

การพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวล DEVELOPMENT OF BIOMASS FEEDER FOR BIOMASS STOVE

ปัทิปัทธ ถานอมพงษ์ชาติ^{1*} ยสินทีณี เอ็มหยวก¹ และภคมน ปินตานา²
Patipat Thanompongchart^{1*} Yasintinee Aimyuak¹ and Pakamon Pintana²

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้ก๊าซหุงต้ม ซึ่งปัจจุบันราคาก๊าซหุงต้ม (LPG) ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อ ผู้บริโภค ร้านอาหาร และอุตสาหกรรมอาหารทั่วประเทศ ถึงแม้ว่าราคาเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีราคาถูกกว่าก๊าซหุงต้ม แต่การใช้งานเตาชีวมวลยังไม่ได้รับความนิยมมากนักในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งาน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวล เพื่อแก้ปัญหาการให้ความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ และการเติมเชื้อเพลิงที่ยุ่งยากให้กับผู้ใช้งาน จากการศึกษาโดยทดลองเติมเชื้อเพลิงชีวมวล 2, 4 และ 6 ชั้นต่อหน้าที่ พบว่าอัตราการป้อนที่เหมาะสมคือ 4 ชั้นต่อหน้าที่ โดยวิเคราะห์จากอุณหภูมิบนเตามีความสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพความต่อเนื่องในการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 95.33 ± 3 เปอร์เซ็นต์ และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด เครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จึงเหมาะสมต่อการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็ก

คำสำคัญ: ชีวมวล เครื่องป้อนชีวมวล เตาแก๊สซีฟิเออร์ พลังงานทดแทน

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹ Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Muang District, Uttaradit Province 53000

² วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² School of Renewable Energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai Province 50290

*corresponding author e-mail: patipat.than@gmail.com

Received: 15 January 2021; Revised: 30 April 2021; Accepted: 5 May 2021

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2021.6>

Abstract

The development of a biomass stove feeder for using in households or the small food industry has been widely promoted to solve the problem of LPG cost. Currently, the price of LPG in Thailand is steadily increasing, affecting restaurants and the food industry nationwide. Although the price of biomass is cheaper than that of LPG, the use of biomass burners is not popular at present, because of limitations in usability. This research aimed to develop a biomass fuel feeder for a biomass stove. The objective was to make a steady combustion gasifier with easy refueling for users. From the study, by refueling with 2, 4 and 6 pieces of biomass per minute, it is found that the optimum feed rate was 4 pieces per minute, based on the temperature steadiness of the gasifier. The biomass continuous feed efficiency was 95.33 ± 3 percent and exhibited the most economic value. The biomass fuel feeder developed for this biomass stove was suitable for using in small food industries.

Keywords: Biomass, Biomass feeder, Gasification stove, Renewable energy

บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงได้ถูกออกแบบขึ้นอย่างแพร่หลายสำหรับใช้หุงต้มอาหารในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้มซึ่งมีราคาสูงถึง 21.2 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีราคาถูกกว่า โดยมีราคาประมาณ 1-15 บาทต่อกิโลกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล (Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2020) เตาชีวมวลที่นิยมใช้งานมีหลายขนาดมี ซึ่งจะใช้ประเภทและขนาดของเชื้อเพลิงในการใช้งานแตกต่างกัน ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็ก จะใช้เตาที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 400-850 องศาเซลเซียส (Suttiporn et al., 2012) สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะใช้วัสดุเหลือทิ้งในการเกษตร เช่น เศษกิ่งไม้ เปลือกเม็ดปาล์ม กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย เศษไม้สับชิ้น เป็นต้น จากการใช้งานเตาชีวมวลพบข้อจำกัดในการใช้งานอาทิเช่น ความยุ่งยากในการจุดเตา คว้นไฟเมื่อเริ่มจุดใช้งาน และการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล (Homchampa et al., 2014) ซึ่งถ้าใช้งานเป็นระยะเวลานานจะต้องมีการเติมเชื้อเพลิงให้เตาเพื่อให้มีความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ก่อให้เกิดความไม่สะดวกสบายในการใช้งานเตาชีวมวล ซึ่งส่งผลทำให้อุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กไม่นิยมเลือกใช้ อีกทั้งการใช้งานก๊าซหุงต้มใช้งานได้ง่ายกว่าไม่ต้องใช้เวลาการเตรียมเชื้อเพลิง สำหรับวิธีการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่นิยมใช้ พบในโรงงานขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้าใช้การลำเลียงโดยใช้สายพาน (belt feeder) และแบบสกรู (screw feeder) ซึ่งอาจ

ไม่เหมาะต่อการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กเนื่องจากมีขนาดใหญ่ และต้นทุนสูง (Woolcock & Brown, 2013)

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวลขนาดเล็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การเผาไหม้ของเตาชีวมวลมีความสม่ำเสมอ มีค่าความร้อนขณะใช้งานคงที่ เหมาะสมต่อการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลให้เทียบเท่าการใช้งานเตาแก๊สหุงต้ม (LPG) โดยใช้ชีวมวลเป็นเศษไม้จากโรงเลื่อย (wood ship) เป็นชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนาและทดลองเพื่อพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงในการควบคุมการเผาไหม้ของเตาชีวมวลให้มีความสม่ำเสมอ โดยกำหนดตัวแปรต้นในการทดลองคืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง ตัวแปรตามคือ ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิน้ำที่ผ่านการต้ม และตัวแปรควบคุมคือ ชีวมวล (เศษไม้สับ) และขนาดของเตาชีวมวล

งานวิจัยที่เกี่ยวกับเตาชีวมวลสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กโดยใช้เตาชีวมวลชนิดไหลขึ้นได้รับความนิยมในการใช้งานมาก (Jodnok et al., 2011) แสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1) ซึ่งเป็นเตาที่มีช่องเปิดรับอากาศบริเวณด้านล่าง โดยจะมีการดูดอากาศเข้าเตาอย่างธรรมชาติ ผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และจะมีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง CO , H_2 , CH_4 และ O_2 ไหลผ่านบริเวณขอบช่องว่างด้านข้างของเตาและไปเผาไหม้กับเปลวไฟด้านบน ซึ่งได้นำมาเป็นต้นแบบการศึกษาเพื่อหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเตาชีวมวลขนาดเล็กต่อไป

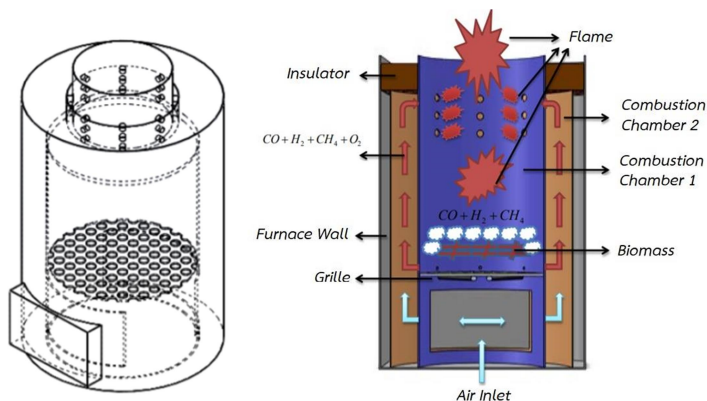


Figure 1 Updraft gasifier stove (Suttiporn et al., 2012)

การออกแบบระบบส่งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่คล้ายกระบอกสูบ โดยมีแกนขับเคลื่อนแท่งเชื้อเพลิง แสดงดังภาพที่ 2 (Figure 2) โดยต่อกับชุดมัลติเพล็กซ์ด้วยมอเตอร์ สำหรับการคำนวณหาอัตราและความเร็วรอบใช้สมการที่ 1 (Leelaphatikul, 2016)



Figure 2 Power transmission for biomass feeder

$$M = D_2/D_1 = N_1/N_2 \quad (1)$$

เมื่อ M คือ อัตราทด
 D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางมูเลย์ขับ, cm.
 D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางมูเลย์ตาม, cm.
 N_1 คือ ความเร็วรอบมูเลย์ขับ, rpm
 N_2 คือ ความเร็วรอบมูเลย์ตาม, rpm

การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการป้อนชีวมวล (EFF) ของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้พัฒนาขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 2 โดยที่จำนวนเศษไม้ที่กำหนดในการป้อนความสัมพันธ์กับการตั้งค่าความเร็วรอบในการหมุนของชุดมูเลย์ในการขับเศษไม้ และจำนวนเศษไม้ที่ป้อนได้คือเศษไม้ที่ออกจากเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจริง

$$\text{ประสิทธิภาพการป้อนชีวมวล (EFF)} = \frac{\text{จำนวนเศษไม้ที่ป้อนได้}}{\text{จำนวนเศษไม้ที่กำหนดในการป้อน}} \times 100 \quad (2)$$

การพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสู่เตาชีวมวล มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. พิจารณาลักษณะของเตาชีวมวล และลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องป้อนเชื้อเพลิง โดยเตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 3 (Figure 3) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 22 เซนติเมตร สูง 53 เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวมวลคือเศษไม้สั๊กเหลือทิ้งจากโรงเลื่อย เนื่องจากมีเศษเหลือทิ้งจากการตัดขอบไม้จากโรงเลื่อยเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีขนาดความสูง 1.5-2 เซนติเมตร กว้าง 2.5-3 เซนติเมตร ยาว 7-9 เซนติเมตร มีความชื้น 22-35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4 (Figure 4)



Figure 3 The Biomass stove in the experiment

2. การพัฒนารูปแบบของกล่องบรรจุแท่งเชื้อเพลิงให้มีขนาดที่เหมาะสมกับเศษไม้จากโรงเลื่อย โดยได้ทำกล่องบรรจุสี่เหลี่ยมทรงสูงสามารถใส่เศษไม้เรียง 1 ชั้น เป็นแถวในแนวตั้ง โดยบรรจุได้ทั้งหมด 15 ชั้น ต่อ 1 ชุด จำนวน 6 ชุด และมีชุดประกอบกล่องเชื้อเพลิงให้สามารถเคลื่อนที่ซ้าย-ขวา ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5 (Figure 5) และการออกแบบชุดขับเคลื่อนแท่งเชื้อเพลิงลงสู่เตาแก๊สซีฟิเออร์ โดยชุดส่งชีวมวล ถูกออกแบบให้เป็นแกนเหล็กเลื่อนเข้า-ออกกล่องบรรจุแท่งชีวมวล ซึ่งจะเป็นการดันแท่งเชื้อเพลิงออกจากกล่องบรรจุที่ละชิ้น โดยขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดัน 12 โวลต์ ผ่านสายพาน มู่เลย์ และสามารถปรับรอบการทำงานได้ โดยจะเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากการหมุนของมู่เลย์เป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกนผ่านแกนควบคุมทิศทาง



Figure 4 Biomass (Teak wood chips from the sawmill)

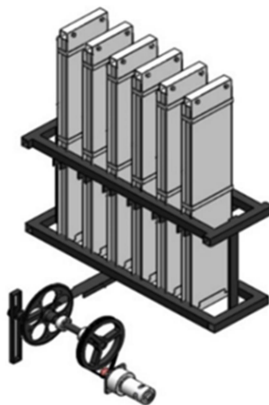


Figure 5 Biomass fuel container

3. สร้างและทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการป้อนชีวมวลของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้พัฒนาขึ้น

4. ทำการหาอัตราป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเตาชีวมวลโดยทดลองเติมเชื้อเพลิง ชีวมวล 2, 4 และ 6 ขึ้นต่อนาที ทำการวัดอุณหภูมิบริเวณบนเตา และทำการวัดอุณหภูมิความสม่ำเสมอของน้ำในหม้อต้มน้ำ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ Type K และเครื่องบันทึกค่า Data logger ยี่ห้อ APAR รุ่น AR207 เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิในการทดลอง โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากเตา และเวลาในการต้ม น้ำ 1 ลิตร

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง เปรียบเทียบการใช้งานในการต้มน้ำกับการใช้ก๊าซหุงต้ม วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัย

เครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลถูกสร้างและพัฒนาดังแสดงในภาพที่ 6 (Figure 6) ได้ออกแบบการบรรจุเศษไม้ในกล่องบรรจุวางซ้อนกันคล้ายแม็กกาซีน จำนวน 6 ชุด และมีระบบขับเคลื่อนแท่งเชื้อเพลิงบริเวณด้านหลังของกล่อง ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจะทำงานโดยมอเตอร์ส่งกำลังไปยังมู่เล่ย์และสายพาน ไปยังคันชักซึ่งจะทำหน้าที่เคลื่อนที่เข้า-ออกกล่องบรรจุเชื้อเพลิงและขับเคลื่อนแท่งเชื้อเพลิงออกจากกล่องบรรจุไหลตกลงบนรางลำเลียงไปสู่เตาชีวมวล แสดงดังภาพที่ 7 (Figure 7) โดยระบบส่งกำลังใช้มู่เล่ย์ขับเคลื่อนผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ด้วยความเร็ว 16 รอบต่อนาที ผ่านสายพานร่องวี ขับมู่เล่ย์ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ที่ความเร็ว 4 รอบต่อนาที สำหรับการเปลี่ยนกล่องบรรจุเชื้อเพลิงต้องทำการเลื่อนกล่องบรรจุเชื้อเพลิงแถวใหม่มาวางหน้าชุดส่งแท่งเชื้อเพลิง

การปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ส่งกำลัง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการป้อนแท่งเชื้อเพลิงจากกล่องบรรจุลงสู่เตาชีวมวล

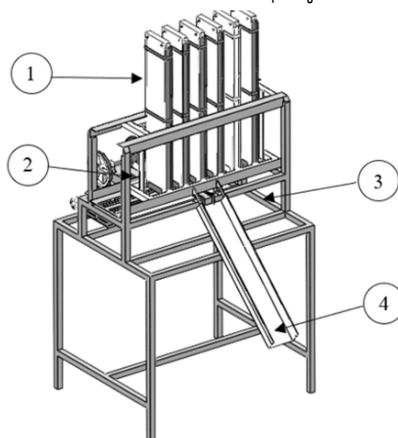


Figure 6 The biomass fuel feeder

- | | |
|------------------------------|--|
| 1) A biomass fuel container | 2) A power transmission for biomass feeding |
| 3) Biomass feeding structure | 4) A conveyor rail sending biomass to the gasifier |

การทดลองเพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอในการต้มน้ำวัดจากอุณหภูมิบนเตาชีวมวล และ อุณหภูมิน้ำ รวมถึงระยะเวลาในการเผาไหม้ของชีวมวลที่มีผลต่ออุณหภูมิน้ำ จากการวัดอุณหภูมิบริเวณ ปากเตา (บนเตา) และน้ำพบว่า เตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงเริ่มต้นประมาณ 730 ± 50 กรัม หรือประมาณ 7 ชิ้น บรรจุก่อนใส่เชื้อเพลิงของเตาชีวมวล จุดไฟและต้มน้ำ 1 ลิตร ทำการวัดอุณหภูมิบริเวณปากเตา และน้ำ โดยค่าที่ได้แสดงในภาพที่ 8 (Figure 8) ซึ่งมีอุณหภูมิของเตาสูงที่สุดที่ 624 องศาเซลเซียส ที่เวลา ประมาณ 11 นาที และทำให้น้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นที่ 13 อุณหภูมิที่บริเวณปากเตาเริ่มลดลง เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ลดลง โดยอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องจนเวลาที่ 15 อุณหภูมิน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องตามการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ลดลง



Figure 7 Feeding biomass to biomass stove

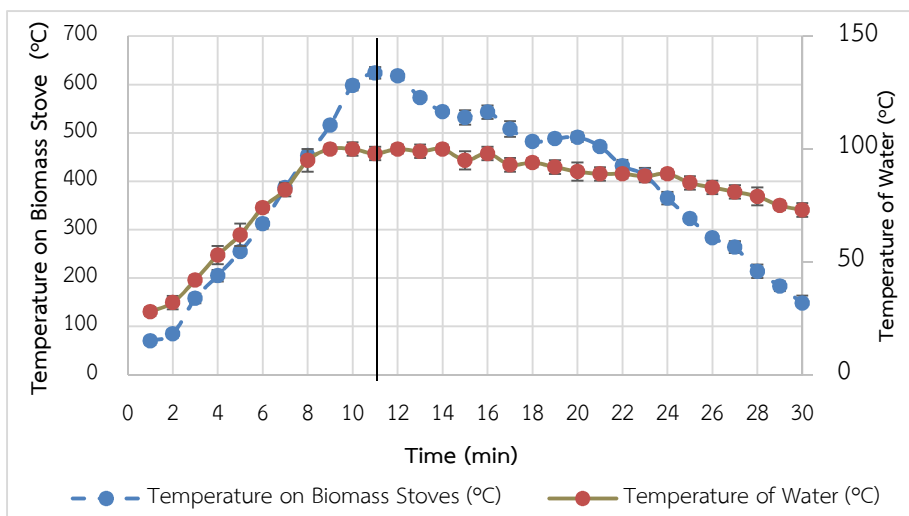


Figure 8 The relationship graph between temperature and time of the biomass stove and water on biomass 7 pieces to start burning stove

การทดลองการหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสม โดยได้เติมเชื้อเพลิงชีวมวลหลังจากที่เตาเผาไหม้ไปแล้วในนาที่ที่ 15 เติมเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 2, 4 และ 6 ชิ้นต่อนาที่ เพื่อให้สามารถรักษาระดับความร้อนและอุณหภูมิของเตาชีวมวลให้เผาไหม้อย่างต่อเนื่อง เมื่อพิจารณาจากนาที่ที่ 16 พบว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล 6 ชิ้นต่อนาที่ มีอุณหภูมิปากเตาเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดเปลวไฟที่ลุกสุมบริเวณปากเตามากเกินไป เนื่องจากมีจำนวนชิ้นชีวมวลมาก ทำให้เมื่อตม้น้ำเปลวไฟลุกสูงกว่าหม้อต้มน้ำ และมีอุณหภูมิปากเตาสูงสุดหลังการเติมเชื้อเพลิงที่ประมาณ 748 องศาเซลเซียส ในนาที่ที่ 27 และทำให้น้ำเดือดอย่างต่อเนื่อง สำหรับการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ 4 ชิ้นต่อนาที่ อุณหภูมิปากเตามีความสม่ำเสมออยู่ที่ประมาณ 600 องศาเซลเซียส และทำให้น้ำเดือดอย่างสม่ำเสมอ และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ 2 ชิ้นต่อนาที่ พบว่าอุณหภูมิปากเตาลดลงเนื่องจากมีจำนวนชีวมวลในเตาน้อย และอยู่ด้านล่างของเตาทำให้บริเวณบนเตาได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ และอุณหภูมิน้ำเริ่มลดลงตามอุณหภูมิของเตาชีวมวล ดังนั้นอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมของเตาชีวมวลขนาดเล็กคือ 4 ชิ้นต่อนาที่ โดยมีอุณหภูมิบริเวณปากเตาสม่ำเสมอ สามารถทำให้น้ำเดือดได้อย่างต่อเนื่อง และอีกทั้งความสูงของเปลวไฟที่เกิดขึ้นไม่สูงจนเกินไปไม่สิ้นเปลืองปริมาณเชื้อเพลิง จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ภาพที่ 9 (Figure 9) แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิปากเตากับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ณ เวลาต่าง ๆ และภาพที่ 10 (Figure 10) แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำที่ต้มกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ณ เวลาต่าง ๆ

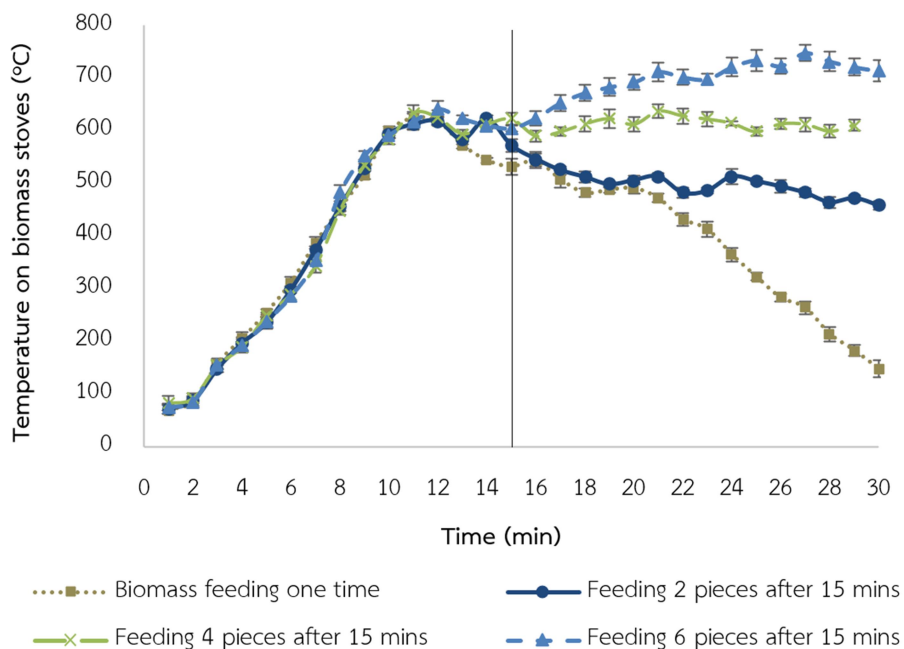


Figure 9 The relationship graph between temperature on biomass stoves and time to feeding

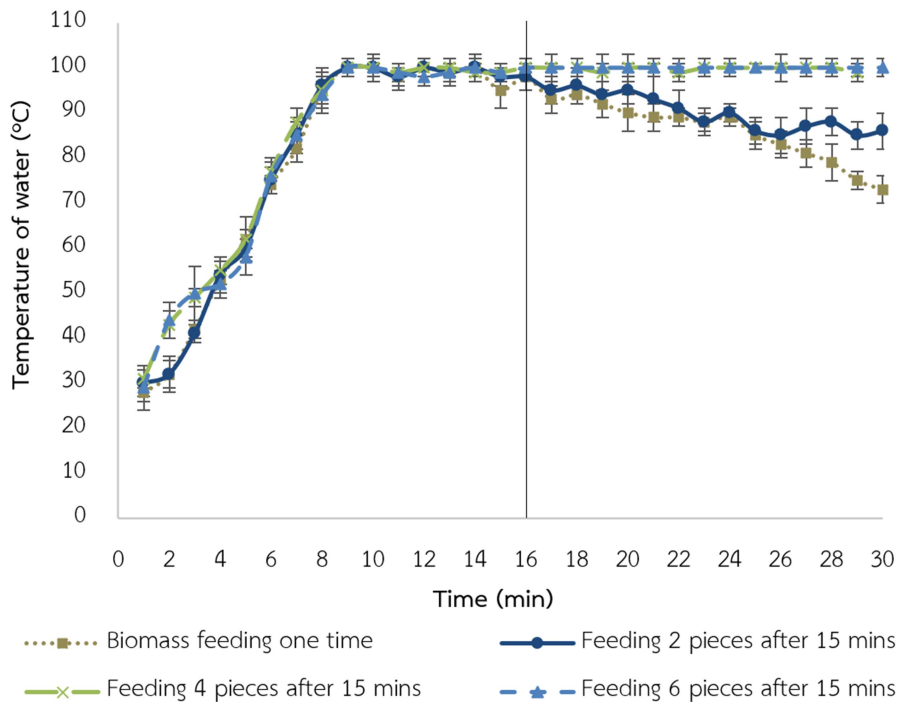


Figure 10 The relationship graph between temperature of water and time to feeding

อภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวลเพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของความร้อนของเตาชีวมวลในการใช้งานเนื่องจากการเผาไหม้ชีวมวล ถูกออกแบบและสร้างเครื่องป้อนเชื้อเพลิงซึ่งมีเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเศษไม้จากโรงเลื่อยจึงได้ออกแบบกล่องบรรจุชีวมวลและมีชุดส่งเชื้อเพลิงซึ่งมีลักษณะคล้ายชุดลูกสูบในการดันเชื้อเพลิงลงสู่เตาชีวมวล มีการออกแบบระบบส่งเชื้อเพลิงด้วยสายพานมู่เลย์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แรงดัน 12 โวลต์ เป็นตัวส่งกำลัง ซึ่งมีอัตราทดรอบของมู่เลย์คือ 3 มีอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ช่วยในการควบคุมความความถี่ในการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งโดยทั่วไปการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการเผาไหม้จะถูกปล่อยด้วยสายพาน สำหรับเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นชิ้น และปล่อยด้วยสกรู สำหรับเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นผงหรือมีขนาดเล็ก เช่น แกลบ เป็นต้น (Baruah & Baruah, 2014 ; Ghaly et al., 2013)

จากการทดสอบประสิทธิภาพความต่อเนื่องในการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลพบว่ามีประสิทธิภาพ 95.33±3 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเกิดจากกล่องบรรจุเชื้อเพลิงไม่แนบสนิทกับชุดส่งเชื้อเพลิง มีส่วนที่ขวางช่องทางลำเลียงของเชื้อเพลิงและมีความผิดระหว่างพื้นผิวกล่องกับเชื้อเพลิงทำให้เกิดการติดของแท่งเชื้อเพลิง

การทดลองเพื่อหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงในเตาชีวมวลที่เหมาะสมโดยทำการป้อนเชื้อเพลิงลงในเตาปกติและเริ่มป้อนเชื้อเพลิงจำนวน 2, 4 และ 6 ชิ้นต่อนาที ในนาที่ที่ 15 หลังจากการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล พบว่าที่อัตราการป้อน 4 ชิ้นต่อนาที มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้อัตราความร้อนสม่ำเสมอ ประหยัดเชื้อเพลิง และเปลวไฟจากการเผาไหม้เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งการป้อนเชื้อเพลิง 2 ชิ้นต่อนาทีเป็นการป้อนเชื้อเพลิงที่น้อยเกินไปทำให้น้ำไม่สามารถเดือดตลอดเวลาได้ ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของเตาที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง ทำให้อุณหภูมิด้านบนเตาได้รับความร้อนไม่ทั่วถึง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Suttiporn et al. (2012) ในด้านการให้ความร้อนของเตาชีวมวล ลักษณะทรงกระบอกแนวตั้ง สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพความต่อเนื่องในการป้อนเชื้อเพลิงที่อัตราการป้อน 4 ชิ้นต่อนาที พบว่ามีประสิทธิภาพการป้อนที่ 95.33 ± 3 เปอร์เซ็นต์ จากการป้อนเชื้อเพลิงจำนวน 6 กล่อง มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง มีความผิดพลาดอยู่ที่ 4.67 ± 3 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการติดขัดของแท่งเชื้อเพลิงกับกล่องบรรจุ โดยกล่องบรรจุเชื้อเพลิงต้องไม่มีส่วนที่ขวางทางลำเลียงของแท่งเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามการพัฒนาด้านการบรรจุเชื้อเพลิงชีวมวลยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน และยังต้องใช้แรงงานในการเปลี่ยนกล่องเชื้อเพลิงมายังชุดส่งเชื้อเพลิง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาระบบการเปลี่ยนกล่องบรรจุเชื้อเพลิงแบบอัตโนมัติและมีการแจ้งเตือนเมื่อเชื้อเพลิงหมด

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนในการป้อนเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ พบว่าจากการดำเนินการในการสร้างเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติใช้เงินลงทุน 3,604 บาท มีระยะเวลาในการคืนทุน 4 เดือน 12 วัน จากการเปรียบเทียบกับการใช้แรงงานคนราคา 300 บาท ในการป้อนเชื้อเพลิง 1 วัน หรือประมาณ 8 ชั่วโมง คิดเป็น 90,000 บาทต่อปี (300 วัน) หากใช้เครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งใช้ไฟฟ้า 3 บาทต่อวัน ทำงาน 8 ชั่วโมง คิดเป็น 900 บาทต่อปี ราคาเชื้อเพลิงไม้สับ 1 กระสอบ มีเชื้อเพลิงไม้สับประมาณ 300 ชิ้น คิดเป็น 10 บาทต่อชั่วโมง มีมูลค่า 25,200 บาทต่อปี จะเห็นว่าการใช้งานเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลแบบกึ่งอัตโนมัติมีความคุ้มค่ากับการลงทุนสามารถใช้แนวทางในการพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาชีวมวลเพื่อใช้ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการส่งเสริมให้เกิดการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพื่อแก้ปัญหาด้านต้นทุนจากการใช้ก๊าซหุงต้ม การออกแบบระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบคันชัก เข้า-ออก จากกล่องบรรจุเชื้อเพลิงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานเนื่องจากมีประสิทธิภาพการป้อนเชื้อเพลิงสูง กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมกับเตาชีวมวลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 22 เซนติเมตร สูง 53 เซนติเมตร คือ 4 ชิ้นต่อนาที ซึ่งทำให้การต้มน้ำมีการเดือดอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ปริมาณความเหมาะสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ

เครื่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลมีความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการใช้แรงงานคน และมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารขนาดเล็กที่มีการใช้เตาชีวมวลอยู่ตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ต้องขอขอบคุณทีมงานวิจัยทุกท่านที่เสียสละในการทำการทดลองเก็บข้อมูล และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Baruah D, Baruah DC. Modeling of biomass gasification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014;39:806-815.
- Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. Biomass price. Available at: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=48573&fbclid=IwAR2vOugzAM-UpvlddKR6N18X5x-vFQY1xQr_DyivZzCQHIMZy-0NZiJaB0. Accessed 18 April 2020.
- Energy Policy and Planning Office (EPPO) Ministry of Energy. Liquefied petroleum gas (LPG) price. Available at: <http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/>. Accessed 18 April 2020.
- Ghaly AE, Ergudenler A, Alsuhaibani S, Ramakrishnan V. Development and evaluation of a low-density biomass feeding system for fluidized bed gasifiers. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 2013;6(3):327-339.
- Jodnok S, Pianthong K, Dincherdchoo J. Combustion characteristics and performance of cylindrical gasifiers. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University* 2011;13(2):52-61.
- Suttiorn N, Pongpanich N, Sukcharoer A. Development of biomass stove efficiency by computational fluid dynamic. The 9th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference, 6-7 December 2012, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Amphur Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom; 2012.
- Homchampa T, Thongpanya K, Kamprain N, Kularb S, Somsila P. Study of factors affecting thermal efficiency of biomass stove for household. *RMUTI Journal Science and Technology* 2014;7(2):103-110.
- Leelaphatikul W. Development of small rice milling hybrid model for rural communities. Master's dissertation. Nakhon Pathom: Rajamangala University of Technology Rattanakosin; 2016.
- Woolcock PJ, Brown RC. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. *Biomass and Bioenergy* 2013;52:54-84.