

อิทธิพลรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนที่ส่งผลต่อสมรรถนะหัวเผา น้ำมันปาล์มใช้แล้ว

Effect of Porous Media Geometry on Performance of Used Vegetable Oil Porous Burner

เกษมศิลป์ อ่อนทอง^{1,*}, ทวี เทศเจริญ² และจรรูวัตร เจริญสุข³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 * ติดต่อ: โทรศัพท์: 085-0605475

Email: kasemsil_27@hotmail.com^{1,*}, ktthavee@kmitl.ac.th², kcjaruw@kmitl.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนที่ส่งผลต่อสมรรถนะและลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นของหัวเผาน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งในการทดสอบได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุน 3 ลักษณะ คือ รูปทรงกลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 cm³ และรูปทรงสามเหลี่ยมพีรามิดที่มีขนาดความยาวของแต่ละด้านเท่ากับ 2 cm โดยค่าความพรุนมีค่าอยู่ในช่วง 45- 54% ตามลำดับ โดยทำการปรับอัตราการไหลของน้ำมันพืชใช้แล้วอยู่ในช่วง 0.03-0.07 kg/min และคงที่อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการสร้างไอน้ำเท่ากับ 0.25 kg/min จากการทดสอบพบว่ารูปทรงของวัสดุ สร้างความ พรุนส่งผลต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผา โดยเมื่อทำการเผาไหม้ด้วยวัสดุสร้างความ พรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิด ซึ่งมีค่าความพรุนมากที่สุด ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.03 kg/min ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ดีที่สุด เปลวไฟลุกไหม้ได้เต็มพื้นที่หน้าตัดของหัวเผา มีปริมาณเขม่าและก๊าซไอเสียต่ำ โดยมีค่า CO เท่ากับ 300 ppm ที่มาตรฐาน O₂ 6% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 28% และ 99.5% ตามลำดับ ผลวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนกับสมรรถนะและลักษณะเปลวไฟของหัวเผากล่าวคือ เมื่อของผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงไหลผ่านวัสดุสร้างความ พรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิด จะมีโอกาสเกิดความปั่นป่วนน้อยๆในช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุได้มากกว่าวัสดุสร้างความ พรุนรูปทรงอื่น ๆ อีกทั้งด้วยค่าความพรุนที่มีค่ามากกว่าวัสดุพรุนรูปทรงอื่นๆ จึงทำให้ปริมาตรช่องว่างระหว่างวัสดุ สร้างความ พรุนที่อยู่ในหัวเผามีค่ามากขึ้น ส่งผลให้อัตราการคลุกเคล้า (Mixing rate) กันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงดีขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

คำหลัก: หัวเผาน้ำมันพืชใช้แล้ว/น้ำมันพืชใช้แล้ว/รูปทรงของวัสดุสร้างความพรุน /ค่าความพรุน

Abstract

The performance of used vegetable oil porous burner developed under different media shape is investigated. Three different media geometries having 1) 2-cm. spherical shape 2) 2-cm. cube with cut-away hole and 3) 2-cm tetrahedral pyramid with cut-away hole, making up the porosity between 45 to 54 percent, are used. The used vegetable oil is fed at the rate of 0.03 to 0.07 kg/min. Steam is also used for

atomization, but maintained at the rate of 0.25 kg/min. It is found that the media geometry significantly affect the performance of the burner. With 2-mm tetrahedral pyramid, giving the highest porosity among others, at the oil flow rate of 0.03 kg/min., the burner yields the best performance. The luminous flame is observed across the exit plane of the burner, giving relatively lower CO concentration at 300 ppm, at standard 6% of O₂. At this condition the thermal efficiency and the combustion efficiency are 28% and 98% respectively. The finding suggests the relationship between the media shape and the performance of the burner as when the flow passes the edge of the pyramid, it creates small eddies with relatively larger in numbers than the other two types of solid media. Additionally, greater porosity would bring about more rooms for mixture of incoming reactant to rapidly mix with the hot product. In general, the mixing rate between the air and fuel is promoted and therefore contribute to a better combustion process.

Keywords: Used vegetable oil burner/ Used vegetable oil/Porous media Shape/ Porosity

1. บทนำ

จากการสังเกตพบว่าตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมีการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และก๊าซมากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามทรัพยากรกลับลดน้อยลง ซึ่งส่งผลต่อผู้บริโภคที่จะต้องแบกรับราคาที่สูงขึ้น จึงได้มีความพยายามที่จะนำเอาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างมาใช้ โดยจากการสังเกตเห็นถึงปริมาณน้ำมันที่เหลือใช้จากการประกอบอาหาร เช่น น้ำมันที่เหลือจากการทอด ปลาทองโก่ หรือการทอดไก่ ในปริมาณมากๆ ในแต่ละวัน จะมีน้ำมันที่เหลือใช้ในแต่ละครั้งจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีน้ำมันที่เหลือจากการใช้นั้น มีทั้งหมดปีละประมาณ 74.5 ล้านลิตร โดยมาจากกลุ่มครัวเรือน 47.2 ล้านลิตร (63.4 %) รองลงมาได้แก่กลุ่มสถานประกอบการ 22.5 ล้านลิตร (30.3 %) โรงงานอุตสาหกรรม 3.4 ล้านลิตร (4.6 %) และผู้จำหน่ายของทอดในตลาด 1.3 ล้านลิตรต่อปี (1.7 %) [5] ทั้งนี้ น้ำมันที่เหลือใช้เหล่านี้จะถูกขายต่อในราคาที่ถูกลงโดยผู้ซื้อจะนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม และอีกประเด็นที่สำคัญ คือ ปัจจุบันเป็นยุคที่ราคาค่าครองชีพนั้นสูงขึ้นทุกวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะช่วยลดต้นทุนในการใช้ทรัพยากรและประหยัดค่าใช้จ่ายในบางส่วนลง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกหนึ่งทาง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาหัวเผาชุดนี้ ซึ่งได้มีการนำวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้ในระบบ โดยวัสดุพอร์จะถูกบรรจุอยู่ในหัวเผาที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไอน้ำไว้ใน ซึ่งวัสดุพอร์นี้จะช่วยให้เปลวไฟที่เกิดขึ้นมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการกักเก็บความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ช่วยให้เกิดการกระจายตัวของความร้อนทั่วทั้งหัวเผา ด้วยกลไกการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัสดุพอร์ด้วยเหตุนี้จะทำให้กลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัสดุพอร์กับเครื่องกำเนิดไอน้ำเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้สามารถผลิตไอน้ำ ที่ใช้ในการเหนี่ยวนำอากาศและน้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้ในการเผาไหม้ ได้อย่างต่อเนื่อง โดยจากการศึกษาค้นคว้า ได้เลือกใช้เม็ดเซรามิคทรงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm เป็นวัสดุพอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีค่าความพรุนประมาณ 45% และเมื่อทำการทดสอบพบว่า หัวเผาน้ำมันพืชใช้แล้วที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถเผาไหม้ได้ด้วยการป้อนน้ำมันพืชใช้แล้วเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัญหาในการควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำและน้ำมันที่ป้อนให้แก่ระบบ อีกทั้งเปลวไฟที่เกิดขึ้น ยังเกิดการลุกไหม้ไม่เต็มหน้าตัดของหัวเผา ซึ่งคาดว่าจะเป็นผลมาจากวัสดุพอร์ที่เลือกใช้ก่อให้เกิดความดันสูญเสียมาก ทำให้เปลวไฟส่วนใหญ่จะเกิดการลุกไหม้บริเวณภายนอกวัสดุพอร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา จึงได้ทำการศึกษา อิทธิพลของรูปทรงและค่าความพรุนของวัสดุพรุนที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นของหัวเผาน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งในการทดสอบได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุพรุน 3 ลักษณะ คือ รูปทรงกลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm รูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 cm³ และรูปร่างสามเหลี่ยมทรงแปดหน้าที่มีขนาดความยาวของแต่ละด้านเท่ากับ 2 cm โดยค่าความพรุนมีค่าอยู่ในช่วง 48% และ 54% ตามลำดับ รวมทั้งได้ออกแบบ ชุดป้อนเชื้อเพลิงใหม่ทั้งหมด โดยตัวแปรตามที่ทำการศึกษาคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น

2. องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ น้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งลักษณะและองค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้วแสดงดังรูปที่ 1 และตารางที่ 1 โดยจะเห็นได้ว่าน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีสีเข้มเนื่องจากคราบเขม่า แต่ยังคงมีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอน อยู่ในปริมาณที่สูงอยู่ ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะนำน้ำมันพืชใช้แล้วกลับมาเป็นเชื้อเพลิงใหม่



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ลักษณะของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้ใช้(ก) และน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว (ข)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม [3]

Properties	Palm oil	Used oil	unit
LHV	36893.01	36355.02	kJ/kg
Viscosity	0.0489	0.0543	Ns/m ²
Sulphur	0.01	0.01	%(mass)
Carbon	76.4	75.6	%(mass)
Hydrogen	11.4	11.3	%(mass)
Nitrogen	0.19	0.19	%(mass)
Oxygen	12.0	12.9	%(mass)
Ash	0.006	0.005	%(mass)

3. ขั้นตอนการออกแบบและวิธีการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของหัวเผาก่อนการปรับปรุง ซึ่งในการทดสอบพบว่าสามารถเผาไหม้ได้โดยการป้อนน้ำมันปาล์มใช้แล้วเพียงอย่างเดียว แต่ทั้งนี้ยังประสบปัญหาในการควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำและน้ำมันที่ป้อนให้แก่ระบบ อีกทั้งเปลวไฟที่เกิดขึ้น ยังเกิดการลุกไหม้ไม่เต็มหน้าตัดของหัวเผา ก่อให้เกิดความดันสูญเสียมาก ทำให้เปลวไฟส่วนใหญ่จะเกิดการลุกไหม้บริเวณภายนอกวัสดุสร้างความพรุน ซึ่งคาดว่าน่าเป็นผลมาจากวัสดุ สร้างความ พรุนที่เลือกใช้ ซึ่งเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยมีค่าความพรุนมีค่า 45%



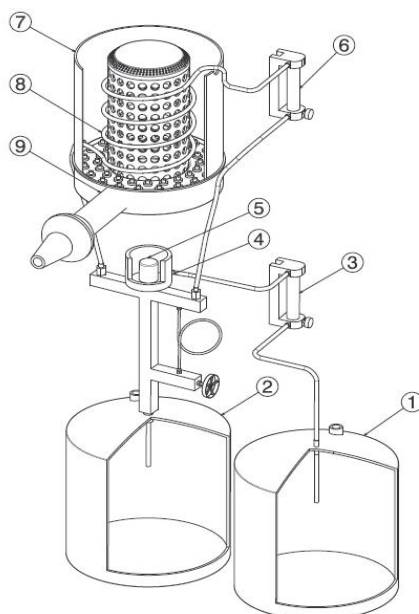
รูปที่ 2 ลักษณะของหัวเผาน้ำมันปาล์มแบบเก่า

ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงออกแบบและสร้างหัวเผาเพิ่มเติมโดยรายละเอียดการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 3 และ 4

รูปที่ 3 แสดง หัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว หลังการปรับปรุงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร และ สูง 15 เซนติเมตร ซึ่งภายในหัวเผาจะมีท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรขุดอยู่ภายในและถูกล้อมรอบด้วยวัสดุสร้างความพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยขุดท่อนี้จะทำหน้าที่ในการผลิตไอน้ำให้แก่ระบบ



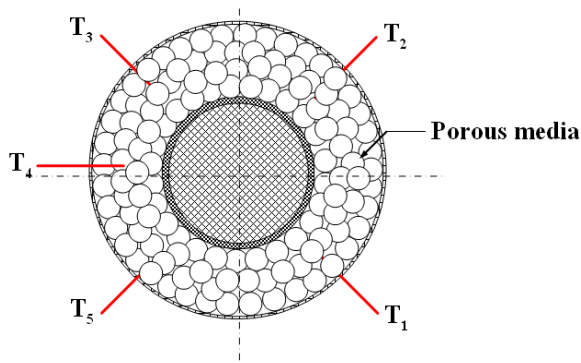
รูปที่ 3 ลักษณะของหัวเผาน้ำมันปาล์มหลังการปรับปรุง



รูปที่ 4 แสดงชุดหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 1) Oil tank 1 | 2) Water tank |
| 3) Used oil flow meter oil | 4) Oil tank 2 |
| 5) Steam nozzle | 6) Water flow meter |
| 7) Combustion chamber | 8) Evaporator tube |
| 9) LPG burner (KB7) | |

ในการทดลองจะทำการปรับอัตราการไหลของน้ำมันปาล์มใช้แล้วในช่วง 0.03 – 0.07 kg/min และอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการสร้างไอน้ำ เท่ากับ 0.25 kg/min โดยการทดลองเริ่มจาก ทำการจุดหัวเผาแก๊ส LPG(KB7) หมายเลข 9 เพื่อนำความร้อนที่ได้มาอุ่นวัสดุพรุนที่บรรจุอยู่ภายใน Combustion chamber หมายเลข 7 จากอุณหภูมิบรรยากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุพรุนกับ Evaporator tube หมายเลข 8 ทำให้เกิดไอน้ำป้อนเข้าสู่ระบบ โดยไอน้ำนี้จะถูกพ่นผ่านหัวฉีดด้วยแรงดันสูง ซึ่งหัวฉีดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ในอ่างน้ำมันหมายเลข 4 ดังนั้นเมื่อไอน้ำพ่นผ่านหัวฉีดจะทำให้เกิดผอยละอองน้ำมันและการเหนียวนำอากาศป้อนเข้าไปสู่ภายในห้องเผาไหม้ จนเกิดการลุกไหม้ได้ด้วยการป้อนน้ำมันปาล์มใช้แล้วเพียงอย่างเดียว จากนั้นจึงทำการก็จะทำการปิด LPG เมื่อรอจนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จึงทำการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในวัสดุสร้างความพรุนห้าจุดโดยเก็บค่าสี่จุดภายในวัสดุ สร้างความ พรุนรอบหัวเผา (T_1, T_2, T_3 และ T_5)และอีกหนึ่งจุดบริเวณเหนือหัวเผา (T_4)ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อใช้ในการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหัวเผา โดยใช้ Thermocouple type K เป็นเซนเซอร์และใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล นอกจากนี้ยัง ทำการบันทึกแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องวัดไอเสีย Testo 350 XL เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงจุดวัดอุณหภูมิ 5 จุด บริเวณหัวเผา

3.1 การหาค่าความพรุนของวัสดุสร้าง ความพรุน



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 6 รูปทรงของวัสดุสร้าง ความพรุน

รูปที่ 6 แสดงรูปทรงของวัสดุสร้างพรุนแบบต่างๆ

- (ก) รูปทรงสามเหลี่ยมทรงพีรามิดขนาดความยาวของ
แต่ละด้านเท่ากับ 2 cm ค่าความพรุนมีค่าเท่ากับ 54%
(ข) รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 cm³ ค่าความพรุนมี
ค่าเท่ากับ 48% (ค) ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
2 cm ค่าความพรุนมีค่าเท่ากับ 45 % ซึ่งวิธีการ
คำนวณหาค่าความพรุนของวัสดุพรุนมีวิธีคำนวณดังนี้
1. นำวัสดุ สร้างความ พรุนใส่ลงหลอดแก้วทดลองและ
บันทึกปริมาตรวัสดุสร้าง ความพรุนในหลอดแก้ว
2. ใช้หลอดฉีดยาดูดทุโลอิน แล้วฉีดทุโลอินลงใน
หลอดแก้วจนกระทั่งทุโลอินท่วมเม็ดวัสดุ สร้างความ
พรุน แล้วบันทึกปริมาตรทุโลอินในหลอดแก้ว หลังจาก
นั้นหาสัดส่วนช่องว่าง(ϵ_o) จาก

$$\epsilon_o = \frac{\text{ปริมาตรทุโลอินที่ใช้ผสม}}{\text{ปริมาตรหลังเติมทุโลอิน}} \quad (1)$$

3.2 มาตรฐานการทดสอบ

ในการหาสมรรถนะของหัวเผานำค่า
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_c) และประสิทธิภาพเชิง
ความร้อน (η_{th}) มาเป็นดัชนีในการชี้วัดสมรรถนะของ
หัวเผาซึ่งมาตรฐานการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิง
ตามมาตรฐาน DIN EN 203-1

3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้

- (1) นำอุปกรณ์เก็บก๊าซเสีย (Flue gas) ตามมาตรฐาน
DIN 203-1 ครอบหัวเผาที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้ 5
นาที่ แล้วจึงนำหัววัดใส่เข้าไปที่ด้านบนของอุปกรณ์
เก็บตัวอย่าง รอจนค่าที่วัดได้เข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วจึง
บันทึกผลการทดลอง โดยเก็บผล ทุกๆ 1 นาทีจน
ครบ 15 นาที โดยทำการบันทึกก๊าซ O_2 , CO_2 ,
 CO , H_2 และ NO_x
- (2) ทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทดสอบโดยปรับ
อัตราการใช้ของน้ำมันพืชใช้แล้ว และปรับเปลี่ยน
รูปทรงของวัสดุสร้าง ความพรุน เพื่อดูว่าก๊าซเสียมีการ
เปลี่ยนแปลงอย่างไร
- (3) นำค่าที่ได้ทั้งหมดนี้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการ
เผาไหม้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

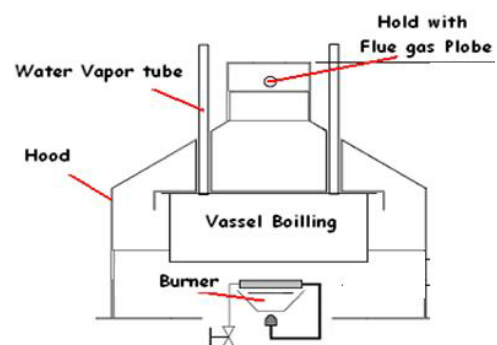
$$\eta_c = \left[\frac{Q_{fuel} - Q_{loss,co}}{Q_{fuel}} \right] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

η_c = Combustion efficiency, %

Q_{fuel} = ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้
เชื้อเพลิง, kW

$Q_{loss,co}$ = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากการเผา
ไหม้ CO , kW



รูปที่ 7 โครงสร้างภายในของชุดอุปกรณ์การทดสอบ
ตามมาตรฐาน DIN EN 203-1

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐาน
แบบวิธีการต้มเดือด (Water Boiling Test, WBT) ซึ่งมี
ขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

- (1) วัดอุณหภูมิน้ำก่อนการทดสอบ
- (2) เติมน้ำลงในภาชนะจำนวน 3000 กรัม
- (3) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลให้สูงจากก้นภาชนะเซนติเมตร เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนการทดสอบ
- (4) จุดเตา เมื่อหัวเผาสามารถทำงานได้โดยใช้น้ำมัน ฟิชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ให้ติดเตาทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
- (5) นำภาชนะที่เตรียมน้ำไว้แล้ววางบนเตา บันทึกอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของน้ำทุกๆ 1 นาทีตั้งแต่น้ำ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนน้ำเริ่มเดือดอุณหภูมิ ของน้ำมีค่าประมาณ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการบันทึกเวลาขณะนั้นไว้ แล้วทำการต้ม น้ำต่อไปอีก 5 นาทีจึงทำการดับเตาพร้อมกับหยุดเวลาและอุณหภูมิ น้ำเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

- (6) ชั่งน้ำหนักของน้ำในภาชนะที่เหลือ ค่าที่ได้ทั้งหมดนี้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_{th} = \frac{(C_{p,water} \times W_{water} \times \Delta T) + (h_{fg,vapour} \times W_{vapor})}{\dot{m}_{fuel} \times LHV_{fuel} \times T_{total}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

η_{th} = Thermal efficiency, %

W_{water} = น้ำหนักน้ำที่ใช้ทดสอบ, g

W_{vapor} = น้ำหนักไอน้ำที่ระเหยไปในการทดสอบ, g

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายของน้ำที่ได้จากการทดสอบ, °C

LHV_{fuel} = Lower Heating Value of Palm Oil, kJ/kg

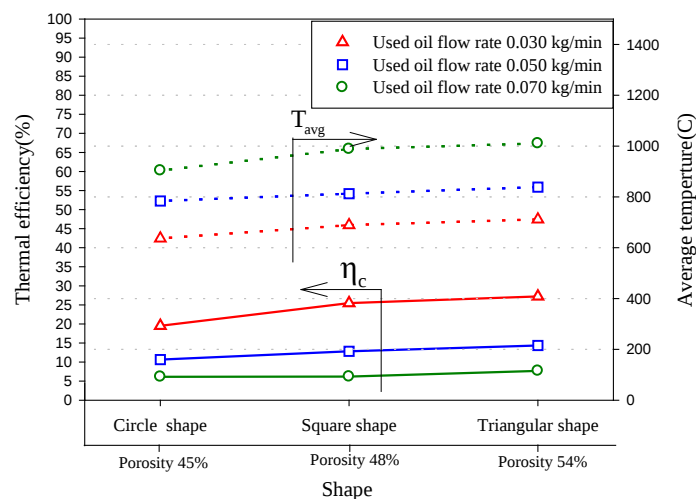
$C_{p,water}$ = Specific Heat of Water = 4.178 J/g °C

$\dot{m}_{fuel}$ = Mass flow rate of Palm oil, kg/min

$h_{fg,vapour}$ = Latent Heat of Vaporizer = 2260, J/g

4. ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอุณหภูมิเฉลี่ยของหัวเผา



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอุณหภูมิหัวเผาเฉลี่ยเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุสร้าง ความพรุน

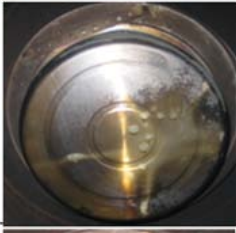
รูปที่ 8 แสดงผลการปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุ สร้างความพรุน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน และอุณหภูมิเฉลี่ยของ หัวเผาซึ่งในการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนปรับเปลี่ยน วัสดุสร้าง ความพรุนชนิด ทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยมและทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมี ค่าความพรุนเท่ากับ 45%, 48% และ 54% ตามลำดับ

การไหลของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.03-0.07 kg/min และ คงที่อัตราการไหลของน้ำที่เท่ากับ 0.25 kg/min จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 6-28% โดยมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 28% ที่วัสดุ สร้างความพรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีค่าความ พรุนเท่ากับ 54% ของอัตราการไหลเชื้อเพลิงเท่ากับ

0.03kg/min และมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 6 % ที่วัสดุสร้าง
ความพรุนทรงกลมซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 45 %
ของอัตราการไหลเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.070 kg/min
นอกจาก นี้ยังพบว่าเมื่อค่าความพรุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นคาดว่ามีความผลมาจาก
ช่องว่างในการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมี
มากขึ้นลงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี

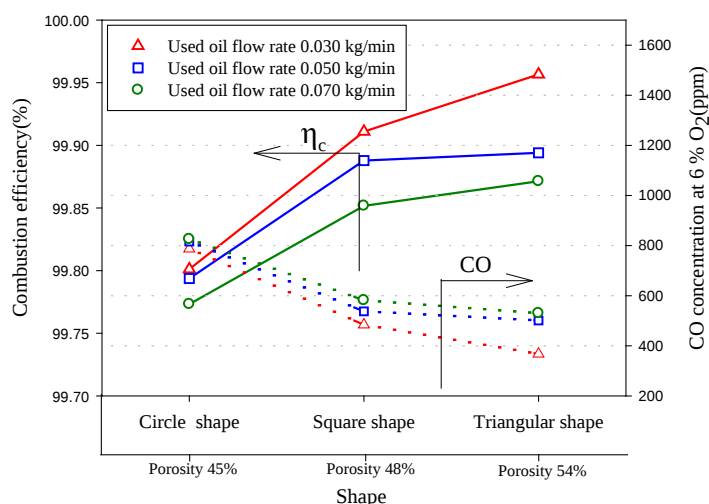
ส่วนเมื่อพิจารณาอุณหภูมิหัวเผาเฉลี่ยพบว่ามี
แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหลของป้อน
เชื้อเพลิงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความร้อนที่
ให้แก่ระบบโดยอุณหภูมิมีค่าอยู่ในช่วง 650–1000 °C
รูปที่ 9 แสดงลักษณะของเปลวไฟและเขม่า
บริเวณก้นภาชนะที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ในการ
ทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยน วัสดุสร้าง ความพรุนชนิด
ทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยม และทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมี
ค่าความพรุนเท่ากับ 54%, 48% และ 45% ตามลำดับ
อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.030 kg/min จะ
เห็นได้ว่าลักษณะ ไฟลุกไหม้ได้เต็มพื้นที่หน้าตัดของ
หัวเผาปริมาณเขม่าที่ก้นภาชนะก็มีน้อยซึ่งเกิดจาก

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ทั้งนี้การเก็บเขม่ายังไม่มี
เครื่องมือวัดจึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลในส่วนเขม่าได้
ซึ่งยังคงต้องการการศึกษาในลำดับต่อไป

รูปร่างวัสดุพรุน	ลักษณะเปลวไฟ	ปริมาณเขม่า
สามเหลี่ยม		
สี่เหลี่ยม		
กลม		

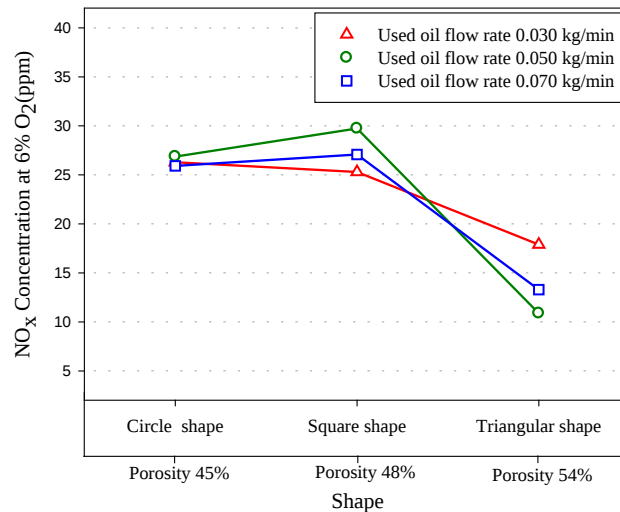
รูปที่ 9 แสดงลักษณะของเปลวไฟและเขม่าบริเวณก้นภาชนะ
ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

4.2 ประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณ CO เมื่อปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุสร้าง
ความพรุน

4.3 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์



รูปที่ 11 อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุสร้าง ความพรุนที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณ CO เมื่อปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุสร้าง ความพรุนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนวัสดุสร้าง ความพรุนชนิดทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยมและทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 45%, 48% และ 54% อัตราการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.03-0.07 kg/min และคงที่อัตราการไหลของน้ำที่ใช้สร้างไอน้ำเท่ากับ 0.25 kg/min จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับเปลี่ยนลักษณะของวัสดุสร้าง ความพรุนจากทรงกลมเป็นทรงสี่เหลี่ยมและทรงสามเหลี่ยมพีรามิดทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งคาดว่าค่าความพรุนที่แตกต่างกันของวัสดุมีผลช่วยให้อัตราการคลุกเคล้า (Mixing rate) ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้ดี ยิ่งค่าความพรุนสูงก็จะทำให้มีช่องว่างในการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศดีทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุดอยู่ที่ วัสดุสร้าง ความพรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีค่าความพรุน 54% ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.03 kg/min ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99.95%

ในขณะที่ปริมาณ CO ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อปรับเปลี่ยนลักษณะของวัสดุสร้าง ความพรุนคาดว่าผล

จากปริมาตรช่องว่างในการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยปริมาณ CO มีค่าน้อยสุดที่วัสดุสร้าง ความพรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิดโดยค่าความพรุน 54% ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.03 kg/min มีค่าเท่ากับ 300 ppm โดยคิดที่มาตรฐาน O₂ 6%

รูปที่ 11 อิทธิพลของการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุสร้าง ความพรุนที่มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์โดยการทดลองปรับเปลี่ยนลักษณะของวัสดุสร้าง ความพรุนจากทรงกลมเป็นทรงสี่เหลี่ยมและทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 45%, 48% และ 54% ตามลำดับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.03-0.07 kg/min และคงที่อัตราการไหลของน้ำที่ใช้สร้างไอน้ำเท่ากับ 0.25 kg/min จากรูปจะเห็นได้ว่า NO_x ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำ คาดว่าเกิดจาก Prompt NO_x ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับ N₂ ในอากาศ โดยในที่นี้ไม่เกิด Thermal NO_x และ fuel NO_x เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าต่ำพบว่า NO_x ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 11 ppm ที่มาตรฐาน O₂ 6% ที่วัสดุสร้าง ความพรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 54% อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.05 kg/min ส่วน

ปริมาณ NO_x สูงสุดมีค่าเท่ากับ 30 ppm ที่มาตรฐาน O_2 6% ที่วัสดุสร้างความพรุนทรงสี่เหลี่ยมซึ่งมีความพรุนเท่ากับ 48% อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.05 kg/min เช่นกัน

5.สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนที่มีผลต่อสมรรถนะของหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนคือทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยมและทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีความพรุนเท่ากับ 45%, 48% และ 54% ตามลำดับ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.03-0.07 kg/min และคงที่อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการไอน้ำเท่ากับ 0.25 kg/min ซึ่งสามารถตามลำดับซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. รูปทรง และค่าความพรุน ของวัสดุสร้างความพรุนมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยประสิทธิภาพเผาไหม้มีค่ามากกว่า 99% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 7-28 %

2. รูปทรง และค่าความพรุน ของวัสดุสร้างความพรุนมีผลต่อปริมาณก๊าซเสียโดยปริมาณ CO มีค่าอยู่ในช่วง 300-800 ppm ที่มาตรฐาน O_2 6% และปริมาณ NO_x มีค่าอยู่ในช่วง 13-30 ppm ที่มาตรฐาน O_2 6%

3. ภายใต้ช่วงการทดสอบที่เป็นเงื่อนไขของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า กรณีวัสดุสร้างความพรุนทรงสามเหลี่ยมพีรามิดซึ่งมีความพรุนเท่ากับ 54% อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.03 kg/min และอัตราการไหลของน้ำที่ใช้สร้างไอน้ำเท่ากับ 0.25 kg/min ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ดีที่สุด มีปริมาณเขม่าและก๊าซไอเสียต่ำ โดยมีค่า CO เท่ากับ 300 ppm ที่มาตรฐาน O_2 6% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพในการเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 28 % และ 99.5% ตามลำดับ

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (mtec) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและนักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7.เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม

[1] อวรุท ลภีรัตนากุล เกษมศิลป์ อ่อนทอง และจารุวัตร เจริญสุข (2551). การพัฒนาหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้วด้วยเทคนิควัสดุพรุน , การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย , มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

7.2 รายงาน

[2] อวรุท ลภีรัตนากุล (2551). สมรรถนะเชิงความร้อนของเตาเผาไหม้วัสดุพรุนที่มีการแบ่งจ่ายอากาศเป็นชั้น , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] บุญส่ง เพ็ชรน้อย (2549). การพัฒนาและประเมินสมรรถนะหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้วชนิดผสมอากาศก่อนการเผาไหม้ , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[4] อรรถพล ผาบัณเฑาะ (2546). การศึกษาเชิงจำลองของหัวเผาแบบพรุนเผาไหม้น้ำมันพืช , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7.3 เว็บไซต์

[5] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2550). ทิศทางการกิจการไฟฟ้า (ประเด็นที่ควรจับตามอง) , แหล่งที่มา <http://learners.in.th/blog/biodiesel>