

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อ
ที่มีการติดตั้งในหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง

The Effect of Factors on Effectiveness of The Tube-Bank Heat Exchanger
Installed in a Porous Burner Using LPG as Fuel

วชิร ตรีปัญญา, พิพัฒน์ อมตฉายา และบัณฑิต กฤตาคม*

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพูน

(Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory: DiTo-Lab)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: o.ddy@hotmail.com และ bundit.kr@rmuti.ac.th, โทรศัพท์ 044 233 073, โทรสาร 044 233 074

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อที่ติดตั้งในหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำมาจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 19 mm และหนา 1 mm โดยจัดเรียงกลุ่มท่อเป็นแบบสลับฟันปลา มีระยะพิตช์แนวขวาง (S_T) แนวยาว (S_L) และแนวทแยง (S_D) คือ 35 mm, 35 mm และ 39 mm ตามลำดับ ทำการติดตั้งอยู่ด้านล่างของหัวพ่นไฟวัสดุพูนซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ของเปลวไฟเสถียร สำหรับวัสดุพูนที่ใช้เป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นทำจากอะลูมินา-คอร์ดีไรท์ (Al-Co) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยคือ 7 mm และค่าความพูน (ϕ) เท่ากับ 0.395 จากการทดลองพบว่า ϵ มีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (V_{mix}) เพิ่มขึ้น แต่ค่า ϵ กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า ϵ ที่สูงสุดของการทดลองนี้ คือ 41 % ที่สภาวะ $\Phi = 0.70$, $V_{mix} = 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $Q_w = 40 \text{ L/min}$

คำหลัก: หัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงแก๊ส, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, แอลพีจี

Abstract

This paper was to present the effect of factors on the effectiveness (ϵ) of the tube-banks heat exchanger installed on a gas (LPG) porous burner. Water was used as the working fluid. The heat exchanger was made of stainless tube with outer diameter of 19 mm and thickness of 1 mm. The configuration of heat exchanger was constructed as an staggered tube-banks which the transverse pitch (S_T), longitudinal pitch (S_L) and diagonal pitch (S_D) were 35 mm, 35 mm and 39 mm respectively. The heat exchanger was attached below the porous burner where the stable flame was located in this position. The examined porous media in the present study was Alumina-Cordierite (Al-Co) having

average diameters of 7 mm and porosity (ϕ) of 0.395. From the experiment, it was found that ϵ was slightly decreased as increasing equivalent ratio (Φ) and was decreased as increasing volumetric premixed-gas flow rate (V_{mix}). However, the level of ϵ was increased with the water flow rate fed into heat exchanger (Q_w). In addition, it was observed that the maximum of ϵ in the present experiment was 41 % at $\Phi = 0.70$, $V_{mix} = 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ and $Q_w = 40 \text{ L/min}$.

Keywords: Gas porous burner, Heat exchanger, LPG.

1. บทนำ

หัวพ่นไฟหรือหัวเผาแผ่รังสีแบบวัสดุพรุน (Porous radiant burner) ที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในหลายวัตถุประสงค์ [1] ยกตัวอย่าง เช่น ใช้ในขบวนการผลิตกระดาษ การทำให้กระดาษแห้ง (Paper drying) การเคลือบกระดาษ (Paper finishing) ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การอบและการทำให้เส้นใยแห้ง (Baking and textile drying) การผลิตไอน้ำในหม้อต้มน้ำทางอุตสาหกรรม การหล่อ การหลอมเหล็ก หรือแม้แต่การสร้างความอบอุ่นภายในบ้านเรือน (Domestic radiant heater) ก็มีการใช้ประโยชน์จากหัวเผาชนิดนี้ โดยข้อดีที่โดดเด่นของหัวเผาแก๊สวัสดุพรุนมีสองข้อหลัก ๆ คือ มีความสามารถในการแผ่รังสีได้สูงและปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในปริมาณที่ต่ำ ด้วยข้อดีดังกล่าวจึงเป็นเหตุผลให้นักวิจัยและวิศวกรจำนวนมาก [2-8] มีความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับหัวเผาชนิดนี้ ทั้งด้วยวิธีการทดลองและทางทฤษฎี เพื่อที่จะพัฒนาสมรรถนะให้ดียิ่งขึ้น

ตลอดระยะเวลาเกือบ 3 ทศวรรษที่ผ่านมา ในช่วงแรกของการศึกษาเกี่ยวกับหัวพ่นไฟหรือหัวเผาวัสดุพรุน จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุนเป็นหลัก แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการเริ่มสนใจถึงกลไกการเผาไหม้หรือเปลวไฟที่ลามออกมาจากชั้นวัสดุพรุน ดังในปี ค.ศ. 2012 ปรีชา ศรีสุวรรณ และคณะ [9] ได้ทำการทดลอง หัวพ่นไฟวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำ ๆ โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจี วัสดุพรุนที่ใช้เป็นชนิดหินตุ้ปลา

จากการศึกษาพบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีลักษณะยาวและเกิดเสถียรภาพการเผาไหม้มีค่า Φ อยู่ในช่วง 0.5 – 0.9 โครงสร้างทางอุณหภูมิสูงถึง 1100 °C สำหรับปริมาณ CO และ NO_x ที่ปล่อยออกมาอยู่ในเกณฑ์ต่ำที่ยอมรับได้ ในปีเดียวกันศาสตรา บัญมาก และคณะ [10] ได้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน แต่ใช้วัสดุพรุนเป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นที่ทำมาจากอะลูมินา-คอร์ติไรท์ จากการศึกษพบว่าเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีลักษณะยาวและเกิดเสถียรภาพการเผาไหม้มีค่า Φ อยู่ในช่วง 0.76 – 1.2 และโครงสร้างทางอุณหภูมิมีค่าสูงกว่ากรณีหินตุ้ปลาคือ 1200 °C อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้งานจากเปลวไฟที่ลามออกมานี้ ยังไม่ได้นำเสนอหรือศึกษาโดยนักวิจัยกลุ่มดังกล่าวข้างต้น เพราะเปลวไฟที่ลามออกมานี้มีศักยภาพที่จะสามารถนำไปใช้งานได้ เช่น การต้มน้ำในหม้อน้ำอุตสาหกรรม การเผาขยะ เป็นต้น

จากข้อโดดเด่นของเปลวไฟจากวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนต่ำ ๆ นี้ คณะผู้เขียนบทความจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้งานโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อในหัวพ่นไฟวัสดุพรุนเชื้อเพลิงแก๊สบริเวณเปลวไฟที่ลามออกมาจากชั้นวัสดุพรุนและเลือกใช้น้ำเป็นสารทำงาน พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อที่มีต่อประสิทธิผล (Effectiveness, ϵ) และโครงสร้างทางอุณหภูมิของหัวพ่นไฟ (Temperature profile, T) วัสดุพรุนที่ใช้เป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นมีค่าความพรุน (Porosity, ϕ) ต่ำ ๆ ($\phi < 0.5$) ซึ่งคณะผู้เขียนบทความคาดหวังว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้น

ที่สำคัญในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการผลิตหรือสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งในหัวพ่นไฟวัสดุพอรุนชนิดเชื้อเพลิงแก๊ส ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรมต่อไป

2. รายการสัญลักษณ์

d	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยวัสดุพอรุน (mm)
$C_{p,c}$	ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ของของไหลเย็น (J/kg · K)
$C_{p,h}$	ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ของของไหลร้อน (J/kg · K)
H	ความหนาของชั้นวัสดุพอรุน (cm)
\dot{m}_c	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเย็น (kg/m ³)
\dot{m}_h	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลร้อน (kg/m ³)
\dot{Q}	อัตราการถ่ายเทความร้อน (Watt)
\dot{Q}_{max}	อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (Watt)
Q_w	อัตราการไหลของน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (L/min)
T	โครงสร้างทางอุณหภูมิ (°C)
$T_{C, in}$	อุณหภูมิน้ำทางเข้า (°C)
$T_{C, out}$	อุณหภูมิน้ำทางออก (°C)
$T_{h, in}$	อุณหภูมิแก๊สร้อนทางเข้า (°C)
$T_{h, out}$	อุณหภูมิแก๊สร้อนทางออก (°C)
V_{mix}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (m ³ /hr)
X	ความยาวตลอดแนวหัวพ่นไฟวัสดุพอรุน (cm)
ϵ	ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
ϕ	ค่าความพรุน
Φ	อัตราส่วนสมมูล

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นชนิดกลุ่มท่อจัดเรียงแบบสลับฟันปลาและใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยแบ่งออกได้เป็น

6 ส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนเชื้อเพลิงหรือการจ่ายไอดี (อากาศกับแอลพีจี) เข้าสู่หัวพ่นไฟวัสดุพอรุน ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ผสมของไอดี (Injection chamber zone) ส่วนที่สามเป็นการอุ่นไอดีหรือตำแหน่งการติดตั้งวัสดุพอรุน (Porous burner zone) ซึ่งวัสดุพอรุนเป็นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นเรียงตัวบรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลสที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 154 mm หนา 2 mm นอกจากนี้เพื่อกันความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกจึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 2 mm ภายในท่อสแตนเลสตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพอรุน (7.5 cm) ส่วนที่สี่คืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อจัดเรียงแบบสลับฟันปลาเป็นพื้นที่เกิดการเผาไหม้และท่อไอเสีย (Combustion and exhaust duct zone) ส่วนที่ห้าเป็นส่วนจ่ายน้ำเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและส่วนที่หกเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลการทดลอง

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟแก๊สแบบนี้จะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อไอดี (อากาศผสมกับแอลพีจี) ไหลผ่านส่วนผสมไอดี (Injection zone) เข้าสู่ชั้นวัสดุพอรุน (Porous burner zone) ไอดีจะไหลผ่านชั้นวัสดุพอรุนและจะมีระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นไอดีจะไหลไปยังบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอรุนเข้าสู่ส่วนที่สี่ก่อให้เกิดการจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด (Combustion zone) เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพอรุน ทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องตรงที่มีเชื้อเพลิงป้อนมายังชั้นวัสดุพอรุนซึ่งเป็นไปตามหลักการหมุนเวียนความร้อน จากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและจะได้น้ำร้อน (Heat water) ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ตามวัตถุประสงค์ต่อไป

เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การเผาไหม้การส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพอรุนกับเปลวไฟและการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยน

ความร้อนแบบกลุ่มท่อที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกน อุณหภูมิหน้าทางเข้าและทางออก จึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค (K-type thermocouples) จำนวน 24 ชิ้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 mm จะถูกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของหัวพ่นไฟตามแนวแกน โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มแรกมีเทอร์โมคัปเปิลเพียงชิ้นเดียวเท่านั้น (T_1) ติดตั้งไว้ที่ Injection zone เพื่อเฝ้าระวังไม่ให้อุณหภูมิในตำแหน่งนี้สูงกว่าอุณหภูมิจุดติดไฟด้วยตัวเอง (Spontaneous temperature) ของแอลพีจี กลุ่มที่สองมีจำนวน 10 ชิ้น (T_2-T_{11}) จะติดตั้งไว้ใน Porous burner zone เพื่อดูกลไกการอุ่นเชื้อเพลิงและคุณลักษณะการเผาไหม้ กลุ่มที่สามมีจำนวน 11 ชิ้น ($T_{12}-T_{22}$) จะติดตั้งไว้ใน Combustion and exhaust duct zone หรือส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อดูพฤติกรรมของเปลวไฟที่เกิดขึ้น กลุ่มที่สี่จำนวน 1 ชิ้น (T_{23}) ติดตั้งไว้ในท่อจ่ายน้ำทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและกลุ่มสุดท้ายจำนวน 1 ชิ้น (T_{24}) ติดตั้งไว้ในท่อน้ำทางออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดนี้จะต่อเข้ากับเครื่อง

Data logger รุ่น MW 100 ยี่ห้อ Yokokawa และเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและบันทึกค่าแบบต่อเนื่องขณะทำการทดลอง

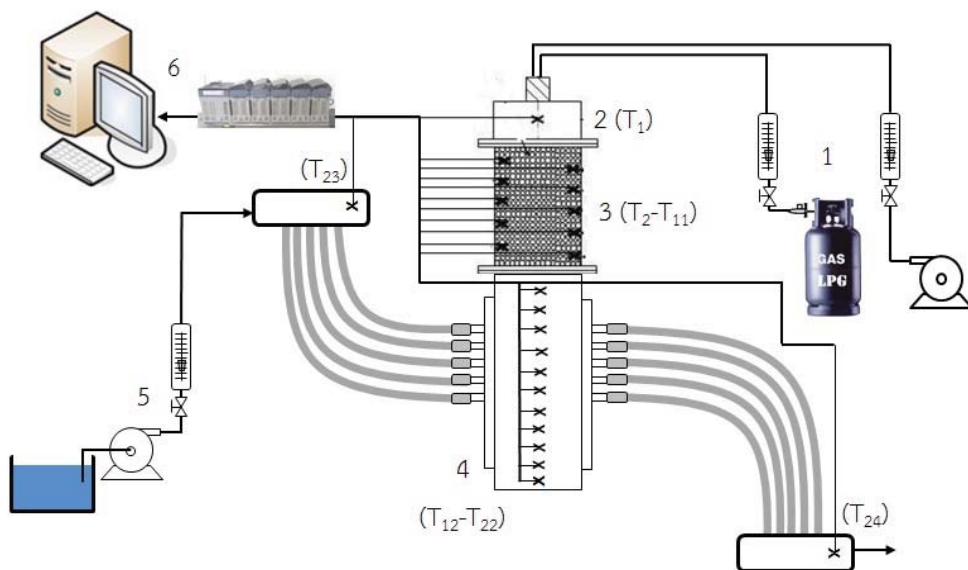
วัสดุพ่นชนิดความพรุนต่ำที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบเม็ดกลมอัดแน่นทำมาจากอะลูมินา-คอร์ติไรท์ (Al-Co) มีค่า d เท่ากับ 7 mm และมีค่า ϕ เท่ากับ 0.395 บรรจุในหัวพ่นไฟซึ่งมีความหนา 7.5 cm

สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คณะผู้เขียนบทความ เลือกออกแบบและติดตั้งกลุ่มท่อน้ำชนิดจัดเรียงแบบสลับฟันปลา (Staggered tube banks) เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสมและมีอิทธิพลต่อความดันลด (Pressure drop) ภายในหัวพ่นไฟวัสดุพ่นต่ำ [11] โดยกลุ่มท่อน้ำทำมาจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 19 mm และหนา 1 mm ซึ่งแสดงในรูปที่ 2

3.2. การคำนวณหาค่าประสิทธิผล

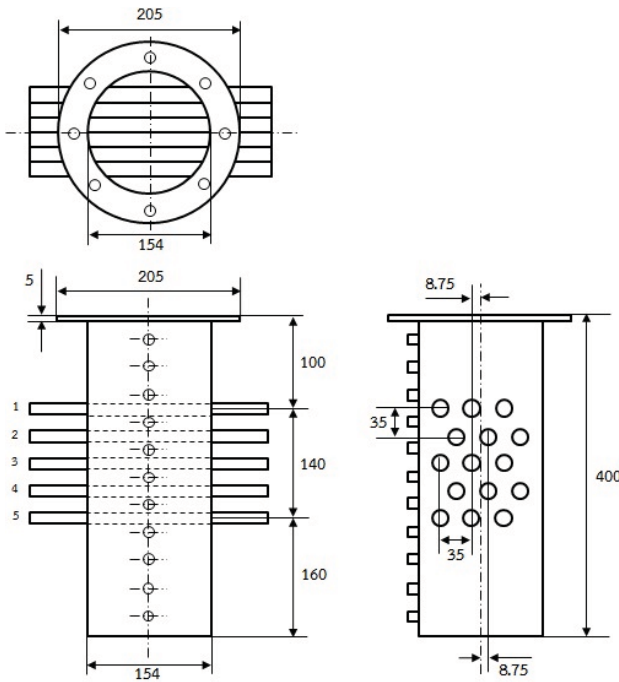
การคำนวณหาค่าประสิทธิผล (Effectiveness, ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อในงานวิจัยนี้ หาได้ดังสมการต่อไปนี้ [11]

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in})}{\dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (1)$$



- | | | |
|------------------------------|----------------|---------------------------|
| 1. ส่วนป้อนไอดี | 2. ส่วนผสมไอดี | 3. ชั้นวัสดุพ่น |
| 4. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 5. ส่วนป้อนน้ำ | 6. ชุดอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |

รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบกลุ่มท่อที่มีการจัดเรียงแบบสลับพื้นปลา

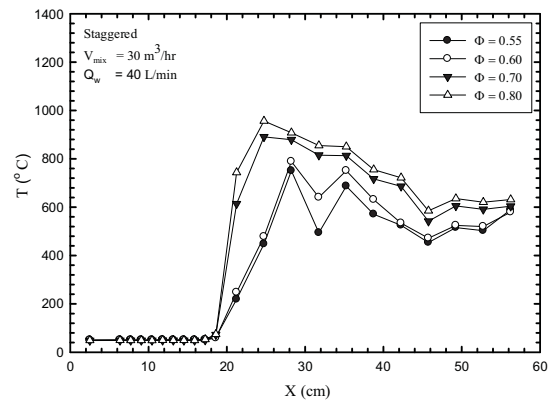
4. ผลการทดลอง

4.1 อิทธิพลของ Φ

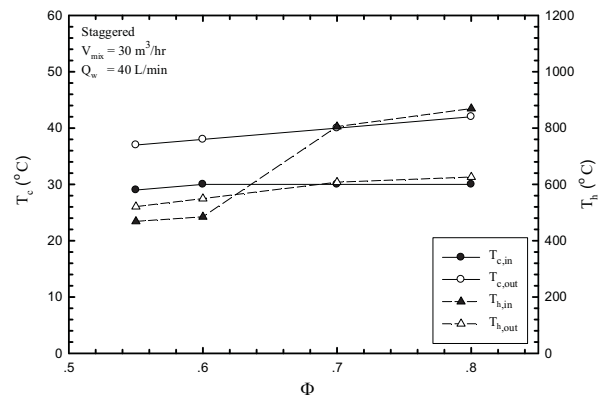
รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีต่อโครงสร้างทางความร้อน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปการกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวแกนตลอดความยาวของอุปกรณ์ทดลอง ในที่นี้จะเรียกว่าโครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ V_{mix} เท่ากับ $30 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ Q_w เท่ากับ $40 \text{ L}/\text{min}$ จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Φ จาก 0.55 ถึง 0.80 [9-10] แนวโน้ม T จะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เป็นไปตามกายภาพการเผาไหม้จริงเนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หนาขึ้น ย่อมทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น [12]

จากโครงสร้างทางอุณหภูมิ (T) ของรูปที่ 3 จะมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิที่ทางเข้า ($T_{c,in}$) และที่ทางออก ($T_{c,out}$) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4 และเป็นการทดลองที่สภาวะเดียวกับรูปที่ 3 พบว่าระดับ $T_{c,in}$ จะค่อนข้างคงที่ เพราะทุกการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิทางเข้าให้คงที่ในช่วง

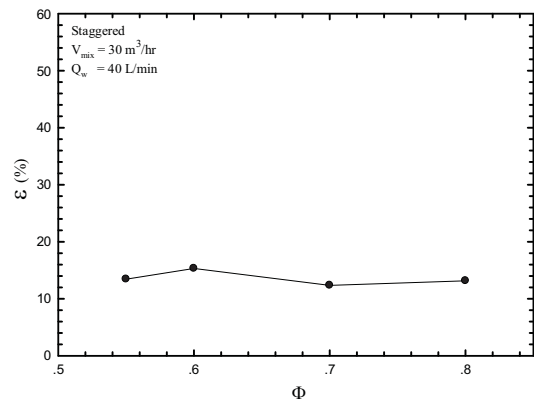
$27-30 \text{ }^\circ\text{C}$ เท่านั้น แต่ในกรณีของ $T_{c,out}$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มค่า Φ เพราะน้ำมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้นตามค่า Φ ที่เพิ่มขึ้นได้ไม่มากเท่าที่ควร ส่งผลให้ประสิทธิภาพ (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อยเมื่อ Φ สูงขึ้น เพราะ ϵ คำนวณจากผลต่างของ $T_{c,out} - T_{c,in}$ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 อิทธิพลของ Φ ต่อ T



รูปที่ 4 อิทธิพลของ Φ ต่อ T_c และ T_h

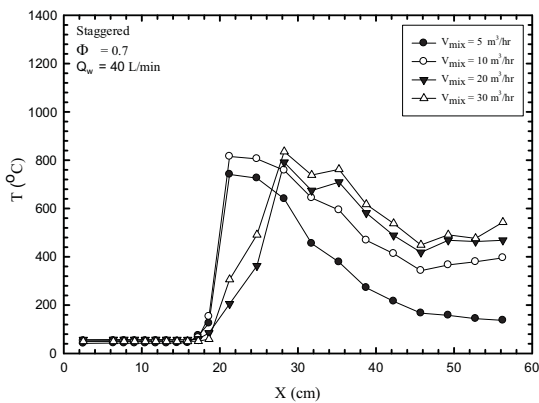


รูปที่ 5 อิทธิพลของ Φ ต่อ ϵ

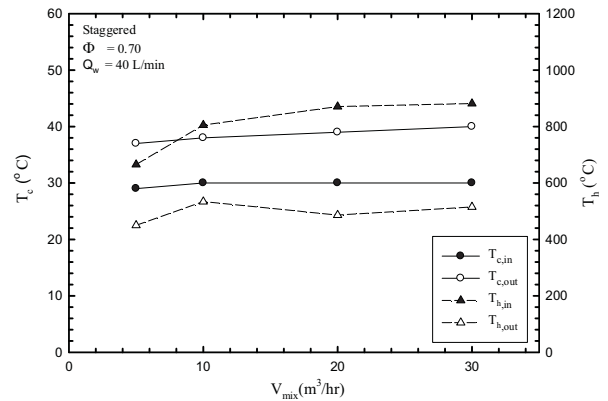
4.2 อิทธิพลของ V_{mix}

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของ V_{mix} ที่มีต่อ T โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ Φ เท่ากับ 0.70 และ Q_w เท่ากับ 40 L/min จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า V_{mix} จาก 5 ถึง 30 m^3/hr [9-10] แนวโน้มของ T จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบเร็วและมากยิ่งขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องและรุนแรงยิ่งขึ้น

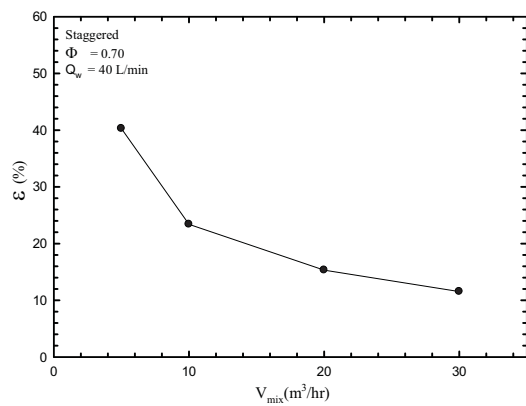
จาก T ที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 6 จะส่งผลโดยตรงต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงได้แสดงในรูปที่ 7 เป็นการทดลองที่สภาวะเดียวกับรูปที่ 6 พบว่าระดับ $T_{c,in}$ ค่อนข้างจะคงที่ เพราะทุกการทดลองของงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิน้ำทางเข้าให้คงที่ในช่วง 27-30 °C เท่านั้น แต่ในกรณีของ $T_{c,out}$ พบว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากน้ำที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรับพลังงานหรือความร้อนได้ไม่มากเท่าที่ควร สำหรับค่า ϵ จะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากระบบมีปริมาณแก๊สร้อนที่เพิ่มขึ้นซึ่งอธิบายได้ด้วยผลต่างดังแสดงในสมการที่ (1)



รูปที่ 6 อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ T



รูปที่ 7 อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ T_c และ T_h



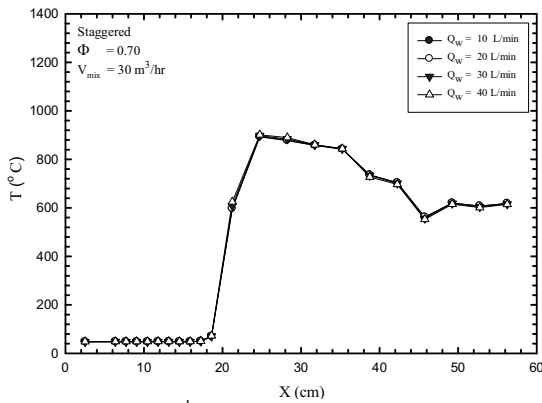
รูปที่ 8 อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ ϵ

4.3 อิทธิพลของ Q_w

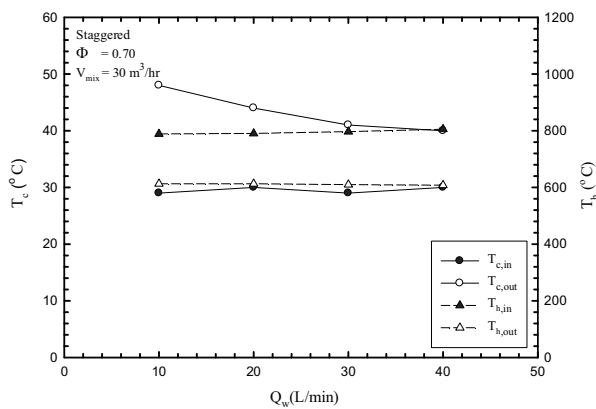
รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลของ Q_w ที่มีผลต่อ T โดยเป็นการทดลองที่สภาวะ Φ เท่ากับ 0.70 และ V_{mix} เท่ากับ 30 m^3/hr จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_w จาก 10 ถึง 40 L/min ค่า T มีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากน้ำที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรับพลังงานหรือความร้อนออกจากระบบได้ไม่มากเท่าที่ควรจากเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงและเผาไหม้อย่างรุนแรงจากการได้รับเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง

จาก T ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 9 จะมีผลโดยตรงต่อ $T_{c,in}$ และ $T_{c,out}$ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นการทดลองที่สภาวะเดียวกันกับรูปที่ 9 พบว่าระดับ $T_{c,in}$ ค่อนข้างจะคงที่ เพราะกำหนดให้อยู่ในช่วง 27-30 °C สำหรับในกรณีของ $T_{c,out}$ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_w จาก 10 ถึง 40 L/min แนวโน้มของ

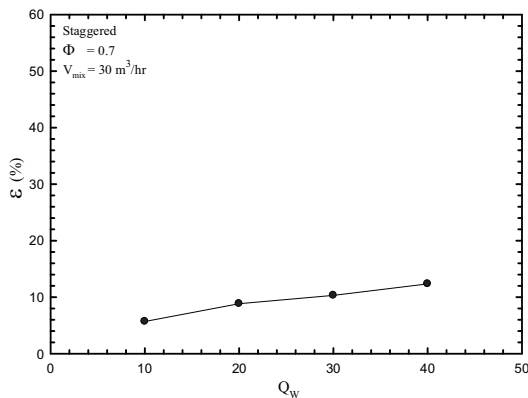
$T_{c,out}$ จะลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ส่งผลให้น้ำได้รับพลังงานหรือความร้อนจากเปลวไฟออกไปได้น้อยลง สำหรับค่า ε จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Q_w ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 11 เนื่องจากระบบมีอัตราการไหลของน้ำ แลกเปลี่ยนความร้อนออกไปจากระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยผลต่างดังแสดงในสมการที่ (1)



รูปที่ 9 อิทธิพลของ Q_w ต่อ T



รูปที่ 10 อิทธิพลของ Q_w ต่อ T_c และ T_h



รูปที่ 11 อิทธิพลของ Q_w ต่อ ε

5. สรุป

จากผลการศึกษาที่ได้รับประเด็นสำคัญของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1) โครงสร้างทางอุณหภูมิตัว (T) ของหัวพ่นไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Φ และ V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่ T มีแนวโน้มคงที่เมื่อค่า Q_w เพิ่มขึ้น เพราะน้ำที่ไหลเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรับพลังงานหรือความร้อนออกไปจากระบบได้ไม่มากเท่าที่ควรจากเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงและเผาไหม้อย่างรุนแรง

2) อุณหภูมิน้ำทางออก ($T_{c,out}$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Φ และ V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจากเปลวไฟที่มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ปริมาณ $T_{c,out}$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Q_w เพิ่มขึ้น เพราะน้ำไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเร็วขึ้น ทำให้แลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยลง

3) ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ε) จะมีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า Φ ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนออกไปจากระบบได้ไม่มากเท่าที่ควร แต่จะมีแนวโน้มลดลงตามค่า V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีปริมาณแก๊สร้อนเพิ่มขึ้น และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Q_w ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีอัตราการไหลของน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนออกไปจากระบบมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และ คณะผู้เชี่ยวชาญบทความวิจัย ขอขอบคูนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คือ นายกฤษฎา กัณหารินทร์ นายบัญชา เจียงเพ็ง และ นายสุรินทร์ แสนดี ซึ่งทำงานวิจัยภายในห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพ่น (DiTo - Lab)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ได้ช่วย
เก็บข้อมูลการทดลองบางส่วนจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ
ลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] บัณฑิต กฤตาคม (2554). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพรมในหัวพ่นไฟ, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ครั้งที่ 12, หน้า 76 – 87.

[2] Yoshizawa, Y., Ssaki, K. and Echigo, R. (1988). Analytical study of the structure of radiation controlled flame, Int. J. Heat mass Transfer, pp. 311 - 319.

[3] Khanna, V., Goel, R. and Ellzey, J. L. (1994). Measurements of emissions and radiation for methane combustion within a porous medium burner. Combustion Science and Technology, pp. 133 - 142.

[4] Mital, R., Gore, J. P. and Viskanta, R. (1997). A study of the structure of submerged reaction zone in porous ceramic radiant burners. Combustion and Flame, pp. 175 - 184.

[5] Bouma, P. H. and De Goey, L. P. H. (1999). Premixed combustion on ceramic foam burner. Combustion and Flame, pp. 133 - 143.

[6] Leonardi, S. A., Viskanta, R. and Gore, J. P. (2001). Radiation and thermal performance measurements of a metal fiber burner. JQSRT, pp. 491 - 501.

[7] Krittacom, B. and Kamiuto, K. (2009). Radiation emission characteristics of an open - cellular porous burner. JSME Journal of Thermal Science and Technology, pp. 13 - 24.

[8] บัณฑิต กฤตาคม (2552). คุณลักษณะการแผ่รังสีของหัวเผาไหม้วัสดุพรมแบบเซรามิกซ์ชนิดเซลล์าร์เปิด, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 4 - 7 พฤศจิกายน 2552.

[9] ปรีชา ศรีสุวรรณ และคณะ (2555). การประยุกต์ใช้หินตุ้ปลาเป็นวัสดุพรมชนิดเม็ดกลมอัดแน่นในหัวพ่นไฟวัสดุพรมเชื้อเพลิงแก๊ส, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 18 - 20 ธันวาคม 2555.

[10] ศาสตรา บุญมาก และคณะ (2555). หัวพ่นไฟวัสดุพรมชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 18 - 20 ธันวาคม 2555.

[11] Yunus A. cengle. Afshin J. Ghajar. (2007). Heat and mass transfer fundamentals and application, McGraw-Hill higher education (Asia).

[12] สำเร็จ จักรใจ (2547). การเผาไหม้, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร