



รายงานวิจัย

เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว
FUEL PELLETS OF COCONUT SHELL AND COCONUT HUSK

คณะผู้วิจัย

นางสาวชนิดา ป้อมแสน
นายดุสิต สิงห์พรหมมาศ
รศ.ดร.บุญศรี คู่สุขธรรม
นายสุระศักดิ์ ศรีปาน

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2560
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ชื่องานวิจัย : เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

ชื่อผู้วิจัย : นางสาวชนิดา ป้อมแสน

นายดุสิต สิงห์พรหมมาศ

รศ.ดร.บุญศรี คู่สุขธรรม

นายสุระศักดิ์ ศรีปาน

ปี พ.ศ. : 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการจัดการกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาตัวประสานและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และ (2) การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ระหว่างกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว จากนั้นตรวจวัดสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้แก่ ลักษณะรูปร่าง และสมบัติทางเคมี ส่วนที่ 1 ทำการทดลองที่อัตราส่วนผสมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ต่อแป้งมันที่อัตราส่วนต่าง ๆ คือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือที่อัตราส่วน 90:10 โดยน้ำหนัก ค่าความชื้น, ค่าเถ้า, ค่าสารระเหย, และค่าความร้อน มีค่าร้อยละ 10.26, 2.89, 70.17 และ 4,691.33 kcal/kg ตามลำดับ และส่วนที่ 2 ทำการทดลองที่อัตราส่วนผสมของตัวประสานที่เหมาะสมที่สุดโดยการผสมของกะลามะพร้าวต่อเปลือกมะพร้าวที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือที่อัตราส่วน 90:10 โดยน้ำหนัก ค่าความชื้น ค่าเถ้า ค่าสารระเหย และค่าความร้อน มีค่าร้อยละ 10.23, 2.42, 71.17 และ 4,739.56 kcal/kg ตามลำดับ โดยภาพรวมเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-8 มิลลิเมตร ความยาว 25-30 มิลลิเมตร การวิเคราะห์เปรียบเทียบศักยภาพพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า 5.53 kW-hr เทียบเท่าน้ำมันดิบ 0.55 ลิตร และเทียบเท่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว 0.75 ลิตร

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดเม็ด/ กะลามะพร้าว/ เปลือกมะพร้าว

Title : FUEL PELLETS OF COCONUT SHELL AND COCONUT HUSK
Researchers : Ms. Chanida Pomsen
 Mr. Dusit Singpommat
 Associate Professor Dr. Boonsri Kusuktham
 Mr. Surasak Sripan
Year : 2560

ABSTARCT

This research is a study of appropriate management of coconut shell and coconut shell, which are agricultural waste, by using them to produce Wood Pellets. The study is divided into 2 parts: (1) The study of the binders and proper ratio them to produce Wood Pellets. (2) Properties of the wood pellets from the proper ratio in production. Between the coconut shell and coconut HUSK. Then measure the physical properties of wood pellets: morphology and chemical properties. The first experiment, the ratio of polyvinyl alcohol (PVA) to starch, which is a ratio of 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 and 10:90 by weight. The results showed that the most appropriate mixture ratio is 90: 10 by weight. Moisture content, ash content, the volatile matter and heating value have the percentage of 10.26, 2.89, 70.17 and 4,691.33 kcal/kg respectively. The second experiment is the most appropriate ratio by a mixture of coconut shell and coconut husk which are a ratio of 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 and 10:90 by weight. The results showed that the most appropriate mixture ratio is 90: 10 by weight. Moisture content, ash content, the volatile matter and heating value have the percentage of 10.23, 2.42 71.17 และ 4,739.56 kcal/kg respectively. Overall, the wood pellets with diameter of 7-8 mm and length of 25-30 mm. After the comparative analysis, it showed that of the potential energy equivalent to Electricity 5.53 kW-hr and to 0.55 liter of crude oil and 0.75 liter of LPG.

Keywords: WOOD PELLETS/ COCONUT SHELL/ COCONUT HUSK

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่สนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ปี 2560 และวัสดุ-อุปกรณ์ เครื่องมือบางชนิด ตลอดจนสาธารณูปโภค ทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย

คณะผู้วิจัย

27 มีนาคม 2561



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
 บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 วิธีดำเนินการโดยสรุป	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
 บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานชีวมวล	5
2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด	9
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย	12
2.4 เครื่องอัดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด	14
2.5 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ด	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
 บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.2 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการวิจัย	26
3.3 การออกแบบวิจัย	29
3.4 เครื่องมือและสถิติที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดการ	33
4.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือก มะพร้าวที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ	35
4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด	37
4.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง	39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด	41
5.2 ผลของของอัตราส่วนวัสดุจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความ ร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด	41
5.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด	42
5.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานชีวมวลกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก ก	46
คณะผู้วิจัย	56



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ศักยภาพเชิงพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง ปี 2556	7
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของไม้อัดเม็ด	10
ตารางที่ 2.3 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน	13
ตารางที่ 2.4 Proximate Analysis as Received และความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้	19
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยแปรผันกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว	29
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมโดยแปรผันแป้งมัน และ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)	30
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วนผสมกะลามะพร้าว 50% ต่อเปลือกมะพร้าว 50% โดยน้ำหนัก	34
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว กับเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% โดยน้ำหนักผลการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว กับเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% โดยน้ำหนัก	35
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสาน	38
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของวัสดุ	38
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสาน	39
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของวัสดุ	40

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	3
ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างชีวมวล	5
ภาพที่ 2.2 กะลามะพร้าว	12
ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดแบบลูกสูบ	14
ภาพที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย	15
ภาพที่ 2.5 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยชุดลดความร้อนที่กระบอกอัด	15
ภาพที่ 2.6 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง	16
ภาพที่ 2.7 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม	17
ภาพที่ 2.8 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน	17
ภาพที่ 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	25
ภาพที่ 3.2 แบบเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง	26
ภาพที่ 3.3 เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง	26
ภาพที่ 3.4 กะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว	27
ภาพที่ 3.5 ตัวประสานคือ แป้ง และ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA)	27
ภาพที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	28
ภาพที่ 3.7 ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ด	28
ภาพที่ 3.7 เชื้อเพลิงอัดเม็ด	29
ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด (กะลามะพร้าว 50% : เปลือกมะพร้าว 50% ตัวประสานที่ PVA 90% : แป้งมัน 10%) กับกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว	34
ภาพที่ 4.2 ค่าความร้อนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว	36
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด (กะลา 50% : เปลือกมะพร้าว 50% ตัวประสานที่ PVA 90% : แป้งมัน 10%) กับกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยแหล่งพลังงานในประเทศไทยมีอัตราการผลิตไม่เพียงพอกับอัตราการใช้ จำเป็นต้องมีการนำเข้าพลังงานอย่างต่อเนื่อง จากรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [1] เปิดเผยสถานการณ์การใช้พลังงาน 8 เดือนแรกปีพ.ศ. 2558 ว่าสัดส่วนการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศไทยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 ซึ่งการผลิตในประเทศลดลงร้อยละ 1.1 ส่งผลให้นำเข้าพลังงานสูงขึ้นร้อยละ 8.6 โดยการใช้พลังงานของประเทศมีการใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 20 ในนี้ประกอบด้วยการใช้พลังงานจากพลังงาน ทดแทนดั้งเดิม (ฟืนไม้และแกลบ) เชื้อเพลิงประเภทฟืนไม้เป็น สาเหตุทำให้ทรัพยากรป่าไม้ลดลงซึ่งกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการหาแหล่งพลังงานอย่าง อื่นมาใช้ทดแทนเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถหาได้ง่ายและประเทศไทยมีศักยภาพสูงคือ พลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีก รูปแบบหนึ่ง รูปแบบการใช้พลังงานชีวมวลสามารถแยกได้เป็นการใช้โดยตรง โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนและการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป ภาครัฐเองก็ได้ให้ความสำคัญและส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวล โดยกำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021)

แต่ปัญหาของการนำพลังงานชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิง คือ การรวบรวมการจัดเก็บ และการขนส่งเช่น กะลามะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ได้จากการขูดเอาเนื้อมะพร้าวไปแปรรูป หรือเกิดจากการที่ลูกมะพร้าวเสียไม่สามารถเอาเนื้อมะพร้าวไปใช้ประโยชน์ได้ และจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก) พบว่าใน พ.ศ.2552 ประเทศไทยมีการปลูกมะพร้าวทั้งหมด 1,380,980 และมีเศษวัสดุเหลือใช้เป็นกะลามะพร้าว 128,936.58 ตัน เปลือกมะพร้าว 464,250.95 ตัน และใน พ.ศ.2557 1,294,539 ไร่ และมีผลผลิต 1,000,320 ตัน แสดงว่าทุกปีประเทศไทยมีเศษวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าวจำนวนมาก

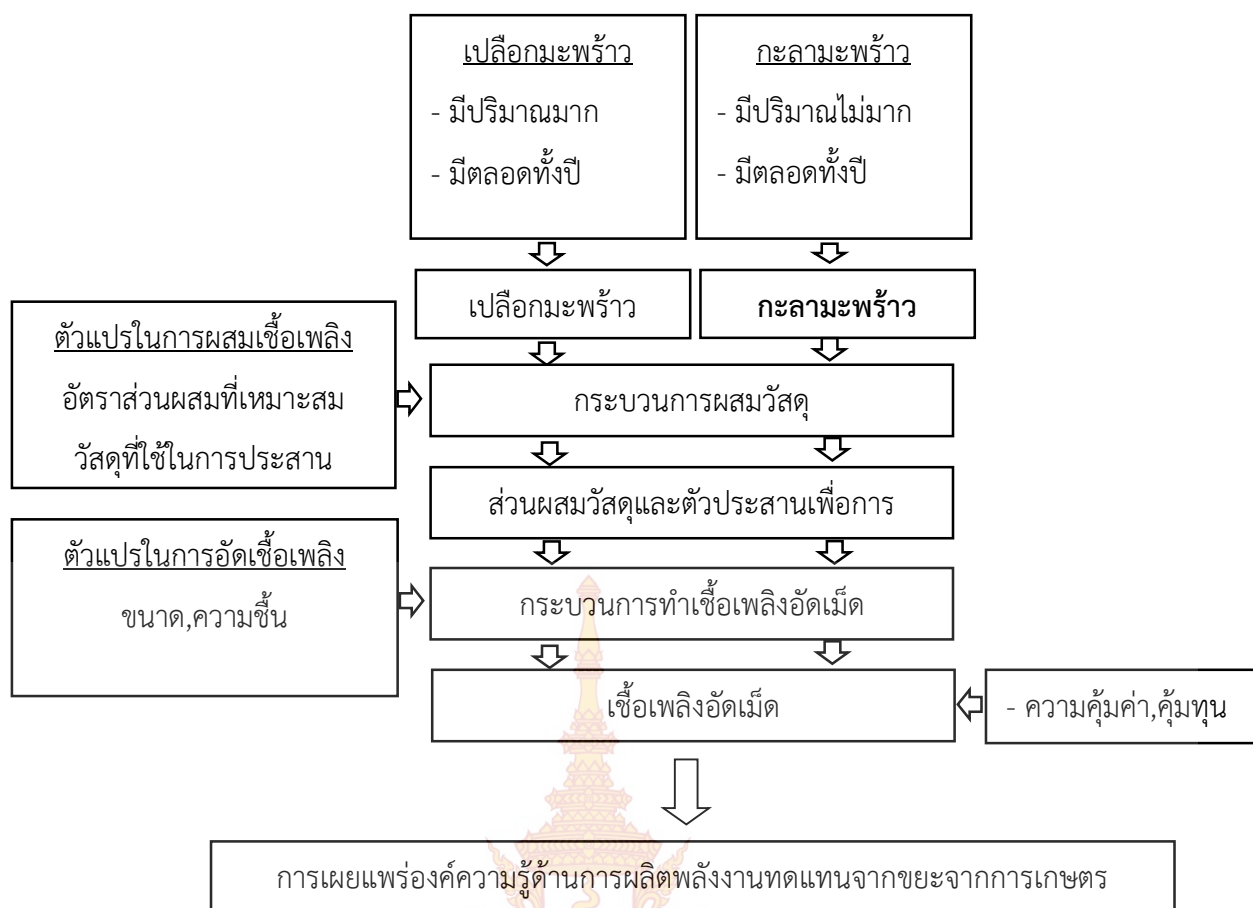
จากการลงพื้นที่ที่ชุมชน ต.แควอ้อม อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม ชาวสวนผู้ปลูกมะพร้าวเปิดเผยว่า ชาวสวนส่วนเฒ่าทำลายเศษวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ซึ่งทำให้เกิดปัญหามลพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงคิดจะนำเศษวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ในส่วนของกะลามะพร้าว และเปลือกมะพร้าวมาสร้างเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และลดปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาทำลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ระหว่างกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว
- 1.2.2 เพื่อหาตัวประสานและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

1.3 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว เกิดจากนักวิจัยศึกษาพบว่า ในทุกๆปีประเทศไทยมีผลผลิตจากการปลูกมะพร้าวจำนวนมาก ทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าวมีจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาขยะจากการเกษตรตามมา และเมื่อไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ชาวสวนจึงเผาทำลาย ซึ่งเกิดเป็นปัญหามลพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงคิดจะนำเศษวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว ในส่วนของกะลามะพร้าว และเปลือกมะพร้าวมาศึกษาและดำเนินการในรูปแบบของงานวิจัยโดยมีกรอบแนวคิดของโครงการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จะได้อาจมาจากกรรมวิธีการอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน

1.4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดคือ กะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าวกับอัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษาอย่างน้อย 5 อัตราส่วน คือ 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 โดยน้ำหนัก

1.4.3 ตัวประสานที่ใช้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด มี 2 ชนิดคือ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA) กับแป้งมัน และอัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษาอย่างน้อย 5 อัตราส่วน คือ 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 โดยน้ำหนัก

1.4.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดคือ กะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าวมีความชื้นก่อนการอัดเม็ดเท่ากับ 10-20%

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

วิธีการดำเนินการวิจัยเรื่อง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปนี้

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลด้านปริมาณ/ความเป็นไปได้ของงานวิจัย
- 1.5.2 ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว
- 1.5.3 ออกแบบและสร้างเครื่องมือในการเก็บผลการทดลองเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 1.5.4 เก็บผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 1.5.5 วิเคราะห์คุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 1.5.6 สรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้ลดปัญหาและเพิ่มมูลค่าให้กับขยะจากการเกษตรโดยเฉพาะเปลือกมะพร้าวและกะลามะพร้าว
- 1.6.2 สามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งเป็นพลังงานทดแทนทำให้สามารถลดรายจ่าย และเพิ่มรายได้
- 1.6.3 สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีให้แก่ผู้สนใจ
- 1.6.4 สามารถเผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารต่างๆ หรือเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ
- 1.6.5 หน่วยงานต่างๆสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ทั้งภาครัฐ และ เอกชน ตลอดจนผู้สนใจ และเกษตรกร
- 1.6.6 ได้องค์ความรู้ที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยต่อยอดต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยแยกเป็นหัวข้อนำเสนอ ดังนี้

- 2.1 พลังงานชีวมวล
- 2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด
- 2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย
- 2.4 เครื่องอัดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 2.5 การวิเคราะห์เชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานชีวมวล

2.1.1 ความหมายของชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง วัตถุหรือสารที่ได้จากธรรมชาติหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น แกลบ ทะลายปาล์ม เศษไม้ กะลามะพร้าว ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ชีวมวลเหล่านี้มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ชีวมวลจึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่ถูกพิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกของแหล่งพลังงานใหม่ เพราะสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน ไอน้ำหรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการใช้ชีวมวลจึงช่วยลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น [2]



กากใยปาล์ม



ไม้ฟัน



ขังข้าวโพด



กะลามะพร้าว



เปลือกมะพร้าว



แกลบ

ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างชีวมวล

ชีวมวลเป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน เนื่องจากพืชต้องอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโต จากนั้นแปรเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง เช่น เศษไม้ ข้าวโพด และต้นอ้อย หรือแปรสภาพเป็นของเหลวเช่น น้ำยางพารา น้ำมันพืช ไบโอดีเซล และเอทานอลจะเห็นว่าชีวมวลมีความหมายค่อนข้างกว้าง ชีวมวลบางชนิดเหมาะที่นำมาบริโภคมากกว่าพลังงานเพื่อให้มีความเข้าใจยิ่งขึ้น ได้นิยามความหมายชีวมวลในที่นี้ว่า”เศษวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตรหรือจากเก็บเกี่ยว” ซึ่งองค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

- ความชื้น (Moisture) หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

- ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter และ Fixed Carbon Volatiles matter คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

- ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

2.1.2 ศักยภาพชีวมวล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิต และการใช้ชีวมวล พบว่า ชีวมวลบางประเภทที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง และมีปริมาณคงเหลือไม่มาก ส่วนชีวมวลอีกหลายประเภทพบว่ามีปริมาณคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีการใช้อยู่ในวงจำกัด หรือบางประเภทยังไม่ได้มีการนำไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพชีวมวลภายในประเทศเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาคือ ปริมาณชีวมวลแต่ละประเภทที่มีอยู่ทั้งหมด เพื่อให้ทราบถึงปริมาณชีวมวลที่มีภายในประเทศ และปริมาณชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าว เป็นส่วนสำคัญในการนำมาพิจารณาว่าชีวมวลชนิดใดบ้าง มีศักยภาพที่ควรได้รับการส่งเสริมให้มีการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยการประเมินศักยภาพชีวมวลแต่ละชนิดในปี 2556 ชีวมวลมีศักยภาพ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพเชิงพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง ปี 2556 [2]

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่ นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ (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. ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	234,843.37
4. ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0
5. ยอด ใบและลำต้น ข้าวโพด	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	86,993.76
6. ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	1,163.99
7. เหม้ามันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	32,288.40
8. กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	1,813,652.52	0	0
9. เปลือกมัน สำปะหลัง	8,463,711.76	8,463,711.76	0	0
10. ลำต้นปาล์ม น้ำมัน	1,957,280.00	-	1,957,280.00	14,757.89
11. ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	28,789.29
12. ทะลายปาล์ม เปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	15,985.00
13. เส้นใยปาล์ม	2,434,291.59	2,434,291.59	0	0
14. กะลาปาล์ม	512,482.44	512,482.44	0	0
15. ใบและลำต้นกล้วย เหลือ เชียว ลิสง	65,017.48	3,250.87	61,766.61	1,002.47
16. ตอ รากและกิ่ง ก้านไม้ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	5,751.98
17. ปลายไม้ ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพเชิงพลังงานเชื้อเพลิงแข็ง ปี 2556 [2] (ต่อ)

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่ นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ (ตัน)	ค่าความร้อน (TJ)
18. ปีกไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0
19. ขี้เลื่อยและเศษ ไม้ยางพารา	656,619.00	656,619.00	0	0
20. จั่นและทะลาย มะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.11	3,635.71
21. เปลือกและกาบ มะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,334.11	54.11
22. กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	393.89
23. เปลือกมะม่วงหิม พานต์	70,038.56	1,674.28	68,364.29	375.32
รวม	134,134,102.21	71,289,681.68	62,844,420.53	562,222.8

2.1.3 ความหมายพลังงานชีวมวล

พลังงานชีวมวล (Biomass energy) เป็นพลังงานที่ได้จากชีวมวล จัดเป็นแหล่งพลังงานนอกแบบ (Non – Conventional energy resource) อีกประเภทหนึ่ง การให้พลังงานความร้อนสามารถกระทำได้หลายวิธี โดยแยกตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยอาศัยความร้อน (Thermomical conversion)

(1) การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในที่ที่มีอากาศ เพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ สารอินทรีย์จากชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อนและมีการให้ออกซิเจนในกระบวนการเผาไหม้สูง ทำให้ขบวนการเผาไหม้สูงไปด้วย

(2) ขบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารอินทรีย์โดยการให้ความร้อนแก่สารในที่ที่มีอากาศจำกัด สามารถเปลี่ยนแปลงชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงในรูปของก๊าซ ของเหลวและของแข็งได้ เป็นขบวนการทางเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการ

สลายตัวของสารประเภทโนเซลลูโลส (Ligno – cellulose) ผลผลิตจะได้ก๊าซที่ติดไฟ น้ำมันทาร์ (Tar) และถ่าน

(3) ขบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสภาพก๊าซเรียกว่า ก๊าซชีวมวล (Producer gas) ก๊าซที่ได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในหรือการให้ความร้อนต่าง ๆ การเกิดก๊าซชีวมวลในเตาผลิตก๊าซ เป็นขบวนการทางเคมี การสันดาปจะเกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ชีวมวลบางส่วนจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และบางส่วนถูกเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้ได้ก๊าซที่ติดไฟได้ออกมา

2.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (Bio chemical conversion) เป็นกระบวนการซึ่งเป็นการเปลี่ยนชีวมวลและของเสีย (ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ย) ไปเป็นก๊าซ (CO_2/CH_4) และน้ำ โดยการใช้จุลชีวะ กระบวนการทางชีวเคมีส่วนใหญ่มีดังนี้

(1) การหมักในที่ไร้อากาศ เป็นการย่อยสลายในที่ไม่มีอากาศ ซึ่งทำให้เกิดเป็นปุ๋ยหมักคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

(2) การหมักแอลกอฮอล์หรือการผลิตเอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และของเสีย ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ ได้เช่น เชื้อเพลิงจากมันสำปะหลัง

2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

2.2.1 การอัดเม็ดหมายถึง

การอัดเม็ด หมายถึงการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เหว้ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพด เปลือกยูคาลิปตัส และเศษไม้เหลือใช้ปึกไม้ ชี้เลื่อย และยังรวมถึงไม้จากการโค่นต้นไม้ที่ไม่จำเป็นหรือยืนต้นตาย การตัดแต่งกิ่งไม้ เป็นต้น มาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ในรูปแบบต่างๆ ทั้งในรูปของพลังงานความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำหรือน้ำมันร้อนใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานต่างๆ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) รวมถึงการให้ความร้อนกับที่อยู่อาศัยและการใช้งานประเภทอื่นๆ นอกจากนี้ ยังนำมาใช้แทนชีวมวล (biomass) ที่มีสมบัติค่าความร้อนที่ต่ำมาก ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในปริมาณที่สูง รายละเอียดคุณลักษณะเชื้อเพลิงอัดเม็ดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของไม้อัดเม็ด [3]

ตัวแปร	หน่วย	ค่า
เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm	6-10
ความยาว	mm	10-13
ปริมาณพลังงาน	MJ/kg	16.9-18
ปริมาณความชื้น	%	7-12
ปริมาณเถ้า	%	2

2.2.2 กรรมวิธีการอัด [3]

กรรมวิธีการอัด สามารถจำแนกตามกระบวนการอัดขึ้นรูปได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.2.2.1 กระบวนการอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุโดยการให้ความร้อนตลอดเวลา โดยใช้ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับวัสดุที่เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดสารเคมีที่ช่วยยึดเหนี่ยวเนื้อวัสดุเข้าหากันจึงทำให้วัสดุยึดเกาะกันได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน วิธีนี้สามารถใช้กับวัสดุทั่วไปได้ เช่น แกลบ ชีเลื่อย เศษไม้ วัสดุนี้จะนำมาทำการลดความชื้นให้เหลือไม่เกินร้อยละ 5 หากวัสดุมีขนาดใหญ่ต้องทำให้มีขนาดเล็กเสียก่อน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องอัดต่อไป การอัดแบบใช้ความร้อนเรียกอีกอย่างว่า การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแข็งและแน่นมาก ซึ่งต้องใช้ความร้อนและแรงอัดที่สูงมาก จึงจะสามารถหลอมวัสดุได้ การอัดแท่งยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการจับตัวเป็นแท่ง เช่น ปริมาณความชื้น แรงดัน อุณหภูมิและขนาดวัตถุดิบ เป็นต้น

2.2.2.2 กระบวนการอัดเย็น วิธีการอัดแท่งแบบนี้อาศัยความสามารถของตัวประสาน การอัดแบบนี้ แบ่งได้ 2 แบบคือ

(1) การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย็นระบบใหม่ที่ไม่ใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้วัสดุชนิดเดียวอัดตัวมันเองจนแน่นจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดแบบนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และยังใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่จำเป็นต้องบดวัสดุก่อนเข้าอัดหากวัสดุไม่ได้มีขนาดใหญ่เกินไป

(2) การอัดเย็นแบบใช้ตัวประสาน เป็นการอัดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเครื่องมือและวิธีการง่าย และใช้พลังงานต่ำ ใช้วัสดุชนิดอื่นเป็นตัวประสาน เรียกว่า ตัวเชื่อมประสาน (Binder) เพราะตัวมันเองไม่มีเส้นใยหรือยางเหนียวเพียงพอที่จะจับตัวได้ และหากวัสดุมีขนาดใหญ่ เช่น กะลามะพร้าว ต้องทำการบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับตัวประสาน

2.2.3 ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่น

ชีวมวลอัดเม็ด ถือเป็นทางเลือกของแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถช่วยตอบสนองความต้องการด้านพลังงานภายในประเทศที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ซึ่งจะช่วยเพิ่มการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า และลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศ ในการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลต่างๆ และแนวโน้มอุตสาหกรรมผลิตชีวมวลอัดเม็ดมีโอกาสดีขึ้น เนื่องจากปัจจัยหนุนด้านทรัพยากรในประเทศไทยมีจำนวนมากช่วยลดการเพิ่มมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่น ๆ มีข้อดีดังนี้

2.2.3.1 สะดวก และประหยัดค่าขนส่ง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง สามารถควบคุมปริมาณการใช้ได้ง่ายเพราะมีขนาดเท่าๆกัน มีน้ำหนักค่อนข้างแน่นอน

2.2.3.2 ประสิทธิภาพของอัตราการเผาไหม้มากกว่าร้อยละ 80 ของเตาเผา ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอ สามารถนำระบบการป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติ มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

2.2.3.3 The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) ยอมรับว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ด (wood pellet) เป็นพลังงานการเผาไหม้ที่สะอาด และเป็นพลังงานที่น่ากลับมาใช้ใหม่ได้

2.2.3.4 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขี้เถ้าส่วนเกิน เนื่องจากมีปริมาณขี้เถ้าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่น

2.2.3.5 ให้พลังงานความร้อน (high heating value) มากกว่าเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่น โดยมีค่า net calorific value มากกว่า 16.5 MJ/kg เนื่องจากมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 และถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีค่าพลังงานสูง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันเบา พบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดน้ำหนัก 2 กิโลกรัม จะเท่ากับน้ำมันเบา 1 ลิตร ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวมวลประเภทอื่นมีค่าพลังงานอยู่ที่ประมาณ 10.9 MJ/kg

2.2.3.6. เป็นการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หนึ่งในก๊าซเรือนกระจก (green house gas) ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน (global warming) เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาชีวมวลจะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสง (carbon offset)

2.2.3.7. สามารถนำนวัตกรรมใหม่ เช่น การเติมเชื้อเพลิงโดยอัตโนมัติมาใช้ในการเติมชีวมวลอัดเม็ดลงในเตาได้ โดยอาจมีการตั้งเวลาไว้ล่วงหน้า ทำให้สะดวก ไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อย

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1 มะพร้าว

มะพร้าว (Coconut) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน มะพร้าว เป็นพืชผลจากการเกษตรตัวหนึ่ง ที่สามารถนำส่วนต่างๆ มาทำประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน [2] เช่น

2.2.1.1 กะลามะพร้าว เป็นพืชชีวมวลเหลือใช้จากมะพร้าว ซึ่งมะพร้าว 1 ลูก จะได้ใย ร้อยละ 36.2 และกะลาร้อยละ 16 โดยส่วนมากมะพร้าวจะปลูกบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย (ประมาณร้อยละ 80) ซึ่งปกติจะให้ผลผลิตตลอดปีแต่จะให้ผลผลิตมากในช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม ประโยชน์ของกะลามะพร้าวเราสามารถนำกะลามะพร้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ คือ

(1) การนำกะลามะพร้าวมาดัดแปลงทำเป็นวัสดุใช้สอยภายในครัวเรือน เช่น ช้อนถ่าน และอุปกรณ์ตกแต่งบ้าน เป็นต้น

(2) การนำถ่านชาร์กะลามะพร้าวที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน มาใช้เป็นตัวดูดซับสีและกลิ่นในอุตสาหกรรมต่างๆ

(3) การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรงประเทศไทย เป็นประเทศเกษตรกรรม มีพืชผลจากการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาสร้างเศรษฐกิจชุมชน และเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีพของมนุษย์ โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความอยู่ดีกินดีแก่ชุมชน

กะลามะพร้าวเป็นชิ้นส่วนที่เหลือจากการทำประโยชน์ และถูกทิ้งกองเหมือนเศษขยะจะมีอยู่บ้างที่ชาวบ้านได้ให้ความสนใจนำกะลามะพร้าวไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มภายในครัวเรือนแต่ใช่ว่าเป็นการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าก็หาไม่



ภาพที่ 2.2 กะลามะพร้าว

2.2.2 ตัวประสาน

ตัวประสานจะทำหน้าที่ยึดเกาะชีวมวลที่นำมาใช้ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ให้มีลักษณะดังรูปแบบที่ต้องการให้อัดออกมาได้ และตัวประสานยังทำหน้าที่เพิ่มสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ความต้านทานต่อความเค้นอัด การต้านทานแรงกระแทก รวมถึงสมบัติการต้านทานน้ำ ซึ่งสมบัติทางกายภาพที่กล่าวมานั้นสามารถบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีแรงยึดเกาะที่ดี ราคาถูก หาได้ง่าย ไม่ดูดความชื้น ไม่สึกกร่อนง่าย ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นหรือสารมลพิษขณะเผาไหม้ และเถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรมีชี้เถ้าที่น้อยที่สุด มิฉะนั้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งก็จะลดลงไปด้วย ชนิดของตัวประสานที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- (1) ตัวประสานที่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ ทาร์, แป้ง, สาหร่าย, มูลสัตว์, เรซินตามธรรมชาติ และเรซินสังเคราะห์
- (2) ตัวประสานที่เผาไหม้ไม่ได้ ได้แก่ ดินเหนียว, โคลน และซีเมนต์ เป็นต้น

2.2.2.1 แป้ง (starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นกับชนิดของพืช องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้งมี ดังนี้

- (1) แป้ง (starch) เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โมเลกุล แป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด หลักๆ ตามขนาดโมเลกุล และลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส (amylase) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็ก และมีโซ่กิ่งจำนวนน้อย และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีโซ่กิ่งจำนวนมาก อะไมโลส และอะไมโลเพคติน มีสมบัติที่แตกต่างกัน แสดงดังในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

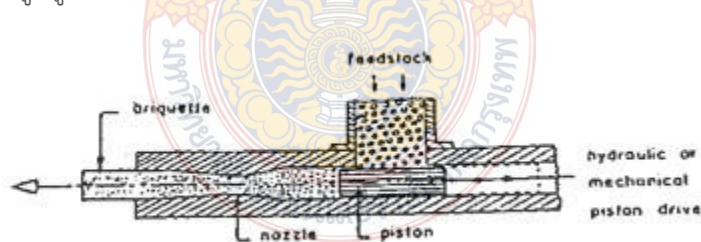
อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง	1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6,000 หน่วย	2. ประกอบด้วยกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีค่าความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดง
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

(2) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และละลายได้ดีในน้ำ มีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมันและสารละลายต่างๆ ดีเยี่ยม รวมทั้งมีความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีก ความทนต่อการกระแทก ความยืดหยุ่น และการกั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง (Flieger et al., 2003) สมบัติพื้นฐานของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึก ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการไฮโดรไลซิสและมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ (DeMerlis et al., 2003) PVA ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ดีในบ่อบำบัดน้ำเสีย แต่จะย่อยสลายได้ช้าในดิน นอกจากนี้การย่อยสลายของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกและน้ำหนักโมเลกุลของ PVA ผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบแผ่นฟิล์มของ PVA

2.4 เครื่องอัดในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด

2.4.1 เครื่องอัดแบบลูกสูบ (Piston press) [4]

ประกอบด้วยลูกสูบชัก (Reciprocating piston) เพื่อดันวัตถุดิบที่มาจากช่องป้อนเข้าไปในกระบอกอัดรูปเรียว (Tapered die) หลักการทำงานคือ ลูกสูบอัดวัสดุเข้าไปในปลายท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย (Conical chock) หรือรูปเรียว จะทำหน้าที่ดันการเคลื่อนที่ของวัสดุ ผลจากการดันนี้รวมทั้งการขัดสีวัสดุกับผนังท่อ ทำให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 150-300 องศาเซลเซียส และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกอัดแท่งออกมาเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50-100 มิลลิเมตร เครื่องอัดแบบนี้มีความสามารถในการผลิตได้ 40-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีปัญหาที่พบโดยทั่วไปคือ การขัดสีของกระบอกอัดและการแตกของลูกสูบ



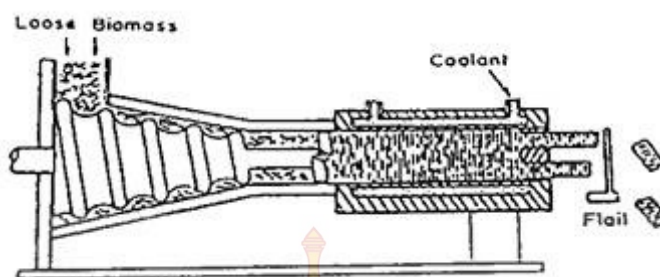
ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดแบบลูกสูบ

2.4.2 เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw press) [4]

ในเครื่องอัดแบบเกลียว วัตถุดิบที่ใช้อัดจากช่องป้อน (Feed hopper) ถูกส่งผ่านและอัดด้วยเกลียว แบ่งเครื่องอัดแบบนี้ได้เป็น 3 ประเภท คือ

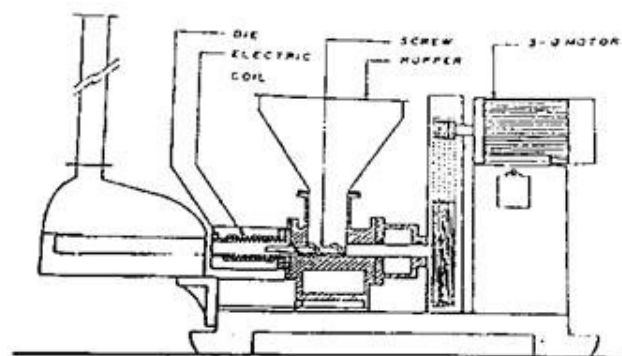
2.4.2.1 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press) มีหลักการทำงานคือ เกรียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อฟันเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัด

ขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ลิกนินหลอมละลายทำหน้าที่เป็นตัวประสาน หลังจากระบายความร้อนจะได้แท่งเชื้อเพลิงอัด กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแท่งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตรากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8-10



ภาพที่ 2.4 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2.4.2.2 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด (Screw press with a heated die) มักมีการทำงาน คือวัสดุถูกดันโดยเกลียวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกหรือรูปกรวยเล็กน้อย ผ่านเข้าไปในท่อ (Barrel) หรือกระบอกอัดที่มีอุณหภูมิจากขดลวดความร้อนระหว่าง 200-350 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้ทำให้วัสดุที่สัมผัสกับท่อเกิดการเผาไหม้และได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกยึดตัวกันดี ลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกหกเหลี่ยมขนาดประมาณ 50 มิลลิเมตร โดยเฉพาะการออกแบบของหัวเกลียวทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีรูกลวงตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อเป็นช่องให้ก๊าซหรือควันที่เกิดในระหว่างการอัดถ่ายเทออกมา กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแบบนี้ในช่วง 50-500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง วัสดุที่ใช้มีลักษณะเม็ดละเอียดและมีความชื้นในช่วงร้อยละ 8-12 ปัญหาใหญ่ของเครื่องอัดแบบนี้คือ การขัดสีของเกลียวและกระบอกอัด

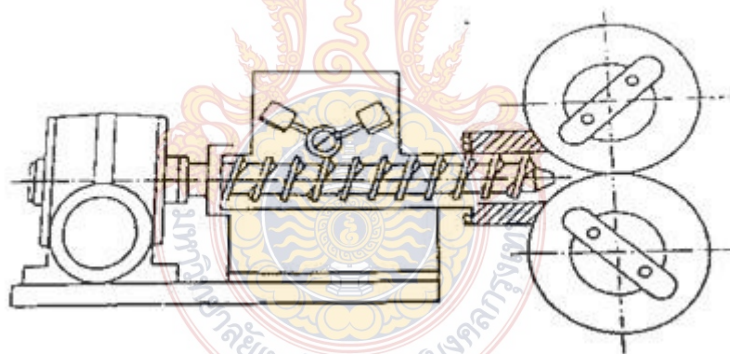


ภาพที่ 2.5 เครื่องอัดแบบเกลียวพร้อมด้วยขดลวดความร้อนที่กระบอกอัด

2.4.2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin-screw press) เครื่องอัดแบบนี้มีเกลียวอัด 2 อันต่อกับเพลาลูกกลิ้งที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว (Screw parts) ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัดและแรงเสียดสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250 องศาเซลเซียส จึงต้องมี ส่วนหล่อเย็นที่กระบอกอัด สำหรับวัตถุดิบที่ใช้อัดควรมีขนาด 30-80 มิลลิเมตร และวัตถุดิบที่มี ปริมาณความชื้นร้อยละ 25 ขึ้นไปจึงจะสามารถทำการอัดได้ โดยไม่ต้องทำให้แห้งเสียก่อน กำลัง การผลิตของเครื่องนี้อยู่ในช่วง 2800-3600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้

2.4.3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll press) [4]

เครื่องอัดแบบลูกกลิ้งนี้ มีการทำงานโดยจะเริ่มทำงานอัดวัตถุดิบที่ตกลงมาในระหว่าง ลูกกลิ้งทั้งสองที่หมุนทิศทางการตรงกันข้าม ทำให้อัตราการอัดแน่นเข้าไปในตัวรองรับแทนอัด (Pillow-shaped briquetted) การอัดแบบนี้ต้องการวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าการอัดแบบอื่น และแท่งอัดที่ได้มีความหนาแน่นน้อยกว่าแท่งอัดที่ได้จากการอัดแบบอื่นเนื่องจากช่วงเวลาในการ อัดสั้น ทำให้ยากต่อการสร้างสภาวะของอุณหภูมิแรงอัดในการหลอมละลายลิพิน ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการอัดแท่งด้วยวิธีนี้จะได้ผลสำเร็จดีจำเป็นต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วย ที่ทำให้วัสดุเกาะ ติดกันดี

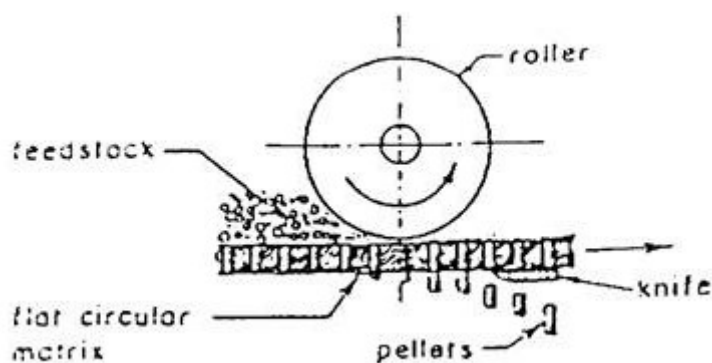


ภาพที่ 2.6 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

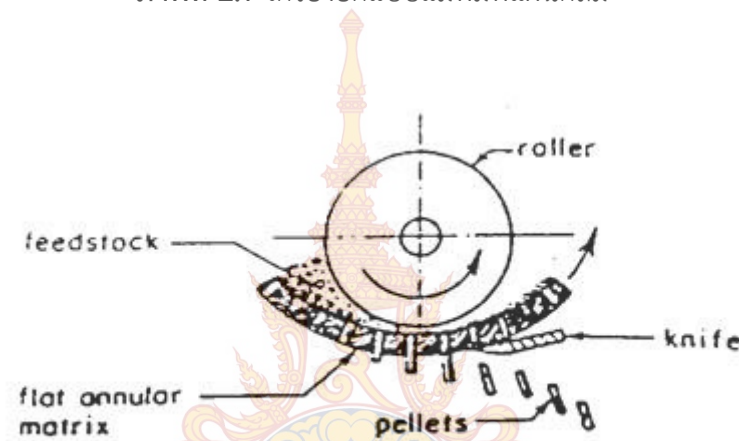
2.4.4 เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็ก ๆ (Pelletizing press) [4]

เครื่องอัดแบบนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ (Matrix) และลูกกลิ้ง (Roller) ซึ่งแรงอัด ระหว่างแม่พิมพ์กับลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแม่พิมพ์ที่ เจาะเป็นรูซึ่งมี 2 แบบคือ เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม (Disk matrix press) และเครื่องอัด แม่พิมพ์วงแหวน (Ring matrix press) แท่งอัดเม็ดที่ถูกอัดออกมาแล้วจะถูกตัดด้วยใบมีดตาม ขนาดความยาวที่กำหนดให้ ซึ่งปกติจะมีความยาวน้อยกว่า 30 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง

5-15 มิลลิเมตร ถ้าแท่งอัดมีขนาดใหญ่กว่านี้แล้วจะทำการอัดเป็นลูกบาศก์ (Cubing) แทนการอัดเม็ด



ภาพที่ 2.7 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลม



ภาพที่ 2.8 เครื่องอัดแบบแม่พิมพ์วงแหวน

2.5 การวิเคราะห์ชีวมวล

ในการที่จะนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทราบค่าการวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบด้วย

2.5.1.1 ความชื้น (Moisture, M) เป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังจากการอบสารตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 104-110 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยน้ำหนักที่เป็นความชื้น (Inherent Moisture) ระเหยออกมา ขณะที่น้ำที่เป็นส่วนประกอบทั้งส่วนที่เป็นอินทรีย์และส่วนที่เป็นอนินทรีย์ (Coherent Moisture) ยังคงอยู่ในเชื้อเพลิง

2.5.1.2 เถ้า (Ash, A) เป็นน้ำหนักที่คงอยู่หลังจากการเผาสารตัวอย่างภายใต้สภาวะออกซิไดซ์ที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 700-750 °C

2.5.1.3 สารระเหยได้ (Volatile Matter, VM) เป็นน้ำหนักที่สูญหายไป (เมื่อหักความชื้นออกแล้ว) หลังจากการอบสารตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ที่อุณหภูมิ 950 ± 20 °C เป็นเวลา 6 นาที โดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ เพื่อกลั่นสลายส่วนที่ระเหยได้ออกมา

2.5.1.4 คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon, FC) เป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงแข็ง ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ (แต่ไม่ทั้งหมด) ได้จากการคำนวณผลต่างตามสมการที่ 1

$$\%FC = 100 - (\%M + \%A + \%VM) \quad (1)$$

2.5.2 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการสันดาปของเชื้อเพลิงภายใต้การทำให้สารที่ได้จากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงนั้นเย็นลงถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือเมกะจูลต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2547) ค่าพลังงานความร้อนมีวิธีการวัด 3 แบบคือ

2.5.2.1 ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึง การนำเชื้อเพลิงชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน โดยที่ค่าที่วัดได้ คือ ค่าความร้อนต่ำต่อกิโลกรัม ดังสมการ (2) และ (3)

$$LHV = HHV - m_w h_{fg} \quad \text{เมกะจูลต่อกิโลกรัม} \quad (2)$$

$$\text{หรือ} \quad LHV = HHV - 9 m_{H_2} H_{fg} \quad \text{เมกะจูลต่อกิโลกรัม} \quad (3)$$

2.5.2.2 ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึง การนำเชื้อเพลิงชีวมวล 1 กิโลกรัม มาทำการลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกไปให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อนที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูงต่อกิโลกรัมมีหน่วยเป็นกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังสมการ (4)

$$HHV = LHV + 23.95 (9H + M) \quad \text{เมกะจูลต่อกิโลกรัม} \quad (4)$$

2.5.2.3 ค่าความร้อนแห้ง หรือ Dry Heating Value หมายถึง การนำเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวนหนึ่งมาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำให้หมด จากนั้นนำน้ำมา 1 กิโลกรัม เพื่อหาความ

ร้อน โดยค่าที่วัดได้คือค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังสมการ (5)

$$\text{HHV} = 33.7 + 144(\text{H} - 0/8) + 9.4\text{S} \quad \text{เมกะจูลต่อกิโลกรัม} \quad (5)$$

ตารางที่ 2.4 Proximate Analysis as Received และความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ [3]

ชื่อตัวอย่าง	Proximate Analysis as Received				ความร้อน (cal/g) (Dry basis)
	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	
ต้นฝ้าย	9.33	4.77	67.95	17.95	4,044.29
ข้าวฟ่าง	4.31	8.63	68.83	18.23	4,051.48
ต้นข้าวโพด	13.32	6.20	64.58	15.90	4,313.90
ซังข้าวโพด	4.39	1.03	80.17	14.41	4,187.00
กะลามะพร้าว	11.79	0.85	64.03	23.33	4,860.48
กะลาปาล์ม	13.00	1.30	64.55	21.05	5,072.50
ฟางข้าว	2.86	11.24	65.64	20.26	3,503.51
เปลือกทุเรียน	9.93	2.71	74.30	13.06	4,449.45
กากทานตะวัน	11.50	3.67	64.34	20.49	4,034.20
ชานอ้อย	13.38	2.61	64.73	19.26	3,972.76
ใบจามจุรี	7.32	15.65	62.35	14.68	5,078.74
แกลบ	7.27	14.07	60.87	17.79	4,009.40
ลำต้นมัน สำปะหลัง	31.54	6.22	47.73	14.51	4,670.00
เหง้ามัน สำปะหลัง	41.98	3.57	41.86	12.59	4,368.30
หญ้าขจรจบ	5.91	8.04	66.97	19.08	3,773.11
หญ้าคา	5.75	6.53	65.32	22.40	3,773.11
โคกกระสุน	8.57	9.88	65.23	16.32	4,340.92

ตารางที่ 2.4 Proximate Analysis as Received และความร้อนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงได้ [3] (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	Proximate Analysis as Received				ความร้อน (cal/g) (Dry basis)
	ความชื้น (%)	ความชื้น (%)	ความชื้น (%)	ความชื้น (%)	
ไมยราบยักษ์	9.25	4.15	64.38	22.22	4,556.10
ผักตบชวา	6.47	10.08	67.07	15.70	3,492.13
ไม้ยางพารา	3.94	4.54	16.00	73.52	6,934.02
ไม้ยูคาลิปตัส	4.30	1.51	79.10	15.09	4,436.00
ขี้เลื่อยไม้เบญจ พรรณ	7.87	2.23	72.14	17.76	5,179.00
ไม้กระถินยักษ์	9.09	1.03	72.17	17.71	4,309.40

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[5] เกวลิน ไชยอำพร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม เมื่อใช้น้ำและของเสียกลีเซอรอล มาเป็นตัวประสานโดยศึกษาอนุภาค อัตราส่วนผสม อุณหภูมิของตัวประสาน และอัตราส่วนของวัสดุที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเม็ด จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเส้นใยปาล์ม : น้ำ : ของเสียกลีเซอรอล เป็น 50:10:40 เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีความหนาแน่น 982.2 kg/m^3 ค่าความร้อน 22.5 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 5.9194 และมีปริมาณเถ้าร้อยละ 4.2339 ซึ่งปริมาณเถ้าเกินค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ส่วนในการนำเอากะลาปาล์มผสมกับเส้นใยปาล์มในสัดส่วน 20:80 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากปริมาณเถ้าลดลงเหลือร้อยละ 2.5247 ซึ่งปริมาณเถ้าเกินค่ามาตรฐาน และมีความหนาแน่น 774.8 kg/m^3 ค่าความร้อน 19.71 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 9.8137

[6] กิตติลดา วรรณท์ และชัชวาล อัยยาธิติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการศึกษาศักยภาพในการนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นการนำส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียจากถังตกตะกอนซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือเยื่อกระดาษและเศษวัสดุเหลือใช้ภายในโรงงานมาผสมกับ

เปลือกยูคาลิปตัสสับและเศษฟ่อนไม้ โดยการนำมาอัดเม็ด และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงเม็ดจากกากตะกอนผสมกับเปลือกยูคาลิปตัสสับและเศษฟ่อนไม้ ได้ผลดีที่สุด ที่อัตราส่วน 1:2:1

[7] ชนิษฐ์ อุปถัมภ์ และสมโภชน์ สุตาจันทร์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วการอัดที่มีต่อสมรรถนะของชุดอัดเม็ดใบอ้อยแบบลูกกลิ้งบดอัดบนแผ่นจาน โดยมีตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังและน้ำ อัตราส่วนการผสมคือใบอ้อย (1.5) : แป้งมันสำปะหลัง (0.75) : น้ำ (2.5) โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาอัตราป้อน 3 ระดับ (125 150 และ 175 kg/hr) ความเร็วการอัด 4 ระดับ (140 165 190 และ 215 rpm) จากการทดสอบพบว่า อัตราการป้อนที่ 150 kg/hr ความเร็วการอัด 165 rpm ชุดอัดมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 139.05 kg/hr พลังงานจำเพาะ 5.68 W-hr/kg ความหนาแน่น 711.84 kg/m³ ความแข็งแรง 799.00 kN ค่าความร้อนเฉลี่ย 2,896.25 cal/g

[8] ณัฐชนันญา บุญถึง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง จากขี้ข้าวโพดผสมกะลามะพร้าว โดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพมาใช้เป็นตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่งทำให้ถ่านอัดแท่งมีคุณภาพสูงกว่าการใช้วัตถุดิบเดิมเช่นแป้งมันสำปะหลัง ทั้งในด้านของสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางความร้อน

[9] ศิริชัย ต่อสกุล, กุณทล ทองศรี, และ จงกล สุภารัตน์ ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำการศึกษา การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน โดยใช้ถ่านจากกะลามะพร้าวและกากมะพร้าวมาเป็นส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่งพบว่า การกากมะพร้าวมาผสมทำให้มีสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น เพราะกากมะพร้าวมีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าว

[10] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล, อุปวิทย์ สุวคันธกุล, และอัมพร กุญชรรัตน์ สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้ศึกษา การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้้ามันสำปะหลัง พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่าง ถ่านอัดแท่ง

กะลามะพร้าว 9 ส่วน ต่อ ถ่านห้ก้ำมันสำปะหลัง 1 ส่วน เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด 6,580.10 1 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช. 238/2547)

[11] ทองทิพย์ พูลเกษม ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีการอัดแบบร้อนและเย็น เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด การทดลองได้นำ เปลือกทุเรียน 2 พันธุ์ คือ หมอนทองและชะนี ที่มีความชื้นร้อยละ 75 – 80 สับเป็นชิ้นเล็กๆตากแดดให้เหลือความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 45 จากนั้นนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องอัดแท่งแบบเกลียวซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือแบบอัดร้อนและแบบอัดเย็น 2 วิธี คือ อัดโดยใช้ตัวประสาน (น้ำ หมักชีวภาพและโมลาส) และอัดโดยไม่ใช้ตัวประสาน ผลการทดลองพบว่าความสามารถอัดเป็นแท่งและคุณภาพเชื้อเพลิงของเปลือกทุเรียนทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบเย็นให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งแบบอัดโดยใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสานให้ค่าความร้อนประมาณ 3,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งแบบร้อนจะให้ค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 3,800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าการอัดแบบเย็น คือ 0.45 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง

[12] สัจมาน ตรันเจริญและคณะ ศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากโรงงานแปรงมันดัดแปลงผสมกับเศษถ่านผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยศึกษา อัตราส่วน (กากตะกอน: เศษถ่านโดยปริมาตร) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง วิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ความทนทานต่อแรงอัดในแนวตั้งและแนวนอน ดัชนีการแตกร่วน วิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิง ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัว สารระเหย ค่ากา มะถันทั้งหมด และค่าความร้อน พร้อมประเมินความเป็นไปได้ของต้นทุนการผลิต จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนจากโรงงานแปรงมันดัดแปลงผสมกับเศษถ่าน อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ 3 : 7 มีค่าความร้อน 5,885 แคลอรีต่อกกรัม มีค่าความชื้นร้อยละ 7.13 ปริมาณเถ้าร้อยละ 10.70 ค่ากา มะถันร้อยละ 0.33 ทั้งหมดมีค่าต่ำ ที่สุด ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าที่ราคาขายส่ง แท่งละ 0.50 บาทต่อแท่ง ปริมาณการผลิตอยู่ที่หนึ่งล้านแปดแท่งต่อปี และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 0.89 ปี

[13] อีรพจน์ พุทธิกิจวิวงศ์ และคณะ ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิง โดยนำ เอาต้นถั่วเหลืองไปเผาให้เป็นถ่านมาบด อัดเป็นแท่ง และใช้มันสา ปะหลังสดเป็นตัวประสาน โดยมีอัตราส่วนตัวประสานต่อถ่านที่ดีที่สุด คืออัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อน 21.30 เมกะจูลต่อ

กิโลกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนน้อยกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสประมาณร้อยละ 26 มีปริมาณคาร์บอน
เสถียรและสารระเหยน้อยกว่าแต่มีปริมาณเถ้ามากกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านอัดแท่งจากถั่ว
เหลืองสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในครัวเรือน ทดแทนการใช้ฟืนและถ่านได้



บทที่ 3

วิธีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

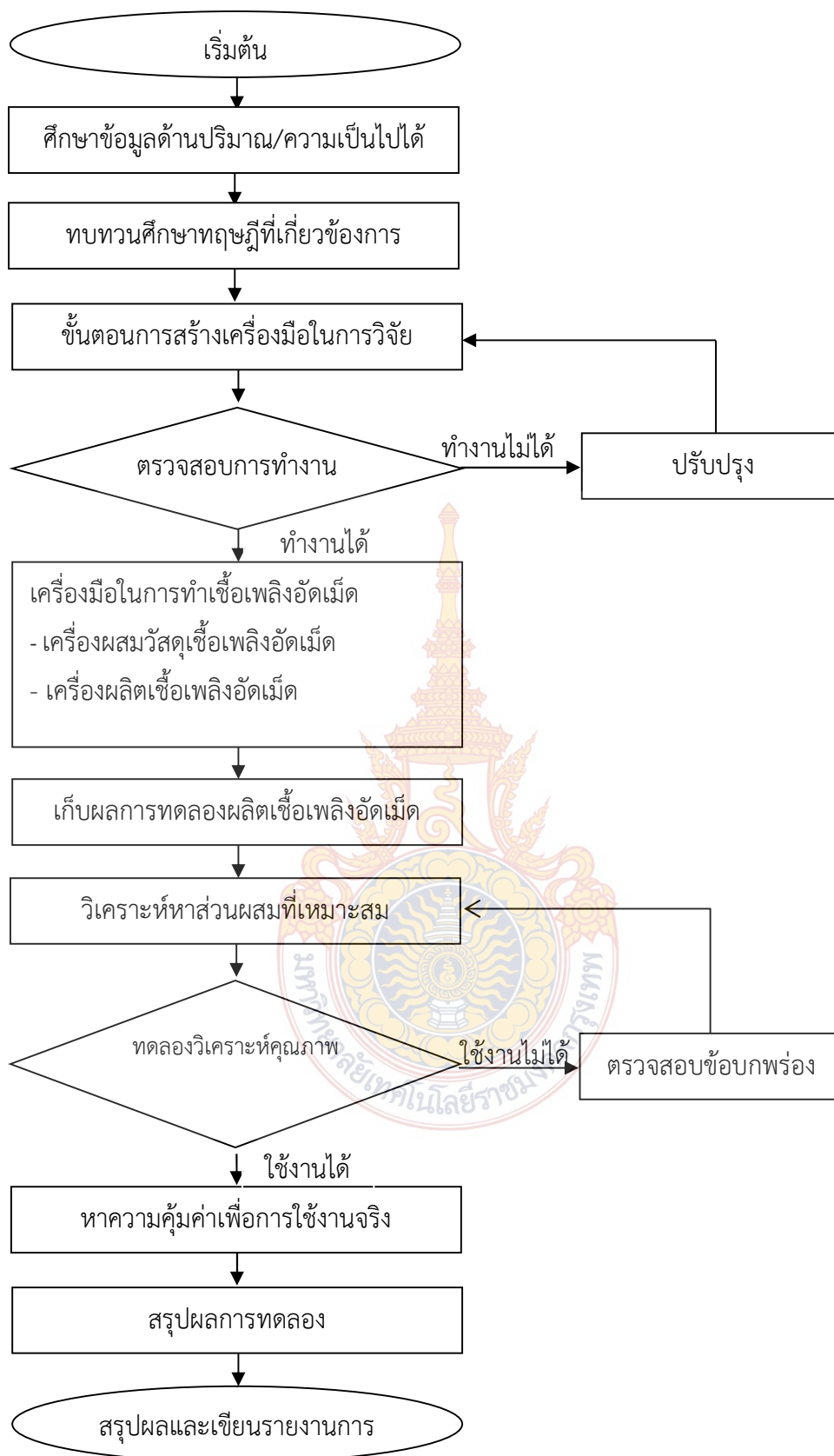
ในการศึกษาวิจัยเรื่อง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวซึ่งมีวิธีการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย
- 3.2 เครื่องมือในการทำวิจัย
- 3.3 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
- 3.4 อัตราส่วนที่ใช้ในการศึกษา
- 3.5 การทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง และวิเคราะห์ค่าคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยเรื่อง เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปนี้

- 3.1.1 ศึกษาข้อมูลด้านปริมาณ/ความเป็นไปได้ของงานวิจัย
- 3.1.2 ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว
- 3.1.3 ออกแบบและสร้างเครื่องมือในการเก็บผลการทดลองเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 3.1.4 เก็บผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 3.1.5 วิเคราะห์คุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 3.1.6 สรุปผลการทดลอง

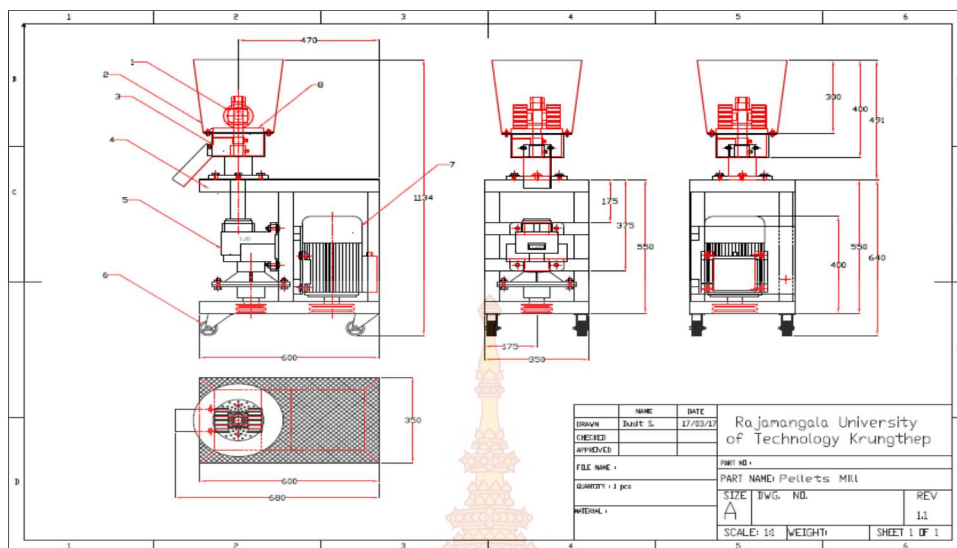


ภาพที่ 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ออกแบบเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

ออกแบบเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่มีแกนหมุนแนวตั้ง มาผลิตเป็นเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว



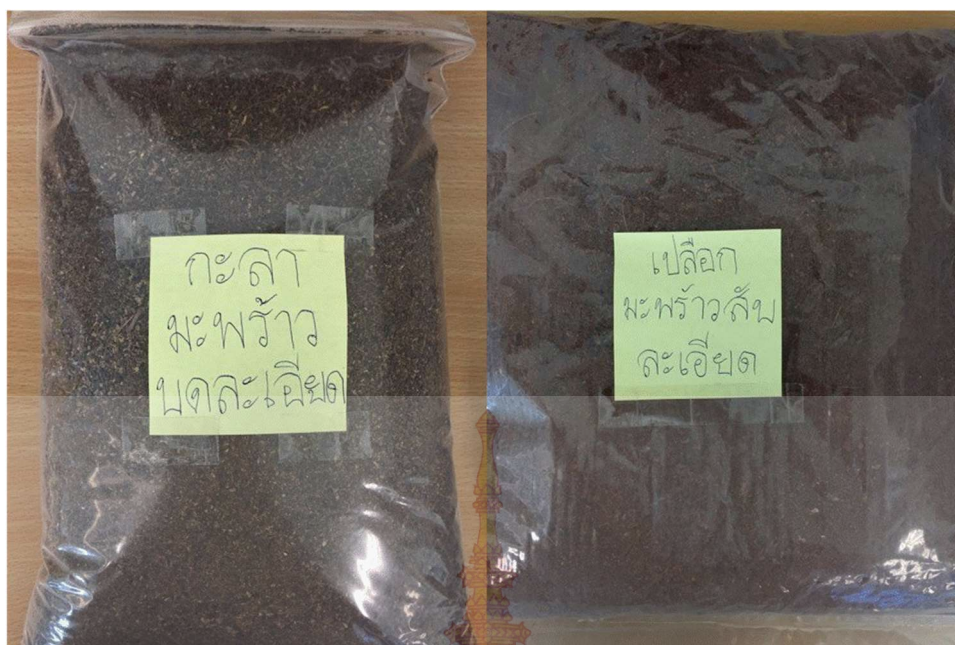
ภาพที่ 3.2 แบบเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

3.2.2 การสร้างเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง



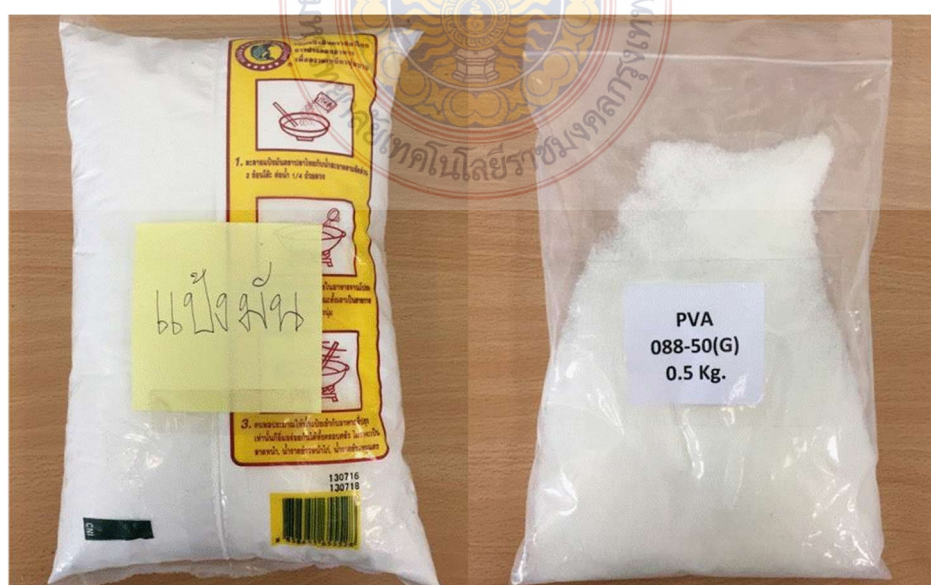
ภาพที่ 3.3 เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

3.2.3 การเตรียมวัสดุ โดยการลดขนาดกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ให้มีขนาดเล็ก
เหมาะสมต่อการคลุกเคล้าและการขึ้นรูป ทำได้โดยการใช้เครื่องบด และเครื่องปั่นวัสดุ



ภาพที่ 3.4 กะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

3.2.4 นำกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ที่บดหรือปั่นมาผสมกับตัวประสานที่เลือกไว้คือ แป้ง
และ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA) ตามอัตราส่วนที่กำหนดให้เข้ากันก่อนจะนำไปขึ้นรูป



ภาพที่ 3.5 ตัวประสานคือ แป้ง และ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA)



ภาพที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.2.5 นำกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ที่ผสมกับส่วนผสมแล้วมาใส่เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด



ภาพที่ 3.7 ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.2.6 นำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาผึ่งแดดประมาณ 3 – 4 วัน เพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแห้งมีความชื้นเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์



ภาพที่ 3.8 เชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.3 การออกแบบการวิจัย

3.4.1 ตัวแปรสารที่ใช้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด มี 2 ชนิดคือ แป้งมัน และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และอัตราส่วนที่ใช้ผสมกันโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1 โดยทำการทดสอบเพื่ออัตราส่วนของตัวแปรสารที่มีผลค่าความร้อนที่มีค่ามากที่สุดเพื่อนำไปศึกษาส่วนผสมของวัสดุในหัวข้อ 3.4.2

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยแปรผันกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก			
วัสดุ		วัสดุ	
กะลามะพร้าว	เปลือกมะพร้าว	PVA	แป้งมัน
50	50	90	10
50	50	80	20
50	50	70	30
50	50	60	40

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยแปรผันกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว (ต่อ)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก			
วัสดุ		วัสดุ	
กะลามะพร้าว	เปลือกมะพร้าว	PVA	แป้งมัน
50	50	50	50
50	50	40	60
50	50	30	70
50	50	20	80
50	50	10	90

3.4.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดคือ กะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าว และอัตราส่วนที่ใช้ผสมกันโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมโดยแปรผันแป้งมัน และ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก			
วัสดุ		ตัวประสาน	
กะลามะพร้าว	เปลือกมะพร้าว	PVA	แป้งมัน
90	10	90	10
80	20	90	10
70	30	90	10
60	40	90	10
50	50	90	10
40	60	90	10
30	70	90	10
20	80	90	10
10	90	90	10

3.4 เครื่องมือและสถิติที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ด ณ ห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ระหว่างกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว และอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวประสาน โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.4.2 ทดสอบหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิง

ทดสอบหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ณ ห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

วิธีการทดลอง

1. นำถั่วที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
3. นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก

สูตรการคำนวณ

$$M = (W_1 - W_2) / W_0 \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณเถ้า
 W_1 = น้ำหนักถั่ว และเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักถั่ว (กรัม)
 W_0 = น้ำหนักตัวอย่าง

3.4.3 ทดสอบหาปริมาณความชื้น

ทดสอบหาปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ณ ห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

วิธีการทดลอง

1. นำถ้วยที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก
2. ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
3. นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนัก

สูตรการคำนวณ

$$M = (W_3 - W_4) / W_0 \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณแก้ว
 W_3 = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
 W_4 = น้ำหนักถ้วยและตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
 W_0 = น้ำหนักตัวอย่าง

3.4.4 ทดสอบหาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิง

ทดสอบหาความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ณ ห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์เป็นเครื่องมือวัดและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.4.5 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานชีวมวลกับเชื้อเพลิงสันเปื้อง

การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของวัสดุและตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อค่าความร้อนที่มีค่ามากที่สุด เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงสันเปื้องชนิดอื่น ๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า, น้ำมันดิบ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบ และทดลองทำการผลิตตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ตามกระบวนการ และอัตราส่วนที่กำหนดไว้ และนำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปทำการทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้านความร้อน และคุณลักษณะอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ ความเหมาะสมทางกายภาพ และคุณสมบัติของชีวมวลเพื่อนำไปใช้งาน โดยกระบวนการศึกษาวิจัยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 4.1 การวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 4.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ
- 4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 4.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานชีวมวลกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

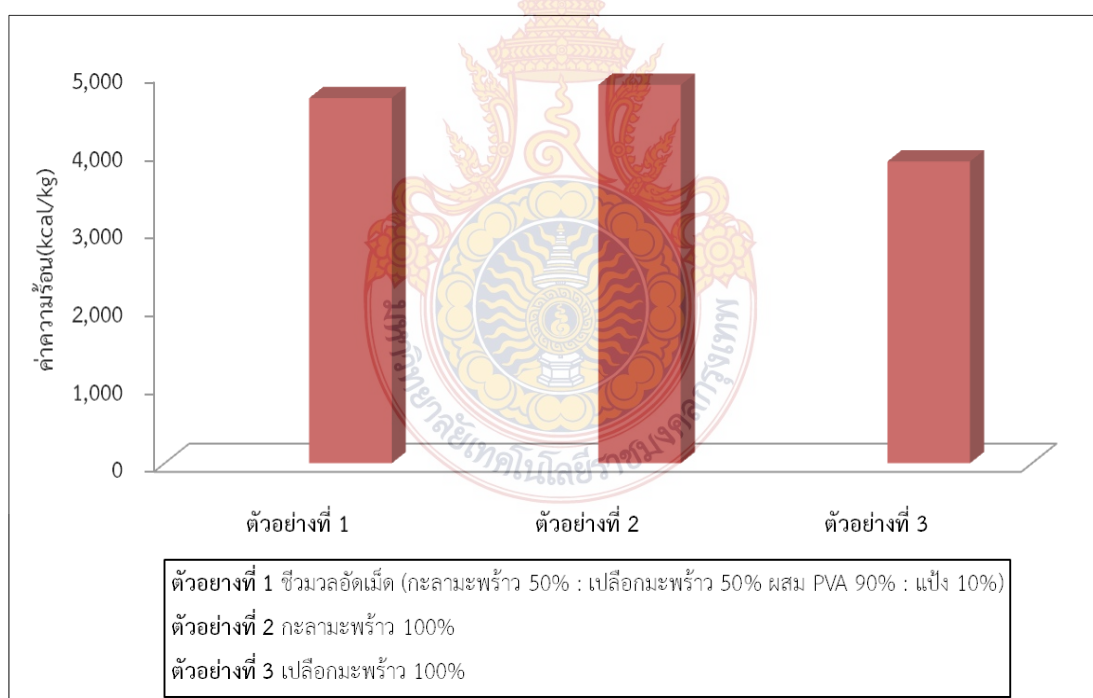
4.1 การวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดการ

ผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะค่าความร้อนที่ได้จากที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว โดยการผสมวัสดุระหว่างกะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าวที่ 50:50 และแปรผันตัวประสานคือโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแป้งมัน ที่ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ มาวิเคราะห์ค่าความร้อน และนำมาขยายผลเพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับอัตราส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งได้ค่าทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

จากผลการทดสอบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดสำหรับอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 4,691.33 kcal/kg และค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของตัวประสานโดยถ้าอัตราส่วนของแป้งมันเพิ่มขึ้นแล้ว โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลดลง ค่าความร้อนลดลงด้วย ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์นำอัตราส่วนตัวประสานแป้งต่อ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่มีค่าดีที่สุดที่สุดไปทำการทดลองปรับอัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อเปลือกมะพร้าวเพื่อหาค่าความร้อนและคุณสมบัติ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในอัตราส่วนผสมกะลามะพร้าว 50% ต่อเปลือกมะพร้าว 50% โดยน้ำหนัก

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ค่าความร้อน (kcal/kg)
วัสดุ		ตัวประสาน		
กะลามะพร้าว (%)	เปลือกมะพร้าว (%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)	
50	50	90	10	4,691.33
50	50	80	20	4,579.33
50	50	70	30	4,464.00
50	50	60	40	4,422.00
50	50	50	50	4,360.00
50	50	40	60	4,250.00
50	50	30	70	4,210.00
50	50	20	80	4,124.00
50	50	10	90	4,100.00



ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด (กะลามะพร้าว 50% : เปลือกมะพร้าว 50% ตัวประสานที่ PVA 90% : แป้งมัน 10%) กับกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

จากผลการทดสอบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ด เมื่อนำตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดที่มีค่าความร้อนสูงที่สุด (4,691.33 kcal/kg) เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของกะลามะพร้าว (4,860.48 kcal/kg) และเปลือกมะพร้าว (3876.46 kcal/kg) พบว่าชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนน้อยกว่า น้อยกว่าค่าความร้อนของกะลามะพร้าว 3.48% เทียบกับค่าความร้อน ของเปลือกมะพร้าว ชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนมากกว่า 17.37% ดังภาพที่ 4.1

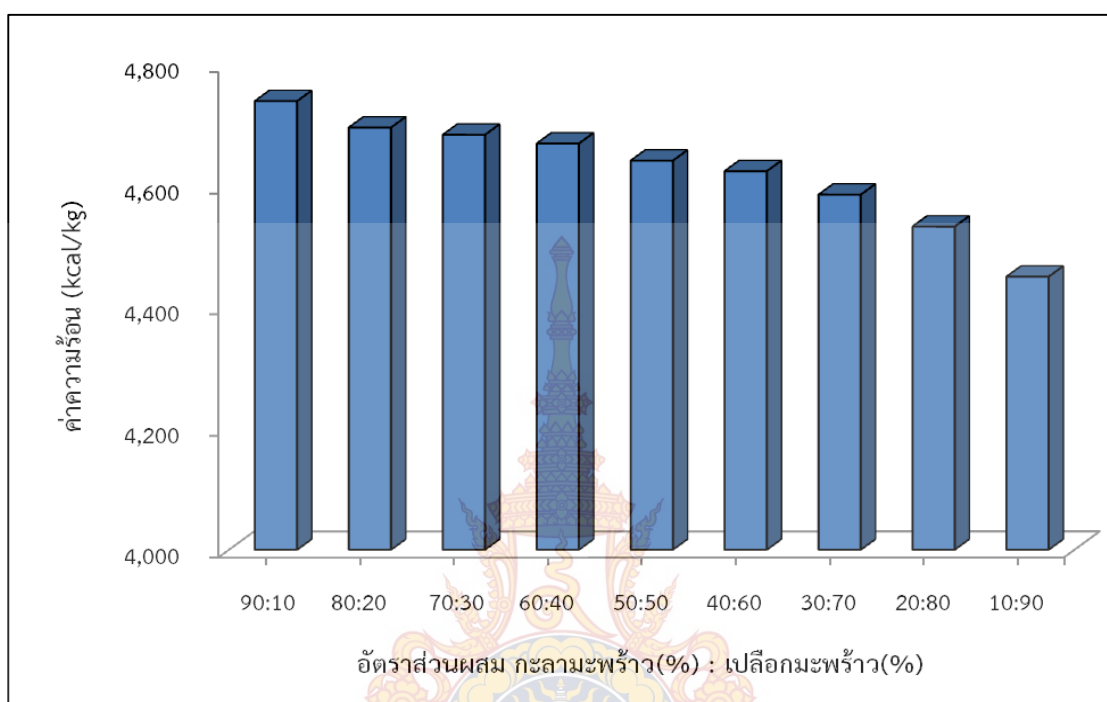
4.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าวที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะค่าความร้อนที่ได้จากที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว โดยเป็นการผสมกะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าวที่ 50:50 และพบว่าตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแป้งมัน ที่ 90:10 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่า ดังนั้นจึงนำผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ มาทดลองปรับอัตราส่วนกะลามะพร้าวต่อเปลือกมะพร้าว เพื่อหาค่าความร้อนและคุณสมบัติที่ดีที่สุดต่อไป ซึ่งได้ค่าทดสอบแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว กับเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% โดยน้ำหนัก

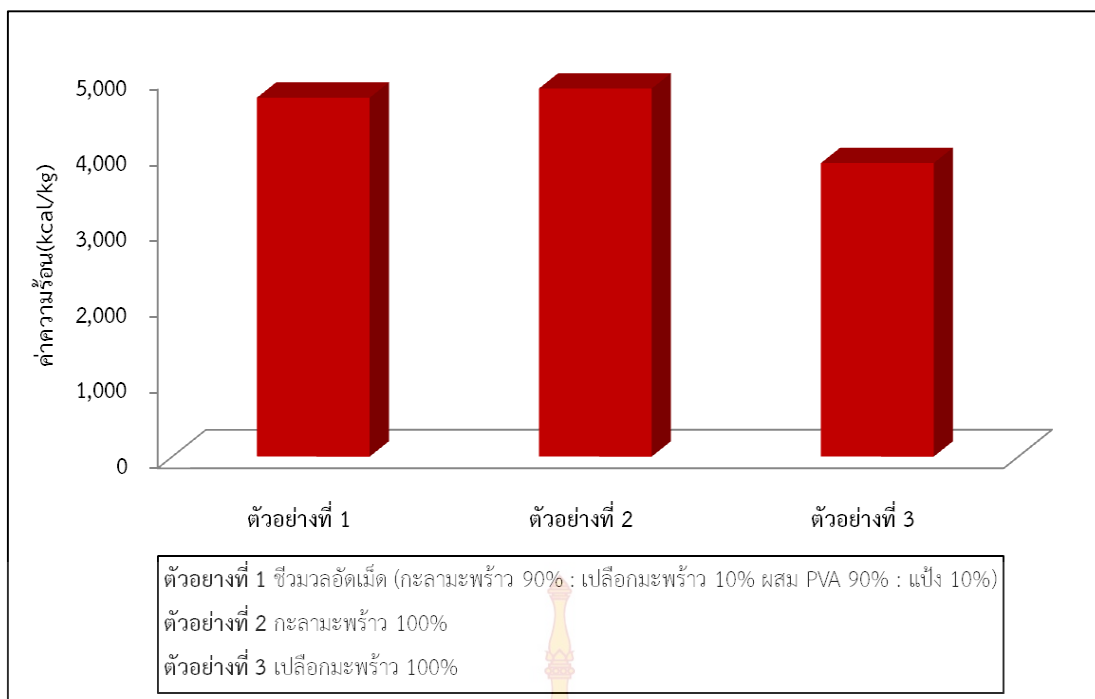
อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ค่าความร้อน (kcal/kg)
วัสดุ		ตัวประสาน		
กะลามะพร้าว(%)	เปลือกมะพร้าว (%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)	
90	10	90	10	4,739.56
80	20	90	10	4,696.00
70	30	90	10	4,684.00
60	40	90	10	4,669.60
50	50	90	10	4,641.33
40	60	90	10	4,624.01
30	70	90	10	4,585.30
20	80	90	10	4,532.67
10	90	90	10	4,450.00

จากตารางที่ 4.2 พบว่าจากการทดสอบค่าความร้อนสำหรับอัตราส่วนผสมของวัสดุที่กะละมะพร้าว 90% ต่อเปลือกมะพร้าว 10% มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 4,739.56 kcal/kg และค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนผสมของกะละมะพร้าวที่ลดลง โดยค่าความร้อนที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 4,450.00 kcal/kg ที่อัตราส่วนกะละมะพร้าว 10% กับเปลือกมะพร้าว 90% ซึ่งค่าความร้อนที่มากที่สุดและค่าที่น้อยที่สุดแตกต่างกัน 6.11 % แสดงว่าค่าความร้อนที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ค่าความร้อนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะละมะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

จากผลการทดสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างกะละมะพร้าว กับเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ในอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% โดยน้ำหนัก เมื่อนำตัวอย่างชีวมวลอัดเม็ดที่มีค่าความร้อนสูงที่สุด (4,739.56 kcal/kg) เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของกะละมะพร้าว (4,860.48 kcal/kg) และเปลือกมะพร้าว (3,876.46 kcal/kg) พบว่าชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนน้อยกว่า น้อยกว่าค่าความร้อนของกะละมะพร้าว 2.49% เทียบกับค่าความร้อน ของเปลือกมะพร้าวชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนมากกว่า 18.21% ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความร้อนของซีมวลัดเม็ด (กะลา 50% : เปลือกมะพร้าว 50% ตัวประสานที่ PVA 90% : แป้งมัน 10%) กับกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว

4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่มีการแปรผันส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับแป้งมัน และการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าว ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าสามารถอัดได้ทุกอัตราส่วน โดยภาพรวมเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-8 มิลลิเมตร ความยาว 25-30 มิลลิเมตร จากการสังเกตลักษณะผิวของเม็ดเชื้อเพลิงซีมวลัดมีสีน้ำตาล ขุขระเล็กน้อยไม่มีรอยแตก หรือหักเป็นชิ้นเล็กๆ และในการทดสอบค่าความชื้น เถ้า และสารระเหย ได้ค่าทดสอบจากห้องปฏิบัติการ ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.3 พบว่าจากผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับค่าความชื้นและเถ้า อัตราส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% ให้ค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.26% และ 2.89% ตามลำดับ และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 10.57% และ 4.94% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 10% ต่อแป้งมัน 90% ค่าความชื้นกับเถ้ามีแนวโน้มมากขึ้นโดยแปรผกผันกับอัตราส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ส่วนสารระเหยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 70.17% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 67.27% ค่าสารระเหยมีแนวโน้มลดลงโดยแปรผันตามอัตราส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสาน

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ความชื้น (%)	เถ้า(%)	สารระเหย(%)
วัสดุ		ตัวประสาน				
กะลา มะพร้าว(%)	เปลือก มะพร้าว(%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)			
50	50	90	10	10.26	2.89	70.17
50	50	80	20	10.30	3.15	70.17
50	50	70	30	10.34	3.40	69.45
50	50	60	40	10.38	3.66	69.08
50	50	50	50	10.42	3.92	68.72
50	50	40	60	10.45	4.17	68.36
50	50	30	70	10.49	4.43	68.00
50	50	20	80	10.53	4.68	67.63
50	50	10	90	10.57	4.94	67.27

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของวัสดุ

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ความชื้น (%)	เถ้า(%)	สารระเหย(%)
วัสดุ		ตัวประสาน				
กะลา มะพร้าว(%)	เปลือก มะพร้าว(%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)			
50	50	90	10	10.23	2.42	71.17
50	50	80	20	10.60	2.66	70.22
50	50	70	30	10.98	2.89	69.27
50	50	60	40	11.35	3.13	68.31
50	50	50	50	11.72	3.36	67.36
50	50	40	60	12.09	3.60	66.41
50	50	30	70	12.47	3.83	65.46
50	50	20	80	12.84	4.07	64.50
50	50	10	90	13.21	4.30	63.55

จากตารางที่ 4.4 พบว่าจากผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดสำหรับค่าความชื้นและเถ้า อัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว 90% ต่อเปลือกมะพร้าว 10% ให้ค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.23% และ 2.42% ตามลำดับ และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13.21% และ 4.30% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว 10% ต่อเปลือกมะพร้าว 90% ค่าความชื้นกับเถ้ามีแนวโน้มมากขึ้นโดยแปรผกผันกับอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว ส่วนสารระเหยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 71.17% และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 63.55% ค่าสารระเหยมีแนวโน้มลดลงโดยแปรผันตามอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว

4.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของวัสดุและตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อค่าความร้อนที่มีค่ามากที่สุด เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองคือ พลังงานไฟฟ้า, น้ำมันดิบ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งได้ค่าเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

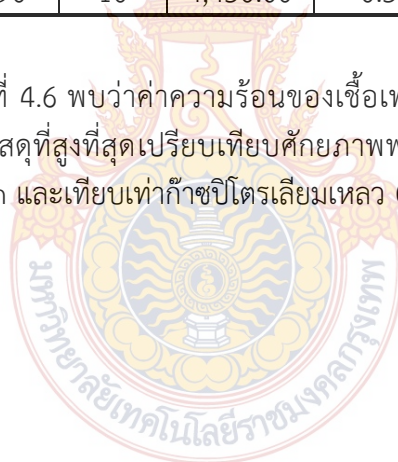
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง ที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสาน

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ค่าความร้อน (kcal/kg)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ลิตร)	เทียบเท่า ไฟฟ้า (kW-h)	เทียบเท่า ก๊าซ ปิโตรเลียม เหลว (ลิตร)
วัสดุ		ตัวประสาน					
กะลามะพร้าว (%)	เปลือกมะพร้าว (%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)				
50	50	90	10	4,691.33	0.54	5.47	0.74
50	50	80	20	4,579.33	0.53	5.34	0.72
50	50	70	30	4,464.00	0.51	5.21	0.70
50	50	60	40	4,422.00	0.51	5.16	0.70
50	50	50	50	4,360.00	0.50	5.09	0.69
50	50	40	60	4,250.00	0.49	4.96	0.67
50	50	30	70	4,210.00	0.49	4.91	0.66
50	50	20	80	4,124.00	0.48	4.81	0.65
50	50	10	90	4,100.00	0.47	4.78	0.64

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง ที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของวัสดุ

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก				ค่าความร้อน (kcal/kg)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ลิตร)	เทียบเท่า ไฟฟ้า (kW-h)	เทียบเท่า ก๊าซ ปิโตรเลียม เหลว (ลิตร)
วัสดุ		ตัวประสาน					
กะลามะพร้าว (%)	เปลือกมะพร้าว (%)	PVA (%)	แป้งมัน (%)				
90	10	90	10	4,739.56	0.55	5.53	0.75
80	20	90	10	4,696.00	0.54	5.48	0.74
70	30	90	10	4,684.00	0.54	5.46	0.74
60	40	90	10	4,669.60	0.54	5.45	0.73
50	50	90	10	4,641.33	0.53	5.41	0.73
40	60	90	10	4,624.01	0.53	5.39	0.73
30	70	90	10	4,585.30	0.53	5.35	0.72
20	80	90	10	4,532.67	0.52	5.29	0.71
10	90	90	10	4,450.00	0.51	5.19	0.70

จากตารางที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6 พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสานและวัสดุที่สูงที่สุดเปรียบเทียบกับศักยภาพพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 0.55 ลิตร เทียบเท่าไฟฟ้า 5.53 kW-h และเทียบเท่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว 0.75 ลิตร



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ตามกระบวนการและอัตราส่วนที่กำหนดไว้ และนำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดไปทำการทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้านความร้อนและคุณลักษณะอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการความเหมาะสมทางกายภาพ สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ดังหัวข้อต่อไปนี้

- 5.1 ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 5.2 ผลของของอัตราส่วนวัสดุจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 5.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด
- 5.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานชีวมวลกับเชื้อเพลิงสัณเป็ลือง

5.1 ผลของอัตราส่วนตัวประสานต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดการ

จากผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะค่าความร้อนที่ได้จากที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว โดยการผสมวัสดุระหว่างกะลามะพร้าวต่อเปลือกมะพร้าวที่ 50:50 และแปรผันตัวประสานคือโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ต่อแป้งมัน ที่ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบค่าความร้อนของชีวมวลอัดเม็ดสำหรับอัตราส่วนตัวประสานที่โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 4,691.33 kcal/kg และค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของตัวประสานโดยถ้าอัตราส่วนของแป้งมันเพิ่มขึ้นแล้ว โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ลดลง ค่าความร้อนลดลงด้วย เมื่อ เปรียบเทียบกับค่าความร้อนของกะลามะพร้าว(4,860.48 kcal/kg) และเปลือกมะพร้าว (3876.46 kcal/kg) มีค่าความร้อนน้อยกว่าค่าความร้อนของกะลามะพร้าว 3.48% มีมากกว่า 17.37% ค่าความร้อนของเปลือกมะพร้าว

5.2 ผลของของอัตราส่วนวัสดุจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะค่าความร้อนที่ได้จากที่ได้จากเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกะลามะพร้าวและเปลือกมะพร้าว โดยการผสมตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแป้งมัน ที่ 90:10 และแปรผันวัสดุคือกะลามะพร้าว และเปลือกมะพร้าว ที่ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบค่าความร้อน

สำหรับอัตราส่วนผสมของวัสดุที่กะลามะพร้าว 90% ต่อเปลือกมะพร้าว 10% มีค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 4,739.56 kcal/kg และค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าวที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของกะลามะพร้าว (4,860.48kcal/kg) และเปลือกมะพร้าว (3876.46kcal/kg) มีค่าความร้อนน้อยกว่าค่าความร้อนของกะลามะพร้าว 2.49% เทียบกับค่าความร้อนของเปลือกมะพร้าวชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนมากกว่า 18.21%

5.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

จากการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่มีการแปรผันส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับแป้งมัน และการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าวกับเปลือกมะพร้าว ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าสามารถอัดได้ทุกอัตราส่วน โดยภาพรวมเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-8 มิลลิเมตร ความยาว 25-30 มิลลิเมตร จากการสังเกตลักษณะผิวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลมีสีน้ำตาล ขูระเล็กน้อยไม่มีรอยแตก หรือหักเป็นชิ้นเล็กๆ สำหรับค่าความชื้นและค่าอัตราส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 90% ต่อแป้งมัน 10% ให้ค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.26% และ 2.89% ตามลำดับ และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 10.57% และ 4.94% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมของตัวประสานระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) 10% ต่อแป้งมัน 90% ค่าความชื้นกับค่ามีแนวโน้มมากขึ้นโดยแปรผกผันกับอัตราส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ส่วนสารระเหยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 70.17% และมิต้าน้อยที่สุดเท่ากับ 67.27% ค่าสารระเหยมีแนวโน้มลดลงโดยแปรผันตามอัตราส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่อัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว 90% ต่อเปลือกมะพร้าว 10% ให้ค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.23% และ 2.42% ตามลำดับ และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 13.21% และ 4.30% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมของวัสดุระหว่างกะลามะพร้าว 10% ต่อเปลือกมะพร้าว 90% ค่าความชื้นกับค่ามีแนวโน้มมากขึ้นโดยแปรผกผันกับอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว ส่วนสารระเหยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 71.17% และมิต้าน้อยที่สุดเท่ากับ 63.55% ค่าสารระเหยมีแนวโน้มลดลงโดยแปรผันตามอัตราส่วนผสมของกะลามะพร้าว

5.4 การเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานของชีวมวลอัดเม็ดกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของวัสดุและตัวประสานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อค่าความร้อนที่มีค่ามากที่สุด เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองคือ พลังงานไฟฟ้า, น้ำมันดิบ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีการแปรผันอัตราส่วนผสมของตัวประสานและวัสดุที่มีค่าสูงที่สุดเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานเทียบเท่าไฟฟ้า 5.53 kW-hr เทียบเท่า้ำมันดิบ 0.55 ลิตร และเทียบเท่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว 0.75 ลิตร

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558, สถานการณ์การใช้พลังงานรอบ 8 เดือนแรก ปี 2558 ของไทย, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก<http://energyservicecenter.go.th/?p=2940> (วันที่สืบค้น 19 ธ.ค. 58)
- [2] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน, 2556, คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนพลังงานชีวมวล ชุดที่ 4, pp.1
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554, คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน, pp.12-14
- [4] ทองทิพย์ พูลเกษม, Toungtip Poonkasem. 2542. การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. มหาวิทยาลัยมหิดล, ม.ป.ท.
- [5] เกวลิน ไชยอำพร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากเส้นใยปาล์มและกะลาปาล์ม”
- [6] กิตติลดา วรฉันท และชัชวาล อัยยาริธิ, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, “ศักยภาพในการนำตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล”
- [7] ชรินทร์ อุปถัมภ์ และสมโภชน์ สุตาจันทร์, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 “อิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วการอัดที่มีต่อสมรรถนะของชุดอัดเม็ดใบอ้อย”
- [8] ณัฐธัญญา บุญถึง, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, “สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง จากขังข้าวโพดผสมกะลามะพร้าว โดยใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสาน”
- [9] กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี สำนักเทคโนโลยีชุมชน กรมวิทยาศาสตร์บริการ “การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตร”
- [10] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุลและคณะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ “การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง”
- [11] ทองทิพย์ พูลเกษมและคณะ. 2542. ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียน
- [12] สัจจมาน ตรันเจริญและคณะ. 2544. การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนจากโรงงานแป้งมันต์ดัดแปลงผสมกับเศษถ่านผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

[13] อีรพจน์ พุทธิกิจวิวงศ์และคณะ. 2549. การผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นกล้วยเหลือ

[14] Flieger, M., Kantorova, M., Prell, A., Rezanka, T. and Votruba, J. (2003). Biodegradable plastics from renewable sources. Folia Microbiologica Journal. 48(1), 27–44.

[15] DeMerlis, C.C. and Schoneker, D.R. (2003). Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). Food Chem Toxicology Journal, 41, 319–326.



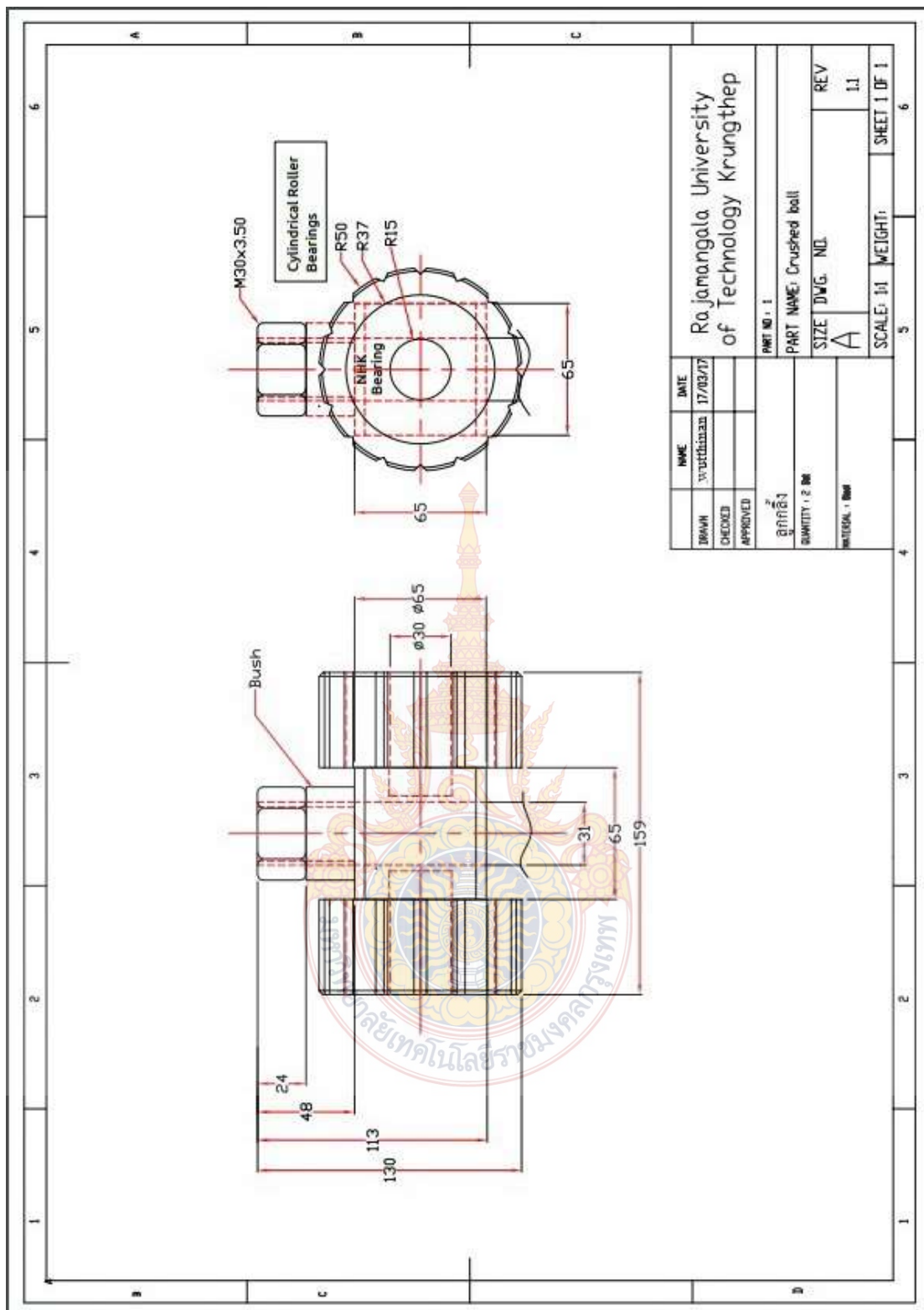
ภาคผนวก

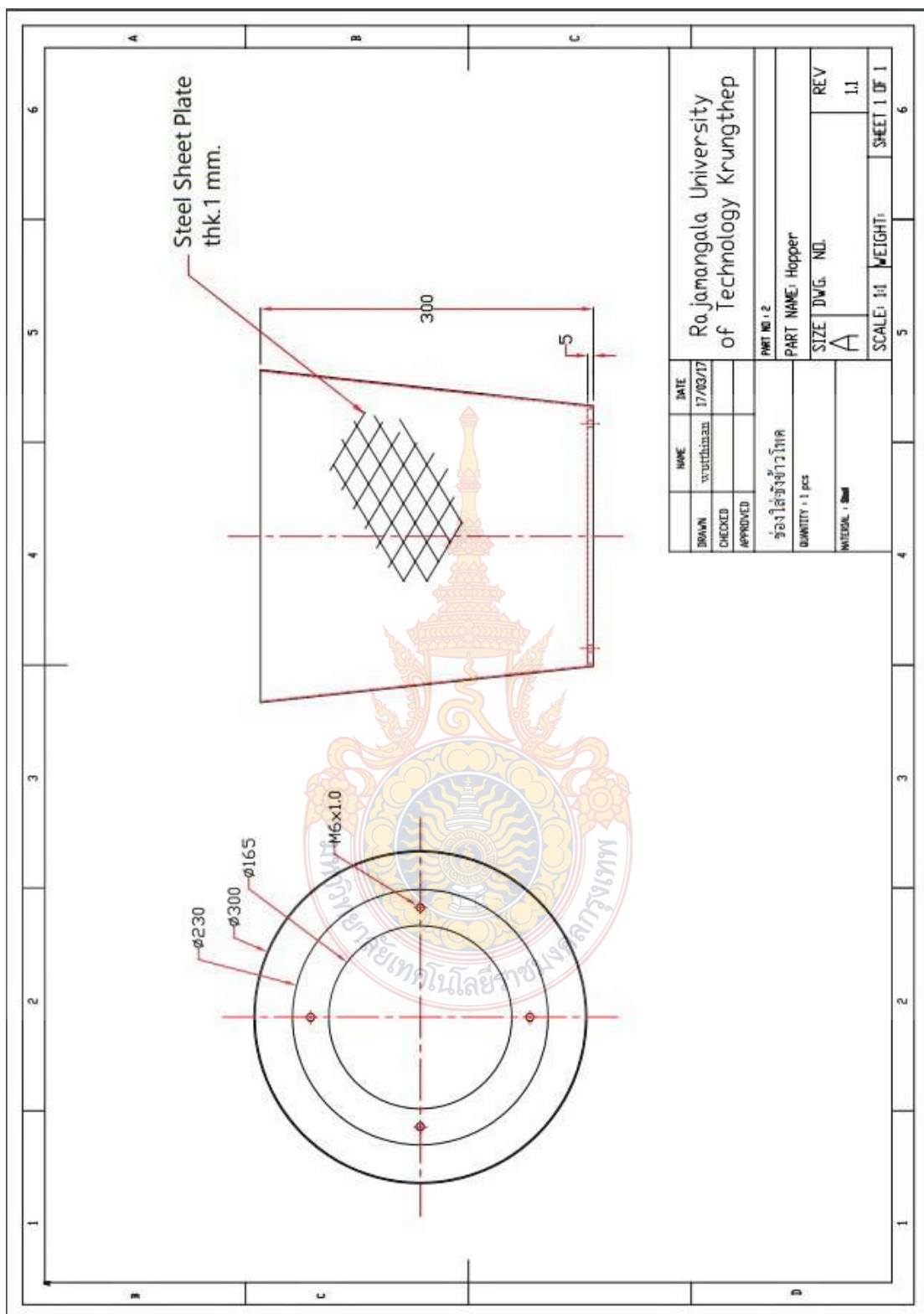


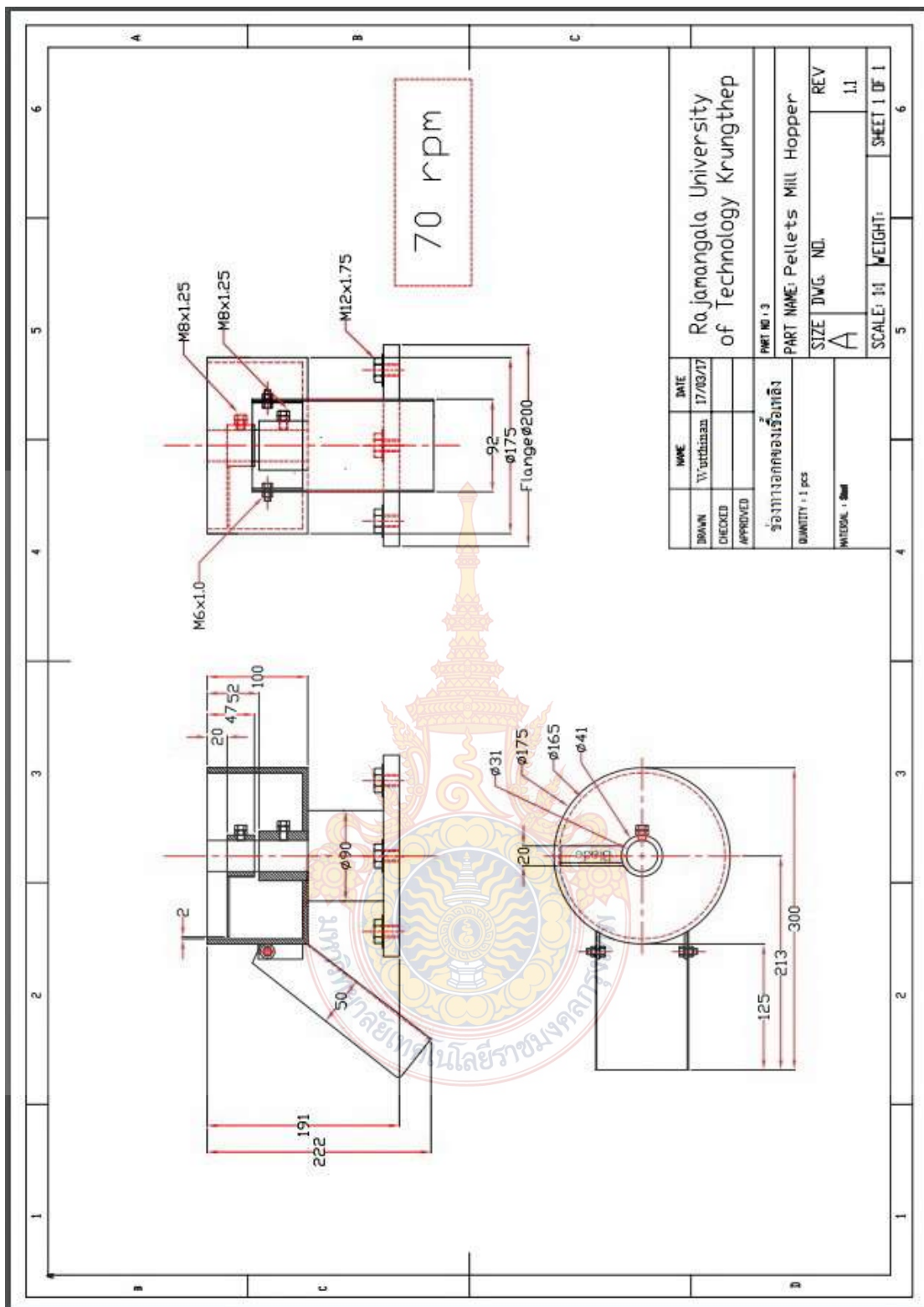
ภาคผนวก ก

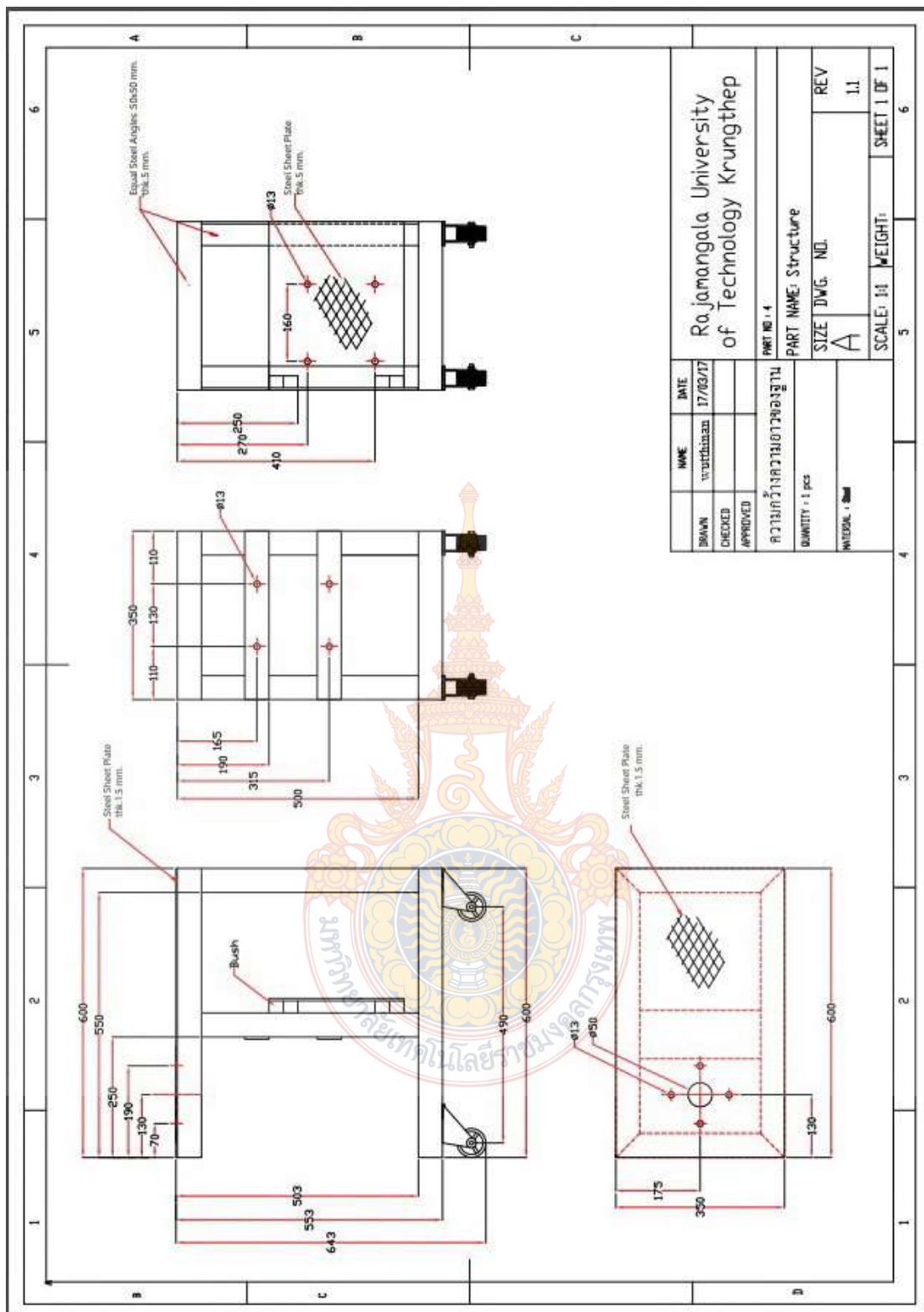
แบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยใช้ขังข้าวโพด

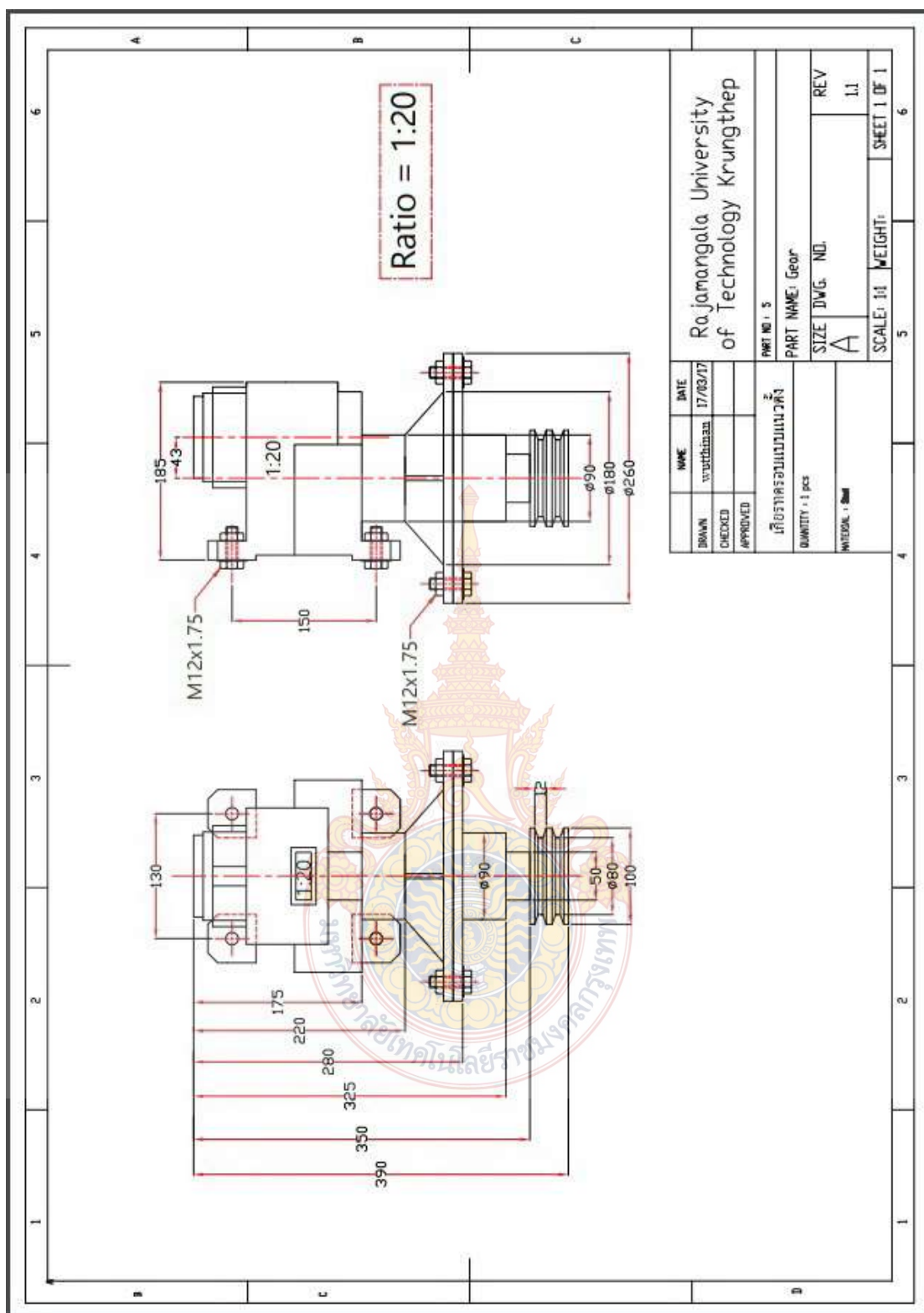


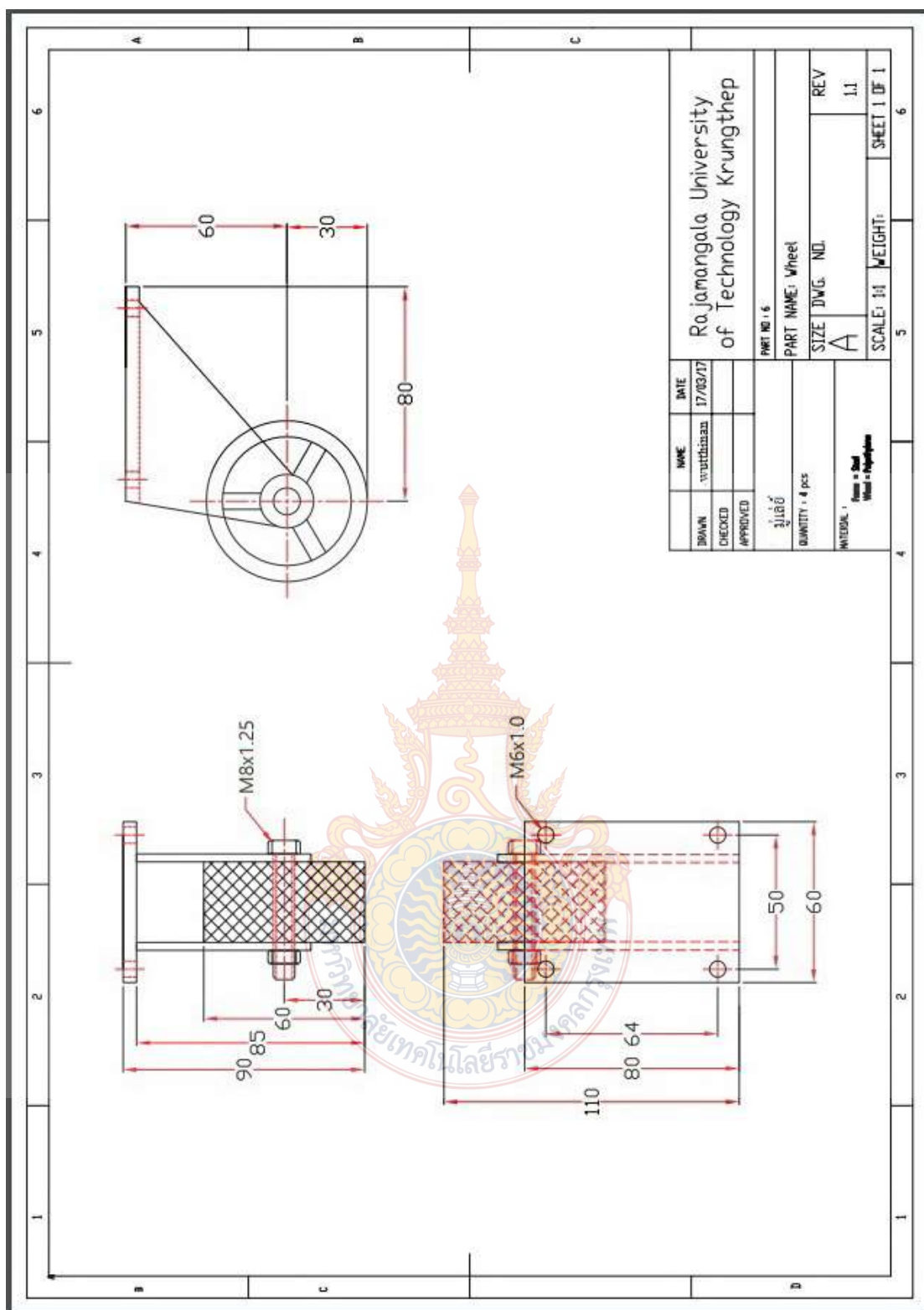


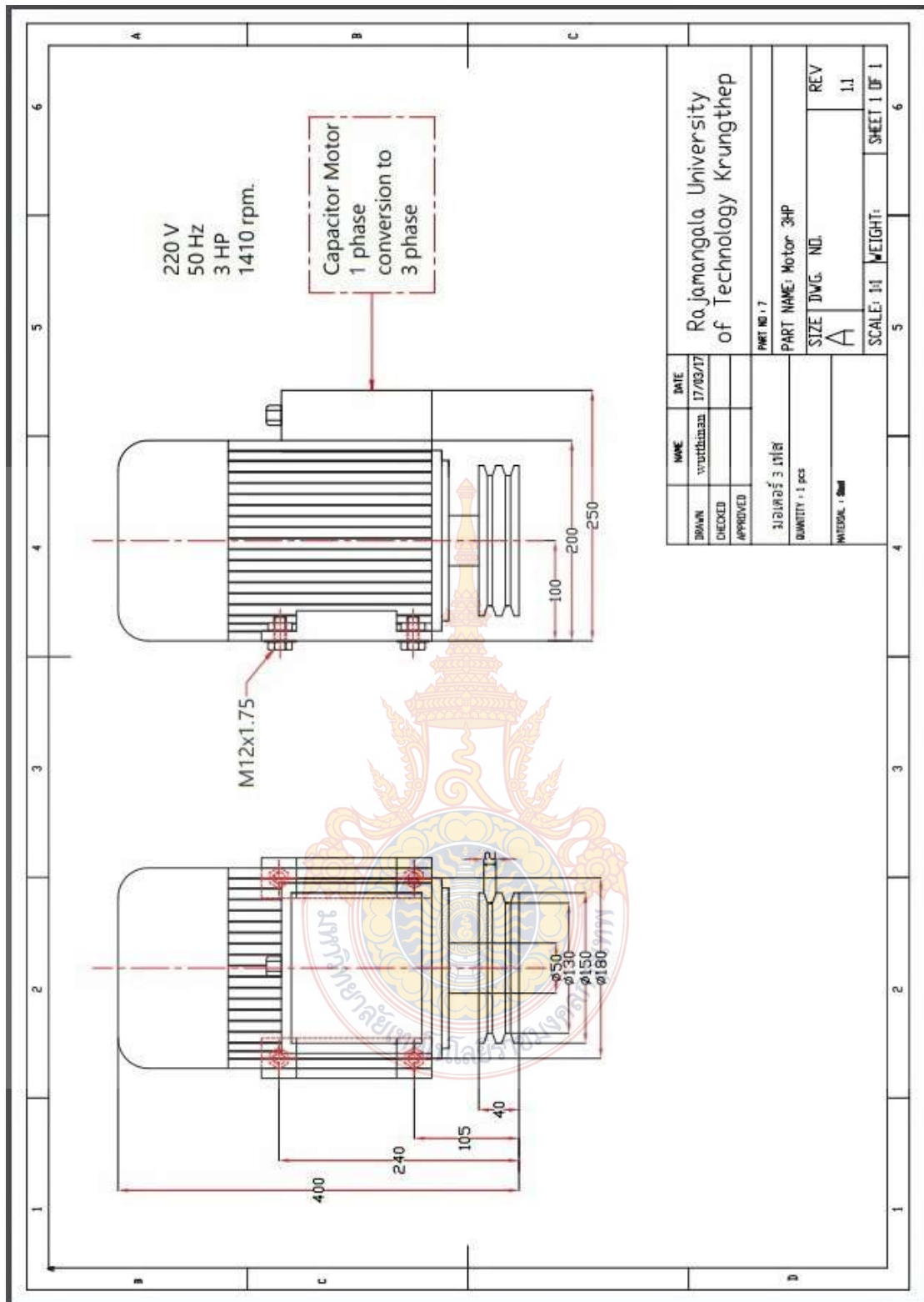


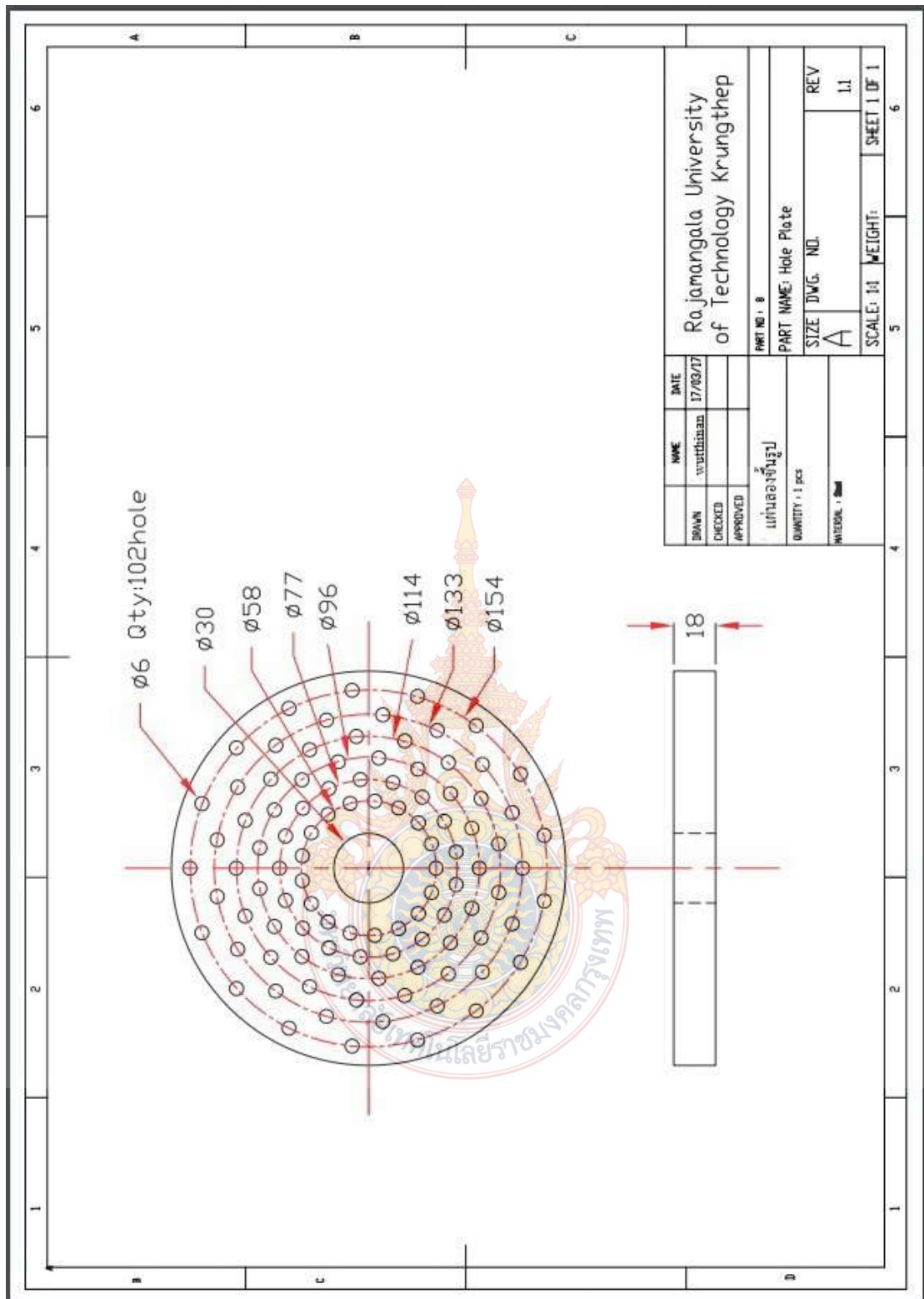


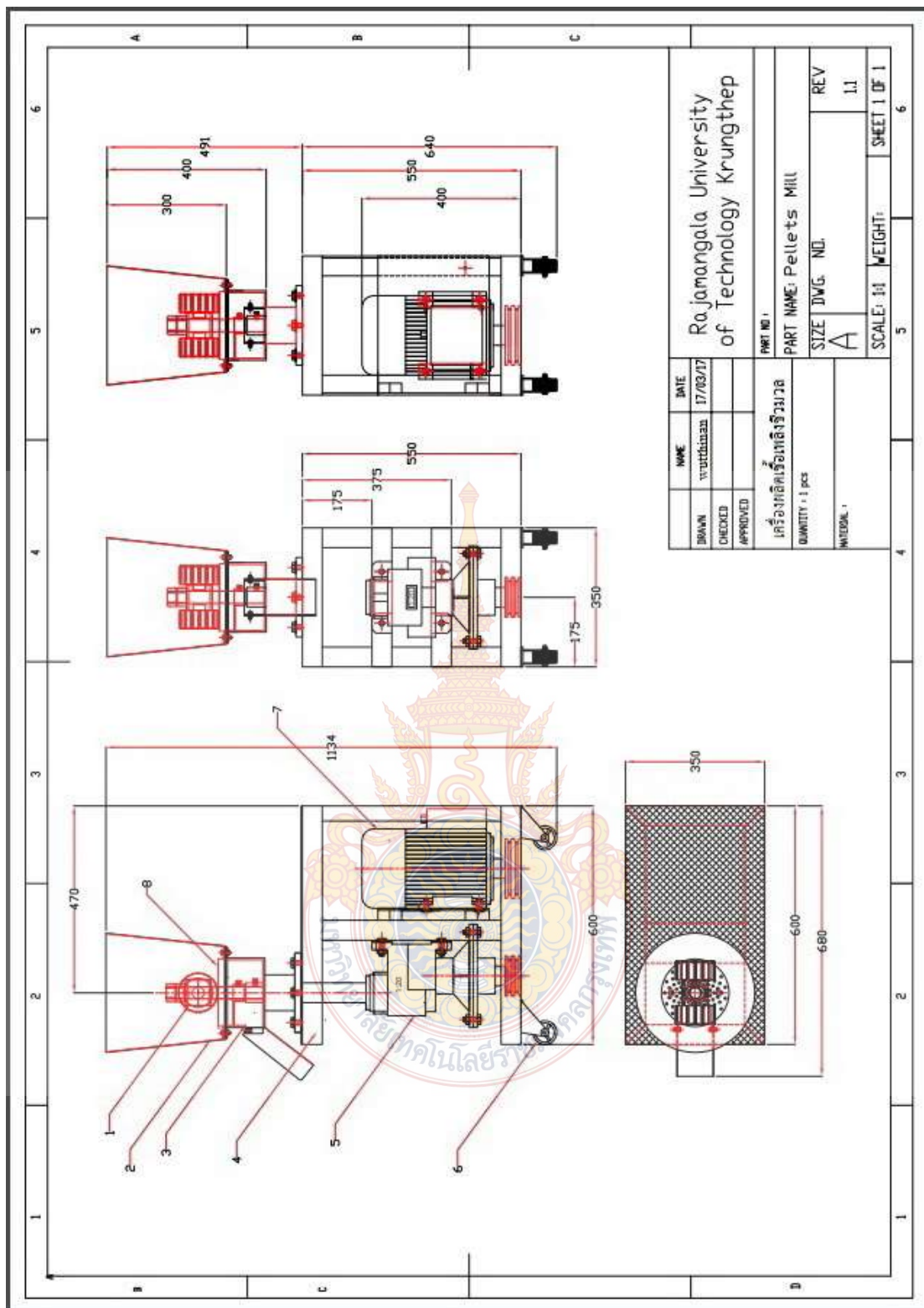












คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ - นามสกุล นางสาวชนิดา ป้อมเสน
 หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 โทรศัพท์ 02-287-9600 ต่อ 1333
 Email address Ch.pomsen@hotmail.com
 การศึกษา คอ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นักวิจัยร่วม

ชื่อ-สกุล นายดุสิต สิงห์พรหมมาศ
 หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 โทรศัพท์ 02-287-9600 ต่อ 1333
 Email address dusit_sing@hotmail.com
 การศึกษา วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชื่อ-สกุล นางสาวบุญศรี คู่สุขธรรม
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 โทรศัพท์ 02-2879600 ต่อ 1267
 Email address kuboonsri@yahoo.com
 การศึกษา วท.ด. (วัสดุศาสตร์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อ-สกุล นายสุระศักดิ์ ศรีปาน
 หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 โทรศัพท์ 02-287-9600 ต่อ 1333
 Email address Surasak.s@rmutk.ac.th
 การศึกษา คอ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี