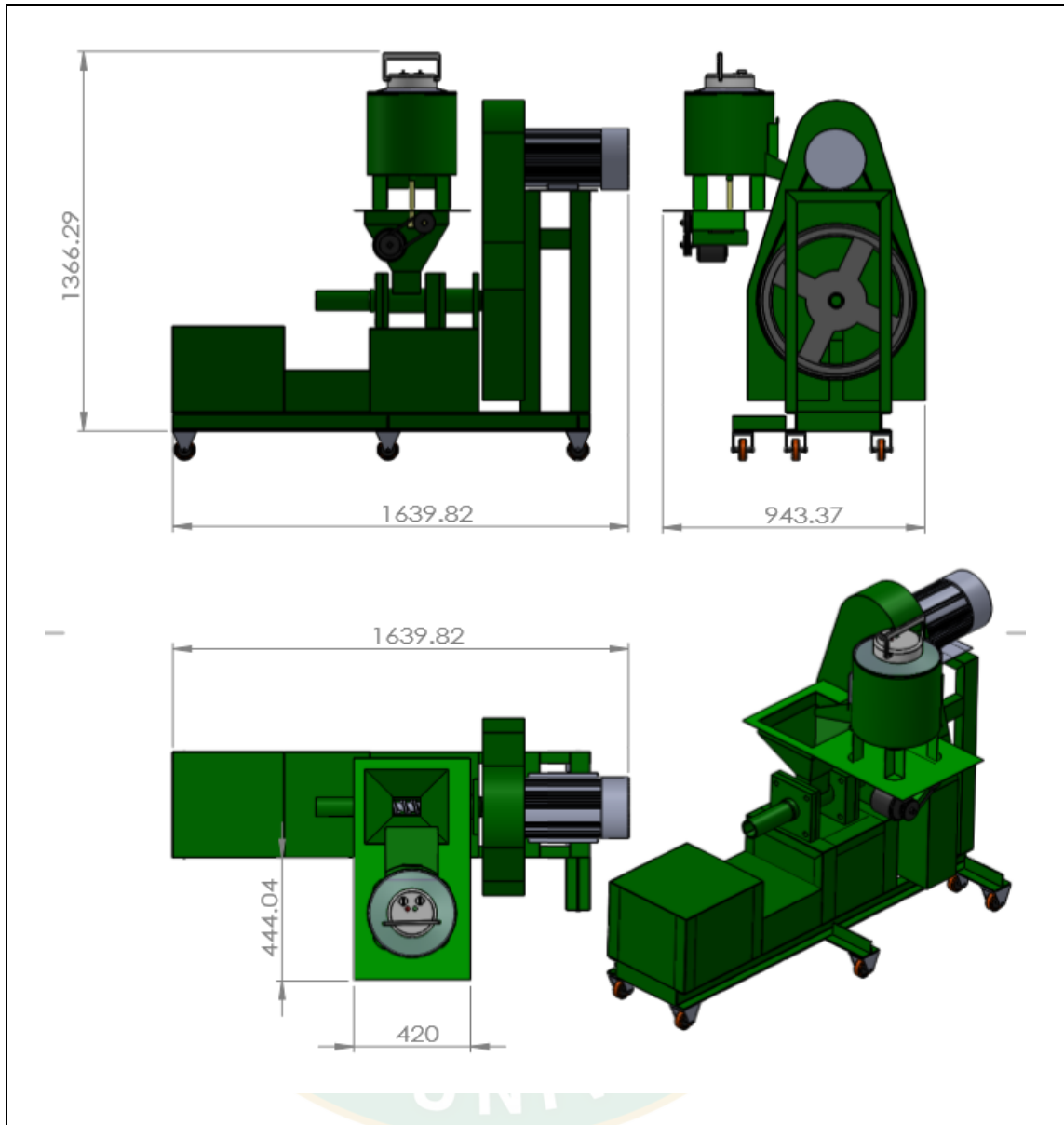
1. จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้มีกำลังการผลิตที่ต่ำควรมีการเพิ่มกำลังของมอเตอร์ให้สูงขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังการผลิตสูงขึ้นได้
2. ในส่วนของแกลบให้อัตราการผลิตที่ต่ำมาก ดังนั้นการนำแกลบมาอัดด้วยกระบวนการอัดด้วยเครื่องความดันต่ำแบบอัดเย็นยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร
3. การอัดแบบเย็นเป็นการอัดที่มีการใช้ตัวประสานในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงควรมีการนำตัวประสานที่มีราคาที่ไม่สูงมากหรือของเหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น โมลาส กากมันสำปะหลัง มาใช้แทนเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต
4. การกระตุ้นให้ความร้อนชีวมวลก่อนการอัด ควรมีการนำชีวมวลมาเป็นตัวเชื้อเพลิงในการเผาให้ความร้อน หรือนำพลังงานทดแทนในด้านอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้แทนการใช้พลังงานจากไฟฟ้า
5. ควรมีระบบการบ้อนชีวมวลในการอุ่นแบบต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนในการเพิ่มอุณหภูมิในแต่ละรอบของการผลิต



ภาคผนวก

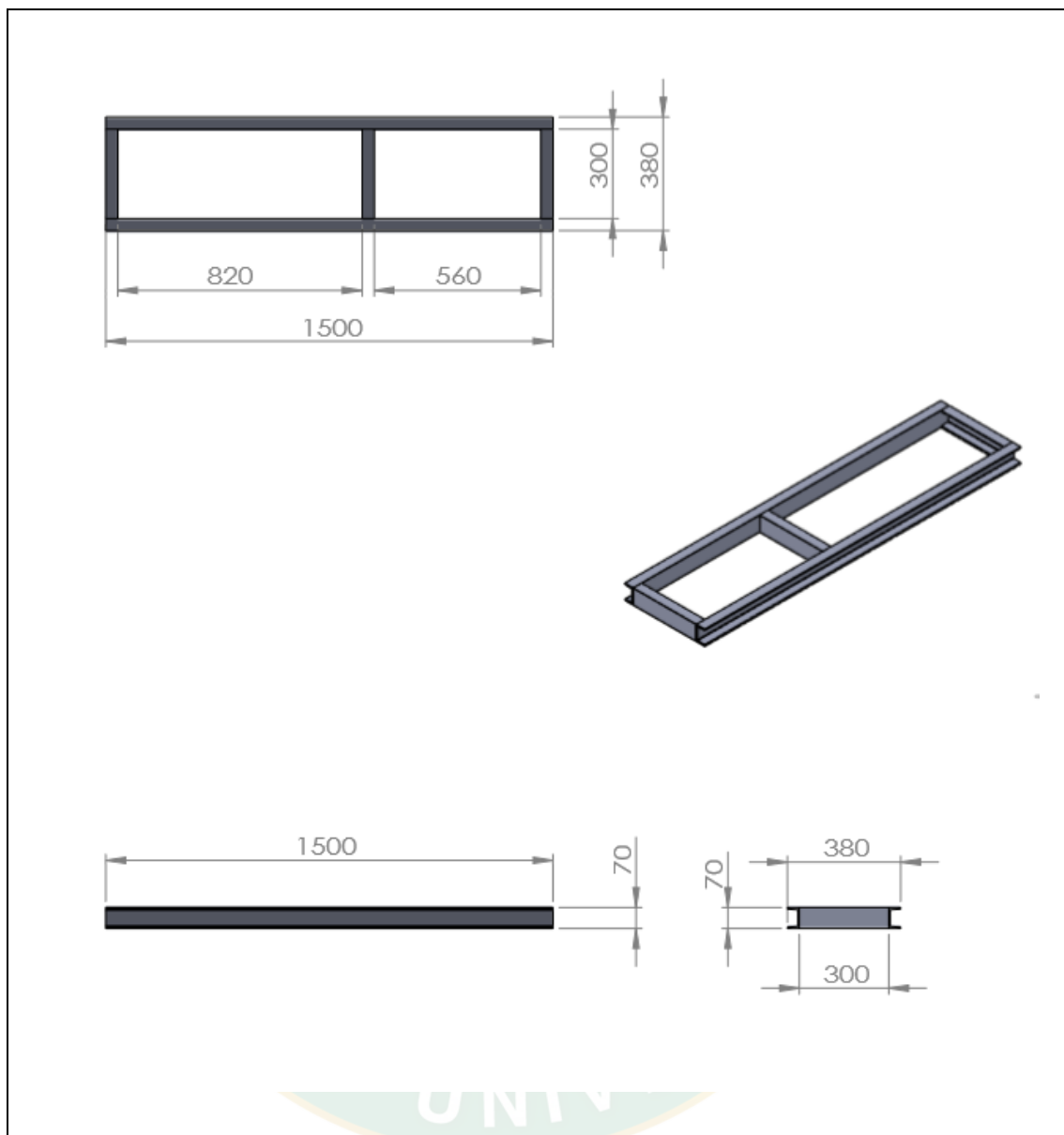


ภาคผนวก ก
แบบเครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง



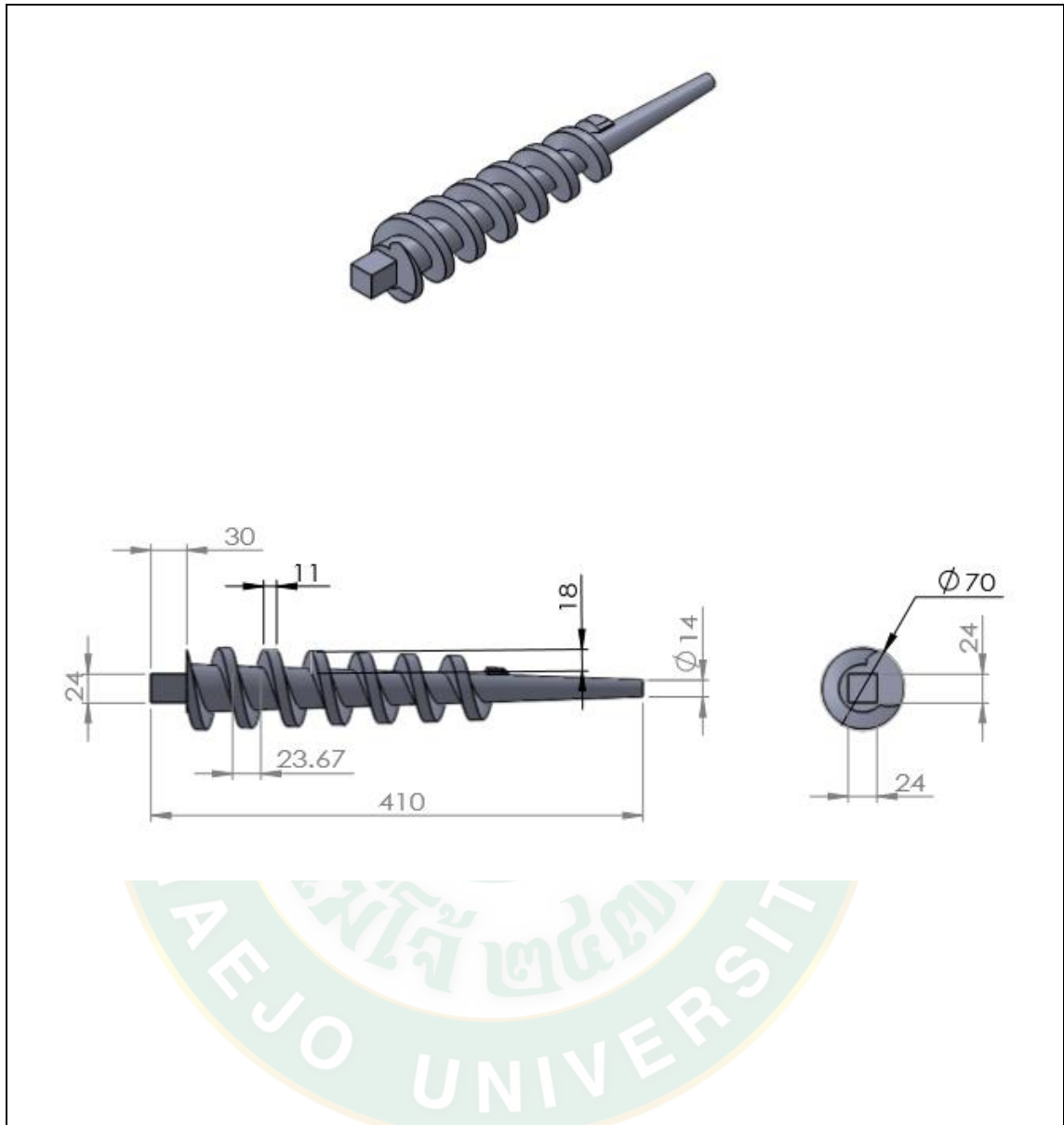
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	Side view, Front view, Top view and Back view	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 1 of 15

ภาพผนวกที่ 1 แบบแสดงด้านหน้า ด้านข้าง ด้านหลัง และด้านบน ของเครื่องอัดแท่งชีวมวล



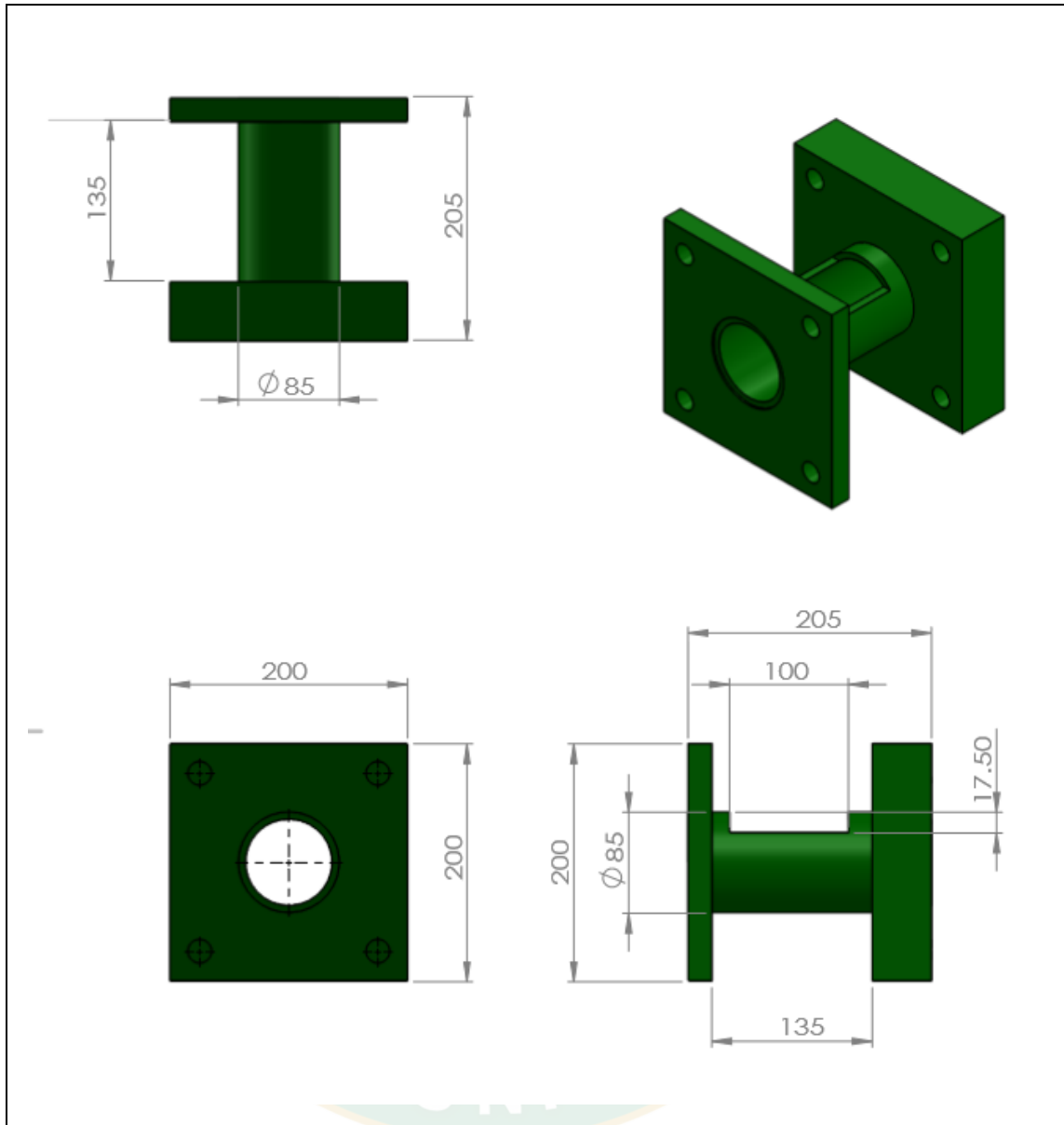
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ฐานโครงสร้าง	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 2 of 15

ภาพผนวกที่ 2 แบบแสดงฐานโครงสร้างของเครื่องอัดแท่งชีวมวล



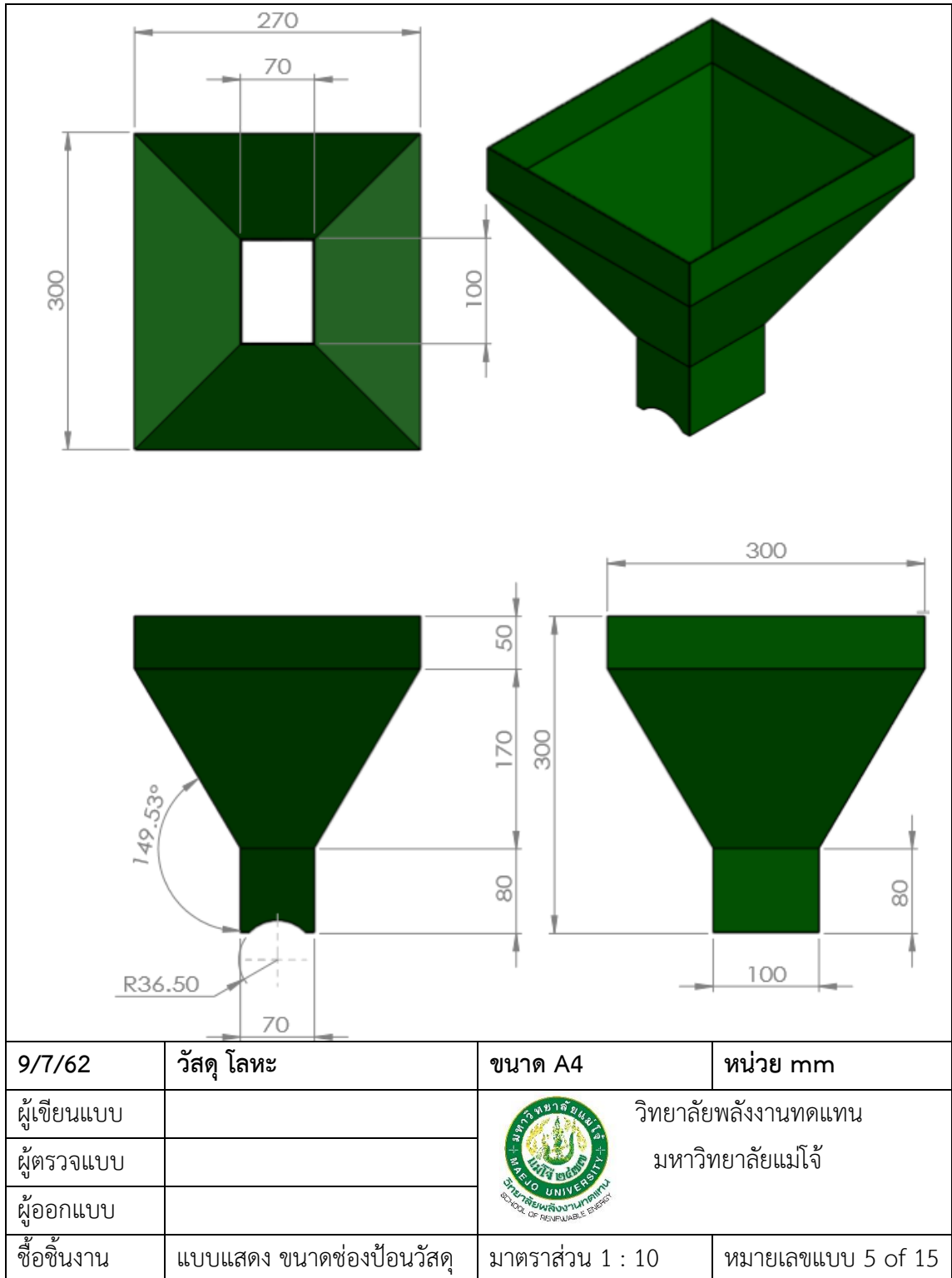
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ขนาดเกลียวอัดแบบ สกรูรูปกรวย	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 3 of 15

ภาพผนวกที่ 3 แบบแสดงขนาดของเกลียวอัดแบบสกรูรูปกรวย

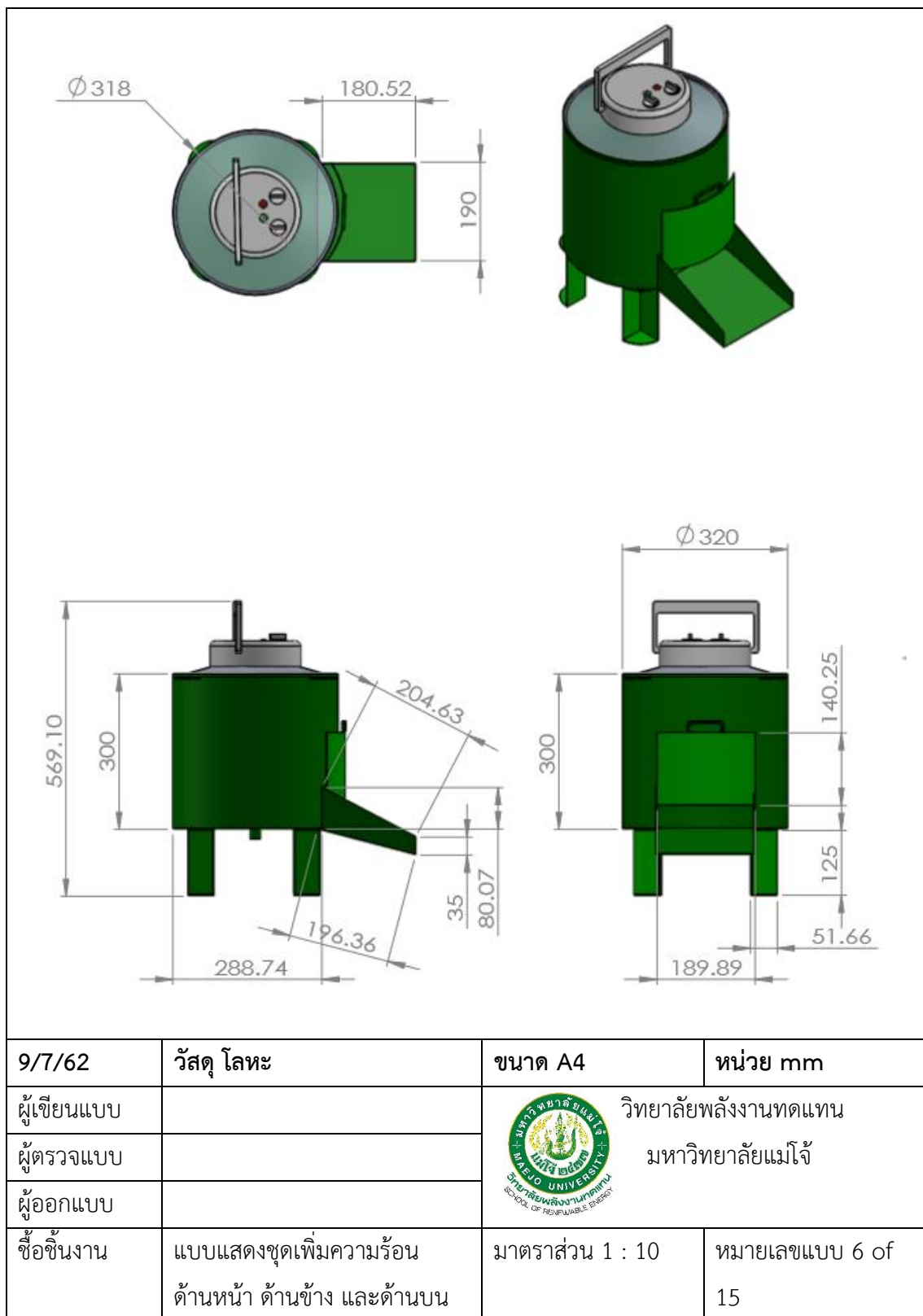


9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ขนาดกระบอกอัดของเครื่อง	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 4 of 15

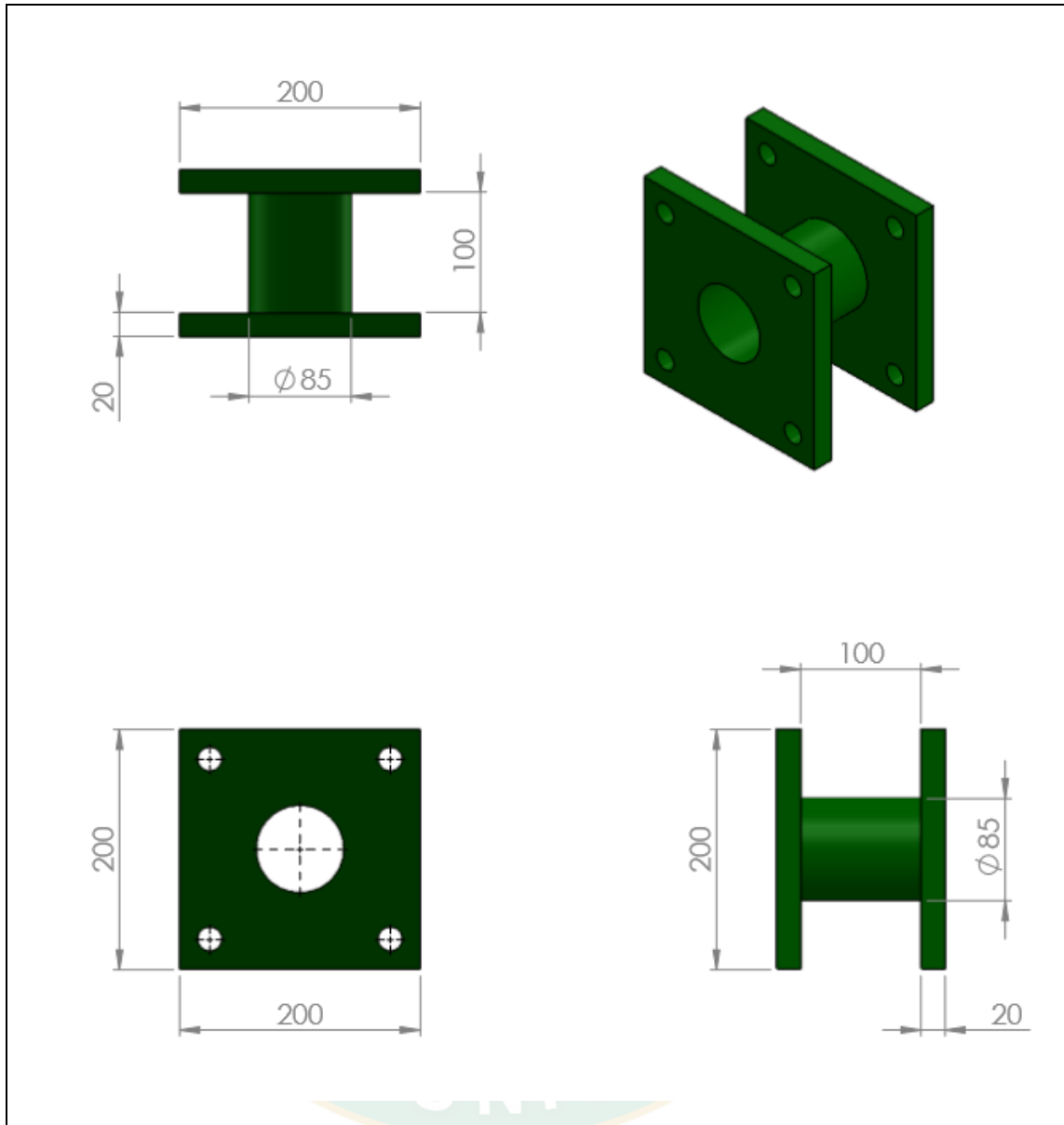
ภาพผนวกที่ 4 แบบแสดงขนาดกระบอกอัดของเครื่องอัดแท่งชีวมวล



ภาพผนวกที่ 5 แบบแสดงขนาดช่องป้อนวัสดุของเครื่องอัดแท่งชีวมวล

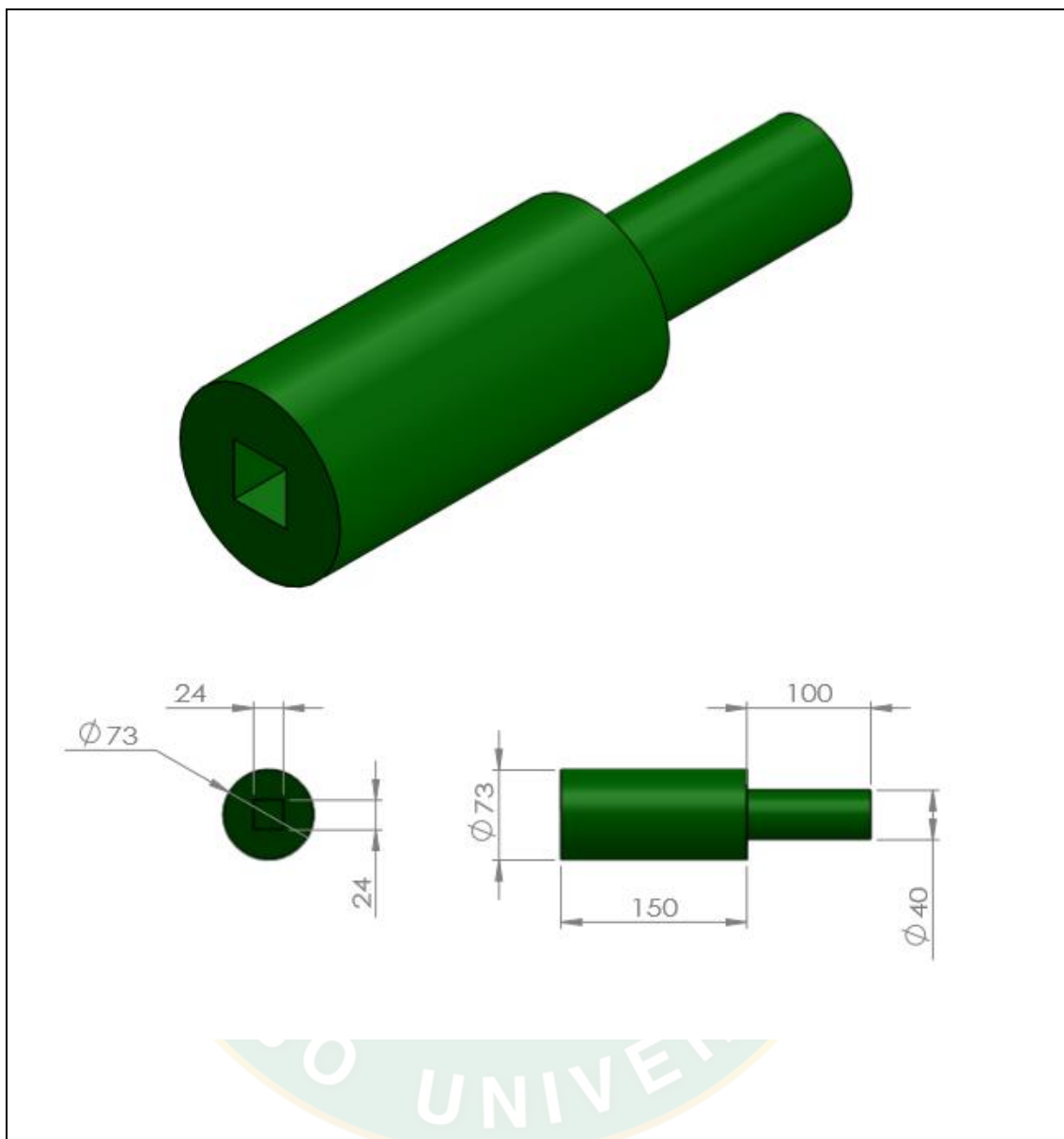


ภาพผนวกที่ 6 แบบแสดงชุดเพิ่มความร้อน ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน



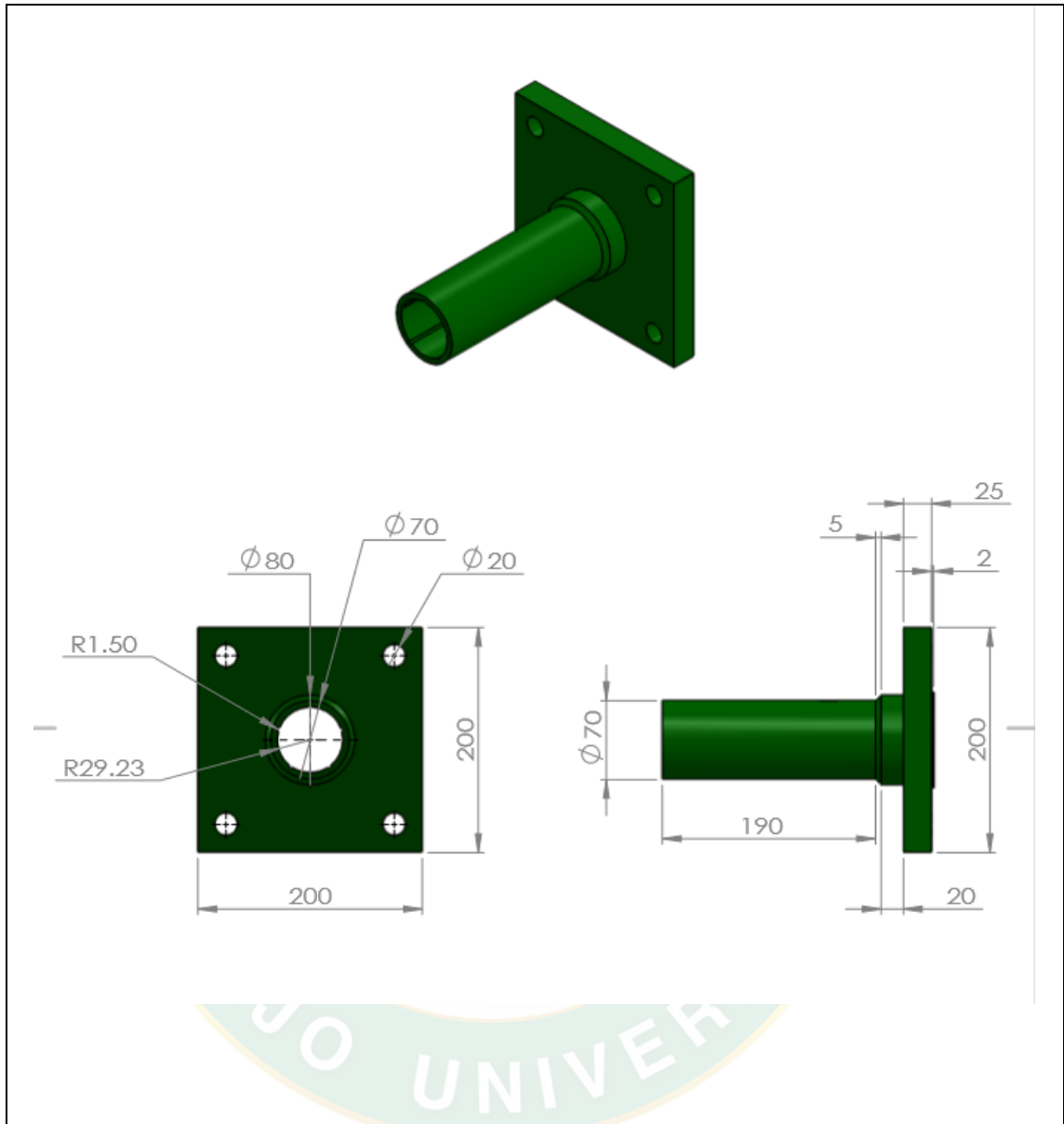
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง กระบอกรัด	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 7 of 15

ภาพผนวกที่ 7 แบบแสดงขนาดของกระบอกรัด



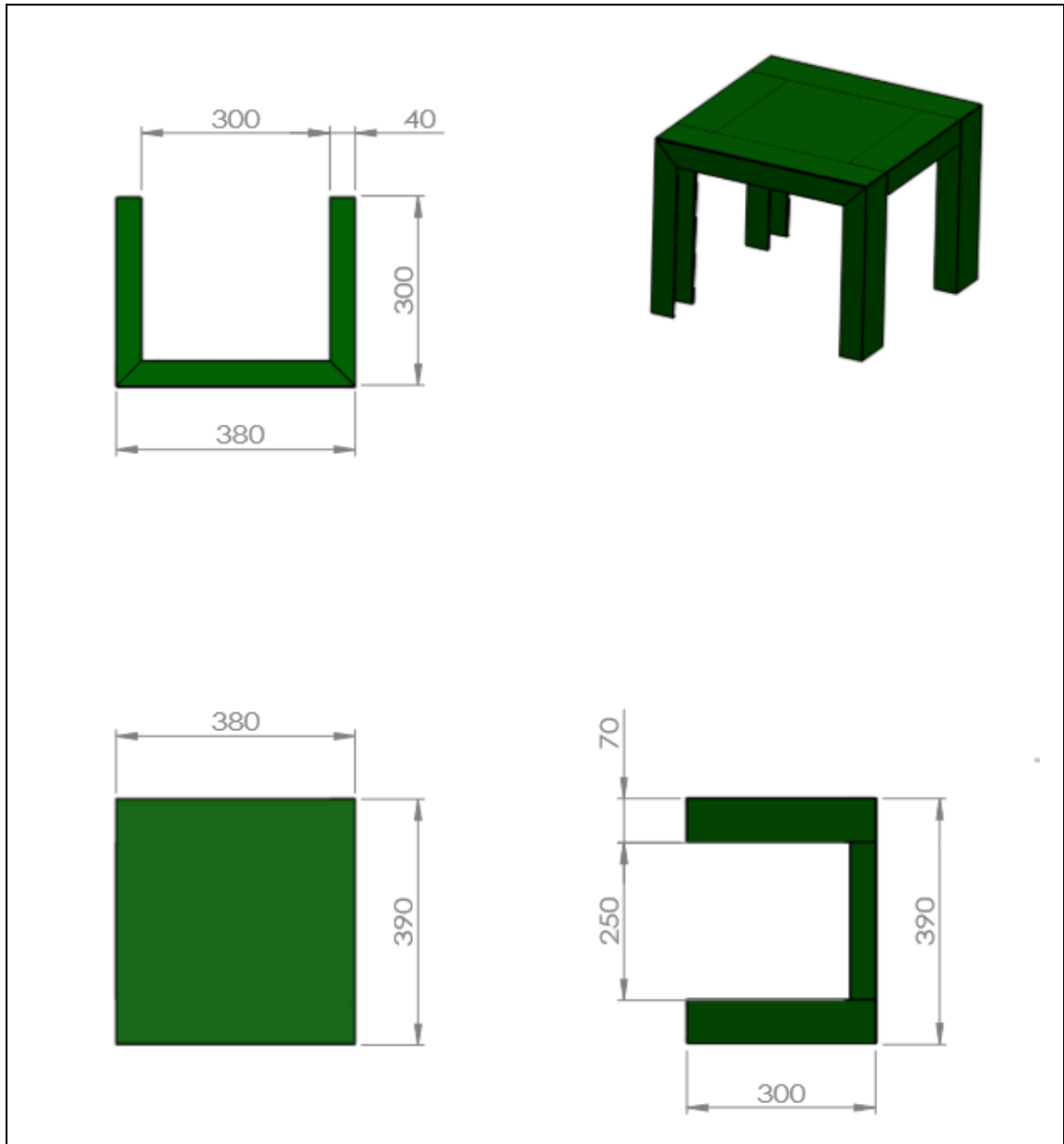
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ปอกเพลลาเกลียวอัด	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 8 of 15

ภาพผนวกที่ 8 แบบแสดงปอกเพลลาเกลียวอัด



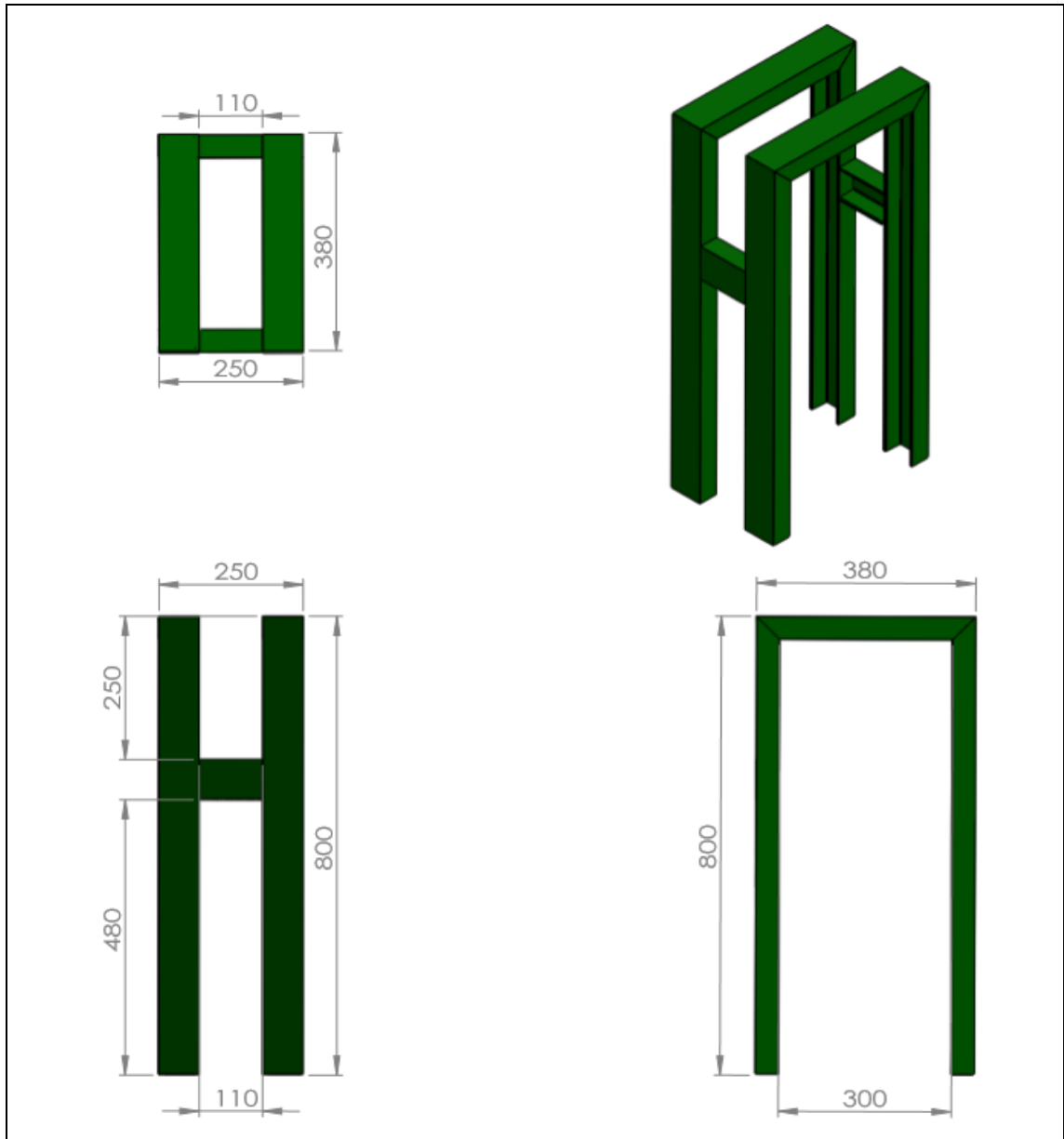
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง กระบอกแม่พิมพ์	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 9 of 15

ภาพผนวกที่ 9 แบบแสดงกระบอกแม่พิมพ์



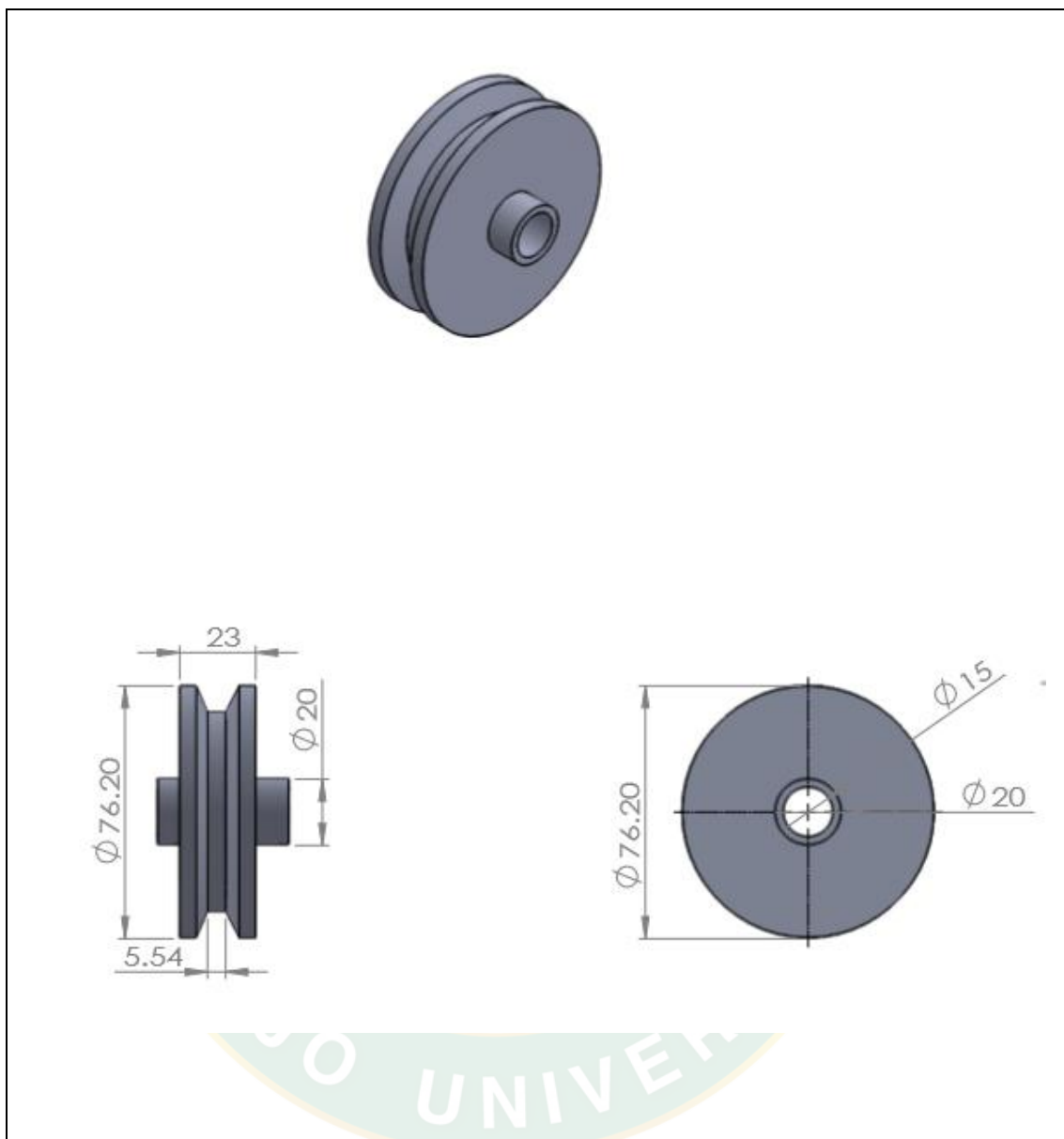
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดงโต๊ะวางชุดกระบอกรบอัด	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 10 of 15

ภาพผนวกที่ 10 แบบแสดงโต๊ะวางชุดกระบอกรบอัด



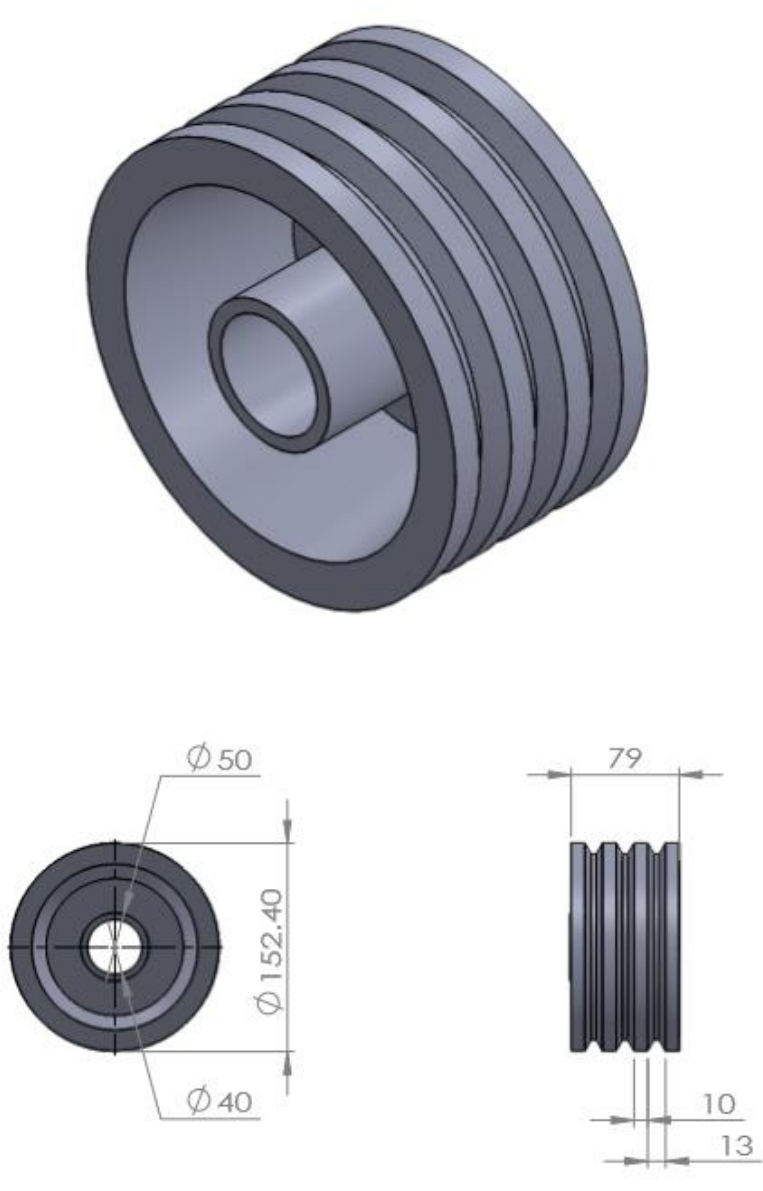
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ชุดแท่นวางมอเตอร์	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 12 of 15


ภาพผนวกที่ 12 แบบแสดงชุดแท่นวางมอเตอร์



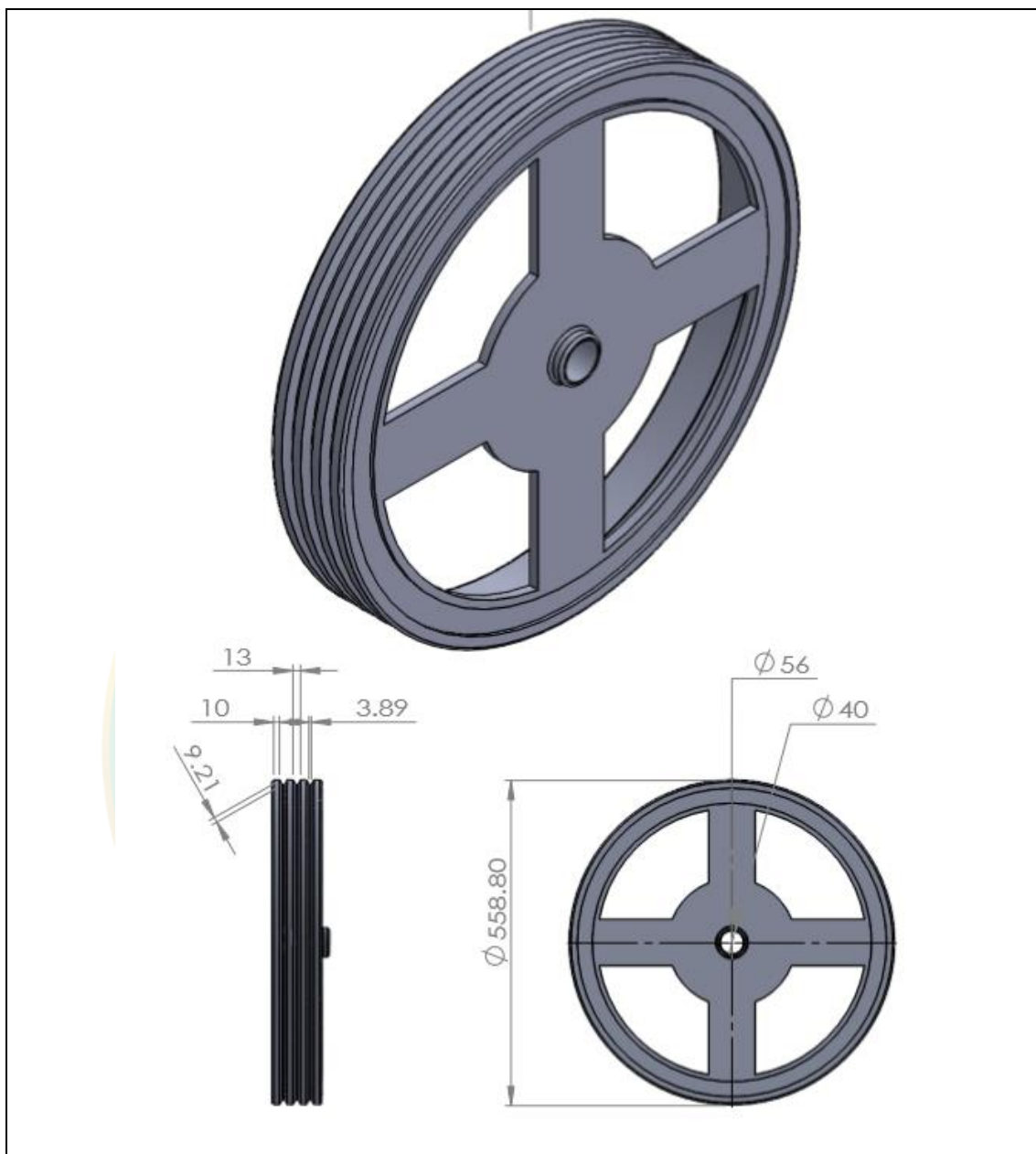
9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ฟู่เลย์ขับเคลื่อนให้ความร้อนแก่วัสดุ	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 13 of 15

ภาพผนวกที่ 13 แบบแสดงฟู่เลย์ขับเคลื่อนให้ความร้อนแก่วัสดุ



9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ฟูเลย์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 14 of 15

ภาพผนวกที่ 14 แบบแสดงฟูเลย์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ



9/7/62	วัสดุ โลหะ	ขนาด A4	หน่วย mm
ผู้เขียนแบบ		 วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
ผู้ตรวจแบบ			
ผู้ออกแบบ			
ชื่อชิ้นงาน	แบบแสดง ฟุ่เลย์ขับเคลื่อนตาม	มาตราส่วน 1 : 10	หมายเลขแบบ 15of15

ภาพผนวกที่ 15 แบบแสดงฟุ่เลย์ขับเคลื่อนตาม



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตารางผนวกที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (m)	เส้นผ่าน	เส้นผ่าน	ความ หนาแน่น (kg/m ³)
			ศูนย์กลาง ภายใน (m)	ศูนย์กลาง ภายนอก (m)	
แกลบ	0.041	0.04650	15.60	51.10	890.81
	0.040	0.04630	20.40	51.30	1152.05
	0.041	0.04590	15.10	52.40	817.45
ทางใบปาล์ม	0.041	0.05290	15.40	53.90	665.76
	0.040	0.05140	16.10	53.80	697.15
	0.042	0.05150	15.50	52.10	775.16
เศษไม้	0.040	0.04740	16.80	47.20	1162.64
	0.040	0.04700	15.10	45.40	1180.29
	0.041	0.04740	14.80	47.10	1055.63

ตารางผนวกที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (kg)	ความสูง (m)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายใน (m)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ภายนอก (m)	ความ หนาแน่น (kg/m ³)
แกลบ	0.058	0.04800	12.40	53.40	915.23
	0.053	0.04220	14.50	52.50	1,107.40
	0.055	0.04527	13.70	54.28	939.37
ทางใบปาล์ม	0.045	0.04630	14.00	48.50	1,039.69
	0.040	0.04730	14.25	47.60	968.09
	0.045	0.04750	14.75	48.90	1,034.30
เศษไม้	0.050	0.04720	14.60	50.46	1,048.86
	0.048	0.04700	13.80	50.10	986.83
	0.049	0.04580	13.90	51.80	948.34

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน การทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง การทดสอบ (kg)	%การแตกร่วน	ดัชนีการแตกร่วน (%)
แกลบ	0.0580	0.0410	29.3103	70.6897
	0.0530	0.0470	11.3208	88.6792
	0.0550	0.0520	5.4545	94.5455
ทางใบปาล์ม	0.0450	0.0430	4.4444	95.5556
	0.0400	0.0360	10.0000	90.0000
	0.0500	0.0490	2.0000	98.0000
เศษไม้	0.0500	0.0350	30.0000	70.0000
	0.0500	0.0480	4.0000	96.0000
	0.0520	0.0420	19.2308	80.7692

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน การทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง การทดสอบ (kg)	%การแตกร่วน	ดัชนีการแตกร่วน (%)
แกลบ	0.1600	0.1390	13.1250	86.8750
	0.1500	0.1420	5.3333	94.6667
	0.1450	0.1260	13.1034	86.8966
ทางใบปาล์ม	0.1600	0.1580	1.2500	98.7500
	0.1550	0.1500	3.2258	96.7742
	0.1610	0.1600	0.6211	99.3789
เศษไม้	0.1600	0.1550	3.1250	96.8750
	0.1580	0.1500	5.0633	94.9367
	0.1520	0.1490	1.9737	98.0263

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน การทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง การทดสอบ (kg)	ความสามารถ ต้านทานน้ำ	ความสามารถ ต้านทานน้ำ (%)
แกลบ	0.043	0.114	62.281	37.719
	0.045	0.109	58.716	41.284
	0.050	0.105	52.381	47.619
ทางใบปาล์ม	0.043	0.070	38.571	61.429
	0.045	0.060	25.000	75.000
	0.048	0.052	7.692	92.308
เศษไม้	0.031	0.040	22.500	77.500
	0.035	0.039	10.256	89.744
	0.034	0.039	12.821	87.179

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องอัดแท่งชีวมวล

ตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน การทดสอบ (kg)	น้ำหนักหลัง การทดสอบ (kg)	ความสามารถ ต้านทานน้ำ	ความสามารถ ต้านทานน้ำ (%)
แกลบ	0.0550	0.0780	29.487	70.513
	0.0500	0.0650	23.077	76.923
	0.0530	0.0680	22.059	77.941
ทางใบปาล์ม	0.0450	0.0490	8.163	91.837
	0.0510	0.0530	3.774	96.226
	0.0540	0.0590	8.475	91.525
เศษไม้	0.0330	0.0360	8.333	91.667
	0.0400	0.0450	11.111	88.889
	0.0460	0.0520	11.538	88.462

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตัวอย่าง	เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง (MPa)	เครื่องอัดแท่งชีวมวล (MPa)
แกลบ	1.90	4.70
	1.95	4.50
	2.01	4.25
ทางใบปาล์ม	2.81	5.86
	2.97	4.95
	3.12	6.02
เศษไม้	5.96	4.20
	4.87	4.59
	4.53	5.48



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

1) การคำนวณความหนาแน่น

กรณี ทางใบปาล์มอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งชีวมวล

กำหนดให้ น้ำหนัก 0.043 kg

ความสูง 0.04703 m

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.04833 m

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.01433 m

การคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากสมการ
$$\rho = \frac{m}{\pi r^2 h}$$

จะได้ว่า
$$\rho = \frac{0.043}{3.14 \times (53.27 - 15.67)^2 \times 0.04703}$$

ดังนั้นทางใบปาล์มอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น

$$\rho = 1,014.03 \text{ kg/m}^3$$

2) การคำนวณดัชนีการแตกร่วน

กรณี ทางใบปาล์มอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งชีวมวล

กำหนดให้ น้ำหนักก่อนทดสอบ (W_1) เท่ากับ 0.1587 kg

น้ำหนักหลังทดสอบ (W_2) เท่ากับ 0.1560 kg

การคำนวณค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จากสมการ
$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100$$

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{0.1587 - 0.1560}{0.1560} \right) \times 100$$

จะได้ว่า

$$\text{Weight loss (\%)} = 1.73$$

ดังนั้นทางใบปาล์มอัดแท่งมีค่าดัชนีการแตกร่วน

$$\text{ดัชนีการแตกร่วน} = 100 - 1.73$$

$$= 98.27 \%$$

3) การคำนวณการต้านทานน้ำ

กรณี ทางใบปาล์มอัดแห้งโดยใช้เครื่องอัดแห้งชีวมวล

กำหนดให้ น้ำหนักก่อนทดสอบ (BQ_1) เท่ากับ 0.1587 kg

น้ำหนักหลังทดสอบ (BQ_2) เท่ากับ 0.1560 kg

การคำนวณค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแห้ง

จากสมการ Water gained by briquette (%) = $\left(\frac{BQ_2 - BQ_1}{BQ_1}\right) \times 100$

จะได้ว่า

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \left(\frac{0.0537 - 0.0500}{0.0500}\right) \times 100$$

$$\text{Water gained by briquette (\%)} = 7.4$$

ดังนั้นทางใบปาล์มอัดแห้งมีค่าการต้านทานน้ำ

$$\text{การต้านทานน้ำ} = 100 - 7.4$$

$$= 92.60 \%$$

2. การคำนวณกำลังการผลิตและการใช้พลังงาน

1. กำลังการผลิต (kg/h) สามารถคำนวณได้ดังนี้

กรณีที่ใช้แกลบ 1 kg ใช้เวลาในการผลิต 60.20 min

$$\text{ดังนั้น กำลังการผลิต} = \frac{1 \text{ kg}}{60 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$= 0.996 \text{ kg/h}$$

กรณีที่ใช้ทางใบปาล์ม 1 kg ใช้เวลาในการผลิต 60.20 min

$$\text{ดังนั้น กำลังการผลิต} = \frac{1 \text{ kg}}{60 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$= 0.996 \text{ kg/h}$$

2. การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) สามารถคำนวณได้ดังนี้

การผลิตแกลบ 1 kg ใช้เวลาในการผลิต 18.32 min

2.1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.006 kWh

2.2 มีการใช้พลังงาน LPG เท่ากับ 0.05 kWh

2.3 การใช้พลังงานรวม (baht)

2.1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.006 kWh สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{โดยหาการใช้พลังงานไฟฟ้า(P)} = \frac{IE}{1000}$$

$$\text{โดยหาการใช้พลังงานไฟฟ้า(P)} = \frac{0.05 \times 0.396}{1000} \times \text{เวลา(h)}$$

$$= 0.0198 \text{ kw} \times 0.304 \text{ h}$$

$$= 0.006 \text{ kwh}$$

$$\text{กำหนดให้ค่าไฟหน่วยละ 4.5 baht/unit} = 0.006 \text{ kwh} \times 4.5 \text{ baht/unit}$$

$$= 0.027 \text{ baht}$$

2.2 มีการใช้พลังงาน LPG เท่ากับ 0.05 kg

โดย (LPG) 1 ถัง ราคา 390 บาท มีทั้งหมด 31.4 kg

$$\text{เพราะฉะนั้น (LPG) มีราคา kg ละ} = \frac{390}{31.4}$$

$$= 12.43 \text{ baht}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น (LPG) ที่ใช้มีราคา} = 12.43 \text{ baht} \times 0.05 \text{ kg}$$

$$= 0.621 \text{ baht}$$

$$2.3 \text{ การใช้พลังงานรวม (baht)} = 0.027 \text{ baht} + 0.621 \text{ baht}$$

$$= 0.648 \text{ baht}$$



ภาคผนวก ง
การเผยแพร่งานวิจัย

1. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” วันที่ 28-30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ



ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 11

ห้อง TREC11-1

ประธาน อาจารย์ ดร.ชฎานนท์ แสงมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 ผู้ช่วยประธาน อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสิลา โครงการจัดตั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session1. ไฟฟ้าชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	EC02	13.30-13.45 น.	ความเหมาะสมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ	มานพ อิงรัมย์ อธิพัล ศศิรา บุวัฒน์ ปิยพันธุ์ แสงทอง สุรวุฒิ สุดหา เกศศิริ สอนแมนชัย ธรรมบุญ ภาวิเศษ และวิชวุธ สุทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
2	EC05	13.45-14.00 น.	การศึกษาและพัฒนาเครื่องซักผ้าอัตโนมัติจากซีดีเอช แบบถนนบน	สิทธิชัย เสนารัตน์	มหาวิทยาลัยนครพนม
3	EC10	14.00-14.15 น.	Electricity generation in small hydropower: Techno-economic and prospective benefits to communities in the northern parts of Thailand	Prachub Peerapong and Arunyupa Buasab	BangkokThonburi University
4	EC25	14.15-14.30 น.	การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่	กานต์ จันทร์น้อย และสุทิน รัตนเกื้อกัวาน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		
5	EC82	14.45-15.00 น.	การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับโรงเรียนชายชน	ณัฐกานต์ ดุจดเทศาณัติ อัคริน พงษ์สิงห์ทอง เจษฎา ผลเจริญ กุญจน์สิงฆะวงศ์ วิจิต แสงสุวรรณ สุพจน์โสภารัตน์ ไทบุญย์ นาคมหาชลาสินธุ์ พัทธนันท์ เนาวิไลสิน กอบศักดิ์ ศรีประภา กิตติ วงศ์ถาวรวัฒน์ และไพรัช ชัยพงษ์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
6	EC95	15.00-15.15 น.	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของประเทศไทย	ดิษฐ์วรรณ นิยมธรรม จอมภพ แววศักดิ์ และชนะ จันทร์อ่ำ	มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง

Session2. เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
7	FC13	15.10-15.30 น.	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล	พรเมธี คำพิง์ เสริมสุข ปวีเจริญ และชนก ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
8	FC28	15.30-15.45 น.	การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อเนิน ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง	รวีภา องประยูร สัตตาวัดย์ เสียงเย็น วราคม วงศ์ชัย และวิระ พันธิพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
9	FC30	15.45-16.00 น.	อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์อัดแท่ง	บุณยาพร แสนพรม นิกราน หอมดวง บัญชร ไชยญาติ ชนก ไชยชนะ กิตติกร สวัสดิ์จิตต์ และสมเอนจวิทย์ ต้นติกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
10	FC31	16.00-16.15 น.	ผลการปรับความเร็วเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงอัดแท่งและคุณสมบัติทางกายภาพซีเมนต์อัดแท่ง	ภาสินี ลาตลา ณัฐวุฒิ กุญจน์ นิกราน หอมดวง จุรินทร์ ฮารารักษ์ บัญชร ไชยญาติ และสมเอนจวิทย์ ต้นติกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ครั้งที่ 11 (ต่อ)

สารบัญ		หน้า
สารจากอธิการบดี		ก
สารจากนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย		ข
สารจากนายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ		ค
รายชื่อคณะกรรมการดำเนินงาน		ง
กำหนดการจัดงาน		ฉ
ลำดับการนำเสนอบทความ		ณ
แผนผังการจัดงาน		พ
สารบัญ		ฟ
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (Proceeding of TREC-11)		
EC02	ความเหมาะสมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ มานพ อิงรัมย์ อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์ ปิยพันธุ์ แสงทอง สุรวุฒิ สุดหา เกศศิริ ละแมนชัย ธรรมบุญ มีวินเศษ และรัชชอุ สุทธิ	2
EC05	การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากชี้เสื่อย แบบแกนนอน สิทธิชัย เสนารัตน์	10
EC25	การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ กานต์ จันทร์น้อย และสุทัศน์ รัตนเกือกังวาน	20
EC95	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของประเทศไทย สิทธวรรณ นิยมธรรม จอมภพ แววศักดิ์ และชนช จันทร์น้า	29
FC07	การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน เชมนิจจรรย์ สาริพันธ์	36
FC13	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล พรเมธี คำพิร์ เสริมสุข บัวเจริญ และธนศ ไชยชนะ	43
FC19	การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน ประนิตดา เท็งจิว เชมนิจจรรย์ สาริพันธ์ และนภารัตน์ ยานเคน	50
FC28	การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนั่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อเป็น ตำบลปงยางคค อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง วิภา ยงประยูร ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น วราคม วงศ์ชัย และวิรัช พันอินทร์	56
FC30	อิทธิพลวิสุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง บุญฮาทวี แผลนพรม นิกราน หอมดวง นัฐพร ไชยญาติ อเนศ ไชยชนะ กิตติกร สาธุจิต และเสมอขวัญ ทัศนกุล	66
FC31	ผลการปรับความเร็วกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง ภาสินี ลาดลา ณัฐวุฒิ ศุขภู นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธาธารักษ์ นัฐพร ไชยญาติ และเสมอขวัญ ทัศนกุล	72
FC35	การศึกษาการผลิตถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวผสมขานออยและเบตเต ศิริวรรณ เทพท และศตพล มุ่งค้ำกลาง	79

ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 11 (ต่อ)



FC31

ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง Screw press adjustment on production rate and physical properties of Biomass briquettes

ภาสินี ลาดลา¹ ณัฐภูมิ สุขย์^{1*} นิกราน ทองดวง¹ ซูรัตน์ ธารารักษ์¹ นัฐพร โขยญาติ¹ และเสมอขวัญ ดันติกุล²

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ


งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบเกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งที่ใช้เชื้อเพลิงเหลือใช้ทางการเกษตร ประกอบด้วย แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ ลดขนาดชีวมวลหึ่ง 3 ชนิด ให้มีขนาดเฉลี่ย 1 mm ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุตัวประสานในอัตราส่วน (ชีวมวล:แป้งมัน) 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลอง ใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียวอัดมีมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 3 hp ผ่านสายพานชนิดร่อง B จำนวน 2 เส้น ปรับความเร็วรอบเกลียวอัดโดยใช้วิธีการเปลี่ยนขนาดนูนเกลียวทั้งหมด 5 ระดับ ได้ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min วิเคราะห์ลักษณะการขึ้นรูป อัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเร็วรอบเกลียวอัดส่งผลให้มีลักษณะทางกายภาพ อัตราการผลิต และคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งเฉลี่ยที่ดีขึ้นของทั้งแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งเนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจากทั้ง 5 ระดับความเร็วรอบ ซึ่งที่ค่าอัตราการผลิตเท่ากับ 52.05 และ 59.10 kg/h ค่าความหนาแน่น 1,088.26 และ 1,131.65 kg/m³ ค่าดัชนีการแตก่วน 95.30% และ 94.17% และค่าความต้านทานแรงกด 5.31 และ 4.89 MPa

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง ความเร็วรอบเกลียวอัด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

*Corresponding author: Tel.: 0-533-3194, E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดวิกฤติพลังงานขึ้นทำให้ต้องมีการนำเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลือง คือน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักของประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ เพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ [1] โดยประเทศไทยมีศักยภาพของชีวมวลที่หลงเหลือจากทางการเกษตร และภาคอุตสาหกรรมเกษตรที่ยังไม่ได้นำมาใช้กันคิดเป็นค่าพลังงานถึง 10,340 พันตันเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ [2] ซึ่งชีวมวลที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นค่อนข้างได้ง่าย มีปริมาณที่มากพอ เช่น แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำชีวมวลเหล่านี้มาผลิตชีวมวลอัดแท่ง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนชุมชนสามารถเข้าถึงได้ อย่างไรก็ตามการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบอัดร้อนแต่ต้องใช้ความร้อนและพลังงานที่สูงในการผลิตทำให้ต้อง



การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

73

มีการใช้ขนาดของเครื่องดับกำลังสูง และต้องมุ่งให้ความร้อนแก่ชีวมวลซึ่งมีราคาแพงมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม หากมีการพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายก็จะเป็นผลดีและบรรลุผลทางด้านการใช้ชีวมวลอีก ทางหนึ่ง โดยตัวแปรที่มีผลต่อการอัดแท่งชีวมวลมีหลายตัวแปร เช่น ชนิดของชีวมวล ตัวประสาน ขนาดของชีวมวล กำลังมอเตอร์ ขนาดกระบอกลูกสูบ ลักษณะเกลียวอัด อย่างไรก็ตามการปรับความเร็วรอบค่อนข้างจะมีผลอย่างมากต่อการ ขึ้นรูป อัตราการผลิต และคุณภาพเชื้อเพลิง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งในระดับ ชุมชนซึ่งบทความนี้จะนำเสนอผลการปรับความเร็วรอบที่มีต่อการขึ้นรูป อัตราการผลิต คุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งผลที่ ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องอัดชีวมวลอัดแท่งสำหรับการนำไปใช้ในชุมชน

เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุการวิจัย

เครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ใช้ทดลองเป็นเครื่องแบบเกลียวอัด (Screw press) ประกอบด้วยข้อป้อนวัสดุดิบจาก ด้านบนและถูกส่งเข้าสู่กระบอกลูกสูบเกลียวอัดรูปกรวย เครื่องดับกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 3 hp 1,400 rpm/min ส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานชนิด V-Belt หรือ สายพานวี ไปยังรูโผล่ตัวตามที่ส่งต่อกำลังไปยังเกลียวอัด โดยจะทำการปรับอัตราทดที่มีอยู่ด้วยตัวตาม ดังแสดงในภาพที่ 1 วัสดุชีวมวลที่อัดประกอบด้วยชีวมวล 3 ชนิด โดยกลบ มีค่าความร้อน 12.33 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% ทางใบปาล์ม มีค่าความร้อน 1.76 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 78% เศษไม้มีค่าความร้อน 14.39 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% [3] และตัวประสานเลือกใช้แป้งมันที่มีขายตามท้องตลาด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 250 kg/m³ ดังภาพที่ 2 ในขณะที่เครื่องมือวัดในการทดลองประกอบด้วย เครื่องวัดรอบแบบ ใช้แสงโดยไม่ต้องสัมผัส รุ่น DIGICON DT-245P แสดงผล 5 หลัก โดยตัวเลข LCD ย่านการวัด : 5-99,999 RPM เครื่องวัดความชื้นใช้เครื่องวัดความชื้น รุ่น MD-7822 สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8-30% เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบ อินฟราเรด รุ่น AIT-42R วัดอุณหภูมิในช่วง -35-630 °C ความละเอียด 0.15 °C เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น DT-8828 วัดอุณหภูมิในช่วง -50-1,000 °C และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 kg × 1 g อุณหภูมิใช้งานที่ 5-40 °C



ภาพที่ 1 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเกลียวอัด

28 - 30 พฤศจิกายน 2561 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ "รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"

ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (ต่อ)

การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

74





(ก) แกลบ (ข) หางใบปาล์ม (ค) เศษไม้ (ง) แป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 2 ชีวมวลหลักและตัวประสาน

วิธีการทดลอง

นำชีวมวลหลักทั้ง 3 ชนิด ผสมกับตัวประสานในอัตราส่วน 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลอง เมื่อผสมแล้วทดสอบการอัดแท่งโดยการเปรียบเทียบความเร็วรอบการหมุนของเกลียวอัด โดยทำการเปลี่ยนมุมเอียงที่ขนาด 5 ขนาด ได้แก่ 14, 12, 10, 8 และ 6 นิ้ว โดยมีความเร็วระดับคือ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min โดยทำการจับเวลาเมื่อแท่งชีวมวลเคลื่อนออกจากกระบอกลัดจนมีความยาวประมาณ 1 เมตร ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เพื่อหาอัตราการผลิตโดยการวิเคราะห์จากการใช้กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาในการผลิต ระหว่างการทดลอง วัดค่าความเร็วรอบ ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดแท่ง จากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปตากแดดเพื่อลดความชื้น (ค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานไม่ควรเกิน 10-15%) นำไปทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ คือลักษณะสิ่งที่ปรากฏให้เห็นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ค่าความหนาแน่น ดัชนีการแตก่วน ค่าความต้านทานน้ำ ค่าความต้านทานแรงกด โดยใช้สมการจากงานวิจัย [4]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ ตั้งแต่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min พบว่าที่ความเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติที่แข็งแรงขึ้น อาจเป็นผลมาจากพลังงานกลที่ใส่เข้าไปเพื่อทำให้เกลียวอัดเกิดการหมุนและจากการหมุนที่เพิ่มขึ้นซ้ำๆ ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นเนื่องจากทำให้ชีวมวลเกิดการเสียดสีกับพื้นผิวของเกลียวอัดและกระบอกลัด [5] และความร้อนที่เกิดขึ้นยังมีประโยชน์ทำให้ถิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักของพืชที่แข็งแรงที่สุด [6] และสารระเหยกลุ่มต่างๆ ที่อยู่ในพืชเกิดการย่อยตัวลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งได้



(ก) 52 rpm/min (ข) 60 rpm/min (ค) 72 rpm/min (ง) 90 rpm/min (จ) 120 rpm/min

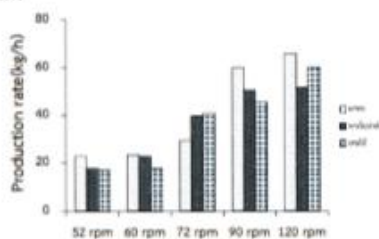
ภาพที่ 3 ชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ

28 – 30 พฤศจิกายน 2561 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง”



2. อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบเกลิยวัดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเร็วของเกลิยวัดที่เพิ่มขึ้นทำให้เกลิยวัดสามารถขนถ่ายวัสดุได้เร็วขึ้นตามความเร็วรอบที่ใช้ และในระหว่างที่วัสดุถูกเกลิยวัดขนถ่ายในช่วงต้นไปยังช่วงปลายของเกลิยวัดที่มีการลดระยะพิทซ์ลง ยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนอีกวันเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้เร็วยิ่งขึ้น โดยจากการทดสอบที่ความเร็วรอบรอบที่ 120 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่สูงที่สุดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด โดยถกอบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงสุดที่ 65.71 kg/h ทางใบปาล์ม 51.60 kg/h และเศษไม้เท่ากับ 60 kg/h และที่ความเร็วรอบรอบที่ 52 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่น้อยที่สุดโดย ถกอบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ที่ 23 kg/h ทางใบปาล์ม 17.91 kg/h และเศษไม้ 17.14 kg/h ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

1. ผลของค่าความหนาแน่น

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่า ที่ทุกความเร็วรอบเกลิยวัดมีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่า ซึ่งมากกว่า 600 kg/m^3 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ทุกความเร็วของเกลิยวัดที่ทำการทดสอบสามารถขนถ่ายวัสดุได้ในช่วงต้นและในช่วงปลายของเกลิยวัดที่มีการลดระยะพิทซ์ลงยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนอีกวันเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้ดีและมีความหนาแน่นเพิ่มยิ่งขึ้น โดยที่ความเร็วรอบเกลิยวัดที่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 870.16, 1,024.08, 1,088.26 และ 1,131.65 kg/m^3 ตามลำดับโดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5(ก) [7]

2. ผลของค่าดัชนีการแตก่วน

การทดสอบดัชนีการแตก่วนของเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 60-95% ซึ่งค่าดัชนีการแตก่วนจะแสดงถึงคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีค่าการแตก่วนน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย และถ้ามีค่าดัชนีการแตก่วนมากก็จะส่งผลให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแน่น มีความแข็งแรงมาก [8] จากการทดสอบปรับความเร็วรอบเกลิยวัดพบว่าที่ความเร็วรอบเกลิยวัดที่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min ให้ค่าดัชนีการแตก่วนเฉลี่ยเท่ากับ 87.81%, 84.88%, 83.13%, 95.30% และ 94.17% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ทุกค่าอาจเป็นผลมาจาก ลิกนิน และสารระเหยกลุ่มต่างๆ ที่อยู่ในตัววัสดุได้รับความร้อนพอที่จะทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเนื้อชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 5(ข)

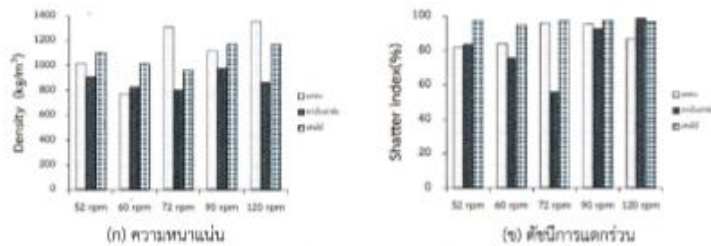


3. ผลของค่าความต้านทานแรงกด

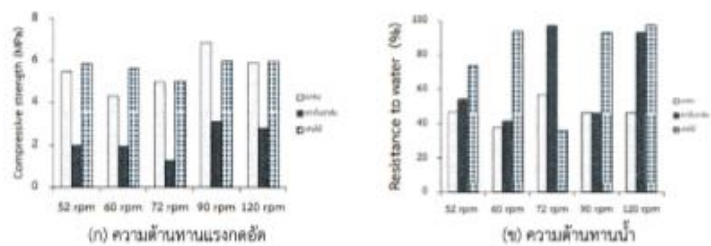
จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดอัดจากการปรับความเร็วรอบเกียร์ของซีมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 4.44, 3.95, 3.76, 5.31 และ 4.89 MPa ในทุกความเร็วรอบเศษไม่มีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่มากที่สุดในทุกค่ารอบวินที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min มีค่าน้อยกว่าเกลือเล็กน้อยและทางใบปาล์มมีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่ต่ำที่สุดในทุกความเร็วรอบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัววัสดุมีค่าความชื้นที่ยังหลงเหลืออยู่ทำให้ไปทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค [7] โดยที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6(ก)

4. ผลของค่าความต้านทานน้ำ


จากการทดสอบค่าความต้านทานน้ำจากการปรับความเร็วรอบเกียร์อัดของซีมวลทั้ง 3 ชนิดพบว่าที่ความเร็วรอบที่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 58.17%, 57.71%, 63.34%, 61.84% และ 79.12% ในทุกความเร็วรอบเศษไม่มีค่าความต้านทานน้ำที่มากที่สุดจากทั้งหมด 3 ชนิด และมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละความเร็วรอบ โดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดของซีมวลทั้ง 3 ชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากซีมวลสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดีจนทำให้เกิดการลดช่องว่างของรูพรุนที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6(ข)



ภาพที่ 5 คุณสมบัติความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วน



ภาพที่ 6 คุณสมบัติความต้านทานแรงกดอัดและความต้านทานน้ำ



การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11
The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference

77

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบปรับความเร็วรอบเกียร์วัดเพื่อศึกษาอัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แกลบ ทา่งใบปาล์ม และเศษไม้ พบว่าจากพลังงานกลที่ใส่เข้าไปให้เกียร์วัดเกิดการหมุนทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อนขึ้นไปทำให้ลิ้นที่เป็นส่วนประกอบหลักอ่อนตัวลงสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งจนสามารถขึ้นรูปได้ และในความเร็วของเกียร์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการบีบอัดที่มากขึ้นและมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกียร์วัดยังสามารถชนด้วยวัสดุได้เร็วขึ้น ดังนั้นจากการทดสอบจึงทำให้ทราบว่าความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่าอัตราการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด จากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min เท่ากับ 19.35, 21.42, 36.63, 52.05 และ 59.10 kg/h ซึ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเกียร์วัด ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยค่าความหนาแน่น ค่าการแตก่วน ค่าความต้านแรงกดอัด และค่าความต้านทานน้ำ ยังให้ค่าเฉลี่ยของทุกความเร็วรอบที่เป็นไปได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min จะได้คุณสมบัติทางกายภาพ อัตราการผลิต และลักษณะทางกายภาพของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกๆค่า

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) งบประมาณประจำปี 2561 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร งบประมาณประจำปี 2561

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). "แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)
- [2] กระทรวงสาธารณสุข (2557). ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://envoc.dcc.moph.go.th/contents/View/210>, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/03/2561.
- [3] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บทเรียนบทเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.
- [4] ภาสินี ลาดลา (2561). ผลกระทบเทคนิคการอุ่นชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง. การประชุม วิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, จังหวัดระยอง
- [5] Food Extrusion. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.
- [6] ลิกนิน (Lignin). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_1/more/lignin_1.php เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

28 – 30 พฤศจิกายน 2561 มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ "รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน สานพลังปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"

ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (ต่อ)



การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11

The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference




78

[7] Nalladurai Kaliyan and Vance Morey R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products, biomass and bioenergy, vol. 33(2009), October 2008, pp. 337 – 359.

[8] สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี, ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันคือสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา file:///C:/Users/admin/Downloads/75830-Article%20Text-181073-1-10-20170127.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

28 – 30 พฤศจิกายน 2561 มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง”

ภาพผนวกที่ 16 การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (ต่อ)

ขอมอบเกียรติบัตรนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

**ภานี ลาดลา ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์
 ธีรพร ไชยญาติ และเสมอขวัญ ตันติกุล**

บทความเรื่อง


“ผลการปรับความเร็วเกยอ้อมที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแห้ง”


ได้เข้าร่วมการนำเสนอบทความ


งานประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

ระหว่างวันที่ 28 – 30 พฤศจิกายน 2561

ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

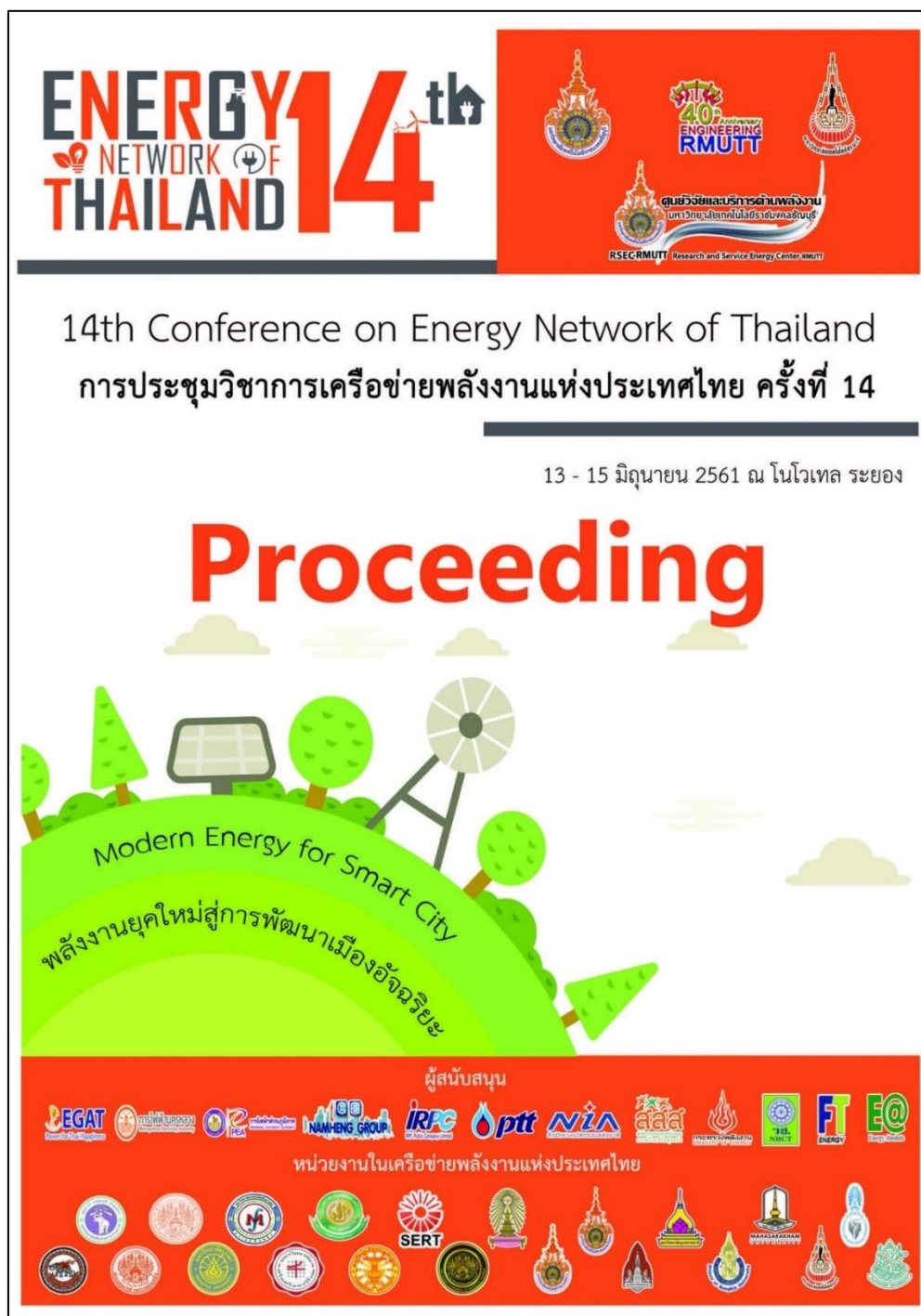

 รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล
 อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ


 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ไรยรินทร์
 นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย


 นายมนตรี ชาลีเครือ
 นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ

ภาพผนวกที่ 16 ประกาศนียบัตรการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (ต่อ)

2. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 วันที่ 13-15 มิถุนายน พ.ศ.2561
 “พลังงานยุคใหม่สู่การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ” ณ โนโวเทล ระยอง



ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14

การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหมูโดยใช้เถ้ากานมะพร้าวร่วมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	808
การศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 3 kWp เพื่อรองรับระบบโซลาร์เซลล์สำหรับเมืองไทย	815
.....	815
การออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราชการานโบลสำหรับระบบผลิตน้ำร้อน	822
การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหมูโดยใช้เถ้าไม้ร่วมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	826
การใช้ประโยชน์เถ้าจากสถาบันเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล.....	833
คู่มือแห่งรังสีอาทิตย์แบบความร้อนหมุนเวียนตามธรรมชาติ	841
การศึกษาและออกแบบวงจรควบคุมการจ่ายแรงดันต่อฮีตติ้งเอลด์เชิงเพสซิวไดโอดโปรตรอนแลกเปลี่ยนแบบแปรผัน ขนาด 1.2 kW.....	847
การประเมินสมรรถนะทางวิศวกรรมเชิงปฏิบัติของเมื่อใช้ปั๊มน้ำจืดจากเครื่องสูบน้ำชนิดเคลื่อนที่.....	852
การผลิตถ่านอินทรีย์จากถ่านยูคาลิปตัสและที่ทิ้งจากขยะของอินทรีย์ในรูปถ่านในบ่อน้ำ	857
ผลกระทบของไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วต่อสมรรถนะและคุณสมบัติการเผาไหม้ ของเครื่องยนต์ดีเซลคู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสารประกอบคาร์บอน	863
กำลังอินทรีย์.....	863
การจัดการทางอากาศและการออกแบบเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบถาวรร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับผลิตภัณฑ์ปลา	870
การศึกษาสมบัติทางจุลโครงสร้างและทางแสงของฟิล์มบางสีกาโนอินทรีย์ออกไซด์ที่เชื่อมด้วยโพลีเมอร์ สำหรับการประยุกต์ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอโรฟสไกต์.....	879
ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโรงงานในประเทศไทย	886
การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพระบบเปิดแบบไม่มีอากาศคิดแปลงและโรงไฟฟ้า	889
สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอินทรีย์เมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติ.....	893
การสังเคราะห์ฟิล์มบางซิลิคอนสองในเมทริกซ์ของสังกะสีออกไซด์ใบบัปโพลีเมอร์จากเมทิลคลอไรด์และซิลิคอน และคุณสมบัติทางออปติคัล	899
เชิงพีชคณิต สำหรับประยุกต์ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคริสตัลไลน์.....	899
เชื้อเพลิงอินทรีย์จากผักตบชวาผสมกับชีวมวล	906
การศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตขึ้นจากการผลิตเอทานอลในจังหวัดเลย	910
การสืบสวนผลกระทบของการใช้งานส่วนที่มีต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว	917
การเพิ่มผลผลิตและความมั่นคงด้านพลังงานจากบ้านใช้พลังงานแสงอาทิตย์และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ ของโรงเรือนทำความเย็นแบบระบบ	923
และบ้านนอก.....	923
ผลกระทบเทคโนโลยีการอนุรักษ์ชีวมวลที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอินทรีย์.....	931
การพัฒนาถังเก็บลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบหลายใบสำหรับอัตราเร็วลมต่ำ	936
วิเคราะห์ผลกระทบจากความเข้มข้นของรังสีแกมมาของเครื่องกำเนิดน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบพกพา	944
ชีชีพล้างใหม่ให้มีเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์โปรติวเซอร์ในเครื่องยนต์.....	948
การพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์แบบโรงเรือนกระจกสำหรับอบแห้งปลาตากและปลาหมึกไทย	954
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและความชื้นของดิน.....	962
การผลิตเชื้อเพลิงอินทรีย์จากต้นปาล์มหมักด้วยอุณหภูมิและค่าการนำความร้อน.....	966
คุณสมบัติทางสมมูลของเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมด้วยการใช้แก๊สไฮโดรเจน.....	974

ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ต่อ)

ผลกระทบเทคนิคการอุ่นชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง
Effects of Preheating of Biomass Techniques on Physical Properties of Briquette Fuels

ภาสินี ถาดลา¹, นิกราน ทองดวง¹, ชูรัตน์ สารวิจิธา¹, เสมอขวัญ ดันศิริกุล¹ และ ณัฐวุฒิ คุชฌี^{1*}

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

* E-mail: natthawud92@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 0-533-3194, เบอร์โทรสาร: 0-533-3194

บทคัดย่อ

RE-01-176

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการอุ่นชีวมวลก่อนกระบวนการอัดแท่งที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งของเศษไม้ การศึกษาเริ่มจากการลดขนาดชีวมวลให้มีขนาดเฉลี่ยขนาด 1 mm สวมกับแป้งมันในอัตราส่วน 20% อัดแท่งด้วยเครื่องอัดแบบสกรูขนาด 3 HP ศึกษาคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างการอุ่นและไม่อุ่นชีวมวลก่อนการอัด วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ อัตราการผลิตและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นชีวมวลก่อนการอัดส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพมีค่าเพิ่มมากขึ้น ประกอบด้วย ความหนาแน่น ความต้านทานแรงกดอัด ดัชนีการแตก่วนและความต้านทานน้ำ โดยมีค่าเฉลี่ย 914.04 kg/m³, 19.52 MPa, 98.75% และ 97.88% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ได้ทำการเพิ่มอุณหภูมิซึ่งมีค่าเฉลี่ย 852.40 kg/m³, 11.42 MPa, 96.87% และ 93.02% ตามลำดับ ที่สำคัญส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 2 เท่า ของการผลิตแบบดั้งเดิม การใช้เทคนิคการอุ่นชีวมวลก่อนการอัดสามารถนำไปใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในระดับครัวเรือน ชุมชน วิทยาลัยชุมชน และอุตสาหกรรม

คำหลัก: ชีวมวล, เชื้อเพลิงอัดแท่ง, เศษไม้, เครื่องอัดแท่ง

Abstract

The purpose of this study effects of pre-heating before the biomass briquetting to affect properties of the fuel briquettes form wood chips. The production process was started from reducing the biomass average 1 mm mixed cassava starch in ratio 20% by weight of biomass and extruder by screw compress machine 3 HP. Comparison properties between pre-heat and non-preheat biomass before briquetting. Analyze properties include of the physical properties, Production rates and cost production briquettes fuel. The result was found pre-heat biomass processing influence to physical properties consist of bulk density, compressive strength, shatter index, resistance to water resistant that average of 914.04 kg/m³, 19.52 MPa, 98.75% and 97.88% respectively were higher than non-preheat have average of 852.40 kg/m³, 11.42 MPa, 96.87% and 93.02% respectively. As a result, makes production rate increased have doubled in traditional production. Consequently pre-heat biomass technology can be used to produce solidified fuels at household, community, community enterprise level and industry.

Keywords: biomass, briquettes fuel, wood chip, Extruder

1. บทนำ

ปัจจุบันประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทย ร้อยละ 34 ประกอบอาชีพเกษตรกร [1] โดยในแต่ละปีจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชิงข้าวโพด เศษไม้ หลอยปาล์ม เป็นต้น เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมกำจัดทิ้งโดยการนำไปเผาเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆ แต่กลับส่งผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อม หากพิจารณาในเรื่องพลังงานแล้วชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่มีข้อจำกัด คือ มีค่าความหนาแน่นต่ำต้องมาทำการอัดแท่งก่อนซึ่งการอัดแท่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับคนไทย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน แต่มีข้อดีในเรื่องของการจับตัวกันเป็นแท่งซึ่งรูปได้ยากทำให้อัตราการผลิตต่ำและเชื้อเพลิงไม่มีคุณสมบัติเท่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มความหนาแน่นให้กับชีวมวลก่อนการนำไปใช้ด้วยเครื่องอัดแท่ง ซึ่งในปัจจุบันมีมากมายหลายประเภทเครื่องอัดแท่งความดันต่ำเป็นเครื่องอัดแท่งที่มีกำลังการผลิตไม่สูงมากเฉลี่ยที่ประมาณ 50 kg/h มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีว และเครื่องอัดแท่งชนิดต่างๆ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในชุมชนแต่มีข้อเสีย คือ ต้องมีการใช้ตัวประสานในปริมาณที่

ค่อนข้างสูงจึงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในด้านต้นทุนการผลิต และไม่สามารถอัดให้ออกมาเป็นแท่งได้ในครั้งเดียวต้องนำชีวมวลมาป้อนกลับซ้ำๆ เป็นจำนวนหลายๆ รอบจึงจะทำให้ชีวมวลจับตัวกันเป็นแท่งที่ยังส่งผลให้กระบวนการอัดแท่งมีความยุ่งยาก มีเช่นนั้นต้องมีการนำตัวประสานมาใช้เพื่อช่วยให้เกิดการยึดเกาะในปริมาณที่สูง ซึ่งอาจจะส่งผลถึงต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น และอีกประการ คือ อาจเป็นผลเนื่องมาจากขณะที่ทำการอัดอุณหภูมิในการอัดไม่สูงพอที่จะทำให้ถิกขึ้นอ่อนตัว จนทำให้ชีวมวลยึดเกาะกันได้ดังนั้น ในวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิก่อนกระบวนการอัดแท่งที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยมีอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีแนวคิดในการเพิ่มชุดอุ่นเพื่อเพิ่มความร้อนให้ชีวมวลก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งเพื่อให้ถิกขึ้นในการอ่อนตัวก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง ให้ชีวมวลมีการยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้นและสามารถออกมาเป็นแท่งได้ง่าย และยังสามารถใช้ผลิตถ่านอัดแท่งร่วมกับการผลิตชีวมวลอัดแท่งได้

ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ต่อ)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่น

เครื่องอัดแท่งเป็นเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้แก่วัสดุ อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเผาไหม้และลดปัญหาฝุ่นที่จับกับและการขนส่ง โดยสามารถแบ่งตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 เทคโนโลยี คือ 1) เทคโนโลยีการอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดเวลาใช้อุณหภูมิประมาณ 350 °C เมื่อวัสดุได้รับความร้อนเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดให้เนื้อวัสดุเข้าหากันและสามารถอัดเกาะเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน 2) เทคโนโลยีการอัดเย็น เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวด้วยความร้อน มี 2 กระบวนการ คือ 1) การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายมีการใช้พลังงานต่ำ ต้องมีการนำวัสดุมาผสมกับตัวประสานและน้ำ ใช้แรงอัดสูง 2) การอัดเย็นแบบไม่ต้องใช้ตัวประสาน แต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเมนต์ของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อน ซึ่งต้องมีการใช้ออกเดอรัที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะ ไม่ต้องผสมตัวประสาน

3. วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

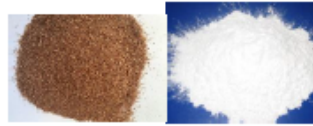
1. เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นเครื่องแบบสกรู ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ขนาด 3 HP รอบการทำงานสูงสุด 1,440 rpm/min ส่งกำลังด้วยสายพานจำนวน 2 เส้น มวลยี่มีอัตราค 10:1 แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบสกรู

3.2 ชีวมวลและวัสดุตัวประสาน

1) เศษไม้ เป็นเศษไม้เหลือใช้ทางการเกษตร นำมาย่อยให้มีขนาดเฉลี่ย 1 mm มีความหนาแน่นเฉลี่ย 627.18 kg/m³ ความชื้นเฉลี่ย 10-15% และค่าความร้อนเฉลี่ย 10.37 MJ/kg 2) แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแป้งมันที่ขายตามท้องตลาด มีความหนาแน่นเฉลี่ย 250 kg/m³ ราคาเฉลี่ยที่ 30 baht/kg



รูปที่ 2 เศษไม้และแป้งมัน

3.3 เครื่องมือวัด

เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น DT-8828 วัดอุณหภูมิในช่วง -50-1,000°C ความละเอียด 0.1°C การวัดความชื้นใช้เครื่องวัดความชื้น รุ่น MD-7822 สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8-30% น้ำหนักชีวมวลใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล เป็นผลิตภัณฑ์ของ CST รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 kg x 1 g อุณหภูมิใช้งานที่ 5-40°C การวิเคราะห์ความหนาแน่นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดมิติและคำนวณเชิงปริมาตรเทียบกับน้ำหนักชีวมวล การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัด ใช้เครื่องวัดแบบไฮดรอลิกซ์อำนาจการอัดแบบดิจิทัล เครื่องวัดชนิดนี้การแคทรุ่นใช้เครื่องวัดแบบชนิดหมุนตามมาตรฐาน ASAC 5269.53 หมุนที่ความเร็วรอบ 50 rpm/min เป็นระยะเวลา 10 นาที ส่วนการวัดความต้านทานน้ำ นำเอาเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัดได้เข้าน้ำ 30 วินาที วัดน้ำหนักก่อนหลังโดยคำนวณตามสมการ 3-5 [3, 4]

3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดสอบการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งใช้เศษไม้คือตัวประสานในอัตราส่วน 100% : 20% และอุณหภูมิภายหลังได้บรรยากาศให้มีอุณหภูมิ 70 °C ก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง จากนั้นทำการทดสอบศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิและไม่เพิ่มอุณหภูมิ

3.4.2 ขั้นตอนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

1) นำเศษไม้มาทำการลดขนาดด้วยเครื่องหินย่อยขนาดเล็ก MJU-EB3 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 1.5 HP ขนาดตะแกรง 10 mm และนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 mm 2) นำมาผสมกับตัวประสานในอัตราส่วนชีวมวลหลัก : ตัวประสาน (100% : 20%) ก่อนนำไปเข้าเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงทำการวัดอุณหภูมิของชีวมวล เกียววัด กระบอกอัด และทำการจับเวลา 3) เมื่อชีวมวลจับตัวกันเป็นแท่งทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง เกียววัด กระบอกอัด และเวลาที่ใช้ เพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิที่ชีวมวลสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่ง นำไปลดความชื้นให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน (ความชื้นไม่ควรเกิน 10-15%) 4) โดยนำไปตากไว้ในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ทดสอบนำเศษไม้มาอุ่นที่อุณหภูมิ 70 °C ก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งทำการจับเวลานำไปลดความชื้น 5) นำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งสมการที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติมีดังนี้

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 [2]

$$P = \frac{m}{\pi r^2 h} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/m^3)
 m คือ มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg)
 r คือ รัศมีของแท่งเชื้อเพลิง (m)
 h คือ ความยาวของแท่งเชื้อเพลิง (m)

ความต้านทานแรงกด คือความต้านของเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 ในแนวตั้ง ประเมินได้จากสมการที่ 2

$$\sigma = \frac{F_c}{A_c} \quad (2)$$

เมื่อ σ คือ ความต้านทานแรงกดอัด (kg/cm^2)
 F_c คือ ขนาดแรงกดอัด (kg)
 A_c คือ พื้นที่หน้าตัดที่ใช้รับแรงกดอัด (cm^2)

ดัชนีการแตก่วน คือการวัดความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัด
 แท่งเมื่อมีการนำไปใช้งานประเมินได้จากสมการที่ 3 [3]

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{W_A - W_B}{W_A} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W_A คือ น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบ
 W_B คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังทดสอบ

สุดท้ายความต้านทานบีบ สามารถประเมินได้จากสมการที่
 4 และ 5 [4]


$$\text{Water gained by briquette (\%)} = \frac{W_A - W_B}{W_A} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Water resistance (\%)} = 100 - \text{Water gained} \quad (5)$$

เมื่อ W_A คือ น้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนแช่น้ำ
 W_B คือ น้ำหนักของแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังแช่น้ำ

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

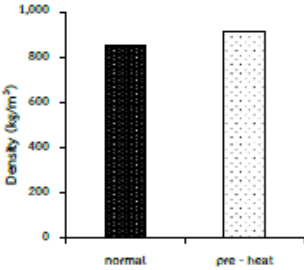
4.1 ผลกระทบอุณหภูมิต่อลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัดไม่ผ่านการเพิ่มอุณหภูมิก่อนการ
 อัดจะมีลักษณะเนื้อสีโทนน้ำตาล ผิวเรียบ มีรอยแตกเพียงเล็กน้อย
 วัสดุเกาะกันค่อนข้างดี และเป็นทรงกระบอกตรงตลอดแท่ง และใช้
 เวลาในการอัดนานวนข้ามมากกว่า 9-10 รอบ ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่
 ทำการอุ่นชีวมวลก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งมีลักษณะเนื้อสีโทนน้ำ
 ดำแดงเข้มออกดำ ลักษณะผิวมันวาว ไม่มีรอยแตก วัสดุเกาะกันดี
 และเป็นทรงกระบอกตรงตลอดแท่ง ใช้เวลาในการอัดชีวมวลวนซ้ำ
 เฉลี่ยเป็น 3 รอบ เชื้อเพลิงก็สามารถเป็นแท่งได้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ซ้าย) ชีวมวลที่ไม่ผ่านการอุ่นก่อนอัดแท่ง (ขวา) ชีวมวลที่อุ่นก่อนอัดแท่ง

4.2 การประเมินความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
 วิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งระหว่างชีวมวลที่ไม่ผ่านการอุ่นก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง และชีวมวลที่ทำการอุ่นก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง ผลที่ได้พบว่า ชีวมวลที่ทำการอุ่นก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งนั้นมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่า โดยมีค่าความหนาแน่นที่ 914.04 และ 852.40 kg/m^3 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีความสูงกว่ามาตรฐานเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 600 kg/m^3 การเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากผิวแปรทางด้านอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการอัดแท่งซึ่งมีค่าเฉลี่ย 70°C การอัดที่ผ่านการอุ่นชีวมวลเปรียบเสมือนการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้ถึกป็นเกิดการอ่อนตัวและทำหน้าที่ยึดประสานกันของเนื้อชีวมวลได้เร็วและดียิ่งขึ้น และอุณหภูมิยังส่งผลให้ไฟเบอร์ที่ละลายน้ำในตัวของวัสดุละลายส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เนื้อชีวมวลยึดเกาะกันและส่งผลดีต่อการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล [5]

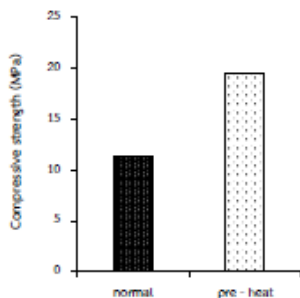
4.3 การประเมินความต้านทานแรงกด
 การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดของชีวมวลที่ไม่ผ่านการอุ่น กับชีวมวลที่ทำการอุ่นก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่ง มีค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยอยู่ที่ 11.42 และ 19.52 MPa ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งชีวมวลที่ไม่ผ่านการอุ่นมีค่าความต้านทานแรงกดค่าเป็นผลมาจากความชื้นที่เหลืออยู่ในแท่งเชื้อเพลิง ส่งผลให้ความชื้นไปทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค ซึ่งมีความต้านทานแรงกดค่าและเกิดความเปราะได้ง่าย [6]



ประเภท	ความหนาแน่น (kg/m^3)
normal	~850
pre-heat	~910

รูปที่ 4 ความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

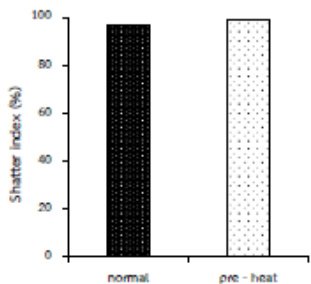
ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ต่อ)



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงกด

4.4 การประเมินดัชนีการแตกร่วน

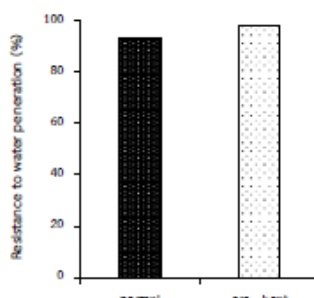
เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณสมบัติการแตกร่วนที่สูงจะส่งผลให้มีความทนทานต่อการนำไปใช้งาน และการขนส่งของชีวมวล โดยชีวมวลที่ทำการอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งมีคุณสมบัติการแตกร่วนที่ดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 98.75% ในขณะที่แท่งชีวมวลที่ไม่ผ่านการอัดมีค่าดัชนีการแตกร่วนที่ 96.87% ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเกิดจาก ไฟเบอร์ ลิกนิน และสารระเหยกลุ่มอย่างเหนียวต่างๆ ที่มีอยู่ภายในตัววัสดุได้รับความร้อนไม่สูงพอที่จะทำให้ ไฟเบอร์ และ ลิกนินอ่อนตัวจนเกิดแรงยึดเกาะระหว่างเนื้อชีวมวลที่สูงพอ โดยทั่วไปดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากงานวิจัยต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 60-95% [7]



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบดัชนีการแตกร่วน

4.5 การประเมินความต้านทานน้ำ

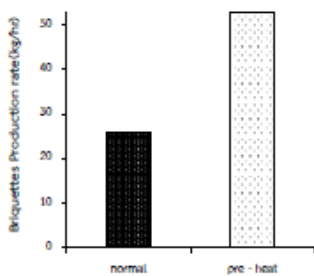
การทดสอบความต้านทานน้ำของชีวมวลอัดแท่ง พบว่าความต้านทานน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งกับชีวมวลที่ทำการอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งคือ 93.20% และ 97.88% ดังแสดงรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าชีวมวลที่ทำการอัดแท่งมีความต้านทานน้ำโดยเฉลี่ยสูงกว่าซึ่งอาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สามารถทำให้ชีวมวลยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น และสามารถลดช่องว่างของพรุนที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำได้น้อยลง ทำให้มีความต้านทานน้ำสูงขึ้น



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบความต้านทานน้ำ

4.6 การประเมินอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

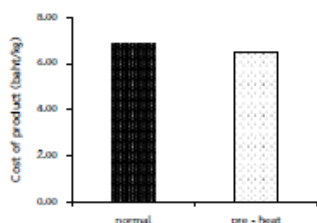
การเปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างการผลิตชีวมวลที่ไม่ผ่านการอัดแท่งก่อนการอัดแท่ง และชีวมวลที่อัดแท่งก่อนการอัดแท่ง พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการอัดแท่งก่อนการอัดแท่งอยู่ที่ 26.074 kg/h และการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการอัดแท่งก่อนการอัดแท่งอยู่ที่ 52.857 kg/h ซึ่งเห็นได้ว่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการอัดแท่งสูงกว่าถึง 2 เท่า ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราการผลิต

4.7 การประเมินต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การประเมินต้นทุนการผลิตโดยจะทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ผ่านการอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งกับชีวมวลที่ทำการอัดแท่งก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งพบว่าต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 6.89 baht/kg และ 6.52 baht/kg ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5. สรุปผลการศึกษา

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความหนาแน่น ค่าความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตก่วน และค่าความต้านทานน้ำ ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับไม่ทำการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,036 kg/m³ และ 952 kg/m³, 8.93 MPa และ 8.47 MPa, 68% และ 82%, 68% และ 82% การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ระยะเวลาในการผลิตลดลงถึง 24 นาที คิดเป็นระยะเวลาที่เร็วขึ้นเกือบ 3 เท่า ของเวลาที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ทำการอุ่น และอัตราการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สูงเท่ากับ 52.85 kg/h คิดเป็นกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า ส่งผลให้ต้นทุนได้ง่ายกว่าชีวมวลที่ไม่ผ่านการอุ่น ในส่วนของต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบอุ่นชีวมวลและไม่อุ่นชีวมวลมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

การใช้เทคนิคการเพิ่มอุณหภูมิสำหรับการอัดแท่งเชื้อเพลิงสามารถต่อยอดการพัฒนาชุดอุ่นชีวมวลโดยนำความร้อนจากชีวมวลมาเป็นแหล่งกำเนิดให้ความร้อน หรือความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิต เพื่อใช้ทดแทนเครื่องทำความร้อนจากการใช้ไฟฟ้ากับการอัดเชื้อเพลิงเขียวได้ [8] และควรมีการส่งเสริมขยายองค์ความรู้สู่ชุมชน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาคุณภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) งบประมาณประจำปี 2561 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตรงบประมาณประจำปี 2561

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงสาธารณสุข (2557). ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรในประเทศไทยระบบออนไลน์, แหล่งที่มา <http://envoccc.ddc.moph.go.th/contents/view/210>, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/03/2561.

[2] Nat Thuchayapong and Weeranut Intagun. (2015). The physical of sawdust briquette and the thermal performance of biomass briquette stove, Research and knowledge, vol. 2(1), December 2015, pp. 63-64

[3] Rajaseenivasan T., Srinivasan V., Syed Mohamed Qadir G. and Srihar K. (2016). An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder, Alexandria Engineering Journal, vol.55, July 2016, pp. 2833 – 2838.

[4] Sengar S. H., Mohod A. G., Khandetod Y. P., Patil S. S., and Chendake A. D. (2012). Performance of Briquetting Machine for Briquette Fuel, International Journal of Energy Engineering, vol.2(1), pp. 28 – 34.

[5] Nalladurai Kaliyan and Vance Morey R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products, biomass and bioenergy, vol. 33(2009), October 2008, pp. 337 – 359.

[6] Rajaseenivasan T., Srinivasan V., Syed Mohamed Qadir G. and Srihar K. (2016). An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder, Alexandria Engineering Journal, vol. 55(2016), July 2016, pp. 2833–2838.

[7] Rukayya L Muszu and Julia A. Stegemann. (2 010). Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs, Fuel Processing Technology, vol. 133 (2015), February 2015, pp. 137–145.

[8] Ahiduzzaman Md. and Sadrul Islam A.K.M. (2 013). Development of biomass stove for heating up die barrel of rice husk briquette machine, Procedia Engineering, vol. 56 (2013), pp. 777 – 781.

ภาพผนวกที่ 17 การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ต่อ)

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
14th Conference on Energy Network of Thailand

ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

ภาสินี ลาตลา, นิกราน หอมดวง, ชูรัตน์ ธารารักษ์, เสมอขวัญ ต้นติกุล
 และ ณัฐวุฒิ คุษฎี

ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานวิจัย “ภาคบรรยาย”

ผลกระทบเทคนิคการอุ่นชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง

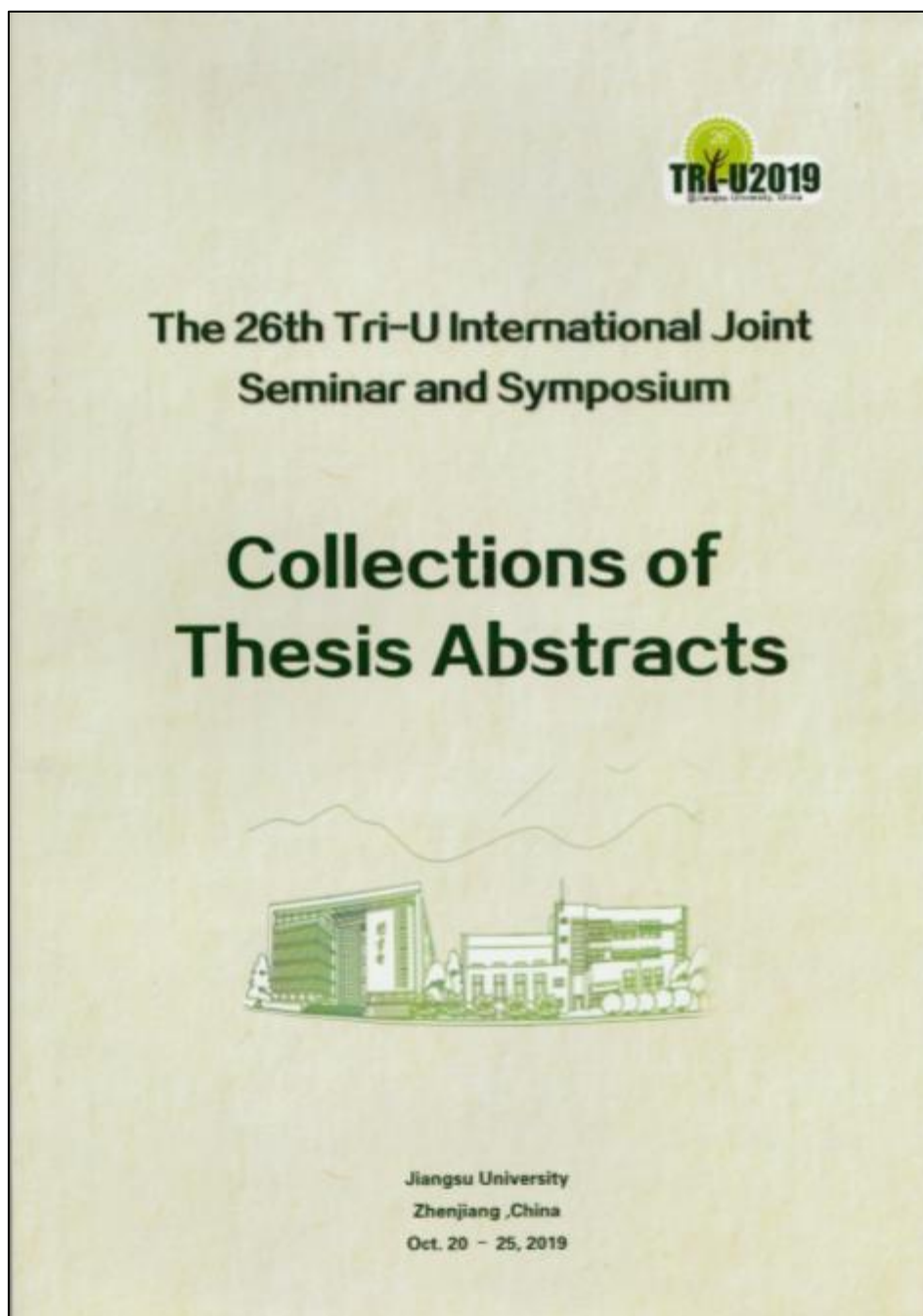
ระหว่างวันที่ 13 - 15 มิถุนายน พ.ศ. 2561
 ณ โรงแรมโมโนไวท์เทล ริมทะเล จังหวัดระยอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง
 คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชย์ โรยรินทร์
 ประธานกรรมการฝ่ายวิชาการ

ภาพผนวกที่ 17 ประกาศนียบัตรการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ต่อ)

3. The 26th Tri-U international Joint Seminar & Symposium October 20-25 2019
Jiangsu University, Zhenjiang, China



ภาพผนวกที่ 18 The 26th Tri-U international Joint Seminar and Symposium

13.2 Keynote speech – Chalumpol Trairak (MTU)	14.2 Kaijie Yang (WU)	15.2 Lao Yuchang (GU)
Solar Dryer Efficiency of The Total Drying Potential of Mulberry Leaves	Short-term Traffic Flow Forecasting Method using Spatial-temporal Relationship	The effect of the implementation of the Belt and Road Initiative on international education in Chinese universities- take Thai students as an example
13.3 Pasinee Ladla (MTU) Influence of types and preheating agricultural waste on physical properties briquette fuel	14.3 Pimphaporn Yothampapong (CMU) A Short Review of Emerging Technologies in Wildfire Management	15.3 Zhao Pengcheng (GU) Building green "The Belt and Road" with Green Finance
13.4 Qiu Yihan (GU)	14.4 Hinano Hoshi (MIT)	15.4 Chen Xujin (JSU) The strategy of International Talents Cultivation Oriented to the Belt and Road Initiative: A Case Study on Jiangsu University
Energy use of china	Location Analysis of the Singing-Sand Particles Using Neural Networks	15.5 Su Xiaoting (GU) Reform of Translation Teaching in Colleges and Universities under the Background of "The Belt and Road" -- Taking Guangxi University as an Example
13.5 Yang Lixin (JSU) Low-carbon City Construction and its Prospectives: A Case Study of Zhenjiang	14.5 Narissara Inimit (CMU) Ma CMU, The solution to the stray dog in Chiang Mai University	15.6 Sun Wenzhi (GU) The Chain Effect of China-US Trade War on China-ASEAN FDI—Based on the Perspective of the Belt and Road Initiative
13.6 Mewadee Srisophon (MTU) Temperature Distribution and Yields of Biochar Production Using 50-Liter Kiln with Different Core Puncture Row Numbers		
13.7 Sanhaji (IPB)		

Influence of types and preheating agricultural waste on physical properties briquette fuel

Pasinee Ladla¹, Natthawud Dussadee¹, Nigran Homdoug^{1*}, Churat Thararux¹,
 Rameshprabu Ramaraj¹ and Samerkhwan Tantikul²

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

² Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

*e-mail: nigranghd@gmail.com

Abstract: Management by increasing the density of biomass that can be to produce briquette fuel in the heat process. The problems of production biomass briquette fuel were decomposed biomass structure and release extractive. Major parameter was temperature control before extruded which that increase production rate. The objective of this study was focused on types and preheat before extrusion. The biomass briquette was used oil palm fronds, wood chip and rice husk the binder was used cassava starch of 20% by weight. The screw extruder was used in experiment, single phase, 3 kW of motor. Data analysis were calculated bulk density, shatter index, compressive strength, resistance to water and production rate. The result was found that, the optimum temperature preheat before extruded was of more than 70 °C in oil palm fronds, wood chip and rice husk. The use oil palm fronds in produce briquette fuel was high production rate. The physical properties briquette fuel was qualified in the standard of Thailand community briquette fuel. The density was obtained 600 - 800 kg/m³, meanwhile the shatter index, compressive strength and resistance to water in a range of 80 - 95%.

Key words: Preheating biomass, Agricultural waste, Briquette fuel, Physical briquette

1. Introduction

Energy sources can be classified into two groups, namely renewable and non-renewable by (Kuti, 2007). Renewable energy sources, in particular, biomass energy was expected to be of great importance to countries with an agricultural basis (Vu et al., 2018). Thailand is an agricultural-industrial country that was delivered many agricultural products to the global market (Ramaraj and Unpaprom, 2019a,b). In every year after harvesting, there will be a lot of agricultural waste, most farmers have taken the wrong disposal, such as burning or releasing as garbage.

Development and use of agricultural waste to produce energy in the community will create sustainability for the community in the future. But the problem of creating energy production machines is expensive and difficult to use in the community. Biomass briquette machine is a technology that is close to the people in the ASEAN countries. Normally, increasing the densification of agricultural waste required use high pressure technology while the charcoal was used low pressure technology. Due to the use of high-pressure briquetting machine with high prices and energy consumption, trying to modify a low-pressure briquetting machine to be able to agricultural waste is a challenge.

Therefore, this research project would like to propose preheat technique to agricultural waste before biomass briquetted. Biomass preheating was resulted to start decompose, high elasticity and some parts begin to evaporate moisture and volatile, it will make the adhesion complete and increase production rate. Therefore, in this research was focused to study the effects of preheat temperature and biomass types on physical characteristics of briquette biomass. The benefits will affect the reduction of energy consumption in biomass briquetting machine moreover the community can be used more easily.

2. Materials and Methods

2.1 Low-pressure briquetting machine

The biomass briquetting machine was used low-pressure briquetting machine with screw-press type. Normally, this machine was used with charcoal briquetting. Modification was start input the preheat biomass on the top and that was adjusted

temperate in a range of 40-120 °C The electric motor of 3 kW, 1,440 rpm, deliver power with 3 V-belt and use 5:1 pulley ratio. The maximum charcoal briquette production rate observed was 138 kg/h which is shown in Fig. 1.

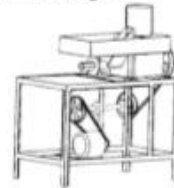


Fig. 1. Low-pressure briquetting machine

2.2 Raw materials and Preparation

The agricultural waste in this work was used oil palm fronds, rice husk and wood chip are shown in Fig. 2. The oil palm fronds (OP) used derived from Energy Research Center, Maejo University, Chiang Mai and the rice husk (RH) and wood chip (WC) was selected from farmers around the Maejo University within North of Thailand country. Preparation of all biomass was started from reduce the size of oil palm fronds, rice husk and wood chip to a smaller size with biomass crusher machine, after that keep all biomass to dry with solar dryer about 3-5 day, keep dry biomass to grind again with biomass powder crusher machine, select biomass size with a sieve of 1-3 mm. The physical and chemical of three biomass was checked in previously work by (Rattanaphaiboon et al., 2018).



Fig. 2. Raw materials

The binder of biomass briquetting production was used the

cassava starch with fixed 20% of all raw material, the proximate and ultimate analysis are shown in research by (Ladla et al., 2018)

2.3 Preheat and non-preheat of biomass briquetting

Table 1. and Table 2. Shown comparison of preheat and non-preheat temperature on duration time with ability to briquetted biomass of three biomasses. The use of preheat biomass was effected to reduce duration time briquette production. Non-preheat was obtained duration time in a range of 7-38 minute while preheat mode that use between of 5-18 minute. Reducing duration time was resulted to high briquette biomass production rate.

Table 1. Time production of non-preheat biomass.

Types	Temp _(start) (°C)	Temp _(finish) (°C)	Temp _{sc} (°C)	Temp _{ps} (°C)	Time (min)
OP	27.80	43.90	46.30	50.40	7.52
RH	26.30	63.20	60.20	76.00	38.25
WC	27.30	68.30	59.60	73.60	22.25

Table 2. Time production of preheat biomass.

Types	Temp _(start) (°C)	Temp _(finish) (°C)	Temp _{sc} (°C)	Temp _{ps} (°C)	Time (min)
OP	70	44.60	44.80	54.10	5.53
RH	70	57.20	65.10	66.10	18.32
WC	70	62.40	63.40	64.30	9.20

2.4 Physical properties of briquette testing

Bulk density is property masses of divided by the total volume of briquette biomass. The mass of biomass briquettes was determined using a digital weighing balance, while the average diameters and heights of the biomass briquettes were taken at 2 different positions using calipers to determine the volume. The volume of the doughnut shaped briquettes was determined by subtracting the outer volume from the inner volume to obtain the actual volume of the briquettes. The bulk density of briquettes can be calculating thus:

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{Weight of Briquette}}{\text{Volume of Briquette}} \quad (1)$$

The Shatter index is durability of briquette biomass that was determined in accordance with the Shattered index described by (Chaiklangmuang et al., 2018) The percentage weight loss of briquettes biomass was expressed as a percentage of the initial mass of the material remaining on the solid base, while the shatter resistance was obtained by subtracting the percentage weight loss from 100. The research was analyzed by using the drop shatter test method according to ASTM D 3038. It can be calculating as follow (Sengar et al., 2012)

$$L_w (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

$$S_i (\%) = 100 - L_w (\%) \quad (3)$$

When L_w is percentage of weight loss (%) and W_1 , W_2 is weight of briquettes biomass before and after shattering process (g). The S_i is shatter index (%)

The compressive strength is used for testing the hardness of briquette biomass. Experiment was analyzed with using ASTM D 162. By (Stefan and Hans et al., 2014)

$$\sigma_c = \frac{P_s}{A_s} \quad (4)$$

when σ_c is compressive stress (N) and P_s is compressive load (MPa) and A_s is area of X section.

The Resistance to water penetration that start from record weigh of the briquette biomass before, next take an example of briquette biomass was immersed in water maintained at the atmospheric temperature for 30 s after that weigh of briquette biomass again. Determine the percentage of water resistance to penetration with using equation thus by (Tayade et al., 2010)

$$W_w (\%) = \frac{W_d - W_b}{W_d} \times 100 \quad (5)$$

$$RW (\%) = 100 - W_w (\%) \quad (6)$$

When W_w is percentage of the weight of water absorb in briquette biomass (%) W_d and W_b is weight of water absorb in briquette biomass before and after water resistance process and RW is water resistance of briquette biomass (%).

3 Result and Discussion

3.1 Physical characteristics of briquette biomass

Fig.3 shown the comparison of physical characteristics of three briquette biomass with preheat and non-preheat. The briquette biomass was arranged from left to right, consisting of oil palm fronds, rice husk and wood chip. It was found that, the surface of briquette biomass with preheat was resulted to smooth and uniform high than non-preheat. Preheating biomass before extruded was encouraged increase the temperature in compression cylinder and lead to increase the bonding of structure biomass. The color of briquette biomass of preheat was darker. Observation types biomass, the wood chip was complete forming high than oil palm fronds and rice straw. Effect of high porosity and relaxed densities was caused main reason to poor uniform in briquette biomass.



Fig. 3. The physical characteristics of briquette biomass

3.2 Bulk density

The Fig. 4 shows effect of preheat and non-preheat of agricultural waste on the bulk density. The preheating was resulted to increase the bulk density of briquette biomass. Effect of high temperature was supported increase biomass adhesion. The wood chip and oil palm fronds were obtained bulk density more than 1,000 kg/m³ while the rice straw was achieved in a range of 850 - 920 kg/m³ in preheat and non-preheat. However, the all existing briquette biomass was high than the briquette standard.

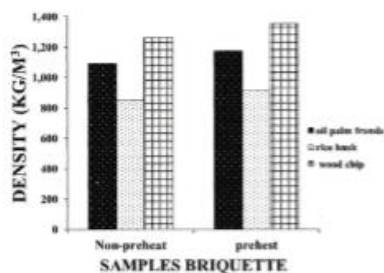


Fig. 4. Bulk density of briquette biomass

3.3 The Shatter index

Fig.5 shown the shatter index of briquette biomass with using preheat and non-preheat. The use of preheat biomass before extruding was resulted increase the shatter index. Effect of preheat was supported hemicellulose, cellulose and lignin decomposition by (Chaiklangmuang et al., 2018). In overview of experiment, the shatter index of preheat and non-preheat with similar, preheat mode was obtained 98 - 100% while non-preheat was between of 86 - 98%. Rice husk on non-preheat was minimum shatter index due to that different physical properties with oil palm fronds and wood chip.

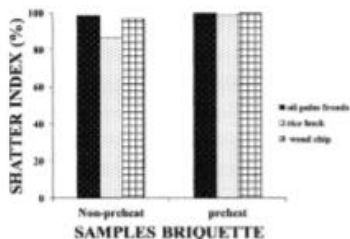


Fig. 5. Shatter index of briquette biomass

3.4 The Compressive strength

The Fig. 6 shows the compressive strength of briquette biomass on preheat and non-preheat. The use of preheat biomass before extruded was effected increases compressive strength. The wood chip was obtained maximum compressive strength while oil palm fronds was minimum. Preheat mode should make born destruction of the of bonding between particles of the briquetting fuel. Therefore, it is one reason that makes briquette biomass was brittle and broken by (Reza et al., 2014). The compressive strength on non-preheat of oil palm fronds, rice husk and wood chip was of 5.61, 11.80 and 14.42 MPa respectively while preheat biomass was of 6.57, 12.43 and 19.52 MPa.

3.5 Resistance to water penetration

Fig. 7 shown the resistance to water penetration of briquette biomass. Preheating biomass before extruded was resulted to increase resistance to water penetration. The average of resistance to water penetration in preheat mode of oil palm fronds, rice husk, and wood chip of 97.22%, 66.15% and 97.88% respectively, while non-preheat mode was of 93.21%,

46.43% and 93.20%. The oil palm fronds and wood chip were similar briquette biomass standard. Due to the rice husk was high cellulose proportion with compared to palm oil fronds and wood chip, in extruded process the cellulose was brittle and broken and lead to create a gap and water into itself. In the other side, the rice husk has low volatile, that was resulted to the adhesion of the bonding is low (Davies, 2007)

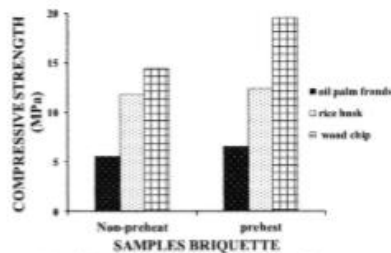


Fig. 6. Compressive strength of briquette biomass

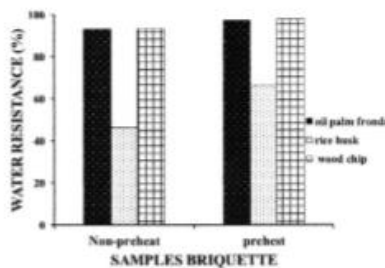


Fig. 7. Resistance to water penetration

3.6 Briquette biomass production rate

The Fig. 8 shows comparison briquette biomass production rate with using preheat and non-preheat mode. It was found that, the use of preheat before extruded biomass was resulted to increase briquette production rate. In preheat mode of oil palm fronds, rice husk and wood chip were obtained 10.85 kg/h, 3.99 kg/h and 6.52 kg/h while non-preheat mode was achieved of 7.98, 1.57 and 2.70 kg/h respectively. Comparison of biomass types, the palm oil fronds was obtained maximum briquette biomass production rate and the rice husk was of minimum.

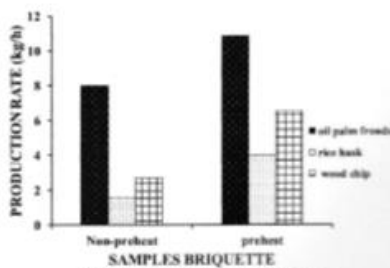


Fig. 8. Briquette biomass production rate

4. Conclusions

Preheat before extruded biomass was resulted to increase briquette biomass production rate and physical properties. At 70°C of temperature preheat can be support increase physical properties such as bulk density, shatter index, compressive strength, resistance to water penetration and production rate. The use of oil palm fronds and wood chip was appropriate for the briquette biomass production while rice husk was many disadvantages. For preheat technics before extruded biomass on oil palm fronds and wood chip can be promote and extension to community for sustainable energy development.

5. Acknowledgments

Authors would like to thanks for provided the research grand from School of Renewable Energy Maejo University "Project and development of the renewable energy potential graduates ASEAN". Fiscal 2016. The Graduate School Maejo University "Project of Development of graduate research units for agricultural innovation". Fiscal 2018, The EPP0: Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Thailand, Fiscal 2018. "Energy Research project for obtaining research funding for higher education students". Fiscal 2018. The National Research Council of Thailand (NRCT) under the Thailand-China Cooperation Program, Fiscal 2016-2019.

References

- H. Stefan and F. Hans. Emission of biomass combustion plants. [Online]. Available: www.bayan.de/ifu/Luft/emicontrol3.htm-6k.
- Reza, M.T., M.H. Uddin, J.G. Lynam and C.J. Coronella (2014). Engineered pellets from dry torrefied and HTC biochar blends. *Biomass Bioenergy*, (2014), Vol. 63, pp. 229-238.
- Kuti, O. A. (2007). Impact of charred palm kernel shell on the calorific value of composite sawdust briquette. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2007, Vol 2, pp. 62-65.
- Ladla, P., N. Dussadee, N. Homdoung, C. Thararux, S. Tantikul (2018). Effects of preheating of biomass techniques on

physical properties of briquette fuels, Proc of the 14th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT2019), 13-12 June 2018, Novotel Rayong Rim Paе Resort, Thailand.

Rattanaphaihoon, P., N. Homdoung, J. Uttarun, N. Dussadee, C. Thararux and R. Ramaraj (2018). An Analysis Energy of waste corn production with using Torrefaction process, Proc of the 25th Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2018. Faculty of Engineering Chiang Mai University, Thailand, 4-8 November 8, 2018.

Davies, R.M. and O.A. Davies (2013). Effect of briquetting process variables on hygroscopic property of water hyacinth briquettes, *Journal of. Renew Energy* 2013, [Online]. Available :<http://dx.doi.org/10.1155/2013/429230> Article ID 429230.

Ramaraj, R. and Y. Unpaprom (2019a). Optimization of pretreatment condition for ethanol production from *Cyperus difformis* by response surface methodology. *3 Biotech*, 9(6), 218.

Ramaraj, R. and Y. Unpaprom (2019b). Enzymatic hydrolysis of small-flowered nutsedge (*Cyperus difformis*) with alkaline pretreatment for bioethanol production. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 13(2), 110-120.

Sengar, S.H., A.G. Mohod, Y.P. Khandelod, S.S. Patil and A.D. Chendake (2012). Performance of briquetting machine for briquette fuel, *Int. J. Energy Eng.* 2012, Vol. 2 (1), pp. 28 - 34.

Suparin, C., S. Suwit, K. Prattana (2008). Development of fuel briquettes from biomass-lignite blends. *Chiang Mai. Journal of Science*, 35(1), 43 - 50.

Tayde, S., J. Pohare and D. M. Mahalle (2010). Physical and thermal properties of briquettes by piston press and screw press. *International Journal of Agricultural Engineering*, 2010, Vol. 3(2), pp. 223-227.

Vu, P. T., Y. Unpaprom and R. Ramaraj (2018). Impact and significance of alkaline-oxidant pretreatment on the enzymatic digestibility of *Sphenoclea zeylanica* for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 247, 125-130.



Ms. Pasinee Ladla
Graduate student in Master of Engineering,
Renewable Energy Engineering (Candidate)
School of Renewable Energy,
Maejo University



Asst.Prof.Dr. Nigran Homdoung
Vice-director, School of Renewable Energy,
Maejo University
Professional in: Biomass Engineering,
gas engine and Combustion engineering.



Assoc.Prof. Samerkhwan Tantikul
Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University
Professional in: Automotive, Mechanical and
engineering field: Agricultural Machinery.



Asst.Prof.Dr. Natthawud Dussadee
Director, School of Renewable Energy,
Maejo University.
Professional in: Agricultural Drying
Processes, Energy Conservation and
Solar energy.



Asst.Prof.Dr. Churut Thararux
School of Renewable Energy,
Maejo University.
Professional in: Agricultural Drying
Processes, Energy Conservation and
Biomass Conversion Technology



Dr. Rameshprabu Ramaraj,
School of Renewable Energy,
Maejo University
Professional in: scientific and
Biology, ecology and environmental
science and biochemical



ภาพผนวกที่ 18 The 26th Tri-U international Joint Seminar and Symposium (ต่อ)

บรรณานุกรม

- A.I saac Bamgboye and Bolufawi, S.J. 2009. Physical Characteristics of Briquettes from Guinea Corn (sorghum bi-color) Residue. (Publication from Department of Agricultural and Environmental Engineering University of Ibadan.
- AGICO GROUP.2005. Briquette production line. [Online].Available <http://www.agicosolution.com> (18 Febuary 2017).
- Banana8888. 2562. กากน้ำตาล. [Online]. Available <https://world.kapook.com/pin> (1 January 2017).
- Brooker, D.B, Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. 1992. Drying and storage grains and oilseeds. **New York, AVI publishing Co.**
- Dass. Bhajan and Jha. Pushpa. 2 0 1 5 . Biomass Characterization For Various Thermochemical Applications. **JOURNAL OF CURRENT ENGINEERING AND SCIENTIFIC RESEARCH (IJCESR)**, 2(2).
- Davies, R.M. ang Davies, O.A. 2014. Physical Characteristics of Some Biomass Briquettes. **Advanced & Applied Sciences**,2(2), 72-84.
- G. R. Shakya, I. Shakya, & แล๓ Leon, M. Augustus. 2 0 0 3 . BIOMASS BRIQUETTING OF AGRICULTURAL AND FOREST RESIDUES AND HERB WASTES IN NEPAL. . (Publication., from Energy Field of Study, Asian Institute of Technology: <https://www.researchgate.net/profile/> (4 January 2017).
- MaxTon Industrial Co., Ltd. 2015. Extrusion Briquette Maker. [Online] . Available <https://briquettesolution.com/extrusion-briquette-maker/> (7 January 2017)
- McKendry Peter. 2 0 0 2 . Energy production from biomass (part 2): conversion technologies **Bioresource Technology**, 83, (47-54).
- Monique Hoogwijk, Andre Faaij, Richard van den Broek, Goran Berndes, Dolf Gielen and Wim Turkenburg. 2 0 0 3 . Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. **Biomass & Bioenergy** , 25,(119-133).
- MURINA, HO., ODUSOTE, JK and ADELEKE, AA. 2017. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. **Appl.Sci. Environ**, 21(4), 777-782.

- Nalladurai kaliyan and R., Vance Morey. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass&Bioenergy**,33(3), 337-359.
- Qian Judy. 2016. **How to produce tapico flour?** [Online]. Available <http://cassavaprocessingmachine.over-blog.com> (14 January 2017)
- R. M. Singh. 2000. Study on Wearing of Screw of Biomass Briquetting Extruder. **Nepal Journal of Science and Technology**, 2 ,(83-86).
- Rajaseenivasan T., Srinivasan V., Syed Mohamed Qadir G. and K., Srithar. 2016. An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder. **Alexandria Engineering Journal**,55, (2833-2838).
- Rukayya I. Muazu and Julia A. Stegemann. 2010. Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processing Technology**,133(2015), (137-145).
- S.H.Sengar, A.G.Mohod, Y.P.Khandetod, S.S.Patil and A.D.Chendake. 2012. Performance of Briquetting Machine for Briquette Fuel. **Energy Engineering**, 2(1), (28-34).
- Shinya Yokoyama. 2002. แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล. [Online]. Available <https://www.jie.or.jp/relays/download> (12 January 2017)
- Shutterstock. 2558. ชี้อ้อย. [Online]. Available <https://pixabay.com/th/photos/> (17 February 2017).
- SN. Muhammad, AA. Muhammad, N. Abdul and M.Anjum. 2016. Design and Fabrication of Biomass Extruder of 50 mm Diameter Briquette Size. **Innovative Energy & Research**,5(1).
- Sopon Banana. 2562. มุลแพะ ชี้อ้อย. [Online]. Available <https://www.lazada.co.th/products/> (12 January 2017).
- Temmerman Michael, Rabier Fabienne, Jenson Daugbjerg Peter, Hartmann Hams and Thorsten, Bohm. 2006. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. **Biomass & Bioenergy**, 30(2006), 964-972.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556. **ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลแต่ละชนิด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html (19 มกราคม 2560).
- กรมอนุรักษ์พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). **พลังงานชีวมวล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.energyvision.co.th> (13 กุมภาพันธ์ 2561).

- กระทรวงสาธารณสุข. 2557. **ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทย.**
- กัณมณี แสงสุข. 2559. **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษไม้ ชี้อ้อย และต้าย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กานต์นลิน ชีร์รัตนานนท์. 2559. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015).**
- เกรียงไกร ศิวัชเชษฐกุล, กำพล บุญธิ และชยานนท์ บุญทริกบุตร. 2554. **การพัฒนาตู้อบแห้งหญ้าหวานโดยใช้แหล่งความร้อนจากก๊าซหุงต้มหรือพลังงานแสงอาทิตย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพเชียงใหม่.
- ข่าวไทยพีบีเอส. 2562. **ใครเผา พรุควน เครีง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://news.thaipbs.or.th/content/282281> (16 ธันวาคม 2560).
- คมชัดลึกออนไลน์. 2562. **ฟางข้าวอัดก้อนทำอาหารสัตว์ลดโลกร้อน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.komchadluek.net/news/agricultural/403388> (18 มกราคม 2560)
- จุฑารัตน์ ทะสระระ, สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล และยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล. 2557. **แนวทางการพัฒนาปลาข้าวสารรอบด้วยการอบแห้งลมร้อนและรังสีอินฟราเรด.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 19(1), 1-10.
- เจตน์สิทธิ์ สำลีรัตน์. 2554. **เชื้อเพลิงชีวมวลจากกากเหลือใช้: ลักษณะสมบัติและอัตราส่วนการใช้.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจนจิรา อุตเรือน. 2560. **An investigation on the physical quality of biomass pellets from Agricultural waste.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. วันที่ 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่
- _____ 2561. **การเพิ่มคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการทอรรีแฟกชัน.** มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- แจ๊คฟาร์ม. 2562. **มูลวัวนมแห้ง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.jackorganicfarm.com/p/24> (12 ธันวาคม 2560).
- ณัฐกิตติ์ ก้อยผ่านกิจ, นิกราน หอมดวง, เจนจิรา อุตเรือน, เสริมสุข บัวเจริญ และณัฐวุฒิ คุชฎี. 2560. **การศึกษากระบวนการผลิตและการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากถั่วแระ.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. วันที่ 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่
- ณัฐกิตติ์ ณ ลำปาง, ปิยะ ปัญญา และสรายุทธ บุญเลา. 2554. **การพัฒนาตู้อบและกระบวนการอบแห้งข้าวแต่น โดยการใช้หัวเผาแก๊สชนิดอินฟราเรด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพเชียงใหม่.

- ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์. 2560. การประยุกต์ใช้กากกาแฟและเปลือกมะขามเพื่อใช้เป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ณัฐฉิ ดุษฎี, อัครินทร์ อินทนิเวศน์, นิกราน หอมดวง, ชวโรจน์ ใจสิน, กมลดารา เจริญสุวรรณ, กิตติกร สาสุจิตต์, ฐปน ชื่นบาล, อัจฉรา แก้วกล้า และศรีกาญจนา คล้ายเรือง. 2558. การพัฒนาพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อแก้ปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ.
- ณิชา บุรณสิงห์. 2559. เชื้อเพลิงอัดแท่งผลผลิตผักตบชวาขยะวัชพืช. (Publication from สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร: [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://library2.parliament.go.th> (10 มกราคม 2560).
- ดำรง สัพโส. 2556. งานคำนวณระบบส่งกำลังเครื่องมือกลด้วยสายพาน.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.google.com/interstitial?url> (25 มกราคม 2560).
- ทศพร อ่อนศรี และนคร ทิพยวงค์. 2018. ภาพรวมของการเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยกระบวนการอบย่าง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25(1), 11-33.
- ไทยรัฐออนไลน์. 2562. พลังงานขยะปิ้งไอเดีย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thairath.co.th> (23 มีนาคม 2560).
- ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย และนิกราน หอมดวง. (2559). การเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตร โดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและการอบย่างสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.
- ธนาพล ต้นดีสัตยกุล, กะขามาศ สายดำ, สุจิตรา ภู่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. 2558. การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกสับประรด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 23(5).
- ธราเทพ กมลมาตยากุล และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. 2544. การออกแบบสร้างและประเมินผลเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากเถาเกลบ. โครงการวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ธีรศักดิ์ พัฒนพานิช. 2559. การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้เงาะโดยใช้กากน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นคร ทิพยวงค์. 2553. เทคโนโลยีการเปลี่ยนสภาพชีวมวล. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- นคร ทิพยวงค์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: ศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, พิมพ์ครั้งที่ 2
- นฤมล ภาณุภา, จิระพงษ์ คุณากาญจน์, ฐิติภรณ์ บุญแย้ม, เฉลิมพล สุขสี, เบญจวรรณ จุลจุฬาและเพ็ญ อูร์รักษ์ 2555. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรและปาล์มน้ำมัน. (Publication., from สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้: <http://forprod.forest.go.th>

- แนวหน้าโลกธุรกิจออนไลน์. 2562. **กรม.เคาะซื้อน้ำมันปาล์มลอต2 ขยายเวลาอุดหนุน'ปี20' แก่ราคาตก.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.naewna.com/business/412256> (17 มีนาคม 2561).
- บริษัท คลูเบอร์ ลูบริเคชั่น (ประเทศไทย) จำกัด. (ม.ป.ป). **แบร์ริงกอบและแบร์ริงลูกปืน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.klueber.com/th/th/plain_bearings/ (26 เมษายน 2560).
- บริษัท สตรีม อาคิเทคเทอร์ล แอนด์ เอ็นจิเนียริง จำกัด. (ม.ป.ป-ก). **เทคโนโลยีชุมชน/เครื่องอัดถ่านแท่งแบบใช้มอเตอร์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://saestream.com/ctc> (27 มกราคม 2561).
- บริษัท ไฮบริด เอ็นเนอร์จี จำกัด. **พลังงานเชื้อเพลิงชีวมวล.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.hybridenergy.co.th/> (22 พฤศจิกายน 2560).
- ประทีป ตุ่มทอง, อำไพศักดิ์ ทิบุญมา, ประพันธ์พงษ์ สมศิลา และธนกร หอมจำปา. 2555. **การศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลานิล *Tilapia nilotica* (ด้วยลมร้อน).** วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 43(3พิเศษ), 115-118.
- พารวย ดินเกษตร. 2560. **ซีไก่เนื้อ.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.sr1-lopburi.com/product/3/> (21 ธันวาคม 2560).
- มติชนออนไลน์. 2561. **ขาวนาฟิจิตรจวก รม.ขึ้นราคาข้าวแต่ปาก เกษตรกรถูกกดราคา วอนแก้ปัญหาทั้งระบบ.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.matichon.co.th> (26 มกราคม 2560).
- มนตรี การะบัตร, พรรณพร ยืนยิ่ง และ อนุธิดา ผายพันธ์. 2552. **ผลิตภัณฑ์ปลานิลแผ่นปรุงรสเสริมใยอาหาร.** วารสารการเกษตรราชภัฏ, 8(1), (33-45).
- วรวิทย์ วรรณาวิน. 2550. **เครื่องกวนน้ำมันมะขามเปียก.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle> (17 พฤษภาคม 2560).
- วสันต์ ปินะเต และดวงกมล ดังโพนทอง. 2559. **การผลิตเชื้อเพลิง RDF-5 จากขยะชุมชน : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.** Industrial Technology Lampang Rajabhat University journal, 9(1), (72-86).
- ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2558. **เทคโนโลยีการแปรรูปเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นพลังงาน (ชีวมวลอัดแท่ง).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://biomass.sut.ac.th/biomass> (15 เมษายน 2560).
- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2562. **ราคาแป้งมันสำปะหลังรายสัปดาห์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaitapiocastarch.org/th> (16 มกราคม 2560).
- สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์. 2011. **สถานการณ์เชื้อเพลิงฟอสซิลและศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศ**

ไทย. FEU ACADEMIC REVIEW, 5, (62-74).

สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล. 2555. การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟและลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพ และการทดสอบประสาทสัมผัส. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา,17, (117-129).



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวภาสินี ลาตลา
เกิดเมื่อ	18 ธันวาคม 2533
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2558 ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ.2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนผาเมือง อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2558 วิศวกรออกแบบ บริษัทสหฟาร์ม จำกัด

