

การออกแบบเตาหุงต้มสำหรับก๊าซชีวภาพจากมูลคนร่วมกับเศษอาหารชุมชน Stove Design for Biogas from the Manure with Food Waste Community

นายสหัสวรรษ ภูจิระ¹ และ รศ.ดร.รัชพล สันติวารการ^{2*}

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์: (043) 244296 ต่อ 121, โทรสาร: (043) 245878
E-mail: mannoeye@hotmail.com ,ratchaphon@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและพัฒนาเตาหุงต้มที่เหมาะสมสำหรับใช้ก๊าซชีวภาพในครัวเรือน โดยได้ออกแบบเตาหุงต้มที่เหมาะสมสำหรับก๊าซชีวภาพ ที่อัตราส่วนอากาศเชื้อเพลิง เท่ากับ 6.44 : 1 จากนั้นทำการพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดให้มีขนาดตามทีออกแบบใหม่ ขนาดความยาว 109 เซนติเมตร โดยคอคอดเป็นทรงกรวยทำมุม 5 องศา ขนาดพื้นที่หน้าตัดรูรวม 400 เซนติเมตร จำนวน 135 รู จากนั้นนำไปทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเตาหุงต้ม ด้วยวิธี Boiling Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาทั้ง 2 แบบ จากการศึกษาพบว่าเตาหุงต้มที่พัฒนาใหม่สำหรับก๊าซชีวภาพ มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 67.13 % ดีกว่าแบบเดิม 6.71 % และเมื่อทำการหาขนาดที่เหมาะสมของเตาก๊าซชีวภาพโดยวิธีการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และปรับค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีดจาก 1 มิลลิเมตร ถึง 8 มิลลิเมตร และขนาดพื้นที่หน้าตัดรูทางออกรวมจาก 100 ตารางมิลลิเมตร ถึง 400 ตารางมิลลิเมตร จะพบว่าขนาดที่เหมาะสมมีค่าขนาดพื้นที่หน้าตัดรูทางออกรวมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีดเท่ากับ 200 ตารางมิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพ 72.59% เพิ่มจากเดิม 5.46%

คำหลัก: เตาหุงต้มก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพเตาหุงต้ม

Abstract

This research presents a study of design and development of suitable stove for household that can be used with biogas. In this experiment, the ratio of air to fuel was 6.44: 1. After that the normal stoves that are sold in the market place were re-designed with length 109 cm, 5° angle of cone-shaped bottleneck, total cross-sectional area of nozzle 400 cm, 135 holes. Furthermore, the coefficient of the stoves was discovered by boiling test method. Then the effectiveness of the stove before and after improvement was compared. The research demonstrated that the biogas stove has 67.13 % effective, which is better than the original design 6.71 %. In addition, mathematical model was used to figure out the appropriate dimension of stove. The diameter of nozzle hole was adjusted from 1 mm to 8 mm and the cross-sectional area of the exit hole was adjusted from 100 mm² to 400 mm². It was found that the appropriate dimension and nozzle size is 200 mm² and 4 mm respectively. It resulted in the effectiveness 72.59%, which increased 5.46% from the original model.

Keywords: Stove biogas Stove performance.

AEC-117

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของประชาชน ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการการใช้พลังงานในอัตราที่เพิ่มสูงมากขึ้นในทุก ๆ ปี ทำให้ต้องจัดหาแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ โดยในแต่ละปีประเทศไทยต้องใช้เงินจำนวนมากในการจัดหาพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้องสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้น ดังนั้นเพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศลง จึงต้องมีการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นที่ได้จากธรรมชาติภายในประเทศให้มากขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอย่างต่อเนื่องนั้น เริ่มแรก A.K.Kurchania et al. ได้ทำการออกแบบหัวเตาแก๊สที่ใช้กับก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจากเตาเดิม 60.01% [1] Mahin ได้ทำการออกแบบเช่นกันและได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา [2] เหมือนกับในประเทศจีน Model-Beijing-4 ได้ศึกษาแล้วนั้นได้ค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ประมาณ 59 - 62 % [3] ในอินเดีย Dr. David Fulford ได้มีการศึกษาแล้วได้ค่าประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 40% - 65% [4] จากการวิจัยที่ผ่านมา [1 - 4] ได้ให้ความสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม การพัฒนาประสิทธิภาพดังกล่าว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเตาที่ใช้งานอยู่เดิม และขีดจำกัดขีดดำเนินการใช้งานจริงร่วมกับภาชนะต่าง ๆ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการออกแบบเตาแก๊สที่ใช้กับก๊าซชีวภาพ พร้อมทั้งได้ทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [5] และทำการเปรียบเทียบกับเตาต้นแบบมาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการเผาไหม้โดยใช้แบบจำลองเข้ามาวิเคราะห์ในส่วนของการ

หาขนาดในส่วนต่าง ๆ ของหัวเผาก๊าซให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยสุดท้ายจากผลการวิจัยคาดว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการผลิตหัวเตาแก๊สชีวภาพเพื่อสามารถใช้งานในครัวเรือน หรือใช้เพื่อขยายผลในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบหัวเผาก๊าซชีวภาพ [6, 7]

2.1.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของหัวเผาแบบ Self-aspirating รูปที่ 1 แสดงตัวอย่าง Self-aspirating burner KB-5 ที่ใช้ในการทดลอง โดยหัวเผาแก๊สดังกล่าวประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ สามประการคือ ท่อผสม (Mixing tube) หัวเผาแก๊ส (Burner head) และหัวฉีดแก๊ส (Injector orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) ใกล้กับบริเวณทางเข้าของก๊าซและอากาศส่วนแรก (Primary air) เพื่อผลทางด้านพลศาสตร์ของการไหลในท่อและจะมีมากกว่าหนึ่งท่อนก็ได้แล้วแต่การออกแบบ หัวเผาส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่นอาจเป็นแผ่นวงกลมตัน (Cap) หรือเป็นวงแหวน (Circular ring) และจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งวงแหวนก็ได้ที่ขอบวงแหวนทั้งด้านในและด้านนอกถูกเจาะรูจำนวนหลายรูในแนวรัศมีเพื่อทำหน้าที่เป็นรูกระจายแก๊ส (Burner port) และเปลวไฟที่ติดอยู่เหนือรูให้กระทบอย่างสม่ำเสมอต่อภาชนะหุงต้มที่วางอยู่เหนือหัวเผาแก๊ส

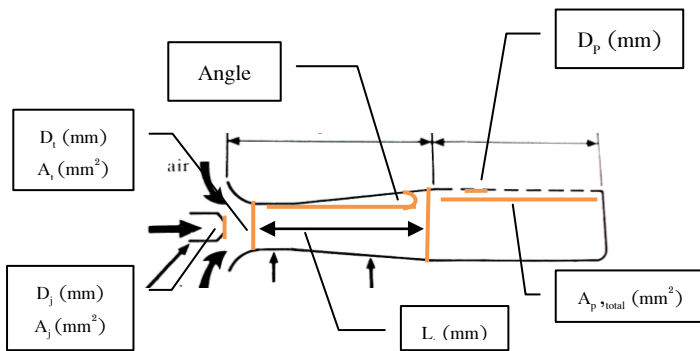


รูปที่ 1 Self-aspirating burner KB-5

3. สมการที่ใช้ในการคำนวณ

AEC-117

3.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณหัวเผาก๊าซ



รูปที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเพื่อ ออกแบบหัวเผาก๊าซชีวภาพ

รูปที่ 2 แสดงหลักการทำงานของหัวเผาเริ่มจากแก๊สพร้อมความดันที่ใช้งานตามปกติถูกพ่นออกจากหัวฉีดแก๊สเข้าไปในท่อผสมขณะเดียวกันอากาศส่วนแรกที่อยู่บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สจะถูกเหนี่ยวนำ (Entrained) ผ่านช่องอากาศส่วนแรก (Primary airport) เข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สโดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูกระจายแก๊ส และลุกติดไฟให้เปลวไฟแบบผสมกันมาก่อนลอยนิ่งอยู่เหนือหัวเผาแก๊สภายหลังจากที่ถูกจุดประกายไฟ (Ignition) ด้วยวิธีการที่เหมาะสม ในขณะเดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้าจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเผาแก๊สซึ่งทำเป็นช่องว่างไว้ ทั้งนี้โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมและแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่ขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วยให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบหัวเผาแก๊สชีวภาพ

A_j คือ พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีด (Injector) (m^2)

A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของรูทางออกของแก๊สรวม (Port) (m^2)

A_t คือ พื้นที่หน้าตัดคอคอด (Throat) (m^2)

C_d คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยแก๊สผ่านที่หัวฉีด (Discharge Coefficient)

σ คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของแก๊ส (Relative Density of gas)

P คือ ความดันของแก๊สในถัง (Static Pressure)

R คือ อัตราส่วน อากาศต่อเชื้อเพลิง (air/gas volume ratio)

W คือ เลขวอบเบ (Wobbe number)

C_L คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยแก๊สผ่านที่คอคอด (Friction Loss Coefficient)

N คือ จำนวนรูทางออกของแก๊ส (Port)

สมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบหัวเผาแก๊สชีวภาพ

พิจารณาที่หัวฉีดแก๊สตามรูปที่ 2 แก๊สเชื้อเพลิงที่บรรจุในถังแก๊สถูกปรับความดันให้เหมาะสมโดย Pressure Regulator แล้วถูกฉีดเข้าไปในท่อผสม พลังงานศักย์ (Potential energy) ของแก๊สเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic energy) หลักการอนุรักษ์พลังงานสามารถได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$A_j = \frac{q}{12.78WC_d\sqrt{P}} \quad (1)$$

จากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าขนาดของรูหัวฉีดแก๊ส (A_j) ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (q) ชนิดของเชื้อเพลิงแก๊สโดยทราบค่าเลขวอบเบ (W) ความดันแก๊สที่แหล่งจ่าย (P) และสัมประสิทธิ์การปล่อยผ่านแก๊สที่หัวฉีด (C_d) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของหัวฉีดแก๊ส (Orifice shape) และค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) ที่หัวฉีดแก๊สขนาดรูหัวฉีดแก๊สที่ได้เป็นตัวกำหนดความเร็วสูงสุดของแก๊สที่ถูกฉีดออก

AEC-117

จากหัวฉีดภายใต้เงื่อนไขอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและความดันก๊าซที่แหล่งจ่ายที่กำหนดมาให้

$$\frac{A_j}{A_t} = \frac{\sigma}{(\sigma + R)(1 + R)(1 + C_L)} \quad (2)$$

$$\frac{A_t}{A_p} = C_{dp} \sqrt{1 + C_L} \quad (3)$$

3.2 การทดสอบโดยวิธีการต้มเดือด (Boiling Test)

การทดลองนี้อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 [5] ประสิทธิภาพหาได้จาก ค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับ โดยวิธีการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนใกล้เดือดของน้ำ (ประมาณ 90 °C) แล้ววัดค่าอุณหภูมิลที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำและอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซแล้วนำมาคำนวณหาดังสมการ

$$\eta_{th} = \frac{m_{H_2O} C_{P,H_2O} (T_2 - T_1)}{Q_{input}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ

m_{H_2O} คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดลอง, kg

C_{P,H_2O} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.K

T_1 คือ อุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้น การทดลอง, K

T_2 คือ อุณหภูมิของน้ำตอนสุดท้าย การทดลอง, K

Q_{input} คือ ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ, kJ

วิธีนี้จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของหัวเตาหุงต้มจริงจะต้องมีการอุ่นเตาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C ก่อนทุก

ครั้ง ซึ่งสามารถลดความร้อนที่สูญเสียให้กับอุปกรณ์ประกอบเตา เช่น ท่อผสม ฐานตั้งภาชนะให้น้อยลง

3.4 การออกแบบหัวเผาก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 1 ผลจากการคำนวณหัวเผาก๊าซชีวภาพ B2

ตัวแปร	ขนาด (พื้นที่หน้าตัด) (mm ²)	ขนาด(เส้นผ่านศูนย์กลาง) (mm)
ขนาดของหัวฉีดก๊าซ (D)	12.13	3.93
ขนาดของคอคอด (D)	536.30	26.13
ขนาดความยาวของคอคอด (L _t)	235.00	-
ขนาดของรูกระจายก๊าซรวม (D _p)	400.00	ขนาดรู 3 mm จำนวน 14 รู
		ขนาดรู 2 mm จำนวน 52 รู
		ขนาดรู 1 mm จำนวน 39 รู

3.3 การสร้างและการทดลองหัวเผาก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองการเผาไหม้ของหัวเผาก๊าซนั้นจะใช้ ก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ เนื่องจากกำลังการผลิตสำหรับก๊าซชีวภาพจากมูลคนร่วมกับเศษอาหารนั้นไม่มากพอที่จะให้ถึงการทดลองหลายๆรอบได้ โดยก๊าซชีวภาพจากมูลไก่นั้นจะมีองค์ประกอบก๊าซ คือ CH₄, CO₂, O₂, ก๊าซอื่นๆ และ H₂S (ppm) เท่ากับ 56.2 36.2 0.4 7.2 และ 2,252.8 ตามลำดับ เป็นก๊าซชีวภาพที่มีคุณสมบัติขององค์ประกอบก๊าซใกล้เคียงกับมูลคนมาก ซึ่งในการคำนวณเพื่อออกแบบหัวเผาก๊าซนั้น ส่วนสำคัญคือใช้ค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนในองค์ประกอบก๊าซจากระบบหมักก๊าซไปในในการคำนวณ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกก๊าซชีวภาพจาก

AEC-117

มูลไก่อ้นั้นมาเป็นเชื้อเพลิงในการทดลองการเผาไหม้ของหัวเผาก๊าซชีวภาพจากมูลคน

รูปที่ 4 (รูทางออกก๊าซ) หัวเผาก๊าซB1(รูปบนซ้าย) หัวเผาก๊าซB2(รูปบนขวา) หัวเผาก๊าซB3(รูปล่าง)



3.5 รายละเอียดและขนาดของหัวเผาก๊าซชีวภาพ

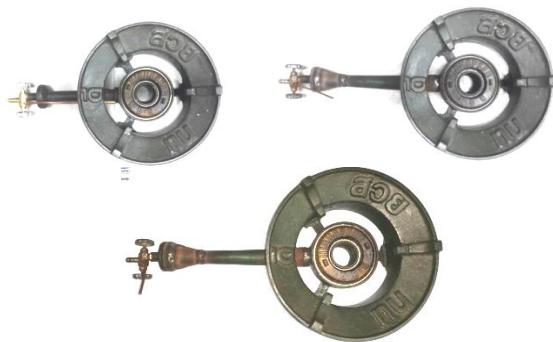
ตารางที่ 2 รายละเอียดหัวเผาก๊าซชีวภาพ

ชนิดหัวเผา	เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดก๊าซ (D _j), mm	เส้นผ่านศูนย์กลางคอคอด (D _i), mm	ความยาวของคอคอด (L _i), mm	พื้นที่หน้าตัดรวมของรูกระจายก๊าซที่หัวเผา (A _{p,t}), mm ²
B1	1	15.00	113.00	200.00
B2	4	26.13	235	400.00
B3	4	26.13	235	200.00

รูปที่ 5 (หัวฉีด) หัวเผาก๊าซB1(รูปบนซ้าย) หัวเผาก๊าซB2(รูปบนขวา) หัวเผาก๊าซB3(รูปล่าง)



รูปที่ 6 (คอคอด) หัวเผาก๊าซB1(รูปบนซ้าย) หัวเผาก๊าซB2(รูปบนขวา) หัวเผาก๊าซB3(รูปล่าง)



รูปที่ 3 (ด้านบน) หัวเผาก๊าซB1(รูปบนซ้าย) หัวเผาก๊าซB2(รูปบนขวา) หัวเผาก๊าซB3(รูปล่าง)

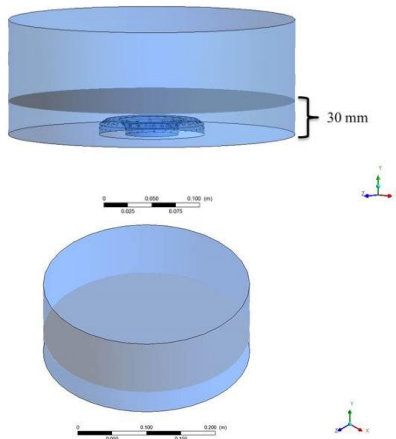


จากรูปที่ 3 - 6 แสดงภาพส่วนประกอบต่างๆ ของหัวเผาก๊าซชีวภาพ B1, B2, B3 โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดก๊าซชีวภาพ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอด ความยาวของคอคอด และพื้นที่หน้าตัดรวมของรูกระจายก๊าซที่หัวเผาก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2

4.ผลการทดลองและอภิปราย

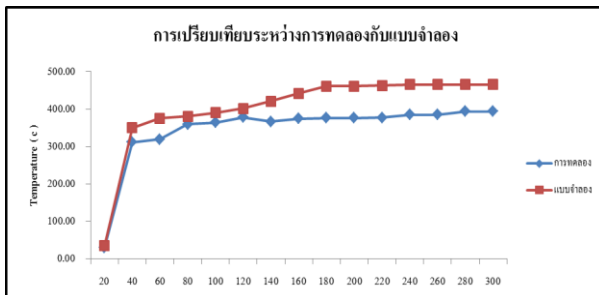
จากรูปที่ 7 แสดงรูปทรงที่ใช้ในการศึกษาค่าความร้อนจากแบบจำลอง โดยการวัดอุณหภูมิ จะทำการวัดที่พื้นที่หน้าตัดที่ระยะสูงจากฐานรูออกของก๊าซ 30 มิลลิเมตร ถือเป็นระยะเดียวกันกับกั้นภาชนะที่สัมผัสกับเปลวไฟพอดี

AEC-117



รูปที่ 7 ภาพรูปทรงที่ใช้ในการดูผลจากการใช้แบบจำลอง (ด้านข้างและด้านบน)

4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการทดลองกับแบบจำลอง



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการทดลองกับแบบจำลอง

ในรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทุกๆ 20 วินาทีระหว่างการทดลองกับแบบจำลองของหัวเผาก๊าซ โดยช่วง 150 วินาทีแรกอุณหภูมิจะยังคงที่แต่พอเมื่อเข้าวินาทีที่ 160 อุณหภูมิจะเริ่มคงที่และคงที่ในที่สุด และพบว่าแบบจำลองนั้นมีค่าของอุณหภูมิสูงกว่าการทดลองจริงอยู่เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดมาจากข้อผิดพลาดจากการทดลอง เช่น การรั่ว การแผ่รังสี และอุปกรณ์ในการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความแม่นยำและถูกต้อง

4.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างเตาแบบต่างๆ

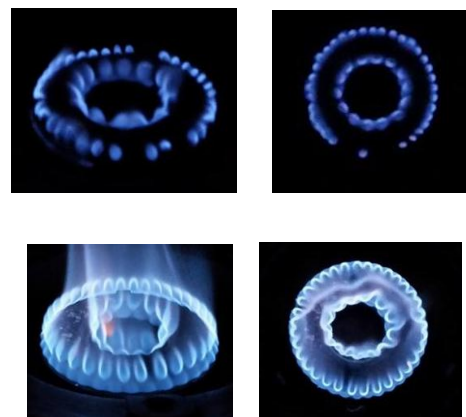
ตารางที่ 3 ผลการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รายละเอียด	B1	B2	B3
1. อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ($^{\circ}\text{C}$)	40	40	40
2. อุณหภูมิน้ำเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	90	90	90
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (กิโลกรัม)	1	1	1
4. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	57.79	67.13	72.59
5. การประหยัดพลังงาน (%)	-	13.91	20.39

ในตารางที่ 3 แสดงผลการทดลอง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของหัวเผาก๊าซทั้ง 3 แบบ โดยแบบที่ 1 คือ B1 มีใช้ตามท้องตลาด และ แบบที่ 2 และ 3 มาจากการคำนวณเพื่อออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ B3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 72.59 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดในส่วนต่างๆของหัวเผาก๊าซนั้นมีความสำคัญ โดยเฉพาะในส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเชื้อเพลิงก๊าซเข้า และขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของรูทางออกเชื้อเพลิงก๊าซ โดยหัวเผาก๊าซทั้ง 3 แบบนี้มีขนาดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเชื้อเพลิงก๊าซเข้า และขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของรูทางออกเชื้อเพลิงก๊าซที่แตกต่างกันทุกกรณี

4.3 ลักษณะเปลวไฟจากการเผาไหม้ของหัวเผาก๊าซชีวภาพ



AEC-117



รูปที่ 9 ภาพเปลวไฟจาก B1 B2 B3
(ด้านข้างและด้านบน)

รูปที่ 9 หัวเผาก๊าซที่มีใช้ตามท้องตลาด และ หัวเผาก๊าซที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่ แสดงการเปรียบเทียบเปลวไฟจากหัวเผาก๊าซ ที่ความดันก๊าซที่ออกจากถังก๊าซเท่ากับ 10 พีเอสไอ และอัตราการไหลของเชื้อเพลิงก๊าซที่เข้าหัวเผาก๊าซเท่ากับ 0.0007 กิโลกรัมต่อวินาที โดยทั้ง 3 กรณีเป็นการเผาไหม้โดยมีอากาศที่เข้าและอากาศที่บริเวณรูทางออกเชื้อเพลิงก๊าซ พบว่ากรณี B3 มีอุณหภูมิที่คงที่ของเปลวไฟเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 447 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยได้ออกแบบและสร้างหัวเผาก๊าซที่เหมาะสมกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้มีการทดสอบและปรับปรุงจนมีขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับก๊าซชีวภาพ การออกแบบหัวเผาแก๊สนั้นเปอร์เซ็นต์มีเทนมีความสำคัญและได้มีการนำเปอร์เซ็นต์มีเทนนั้นมาใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบหัวเผาที่เข้ากับก๊าซชีวภาพ โดยหัวเผาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นมาจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของขนาดหัวเผาแก๊สนั้นในส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดขาเข้าและขนาดพื้นที่หน้าตัดของรูทางออกรวม จากแบบจำลองพบว่าหัวเผาใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม โดยที่ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 72.59 เปอร์เซ็นต์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคอดเท่ากับ 26 มิลลิเมตร ความยาวคอคอดเท่ากับ 234 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเชื้อเพลิงก๊าซขาเข้าเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมของรูทางออกเชื้อเพลิงก๊าซเท่ากับ 200 ตารางมิลลิเมตร

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[2] Dong, L.L. et al. (2002). **Heat Transfer from an Impinging Premixed Butane/Air Slot Flame Jets**, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45, pp.979-992

[3] S.Jugjai and S.Sanijai (1996). **Parametric Studies of Thermal Efficiency in a Proposed Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB): A Design Concept for the Future Burner**, Proceedings of RERIC International Energy Journal, Vol. 18, pp. 97-111

[4] ณัฐภูมิ รังสิมันตุชาติ (2544). การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม, วิทยานิพนธ์ ปริญญา

[6] A. Namkhat, S. Jugjai (2010). **Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner: Model and experiments**, Energy 35, 1701-1708.

6.2 หนังสือ

[7] H.R.N. Jones et al. (1989). **The Application of Combustion Principles to Domestic Gas Burner Design**, E. & F.N. Spon, London and New York in association with British Gas plc.

[5] German Standards and Technical Rules, (1997). **DIN EN 203-2: Gas-heated catering Equipment**.

6.3 เว็บไซต์

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, (2547). **ข้อมูลพลังงาน (Energy Database)**, Available online: [Hhttp://www.eppo.go.th/infor/index.html](http://www.eppo.go.th/infor/index.html)