



## รายงานการวิจัย

ศึกษาและพัฒนาเตาประหยัดพลังงาน  
Study and Development about Energy Saving Stove

สุปราณี วุ่นศรี                      Supraneer Wunsri  
พวงทิพย์ แก้วทับทิม              Pungtip Kaewtubtim  
นุชลี ทิพย์มณฑา                      Nuchalee Thipmonta

คณะศิลปศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
งบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2559

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ได้ให้การสนับสนุนมอบทุนอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี ๒๕๕๙ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุปราณี วุ่นศรี  
พวงทิพย์ แก้วทับทิม  
นุชลี ทิพย์มณฑา  
กรกฎาคม ๒๕๕๙



## ศึกษาและพัฒนาเตาประหยัดพลังงาน

สุปราณี วุ่นศรี<sup>1</sup> พวงทิพย์ แก้วทับทิม<sup>2</sup> และ นุชลี ทิพย์มณฑา<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเตาประหยัดพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ เพื่อให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงและเพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเตาประหยัดพลังงานจากการศึกษาเตาชีวมวลในชุมชน คือ เตาหมุ่ยย่าง เตาขนมจีน และเตาตาลโตนด ทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิง คือ แกลบข้าว ซี้เลื่อย และใบมะพร้าว โดยเตาประหยัดพลังงานเป็นเตาแบบอากาศไหลขึ้น ตัวเตาเป็นแบบหล่อมืออัตราส่วนผสมระหว่าง ปูน : ทรายหยาบ : หิน วัสดุฉนวนภายในห้องเผาไหม้มีอัตราส่วนระหว่าง ดินเหนียว : ซี้เลื่อย แกลบ พบว่า จากการทดสอบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปตัวเตา โดยใช้ปูนซีเมนต์ ทรายข้างและปูนซีเมนต์ ทรายเลื่อย เพื่อเปรียบเทียบค่าการทนความร้อน ทั้งหมด 5 สูตร สูตรที่ 2 (2 : 2 : 3) หลอมด้วยปูนซีเมนต์ ทรายเลื่อย ทนความร้อนได้ดีที่สุด ที่ อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 hr และผลการทดสอบการขึ้นรูปผนังฉนวนห้องเผาไหม้ตัวเตามีส่วนผสมดินเหนียว : ซี้เลื่อย แกลบ สูตรที่ 1 (1 : 1) , สูตรที่ 2 (2 : 1) และสูตรที่ 3 (1 : 2) ทั้ง 3 สูตร สามารถทนความร้อนได้ดี ที่ อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 hr จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวไปใช้ในการหล่อเตาประหยัดพลังงาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18” สูง 0.70 m ปริมาตรของห้องเผาไหม้ 0.10 m<sup>3</sup> ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเตาเฉลี่ย ( $\eta_{av}$ ) คิดเป็นร้อยละ 39.82

คำสำคัญ : เตาชีวมวล เตาประหยัดพลังงาน

<sup>1</sup> คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อ.เมือง จ.ปัตตานี

## Study and Development about Energy Saving Stove

Supranee Wunsri<sup>1</sup> Pungtip Kaewtubtim<sup>2</sup> and Nuchalee Thipmonta<sup>1</sup>

### Abstract

The objective of this research was to develop biomass stove using agricultural residue to reduce fuel cost for farmers. The research consisted of the design of the biomass stove which modified based on the model used in the villages e.g. pork grill stove, noodle making stove and stove for palmyra palm sugar processing. The agricultural residues including husk, saw dust and coconut 's leaves were tested as fuel source. The designed biomass stove was up draft flow type. The stove body was made from the mixtures of cement: sand : stone. Plastering material was prepared from clay : husk ash. The optimization of 5 mixtures for stove body was tested using elephant brand and tiger brand cement to compare thermal tolerant properties. The results showed that the mixtures of cement : sand : stone at 2:2:3 provided the best thermal tolerant property at 800 C for 1 hour. This optimum mixture was used for making the stove with the size of 18" O.D., 0.70-meter height. The volume of the stove was 0.10 m<sup>3</sup> and the average efficiency ( $\eta_{av}$ ) of the stove was 39.82

<sup>1</sup> Faculty of Liberal Arts. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Mueang, Songkhla.

<sup>2</sup> Faculty of Science and Technology Prince of songkhla University, Pattani Campus, Mueang, Pattani.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 สถานที่โครงการ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	4
2.2 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	5
2.3 การส่งผ่านความร้อน.....	6
2.4 ส่วนประกอบในการหล่อขึ้นรูปของเตา.....	8
2.5 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์วัตถุดิบไฟ.....	11
2.6 ระบบของเตาชีวมวล.....	13
2.7 เตาชีวมวล.....	13
2.8 สูตรคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	20
3.2 สถานที่ทำการวิจัย.....	21
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.4 การดำเนินงานวิจัย.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 สมรรถนะเชื้อเพลิงชีวมวล.....	31
4.2 สำรวจเตาชีวมวลที่ใช้ในชุมชน.....	34
4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาชนมจิ้น.....	37
4.4 ผลของการศึกษาส่วนผสมของเตาประหยัดพลังงาน.....	39
4.5 ผลของการศึกษาส่วนผสมของเตาประหยัดพลังงาน.....	46
4.6 รูปแบบเตาประหยัดพลังงาน.....	58
4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน.....	60
4.8 ผลการนำไปใช้ในชุมชน.....	65
4.9 ต้นทุนในการทำเตาประหยัดพลังงาน.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา.....	73
ภาคผนวก ข ส่วนประกอบของเตาประหยัดพลังงาน.....	78
ภาคผนวก ค อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	80
ประวัติผู้วิจัย.....	82

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน.....	26
ตารางที่ 3.2 : อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ ตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	27
ตารางที่ 4.1 : ทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อหาค่าความร้อน ความชื้น ถ้า Fixed Carbon และ Volatile matter ที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงาน.....	30
ตารางที่ 4.2 : ค่าของอุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพ ของเตาชนิดเงินแบบ WBT.....	37
ตารางที่ 4.3 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้าง : ทรายหยาบ : หิน.....	39
ตารางที่ 4.4 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานด้วย ปูนซีเมนต์ตราช้าง : ทราย : หิน ทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน...	40
ตารางที่ 4.5 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน.....	43
ตารางที่ 4.6 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานระหว่างปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทราย : หิน เพื่อทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	44
ตารางที่ 4.7 : แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน.....	47
ตารางที่ 4.8 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สำหรับการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	48
ตารางที่ 4.9 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (3 : 1 : 3).....	49
ตารางที่ 4.10 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (2 : 2 : 3).....	50
ตารางที่ 4.11 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (2 : 3 : 2).....	51
ตารางที่ 4.12 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 4 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (3 : 2 : 2).....	52

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.13 : แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน	53
สูตรที่ 5 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด : ทรายหยาบ : หิน (3 : 3 : 1).....	
ตารางที่ 4.14 : อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา.....	54
ตารางที่ 4.15 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้	55
ตัวเตาประหยัดพลังงานระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์.....	
ตารางที่ 4.16 : แสดงสูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 1)	55
ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	
ตารางที่ 4.17 : สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (2 : 1) ผลการทดสอบ	56
การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	
ตารางที่ 4.18 : สูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 2) ผลการทดสอบ	57
การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	
ตารางที่ 4.19 : แสดงอุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพ	61
ของเตาด้วยวิธี WBT.....	
ตารางที่ 4.20 : อุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของ	63
เตาประหยัดพลังงานหลังพัฒนาด้วยวิธี WBT.....	
ตารางที่ 4.21 : ต้นทุนในการการหล่อเตาประหยัดพลังงาน.....	66





## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 : ลักษณะเตาแกเลบ.....	2
ภาพที่ 1.2 : ลักษณะเตาชีวมวล.....	2
ภาพที่ 2.1 : การนำความร้อนของวัตถุ.....	6
ภาพที่ 2.2 : เตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Up-draft Gasifier) .....	14
ภาพที่ 2.3 : เตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นสามหัวเตา.....	14
ภาพที่ 3.1 : แผนผังแสดงการดำเนินงานวิจัย.....	19
ภาพที่ 3.2 : เชื้อเพลิงชีวมวล.....	20
ภาพที่ 3.3 : แผนที่แสดงที่ตั้ง .....	23
ภาพที่ 3.4 : รูปแบบเตาในชุมชน.....	24
ภาพที่ 3.5 : แบบเตาประหยัดพลังงาน.....	25
ภาพที่ 3.6 : แบบเข้าหล่อตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	28
ภาพที่ 3.7 : ท่อดูดอากาศของเตาประหยัดพลังงาน.....	28
ภาพที่ 3.8 : แบบโครงสร้างเหล็กของตัวเตาประหยัดพลังงาน.....	29
ภาพที่ 4.1 : ร้อยละค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	31
ภาพที่ 4.2 : ร้อยละค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	32
ภาพที่ 4.3 : ร้อยละค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	32
ภาพที่ 4.4 : ร้อยละค่าปริมาณ Fixed Carbon ของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	33
ภาพที่ 4.5 : ร้อยละค่าปริมาณ Volatile matter ของเชื้อเพลิงชีวมวล.....	33
ภาพที่ 4.6 : ลักษณะของเตาหมุ่อย่าง.....	34
ภาพที่ 4.7 : เตาทำขนมจีน.....	35
ภาพที่ 4.8 : เตาดาลโตนด.....	36
ภาพที่ 4.9 : เตาขนมจีน.....	37
ภาพที่ 4.10 : แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT ของเตาขนมจีน จำนวน 3 ครั้ง.....	38
ภาพที่ 4.11 : อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้าง : ทรายหยาบ : หิน.....	40

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.12 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 30 min.....	42
ภาพที่ 4.13 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 20 min.....	42
ภาพที่ 4.14 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 60 min.....	42
ภาพที่ 4.15 : อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่าง ปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน.....	43
ภาพที่ 4.16 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 10 min.....	45
ภาพที่ 4.17 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 20 min.....	45
ภาพที่ 4.18 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 40 min.....	46
ภาพที่ 4.19 : ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 60 min.....	46
ภาพที่ 4.20 : อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน มี 5 สูตร.....	47
ภาพที่ 4.21 : ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 1 แสดงผลการทนความร้อน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 20 min (b) 30 min (c) 60 min.....	49
ภาพที่ 4.22 : ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 2 แสดงผลการทนความร้อน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 10 min (b) 30 min (c) 60 min.....	50
ภาพที่ 4.23 : ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 3 แสดงผลการทนความร้อน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 30 min (b) 40 min (c) 60 min.....	51
ภาพที่ 4.24 : ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 4 แสดงผลการทนความร้อน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 30 min (b) 40 min (c) 60 min.....	52

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.25 : ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 5 แสดงผลการทนความร้อน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 30 min (b) 40 min (c) 60 min.....	53
ภาพที่ 4.26 : อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา (a) สูตรที่ 1 (b) สูตรที่ 2 (c) สูตรที่ 3.....	54
ภาพที่ 4.27 : สูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 1) ผลการทดสอบ การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงานที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา (a) 30 min (b) 60 min.....	56
ภาพที่ 4.28 : สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (2 : 1) ผลการทดสอบ การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่ อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา (a) 30 นาที (b) 60 นาที.....	57
ภาพที่ 4.29 : สูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 2) ผลการทดสอบ การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่ อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา (a) 30 นาที (b) 60 นาที.....	58
ภาพที่ 4.30 : เข้าสำหรับหล่อเตาประหยัดพลังงาน.....	59
ภาพที่ 4.31 : หล่อเตาประหยัดพลังงาน.....	60
ภาพที่ 4.32 : ทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานหลังพัฒนา ด้วยวิธี WBT.....	61
ภาพที่ 4.33 : แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT ของเตาประหยัดพลังงาน จำนวน 3 ครั้ง คือ (a), (b), (c).....	62
ภาพที่ 4.34 : แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT ของเตาประหยัดพลังงานหลังการพัฒนา จำนวน 3 ครั้ง คือ (a), (b), (c).....	64
ภาพที่ 4.35 : นำเตาประหยัดพลังงานไปใช้ประกอบอาหาร.....	65

## บทที่ 1

### บทนำ

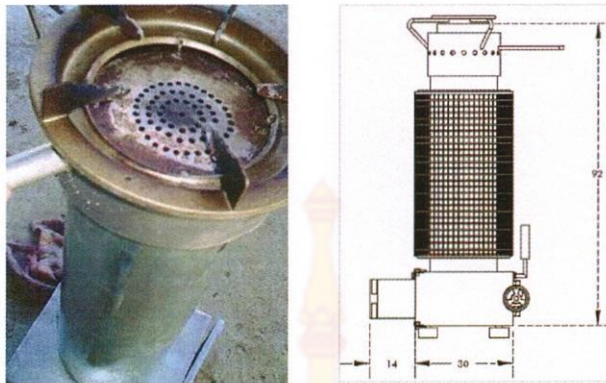
#### 1.1 ที่มาของโครงการ

เชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นแหล่งให้ความร้อนและแสงสว่างที่สำคัญ ซึ่งในปัจจุบันเชื้อเพลิงจากชีวมวลจัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในลำดับต้นๆ ของประเทศเกษตรกรรมและประเทศกำลังพัฒนา ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมาจากการสังเคราะห์แสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติ สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น ที่มีอยู่อย่างจำกัดหรืออาจจะใช้แล้วหมดไปได้ ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ของเสียจากสัตว์ เช่น มูลสัตว์และของเสีย รวมทั้งการผลิตทางการเกษตร เช่น แกลบ กากอ้อย ฟางข้าว ชี้เลี้ยง กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด กากปาล์ม เป็นต้น หรือกระบวนการทางชีวภาพที่ขึ้นตามธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมด

ในการสัมภาษณ์นายกองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะสุกรในวันที่ 1 กันยายน 2557 พบว่า เกาะสุกรมีพื้นที่เป็นเกาะตั้งอยู่ในอำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง มีประชากรจำนวน 2,245 คน จำนวน 526 ครัวเรือน ประชากรในเกาะสุกรประกอบอาชีพประมงคิดเป็นร้อยละ 70 ทำสวนยางพาราร้อยละ 20 เกษตรกรรม เลี้ยงปศุสัตว์และการปลูกพืชหมุนเวียนตลอดปีคิดเป็นร้อยละ 10 ซึ่งตามแนววิถีชีวิตเกษตรกรรมจะมีการปลูกพืชหลากหลายชนิดเพื่อประกอบอาชีพ เช่น ข้าว แตงโม มะพร้าว ยางพารา และมะม่วงหิมพานต์ เป็นต้น ทำให้มีวัสดุทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว แกลบ ชี้เลี้ยง เป็นต้น

จากการศึกษาสภาพของพื้นที่เกาะสุกรเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการนำเชื้อเพลิงชีวมวลทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิงของเตาประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่เกาะที่การขนส่งเครื่องอุปโภคบริโภคโดยอาศัยเรือหางยาวเป็นยานพาหนะในการขนส่งเพียงอย่างเดียวซึ่งการนำเชื้อเพลิงที่มีอยู่บนเกาะมาใช้จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายได้มาก

จากการศึกษาลักษณะของเตาชีวมวลมีหลากหลายรูปแบบ เช่น เตาชีวมวลเป็นระบบแก๊สซิฟิเคชัน ตัวเตาทำจากโลหะ มีถังเติมเชื้อเพลิงแกลบตรงกลาง และมีพัดลมดูดอากาศทางด้านล่างส่งเข้ามาในห้องเชื้อเพลิงเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้น



ภาพที่ 1.1 ลักษณะเตาเหล็ก

แหล่งที่มา : เตาเหล็ก สำนักงานพลังงานจังหวัดกาญจนบุรี กระทรวงพลังงาน

เตาเหล็ก เป็นเตาชีวมวลที่ใช้เหล็กเป็นเชื้อเพลิง ตัวเตาทำจากโลหะ ขาตั้งของเตากว้างเพื่อช่วยรับน้ำหนักของภาชนะใส่อาหารที่นำมาวาง



ภาพที่ 1.2 ลักษณะเตาชีวมวล

แหล่งที่มา : รูปแบบเตาชีวมวล, (สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2558) จาก :

[http://c.ymcdn.com/sites/www.echocommunity.org/resource/collection/7B4F6F18-749A-46C0-A127-904FAA07B7F8/Alternative\\_Energy\\_Gasifier\\_Stoves.pdf](http://c.ymcdn.com/sites/www.echocommunity.org/resource/collection/7B4F6F18-749A-46C0-A127-904FAA07B7F8/Alternative_Energy_Gasifier_Stoves.pdf)

จากการศึกษารูปแบบของเตาชีวมวลในชุมชน พบว่า เตาชีวมวลแบบโลหะไม่เหมาะกับพื้นที่ที่เป็นเกาะเพราะจะทำให้เกิดสนิมเร็วกว่าสภาพพื้นที่ปกติ ไม่ทนทาน อายุการใช้งานสั้น เตาชีวมวลที่เหมาะสมกับพื้นที่เกาะควรเป็นเตาหล่อซึ่งมีส่วนผสมของปูน ทราย และหิน ซึ่งมีสร้างโครงเหล็กเป็นตัวยึดตัวเตาให้แข็งแรง โดยภายในตัวเตาจะบุด้วยดินเหนียวผสมกับขี้เถ้ากลบขาวเพื่อไม่ให้ตัวเตาเกิดการแตกร้าวเมื่อใช้งาน ซึ่งเตาชีวมวลแบบแบบอากาศไหลขึ้น เป็นเตาที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มในครัวเรือน ชุมชน และโรงเรียนขนาดเล็ก ให้ความร้อนสูง สามารถใช้ประกอบอาหารเป็นเวลานาน ใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เป็นเชื้อเพลิง โดยขนาดของเตาประหยัดพลังงานจะมีขนาดเท่ากับเตาหุงต้มที่ใช้ไม้ฟืนหรือถ่านเป็นเชื้อเพลิง

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการทำเตาประหยัดพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ
- 1.2.2 เพื่อให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในชีวิตประจำวัน
- 1.2.3 เพื่อนำเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ตัวแปรอิสระ
  - 1) เชื้อเพลิงชีวมวล เช่น แกลบ ชี้เลื่อย และอื่น ๆ
  - 2) เตาประหยัดพลังงาน 3 แบบ
- 1.3.2 ตัวแปรตาม ระยะเวลาที่ใช้ในการติดไฟ ค่าความร้อนและความชื้นของเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
  - 1) ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง
  - 2) ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน
  - 3) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 นำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ
- 1.4.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสาร
- 1.4.3 หน่วยงานพัฒนาชุมชนนำไปให้ชาวบ้านใช้ประโยชน์

## 1.5 สถานที่โครงการ

ชุมชนตำบลเกาะสุกร อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล (นคร ทิพยาวงศ์, 2553: 3 - 5)

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติ สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจน และธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อยในรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตหรือเซลลูโลส ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต และยังรวมถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักในรูปแบบอื่น ๆ โดยทั่วไปชีวมวลอาจจำแนกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ ชีวมวลแบบไม้ (woody) แบบไม่ใช่ไม้ (non woody) และของเสียจากสัตว์ ซึ่งมาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ผลผลิตจากป่า ไร่ นา สวน ต้นไม้ และวัชพืชต่าง ๆ ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ไม้โตเร็ว ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า พืชล้มลุก เปลือก ผล พืชน้ำ เป็นต้น
- 2) ผลผลิตจากพืชเศรษฐกิจ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ชังข้าวโพด เหง้ามัน ทะลายปาล์ม ชี้อ้อย กาบมะพร้าว เป็นต้น
- 3) ของเสียจากแหล่งชุมชน เช่น ขยะชุมชน กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน
- 4) ผลิตภัณฑ์และของเสียจากสัตว์ เช่น ไขมัน มูลสัตว์ เป็นต้น

#### ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล

- 1) มีปริมาณกำมะถันต่ำ
- 2) ราคาถูกกว่าพลังงานเชิงพาณิชย์อื่น ต่อหน่วยความร้อนที่เท่ากัน
- 3) มีแหล่งผลิตอยู่ในประเทศ
- 4) พลังงานชีวมวลไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศต่ำ และสามารถปลูกทดแทนได้ในระยะเวลาสั้น

#### ข้อจำกัดของเศษกากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

- 1) ความหนาแน่นต่ำ ปริมาตรมาก และขนย้ายได้ยาก ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการขนส่งไปไกลจากสถานที่ผลิต
- 2) การนำเศษวัสดุทางการเกษตรออกไปจากพื้นที่การเกษตรจำนวนมาก ทำให้สารอาหารในดินลดลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่นั้นในอนาคต
- 3) เศษวัสดุการเกษตรเหล่านี้จะมีเฉพาะในฤดูกาลที่มีการผลิตในช่วงเวลาอื่นของปีจะไม่มี หากต้องการมีไว้ใช้ตลอดปีจำเป็นต้องมีสถานที่เก็บรักษา

## 2.2 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล

### 2.2.1 ค่าความร้อน (นคร ทิพยาวงศ์, 2553 : 16)

ค่าความร้อน (heating value) คือ พลังงานความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ ในการหาค่าความร้อนมักจะหาจากการทดลองโดยใช้บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ค่าความร้อนของชีวมวลมีค่าประมาณ 10 - 20 MJ/kg โดยค่าความร้อนของชีวมวลกลุ่มไม้จะมีค่าสูงกว่าไม้ใช้ไม้เล็กน้อย ค่าความร้อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในรูปของสัดส่วนคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) หรือในรูปของสัดส่วนคาร์บอนคงตัว (FC) สารระเหย (VM) ความชื้น (MC) และเศษเถ้า หรือได้จากสูตรคำนวณหาความร้อน (high heating value = HHV) เช่น สูตรของตุลลอง และสูตรเดเมียบาส เป็นต้น

สูตรของตุลลอง (Tillmam, 1991)

$$\text{HHV (kJ/kg)} = 33.585 \text{ C} + 141.924 \text{ H} + 12.908 \text{ S} - 15.327 \text{ O} - 3.538 \text{ O}_2$$

สูตรของเดเมียบาส (Demirbas, 1997)

$$\text{HHV (kJ/kg)} = 31.5 \text{ C} + 142.3 \text{ H} - 15.4 \text{ O} - 24.5 \text{ N}$$

$$\text{HHV (kJ/kg)} = 31.2 \text{ FC} + 15.34 \text{ VM}$$

### 2.2.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (moisture content = MC) แสดงออกมาเป็นสัดส่วนน้ำหนักของความชื้นต่อน้ำหนักมวลเชื้อเพลิงแห้งหรือน้ำหนักมวลเชื้อเพลิงรวมทั้งหมด

$$\text{MC} = m_{\text{H}_2\text{O}} / m_{\text{total}}$$

ปริมาณความชื้นของชีวมวลจะขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ เช่น ไม้สน ไม้ยางพารา กระจิน ต้นสัก เป็นต้น ชนิดส่วนประกอบ เช่น แกนไม้ เปลือกไม้ เป็นต้น และกระบวนการเตรียม เช่น การตัดแต่ง การสกัดเปลือก จากโรงเลื่อย เป็นต้น

### 2.2.3 เถ้า

ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ เป็นส่วนประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในชีวมวล เกิดจากสารแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในเชื้อเพลิงรวมตัวกับออกซิเจนขณะเผาไหม้ในความเป็นจริง อาจจะเป็นถ่านชาร์ค้างอยู่ด้วย สัดส่วนของเถ้าในเชื้อเพลิงจะมีผลต่อการทำงานของเตาแก๊สซิฟายเออร์ ถ้าสัดส่วนเถ้าในเชื้อเพลิงมีค่าสูง ก็จะทำให้พลังงานของก๊าซเชื้อเพลิงลดลง และเตาแก๊สซิฟายเออร์ต้องสำรองเนื้อที่เก็บเถ้ามากขึ้น และหากมีเถ้าหลอมตัว (ซึ่งมีโอกาสเกิดมากขึ้นเมื่อสัดส่วนเถ้ามีมากขึ้น) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณร้อยละ 1 - 3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนเถ้าประมาณร้อยละ 10 - 20 จะมีปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัด



### 2.2.4 คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)

ส่วนประกอบที่ให้ความร้อน ยิ่งค่าคาร์บอนคงที่มาก ค่าความร้อนจะยิ่งสูง ซึ่งเป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล

### 2.2.5 สารระเหย (Volatile matter)

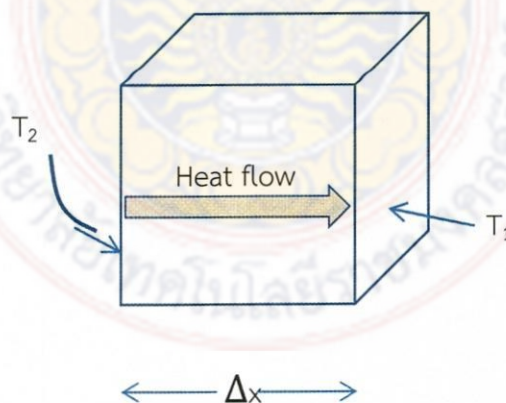
ส่วนประกอบที่สามารถถูกเผาไหม้ได้ง่าย ถ้าหากชีวมวลที่มีค่า Volatile matter สูง แสดงว่า สามารถติดไฟได้ง่าย ซึ่งสารระเหยที่ปล่อยออกมาระหว่างเกิดปฏิกิริยาสามารถควบแน่นได้ที่ อุณหภูมิ  $100 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะก่อตัวเป็นน้ำมันดินและน้ำมันที่กลั่นตัวต่าง ๆ ถ้าเชื้อเพลิงมีสารระเหยมากอาจจะสร้างปัญหาได้ เนื่องจากน้ำมันดินและไอน้ำมันที่มีอุณหภูมิควบแน่น  $120 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะเกาะฝังตัวบนผนังจึงต้องแยกออกก่อนนำไปใช้

## 2.3 การส่งผ่านความร้อน (ประสาท สืบค้า, 2535 : 418 - 424)

การส่งความร้อนมี 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การส่งผ่านความร้อนอาจเกิด 2 วิธี หรือ 3 วิธี พร้อม ๆ กันก็ได้

### 2.3.1 การนำความร้อน

การนำความร้อนในวัตถุจากย่านหนึ่งไปย่านหนึ่ง จะเกิดขึ้นได้ต้องมีความต่างของอุณหภูมิของสองย่านนั้น ถ้าพิจารณาในระดับโมเลกุล จะพบว่าการนำความร้อนเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานของโมเลกุล กล่าวคือ โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์น้อยจะได้รับพลังงานจลน์เพิ่มขึ้นจากโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์มากกว่าพิจารณาวัตถุที่มีความหนา  $\Delta x$  และมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  หน้าตัดด้านหน้ามีอุณหภูมิ  $T_1$  และหน้าตัดด้านตรงข้ามมีอุณหภูมิ  $T_2$  เมื่อ  $T_2 > T_1$  ดังรูป



ภาพที่ 2.1 การนำความร้อนของวัตถุ

การคำนวณหาค่าการนำความร้อนเป็นไปตามกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) โดยค่าคงตัว  $k$  เรียกว่า สภาพนำความร้อนของวัสดุ ตามสมการ

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

หรือ 
$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\Delta Q$  เป็นปริมาณความร้อน ( J )

$\Delta t$  เป็นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ( °C )

$K$  เป็นค่าคงตัวของสภาพนำความร้อนของสาร ( m/s m<sup>2</sup> °C )

$A$  เป็นพื้นที่หน้าตัด ( m<sup>2</sup> )

### 2.3.2 การพาความร้อน

การพาความร้อนเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของตัวกลาง เช่น อากาศ ของเหลว เป็นต้น แม้ว่าของเหลวและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี การพาความร้อนนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวกลางที่พาความร้อนไปด้วย ตัวอย่างเช่น เราเอามือไปอังตรงกาน้ำร้อนจะรู้สึกร้อนเพราะโมเลกุลของอากาศและไอน้ำที่ร้อนมากกระทบมือ

การพาความร้อนแบ่งชนิดตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวอย่างได้ 2 ชนิด คือ

1) การพาความร้อนอย่างอิสระหรืออย่างธรรมชาติ (free or natural convection) เป็นการพาความร้อนที่โมเลกุลของตัวกลางเคลื่อนที่ไป เพราะความหนาแน่นต่างกัน เช่น การเกิดลมตามไหล่เขา

2) การพาความร้อนที่ถูกแรงบังคับ (forced convection) เป็นการพาความร้อนที่อุณหภูมิของตัวกลางถูกทำให้เคลื่อนที่โดยแรงภายนอก เช่น การระบายความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ ระบบทำความร้อนภายในบ้าน เป็นต้น

การคำนวณปริมาณความร้อนโดยการพานั้นทำได้ยาก เพื่อขึ้นอยู่กับการปัจจัยหลายอย่างที่ซับซ้อน แต่พอประมาณได้ ตามสมการ

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA(T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  เป็น อัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนออกจากวัตถุ ( J/s )

$h$  เป็น สัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน = 6 J/m<sup>2</sup> s °C

$T_2 - T_1$  เป็น ความแตกต่างของอุณหภูมิ ( °C )

### 2.3.3 การแผ่รังสี

การส่งผ่านความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนและการพาความร้อนนั้นต้องอาศัยตัวอย่าง มีการส่งผ่านความร้อนซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง คือ การแผ่รังสี ตัวอย่างเช่น การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านความว่างเปล่ามายังโลก เป็นต้น การแผ่รังสีออกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อัตราการแผ่รังสีของวัตถุใดๆ เป็นไปตามกฎของสเตฟาน (Stefan's law) ตามสมการ

$$R = \sigma A e T^4 \quad (2.4)$$

เมื่อ	R	เป็นอัตราการแผ่รังสี (W)
	$\sigma$	เป็นค่าคงตัวของสเตฟาน – โบลต์ซมานน์ มีค่า $5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
	A	เป็นพื้นที่หน้าตัดวัตถุ ( $\text{m}^2$ )
	e	เป็นค่าคงตัว เรียกว่า สภาพเปล่งรังสี (emissivity) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับสมบัติของผิววัตถุที่แผ่รังสี
	T	เป็นอุณหภูมิ (K)

## 2.4 ส่วนประกอบในการหล่อขึ้นรูปของเตา

### 2.4.1 ดินชนิดต่าง ๆ

ดินสะสมอยู่ทั่วไป มีความทนไฟเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่สะสม ดินที่น่าสนใจได้แก่ ดินขาวชนิดต่าง ๆ ดินเป็นสินแร่ที่มีน้ำ อะลูมินา และซิลิกา เป็นองค์ประกอบและแสดงให้เห็นคุณสมบัติที่มีความเหนียว

ดินเหนียวมีลักษณะเป็นเม็ดดินละเอียดมีความเหนียวมากดินเหล่านี้มีอินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบ ใช้ในการก่อสร้างเตาเผาแก้วรีทอร์ตต่าง ๆ และอาจใช้เป็นประโยชน์ในการเตรียมน้ำดินสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีเทแบบ

### 2.4.2 ทราย

ทราย หมายถึง เม็ดแร่เล็ก ๆ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.0625 ถึง 2 mm เท่านั้น ถ้าเล็กกว่านี้ลงไปเรียกว่า ตม (silt) ถ้าโตกว่าขนาดดังกล่าวก็เรียกว่า กรวด (gravel) แร่ธาตุที่ประกอบเป็นทรายนั้นส่วนมากเป็นควอตซ์หรือไมกา (ฟงศ์พัน วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2544 : 86) หรือเราสามารถแบ่งทรายตามขนาดของเส้นผ่านเพื่อใช้ในการก่อสร้างได้ดังนี้

1) ทรายละเอียด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 - 1.5 มิลลิเมตร ใช้ในงาน ปูนก่อ ปูนฉาบทรายกลาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 - 3.0 มิลลิเมตร ใช้ในงานคอนกรีต ปูนก่อที่ ต้องรับแรงอัด ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้น คาน

2) ทรายหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 - 4.75 มิลลิเมตร ใช้ในงาน คอนกรีตเทพื้นฐานรากและงานที่ต้องการแรงอัดมาก

### 2.4.3 หิน (พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2544 : 59 - 61)

หิน (rock) ในทางธรณีวิทยา หมายถึง สารที่เป็นของแข็งประกอบเป็นส่วนสำคัญของเปลือกโลก ประกอบด้วย แร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ติดกันโดยธรรมชาติ เม็ดเล็ก ๆ ของแร่ธาตุรวม ติดกันแน่นเป็นก้อนใหญ่ ๆ เรียกว่า หินทราย (sandstone) คำว่าหินนั้นหมายรวมไปถึงกรวด ทราย และดินหินบางชนิดประกอบด้วย แร่เกือบ 10 อย่าง ก็มีบางชนิดก็ประกอบด้วยแร่เพียงอย่างเดียวก็มี เช่น หินปูน (limestone) ประกอบด้วย แร่แคลไซต์ เป็นต้น โดยธาตุที่ประกอบเป็นหินที่รู้จักกันมีอยู่ 8 ชนิด และประกอบกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ออกซิเจน ร้อยละ 46.71 ซิลิคอน ร้อยละ 27.69 อะลูมิเนียม ร้อยละ 8.07 เหล็ก ร้อยละ 5.05 แคลเซียม ร้อยละ 3.65 โซเดียม ร้อยละ 2.75 โพแทสเซียม ร้อยละ 2.58 แมกนีเซียม ร้อยละ 2.08 และธาตุอื่น ๆ ร้อยละ 1.42

แร่ธาตุส่วนมากมักเกิดจากการเป็นสารประกอบกันทางเคมี เช่น ธาตุโซเดียม ประกอบกับคลอรีนก็ได้เป็นเกลือที่เราใช้บริโภคเรียกว่า โซเดียมคลอไรด์ แร่แคลไซต์ก็คือ สารประกอบของธาตุแคลเซียม คาร์บอน และออกซิเจนรวมกัน แร่พวกเฟลด์สปาร์ประกอบด้วยธาตุ โพแทสเซียม อะลูมิเนียม ซิลิคอน และออกซิเจน แร่ธาตุที่ประกอบเป็นหินส่วนใหญ่มี 3 ประเภทด้วยกันคือ

1) แร่ซิลิกา (silica minerals) ประกอบด้วยซิลิกา มีสูตรทางเคมีว่า  $\text{SiO}_2$  ในลักษณะต่าง ๆ กัน คือ ควอตซ์ (quartz) หรือที่เรียกกันว่า เขี้ยวหนูมาน เป็นแร่ที่มีความแข็งแรงมาก โดยมากแร่นี้เกิดเป็นผลึกหกเหลี่ยม และฟลินต์ (flint) หรือที่ใช้เป็นหินเหล็กไฟ เป็นแร่ที่มีความแข็งแรงรองลงมาจาก ควอตซ์ มีสีขาวขุ่นและมีความวาวคล้ายแก้ว

2) แร่ซิลิเกต (silicate) มีส่วนผสมของซิลิกากับธาตุอื่นๆ เช่น เฟลด์สปาร์ (feldspar) เป็นส่วนประกอบสำคัญของหินแกรนิตและหินอัคนี ไมกา (mica) ไมกาหลายชนิดเป็นซิลิเกตของอะลูมิเนียม ซึ่งมีโพแทสเซียมและแร่อื่นๆ เป็นส่วนประกอบ คลอไรต์ (chlorite) และ ทราเวอร์ไทน์ (soap stone travertine) เป็นไฮเดรตซิลิเกตเกิดขึ้นจากซิลิกาอื่นๆ โดยการเปลี่ยนทางเคมี ซึ่งน้ำบางส่วนจะค่อยๆ ถูกดูดเข้าไปรวมตัว แร่ธาตุเหล่านี้เวลาจับจะอ่อนเหมือนจับสบู่

3) แร่ปูน (calcareous minerals) ประกอบด้วย แคลไซต์ (calcite) มีสูตรทางเคมี  $\text{CaCO}_3$  เป็นคาร์บอเนตของหินปูน ละลายในน้ำ โดโลไมต์ (dolomite) มีความวาว ซีลีไนต์ (selenite) อะลาบาสเตอร์ (alabaster) และอะพาไทต์ (apatite) เป็นกลุ่มธาตุซึ่งมีหินปูน

#### 2.4.4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ รหัส C-150 (ประณต กุลประสูตร, 2553 :37 - 38)

ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้ เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบัน จำแนกออกได้เป็น 5 ประเภทย่อย ๆ ด้วยกัน คือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (type I-normal portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มาตรฐาน เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก อาทิ งานก่อสร้างคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำและอื่น ๆ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่เหมาะกับการที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำ หรือใช้ในที่ซึ่งความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงขีดอันตราย ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราอินทรีเพชร ตราพญานาค เคียรเดียวสีเขียว ตามที่พีไอ (สีแดง) และตราภูเขา ส่วนปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราดอกจิก

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (type II modified portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทดัดแปลง เพื่อให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่า และเพิ่มได้ช้ากว่าประเภทแรก จึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในอากาศร้อนได้เป็นอย่างดี ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะกับการก่อสร้างขนาดใหญ่ อาทิ ต่อห่อม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่โดยน้ำเค็มเป็นครั้งคราว ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร ปัจจุบันหันมาใช้ปูนซีเมนต์ประเภทห้าแทน

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (type III high-early strength Portland cement) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดาทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าธรรมดา แต่จะต้องบ่อให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนั้นยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็น เนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างรับกำลังอัดเร็ว ตราอินทรีดำ ตราพญานาคเคียรเดียวสีแดง ละครตราที่พีไอสีดำ

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (type IV low-heat Portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมกับการควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้า ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับคอนกรีตหลายซึ่งเป็นงานขนาดใหญ่ อาทิ

เชื่อมกันน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวงกับตัวเชื่อม เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ยังไม่มีการผลิตขึ้นในประเทศไทย แต่มีการตัดแปลงโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผสมกับวัสดุผสมเพิ่มจำพวกเถ้าเชื้อเพลิงบดและตะกรันเตาถลุงบดแทน

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านซัลเฟตสูง (type V sulfate-resistance Portland cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นต่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่น ๆ จึงนิยมนำไปใช้กับการก่อสร้างโครงสร้าง และอาคารที่อยู่ชายทะเล หรืออยู่ในทะเล ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช่างทนต์ซัลเฟตสูง ตราอินทรีฟ้า ตราปลาฉลาม และตราที่พีไอสี่ฟ้า

#### 2.4.5 ตัวประสาน (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552 : 5 - 6)

สารปอซโซลาน หมายถึง สารซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมิเนียมที่ละเอียด โดยตัวของมันเองจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำจะได้สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน สารปอซโซลานที่มีในประเทศและสามารถนำมาใช้ได้แก่ เถ้าถ่านหิน ดินเหนียวเผา และเถ้าแกลบบดละเอียด ซึ่งการใช้สารปอซโซลานดังกล่าวเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และได้ปูนซีเมนต์ผสมที่ราคาถูกลง สารปอซโซลานที่นิยมใช้นำมาใช้มากที่สุดคือ เถ้าลอยที่ได้จากเตาเผา เพราะถ้าอุณหภูมิในการเผาสูงกว่า  $800^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 hr จะมีปริมาณซิลิกาสูง นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 15 - 50 ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์

#### 2.5 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์วัตถุทนไฟ (ปริดา พิมพ์ขาวขำ, 2538 : 69 - 71)

การขึ้นรูปวัตถุทนไฟชั้นดีในปัจจุบัน ไม่ได้ใช้ความเหนียวทนไฟเพียงอย่างเดียว แต่มักใช้ส่วนผสมของดินเหนียวทนไฟผสมกับดินที่เผาแล้วหรือดินที่มีเปอร์เซ็นต์ซิลิกาสูง ส่วนผสมดินทนไฟชนิดนี้นิยมใช้วิธีการขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบและการขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว เหตุผลในการใช้ส่วนผสมเช่นนี้ก็เพราะต้องการทำให้ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นของวัตถุทนไฟมีคุณสมบัติหลังจากการเผาและคุณสมบัติต่าง ๆ ในการนำไปใช้ที่ดีด้วย

##### 2.5.1 การขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบ

คุณสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญของน้ำดินที่จะให้สำหรับขึ้นรูปโดยวิธีการเทแบบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะและความหนืด ในกรณีนี้น้ำดินมีส่วนผสมของดินเผาแล้วมาก ความถ่วงจำเพาะที่ใช้สูงกว่า 2.0 ความหนืดก็มีค่ามากเช่นกัน เพราะว่ามันจะใช้เทแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความหนา ในน้ำดินที่

มีดินเผาแล้วผสมอยู่ปริมาณมากหาค่าค่าความหนืดกระทำได้ยาก เนื่องจากอนุภาคดินเผาแล้วมักมีขนาดค่อนข้างหยาบและค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาและอัตราเร็วของการรวมผสม

วัตถุดิบไฟที่มีคุณภาพสูง มักจะขึ้นรูปโดยการเหน้าดินในแบบและปล่อยให้เหน้าดินแข็งอยู่ในแบบเลย

น้ำดินที่จะใช้ในการขึ้นรูป โดยวิธีการเทแบบควรจะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ควรมีความหนืดต่ำเพื่อจะได้สามารถไหลเข้าไปในแบบได้อย่างทั่วถึง
- 2) ควรมีความถ่วงจำเพาะสูงมากพอ เพื่อว่าดินที่เผาแล้วจมตัวได้ช้า คือไม่แยกตัวออกมา
- 3) ให้ผลิตภัณฑ์ที่เทแบบได้เรียบร้อยดี ไม่เกิดตำหนิเนื่องจากการหดตัว
- 4) มีสภาพคงทนดีพอสมควรขณะเก็บรักษาไว้
- 5) หลุดจากแบบได้ง่ายและเรียบร้อยดี
- 6) เมื่อเทแบบแล้วแข็งตัวเร็ว
- 7) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการหดตัวน้อยขณะตากแห้ง
- 8) ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงสูง
- 9) ไม่มีฟองอากาศ

การที่จะผลิตน้ำดินที่ใช้ขึ้นรูปโดยการเทแบบได้ดีจะต้องมีความชำนาญมากพอสมควร ชนิดและปริมาณของดินต่าง ๆ ที่ใช้มีความสำคัญพอๆ กับการกระจายของขนาดของดินเผาที่ใช้ปริมาณของตัวทำให้เกิดการกระจายลอยตัวได้ดีก็จะต้องมีการปรับอย่างระมัดระวัง ในอดีตตัวทำให้เกิดการกระจายลอยตัวในน้ำได้ดี ใช้ของผสมระหว่างโซเดียมซิลิกา และโซเดียมคาร์บอเนต แต่ปัจจุบันใช้คาลกอน หรือโซเดียมฟอสเฟต

แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยการเทแบบปกติจะผลิตด้วยพลาสติกอร์ อย่างไรก็ตาม ก็ดีน้ำดินซึ่งมีปริมาณน้ำน้อยไม่จำเป็นต้องเทแบบที่มีความหนามากนัก

### 2.5.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์วัตถุดิบไฟโดยอาศัยความเหนียว

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ใช้น้ำเป็นตัวช่วยทำให้เนื้อดินปั้นผลิตภัณฑ์มีความเหนียว แต่ปริมาณน้ำไม่มากนักจนกระทั่งเป็นน้ำดิน การขึ้นรูปโดยเนื้อดินปั้นเกือบและ (Soft-mud Process) จะใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างพิเศษบางอย่างเท่านั้น เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการเรื่องค่าแรงสูง และมีข้อยุ่งยากในการผลิตให้ได้ขนาดใกล้เคียงมาตรฐานการอบผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ให้แห้งกินเวลาหลายเดือนเนื้อวัตถุดิบไฟผสมเครื่องผสมแบบมีลูกกลิ้ง หรือแบบพัก-มิลล์ เมื่อผสมเสร็จอาจหมักเนื้อดินไว้ก่อนหรือนำไปใช้เลยก็ได้

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์วัตถุดิบไฟโดยใช้เนื้อดินที่มีความเหนียวพอเหมาะ (Still-mud Process) การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ต้องใช้แรงเข้าช่วยมากพอสมควร วัตถุดิบไฟที่ผลิตโดยวิธีนี้จะผลิตโดย

การรีดและอัดเนื้อดินที่เหนียวตีผ่านหัวแบบ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีเนื้อสม่ำเสมอเป็นท่อนยาว ซึ่งสามารถตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ การตัดด้วยเครื่องอัตโนมัติจะทำให้ก้อนอิฐมีขนาดสม่ำเสมอ เป็นไปได้ยาก ดังนั้นในทางปฏิบัติ จะนำก้อนอิฐที่ตัดได้ไปเข้าเครื่องอัดก้อนอีกครั้งหนึ่ง ก้อนอิฐจะแน่นตึ๊งขึ้น

## 2.6 ระบบของเตาชีวมวล

### 2.6.1 ระบบแก๊สชีวมวล

การผลิตแก๊สชีวมวล เป็นกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลโดยจำกัด อากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการสันดาป ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นก๊าซเชื้อเพลิงโพรดิวเซอร์แก๊ส เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และ ไฮโดรเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวมวลนี้ เป็นระบบขนาดเล็กเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชุมชน

### 2.6.2 ระบบแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

ระบบแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส โดยให้ความร้อนผ่านตัวกลางของกระบวนการ เช่น อากาศ หรือไอน้ำกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะมีความแตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้ของแก๊สชีวมวลอย่างสิ้นเชิง คือระบบแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเผาไหม้ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์

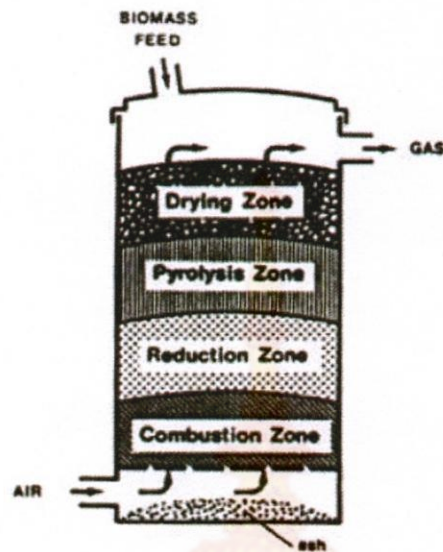
## 2.7 เตาชีวมวล

### 2.7.1 เตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Up-draft Gasifier)

เตาชีวมวลเป็นเตาที่ผลิตขึ้นมาใช้สำหรับการหุงต้มในระดับครัวเรือน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้มาจากกากที่เหลือจากการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าว ชานอ้อย เศษไม้ กากปาล์ม ชังข้าวโพด สำเหล้า กาบและกะลามะพร้าว เป็นต้น สำหรับเตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นเป็นเตาชีวมวลที่ใช้ตั้งแต่เริ่มแรก ซึ่งในการเผาไหม้ที่จำกัดปริมาณอากาศได้เกิดความร้อนบางส่วน โดยความร้อนเหล่านี้จะไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื้ออื่น ๆ ให้เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งกลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง จากภาพที่ 2.2 เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกเติมทางด้านบนของเตา ซึ่งเมื่อเชื้อเพลิงติดไฟอากาศก็จะไหลจากด้านล่างเตา ผ่านเชื้อเพลิงในหีบเผาไหม้ไปสู่ทางด้านบนของเตา เตาชีวมวลลักษณะนี้อาจจะมีการผลิตหีบเผาไหม้หลายหีบเตาก็ได้ ดังภาพที่ 2.3

สำหรับเตาชีวมวลรูปแบบนี้ในขณะที่เกิดแก๊สชีวมวลจะลอยขึ้นสู่เชื้อเพลิงชีวมวลด้านบนซึ่งทำให้ความร้อนไปสัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวลทำให้เป็นการอบและไล่ความชื้นก่อนการเผาไหม้ทำให้มีการสูญเสียพลังงานชีวมวลน้อย





ภาพที่ 2.2 เตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Up-draft Gasifier) (ภาณุพงษ์ หมั่นชืด, 2557)



ภาพที่ 2.3 เตาชีวมวลผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นสามหัวเตา

แหล่งที่มา : เตาชีวมวลแบบสามหัวเตา, (สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2559)

<https://www.google.co.th/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiktqm6nJDMAhWi2qYKHTCJAqMqjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fflanpanya.com%2Faram%2F&psig=AFQjCNGrgmg17Xk4LpjNFhK4riYHHLtpvw&ust=146079514758250>

## 2.7.2 ลักษณะชั้นของการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ของเตาชีวมวลแบบผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น (Up-draft Gasifier)

การเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ของเตาชีวมวลรูปแบบนี้ มีลักษณะชั้นการเผาไหม้ ดังนี้

1) โซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) อากาศที่ไหลเข้ามาทางด้านล่างเตาจะสัมผัสกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดความร้อนเพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งให้กลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนนี้อยู่ระหว่าง  $1,000 - 1,500\text{ }^{\circ}\text{C}$

2) โซนแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Zone or Reduction Zone) แก๊สที่เกิดจากโซนเผาไหม้จะไหลผ่านเข้าสู่โซนนี้ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลัก ทำให้โซนนี้เป็นแบบปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน อุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $500 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$  โซนนี้จะเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ไหลผ่านเชื้อเพลิงชีวมวลที่กำลังลุกไหม้จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และแก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

3) โซนการกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) โซนนี้จะรับความร้อนจากโซนแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อที่จะสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงชีวมวลให้ได้เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน (Tar) อุณหภูมิในโซนนี้จะประมาณ  $200 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  และของแข็งที่เหลือคือถ่าน

4) โซนการอบแห้ง (Drying Zone) ในโซนนี้อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ  $100 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยแต่สามารถทำให้ความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถระเหยได้

## 2.8 สูตรคำนวณที่เกี่ยวข้อง

### 2.8.1 คำนวณหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน (ภาณุพงษ์ หมั่นชืด, 2557)

ในการทดลองประสิทธิภาพเตาประหยัดพลังงานเป็นเตาชีวมวลแบบไหลขึ้น จะเป็นการทดลองหาประสิทธิภาพในด้านความร้อนโดยวิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test = WBT) สมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน } (\eta) &= \left( \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงที่ให้}} \right) \times 100\% \quad (2.5) \\ &= \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\% \end{aligned}$$

เมื่อ  $m_i$  = มวลน้ำเริ่มต้น (kg)

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.190 kJ/kg °C)

$m_e$  = มวลน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ (kg)

$T_b$  = อุณหภูมิน้ำเดือด (°C)

$T_i$  = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C)

$m_e$  = มวลน้ำที่ระเหย (kg)

$L$  = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (2,260 kJ/kg)

$m_f$  = มวลของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (kg)

$C_f$  = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

### 2.8.2 คำนวณหาค่าความชื้น (AOAC, 2000)

ในการอบตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นด้วยวิธี AOAC (Association of Official Analytical Chemist) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 hr สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้น} = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1} \times 100\% \quad (2.6)$$

เมื่อ  $w_1$  = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (kg)

$w_2$  = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (kg)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธิดาวัดมน ปานสำเนียง (ม.ป.ป.) ศึกษาเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันสำหรับเตาแก๊สชีวมวลสำหรับการนำไปใช้ในการหุงต้มและการให้ความร้อนจากการเผาไหม้ในกิจกรรมอื่นๆ ในชีวิตประจำวัน ทำให้ครัวเรือนสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิง LPG ได้ เตาแก๊สชีวมวลใช้ได้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เศษไม้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ เศษไม้ทั่วไป กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และโดยเฉพาะแกลบ ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่เหลือใช้มากที่สุดในประเทศ

ฉัตรชัย ผิวชู และคณะ(2555) ศึกษาเตาแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ ซึ่งใช้เวลาสำหรับการต้มน้ำให้เดือดเฉลี่ยเพียง 2.18 (min/s) แต่เตาแก๊สชีวมวลปีบจากกระทรวงพลังงานใช้เวลาถึง 8.28 (min/s) จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มช่องทางสำหรับเติมวัสดุเชื้อเพลิงไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวต้นแบบ ในส่วนเรื่องต้นทุนการผลิตนั้นพบว่า เตาแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคือ 355 บาทต่อเตาขณะที่เตาแก๊สชีวมวลปีบมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าคือ 700 บาทต่อเตา ด้วยเหตุผลหลักคือ ขั้นตอนและวัสดุสำหรับการผลิตเตาแก๊สชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้

รุ่งคราญ วิริยง และคณะ (2553) ศึกษาเตาแก๊สชีวมวลสำหรับการเรียนการสอนเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น เตาถ่านธรรมชาติ ไม้พิน ยางพารา ถ่านไม้ยางพารา และเครื่องมือวัด การทดสอบใช้เตาชีวมวล ที่ Reactor เป็นแบบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และสูง 45 cm ต้มน้ำในการศึกษาประสิทธิภาพ การผลิตความร้อน โดยใช้ถ่านไม้และไม้พินเป็นเชื้อเพลิง การสร้างแบบจำลองเตาแก๊สชีวมวลอย่างง่าย และจัดทำเอกสารประกอบการสอนชุดทดลองเตาชีวมวล แล้วทดสอบการใช้สื่อ พบว่า เตาแก๊สชีวมวลมีประสิทธิภาพร้อยละ 10 ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยเตาถ่านธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพร้อยละ 7.11 เตาแก๊สชีวมวลจำลอง สามารถใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหมือนกับเตาแก๊ส ชีวมวลจริง ต้มน้ำ 50 g ให้เดือดได้ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 6.12 ผลการประเมินสื่อการสอนนี้มีผลการประเมินความพึงพอใจในระดับมาก

พิทักษ์ สุวรรณภูมิ (2552) ได้ผลิตเตาแก๊สพลังงานแกลบได้มีการออกแบบ 3 แบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน พบว่า สำหรับเตารุ่นที่มีลิ้นชักเป็นเตารุ่นพัฒนาที่สุดเพื่อเพิ่มความสะดวกในการนำถ่านออก และยังสามารถสลับการใช้งานได้นานกว่ารุ่นไม่มีลิ้นชัก ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง ทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาการใช้งานได้ เป็นประมาณ 50 min

วิจักขณ์ อิ่มอินทร์ และคณะ (2557) ได้ศึกษาโปรแกรมแบบจำลองการหาประสิทธิภาพเตาถ่านกับเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลลงที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในครัวเรือน เตาแก๊สชีวมวลที่เลือกใช้ในงานวิจัยเป็นเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลลงเนื่องจากเป็นเตาแก๊สชีวมวลที่ให้ประสิทธิภาพสูง ราคาเหมาะสมกับการใช้งานในครัวเรือนมีกระบวนการทำงานที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน นำมาเปรียบเทียบกับเตาถ่าน พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลลงสูงกว่าเตา

ถ่าน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาออกแบบโปรแกรมแบบจำลองเสมือนจริง เริ่มจากการสร้างเตา แก๊สชีวมวลแบบไหลลง การหาค่าความร้อนของถ่าน การหาประสิทธิภาพของเตาถ่านกับเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลลง รวมถึงการประเมินแบบสอบถามระดับความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมแบบจำลอง กลุ่มตัวอย่าง บุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 30 คน พบว่า ค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน สรุปว่า โปรแกรมแบบจำลองหาประสิทธิภาพค่าความร้อนของเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลลงสูงกว่าเตาถ่าน เช่นเดียวกัน

วิบูลย์ เทเพนทร์ และคณะ (2547) ศึกษาวิจัยและพัฒนาเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องลดความชื้นลำไยทั้งเปลือก 2 แบบ คือแบบแรกเป็นแบบเกษตรกรให้ความร้อนกิ่งทางอ้อม มีลักษณะเป็นแบบผสมของเตาเผาแกลบแบบ ไชโคลน และแบบเตาแบบตะกรับ มีชุดดักฝุ่นเถ้าไม่ให้ปนไปกับลมร้อน ใช้สำหรับเครื่องลดความชื้นลำไย ทั้งเปลือกแบบกระบะขนาดบรรจุ 2 ตัน ได้ 1 - 2 เครื่อง มีข้อดีคือ สามารถใช้ไม้พินจากกิ่งลำไยแห้งเป็นเชื้อเพลิงได้มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้กับไม้พินสด หรือแกลบที่มีความชื้นสูงได้เนื่องจากจะมีเขม่าและควันไฟมาก และเตาแบบที่ 2 เป็นแบบผู้ประกอบการเตาแบบนี้ให้ความร้อนทางอ้อม ตัวเตาเป็นแบบไชโคลนมีชุดแลกเปลี่ยนความร้อน มีข้อดีคือ ลมร้อนที่ได้สะอาด ปราศจากฝุ่นเถ้าและกลิ่นควันไฟ

สุทธิพร เนียมหอม และคณะ (2555) ได้ศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลโดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม Fluent เข้ามาช่วยทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศสำหรับแบบจำลองโครงสร้างเตาผลิตก๊าซชีวมวลปีบชนิดอากาศ ไหลขึ้น เพื่ออธิบายพฤติกรรมบริเวณรูทางออกด้านข้างของเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ไม่เกิดการเผาไหม้ และปรับปรุงโครงสร้างของเตาผลิตก๊าซชีวมวลใหม่ให้มีโครงสร้างที่เหมาะสม ผลที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างเตาผลิต ก๊าซชีวมวลแบบใหม่ทำให้อากาศสามารถไหลออกที่รูทางออกมีความเร็วที่สูงขึ้น และกระจายทุกรูทางออก

สุพจน์ เกิดมี และคณะ(2554) ได้ศึกษาพัฒนาการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และเศษวัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในการออกแบบเตาชีวมวลคือเทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบอากาศไหลตามขวาง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ใช้พัดลมซึ่งเป็นพลังงานจากภายนอกและสามารถเติมเชื้อเพลิงได้แบบต่อเนื่อง ในขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเตาชีวมวลนั้นใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ เศษกิ่งไม้ กะลามะพร้าว และ ชังข้าวโพด จากการศึกษาสมรรถนะของเตาชีวมวลได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการจุดเตา อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง พบว่า เตาชีวมวลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าเตาธรรมดาและมีค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงสูงกว่าเตาแบบธรรมดา

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์ และคณะ (2556) ศึกษาการสร้างเตาชี้อ้อยอาศัยหลักการผลิตแก๊สจากชีวมวลซึ่งต่างจากการเผาไหม้ทั่วไป กล่าวคือ การเผาไหม้ในเตาจะเป็นการเผาไหม้ 2 ครั้ง คือครั้งแรกจะ

เป็นการเผาไหม้ระหว่างซีลื้อกับความร้อนโดยการควบคุมอากาศให้เข้าไปในเตาในปริมาณน้อย ทำให้เกิดแก๊สขึ้นและเมื่อแก๊สร้อนไปผสมกับอากาศ บริเวณปากเตาก็จะติดไฟ เกิดพลังงานความร้อน

สำนักงานพลังงาน จังหวัดสุพรรณบุรี ได้ฝึกอบรมอาสาสมัครพลังงานชุมชนได้ผลิตเตาแก๊สชีวมวล และพัฒนาการผลิตร่วมกับสำนักงานพลังงานจังหวัดสุพรรณบุรี โดยหลักการทำงานของเตาแก๊สชีวมวล เชื้อเพลิงจะถูกใส่ด้านบนของเตา อากาศไหลเข้าผ่านตะแกรงด้านล่าง ภายในห้องเผาไหม้จะถูกควบคุมอากาศให้ไหลเข้าในปริมาณที่จำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จนได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนเป็นหลัก กับก๊าซมีเทนอีกเล็กน้อย ซึ่งก๊าซเหล่านี้สามารถติดไฟได้ และถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในห้องเผาไหม้ของเตาแก๊สชีวมวลอีกครั้ง

Bokola, O. B. (2012) ศึกษาเตาชีวมวลและกลยุทธ์ด้านพลังงานเพื่อพัฒนาประเทศได้ วิเคราะห์พลังงานชีวมวลสำหรับการหุงต้มในการพัฒนาประเทศ การใช้พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่สำคัญที่มีผลต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมโดยการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในปริมาณมากจะส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศดังนั้นการลดการใช้ และมีการพัฒนาเทคโนโลยีของเตาชีวมวลจะทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่คุ้มค่า ประสิทธิภาพสูงขึ้นและยั่งยืนต่อไป

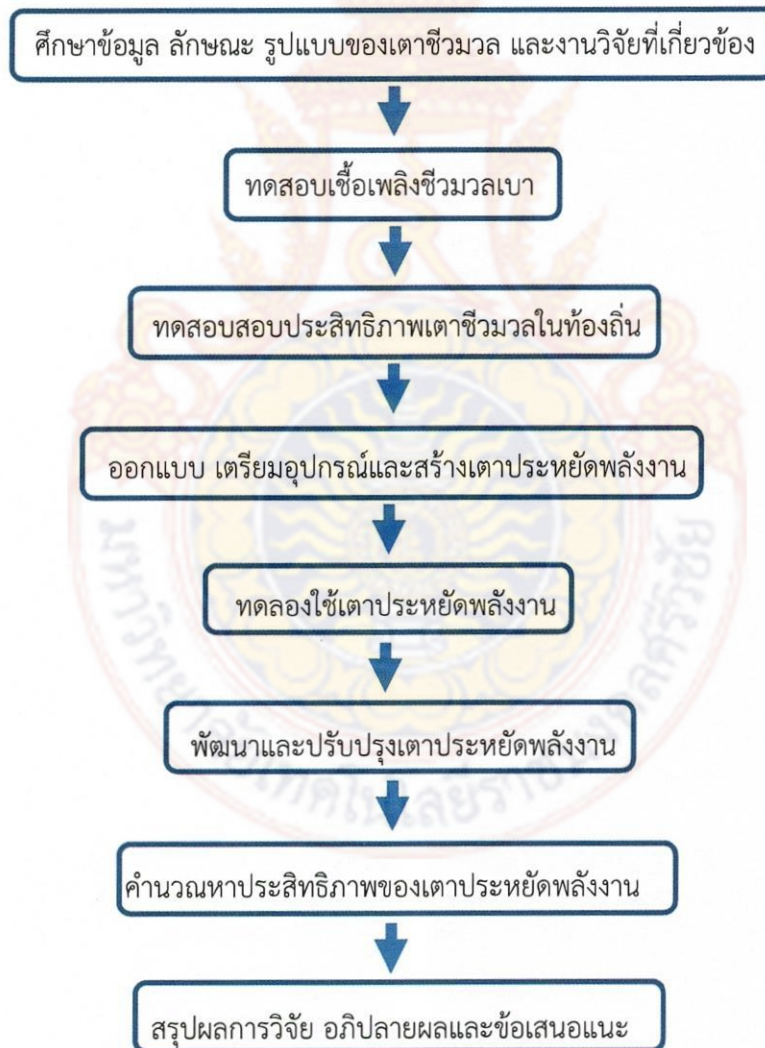
Febriansyah et al. (2014) ศึกษาเตาชีวมวลใช้เมล็ดในของผลปาล์มน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากประเทศอินโดนีเซียเป็นประเทศผลิตปาล์มน้ำมันใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีการใช้ประโยชน์จากกากปาล์มน้ำมันมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งได้มีการออกแบบเตาชีวมวลและมีการทดสอบทิศการไหลของอากาศ อุณหภูมิ และจุดเดือดของน้ำ โดยเตามีขนาด 20 cm สูง 25 cm และเปิดท่อระบายร้อยละ 75 มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงดี และอุณหภูมิสูง มีประสิทธิภาพร้อยละ 66, 63 และอุณหภูมิเฉลี่ย 682, 590 °C

Ravi et al. (2002) ได้สร้างแบบจำลองเตาชีวมวลศึกษาและทำการทดลองโดยอาศัยหลักพื้นฐาน อุณหพลศาสตร์และคำนวณความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าร้อนของเตาชีวมวลซึ่งเป็นรายละเอียดของแบบจำลอง CFD โดยอธิบายการไหล ความร้อน เชื้อเพลิง และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งใช้สมการพีชคณิตอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น สมการจำเป็นในการกำหนดพื้นที่ที่จะวิเคราะห์ คาดการณ์ และคำนวณประสิทธิภาพของเตาได้

บทที่ 3  
วิธีการทดลอง

3.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูล ลักษณะ รูปแบบของเตาประสิทธิภาพของเตาที่ใช้ในท้องถิ่น แล้วดำเนินการทดสอบเชื้อเพลิงชีวมวลเบาในด้านความร้อน ความชื้น เถ้า Fixed Carbon และ Volatile matter ที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงานพร้อมทั้ง ออกแบบ เตรียมอุปกรณ์ และสร้างเตาประหยัดพลังงาน ตรวจสอบประสิทธิภาพเตา พร้อมกับ ทดสอบเตา ปรับปรุงและพัฒนา คำนวณหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานแล้วสรุปผล อภิ พลายผลและข้อเสนอแนะ ตามแผนผังดังรูป



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงการดำเนินงานวิจัย

### 3.2 สถานที่ทำการวิจัย

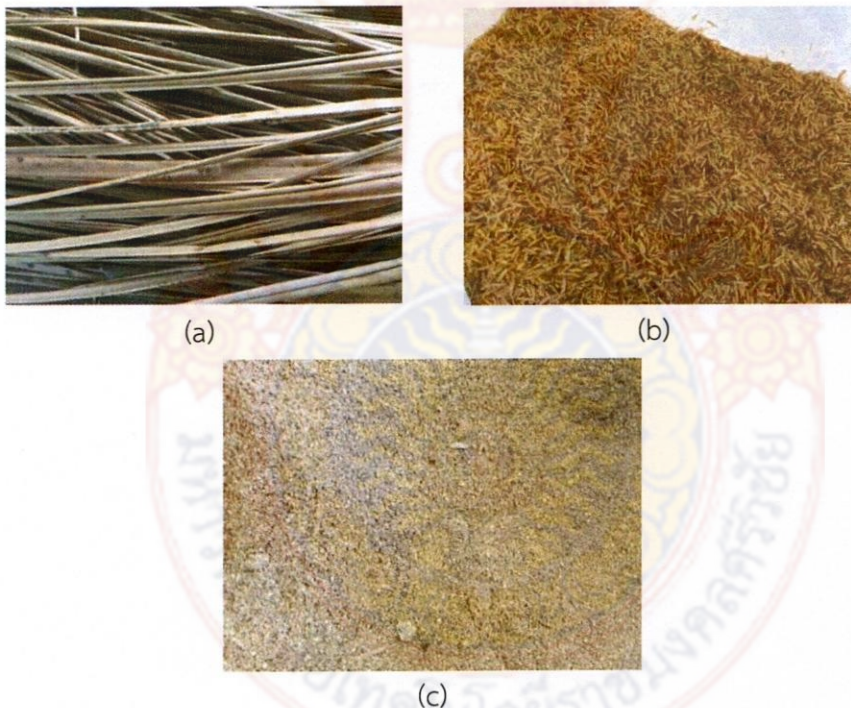
หลักสูตรวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.3.1 เครื่องชั่งมวลแบบดิจิตอล
- 3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบหัววัด
- 3.3.3 เตาเผา
- 3.3.4 ตู้อบ

### 3.4 การดำเนินงานวิจัย

3.4.1 วิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลเบา คือ ใบมะพร้าว แกลบข้าว ชี้เลื่อย ที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงาน ในด้านความร้อน ความชื้น เถ้า คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ สารระเหย (Volatile matter) ตามภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 เชื้อเพลิงชีวมวล

- (a) ใบมะพร้าว
- (b) แกลบข้าว
- (c) ชี้เลื่อยไม้ยางพารา



### คำนวณหาประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง

#### 1. ปริมาณความร้อน

การหาปริมาณความร้อน (shrestha, 2001) ดังสมการ

$$\text{ค่าความร้อน } (\Delta Q) = m_w C_w \Delta T_w + m_e L + m_{Al} C_{Al} \Delta T_{Al} \dots \dots \dots 3.1$$

เมื่อ	$m_w$ แทน มวลน้ำ	มีหน่วยเป็น kg
	$C_w$ แทน ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	มีหน่วยเป็น °C
	$\Delta T$ แทน อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป	มีหน่วยเป็น °C
	$m_e$ แทน มวลของน้ำที่สลายไป	มีหน่วยเป็น kg
	L แทน ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ = 2,260 kJ/kg	
	$m_{Al}$ แทน มวลของอะลูมิเนียม	มีหน่วยเป็น kg
	$C_{Al}$ แทน ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม = 0.896 kJ/kg C	

#### 2. ปริมาณความชื้น

หาปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 – 95 มีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

- อุ่นเตาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C
- อบด้วยกระบือพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 hr ปลดทิ้งไว้ให้ตู้เย็นในโถดูดความชื้น
- ชั่งเชื้อเพลิงชีวมวลหนัก 1 g ใส่ในถ้วยกระบือ
- อบเชื้อเพลิงชีวมวลจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหาปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวล โดย

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \dots \dots \dots 3.2$$

#### 3. ปริมาณเถ้า

หาปริมาณเถ้าในเชื้อเพลิงโดยวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM K 3174 – 95 มีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- เผาด้วยกระบือพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 3 hr ปลดทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

ให้เย็นในโถดูดความชื้น

- เเผาด้วยกระบือองพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 650 °C เป็นเวลา 3 hr ปลอยทิ้งไว้

- ชั่งเชื้อเพลิงหนักประมาณ 1 g ใส่ในถวยกระบืออง

- เเผาถ่านเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 650 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณหา

ปริมาณถ่าน

$$\text{ร้อยละถ่าน} = \frac{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักถ่านตัวอย่างเริ่มต้น}} \dots\dots\dots 3.3$$

#### 4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงตัวในเชื้อเพลิงคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละปริมาณคาร์บอนคงตัว} = 100 - \text{ร้อยละถ่าน} - \text{ร้อยละสารระเหย} \dots\dots\dots 3.4$$

#### 5. สารระเหย (Volatile matter)

หาปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิธีการวิเคราะห์ตาม

มาตรฐาน ASTM D 3173 – 95 มีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

ให้เย็นในโถดูดความชื้น

- เเผาด้วยกระบือองพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 3 hr ปลอยทิ้งไว้

- ชั่งเชื้อเพลิงชีวมวล 1 g .ใส่ในถวยกระบือองหรือใช้ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่

ผ่านการหาปริมาณความชื้นแล้ว

- เเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 min (ขณะเผาให้ปิดฝาถวย

กระบืออง) แล้วนำออกจากเตาเผาทันที ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 min แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน

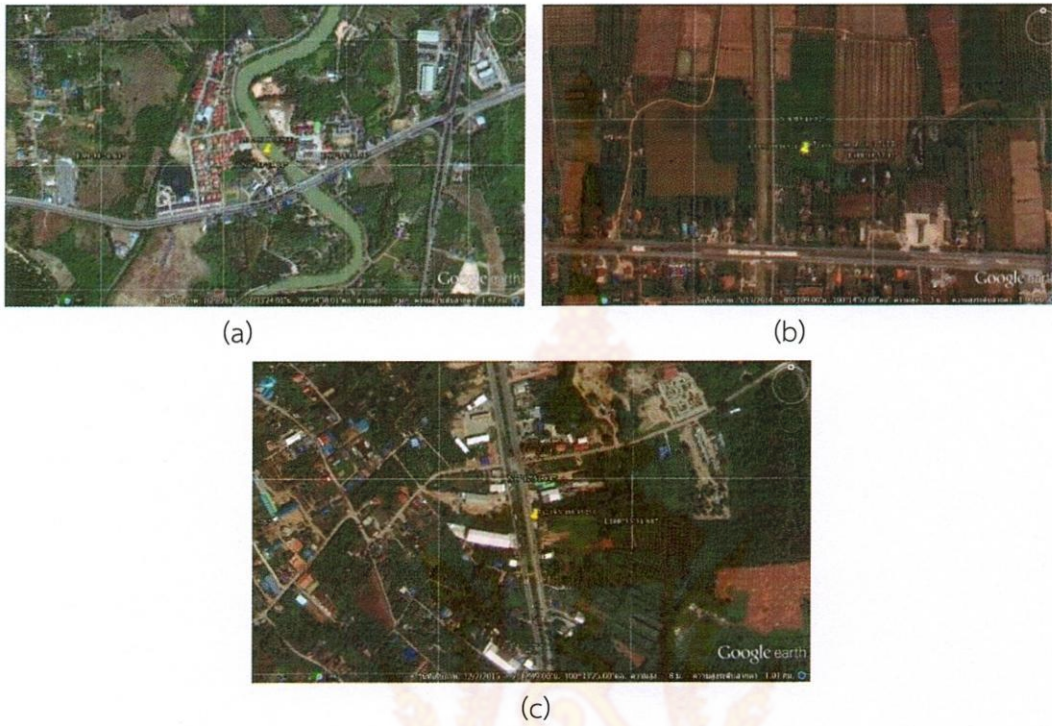
โถดูดความชื้น

- เเผาจนกระทั่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีน้ำหนักคงที่ และคำนวณหาปริมาณสาร

ระเหยในตัวอย่าง โดย

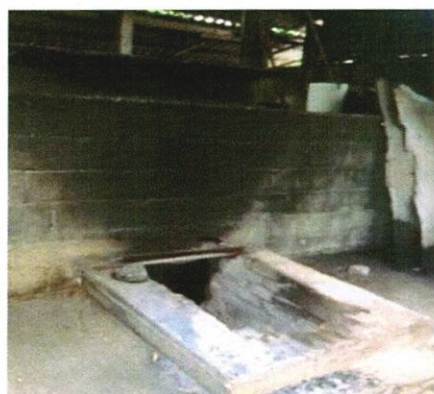
$$\text{ร้อยละสารระเหย} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \dots\dots\dots 3.5$$

### 3.4.2 สำรวจและทดสอบประสิทธิภาพของเตาในชุมชน



ภาพที่ 3.3 แผนที่แสดงที่ตั้ง

- (a) เตาหมูย่าง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
- (b) เตาทำขนมจีน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช
- (c) เตาทำน้ำตาลแว่นจากตาลโตนด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา



(a1)



(a2)



(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

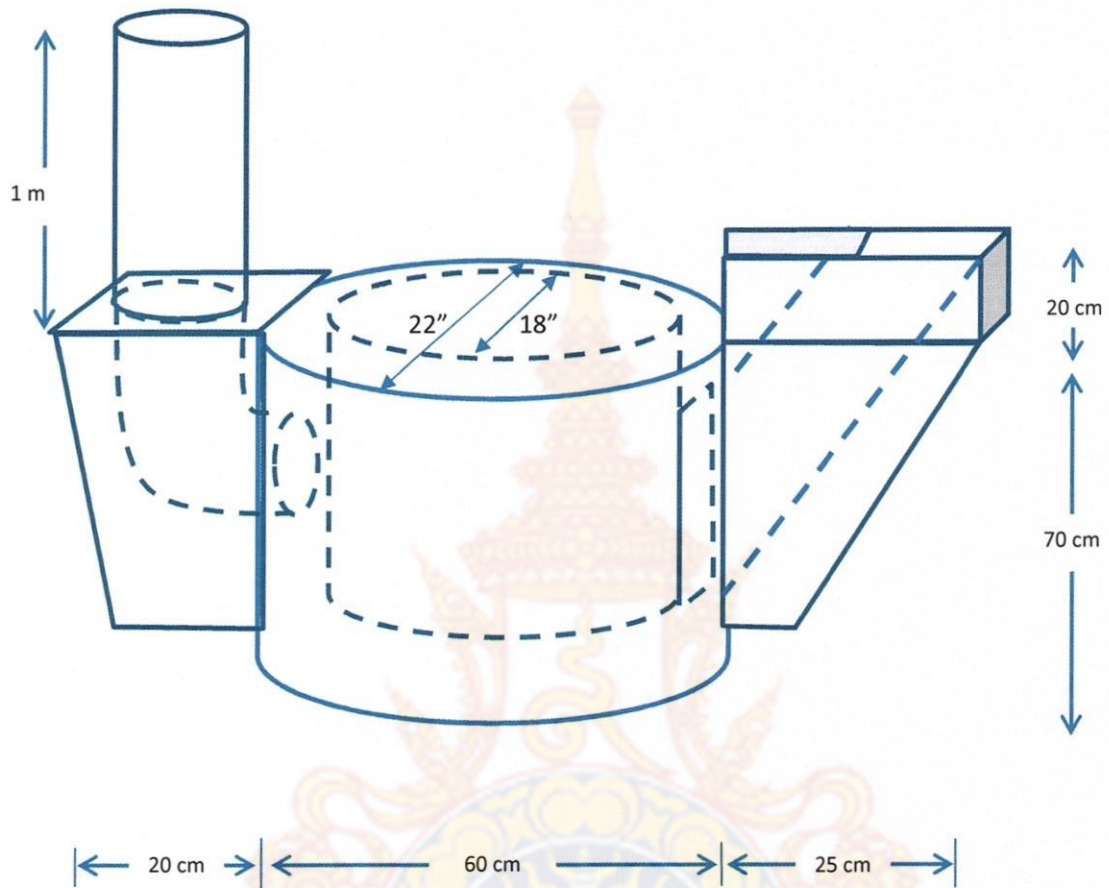
ภาพที่ 3.4 รูปแบบเตาในชุมชน

(a1), (a2) เตาหมูย่าง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง

(b1), (b2) เตาทำขนมจีน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช

(c1), (c2) เตาทำน้ำตาลแว่นจากตาลโตนด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

### 3.4.3 การออกแบบเตาประหยัดพลังงานแบบผลิตก๊าซชีววมวลชนิดไหลขึ้น



ภาพที่ 3.5 แบบเตาประหยัดพลังงาน

### 3.4.4. ขั้นตอนการสร้างเตาประหยัดพลังงาน

#### ตอนที่ 1 หาอัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปตัวเตา

1) อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปตัวเตา จาก สูตรเตาของกระทรวงพลังงานมี อัตราส่วนของ ปูน : ทรายหยาบ : หิน (1 : 2 : 4) ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์มี 2 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ตราเสือ และตราช้าง

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานระหว่าง

ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน			
	ปูนซีเมนต์ ตราช้าง	ทราย	หิน	ปูนซีเมนต์ ตราช้าง : ทราย : หิน
1	3	1	3	3 : 1 : 3
2	2	2	3	2 : 2 : 3
3	2	3	2	2 : 3 : 2
4	3	2	2	3 : 2 : 2
5	3	3	1	3 : 3 : 1

2) นำส่วนผสมดังกล่าวมาขึ้นรูปด้วยท่อ PVC ขนาด 1 " หน้า 2 "

3) แล้วนำมาตากพักไว้ 28 วัน ให้ตัวปูนเซตตัว (พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2554 : 91)

4) นำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 hr (AOAC, 2000) เพื่อน้ำที่ถูกดูดซับและน้ำระหว่างชั้นจะหายไป ทำให้ตัวอย่างที่ขึ้นรูปอยู่ในสภาวะแห้ง

5) นำตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 200 °C, 400 °C, 600°C, และ 800 °C เป็นเวลา 1 hr (สาโรจน์ ขาวดี, 2544) เพื่อทดสอบความทนความร้อน

**ตอนที่ 2** หาอัตราส่วนผสมสำหรับฉาบภายในห้องเผาไหม้

1) อัตราส่วนในการขึ้นรูปสำหรับฉาบภายในห้องเผาไหม้ของเตาประหยัดพลังงาน จากสูตรเตาขมจีนระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์ : ทราย เป็น 1 : 1

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์ : ทราย		
	ดินเหนียว	ซีเมนต์	ดินเหนียว : ซีเมนต์ : ทราย
1	1	1	1 : 1
2	2	1	2 : 1
3	1	2	1 : 2

2) นำมาขึ้นรูปด้วยท่อ PVC ขนาด 1" หนา 2"

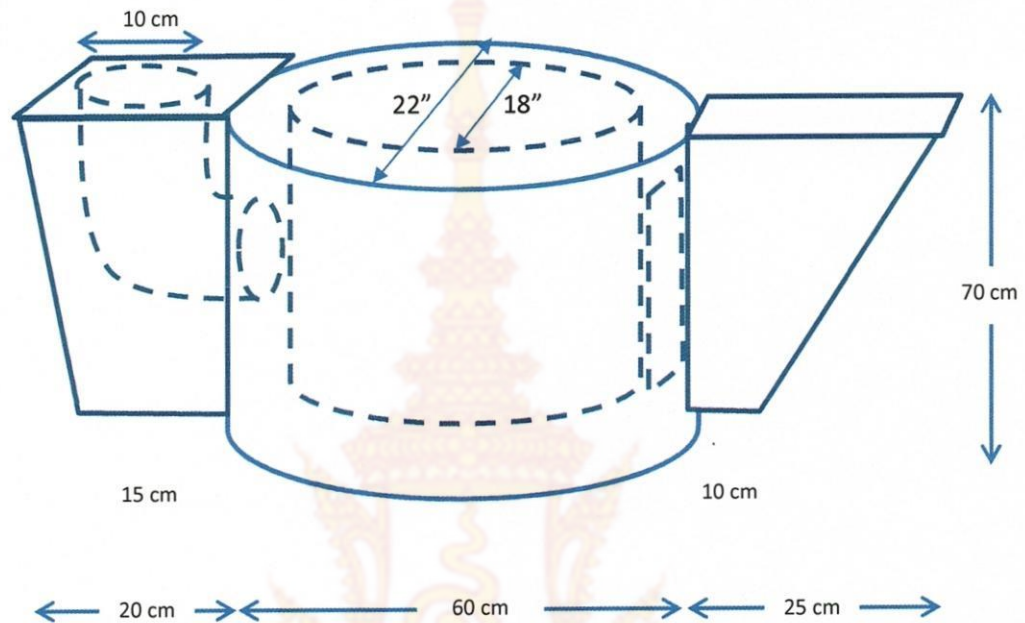
3) พักตัวอย่างไว้ 1 สัปดาห์ให้ดินเหนียวคงตัว

4) นำมาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 12 hr (AOAC, 2000)

5) นำมาทดสอบหาความทนความร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C, 400 °C, 600 °C และ 800 °C (สารโจน์ ขาวดี, 2544)

**ตอนที่ 3** ออกแบบเข้าหล่อตัวเตาและโครงสร้างเหล็กเพื่อเป็นตัวยึดเตาเมื่อหล่อ

- 1) ศึกษาเตาของชุมชน
- 2) ดำเนินการออกแบบและเลือกวัสดุสำหรับทำแบบเข้าหล่อตัวเตา



ภาพที่ 3.6 แบบเข้าหล่อตัวเตาประหยัดพลังงาน

- 3) เลือกท่อเหล็กหรือท่อไยหิน ขนาด 4" เพื่อเป็นท่อดูดควันของเตา

ประหยัดพลังงาน



ภาพที่ 3.7 ท่อดูดอากาศของเตาประหยัดพลังงาน



4) สร้างแบบโครงสร้างเหล็กเพื่อเป็นตัวยึดเกาะ



ภาพที่ 3.8 แบบโครงสร้างเหล็กของตัวเตาประหยัดพลังงาน

5) นำส่วนผสมจากตอนที่ 1 มาเป็นส่วนผสมในการหล่อเตาประหยัด

พลังงาน

### 3.4.5 การทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาเตาประหยัดพลังงานด้วยวิธี Water Boling Test (WBT)

คำนวณหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน (ภาณุพงษ์ หมั่นชิต, 2557) จากสมการ 2.5 ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน } (\eta) = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

เมื่อ  $m_i$  = มวลน้ำเริ่มต้น (kg)

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.190 kJ/kg °C)

$m_e$  = มวลน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ (kg)

$T_b$  = อุณหภูมิน้ำเดือด (°C)

$T_i$  = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C)

$m_e$  = มวลน้ำที่ระเหย (kg)

$L$  = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (2,260 kJ/kg)

$m_f$  = มวลของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (kg)

$C_f$  = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

### 3.4.6 นำเตาประหยัดพลังงานไปใช้ในชุมชนนำไปใช้

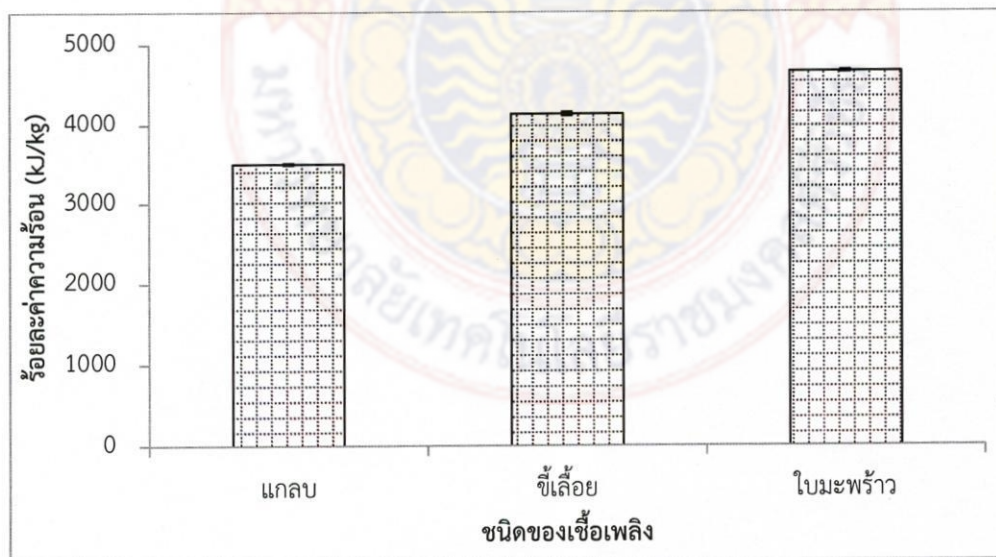
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

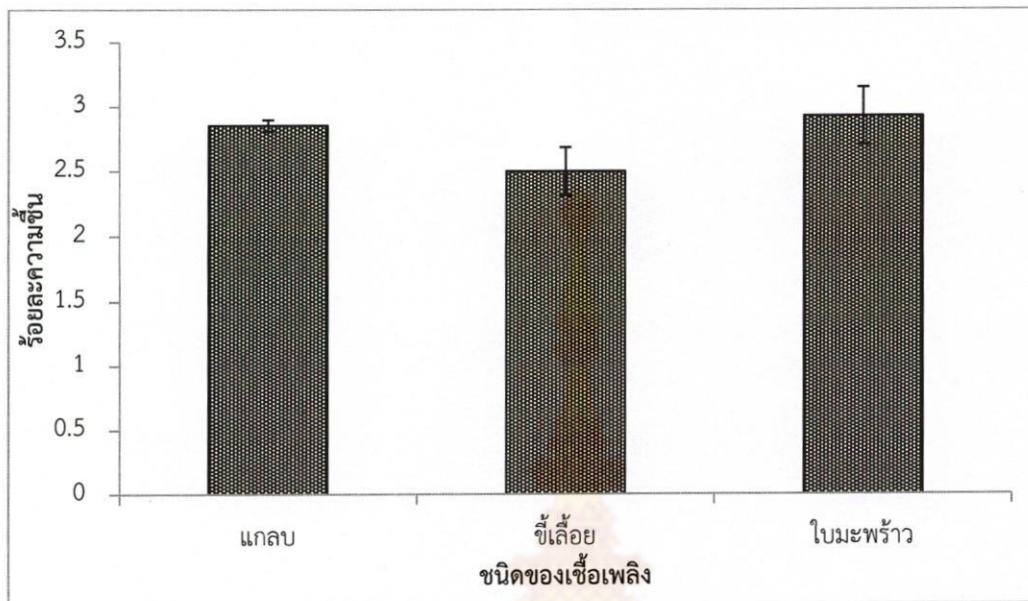
#### 4.1 สมรรถนะเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงานเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเบาหลัก คือ แกลบกับขี้เลื่อย และ ใบมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเริ่มต้นเผาไหม้ มาวิเคราะห์สมรรถนะเชื้อเพลิง ได้แก่ ความร้อน ความชื้น เถ้า คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) และ สารระเหย (Volatile matter) แสดงผลตามตารางที่ 4.1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ตารางที่ 4.1 ทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อหาค่าความร้อน ความชื้น เถ้า Fixed Carbon และ Volatile matter ที่นำมาใช้กับเตาประหยัดพลังงาน

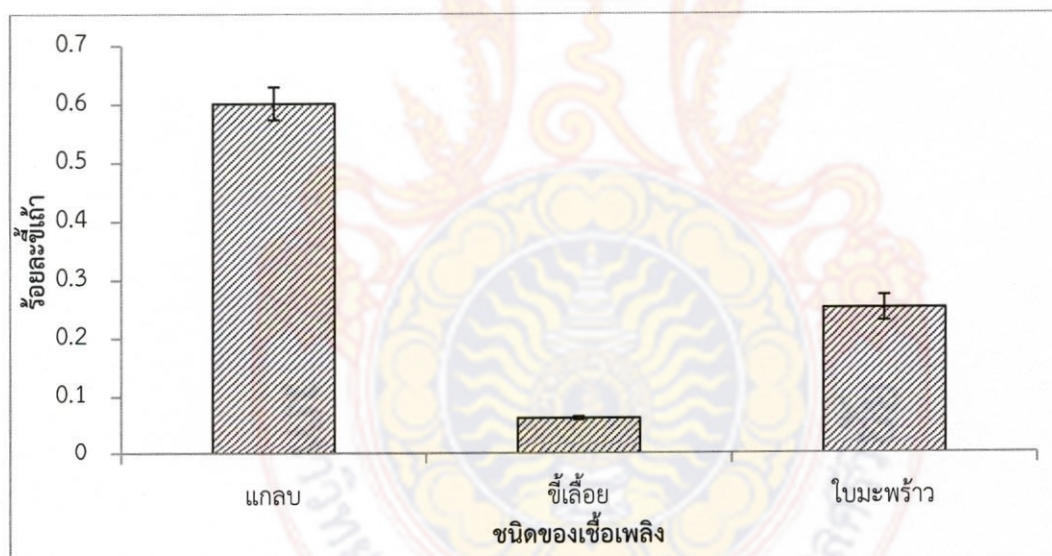
เชื้อเพลิง	ร้อยละ ความชื้น	ร้อยละ ขี้เถ้า	ร้อยละ สารระเหย	ร้อยละ คาร์บอนคงตัว	ร้อยละ ค่าความร้อน (kJ/kg)
แกลบ	$2.85 \pm 0.05$	$0.6 \pm 0.03$	$18.59 \pm 0.15$	$77.95 \pm 0.16$	$3,492.43 \pm 12.32$
ขี้เลื่อย	$2.50 \pm 0.19$	$0.06 \pm 0.00$	$1.07 \pm 0.70$	$96.37 \pm 0.82$	$4,134.10 \pm 24.47$
ใบมะพร้าว	$2.93 \pm 0.22$	$0.25 \pm 0.02$	$5.35 \pm 0.16$	$91.47 \pm 0.15$	$4,657.00 \pm 14.40$



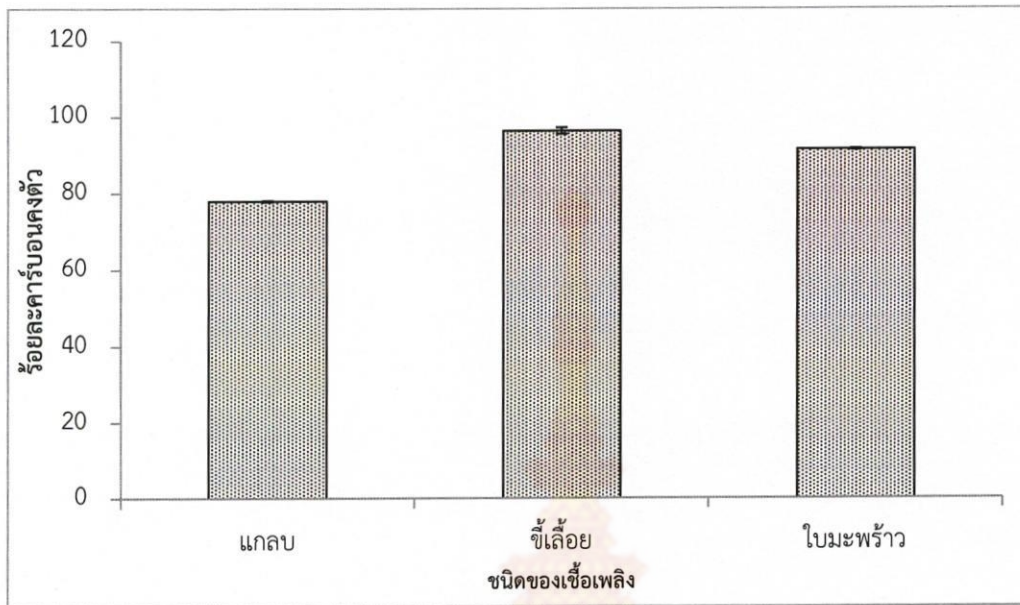
ภาพที่ 4.1 ร้อยละค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล



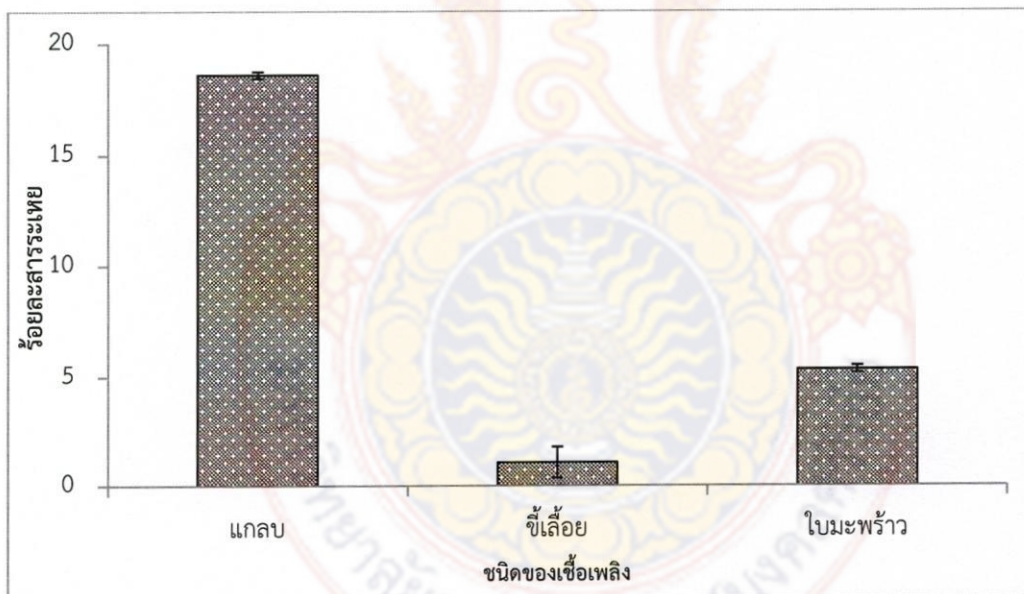
ภาพที่ 4.2 ร้อยละค่าความขึ้นของเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 4.3 ร้อยละค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 4.4 ร้อยละค่าปริมาณ Fixed Carbon ของเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 4.5 ร้อยละค่าปริมาณ Volatile matter ของเชื้อเพลิงชีวมวล

## 4.2 สํารวจเตาชีวมวลที่ใช้ในชุมชน

### 4.2.1 เตาหมุ่ย่าง

เตาหมุ่ย่าง อําเภอเมือง จังหวัดตรัง เป็นเตาชีวมวลเป็นเตาชีวมวลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในจังหวัดตรัง สําหรับการทำหมุ่ย่าง ใช้ไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิง มีลักษณะปล่องท่อที่มีขนาดใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m ตัวเตาสูง 2 m ห้องเผาไหม้มีขนาด 25 m<sup>3</sup> เก็บความร้อนได้นานเพราะใช่วังหมุ่ทั้งตัว ขนาดของหมุ่ที่นำมาย่างจะมีน้ำหนัก 40 – 50 kg ใช้เวลาในการย่างหมุ่ประมาณ 3-4 hr เตาหมุ่ย่างจะมีลักษณะดังภาพที่ 4.6



(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 4.6 ลักษณะของเตาหมุ่ย่าง

- (a) ที่เติมเชื้อเพลิง
- (b) ฝาปิดปากเตา
- (c) ปากเตา
- (d) ช่องใส่เชื้อเพลิง

#### 4.2.2 เตาขนมจีน

เตาขนมจีนหรือเตาแกลบ อําเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครศรีธรรมราช ใช้แกลบ ไข่ลื้อย และเศษกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง เตาขนมจีนเป็นเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น มีขนาดห้องเผาไหม้เป็นรูปครึ่งวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.83 m ตัวเตาสูง 0.65 m ห้องเผาไหม้มีปริมาตร 0.15 m<sup>3</sup> และมีท่อดูดควันเป็นท่อใยหินขนาด 6" ยาว 6 m มีลักษณะดังภาพที่ 4.7



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.7 เตาทำขนมจีน

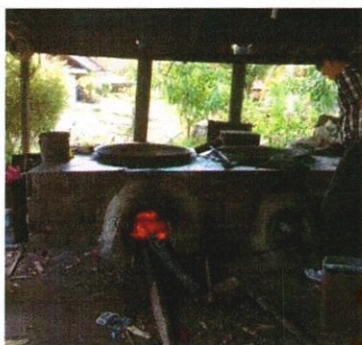
(a) ที่เติมเชื้อเพลิง

(b) หน้าเตา

(c) ห้องเผาไหม้

### 4.2.3 เตาตาลโตนด

เตาตาลโตนดเป็นเตาชีวมวล มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.85 m ตัวเตาสูง 0.65 m ห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกระบอกมีปริมาตรขนาด 0.37 m<sup>3</sup> ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นไม้พิน เป็นเตาที่นิยมใช้ในอำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา และอำเภอใกล้เคียง เนื่องด้วยพื้นที่แถบนี้มีการปลูกต้นตาลโตนดจำนวนมาก โดยใช้เตาตาลโตนดสำหรับแปรรูปน้ำตาลสดจากตาลโตนด มีลักษณะดังภาพที่ 4.8



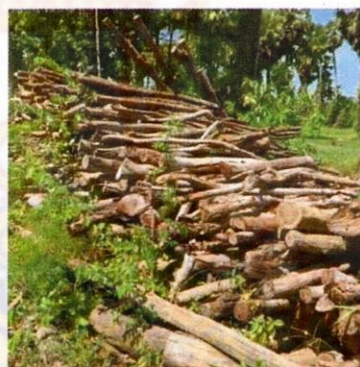
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 4.8 เตาตาลโตนด

- (a) เตาตาลโตนดแบบสองหัวเตา
- (b) เตาตาลโตนดแบบหัวเตาเดียว
- (c) ลักษณะปากเตา
- (d) เชื้อเพลิง

### 4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาชนมจีน

จากการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชนมจีน มีลักษณะดังภาพที่ 4.9 โดยใช้วิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test = WBT) จำนวน 3 ครั้ง น้ำจำนวน 5 ลิ บันทึกอุณหภูมิ ทุก ๆ 1 min หัววัดอุณหภูมิอยู่ตำแหน่งตรงกลางภาชนะห่างจากก้นภาชนะ 1 cm ใช้เชื้อเพลิงเป็นแกลบข้าว มีความชื้นร้อยละ  $2.85 \pm 0.05$  และไบโमะพร้าว มีความชื้นร้อยละ  $2.93 \pm 0.22$  นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาตามสมการ 2.5 แสดงผลตามตารางที่ 4.2 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 4.10



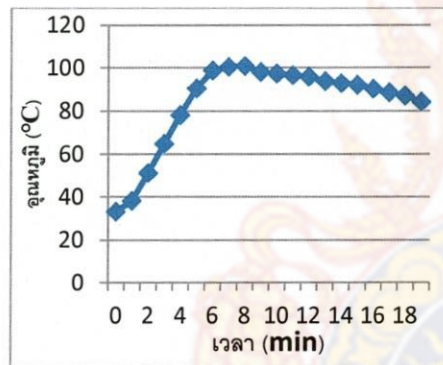
ภาพที่ 4.9 เตาชนมจีน

ตารางที่ 4.2 ค่าของอุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชนมจีนแบบ WBT

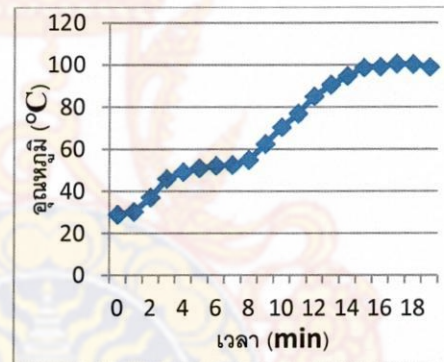
เวลา (min)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
0	33.0	28.9	35.1
1	38.0	30.2	42.3
2	50.8	36.8	51.8
3	64.6	45.8	65.2
4	77.8	49.0	70.5
5	90.3	50.7	78.6
6	98.5	51.8	85.2
7	100.2	52.3	88.9
8	100.6	54.7	92.9
9	97.8	62.2	100.1
10	97.1	70.3	102.8
11	96.3	76.7	101



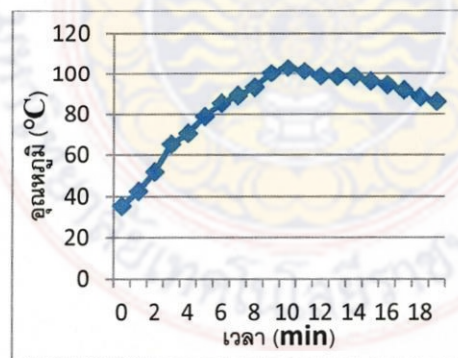
เวลา (min)	ครั้งที่ 1 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 2 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 3 อุณหภูมิ (°C)
12	95.5	84.8	98.4
13	93.5	90.3	98.1
14	92.6	94.4	98.2
15	91.8	98.3	95.9
16	90.0	98.8	94.1
17	88.3	100.2	91.6
18	86.8	100.1	88.2
19	83.9	98.6	86.0



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT ของเตาขนมจีน จำนวน 3 ครั้ง (a) ครั้งที่ 1 (b) ครั้งที่ 2 (c) ครั้งที่ 3

จากภาพที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตา  
ขนมจีนด้วยวิธี WBT สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา ( $\eta$ ) ตามสมการที่ 2.5 ได้ผล  
ประสิทธิภาพของเตาขนมจีนเฉลี่ย ( $\eta_{av}$ ) คิดเป็นร้อยละ 40.82

#### 4.4 ผลของการศึกษาส่วนผสมของเตาประหยัดพลังงาน

##### 4.4.1 ผลการศึกษาสูตรของส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน โดยใช้ ปูนซีเมนต์ตราช้าง

ผลการศึกษาเพื่อหาสูตรในการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน มีอัตราส่วนส่วนผสม  
ระหว่าง ปูนซีเมนต์ตราช้าง : ทรายหยาบ : หินที่แตกต่างกัน ศึกษาการเตรียมสูตรการขึ้นรูปตัวเตา  
ประหยัดพลังงาน ที่มีความหนาของตัวเตาขนาดประมาณ 2” โดยพิจารณาสูตรมาตรฐานของเตา  
กระทรวงพลังงานตามคู่มือเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมสำหรับประชาชน สูตรอัตราส่วนระหว่าง  
ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หินกรวดเบอร์ 1-2 (สูตร 1 : 2 : 4) ซึ่งพบว่า ที่อัตราส่วนของตัวเตา  
ประหยัดพลังงานที่ดีที่สุดและทนความร้อนสูงสุดที่ระหว่างอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ ตราช้าง : ทราย  
หยาบ : หิน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่า ปูนซีเมนต์ ตราช้างไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ ซึ่งตัว  
เตาไม่สามารถทนที่อุณหภูมิที่ 800 °C ตามตารางที่ 4.3  
ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์  
ตราช้าง : ทรายหยาบ : หิน

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ตราช้าง : ทราย : หิน			
	ปูนซีเมนต์ ตราช้าง	ทราย	หิน	ปูนซีเมนต์ ตราช้าง : ทราย : หิน
1	3	1	3	3 : 1 : 3
2	2	2	3	2 : 2 : 3
3	2	3	2	2 : 3 : 2
4	3	2	2	3 : 2 : 2
5	3	3	1	3 : 3 : 1



ภาพที่ 4.11 อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน  
ระหว่างปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานด้วย ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน

สูตร	ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
			200	400	600	800
1	3 : 1 : 3	10	✓	✓	✓	X
		20	✓	✓	✓	X
		30	✓	✓	X	X
		40	✓	✓	X	X
		50	✓	✓	X	X
		60	✓	✓	X	X
2	2 : 2 : 3	10	✓	✓	✓	X
		20	✓	✓	✓	X
		30	✓	✓	X	X
		40	✓	✓	X	X
		50	✓	✓	X	X
		60	✓	✓	X	X
3	2 : 3 : 2	10	✓	✓	✓	X
		20	✓	✓	✓	X

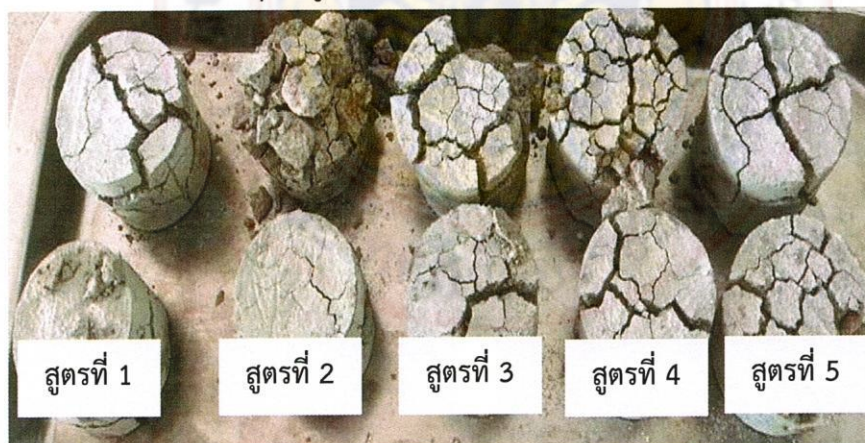
สูตร	ปูนซีเมนต์	ทราย	ข้าง	: ทราบ	: หิน	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
							200	400	600	800
						30	√	√	X	X
						40	√	√	X	X
						50	√	√	X	X
						60	√	√	X	X
						10	√	√	√	X
						20	√	√	√	X
4					3 : 2 : 2	30	√	√	X	X
						40	√	√	X	X
						50	√	√	X	X
						60	√	√	X	X
						10	√	√	√	X
						20	√	√	√	X
5					3 : 3 : 1	30	√	√	X	X
						40	√	√	X	X
						50	√	√	X	X
						60	√	√	X	X



ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 30 min



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 20 min



ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 60 min

#### 4.4.2 ผลการศึกษาสูตรของส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน โดยใช้ปูนซีเมนต์ตราเสือ

ผลการศึกษาเพื่อหาสูตรในการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน มีอัตราส่วนส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน ที่แตกต่างกัน ศึกษาการเตรียมสูตรการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่มีความหนาของตัวเตาขนาดประมาณ 2” โดยพิจารณาสูตรมาตรฐานของเตากระทรวงพลังงานตามคู่มือเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมสำหรับประชาชน สูตรอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หินกรวดเบอร์ 1-2 (สูตร 1 : 2 : 4) ซึ่งพบว่า ที่อัตราส่วนของตัวเตาประหยัดพลังงานที่ดีที่สุดและทนความร้อนสูงสุดที่ระหว่างอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่า ปูนซีเมนต์ ตราเสือ สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ ซึ่งตัวเตาสามารถทนอุณหภูมิถึง 800 °C ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทราย : หิน			
	ปูนซีเมนต์ ตราเสือ	ทราย	หิน	ปูนซีเมนต์ ตราเสือ : ทราย : หิน
1	3	1	3	3 : 1 : 3
2	2	2	3	2 : 2 : 3
3	2	3	2	2 : 3 : 2
4	3	2	2	3 : 2 : 2
5	3	3	1	3 : 3 : 1



ภาพที่ 4.15 อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน

ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานระหว่างปูนซีเมนต์  
 ทราย : หิน เพื่อทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน

สูตร	ปูนซีเมนต์ ทราย : หิน	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
			200	400	600	800
1	3 : 1 : 3	10	√	√	√	√
		20	√	√	√	√
		30	√	√	√	X
		40	√	√	√	X
		50	√	√	√	X
		60	√	√	√	X
2	2 : 2 : 3	10	√	√	√	√
		20	√	√	√	√
		30	√	√	√	√
		40	√	√	√	√
		50	√	√	√	√
		60	√	√	√	√
3	2 : 3 : 2	10	√	√	√	√
		20	√	√	√	√
		30	√	√	√	√
		40	√	√	√	X
		50	√	√	√	X
		60	√	√	√	X
4	3 : 2 : 2	10	√	√	√	√
		20	√	√	√	√
		30	√	√	√	√
		40	√	√	√	X
		50	√	√	√	X

สูตร	ปูนซีเมนต์ ทราย : หิน	เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
			200	400	600	800
5	3 : 3 : 1	60	✓	✓	✓	X
		10	✓	✓	✓	✓
		20	✓	✓	✓	✓
		30	✓	✓	✓	✓
		40	✓	✓	✓	✓
		50	✓	✓	✓	X
		60	✓	✓	✓	X

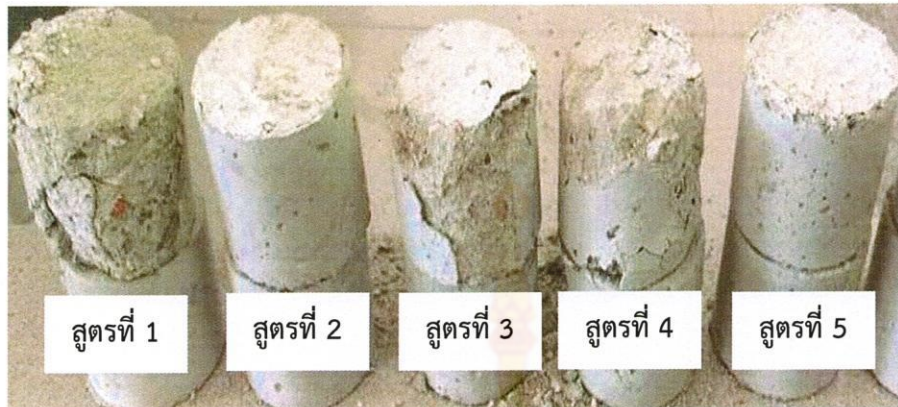


ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 10 min



ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 20 min





ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 40 min



ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 60 min

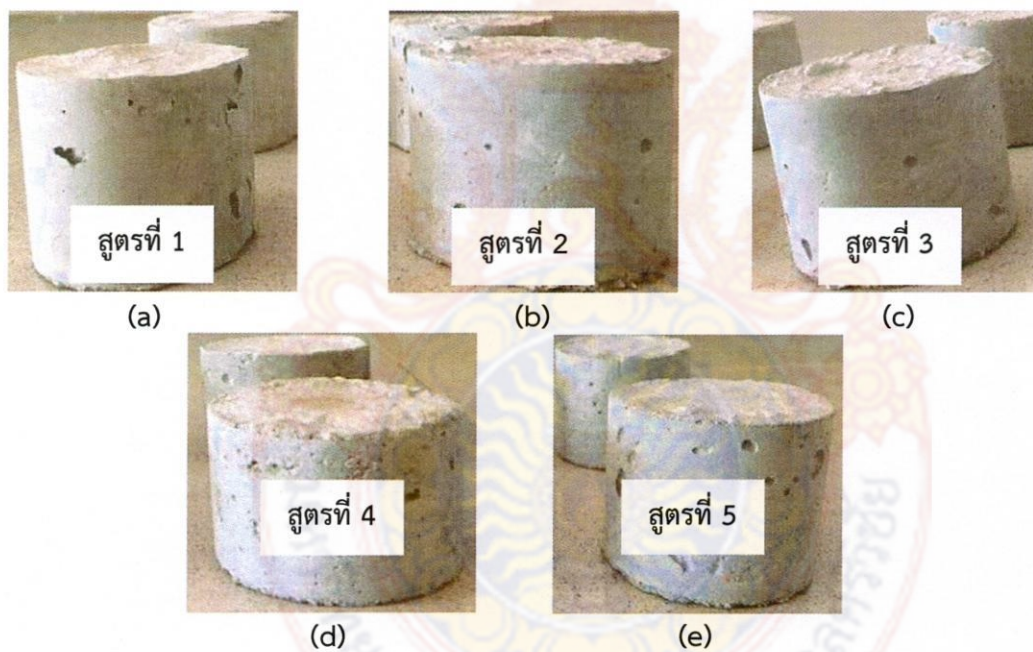
#### 4.5 ผลของการศึกษาส่วนผสมของเตาประหยัดพลังงาน

##### 4.5.1 ผลการศึกษาสูตรของส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน

ผลการทดลองเพื่อหาสูตรในการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด : ทรายหยาบ : หินที่แตกต่างกัน ศึกษาการเตรียมสูตรการขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงานที่มีความหนาของตัวเตาขนาดประมาณ 2” โดยพิจารณาสูตรมาตรฐานของเตากระทรงพลังงานตามคู่มือเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมสำหรับประชาชน สูตรอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หินกรวดเบอร์ 1-2 (สูตร 1 : 2 : 4) ซึ่งพบว่า ที่อัตราส่วนของตัวเตาประหยัดพลังงานที่ดีที่สุดและทนความร้อนสูงสุดที่ระหว่างอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ทรายละเอียด : ทรายหยาบ : หิน ที่อัตราส่วน 2 : 2 : 3 ตามตารางแสดงผลเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเตาประหยัดพลังงานตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงานระหว่างปูนซีเมนต์  
ตราเสือ : ทราฮายาบ : หิน

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทราฮายาบ : หิน			
	ปูนซีเมนต์	ทราฮายาบ	หิน	ปูนซีเมนต์ : ทราฮายาบ : หิน
1	3	1	3	3 : 1 : 3
2	2	2	3	2 : 2 : 3
3	2	3	2	2 : 3 : 2
4	3	2	2	3 : 2 : 2
5	3	3	1	3 : 3 : 1



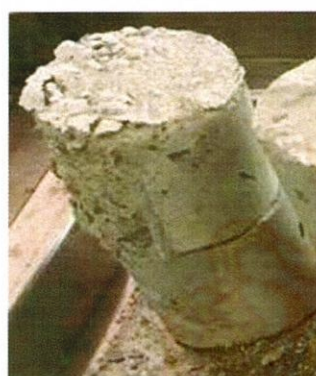
ภาพที่ 4.20 อัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปของเตาประหยัดพลังงาน  
ระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทราฮายาบ : หิน มี 5 สูตร

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ สำหรับการขึ้นรูป  
ตัวเตาประหยัดพลังงาน

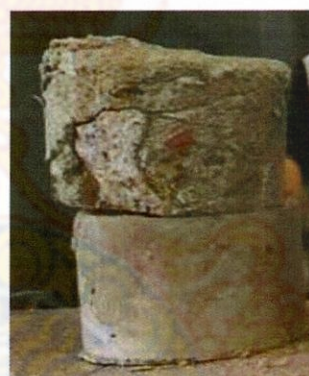
สูตร	ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน	ผลการทดลอง
1	3 : 1 : 3	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 °C ปรากฏว่า สามารถทนความร้อนได้ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °C ตัวเตาเริ่มมีการแตกร้าวและแตกลงเมื่อเวลาผ่านไป 20 min
2	2 : 2 : 3	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 °C ปรากฏว่า สามารถทนความร้อนได้ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °C ตัวเตาก็สามารถทนต่อความร้อนได้
3	2 : 3 : 2	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 °C ปรากฏว่า สามารถทนความร้อนได้ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °C ตัวเตาเริ่มมีการแตกร้าวและแตกลงเมื่อเวลาผ่านไป 30 min
4	3 : 2 : 2	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 hr ที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 °C ปรากฏว่า สามารถทนความร้อนได้ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °C ตัวเตาเริ่มมีการแตกร้าวและแตกลงเมื่อเวลาผ่านไป 30 min
5	3 : 3 : 1	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 hr ที่อุณหภูมิ 200, 400 และ 600 °C ปรากฏว่า สามารถทนความร้อนได้ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 800 °C ตัวเตาเริ่มมีการแตกร้าวและแตกลงเมื่อเวลาผ่านไป 40 min

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 1  
อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (3 : 1 : 3)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	X
30	✓	✓	✓	X
40	✓	✓	✓	X
50	✓	✓	✓	X
60	✓	✓	✓	X



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.21 ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 1 แสดงผลการทนความร้อน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา

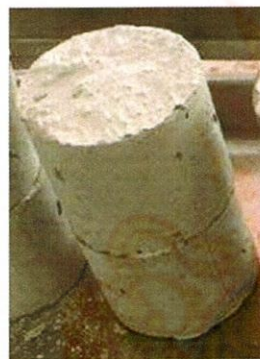
(a) 20 min

(b) 30 min

(c) 60 min

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 2  
อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด : ทรายหยาบ : หิน (2 : 2 : 3)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓	✓



(a)



(b)

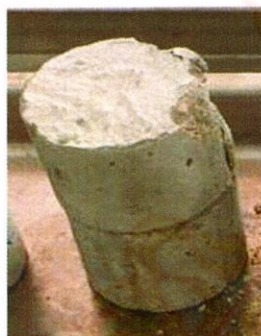


(c)

ภาพที่ 4.22 ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 2 แสดงผลการทนความร้อน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา (a) 10 min (b) 30 min (c) 60 min

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 3  
อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ตราเสือ : ทรายหยาบ : หิน (2 : 3 : 2)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	X
40	✓	✓	✓	X
50	✓	✓	✓	X
60	✓	✓	✓	X



(a)



(b)



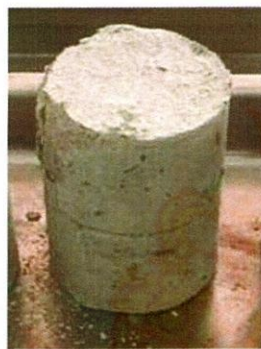
(c)

ภาพที่ 4.23 ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 3 แสดงผลการทนความร้อน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา

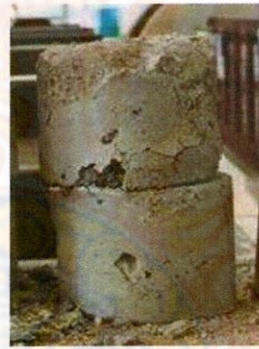
(a) 30 min (b) 40 min (c) 60 min

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 4  
อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ : ทรายละเอียด : หิน (3 : 2 : 2)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	X
40	✓	✓	✓	X
50	✓	✓	✓	X
60	✓	✓	✓	X



(a)



(b)



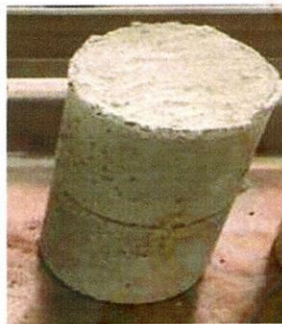
(c)

ภาพที่ 4.24 ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 4 แสดงผลการทนความร้อน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา

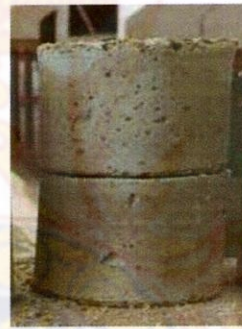
(a) 30 min (b) 40 min (c) 60 min

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบการทนความร้อนของตัวเตาประหยัดพลังงาน สูตรที่ 5  
อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด : ทรายหยาบ : หิน (3 : 3 : 1)

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	X
50	✓	✓	✓	X
60	✓	✓	✓	X



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.25 ลักษณะของตัวอย่างขึ้นรูปตัวเตา สูตรที่ 5 แสดงผลการทนความร้อน  
ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา

(a) 30 min    (b) 40 min    (c) 60 min



#### 4.5.2 ผลการศึกษาสูตรของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา ประหยัดพลังงาน

ส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน มีอัตราส่วนระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์กลบ ที่แตกต่างกันและใช้ความหนาของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาขนาด 2” ซึ่งจากการศึกษาของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน จะใช้ดินเหนียว : ซีเมนต์กลบที่อัตราส่วนระหว่าง 1 : 1, 2 : 1 และ 1 : 2 ซึ่งทุกสูตรสามารถทนความร้อนได้ดี เพื่อใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา เพื่อให้ตัวเตามีความทนต่อความร้อนได้มากขึ้น ตามตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา

สูตร	อัตราส่วนระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์กลบ		
	ดินเหนียว	ซีเมนต์กลบ	ดินเหนียว : ซีเมนต์กลบ
1	1	1	1 : 1
2	2	1	2 : 1
3	1	2	1 : 2



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.26 อัตราส่วนของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตา

(a) สูตรที่ 1

(b) สูตรที่ 2

(c) สูตรที่ 3

ตารางที่ 4.15 แสดงอัตราส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน  
ระหว่าง ดินเหนียว : ซีเมนต์

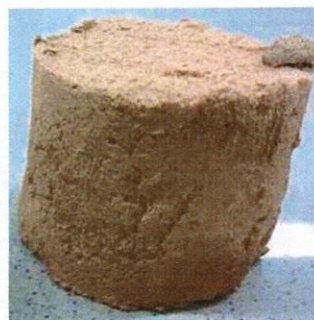
สูตร	ดินเหนียว : ซีเมนต์	ผลการทดลอง
1	1 : 1	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 hr ที่อุณหภูมิ 200, 400 600 และ 800 °C ปรากฏว่า ผลการทดลองสามารถทนความร้อนได้
2	2 : 1	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 hr ที่อุณหภูมิ 200, 400 600 และ 800 °C ปรากฏว่า ผลการทดลองสามารถทนความร้อนได้
3	1 : 2	เมื่อทดสอบการทนความร้อนเป็นเวลา 1 hr ที่อุณหภูมิ 200, 400 600 และ 800 °C ปรากฏว่า ผลการทดลองสามารถทนความร้อนได้

ตารางที่ 4.16 แสดงสูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 1) ผลการทดสอบ  
การทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓	✓



(a)



(b)

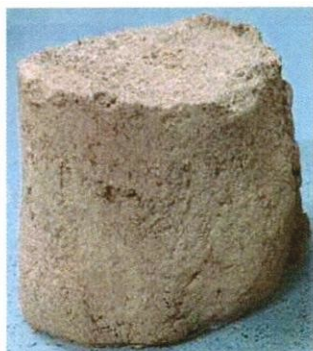
ภาพที่ 4.27 สูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 1) ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงานที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา

(a) 30 min

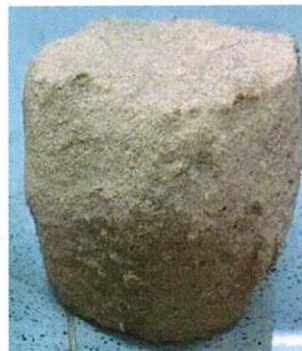
(b) 60 min

ตารางที่ 4.17 สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (2 : 1) ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓	✓



(a)



(b)

ภาพที่ 4.28 สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (2 : 1) ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่ อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา

(a) 30 min

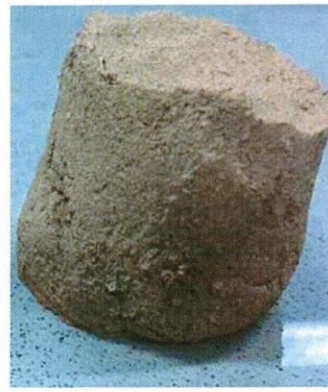
(b) 60 min

ตารางที่ 4.18 สูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 2) ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน

เวลา (min)	อุณหภูมิ (°C)			
	200	400	600	800
10	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓
30	✓	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓	✓
50	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓	✓



(a)



(b)

ภาพที่ 4.29 สูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว : ซีเมนต์ (1 : 2) ผลการทดสอบการทนความร้อนของผนังฉาบห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงาน ที่ อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา

(a) 30 min

(b) 60 min

#### 4.6 รูปแบบเตาประหยัดพลังงาน

##### 4.6.1 ส่วนประกอบของเบ้าหล่อตัวเตาประหยัดพลังงาน

จากการออกแบบเตาประหยัดพลังงานได้มีการออกแบบเบ้าหล่อขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18” สูง 0.70 m ปริมาตรของห้องเผาไหม้ 0.10 m<sup>3</sup> เชื้อเพลิงเป็นแกลบข้าว ซีลี้อย และใบมะพร้าว นำไปใช้ประกอบอาหารในครัวเรือน ชุมชน และโรงเรียนขนาดเล็กได้ ตามภาพที่ 4.30



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

ภาพที่ 4.30 เบ้าสำหรับหล่อเตาประหยัดพลังงาน

(a) เบ้าสำหรับเตาประหยัดพลังงาน

(b) ฐานรองแบบ

(c) เบ้านอก

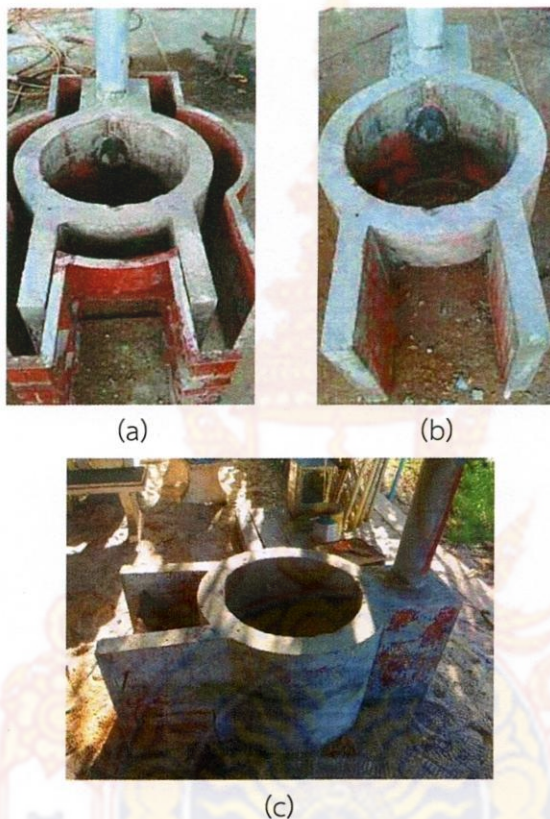
(d) เบ้านอกกับแกนกลาง

(e) โครงเหล็กในเบ้าด้านหลัง

(f) โครงเหล็กในเบ้าด้านหน้า

#### 4.6.2 หล่อเตาประหยัดพลังงาน

นำอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูน : ทรายหยาบ : หิน เป็น มาหล่อขึ้นรูปเตาประหยัดพลังงาน แล้วพักไว้ 1 วัน จากนั้นแกะพิมพ์ออก นำเตาที่หล่อพักไว้ 28 วัน เพื่อให้ปูนเซตตัวแล้ว หลังจากนั้นติดตั้งท่อดูดควันกับเหล็กหน้าเตา เตาประหยัดพลังงานก็พร้อมนำไปใช้งาน ตามภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 หล่อเตาประหยัดพลังงาน

(a) นำแบบออกจากตัวเตา

(b) เตาประหยัดพลังงาน

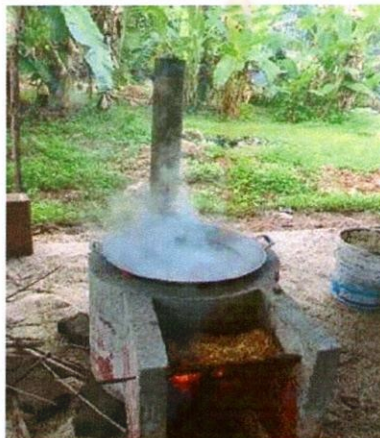
(c) ติดตั้งเหล็กหน้าเตาและบุภายในเตา

#### 4.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน

##### 4.7.1 ทดสอบประสิทธิภาพเตาประหยัดพลังงานด้วย WBT

เตาประหยัดพลังงานที่หล่อขึ้นรูปเสร็จแล้วถอดออกจากแม่แบบ พักให้ตัวเตาเป็นเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นนำท่อเหล็กขนาด 4" ความยาว 1 m และนำเหล็กมาประกอบสำหรับเป็นช่องสำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงลงห้องเผาไหม้ ตามภาพที่ 4.31 (c) จากนั้นนำมาทดสอบประสิทธิภาพ

ของเตา ด้วยวิธี WBT ใช้น้ำจำนวน 5 ลิ้วัดอุณหภูมิบันทึก ทุก ๆ 1 min เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแกลบข้าว มีความชื้นร้อยละ  $2.85 \pm 0.05$  ความชื้นร้อยละ  $2.85 \pm 0.05$  ได้ผลตามตาราง 4.19 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 4.33



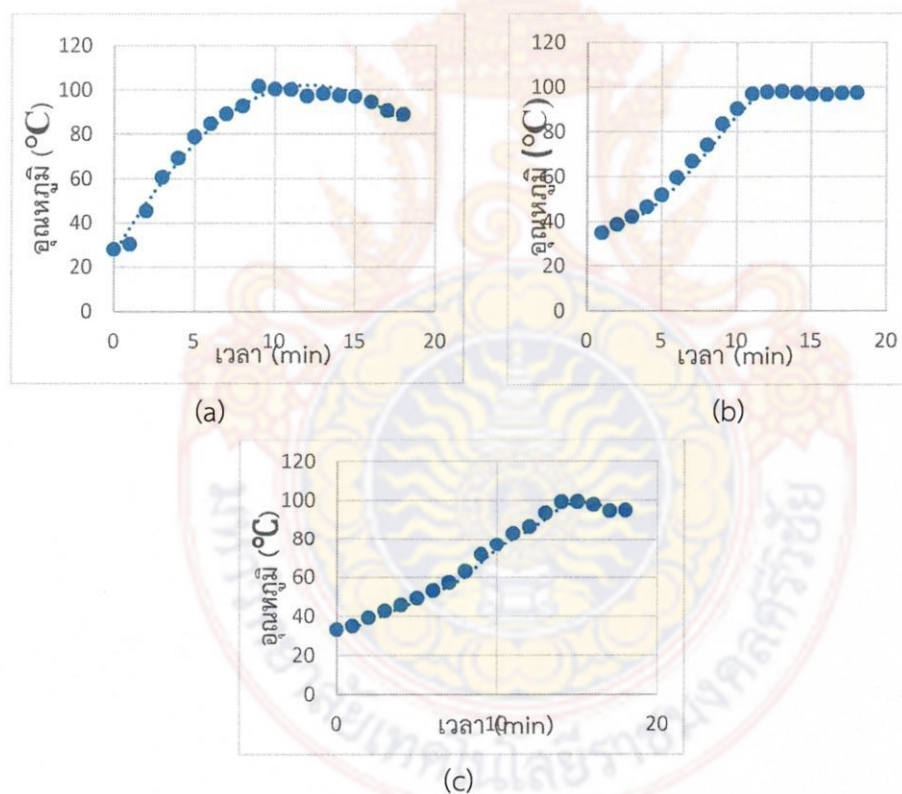
ภาพที่ 4.32 ทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานหลังพัฒนา ด้วยวิธี WBT

ตารางที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตา ด้วยวิธี WBT

เวลา (min)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
0	28.0	33.0	32.8
1	30.2	35.0	34.7
2	45.5	38.7	38.9
3	60.5	42.2	42.6
4	69.1	46.6	45.6
5	78.7	51.9	49.1
6	84.5	59.6	53.1
7	88.9	66.7	57.1
8	92.5	74.0	62.9
9	101.4	83.4	71.3
10	100.2	90.2	77.0
11	100	96.8	82.9



เวลา (min)	ครั้งที่ 1 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 2 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 3 อุณหภูมิ (°C)
12	97.0	97.7	86.4
13	98.1	97.9	93.5
14	97.2	97.4	99.1
15	96.8	96.7	99.2
16	94.4	96.4	97.7
17	90.5	97.2	94.5
18	88.7	97.3	94.8



ภาพที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT ของเตาประหยัดพลังงาน จำนวน 3 ครั้ง คือ (a), (b), (c)

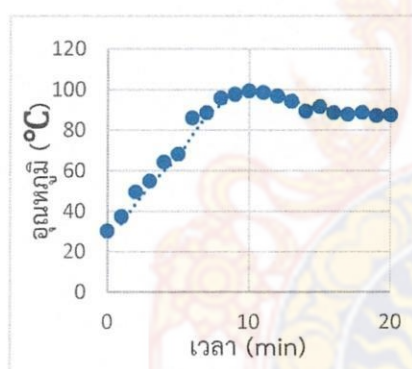
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ด้วยวิธี WBT สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา ( $\eta$ ) ตามสมการที่ 2.5 ได้ผลประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานเฉลี่ย ( $\eta_{av}$ ) คิดเป็นร้อยละ 36.89

#### 4.7.2 ปรับเตาประประหยัดพลังงาน

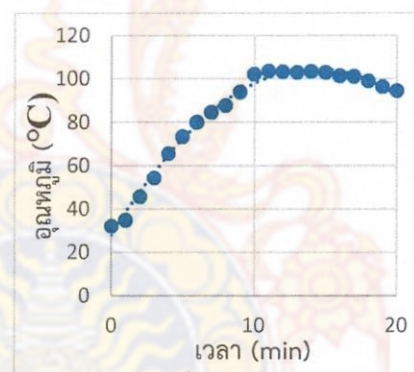
จากการนำเตาประประหยัดพลังงานไปใช้แล้ว ได้มีการปรับตัวเตาให้สูงขึ้น 10 cm และเพิ่มความยาวของท่อดูดควันจาก 1 m เป็น 3 m นำมาทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี WBT ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.20 จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟได้ดังภาพที่ 4.34 ตารางที่ 4.20 อุณหภูมิของน้ำ และเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประประหยัดพลังงานหลังพัฒนาด้วยวิธี WBT

เวลา (min)	ครั้งที่ 1 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 2 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 3 อุณหภูมิ (°C)
0	30.0	32.0	31.0
1	37.0	34.6	33.0
2	49.3	45.5	35.0
3	54.7	54.2	36.3
4	64.2	65.3	40.1
5	68.1	73.3	45.6
6	85.8	79.9	50.5
7	88.4	84.5	60.0
8	95.6	87.6	73.4
9	97.3	93.6	80.2
10	99.0	101.8	92.8
11	98.2	103.3	97.7
12	96.4	103	97.9
13	94.1	102.7	99.0
14	89.2	103.1	100.1

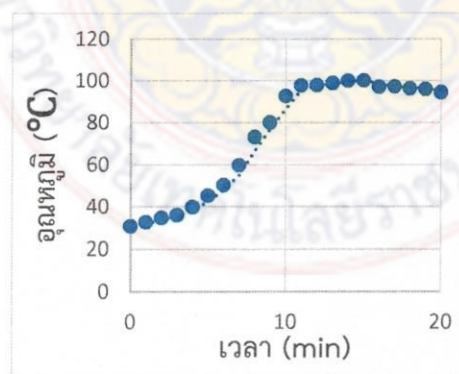
เวลา (min)	ครั้งที่ 1 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 2 อุณหภูมิ (°C)	ครั้งที่ 3 อุณหภูมิ (°C)
15	91.5	102.7	100.2
16	88.4	101.1	97.2
17	87.6	100.9	97.3
18	88.5	98.7	96.4
19	87.0	96.1	96.1
20	87.3	94.2	94.6



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ WBT

ของเตาประหยัคพลังงานหลังการพัฒนา จำนวน 3 ครั้ง คือ (a), (b), (c)

จากภาพที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิของน้ำและเวลาต่าง ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานที่พัฒนา ด้วยวิธี WBT สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา ( $\eta$ ) ตามสมการที่ 2.5 ได้ผลประสิทธิภาพของเตาขมเงินเฉลี่ย ( $\eta_{av}$ ) คิดเป็นร้อยละ 39.82

#### 4.8 ผลการนำไปใช้ในชุมชน

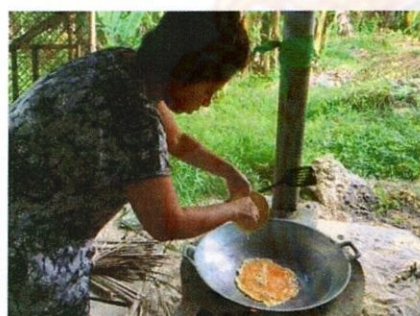
นำเตาประหยัดพลังงานไปปรุงอาหาร เป็นประเภททอดหรือแกง แทนการใช้แก๊สหุงต้ม LPG ในการประกอบอาหารแต่ละอย่างมีการเตรียมวัตถุดิบให้เรียบร้อยจะได้มีความรวดเร็วในการปรุงอาหาร ใช้แก๊สข้าวเชื้อเพลิงมีความชื้นร้อยละ  $2.85 \pm 0.05$  และไบโอมะพร้าวมีความชื้นร้อยละ  $2.93 \pm 0.22$  ตามภาพที่ 4.35



(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 4.35 นำเตาประหยัดพลังงานไปใช้ประกอบอาหาร

จากการศึกษาการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ในระดับครัวเรือน แก๊ส 1 ถัง ราคาถังละประมาณ 400 บาท ให้หมดในระยะเวลา 2 เดือน ในระดับโรงเรียนขนาดเล็กใช้แก๊ส (LPG) 1 ถัง ใช้หมดในเวลา 1 เดือน ซึ่งถ้าเปลี่ยนจากการใช้แก๊ส LPG มาเป็นเตาประหยัดพลังงาน ซึ่งต้นทุนของการทำเตาประหยัดพลังงาน ประมาณ 1,000 บาท เชื้อเพลิงของเตาประหยัดพลังงานเป็นเชื้อเพลิงที่มีในชุมชน ในระดับครัวเรือนจะคุ้มทุนในเวลาประมาณ 5 เดือน และในระดับโรงเรียนขนาดเล็กจะคุ้มทุนในเวลาประมาณ 3 เดือน

#### 4.9 ต้นทุนในการทำเตาประหยัดพลังงาน

ต้นทุนในการหล่อเตาประหยัดพลังงาน 1 เตา ประกอบด้วย  
 ตารางที่ 4.21 ต้นทุนในการการหล่อเตาประหยัดพลังงาน

ส่วนประกอบเตา	ราคาต่อหน่วย (บาท)
โครงเหล็กยึดปูน	500
ปูน ตราเสือ	150
ทรายหยาบ	50
หิน	100
ลวดเหล็กหน้าเตา	50
ท่อเหล็กดัดควั่น ขนาด 4 นิ้ว ยาว 1 เมตร	250
รวม	1,000

เชื้อเพลิงของเตาประหยัดพลังงานเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีในชุมชน คือ ใบมะพร้าว แกลบ ข้าว และขี้เลื่อย จากการนำเตาประหยัดพลังงานไปใช้ พบว่า ใบมะพร้าว จำนวน 100 g และแกลบ ข้าว จำนวน 3 kg สามารถใช้ปรุงอาหารเป็นเวลา 30 min



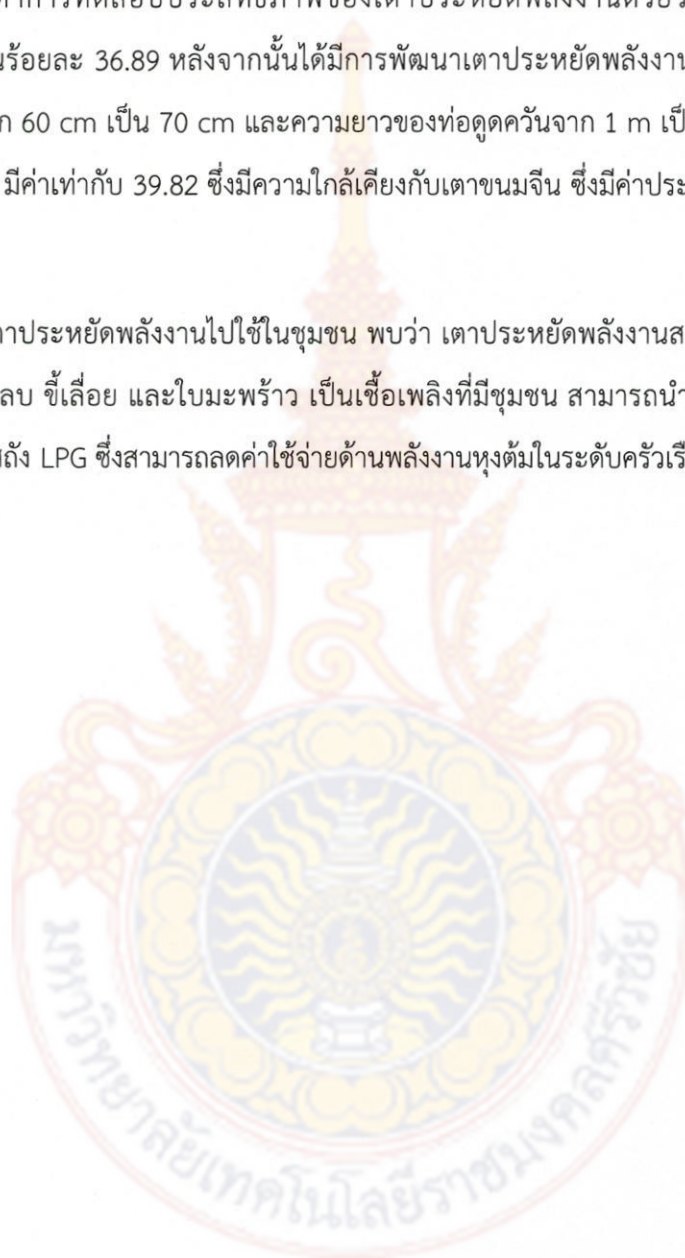
## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเตาชีวมวลในชุมชน คือ เตาหมูย่าง เตาขนมจีน และเตาตาลโตนด เพื่อนำมาพัฒนาเป็นเตาประหยัดพลังงาน ใช้ แกลบข้าว ชี้เลื่อยจากไม้ยางพาราและใบมะพร้าว เป็นเชื้อเพลิง สำหรับการเริ่มต้นในการเผาไหม้ ซึ่งจากการศึกษาสมรรถนะของเชื้อเพลิงในด้านความร้อน ความชื้น ไม้ คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) และสารระเหย (Volatile matter) พบว่า แกลบมีค่าความร้อนเท่ากับ  $3,492.43 \pm 12.32$  kJ/kg ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ  $2.85 \pm 0.05$  ค่าชี้ไม้เท่ากับร้อยละ  $0.60 \pm 0.03$  ค่าคาร์บอนคงที่ เท่ากับ ร้อยละ  $77.95 \pm 0.16$  และสารระเหยเท่ากับร้อยละ  $18.59 \pm 0.15$  ตามลำดับ ชี้เลื่อยมีค่าความร้อน เท่ากับ  $4,134.10 \pm 24.47$  kJ/kg ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ  $2.50 \pm 0.19$  ค่าชี้ไม้เท่ากับร้อยละ  $0.06 \pm 0.00$  ค่าคาร์บอนคงที่เท่ากับร้อยละ  $96.37 \pm 0.82$  และสารระเหยเท่ากับร้อยละ  $1.07 \pm 0.70$  ตามลำดับ และใบมะพร้าวมีค่าความร้อนเท่ากับ  $4,657.00 \pm 14.40$  kJ/kg ค่าความชื้นเท่ากับ ร้อยละ  $2.93 \pm 0.22$  ค่าชี้ไม้เท่ากับร้อยละ  $0.25 \pm 0.02$  ค่าคาร์บอนคงที่เท่ากับร้อยละ  $91.47 \pm 0.15$  และสารระเหยเท่ากับร้อยละ  $5.35 \pm 0.16$  ตามลำดับ เพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงของเตาประหยัดพลังงาน ซึ่งในการสร้างเตาประหยัดพลังงานจะเป็นเตาแบบ หล่อมืออัตราส่วนผสมระหว่าง ปูน : ทรายหยาบ : หิน ใช้แนวทางตามแบบอัตราส่วนผสมของเตา กระจกทรงพลังงาน ซึ่งผลการศึกษาสูตรของส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงาน ใช้ ปูนซีเมนต์ 2 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ตราช้างและปูนซีเมนต์ตราเสือ นำมาเปรียบเทียบค่าการทนความร้อน ในอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ทรายหยาบ : หิน จำนวน 5 สูตร คือ สูตรที่ 1 (3 : 3 : 1), สูตรที่ 2 (2 : 2 : 3), สูตรที่ 3 (2 : 3 : 2), สูตรที่ 4 (3 : 2 : 2) และสูตรที่ 5 (3 : 1 : 3) ทดสอบที่ อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 °C พบว่า สูตรตัวเตาที่ขึ้นรูปด้วยปูนซีเมนต์ตราเสือสามารถทน ความร้อนได้ดีกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ตราช้าง และสูตรที่ 2 (2 : 2 : 3) สามารถทนความร้อนได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 hr และผลการทดสอบสูตรของส่วนผสมสำหรับการขึ้นรูปผนังฉาบ ห้องเผาไหม้ตัวเตาประหยัดพลังงานระหว่าง ดินเหนียว : ชี้เลื่อยแกลบ จำนวน 3 สูตร คือ สูตรที่ 1 (1 : 1), สูตรที่ 2 (2 : 1) และสูตรที่ 3 (1 : 2) แล้วนำมาทดสอบที่อุณหภูมิ 200, 400, 600 และ 800 °C พบว่า สูตรของส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปตัวเตาประหยัดพลังงานระหว่างดินเหนียว : ชี้เลื่อยแกลบ สูตรที่ 1 (1 : 1), สูตรที่ 2 (2 : 1) และสูตรที่ 3 (1 : 2) สามารถทนความร้อนได้ดีทั้ง 3 สูตร ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 1 hr หลังจากที่ได้อัตราส่วนสำหรับการขึ้นรูปตัวเตาและอัตราส่วนสำหรับขึ้นรูปฉาบ

ห้องเผาไหม้ที่ทนต่อความร้อนที่สุดมาหล่อเตาประหยัดพลังงาน พักไว้ 1 วัน แล้วถอดออกจากเบ้าหล่อ แล้วพักตัวเตาที่หล่อไว้ 28 วัน เพื่อให้ปูนแข็งตัว หลังจากนั้นดำเนินการประกอบท่อดูดควันและเหล็กหน้าเตา แล้วทำการทดสอบประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงานด้วยวิธี WBT มีค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 36.89 หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาเตาประหยัดพลังงานด้วยการเพิ่มความสูงของตัวเตาจาก 60 cm เป็น 70 cm และความยาวของท่อดูดควันจาก 1 m เป็น 3 m นำมาทดสอบประสิทธิภาพ มีค่าเท่ากับ 39.82 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับเตาขมจีน ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 40.82

จากการนำเตาประหยัดพลังงานไปใช้ในชุมชน พบว่า เตาประหยัดพลังงานสามารถใช้งานง่ายและเชื้อเพลิง แกลบ ชี้เลื่อย และไบโमะพร้าว เป็นเชื้อเพลิงที่มีชุมชน สามารถนำเตาประหยัดพลังงานไปใช้แทนแก๊สถัง LPG ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานหุงต้มในระดับครัวเรือนและระดับโรงเรียนขนาดเล็กได้



## เอกสารอ้างอิง

- ชนิดของเตาชีวมวล. [ออนไลน์]. [สืบค้น 10 เมษายน 2559]. จาก :  
[www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/2012371026231.pdf](http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/2012371026231.pdf)
- เตาชีวมวลแบบไหลขึ้น. [ออนไลน์]. [ 15 เมษายน 2559]. จาก  
<https://www.google.co.th/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUK Ewiktqm6nJDMAhWl2qYKHTCJAgMQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fflanpanya.com%2Far am%2F&psig=AFOjCNGrgmgl7Xk4LpjNFhK4rYHHLtpvw&ust=1460795147582505>
- แบบโครงสร้างเหล็กของตัวเตา. [ออนไลน์]. [สืบค้น 9 เมษายน 2559]. จาก :  
<http://www.taithonggroup.com/concrete-pipe.php>
- ประสาธ สืบคำ. (2535). พิสิกส์พื้นฐานชั้นมหาวิทยาลัย 1.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย  
รามคำแหง (หน้า 418-424)
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2538). วัตถุนไฟ. บริษัท สุรพิมพ์ จำกัด. (หน้า 69-70)
- ประณต กุลประสูตร. (2553). เทคนิคงานปูน-คอนกรีต (พิมพ์ครั้งที่ 11). สำนักพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (หน้า 37-38)
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ. (2544). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น  
(หน้า 86)
- ภานุพงศ์ หมั่นดี. (2557). การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลลง.  
สาขาวิชาพิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- สาโรจน์ ขาวดี. (2544). การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทราย  
ขัณฑ์เป็นวัตถุดิบหลัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, ปริญญา จินดาประเสริฐ.(2552). เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (Rice  
Husk Ash in Concrete). สำนักพิมพ์ไซน์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง (หน้า 5-6)



A. O. A. C. (2000). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist.EUA.

Hwang, C.L., Wu, D.S., (1989). Properties of Cement RHAM, Part I , CRI Technology Digest, Cement Research Institute of India.

Shrestha. (2001). A Study Report on Efficiency Measurement of Biogas, Kerosene and LPG Stoves. Tribhuvan University Pulchowok, Lalitpur.



ภาคผนวก



## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา

ภาคผนวก ข ส่วนประกอบของเตาประหยัดพลังงาน

ภาคผนวก ค อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ประวัติผู้วิจัย



## ภาคผนวก ก

## วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพเตา

คำนวณหาประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน

$$\text{ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน } (\eta) = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

เมื่อ  $m_i$  = มวลน้ำเริ่มต้น (kg)

$C_p$  = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.190 kJ/kg °C)

$m_e$  = มวลน้ำที่กลายเป็นไอน้ำ (kg)

$T_b$  = อุณหภูมิน้ำเดือด (°C)

$T_i$  = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C)

$m_e$  = มวลน้ำที่ระเหย (kg)

$L$  = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (2,260 kJ/kg)

$m_f$  = มวลของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้ (kg)

$C_f$  = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

## 1. เตาขมมจีน

ประสิทธิภาพของเตาจีน ครั้งที่ 1

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.50 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.30 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_1 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_1 = \left( \frac{5 \times 4.19 (100.6 - 33) + 1.48 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.3 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 40.42\%$$

ประสิทธิภาพของเตาชนมจีน ครั้งที่ 2

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100.10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 28.90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.55 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.30 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_2 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_2 = \left( \frac{5 \times 4.19 (100.10 - 28.90) + 1.48 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.3 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 42.00\%$$

ประสิทธิภาพของเตาชนมจีน ครั้งที่ 3

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 102.80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 35.10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.48 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.30 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_3 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_3 = \left( \frac{5 \times 4.19 (102.8 - 35.1) + 1.48 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.3 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 40.05\%$$

## 2. เตาประหยัดพลังงาน (ก่อนพัฒนา)

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 1

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 101.40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 28.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.19 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_1 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_1 = \left( \frac{5 \times 4.19 (101.40 - 28.00) + 1.19 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.1 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 38.58\%$$

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 2

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 97.70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 33.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.18 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_2 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_2 = \left( \frac{5 \times 4.19 (97.70 - 33.00) + 1.18 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.1 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 36.70\%$$

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 3

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 99.20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 32.80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.10 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_3 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_3 = \left( \frac{5 \times 4.19 (99.20 - 32.80) + 1.10 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.3 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 35.38\%$$

### 3. เตาประหยัดพลังงาน (หลังพัฒนา)

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 1

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 99.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 30.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.38 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_1 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_1 = \left( \frac{5 \times 4.19 (99.00 - 30.00) + 1.38 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.1 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 41.46\%$$

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 2

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 103.30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 32.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.26 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_2 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_2 = \left( \frac{5 \times 4.19 (97.70 - 33.00) + 1.18 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.1 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 39.62\%$$

ประสิทธิภาพของเตาประหยัดพลังงาน ครั้งที่ 3

$$m_i = 5 \text{ kg}$$

$$C_p = 4.190 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_b = 100.20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = 31.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_e = 1.22 \text{ kg}$$

$$L = 2,260 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f1} = 0.10 \text{ kg}$$

$$C_{f1} = 4,657 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{f2} = 3.0 \text{ kg}$$

$$C_{f2} = 3,492.43 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_3 = \left( \frac{m_i C_p (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \right) \times 100\%$$

$$\eta_3 = \left( \frac{5 \times 4.19 (100.20 - 31.00) + 1.22 \times 2,260}{3 \times 3492.43 + 0.1 \times 4657} \right) \times 100\%$$

$$= 38.39\%$$



ภาคผนวก ข  
ส่วนประกอบของเบ้าหล่อเตาประหยัดพลังงาน



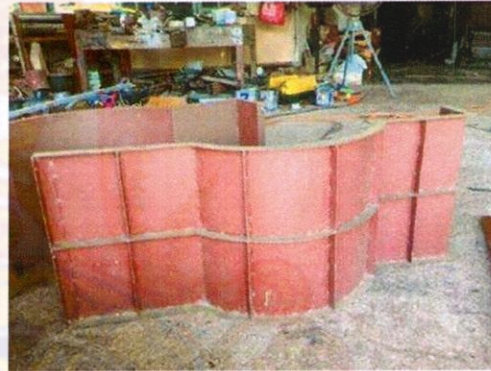
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



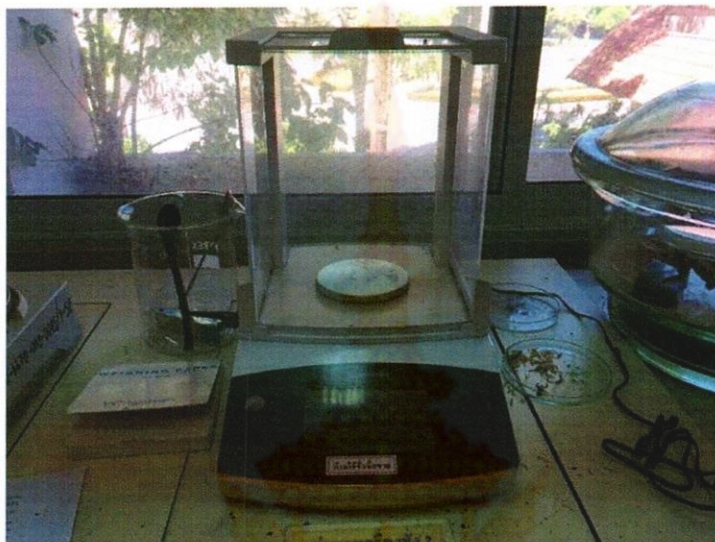
(g)

ภาพที่ ข-1 ส่วนประกอบของเข้าหล่อเตาประหยัดพลังงาน



ภาพที่ ข-2 การนำไปใช้

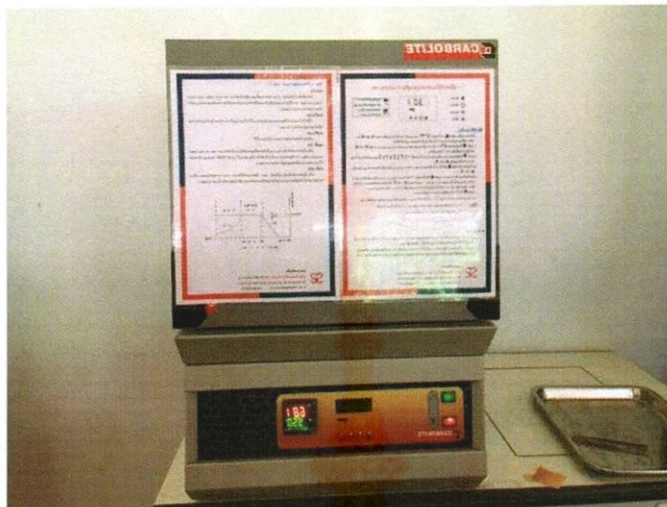
ภาคผนวก ค  
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ ค-1 ตาชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง



ภาพที่ ค-2 ตู้อบ



ภาพที่ ค-3 เต้าเผา



ภาพที่ ค-4 เครื่องวัดอุณหภูมิ

## ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสุปราณี วุ่นศรี  
(ภาษาอังกฤษ) Mrs.Supranee Wunsri
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3800600792525
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์

### อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สาขาศึกษาทั่วไป หลักสูตรรายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา

โทรศัพท์ 0-7431-7100, 074316260-3, 074323504-6 โทรสาร 0-7431-712

e-mail : kongsu\_wun@yahoo.co.th

### 5. ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก : ปรัชญาดุุษฎีบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปริญญาโท : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปริญญาตรี : วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยรามคำแหง

### 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ พลังงาน

### 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ ในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละ ผลงานวิจัย

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

#### 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

- ศึกษาและพัฒนาเตาประหยัดพลังงาน งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2559

- ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งมูลสัตว์ งบรายได้ ปีงบประมาณ 2560

#### 7.2 งานวิจัยที่สำเร็จ :

สุปราณี ช่วยเกิด, ธวัช ชิตตระกูล, ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และสมศักดิ์ คงแสง. 2546.

การวิเคราะห์สเปกตรัมสีผิวผลปาล์มเพื่อหาช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม.

ว.สงขลานครินทร์ วทท . 27(3) : 840 – 848.

สุปราณี วุ่นศรี, ธวัช ชิตตระกูล, ไตรภพ ผ่องสุวรรณ, ภัทร อัยรักษ์ พวงทิพย์ แก้วทับทิม

และสมศักดิ์ คงแสง. 2554. การหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว

ทะเลาะปาล์มน้ำมัน ด้วยเทคนิคทางฟิสิกส์. ว.วิทยาศาสตร์ มข. 39(3) : 515-524

สุปราณี วุ่นศรี, ไตรภาพ ผ่องสุวรรณ, ภัทร อัยรักษ์, พวงทิพย์ แก้วทับทิม  
และสมศักดิ์ คงแสง. 2555. “ เครื่องมือวัดความสุขของลูกของและปาล์มน้ำมันด้วยหลัก  
การทางฟิสิกส์.” ประชุมวิชาการระดับชาติ เบญจมิตรวิชาการครั้งที่ 2 ณ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ  
เทพ : 542-548

### 7.3 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ :

- ศึกษาและพัฒนาเตาประหยัดพลังงาน งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2559
- ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งมูลสัตว์ งบรายได้ ปีงบประมาณ 2560

### 7.4 ประสบการณ์ที่เกี่ยวกับงานวิจัยด้านเชื้อเพลิงและพลังงาน

- ร่วมทีมวิจัยเกี่ยวกับการทำถ่านอัดแท่งจากต้นตาลโตนต ได้รับงบประมาณจากสำนักงาน  
พลังงานจังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ. 2557
- เป็นวิทยากรร่วมในการผลิตเตาชีวมวลเพื่อชุมชนในพื้นที่ตำบลทุ่งลาน อำเภอลงขัน  
โข่ง จังหวัดสงขลา

