

## การพัฒนาห้องเผาไหม้เตาชีวมวลจากเซรามิก

### Development on Biomass Combustion Furnace from Ceramic

พิสิษฐ มณีโชติ,<sup>1\*</sup> ประพิชาริ ธนาธิกร,<sup>2</sup> วิกานต์ วันสูงเนิน,<sup>3</sup> ณัฐเศรษฐ์ น้ำคำ<sup>4</sup>

Pisit Maneechot,<sup>1\*</sup> Prapita Thanarak,<sup>2</sup> Wikarn Wansungnern,<sup>3</sup> Nattasat Numkum<sup>4</sup>

Received: 1 October 2013; Accepted: 10 December 2013

#### บทคัดย่อ

ในการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการทำห้องเผาไหม้เตาชีวมวลจากเซรามิกนำมาสร้างเตาชีวมวล และทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวล โดยในการวิจัยได้มีการทดลองเนื้อดินปั้น โดยใช้วัตถุดิบคือดินดำสำเร็จรูป ขี้เถ้าแกลบ และดินเชื้อ นำมาผสมตามอัตราส่วนโดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างได้ 3 สูตร เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพก่อนที่จะนำมาใช้ทำห้องเผาไหม้ และนำประกอบทำเตาแก๊สชีวมวลจึงมีการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการทดลอง พบว่าในการศึกษาความเป็นไปได้โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพนั้น เนื้อดินปั้นในสูตรที่ 3 ซึ่งมีส่วนประกอบคือเนื้อดินปั้น ร้อยละ 90 ขี้เถ้าแกลบร้อยละ 5 และดินเชื้อร้อยละ 5 เป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมในการทำห้องเผาไหม้เซรามิก โดยมีค่าการหดตัวอยู่ที่ร้อยละ 4 และก็ยังมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การทดลองหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ตามห้องตลาด ได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนคิดเป็นร้อยละ 29.86

**คำสำคัญ:** แก๊สซิฟิเคชัน ห้องเผาไหม้ เตาก๊าซชีวมวล เซรามิก

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the feasibility of developing a biomass combustion furnace from ceramic. Ceramic was used to construct the biomass stove, and the efficiency of the stove was tested. Clay sculptures were made using raw ground black, ash and soil. The raw materials were mixed into 3 formulas in order to study the physical properties before they were used in the combustion chamber. The ceramic chamber in the 3<sup>rd</sup> formula was designed by using raw ground black, ash and soil contained in a clay mold of 90%, ash of 5% and the infection soil of 5%. The combination was appropriate to make the ceramics for the combustion chamber with a contraction of 4%. The biomass gas stove was tested for thermal efficiency. The test was performed by using charcoal as the fuel. The results showed that the thermal efficiency of the biomass gas stove is 29.86%.

**Keywords:** Gasification, Combustion chamber, Wood gas stove, Ceramics

#### บทนำ

พลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และในปัจจุบันความต้องการพลังงานของโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนาความต้องการพลังงานมีแนวโน้มสูงเพิ่มขึ้นเพื่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมเมื่อโลกมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ เป็นแหล่งพลังงานหลักเนื่องจากเชื้อเพลิง

ฟอสซิลมีความสะดวกสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง แต่เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณสำรองลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาเชื้อเพลิงราคาสูงขึ้น ประกอบกับแหล่งเชื้อเพลิงในประเทศมีน้อยต้องนำเข้าจากต่างประเทศส่งผลต่อการพัฒนาประเทศเนื่องจากสถานะเศรษฐกิจเกิดการชะลอตัว สำหรับแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล และการใช้อย่างมีประสิทธิภาพเป็น

<sup>1</sup> อาจารย์, <sup>2</sup>อาจารย์, <sup>3</sup>เจ้าหน้าที่วิจัย, <sup>4</sup>นิสิตปริญญาโท, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>1</sup> Lecturer, <sup>2</sup>Lecturer, <sup>3</sup>Researcher <sup>4</sup>Master degree student, School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.

\* Corresponding author; Pisit Maneechot, pisitm@nu.ac.th

แนวโน้มหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีเศษวัสดุเหลือจากการเกษตรมากมาย เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้เป็นพลังงานทดแทน เตาแก๊สชีวมวลเป็นเตาที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มอาหารในครัวเรือน โดยใช้เศษไม้และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยมีหลักการทำงานแบบการผลิต แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล(Gasifier) แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนแล้วไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื้ออื่น ๆ เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) เป็นต้น<sup>1</sup> เตาแก๊สชีวมวลแบบใช้พื้นเป็นเชื้อเพลิงที่ออกแบบจะเป็นเตาแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลขึ้น (Updraft Gasifier) โดยมีลักษณะเป็นเตาผนัง 2 ชั้น ซึ่งชั้น ที่ 1 จะเป็นส่วนของห้องเผาไหม้ และชั้น ที่ 2 เป็นช่องสำหรับให้อากาศผ่านและมีช่องสำหรับอากาศไหลออกอยู่ด้านบนของเตา โดยแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้นั้นจะลอยขึ้น สู่อ่างบนและเกิดการลุกไหม้บริเวณด้านบนของเตาโดยอาศัยอากาศร้อนที่ถูกบังคับให้ไหลจากด้านล่างของเตาเข้าสู่ชั้น ที่ 2 โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจากห้องเผาไหม้และไหลออกทางช่อง

ทางออกด้านบนของเตา และเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้เกิดการติดไฟของแก๊สชีวมวลโดยจะสังเกตได้จากเปลวไฟที่ได้นั้น จะมีลักษณะเป็นลำพุ่งออกมาจากช่องทางออกของอากาศซึ่งในความเป็นจริงนั้น คืออากาศร้อนที่ไหลออกมาทำปฏิกิริยากับแก๊สเชื้อเพลิงและเกิดการลุกไหม้ โดยสามารถใช้เศษไม้ กิ่งไม้ เป็นเชื้อเพลิงและสามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง<sup>2</sup> ปัจจุบันพบว่า เตาแก๊สชีวมวลที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปทุกวันนี้ ส่วนประกอบของเตาทั้งหลายนั้นจะเป็นโลหะซึ่งทำจากเหล็กโดยคุณสมบัติของโลหะที่เป็นเหล็กนั้นจะเห็นว่า เมื่อเหล็กโดนความร้อนบ่อยๆ ก็จะทำให้เกิดสนิมและเกิดการสึกกร่อนมีอายุการใช้งานประมาณ 3-5 ปี ดังรูปที่ 1



Figure 1 Combustion chamber rust and entropic.

อีกประการหนึ่งคือเหล็กเป็นโลหะซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนได้เร็วไม่สามารถเก็บกักความร้อนได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเตาชีวมวลโดยการเปลี่ยนแปลงในส่วนของห้องเผาไหม้ให้สามารถเก็บกักความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและยังช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อนบริเวณห้องเผาไหม้หลังจากการใช้งานเป็นเวลานานๆ ซึ่งในการวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุทางเซรามิกมาพัฒนาใช้แทนโลหะเหล็กเพื่อให้เหมาะกับการนำมาใช้งาน ทั้งนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำห้องเผาไหม้ที่ทำจากเซรามิกมาใช้กับเตาแก๊สชีวมวล โดยสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ห้องเผาไหม้ทำจากเซรามิก เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาห้องเผาไหม้ของเตาแก๊สชีวมวลและส่งเสริมเผยแพร่ให้มีการผลิตและการใช้เตาหุงต้มในอุตสาหกรรมครัวเรือนต่อไป

### วิธีการศึกษา

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาห้องเผาไหม้โดยใช้เซรามิกนี้ จะทำการศึกษาความเป็นไปได้การสร้างห้องเผาไหม้จากเซรามิกแล้วนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพ ผู้วิจัยกำหนดวิธีดำเนินการวิจัยโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

1. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเซรามิกมาทำห้องเผาไหม้
2. การสร้างห้องเผาไหม้จากเซรามิก และ
3. การทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่สร้างโดยใช้ห้องเผาไหม้ทำจากเซรามิก

1. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเซรามิกมาทำห้องเผาไหม้ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเซรามิกมาทำห้องเผาไหม้เตาชีวมวล ลำดับแรกศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบ โดยการกำหนดกลุ่มตัวอย่างของเนื้อดินปั้น เพื่อนำมาทำห้องเผาไหม้เซรามิกซึ่งใช้ดินดำสำเร็จรูปของบริษัทคอมเพาเคลย์ ซีเก้ แกลบและดินเชื้อ จากนั้นเตรียมวัตถุดิบ โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดสอบดังต่อไปนี้

สูตรที่ 1 เนื้อดินปั้น 100 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 2 เนื้อดินปั้น 90 เปอร์เซ็นต์ และซีเก้แกลบดำ 10 เปอร์เซ็นต์

สูตรที่ 3 เนื้อดินปั้น 90 เปอร์เซ็นต์ ซีเก้แกลบดำ 5 เปอร์เซ็นต์ และดินเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำสูตรเนื้อดินปั้นที่เตรียมไว้มาทำการขึ้น รูปด้วยการอัดแท่ง ขนาด 1x 12 x 1.5 cm จำนวน 3 แท่งและนำไปตากลมไว้ให้แห้งและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C หลังจากเผาเสร็จแล้วนำแท่งทดสอบมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ การหดตัว ความทนทาน

2. การสร้างห้องเผาไหม้จากเซรามิก

นำวัตถุดิบที่ได้จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเซรามิกมาทำห้องเผาไหม้ สร้างห้องเผาไหม้เพื่อนำไปประกอบกับเตาชีวมวล โดยนำดินที่เตรียมไว้มาทำการขึ้นรูปเป็นรูปทรง และขนาดตาม Figure 2 โดยในการขึ้นรูปได้ใช้แป้นหมุน ไฟฟ้า ในการขึ้น (Figure 3)

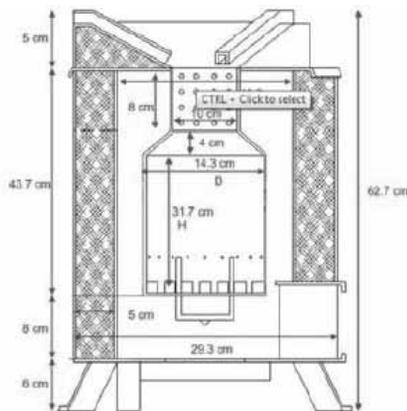


Figure 2 Model of gas stove



Figure 3 Show forming the combustion chamber of gas stove

เมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จแล้วนำมาทำการตกแต่งและเจาะรูบริเวณส่วนบนของห้องเผาไหม้ตามแบบ (Figure 4)

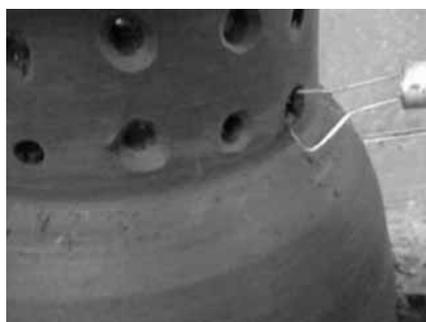


Figure 4 Show the drill holes and finishing the combustion chamber.

จากนั้นนำมาผึ่งลมจนแห้ง แล้วมาใส่เตาเผาเซรามิก และทำการเผาในอุณหภูมิ 800 °C (Figure 5)



Figure 5 Show the combustion chamber into furnace.

เมื่อเผาผลิตภัณฑ์ห้องเผาไหม้เซรามิกเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาเตรียมประกอบกับโครงสร้างของเตาชีวมวล (Figure 6)



Figure 6 Ceramic combustion chamber

3. การหาประสิทธิภาพ ของเตาชีวมวล

เมื่อทำการสร้างห้องเผาไหม้เซรามิกสูตรที่ 3 เสร็จแล้วนำมาประกอบกับโครงสร้างเตาชีวมวล เพื่อทำการทดสอบสมรรถนะและหาประสิทธิภาพ โดยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ ได้แก่ เตาแก๊สชีวมวล ซึ่งแบ่งเตาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโครงสร้างด้านนอกซึ่งจะทำด้วยเหล็กและส่วนของห้องเผาไหม้ซึ่งทำมาจากเซรามิกนอกจากนี้ยังใช้หม้อหุงต้มอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 in และใช้เครื่องวัดน้ำหนักแบบเข็มวัดที่มีย่านการวัดตั้งแต่ 0 - 15 kg โดยใช้วัดน้ำหนักของเชื้อเพลิงและน้ำในการทดลอง ในส่วนของการวัดอุณหภูมิ (Thermometer) เลือกใช้ชนิดแท่งแก้วปรอทที่มีย่านการวัดตั้งแต่ 0 - 150 °C ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิของน้ำก่อนต้มและขณะเดือด สุดท้ายนำถ่านไม้ที่หาได้ในท้องตลาดเป็นเชื้อเพลิง โดยมีค่าความร้อน 26,321 kJ/kg จากการทดสอบหาค่า Heating Value ปริมาณ 0.7 0 kg และน้ำ 3.00 kg ในการทดลอง 1 ครั้ง



**Figure 7** Gas stove combustion chamber made from ceramic.



**Figure 8** Show materials and equipment for experiments.

ในส่วนการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง (0.70 kg) ทำการบันทึกค่า
- (2) ชั่งน้ำหนักน้ำ (3.00 kg) ทำการบันทึกค่า
- (3) วัดอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำก่อนจุดเชื้อเพลิง ทำการบันทึกค่า
- (4) วัดอุณหภูมิน้ำขณะเดือด ทำการบันทึกค่า
- (5) ปล่อยให้เชื้อเพลิงเผาไหม้จนหมด
- (6) ชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือเพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหยไปทำการบันทึกค่า
- (7) นำค่าที่บันทึกไว้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเตาชีวมวล

วิธีการทดลองโดยการต้มน้ำเป็นหลัก (Water Boiling Test) การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม โดยมีสมการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังนี้ (S.C.Bhattacharya, A.H.Md.M.R.Siddique, M.Augustus Leon,H -L.Pham and C.P.Mahandari)<sup>3</sup>

$$\eta = \frac{M_{w,i} \times C_p \times (T_b - T_i) + W_{w,evap} \times H_l}{M_f \times H_f} \times 100$$

- $M_{w,i}$  = น้ำหนักน้ำก่อนต้ม, kg
- $C_p$  = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg-°C
- $M_{w,evap}$  = น้ำหนักน้ำที่ระเหย, kg

- $M_f$  = น้ำหนักเชื้อเพลิง, kg
- $T_b$  = อุณหภูมิขณะน้ำเดือด, °C
- $T_i$  = อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม, °C
- $H_l$  = ค่าความร้อนแฝงของน้ำ, kJ/kg
- $H_f$  = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง, kJ/kg

**ผลการศึกษา**

ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาพัฒนาห้องเผาไหม้เตาชีวมวลทำจากเซรามิก ซึ่งผู้วิจัยนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

**1. การศึกษาความเป็นไปได้**

การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเซรามิกมาทำห้องเผาไหม้เตาชีวมวลนั้น ในการศึกษาส่วนนี้ได้มีการทดลองเนื้อดินปั้นที่จะนำมาทำห้องเผาไหม้เซรามิก ซึ่งผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

**Table 1** Shows the physical properties ceramic (shrinkage, water absorption).

ที่	การหดตัว			การดูดซึมน้ำ		
	ความยาวก่อนเผา (cm)	ความยาวหลังเผา (cm)	ร้อยละ	น้ำหนักก่อน (g)	น้ำหนักหลัง (g)	ร้อยละ
1	10	9.2	8	38	45	15.55
2	10	9.5	5	32	39	17.94
3	10	9.6	4	32	39	17.94

จาก Table 1 พบว่าในการทดสอบเนื้อดินเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาทำห้องเผาไหม้เซรามิกในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเซรามิกโดยศึกษาการหดตัวและการดูดซึมน้ำของเนื้อดิน ในการทดสอบเพื่อศึกษาการหดตัวของเนื้อดินนั้นพบว่าเนื้อดินสูตรที่ 1 มีการหดตัวสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 8รองลงมาได้แก่สูตรที่ 2 เนื้อดินหดตัวคิดเป็นร้อยละ 5และสูตรที่ 3 เนื้อดินหดตัวคิดเป็นร้อยละ 4 ตามลำดับและการศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำก็พบว่าเนื้อดินในสูตรที่ 2 และ 3 มีการดูดซึมน้ำมากโดยคิดเป็นร้อยละ 17.94 สูตรที่ 1 การดูดซึมน้ำคิดเป็นร้อยละ15.55 ตามลำดับ

**Table 2** Result physical properties of ceramic (permanence)

ที่	การเปลี่ยนแปลงของดิน (เผา 800 °C - แช่น้ำ)		
1	มีฟองพุดเสียงดัง	น้ำใส	ไม่มีรอยร้าว
2	มีฟองพุดเสียงดัง	น้ำใส	ไม่มีรอยร้าว
3	มีฟองพุดเสียงดัง	น้ำใส	ไม่มีรอยร้าว

จากตาราง 2 พบว่าในการทดสอบเนื้อดินเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาทำห้องเผาไหม้เซรามิก ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเซรามิกโดยศึกษาความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉลပ်ผันนั้น ทุกสูตรสามารถคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งไม่เกิดการแตกร้าวที่แห่งทดสอบอีกทั้งแห่งทดสอบก็ยังคงสภาพตามปกติ

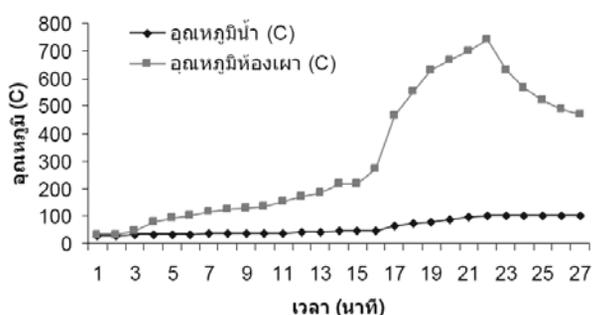
**2. ประสิทธิภาพของเตาชีวมวล**

ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ห้องเผาไหม้ที่ทำจากเซรามิกสูตรที่ 3 โดยวิธีการต้มน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง และในการทดลองแต่ละครั้งค่าประสิทธิภาพที่ได้ของเตาแต่ละครั้ง จะไม่เท่ากันแต่มีค่าใกล้เคียงกันสาเหตุอาจเนื่องจากการทดลองแต่ละครั้ง มีภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยได้สรุปเป็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพดังแสดงผลใน Table 3

**Table 3** Shows results the thermal efficiency of gas stove.

ครั้งที่	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ร้อยละ)
1	31.86
2	28.25
3	29.47
เฉลี่ย	29.86

จาก Table 3 พบว่าในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีวมวลที่ห้องเผาไหม้ที่ทำจากเซรามิกสูตรที่ 3 โดยในการทดลองครั้งที่ 1 ได้ค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 31.86 การทดลองครั้งที่ 2 ได้ค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 28.25 และการทดลองครั้งที่ 3 ได้ค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 29.47 แต่เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ย ได้ผลประสิทธิภาพความร้อนของเตาแก๊สชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 29.86 และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องเผาไหม้และอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย ดังรูปที่ 9



**Figure 9** Show rates of temperature variations of combustion chamber and temperature of water.

**สรุปผล**

1. การทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่าดินที่มีความพรุนตัวมากมีการถ่ายเทความร้อนดีไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวง่าย ไม่เกิด thermal shock เมื่อกระทบความร้อนและความเย็นทันที ในการผสมซีเมนต์แล้วเคลือบและดินเชื้อลงในดินที่มีความเหนียวจะช่วยให้ดินมีค่าการดูดซึมน้ำที่มากขึ้น
2. การทดสอบคุณสมบัติการหดตัวของเนื้อดินที่มีการหดตัวสูงเกินกว่าร้อยละ 10 จะมีการแตกร้าวได้ง่ายและถ้ามีการผสมซีเมนต์แล้วเคลือบและดินเชื้อเข้าไป จะช่วยลดการหดตัวของดิน
3. การทดสอบคุณสมบัติความคงทนของดินพบว่าดินที่มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะทนทานจะต้องมีค่าการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูงและมีค่าการหดตัวต่ำ
4. ผลของประสิทธิภาพของเตาชีวมวลที่ห้องเผาไหม้ทำจากเซรามิกสูตรที่ 3 พบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเตาแก๊สชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 29.86

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การประเมินวัฏจักรชีวิตของเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้ห้องเผาแบบเซรามิก” ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยนเรศวร

**เอกสารอ้างอิง**

1. ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2551, “เทคโนโลยีเตาแก๊สชีวมวล: โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ สาธิตการผลิตและการใช้เตาแก๊สชีวมวลเพื่อเพิ่มรายได้ครัวเรือนและแก้ปัญหาโลกร้อน”.เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. บวรพรรณ คดีการ, 2529, ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 7-29
3. S.C.Bhattacharya, A.H. Md. M.R.Siddique, M.Augustus Leon, H - L.Pham and C.P.Mahandari. A Study on Improve Institutional Biomass Stove. Energy Program, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.