

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟ

The Study of Thermal Efficiency of hot-pot

อาทิตย์ คำต่าย^{1*} กรณ์ปภพ รัตนวิจิตร¹ เลอศักดิ์ นาครินทร์²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอมะนัง จังหวัดจันทบุรี 22000

²บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) อ.เมือง จังหวัดระยอง 21150

Artit Kamtai ^{1*} Kornpaphop Ruttanawijit¹ Lursukd Nakharintr ²

¹Department of Energy Technology, Faculty of Industrial Technology,

Rambhai Barni Rajabhat University, Aumpher Muang, Chanthaburi Province, 22000

²PTT Global Chemical Public Company Limited, Aumpher Muang, Rayong Province, 21150

*Corresponding author Email: artit.k@rbru.ac.th

(Received: January 22, 2024; Revised: June 7, 2024 ; Accepted: July 30, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟซึ่งเป็นอุปกรณ์ในครัวเรือนสำหรับประกอบอาหารและใช้กันแพร่หลายมาอย่างยาวนาน การศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้หม้อไฟเบอร์ 22 ที่มีลักษณะรูปร่างและขนาดของช่องอากาศแตกต่างกัน 3 แบบที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปทำการทดลองโดยวิธีการต้มน้ำ Water Boiling Test (WBT) ใช้แอลกอฮอล์แข็งเป็นเชื้อเพลิง ผลจากการทดลองพบว่าหม้อไฟแบบที่ 1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องอากาศโดยรวม 36.41 cm^2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 40.22%, หม้อไฟแบบที่ 2 ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องอากาศโดยรวม 27.43 cm^2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35.28% และหม้อไฟแบบที่ 3 ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องอากาศโดยรวม 35.61 cm^2 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30.50% โดยผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปร่างและขนาดของช่องทางการไหลของอากาศที่แตกต่างกันนั้นเป็นปัจจัยส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแตกต่างกันอย่างมีนัยยะ

คำสำคัญ: หม้อไฟ, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, วิธีการต้มน้ำ

ABSTRACT

This study is a thermal study of a hot pot, a household equipment for cooking and widely used for a long time. This research study used a size 22 hot pot with 3 different shapes and sizes of air flow that can be commonly seen. Experiments were conducted using the Water Boiling Test (WBT) method, using solid alcohol as fuel. It was found that type 1 hot pot has an overall air flow cross-sectional area of 36.41 cm^2 with maximum average thermal efficiency of 40.22%, type 2 hot pot has an overall air flow cross-sectional area of 27.43 cm^2 with maximum average thermal efficiency of 35.28% and type 3 hot pot has an overall air flow cross-sectional area of 35.61 cm^2 with maximum

average thermal efficiency of 30.50%, respectively. This research study shows that the different shapes and sizes of the air flow cross-sectional area are factors that cause significant differences in thermal efficiency.

Keyword: Hot pot, thermal efficiency, water boiling test.

1. บทนำ

หม้อไฟเป็นอุปกรณ์ในครัวเรือนที่ใช้กันแพร่หลายมาอย่างยาวนานในวิถีชีวิตของคนไทยสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามโรงแรมภัตตาคารหรือในงานเลี้ยงสังสรรค์เป็นวัฒนธรรมที่สืบทอดมาจากประเทศจีน โดยหม้อไฟเป็นเทคนิควิธีการปรุงอาหารแบบของชาวจีนประกอบด้วยการปรุงและต้มน้ำซุบให้เดือดภายในหม้อ ใส่ส่วนผสมและวัตถุดิบอื่นๆ เช่น เนื้อสัตว์ และผักชนิดต่างๆ ลงไปต้มให้สุกในน้ำซุบหรืออาจจะเป็นลักษณะของการลวก แล้วกินไปพร้อมในขณะการปรุงอาหาร[1,2] โดยลักษณะของหม้อไฟนั้นเปรียบเสมือนกับเตาไฟที่เชื่อมติดกับหม้อด้านบนเพื่อต้มและใส่วัตถุดิบโดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในยุคเริ่มต้นการใช้งานอาจเป็นจากชีวมวลในการให้ความร้อน

แต่ในยุคปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน และอีกทั้งยังพัฒนาไปจนถึงการใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้าสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามภัตตาคารโรงแรมหรือร้านอาหาร สุกี้ ในขณะที่หม้อไฟที่ใช้พลังงานความร้อนจากชีวมวลหรือแอลกอฮอล์แข็งนั้นที่พบเห็นและใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบันมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต แต่จะมีขนาดการเรียกของหม้อไฟนั้นแยกตามเบอร์ที่ต้องการใช้และเนื่องจากมีลักษณะการใช้งานคล้ายเตาไฟ แต่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะช่องทางของอากาศเข้าออกห้องเผาไหม้ และมีการใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเหมือนกัน ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยในกรณีที่รูปร่างและขนาดช่องอากาศที่มีลักษณะแตกต่างกัน จากการทบทวนวรรณกรรมที่

เกี่ยวข้อง พบว่าการศึกษาวิจัยในหัวข้อของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟยังไม่มีเผยแพร่

คณะวิจัยมีแนวทางในทดลองหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในลักษณะแบบ Water Boiling Test (WBT) [3,4,5,6] เพื่อเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุงต่อยอดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยใช้พลังงานที่มีอยู่ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด [7,8]

2. วัสดุและอุปกรณ์

2.1 หม้อไฟ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้หม้อไฟเบอร์ 22 ตามชื่อที่เรียกใช้งานลักษณะมีปล่องตรงกลางและวางขายตามท้องตลาดทั่วไปสามารถพบได้ 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของหม้อไฟ

จากตารางที่ 1 ลักษณะช่องอากาศของหม้อไฟเบอร์ 22 ตามการเรียกใช้งาน แบบที่ 1 มีช่องอากาศหลัก 1 ช่อง ช่องอากาศช่วย 2 ช่อง มีพื้นที่หน้าตัด 32.69 cm^2 และ 1.88 cm^2 โดยมีพื้นที่หน้าตัดปากปล่อง 16.83 cm^2 และมีขนาดห้องเผาไหม้ 765.13 cm^3 แบบที่ 2 มีช่องอากาศหลัก 1 ช่อง ช่องอากาศช่วย 2 ช่อง มีพื้นที่หน้าตัด 19.69 cm^2 และ 3.87 cm^2 โดยมีพื้นที่หน้าตัดปากปล่อง 16.51 cm^2 และมีขนาดห้องเผาไหม้ 639.75 cm^3 แบบที่ 3 มีช่องอากาศหลัก 1 ช่อง ช่องอากาศช่วย 3 ช่อง มี

พื้นที่หน้าตัด 26.79 cm^2 และ 2.94 cm^2 โดยมีพื้นที่หน้าตัดปากปล่อง 19.55 cm^2 และมีขนาดห้องเผาไหม้ 689.53 cm^3

เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [10] ไม่น้อยกว่า 4800 kcal/kg ในการให้ความร้อน แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ลักษณะของช่องอากาศ

Type	ลักษณะของช่องอากาศ	
	ช่องอากาศหลัก	ช่องอากาศช่วย
1		
2		
3		

2.2 ห้องทดลอง

ห้องทดลองเนื่องจากในกระบวนการทดลองนั้นต้องป้องกันกระแสลมและอุณหภูมิสภาพแวดล้อมมารบกวน โดยทำการสร้างห้องทดลองรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายในติดตั้งด้วยฉนวนกันความร้อนและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องขณะทำการทดลองได้ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ห้องทดลอง

2.3 แอลกอฮอล์แข็ง

ในการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำจะใช้แอลกอฮอล์แข็งเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนโดยมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งเจลและคุณสมบัติสามารถจุดติดไฟทันที ไม่แสบตา ไม่มีความร้อนและไม่มีการไหม้ขณะเผาไหม้ ปราศจากสิ่งเป็นพิษจึงไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ สะดวกต่อการใช้สอย และยังเป็นที่ยอมรับใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาไม่แพง โดยมีค่าความร้อน



รูปที่ 3 เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง

2.4 อุปกรณ์บันทึกผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ Data Logger AI210 โดยเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณ Analog Input ได้ 8 ช่อง, Digital Input 4 ช่อง และควบคุม Digital Output ได้ 4 ช่อง โดยสามารถโปรแกรม Analog Input ให้ใช้ร่วมกับ Sensor หลายชนิด เช่น Thermocouple, RTD หรือ Voltage ในการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.2\%$ ใช้งานต่อร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและคอมพิวเตอร์โดยผ่านโปรแกรม OD04 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์บันทึกผล Data Logger

2.5 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในและอุณหภูมิภายในห้องทดลองนั้นเลือกใช้สายเทอร์โมคัปเปิล Type K เป็นเซ็นเซอร์ผลิตจากโลหะ Nickel Alumel และ Nickel Chromium มีความแม่นยำสูง ตอบสนองรวดเร็ว เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย และมีช่วงการวัดอุณหภูมิที่กว้าง เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิด้านสูง

มีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -40°C ถึง $+1000^{\circ}\text{C}$ มีความคลาดเคลื่อน $\pm 1.5\%$ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

2.5 เครื่องชั่งดิจิทัล

ในการทดลองจะใช้เครื่องชั่งดิจิทัลเพื่อให้สะดวกในการอ่านค่าเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของน้ำและเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งซึ่งสามารถแสดงหน่วยวัดต่าง ๆ ได้เช่น กรัม (g) ออนซ์ (oz) ปอนด์ (lb) กิโลกรัม (Kg) กะรัต (ct) การใช้เครื่องชั่งจะช่วยให้การวัดปริมาณน้ำหนักได้อย่างละเอียดแม่นยำและรวดเร็ว โดยเครื่องชั่งดิจิทัลที่นำมาใช้งานมีช่วงการวัด 0.1g ถึง 1000g และมีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.03\text{g}$ แสดงดังรูปที่ 6

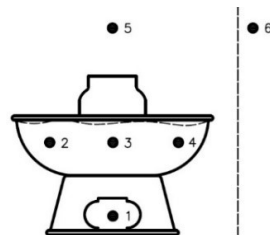


รูปที่ 6 เครื่องชั่งดิจิทัล

3. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.1 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

มีตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 2 เพื่อให้ครอบคลุมระยะเวลาทุกช่วงของการวัดอุณหภูมิในขณะทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 7



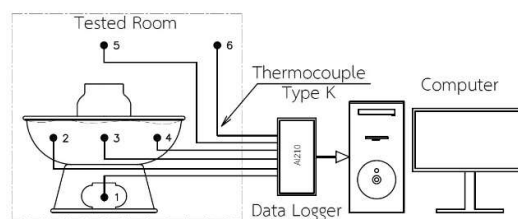
รูปที่ 7 ตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล

ตารางที่ 2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

ลำดับ	ตำแหน่งสัญลักษณ์
1	ตำแหน่งที่ 1 ช่องอากาศหลัก
2	ตำแหน่งที่ 2 - 4 อุณหภูมิน้ำ
3	ตำแหน่งที่ 5 ด้านบนปากปล่อง
4	ตำแหน่งที่ 6 อุณหภูมิห้องทดลอง

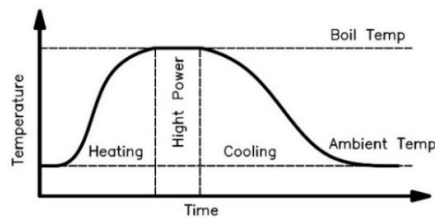
3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไพ้ทั้ง 3 แบบ ใช้วิธีการ (Water Boiling Test) โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ทำการบันทึกผลข้อมูลการทดลองของหม้อไพ้ทั้ง 3 แบบลงในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภาพการทดลอง

พิจารณาครอบคลุมตลอดช่วงการทำงานของหม้อไพ้ผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ [3,4,5,6] อัตราการใช้เชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไพ้ โดยควบคุมอุณหภูมิห้องทดลองที่ 25°C ในตำแหน่งการวัดที่ 6 โดยปราศจากกระแสลมภายนอกบริเวณ



รูปที่ 9 ช่วงของอุณหภูมิน้ำที่พิจารณา

ในการทดลองนั้นเพื่อการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟโดยการทดสอบแบบ Water Boiling Test (WBT) ครอบคลุมตลอดช่วงการทำงานของเตา (Heating, High Power, และ Low power หรือ Cooling) แสดงดังรูปที่ 9 เพื่อให้ทราบค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่แท้จริงของเตาตรงตามลักษณะการใช้งานจริงและสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จากสมการ

$$\eta = \left(\frac{M_w C_p (T_2 - T_1) M_e L}{M_f (H_f)} \right) \times 100 \quad (1)$$

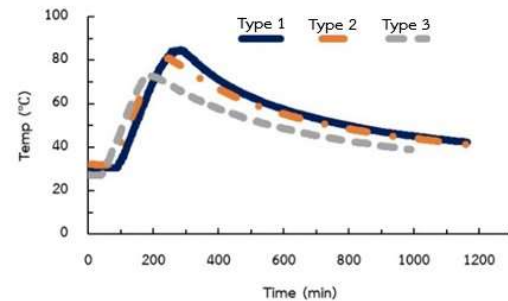
เมื่อ

- η ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
- M_w มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)
- C_p ค่าความจุความร้อนเฉพาะของน้ำ (kJ/kg . °C)
- T_1 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้น (°C)
- T_2 อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของน้ำเริ่มเดือด (°C)
- M_e มวลน้ำกลายเป็นไอ (kg)
- L ความร้อนแฝงการระเหยน้ำเป็นไอ (kJ/kg)
- M_f มวลของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ (kg)
- H_f ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

4. ผลการทดลอง

ผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำโดยเฉลี่ยของหม้อไฟที่ตำแหน่ง 2, 3, และ 4 ทั้ง 3 แบบ ณ เวลาต่างๆ โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง จากรูปที่ 10 พบว่าเมื่อเชื้อเพลิงติดไฟแล้วอุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำพิจารณาค่าในช่วงของ Heating นั้นหม้อไฟใน

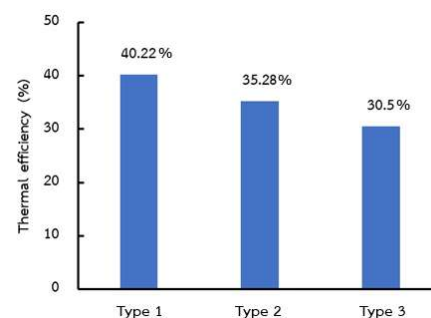
แต่ละแบบจะมีความแตกต่างกัน และอุณหภูมิน้ำที่จุดสูงสุดช่วงของ High Power อยู่ที่ค่าคงที่ในระยะเวลาสั้นๆ และเมื่อเชื้อเพลิงหมดอุณหภูมิของน้ำจะค่อยๆ ลดลงช่วงของ Cooling เท่ากับอุณหภูมิของห้องทดลอง



รูปที่ 10 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ

ผลการทดลองนี้จะครอบคลุมไปจนถึงค่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเทียบกับเวลา (H_f) โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลและอัตราการใช้เชื้อเพลิง (F_R) จากการใช้น้ำหนักเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยเทียบกับเวลา

จากตารางที่ 3 ข้อมูลการทดลองโดยเฉลี่ย 3 ครั้ง และรูปที่ 11 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่าหม้อไฟแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีค่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำ (H_f) ใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.45°C/min, 9.10°C/min และ 10.11 °C/min มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน(η) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 40.22%, 35.28% และ 30.50% และในส่วนของอัตราการใช้เชื้อเพลิง (F_R) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.28x10⁻³ kg/min, 5.86x10⁻³ kg/min และ 7.28x10⁻³ kg/min



รูปที่ 11 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดลองโดยเฉลี่ย 3 ครั้ง

Data	Type		
	1	2	3
T_1 (°C)	29.62	29.84	26.80
T_2 (°C)	84.17	80.56	75.49
M_w (kg)	0.60	0.60	0.60
M_e (kg)	0.06	0.04	0.03
M_f (kg)	0.03	0.03	0.03
H_f (kcal/kg)	4800	4800	4800
C_p (kJ/kg °C)	4.18	4.18	4.18
L (kJ/kg)	2256	2256	2256
H_t (AV/°C/min)	8.45	9.10	10.11
F_R (kg/min)	5.28×10^{-3}	5.86×10^{-3}	7.15×10^{-3}
η (AV. %)	40.22	35.28	30.50

โดยอุณหภูมิของหม้อไฟแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.8°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 64.8°C ตำแหน่งที่ 5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.7°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 949.2°C

โดยอุณหภูมิของหม้อไฟแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 1 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.5°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 55.6°C ตำแหน่งที่ 5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.9°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 923.7°C

โดยอุณหภูมิของหม้อไฟแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 1 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.5°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 50.6°C ตำแหน่งที่ 5 มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.8°C และค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 918.8°C

5. สรุป

ผลจากการวิจัยทดลองเพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไฟด้วยวิธีการ (Water Boiling Test) [8] พบว่าหม้อไฟแบบที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 40.22% มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำโดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.45°C/min และอัตรา

การใช้เชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย 5.28×10^{-3} kg/min รองลงมาคือหม้อไฟแบบที่ 2 และแบบที่ 3 โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35.28% และ 30.50% ตามลำดับ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปทรงหม้อไฟและขนาดช่องทางการไหลของอากาศที่แตกต่างกันจากตารางที่ 1 นั้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแตกต่างกัน และเนื่องด้วยหม้อไฟที่นำมาใช้ในการทดลองซึ่งมีอยู่แล้วในห้องทดลองโดยขนาดพื้นที่ช่องอากาศเข้าและออกแตกต่างกันจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ แต่เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานอย่างเหมาะสม

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยในการพัฒนาและปรับปรุงหม้อไฟให้มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น

6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่งเสริมการเผยแพร่จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Yu, T. Li, S. Wan, H. Song, Y. Zhang, A. Raza, C. Wang, H. Wang and H. Wang, "Study of aroma generation pattern during boiling of hot pot seasoning," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol.114, pp.104844, 2022.
- [2] B. Wang, W. Wu, J. Liu, O. P. Soladoye, C. Ho, Y. Zhang, Y. Fu, "Flavor mystery of spicy hot pot base: Chemical understanding of pungent, numbing, umami and fragrant characteristics," *Trends in Food Science & Technology*, vol.139, pp.104137, 2023.
- [3] The Water Boiling Test Version 4.1.2, Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting, 2014.

- [4] F. Lombardi, F. Riva and E. Colombo, Guidelines for reporting and analysing laboratory test results for biomass cooking stoves. Version 1.0, 2017.
- [5] Y. Chean, G. Shen, S. Su, W. Du, Y. Huangfu, G. Liu, X. Wang, B. Xing, B. S, K.R, Tao, S. “Efficiencies and pollutant emissions from forced - draft biomass-pellet semi - gasifier stoves: Comparison of International and Chinese water boiling test protocols,” *Energy for Sustainable Development*, vol.32, pp.22-30, 2016.
- [6] Y. Chen, G. Shen, S. Su, W. Du, Y. Huangfu, G. Liu, X. Wang, B. Xing, K. R. Smith and S Tao, “Efficiencies and pollutant emissions from forced-draft biomass-pellet semi-gasifier stoves: Comparison of International and Chinese water boiling test protocols,” *Energy for Sustainable Development*, vol.32, pp.22-30, 2016.
- [7] T. Chaichana, M. Ali and M. Longsaman, “The Study of Thermal Efficiency of Household Cooking Stove,” *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, vol. 32, no.5, pp.626-630, 2013.
- [8] S. Wunsri, N. Podkumnerd and P. Sampim, “Development of Energy-Efficient Biomass Stove for Kanom Cung Num Dung Sticky Rice Processing in Bang Rieng Community, Khuan Niang District, Songkhla Province,” *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, vol. 12, no.1, pp.66-76, 2021.
- [9] S. Kaewluan, D. janthosee, S. Jansri and W. Piyarat, “Performance Testing of the 20 kW Biomass Gas Stove,” *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 24-33, 2013.
- [10] J. Rukijkanpanich and J. Sophonarunrat, “Biomass Pellets From Sugarcane Filter Cake And Bagasse For Household Charcoal Stove,” *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 33, no. 2, pp.103-119, 2022.
- [11] Thai Industrial Standards Institute (TISI), Solid Alcohol Fuel TISI 950-2003.