การพัฒนาเตาชีวมวลโดยใช้เถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1

The Development of Biomass Stoves by Using Rice Husk Ash Mixing with Cement Mortar 1

สมภักดิ์ ถึงปัดชา[*1] และวัชรินกร เมฆลา[**2]

[1]*สาขาวิทยาศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000*

[2]*สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000*

E-mail: somphak22@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาเตาชีวมวลโดยใช้เถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์1 เป็นฉนวนภายในเตาโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบข้าว และศึกษาประสิทธิภาพของเตาชีวมวล ได้รับการออกแบบเป็นแบบไหลขึ้น ใช้วัสดุเหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร และท่อเหล็กที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร มีขนาดความสูง 70 เซนติเมตร ใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันขนาด 220 โวลต์ มีกระแสไหลผ่านขนาด 0.06 แอมแปร์ อัตราเร็วรอบ 2,550 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลของอากาศ 2.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เตานี้ได้รับการพัฒนาด้วยการเพิ่มฉนวนรูปทรงกระบอก ความหนา 2.5 เซนติเมตร ภายในเตา โดยฉนวนเตรียมขึ้นจากเถ้าแกลบผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แล้วมาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ในอัตราส่วน 70: 30 โดยปริมาตร ใช้วิธีหมุนเหวี่ยง เมื่อนำเถ้าแกลบไปวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบโดยมวล ประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ ไดโพแทสเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ ไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ และสารประกอบอื่นๆ ร้อยละ 88.11, 3.78, 3.49, 2.09 และ 2.53 ตามลำดับ และพบว่ามีลักษณะสีของเปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน ไม่มีควัน ให้อุณหภูมิของเปลวไฟที่ตำแหน่งสูงจากปล่องเตา 3 เซนติเมตร ในช่วงอุณหภูมิ 162.8-280 องศาเซลเซียส เป็นประมาณเวลา 20 นาที และผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิภายนอกเตา ณ จุดกึ่งกลางของเตา มีอุณหภูมิภายในเตา 382.2 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิภายนอกเตามีอุณหภูมิ 34.7 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ความต่างของอุณหภูมิ ณ เวลานั้นเท่ากับ 347.5 องศาเซลเซียส จากผลการวิจัยนี้ พบว่าฉนวนที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติช่วยป้องกันไม่ให้มีการส่งผ่านความร้อนออกมาภายนอกเตา ส่งผลให้เตามีอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาสั้นๆ

คำสำคัญ: เตาชีวมวล เถ้าแกลบ ฉนวนความร้อน เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ การถ่ายโอนความร้อน

Abstract

The research aims to develop a biomass furnace using rice husk ash blended with cement first dielectric fuel combustor using rice husk and study the efficiency of biomass stoves. The biomass furnance was designed as a biomass burner flow. The components were the steel plate with thickness of 2 mm, steel pipe with a thickness of 1.5 mm, and the height of 70 cm, fan AC voltage 220 volt with the current flow of 0.06 A, speed is 2,550 rpm. The flow rate of the air of 2.3 cubic feet per minute of air furnace was developed by adding insulation cylinder thickness 2.5 cm in the oven. The insulation prepared from rice husk ash calcined at temperatures of 700 ℃ and mixed with Portland1 cement with the ratio of 70: 30 by volume using a centrifuge. X-rays fluorescence (XRF) data analysis showed that the amount of the compound consists of silicon dioxide, potassium oxide, calcium oxide, phosphorus pentoxide and others 88.11%, 3.78%, 3.49%, 2.09%, and 2.53% by weight, respectively. The test of the efficiency shows that the flame color was blue without smoke, the temperature of the flame at 3 cm height from the chimney

stove is in the range 162.8-280 °C for about 20 minutes. The temperature inside at the center of the furnace was 382.2 °C while the outside was 34.7 °C, The difference between the temperatures inside and outside of the furnace was 347.5 °C which was significant at that time. From this research, we found that the developed insulator helps to prevent the heat transfer to the outside of the furnace at high temperature in a short time.

Keywords: Biomass Furnace, Rice Husk Insulator, X-Rays Fluoescence (XRF), Heat Transfer

บทนำ

พลังงานจากเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐาน แหล่งที่มาของพลังงานของโลกในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งกำลังลดน้อยลงเรื่อยๆ และจะหมดไปในเวลาอันใกล้นี้ แต่ความต้องการบริโภคพลังงานกับเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ต้องหาพลังงานทดแทนชนิดอื่นมาแทน ชีวมวลเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้

ชีวมวล (Biomass) เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งเก็บกักพลังงานของธรรมชาติ ซึ่งได้จากสิ่งมีชีวิต พืช เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ในชีวมวลจะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถันและไนโตรเจน ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ แกลบเป็นส่วนที่เหลือจากการสีข้าว แกลบบางส่วนนำไปเผาจะได้พลังงานความร้อน แต่ก็ยังมีเถ้าแกลบเหลืออยู่ ในเถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัง ซิลิกา (Silica) ที่ได้จากการเผาแกลบด้วยวิธีที่เหมาะสมแล้วจะกลายเป็น สารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีลักษณะโครงสร้างพรุนแบบหกเหลี่ยมมีความเสถียรสูง เมื่อได้รับความร้อนโครงสร้างผลึกจะสั่นต่ำ ทำให้เกิดอนุภาคโฟนอน (Phonon) ต่ำไปด้วย ทำให้นำความร้อนต่ำ จึงนิยมนำมาผสมกับวัสดุต่างๆ เพื่อทำเป็นฉนวนกันความร้อน และเมื่อนำมาผสมในวัสดุอื่นๆ ทำให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง เถ้าแกลบจึงเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำฉนวนกันความร้อนของเตาชีวมวล

ซีเมนต์ หรือปูนซีเมนต์ (Cement) เป็นวัสดุผสานสำหรับผลิตคอนกรีต มีส่วนผสมหลักคือหินปูนและดินเหนียว และมีส่วนผสมอื่น เช่น ซิลิกา อลูมินา สินแร่เหล็ก ยิปซั่ม

ดังนั้นจากปัญหาและแนวคิดที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของเถ้าแกลบ แล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 สำหรับใช้เป็นฉนวนเพื่อพัฒนาเตาชีวมวล เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนของเตาชีวมวลและยังเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาประยุกต์ใช้ในด้านพลังงานโดยไม่สูญเปล่า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาเตาชีวมวลที่ใช้เถ้าแกลบผสมปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1
2. ศึกษาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบข้าว

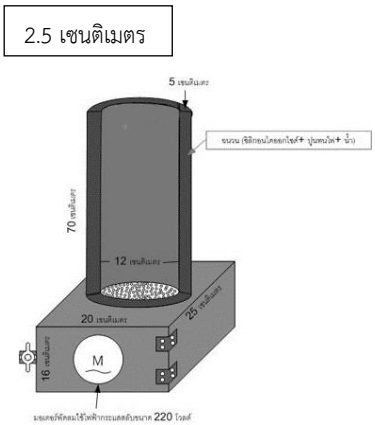
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเถ้าแกลบ ดังนี้ นำแกลบขนาด 2.5 กิโลกรัม ล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง เพื่อเอาเศษดิน หิน และสิ่งแปลกปลอมออก นำแกลบที่ผ่านการล้างใส่ลงในถ้วยเซรามิค นำไปอบแห้งในเตาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นด้วยอุณหภูมิห้อง ใส่เถ้าแกลบลงในโถแก้ว เทกรดไฮโดรคลอลิค ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แช่ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำกลั่น 5-6 ครั้ง แล้ววัดค่า pH ให้มีค่าประมาณ 7 ไปอบแห้งในเตาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. การเตรียมฉนวนกันความร้อนสำหรับท่อเตาคือเถ้าแกลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1

2.1 นำอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 คือ 70:30 มาผสมรวมกันโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง โดยควบคุมอัตราการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องผสมปูนทั่วไปเป็นเวลา 20 นาที

2.2 นำเถ้าแกลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ในข้อ 2.1 มาขึ้นหล่อท่อฉนวนกันความร้อนของเตาชีวมวล

3. การออกแบบเตาชีวมวลสำหรับเชื้อเพลิงแกลบข้าว การออกแบบเตาชีวมวลโดยการออกแบบและผลิตแบบอากาศไหลขึ้นโดยได้ศึกษาจากงานวิจัยของ Bhattacharya and others (1999) เป็นต้นแบบในการผลิตเตาชีวมวล ดังภาพที่ 1



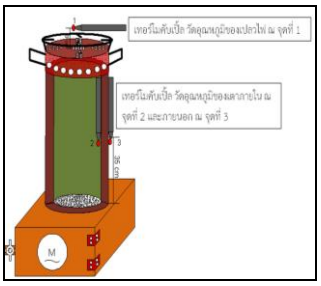
ภาพที่ 1 โครงสร้างของเตาชีวมวล

4. ทดสอบวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเตา

4.1 เตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล คือ แกลบ

4.2 ทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ทำการติดตั้งชุดเก็บอุณหภูมิ ดังภาพที่ 2 ทำการบันทึกอุณหภูมิ ที่ใช้ทุกๆ 5 วินาที

4.3 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเตาชีวมวล



ภาพที่ 2 การติดตั้งตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของเตาชีวมวล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

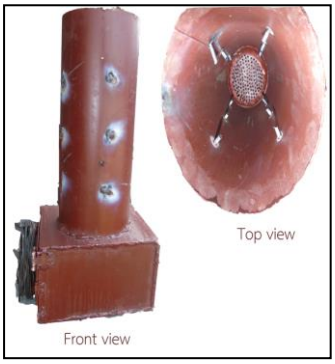
1. เมื่อนำเถ้าแกลบที่เตรียมไปศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการวาวรังสีเอกซ์ (X-Ray fluorescence, XRF) พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศา

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยมวล
SiO_2	88.11
K_2O	3.78
CaO	3.49
P_2O_5	2.09
สารประกอบอื่นๆ	2.53

จากตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีในเถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88.11 โดยมวล ซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัตินำความร้อนต่ำ เมื่อนำมาผสมกับปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 จึงเป็นฉนวนกันความร้อนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของสันติ รัตนวีรนนท์ (2550: 50) ที่ได้ทำศึกษาสมบัติทางกายและสมบัติทางความร้อนของผงผสมระหว่างซีเมนต์เชิงการค้ากับผงซิลิกาบริสุทธิ์ ที่เตรียมจากแกลบ พบว่า ให้ค่าการนำความร้อน 0.64 วัตต์ต่อเมตร. เคลวิน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2. การออกแบบเตาชีวมวล ขั้นตอนตามแบบแปลน มีลักษณะโครงสร้างเตาดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของเตาเทฉนวน

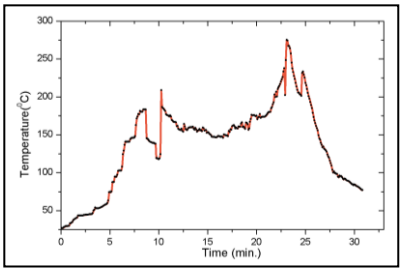
จากภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของเตาชีวมวล วัสดุที่ใช้เหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร และท่อเหล็กที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร เทฉนวนสำหรับขึ้นรูปเตา รูปทรงกระบอก ความหนา 2.5 เซนติเมตร ในเตา

3. เมื่อนำเตาที่พัฒนาขึ้นทดสอบประสิทธิภาพ พบว่า เตาที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะสีของเปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน ไม่มีควัน ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ลักษณะสีของเปลวไฟ

จากภาพที่ 4 เตาที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะสีของเปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน ไม่มีควัน แสดงว่าเตาที่ผลิตขึ้นให้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Panwar and Rathore (2008: 1349–1352) ที่พบว่า เตาชีวมวลที่ผลิตขึ้น ขณะที่เผาไหม้มีการปล่อยแก๊สออกมาได้ สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่หลากหลายชนิด การเผาไหม้ผลิตแก๊สที่มีเปลวไฟสีน้ำเงิน เปลวไฟมีอุณหภูมิ 736 องศาเซลเซียส มีความปลอดภัยในการใช้ในครัวเรือน

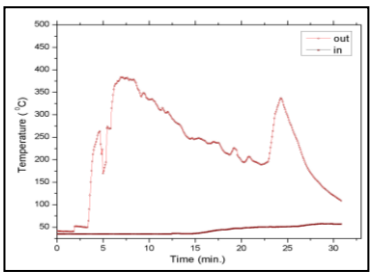
4. การศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเปลวไฟกับเวลา ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ระยะสูงจากปากปล่องเตาเป็นระยะ 3 เซนติเมตร เทียบกับเวลาของเตาชีวมวลที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เชื้อเพลิงแกลบขนาด 700 กรัม ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเปลวไฟกับเวลา

จากภาพที่ 5 เมื่อพิจารณากราฟพบว่าเปลวไฟ ให้อุณหภูมิสูงถึง 162.8 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 7.6 นาที และให้อุณหภูมิ ในช่วง 162.8-280 องศาเซลเซียส เป็นประมาณเวลา 20 นาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goncalves (2006) ที่พบว่า ขี้เถ้าแกลบที่อัดขึ้นรูปฉนวนกันความร้อน เป็นการใช้สิ่งเหลือจาก การสีข้าวให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกา อยู่ในฉนวนความร้อนปริมาณสูง จากการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะทั้งสมบัติทางเคมี (สารประกอบทางเคมี) และคุณสมบัติทางกายภาพ (ขนาดอนุภาค ความพรุนตัว ความหนาแน่น และค่าการนำความร้อน) จะสอดคล้องกับโครงสร้าง และค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อน

5. การศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในและภายนอกเตากับเวลา ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในและภายนอกเตา

จากภาพที่ 6 เมื่อพิจารณากราฟ พบว่า ณ เวลาเดียวกัน อุณหภูมิภายในเตาสูงถึง 382.2 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิภายนอกเตามีอุณหภูมิ 34.7 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของเตาภายนอกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งนาทีที่ 30 ซึ่งเป็นนาทีที่เชื้อเพลิงหมด อุณหภูมิของเตาภายนอกวัดได้ 56.9 องศาเซลเซียส ที่เป็นเช่นนั้นเพราะตัวเตาด้านนอกทำจากท่อเหล็ก ซึ่งนำความร้อนได้ เมื่อเวลาผ่านไปเหล็กได้รับความร้อนจากเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงที่ปล่องเตา มีการนำความร้อนลงมาสู่ตัวเตาด้านล่าง ซึ่งเป็นไปตามกฎการนำความร้อนของ ฟูเรียร์

(Fourier Low of Conduction) ที่กล่าวว่า การนำความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุของแข็งที่มีรูปทรงกลม หรือรูปทรงกระบอก โดยมีการเคลื่อนที่ หรือการไหลของความร้อนอยู่ในลักษณะเรียงกันตามรัศมีขณะที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางของแข็งนั้น

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบเตาชีวมวลที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบไหลขึ้น ใช้วัสดุเหล็กแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร และท่อเหล็กที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร มีขนาดความสูง 70 เซนติเมตร ใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันขนาด 220 โวลต์ มีกระแสไหลผ่านขนาด 0.06 แอมแปร์ อัตราเร็วรอบ 2,550 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลของอากาศ 2.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที พัฒนาขึ้นโดยใช้ฉนวนรูปทรงกระบอกความหนา 2.5 เซนติเมตร ในเตา โดยฉนวนเตรียมขึ้นจากการนำเถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ในอัตราส่วนคือ 70: 30 โดยปริมาตร เมื่อนำเถ้าแกลบไปวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 81.11 โดยมวล มีไดโพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.78 โดยมวล แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.49 โดยมวล ไดฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ร้อยละ 2.09 โดยมวล และสารประกอบอื่นๆ ร้อยละ 2.53 โดยมวล เมื่อนำเตาที่พัฒนาขึ้นทดสอบประสิทธิภาพพบว่า เตาที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะสีของเปลวไฟเป็นสีน้ำเงิน ไม่มีควัน ให้อุณหภูมิของเปลวไฟที่ตำแหน่งสูงจากปล่องเตา 3 เซนติเมตร ในช่วงอุณหภูมิ 162.8-280 องศาเซลเซียส เป็นประมาณเวลา 20 นาที และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกเตา ณ จุดกึ่งกลางของเตามีอุณหภูมิภายในเตา 382.2 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิภายนอกเตามีอุณหภูมิ 34.7 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ความต่างของอุณหภูมิ ณ เวลานั้นเท่ากับ 347.5 องศาเซลเซียส ผลจากการวิจัยนี้พบว่าฉนวนที่พัฒนาขึ้นช่วยป้องกันไม่ให้มีการส่งผ่านความร้อนออกมาภายนอกเตา และต้องการให้ความร้อนถูกส่งผ่านไปยังบริเวณปากปล่องของเตามากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเตาชีวมวลที่พัฒนาขึ้น โดยการสร้างฉนวนขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถูกถ่ายเทหรือส่งผ่านออกมารอบๆ ตัวเตา สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้จริง แต่ยังไม่สามรถวัดค่าความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ และไม่สามารถวัดปริมาณความร้อนเตาที่ให้ได้

2. การวิจัยครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาว่าความชื้นของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา การวิจัยได้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นคงที่ หรือ ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความชื้นของเชื้อเพลิงที่อยู่นอกช่วงนี้ อาจจะมีผลกระทบต่อการเกิดเผาไหม้ และการเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นได้ เพราะถ้าชื้นเกินไปจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่รุนแรง เพราะต้องสูญเสียพลังงานในการทำให้เชื้อเพลิงแห้ง แต่หากเชื้อเพลิงแห้งเกินไปจะเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นไม่ดี ควรมีการศึกษาความชื้อของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของเตา

3. ควรมีการศึกษาสัมประสิทธิ์ของการเป็นฉนวนกันความร้อนของฉนวนตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ด้วยเครื่องมือวัดและเทคโนโลยีขั้นสูง และออกแบบเตาให้สามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ ดร.วัชรินกร เมฆลา ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

สันติ รัตนวีรนนท์. **การศึกษาสัดส่วนของซิลิกาที่มีผลต่อการนำความร้อนในวัสดุกันความร้อน**. นครปฐม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, 2550.

Bhattacharya and others. “Study on Improv Institutional Biomass Stoves,” **In Solar World Congress–ISES**. (serial online) 99 (1999): 4–9.

Goncalves. “Thermal insulators made with rice husk ashes: Production and correlation between properties and microstructure,” **Construction and Building Materials** (serial online) (2006) (Article in press).

Panwar_and Rathore.“ Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas stove,” **sciencedirect.** (serial online) 32 (2008): 1349–1352.