

การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานจำเพาะของการใช้ เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือน

Comparative Analysis of Specific Cost Consumption of Utilizing Cassava Rhizome as Household Cooking Fuel

อนุรักษ์ ใจวังโลก^{1*}, นฤกร สิริมงคลกาล¹, พรชัย พรหุทัย¹, ศิริรัตน์ ศรีอินทร์¹,
เดชา โฉมงามดี², นาทยา เจริญสุข²

Anurak Jaiwanglok^{1*}, Natakron Sirimongkolgal¹, Pornchai Pornharuthai¹,
Sirirat Son-in¹, Decha Chomngamdee², Narttaya Chareonsuk²

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

¹Department of Engineering, Electrical Engineering and Automation Control System
Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdej Chaopraya Rajabhat
University

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi campus

*Corresponding author email: anurak.ja@bsru.ac.th

Received 23 Feb 2024 Revised 14 Mar 2024 Accepted 26 Mar 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกลุ่มเกษตรกรปลูกมันสำปะหลัง โดยหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีเหง้ามัน
สำปะหลังเหลือทิ้งจำนวนมาก ส่งผลก่อให้เกิดมลภาวะจากการเผาและสร้างภาวะเรือนกระจก
เพิ่มขึ้น ซึ่งเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้สามารถเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนในการ
ประกอบอาหารได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
เศรษฐศาสตร์ของเตาเชื้อเพลิง และเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานจำเพาะ โดยวิธีการต้มน้ำ
(Water Boiling Test) ซึ่งใช้เตาและเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ดังนี้ 1. เตาชีวมวล แบบมี
ลมป้อน และแบบไม่มีลมป้อน 2. เตาแบบดั้งเดิม (เตาอั้งโล่) โดยเตาทั้ง 2 ชนิดข้างต้นใช้เหง้า

มันสำปะหลังเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง 3. เตาแก๊สหุงต้ม ใช้แก๊ส LPG และ 4. เตาแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้พลังงานไฟฟ้า จากผลการวิจัยพบว่า เตาชีวมวลแบบมีลมป้อนและแบบไม่มีลมป้อน เตาแบบดั้งเดิม เตาแก๊สหุงต้ม และเตาแม่เหล็กไฟฟ้า มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน คือ 22.12% 18.49% 27.26% 37.35% และ 85.84% ตามลำดับ มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน คือ 3.03 MJ/kWh 5.63 MJ/kWh 2.50 MJ/kWh 0.62 MJ/kWh และ 0.63 MJ/kWh ตามลำดับ มีผลการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานจำเพาะของเตาชีวมวลแบบมีลมป้อนและแบบไม่มีลมป้อน เตาแบบดั้งเดิม และเตาแม่เหล็กไฟฟ้า กับเตาแก๊สหุงต้ม พบว่าสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 91.28% 89.35% 93.16% และ 31.90 % ตามลำดับ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้หม้อต้มสำปะหลังมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถช่วยต้นทุนค่าใช้จ่ายในครัวเรือน งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ต่อไป

คำสำคัญ: หม้อต้มสำปะหลัง, เตาชีวมวล, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ต้นทุนพลังงานจำเพาะ, เศรษฐศาสตร์

Abstract

Currently, cassava farmers often have a large amount of cassava rhizomes left after harvesting, leading to pollution from burning and an increase in greenhouse gases. These leftover materials can be used as fuel to generate heat energy for cooking. This research aims to analyze the thermal efficiency and economic aspects of different types of stoves using cassava rhizomes as fuel, and to compare the specific cost consumption. The Water Boiling Test method is used, which involves different types of stoves and fuels: 1. Biomass stove with and without air supply, 2. Traditional stove (charcoal stove), both of which use cassava rhizomes left over from agriculture as fuel, 3. Gas stove using LPG, and 4. Electric induction stove using electricity. The research findings show that biomass stove with and without air supply, traditional, gas, and electric induction stove have thermal efficiencies of 22.12%, 18.49%, 27.26%, 37.35%, and 85.84%, respectively. Their energy consumption rates are 3.03 MJ/kWh, 5.63 MJ/kWh, 2.50 MJ/kWh, 0.62 MJ/kWh, and 0.63 MJ/kWh, respectively. Comparing the specific cost consumption of biomass stove with and without air

supply, traditional, gas, and electric induction stove to gas stove, it was found that energy costs can be reduced by 91.28%, 89.35%, 93.16%, and 31.90%, respectively. In conclusion, using cassava rhizomes as fuel can help reduce household expenses. This research can be applied to agricultural waste materials in the future.

Keywords: Cassava Rhizomes, Biomass Stove, Thermal Efficiency, Specific Cost Consumption, Economics

1. บทนำ

ประเทศไทยในช่วงเดือน มกราคม ถึง กรกฎาคม ปี 2566 มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ 49,989 ktoe ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนจำนวน 7,761 ktoe คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 15.53 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7 จากช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อนหน้า เนื่องจากประเทศไทยได้มีการกำหนดเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2580 (AEDP2018) จากผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทน พบว่า มีการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจากพลังงานทดแทน และการใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานทดแทน ปริมาณ 2,184 ktoe, 1,202 ktoe และ 4,375 ktoe ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าการใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานทดแทนนั้น มีการใช้พลังงานจากชีวมวลถึง 7.77% ซึ่งมากที่สุดของการใช้พลังงานจากแหล่งอื่นๆ คือ พลังงานก๊าซชีวภาพ ขยะ และพลังงาน

แสงอาทิตย์ คิดเป็น 0.80%, 0.17% และ 0.01% ตามลำดับ (รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-กรกฎาคม 2566, 2566)

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทยนั้น เกิดจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ ซึ่งมีหลากหลายชนิด ดังเช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มีศักยภาพและมีปริมาณที่มากพอที่จะสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ และไม่สร้างสภาวะเรือนกระจกจากปฏิกิริยาชีวมวลพบว่าการปลูกและเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังใช้ระยะเวลาการให้ผลผลิตประมาณ 8-13 เดือน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ปลูกซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราการขยายตัวร้อยละ 13.39 (คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล, 2554) ด้วยเหตุนี้จึงมีเหง้ามันสำปะหลังจำนวนมากที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เกษตรกรรอการไถกลบ หรือเผาทิ้ง ในรอบการปลูกครั้งต่อไป

มีงานวิจัยและการทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะเตาชีวมวลเมื่อใช้ขี้ขี้วัวโพดเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่ามีต้นทุนเฉลี่ยในการผลิตความร้อนต่ำกว่าการใช้แก๊สหุงต้ม (ธนชาติ มหาวัน และคณะ, 2559) อีกทั้งยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตโปรตีนเคอร์แกนจากเตาชีวมวลโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง โดยมีการควบคุมลมของเตาทำให้มีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม (วรารักษ์ ทูมชาติ, 2557) และการศึกษาเตาหุงต้มเชื้อเพลิงแกลบสำหรับครัวเรือนที่สามารถประหยัดเชื้อเพลิงกว่าแก๊สหุงต้ม (อนุรักษ์ หอสูงเนิน และยศววัฒน์ ทันทวงษา, 2554) เพื่อต้องการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นพลังงานความร้อนสำหรับเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มสำหรับครัวเรือน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ใช้เห้งามันสำปะหลังที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการต้มน้ำในการประกอบอาหารกับเตาชีวมวลที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาดเทียบกับการใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า และเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการลดค่าใช้จ่ายของแต่ละ

ครัวเรือนในชุมชน และเป็นการส่งเสริมให้ชุมชนใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพิ่มมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

2.2 เพื่อหาต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เตาแก๊สหุงต้ม เตาแบบดั้งเดิม และเตาชีวมวล

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 เตาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด แสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย 1. เตาแบบดั้งเดิมหรือเตาอังโล่ที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไปใช้อากาศตามธรรมชาติช่วยในการเผาไหม้ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 cm สูง 25 cm ที่มีวัสดุทำจากดินเผา ส่วนฝาเตาหุ้มสังกะสีพ่นสีดำ 2. เตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น ที่สามารถปรับช่องอากาศเพื่อควบคุมการเผาไหม้ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.5 cm สูง 28 cm ที่มีวัสดุทำจากเหล็กเป็นส่วนประกอบหลัก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) เตาแบบดั้งเดิมหรือเตาอั้งโล่ (ข) เตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น

3.2 เตาแม่เหล็กไฟฟ้า (Induction Cooker) ที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำจากขดลวด เมื่อได้รับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจนทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุโดยตรง (จิระศักดิ์ วงศา และคณะ, 2557) มีขนาดพิกัด 2,000 W (กำลังไฟฟ้าสูงสุด) โมเดล ETD29KC

3.3 เตาแก๊ส 2 หัวชนิดตั้งโต๊ะ เชื่อมต่อกับเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มขนาด 15 kg ด้วยท่อनाแก๊สหลักและวาล์วควบคุมแก๊สเข้าหัวเตา

3.4 อุปกรณ์ป้อนอากาศเข้าสู่โซนเผาไหม้ของเตาชีวมวล โดยใช้เครื่องป้อนอากาศ โมเดล CXB9733B12H ขนาด 3.3 cm กำลังไฟฟ้า 15 W ความเร็ว 5,500 rpm (ปรับความเร็วรอบได้)

3.5 เหน้้ำมันสำปะหลัง เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลังจากการเก็บเกี่ยว เน้น้ำมันสำปะหลัง องค์ประกอบของเน้น้ำมันสำปะหลัง ประกอบไปด้วย ยอดใบ ลำต้น เหน้ และหัว โดยส่วนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ คือ หัว และลำต้น ส่วนเหน้ และยอดใบที่เหลือจะกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้ง แสดงดังตารางที่ 1 ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้เหน้้ำมันสำปะหลัง ดังภาพที่ 2 ที่มีสัดส่วนการเหลือทิ้งเปล่าประโยชน์ร้อยละ 99.7 เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน (โครงการศึกษา ออกแบบโรงไฟฟ้าสาธิตจากเหน้้ำมันสำปะหลังรายงานฉบับสุดท้าย (Final Report), 2549)



ภาพที่ 2 เหน้้ำมันสำปะหลังใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของน้ำมันสำหรับ

รายละเอียด	องค์ประกอบ			
	ยอดใบ	ลำต้น	เห้ง้า	หัว
ปริมาณต่อไร่ (ต่อ/ไร่)	0.166	0.334	0.229	2.290
สัดส่วนองค์ประกอบของน้ำมันสำหรับ (%)	5.5	11.1	7.6	75.8
สัดส่วนการใช้ประโยชน์ (%)	0	29.9	0.3	100
สัดส่วนการเหลือทิ้งเปล่าประโยชน์ (%)	100	70.1	99.7	0

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

3.6 การวิเคราะห์สมรรถนะของเตาเชื้อเพลิงในการทดลองนี้ประกอบด้วย การคำนวณหาความต้องการพลังงานในการต้มน้ำ ค่าประสิทธิภาพเตาเชื้อเพลิง ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ค่าดัชนีต้นทุนการใช้พลังงานจำเพาะ ค่าอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางปฏิบัติ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ความต้องการพลังงานในการต้มน้ำ Q_b สามารถคำนวณหาพลังงานใช้งานในการต้มน้ำร้อนได้ (ธนชาติ มหาวัน, 2560) ดังสมการที่ 1

$$Q_b = \frac{m_w \times ES}{t_w} \quad (1)$$

โดยที่ m_w คือ มวลของน้ำสำหรับในการต้มน้ำ (kg), ES คือ อัตราพลังงานจำเพาะของน้ำ (kJ/kg) และ เมื่อ t_w คือ ระยะเวลาในการต้มน้ำ (s)

ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาเชื้อเพลิงจะใช้วิธีการทดสอบโดยวิธีการต้มน้ำ

เป็นหลัก (Water Boiling Test) ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการต้มน้ำที่อุณหภูมิตั้งต้นจนเดือดต่อพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเชื้อเพลิง (η) (ธนชาติ มหาวัน และคณะ, 2559) ดังสมการที่ 2 โดยที่ Q_{use} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (kJ) และ Q_{fuel} คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (kJ)

$$\eta = \frac{Q_{use}}{Q_{fuel}} \quad (2)$$

ปริมาณ ความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ Q_{use} หาได้จากพลังงานความร้อนในการต้มน้ำ ดังสมการที่ 3

$$Q_{use} = [m_1 \times C_p \times (T_2 - T_1)] + [m_2 \times h_{fg}] \quad (3)$$

เมื่อ m_1 คือ มวลน้ำเริ่มต้น (kg), m_2 คือ มวลน้ำที่ระเหย (kg), T_1 คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น

(°C), T_2 คือ อุณหภูมิน้ำเดือด (°C), C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg. °C และ h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ 2,257 kJ/kg

ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง Q_{fuel} หาได้จากพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ ดังสมการที่ 4

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times LHV \quad (4)$$

เมื่อ m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg) และ LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อน (Specific Energy Consumption; SEC) สำหรับในการทดลองนี้ใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อน ในการคำนวณ ดังสมการที่ 5 (วิลาวัลย์ คุ่มเหม, 2562)

$$SEC = \frac{Q_{fuel}}{Q_{use}} \quad (5)$$

ค่าดัชนีต้นทุนการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Cost Consumption; SCC) คือ ค่าดัชนีต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานต่อปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ ดังสมการที่ 6 ซึ่งเป็นการคำนวณ ต้นทุนค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองต่อการต้มน้ำปริมาณ 10 L

$$SCC = \frac{EC}{Q_{use}} \quad (6)$$

เมื่อ EC คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งหน่วยที่ใช้คือสกุลเงินต่างๆ (ได้จากผลรวมของต้นทุนค่าใช้จ่ายคูณกับพลังงานที่ใช้)

การคำนวณหาอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางปฏิบัติ A / F_{actual} เพื่อทำให้เกิดกระบวนการสันดาปของเชื้อเพลิง (วิลาวัลย์ คุ่มเหม, 2562) สามารถหาได้จากสมการที่ 7 ดังนี้

$$A / F_{actual} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{\rho_{air} \times A \times V_{air}}{m_{fuel}} \quad (7)$$

เมื่อ ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.2 kg/m³, A คือ พื้นที่ช่องอากาศไหลผ่าน (m²) และ V_{air} คือ ความเร็วลมที่วัดจากพื้นที่ช่องอากาศ (m/s)

3.7 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง ครั้งนี้ประกอบด้วย 1. เครื่องวัดความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น (KIMO โมเดล VT210) 2. เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (UNI-T โมเดล UT303C) 3. เครื่องวัดไฟฟ้า (CHAUVIN ARNOUX โมเดล C.A 8220) 4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตั้งโต๊ะ (CST โมเดล CDR-3)

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยในการทดลองนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1.การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความ

ร้อนของเตาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือ เตามะเหล็กไฟฟ้า เตาก๊าซ เตาแบบดั้งเดิม และเตาชีวมวล ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงของแต่ละเตาเชื้อเพลิงคือ ไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม และเห้งน้ำมันสำหรับหลัง ตามลำดับ โดยการต้มน้ำปริมาณ 10 L ที่บรรจุอยู่ในถังสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm สูง 26 cm ดังภาพที่ 3 อีกทั้งในการทดลองนี้ยังมีการบันทึกค่าการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงเห้งน้ำมันสำหรับหลังสับ 2-3 cm และก๊าซหุงต้ม ก่อน-

หลังการทดลอง บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิเตา อุณหภูมิแวดล้อม (Susastriawan A.A.P., et al., 2021) และความเร็วลม (วัดความเร็วลมดูดของเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อน ส่วนเตาชีวมวลแบบมีลมป้อนปรับความเร็วลมที่ 12.5 m³/h) ทุกๆ 5 นาที 2. การคำนวณค่าดัชนีต้นทุนการใช้พลังงานจำเพาะหรือคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการต้มน้ำ



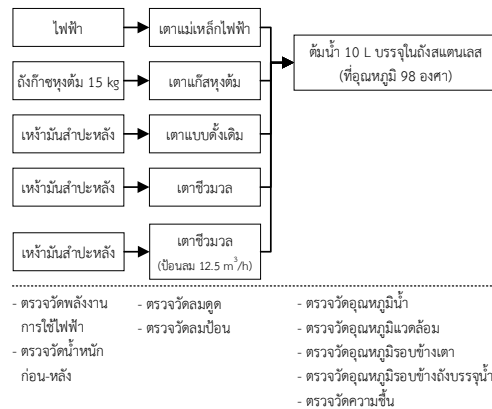
ภาพที่ 3 ภาพขณะบรรจุน้ำปริมาณ 10 L

จากขั้นตอนหลักในการทดลองข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังภาพที่ 4

5. ผลการทดลอง

5.1 อุณหภูมิการเดือดของน้ำ จากการทดลองการต้มน้ำจนถึงอุณหภูมิประมาณ

98 °C ของเตาเชื้อเพลิงแต่ละชนิดดัง ภาพที่ 5 พบว่าเตามะเหล็กไฟฟ้า และเตาก๊าซหุงต้ม มีอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบคงที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงจนถึงจุดเดือดของน้ำโดยใช้เวลา 25 นาที



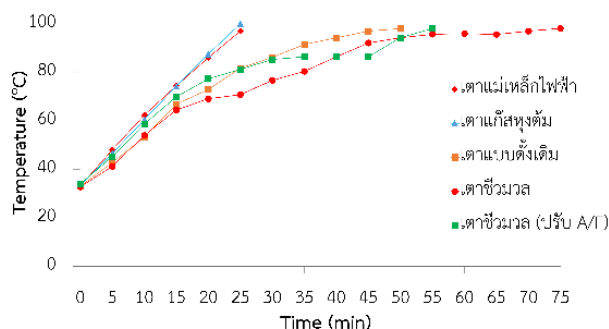
ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ในส่วนเตาแบบดั้งเดิมและเตาชีว
มวลแบบมีลมป้อน แบบไม่มีลมป้อน ใช้เวลา
ถึงจุดเดือดของน้ำ 50 นาที 55 นาที และ 75
นาที ตามลำดับ

ซึ่งเตาชีวมวลแบบมีลมป้อน และแบบไม่มีลมป้อนได้มีการเติมเชื้อเพลิงแห้งมันสำปะหลังเพิ่มเมื่ออุณหภูมิของน้ำเริ่มมีแนวโน้มลดลงในช่วงนาปีที่ 25 และ 35 ตามลำดับ

5.2 ประสิทธิภาพเตาเชื้อเพลิง จาก

เตาเชื้อเพลิงแต่ละชนิด พบว่าเตาแม่เหล็กไฟฟ้ามีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 85.84% ถัดมาเป็นเตาแก๊สหุงต้มซึ่งมีประสิทธิภาพความร้อน 37.35% ส่วนเตาแบบดั้งเดิม และเตาชีวมวลทั้งที่มีลมป้อนและไม่มีลมป้อน พบว่ามีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วง 18.49-27.26% (สุปราณี วุ่นศรี และคณะ, 2564) (Francis Obi O., et al., 2016) และ (อนุรักษ หอสูงเนิน และยศวัฒน์ ทันวงษา, 2554)

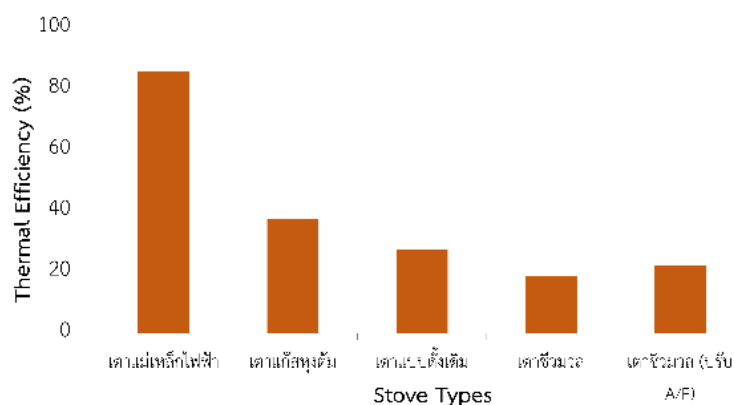


ภาพที่ 5 อุณหภูมิของน้ำ

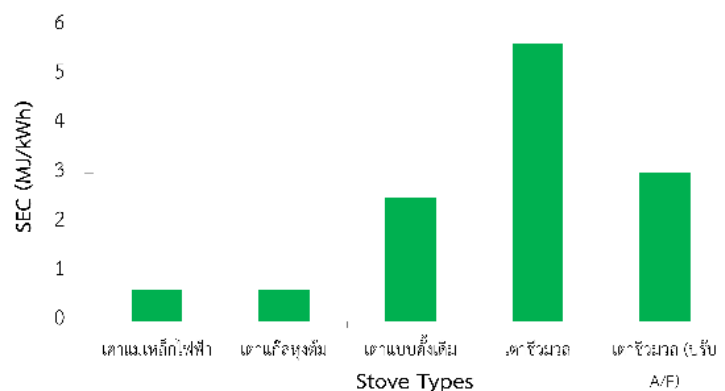
อีกทั้งเตาชีวมวลแบบที่มีลมป้อนมีประสิทธิภาพความร้อน 22.12% สูงกว่าเตาชีวมวลแบบที่ไม่มีลมป้อน 3.63%

5.3 ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ
ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อนในการทดลองนี้แสดงในภาพที่ 7 การใช้พลังงานความร้อนต่อหน่วยการผลิต พบว่าเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อนมีการใช้พลังงานความร้อน

ต่อหน่วยการผลิตมากที่สุดที่ 5.63 MJ/kWh ซึ่งมากกว่าเตาชีวมวลแบบมีลมป้อนและเตาแบบดั้งเดิมที่ 2.6 MJ/kWh และ 3.13 MJ/kWh ตามลำดับส่วนเตาแม่เหล็กไฟฟ้าและเตาแก๊สหุงต้มมีการใช้พลังงานความร้อนน้อยที่สุดที่ใกล้เคียงกันคือ 0.63 MJ/kWh และ 0.62 MJ/kWh ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพความร้อนเตาเชื้อเพลิงแต่ละชนิด



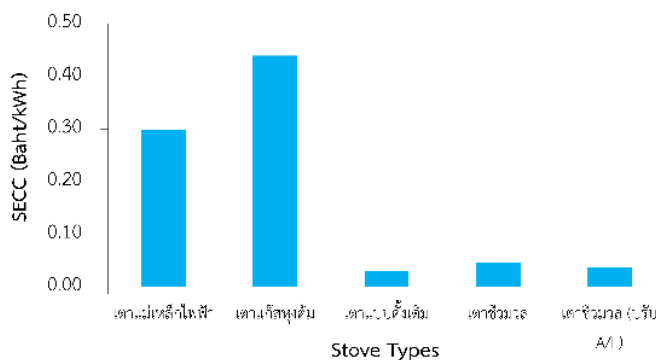
ภาพที่ 7 การใช้พลังงานความร้อน

5.4 ดัชนีต้นทุนการใช้พลังงาน
จำเพาะ จากภาพที่ 8 ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อน พบว่าการใช้พลังงานความร้อนของเตาแบบดั้งเดิม เตาชีวมวลแบบมีลมป้อน และแบบไม่มีลมป้อน มีค่าใกล้เคียงกันช่วง 0.03-0.05 Baht/kWh ซึ่งเตาชีวมวลแบบมีลมป้อนมีต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนที่ 0.04 Baht/kWh ซึ่งอยู่ระหว่างต้นทุนการใช้พลังงานของเตาชีวมวลแบบดั้งเดิมกับเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อน เมื่อราคาของเหง้ามันสำปะหลัง คือ 0.5 Baht/kg ส่วนเตาแม่เหล็กไฟฟ้ามีต้นทุนการใช้พลังงานความร้อน 0.30 Baht/kWh เมื่อราคาค่าไฟฟ้าคือ 4.00 Baht/kWh ส่วนเตาแก๊สหุงต้มมีต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนสูงสุด 0.44 Baht/kWh เมื่อราคาค่าแก๊สหุงต้มคือ 29.33 Baht/kg อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบผลการประหยัดของการใช้พลังงานความร้อนกับการใช้เตาแก๊สหุงต้ม แสดงดังภาพที่ 9 ยังพบว่าเตาแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถประหยัดการใช้พลังงานความร้อน 31.90% ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับผลการประหยัดของการใช้พลังงาน

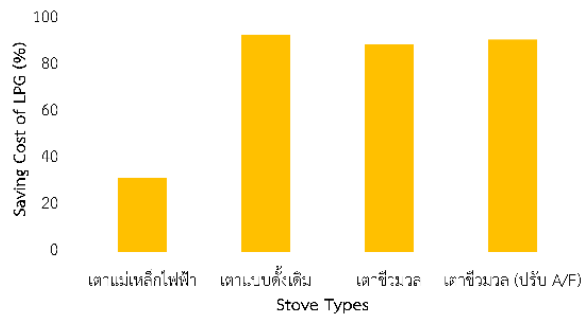
ความร้อนของเตาแบบดั้งเดิม เตาชีวมวลแบบมีลมป้อนและแบบไม่มีลมป้อน ในช่วง 89.35-93.16% เมื่อเตาชีวมวลแบบมีลมป้อนมีผลการประหยัดการใช้พลังงานความร้อนเทียบกับการใช้เตาแก๊สหุงต้ม 91.28% ซึ่งมากกว่าเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อน 1.93% น้อยกว่าเตาแบบดั้งเดิม 1.88%

6. สรุปผลการศึกษา

1. ระยะเวลาในการต้มน้ำปริมาณ 10 L ที่อุณหภูมิ 98 °C การใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงในเตาชีวมวล และเตาแบบดั้งเดิม ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำช้ากว่าการใช้แก๊ส LPG และการไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง จึงใช้ระยะเวลาในการต้มนานกว่า โดยเตาแก๊สหุงต้มและเตาแม่เหล็กไฟฟ้าใช้เวลาน้อยที่สุดภายใน 25 นาที ลำดับถัดมาเตาชีวมวลแบบมีการบังคับลมป้อน เตาแบบดั้งเดิมใช้ระยะเวลา 55 และ 50 นาที ตามลำดับ สุดท้ายในส่วนเตาชีวมวลแบบไม่มีการบังคับลมป้อนใช้ระยะเวลาสูงสุด 75 นาที



ภาพที่ 8 ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อน



ภาพที่ 9 ผลประหยัดการใช้พลังงานความร้อนเทียบกับการใช้เตาแก๊สหุงต้ม

2. เตาชีวมวลกรณีแบบมีการบังคับลมป้อนที่ใช้เห้้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพความร้อน 22.12% มากกว่าเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อน 3.64% แต่น้อยกว่าเตาแบบดั้งเดิม 5.14% อย่างไรก็ตามเตาแม่เหล็กไฟฟ้ามีประสิทธิภาพความร้อนสูงที่สุดในการทดลองคือ 85.84% และเตาแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพความร้อน 37.35%

3. ต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานของเตาชีวมวลกรณีแบบมีการบังคับลมป้อนโดยใช้เห้้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงคือ 0.04 Baht/kWh ซึ่งน้อยกว่ากรณีแบบไม่มีการบังคับลมป้อน 0.01 Baht/kWh แต่มากกว่าเตาแบบดั้งเดิม 0.01 Baht/kWh เช่นเดียวกัน อีกทั้งยังมีต้นทุนน้อยกว่าเตาแก๊สหุงต้มและเตาแม่เหล็กไฟฟ้าถึง 0.40 Baht/kWh และ 0.26 Baht/kWh ตามลำดับ

4. ผลประหยัดการใช้พลังงานความร้อนเทียบกับการใช้เตาแก๊สหุงต้ม เมื่อใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า เตาชีวมวลแบบดั้งเดิม เตาชีวมวลกรณีแบบมีการบังคับลมป้อนและไม่มีลมป้อน มีผล ประหยัด 31.91% 93.16%

91.28% และ 89.35% ตามลำดับ ดังนั้นเตาเชื้อเพลิงที่ใช้เห้้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงจะมีผลประหยัดการใช้พลังงานความร้อนเทียบกับการใช้เตาแก๊สหุงต้มมากที่สุด

7. อภิปรายผล

ในประเด็นการศึกษาการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานจำเพาะของการใช้เห้้ำมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เตาแก๊สหุงต้ม เตาแบบดั้งเดิม และเตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อน และมีลมป้อน ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าและเตาแก๊สหุงต้มสูงกว่าเตาแบบดั้งเดิม เตาชีวมวลแบบไม่มีลมป้อนและมีลมป้อน ในการต้มน้ำปริมาณ 10 L ที่อุณหภูมิ 98 °C อย่างไรก็ตามเตาเชื้อเพลิงที่ใช้มันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงมีความสอดคล้องของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบดั้งเดิมที่ใกล้เคียง

กัน (สุปราณี วุ่นศรี และคณะ, 2564) และเตาชีวมวลแบบมีลมป้อน (อนุรักษ หอสูงเนิน และยศวินทร์ ทันวงษา, 2554) ส่วนต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตจะเห็นว่าเตาเชื้อเพลิงที่ใช้มันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาสมรรถนะเตาชีวมวล (พลชัย ขาวนวล, 2563) และมีต้นทุนเฉลี่ยในการผลิตความร้อนต่ำกว่าการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง (ธนชาติ มหาวัน และคณะ, 2559) เนื่องจากเหง้ามันสำปะหลังเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีราคาขายต่อกิโลกรัมค่อนข้างต่ำ หรือไม่มีค่าใช้จ่ายถ้าเป็นเกษตรกรที่ปลูกมันสำปะหลัง

8. ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนของเตาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ แสดงให้เห็นว่าทั้งเตาแบบดั้งเดิม เตาชีวมวลแบบมีลมป้อน และแบบไม่มีลมป้อนที่ใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงมีต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามถ้ามีการศึกษาในส่วนของการเพิ่มฉนวนกันความร้อนให้กับเตาชีวมวล (Suresh R., et al., 2016) ที่หาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด เพิ่มช่องอากาศภายในเตาชีวมวล (Arkbom H., et al., 2022) และพัฒนาออกแบบการเติมเชื้อเพลิง (Susastriawan A.A.P., et al., 2021) เป็นไปได้ว่าจะส่งผลให้เวลาในการต้มน้ำใช้ระยะเวลาที่สั้นลง อีกทั้งยังอาจจะเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ (พลชัย ขาวนวล, 2563)

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ การสนับสนุน “คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา” และ “สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ” ที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือวัดและสถานที่ในการทดลอง ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

- คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล. (2554). กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- โครงการศึกษาออกแบบโรงไฟฟ้าสาธิตจากเหง้ามันสำปะหลังรายงานฉบับสุดท้าย (Final Report). (2549). กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- จิระศักดิ์ วงศา, จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว และวันชัย ทรัพย์สิงห์. (2557). นวัตกรรมการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี, ปีที่ 8 (ฉบับที่ 17), 111-117.
- ธนชาติ มหาวัน. (2560). การพัฒนาเตาก๊าซชีวมวลไร้ควันสำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์.

- (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้).
- ธนชาติ มหาวัน, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, กิตติกร สาสุจิตต์ และนิกราน หอมดวง. (2559). สมรรถนะเตาชีวมวลไร้ควันเมื่อใช้ขี้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, 626-631.
- พลชัย ขาวนวล, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์ และสุนารี บดีพงศ์. (2563). การพัฒนาสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD ระดับครัวเรือน. วารสารวิจัย มทร. กรุงเทพฯ, ปีที่ 14 (ฉบับที่ 1), 52-62.
- รายงานสถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-กรกฎาคม 2566. (2566). กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- วรภรณ์ ทุมชาติ. (2557). การผลิตโปรติวเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้ แกลบ เป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 7 (ฉบับที่ 1), 26-39.
- วิลาวลัย คุ่มเหม. (2562). การเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลชนิดป้อนเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องสำหรับวิสาหกิจแปรรูปอาหาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้).
- สุปราณี วุ่นศรี, นพดล โพชกำเนิด และภาณุณีย์ สามพิมพ์. (2564). การพัฒนาเตาชีวมวลประหยัดพลังงานสำหรับแปรรูปขนมซึ่งน้ำค้างของชุมชนตำบลบางเหริ่ง อำเภอกวนเนียง จังหวัดสงขลา. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, ปีที่ 12 (ฉบับที่ 1), 66-76.
- อนุรักษ์ หอสูงเนิน, และยศวินทร์ ทันวงษา. (2554). เตาหุงต้มเชื้อเพลิงแกลบสำหรับครัวเรือน. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2554, 574-578.
- Arkbom, H. (2022). Development and performance analysis of top lit updraft: natural draft gasifier stoves with various feed stocks, Heliyon. Vol. 8(1), 1-16.
- Francis, Obi O. Sunday, Louis E. and Ifeanyichukwu, Christian O. (2016). Energetic performance of a top-lit updraft (TLUD) cookstove. Renewable Energy. Vol. 99, 730-737.
- Suresh, R. Singh, V.K. Malik, J.K. Datta, A. and Pal, R.C. (2016). Evaluation of the performance of improved biomass cooking stoves with different solid biomass fuel types. Journal of

Biomass and Bioenergy. Vol. 95,
27-34.

Susastriawan, A.A.P. Purwanto, Y.
Sidharta, B.W. Wahyu, G. Trisna,
T. and Setiawan, R.A. (2021).

Producer gas stove: Design,
fabrication, and evaluation of
thermal performance. Journal of
King Saud University –
Engineering Sciences. 1-8.