

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

วาปี ศรีปัญญา และบัณฑิต กฤตาคม*

ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอรูน

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

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุนทรารายณ์ 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

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำนายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อที่ติดตั้งในหัวพ่นไฟวัสดุพอรูนเชื้อเพลิงแก๊ส (LPG) โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำมาจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 19 mm และหนา 1 mm ทำการติดตั้งอยู่ด้านล่างของหัวพ่นไฟวัสดุพอรูน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ของเปลวไฟเสถียร จากผลการศึกษาพบว่า ϵ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (V_{mix}) เพิ่มขึ้น แต่ค่า ϵ กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราการไหลของน้ำ (Q_w) ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า ϵ ที่สูงสุดของการศึกษานี้ คือ 46 % ที่สภาวะ $\Phi = 0.80$, $V_{mix} = 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $Q_w = 40 \text{ L/min}$

คำหลัก: การทำนาย, หัวพ่นไฟวัสดุพอรูนเชื้อเพลิงแก๊ส, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, แอลพีจี

Abstract

This paper was to propose the effect of prediction 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 heat exchanger was attached below the porous burner where the stable flame was located in this position. The results are showed it was found that ϵ was increased 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 was 46 % at $\Phi = 0.80$, $V_{mix} = 5 \text{ m}^3/\text{hr}$ and $Q_w = 40 \text{ L/min}$.

Keywords: Prediction, Gas porous burner, Heat exchanger, LPG.

1. บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์มีการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากอดีตเป็นจำนวนมาก เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก จึงมีนักวิจัยสนใจที่จะหาวิธีการต่าง ๆ ในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่าให้เกิดการสูญเสียของพลังงานน้อยที่สุด พยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ลดการสูญเสียของพลังงานในด้านคริวเรือนและด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง [1-5]

นักวิจัยเป็นจำนวนมากสนใจศึกษาการออกแบบและเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ปี ค.ศ. 2017 Sonia Rashidian and Mohamad Reza Tavakoli [3] ได้เสนออีกหนึ่งวิธีในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและลดการสูญเสียความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ การใช้วัสดุพอร์นในของไหลนำไปสู่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การจัดเรียงของวัสดุพอร์นในตำแหน่งระนาบทิศทางการไหลเป็นการเพิ่มความจุความร้อนและประสิทธิภาพการนำความร้อน ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สไปยังน้ำ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยของการใช้วัสดุพอร์นเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของค่าความพอร์น ชนิดของวัสดุพอร์น และโครงสร้างทางเรขาคณิตในระนาบการไหล ด้วยวิธีเชิงตัวเลข แบบจำลองและการทดลอง ตามลำดับ ปี ค.ศ. 2018 [4] Bernardo Buonomo และคณะได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุพอร์นด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยการวิเคราะห์แบบไม่สมดุลทางความร้อน มีจุดมุ่งหมายที่

จะหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยประเมินจากการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มขึ้นของความดันลดในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากการทดลองพบว่าความเหมาะสมสำหรับความหนาของวัสดุพอร์นอยู่ในรูปสมการเส้นผ่าศูนย์กลางท่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความพอร์นของวัสดุพอร์นเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพอัตราส่วนประสิทธิภาพของพลังงาน (EPR) ซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ $Re = 800$ ในปีเดียวกัน [5] นักวิจัยกลุ่มดังกล่าวได้ศึกษาการประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อด้วยวิธีการเชิงตัวเลข โดยทำการศึกษากลุ่มท่อ จำนวน 1 แถว 5 ท่อ ตามแนวขวางการไหลวิเคราะห์ด้วยวิธีกฎของดาร์ซี (Darcy – Forchheimer model) และภายใต้การไม่สมดุลทางความร้อน โดยใช้แบบจำลอง 2 มิติ กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในวัสดุพอร์น ค่าความพอร์นที่ใช้คือ 0.935 โดยทำการเปลี่ยนค่าอัตราการไหล และกำหนดอุณหภูมิที่ผิวท่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากการศึกษาพบว่าการประเมินผลค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและเลขนัสเซลล์ที่ผิวด้านนอกของท่อ ประสิทธิภาพของวัสดุพอร์นแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนประสิทธิภาพของพลังงาน (EPR)

ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการประยุกต์ใช้งานโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลุ่มท่อในหัวพันไฟวัสดุพอร์นเชื้อเพลิงแก๊สบริเวณเปลวไฟที่ลามออกมาจากชั้นวัสดุพอร์น โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการทำนายผล ซึ่งคณะผู้เขียนบทความคาดหวังว่าผลการทดลองที่ได้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการผลิตหรือสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งในหัวพันไฟวัสดุพอร์นชนิดเชื้อเพลิงแก๊ส ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรมต่อไป

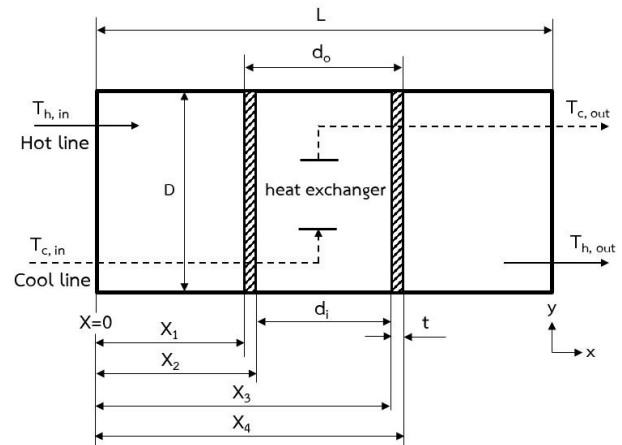
2. รายการสัญลักษณ์

$C_{p, c}$	ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ของของไหลเย็น (J/kg · K)
$C_{p, h}$	ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่ของของไหลร้อน (J/kg · K)
\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)
$T_{c, in}$	อุณหภูมิน้ำทางเข้า (°C)
$T_{c, out}$	อุณหภูมิน้ำทางออก (°C)
$T_{h, in}$	อุณหภูมิแก๊สร้อนทางเข้า (°C)
$T_{h, out}$	อุณหภูมิแก๊สร้อนทางออก (°C)
V_{mix}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงแก๊สผสมก่อน (m ³ /hr)
L	ความยาวทั้งหมดตามแนวแกน x (m)
x_n	ระยะห่างใด ๆ ตามแนวแกน x (m)
D	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของของไหลร้อน (m)
d_i	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของของไหลเย็น (m)
d_o	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของของไหลเย็น (m)
t	ความหนาของผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (m)
U	ความเร็วของของไหล (m/s)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m ³)
μ	ความหนืดการไหล (kg/m · s)
ϵ	ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m · K)
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m ² · K)
Re	เลขเรย์โนลด์
Nu	เลขนัสเซิลท์
Pr	เลขพรันด์เทิล

θ_h	ตัวแปรไร้มิติของอุณหภูมิของของไหลร้อน
θ_s	ตัวแปรไร้มิติของอุณหภูมิของของแข็ง
θ_c	ตัวแปรไร้มิติของอุณหภูมิของของไหลเย็น

3. แบบจำลองทางกายภาพ

รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองทางกายภาพของพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนและน้ำโดยแสดงลักษณะการไหลของของไหลร้อนจากตามแนวแกน x จากซ้ายไปขวา และของไหลเย็นตามแนวแกน y ตามลำดับ การไหลของแก๊สร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำมาจากวัสดุที่มีความหนาเท่ากับ t จากรูปแบบทางกายภาพนี้จะสมมติฐานที่จำเป็นในการคำนวณจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 แบบจำลองทางกายภาพ

1. ของไหลอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state)
2. ของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible)
3. ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtoian)
4. พิจารณาการเคลื่อนที่ของของไหลในแกน x
5. พิจารณาอุณหภูมิแก๊สร้อนในแกน y
6. ไม่พิจารณาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
7. พิจารณาที่สภาวะความดันคงที่
8. ไม่พิจารณาการแผ่รังสีความร้อน
9. คุณสมบัติทางกายภาพมีค่าคงที่

4. สมการควบคุมหลัก

สมการควบคุมหลัก (Governing equation) ที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้สมการอนุรักษ์เชิงพลังงาน (Conservation of energy) ดังสมการต่อไปนี้

$$\rho U C_p \frac{dT}{dx} = k_\infty \frac{d^2T}{dx^2} \quad (1)$$

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) สำหรับขนาดของอุปกรณ์ อุณหภูมิของของไหล คุณสมบัติทางกายภาพ สามารถเขียนได้ดังสมการดังนี้

$$x=0; \theta = \theta_{h, in} (T_{h, in} = 1,000^\circ\text{C}) \quad (2ก)$$

$$x=x_1; \lambda_s \frac{d\theta}{dx} = \lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2ข)$$

$$x=x_2; \lambda_s \frac{d\theta}{dx} = \lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2ค)$$

$$x=x_3; \lambda_s \frac{d\theta}{dx} = \lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2ง)$$

$$x=x_4; \lambda_s \frac{d\theta}{dx} = \lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2จ)$$

$$x=L; \frac{d\theta}{dx} = \text{Constant} \quad (2ฉ)$$

การคำนวณหาค่าประสิทธิผล (Effectiveness, ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานวิจัยนี้ หาได้ดังสมการต่อไปนี้ [6]

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in})}{\dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (3)$$

5. วิธีการคำนวณ

ตัวแปรของสมการไร้หน่วยต่าง ๆ เพื่อจัดรูปสมการควบคุมหลักให้อยู่ในรูปสมการไร้หน่วยจะแสดงดังต่อไปนี้

$$\left. \begin{aligned} \text{Re} &= \frac{\rho U d_o}{\mu_\infty}, \text{Pr} = \frac{\mu_\infty C_p}{k_\infty}, \\ \text{Nu} &= \frac{h d_o}{k_\infty}, \lambda_s = \frac{k_s}{k_\infty}, \\ \lambda_s &= \frac{k_s}{k_\infty}, \lambda_\infty = \frac{k_\infty}{k_\infty}, \\ X &= \frac{x}{L}, D_L = \frac{d_o}{L}, \\ \theta &= \frac{T}{T_\infty} \text{ and } \theta_h = \frac{T_{h,in}}{T_\infty} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

จากตัวแปรไร้หน่วยข้างต้นนำไปแทนค่าในสมการควบคุมหลัก (สมการที่ 1) และเงื่อนไขขอบเขต (สมการที่ 2) จะได้สมการไร้หน่วย คือ

$$\text{RePr} \left(\frac{1}{d_o L} \right) \frac{d\theta}{dX} = \lambda_\infty \frac{d^2\theta}{dX^2} \left(\frac{1}{L^2} \right) \quad (5)$$

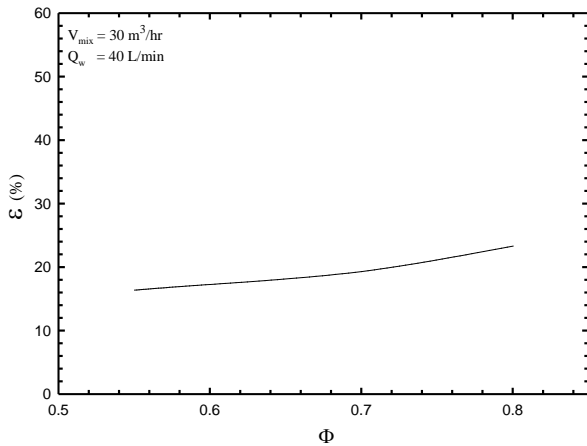
6. ผลการคำนวณและอภิปรายผล

6.1 อิทธิพลของ Φ

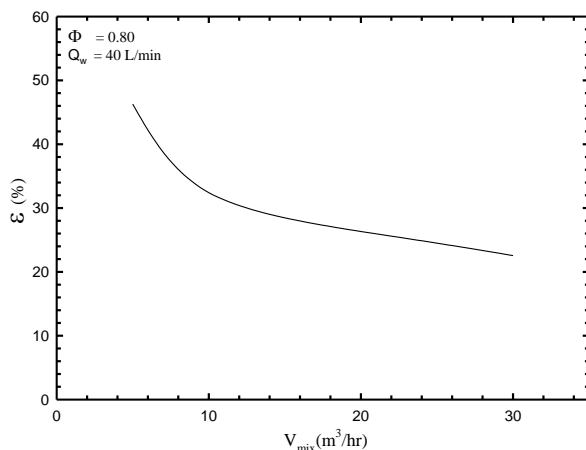
รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล (Φ) ที่มีต่อประสิทธิผล (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยเป็นการศึกษาที่สภาวะ V_{mix} เท่ากับ $30 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ Q_w เท่ากับ $40 \text{ L}/\text{min}$ จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Φ จาก 0.55 ถึง 0.80 [7-8] ประสิทธิภาพ (ϵ) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้เป็นไปตามกายภาพการเผาไหม้จริงเนื่องจากระบบได้รับเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือปริมาณไอผสมที่หนาขึ้น ย่อมทำให้การเผาไหม้มีความรุนแรงและ

สมบูรณ์ยิ่งขึ้น [9] ส่งผลให้ประสิทธิภาพ (ε) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น

ผลต่างดังแสดงในสมการที่ (3) จึงทำให้ ε มีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 2 อิทธิพลของ Φ ต่อ ε



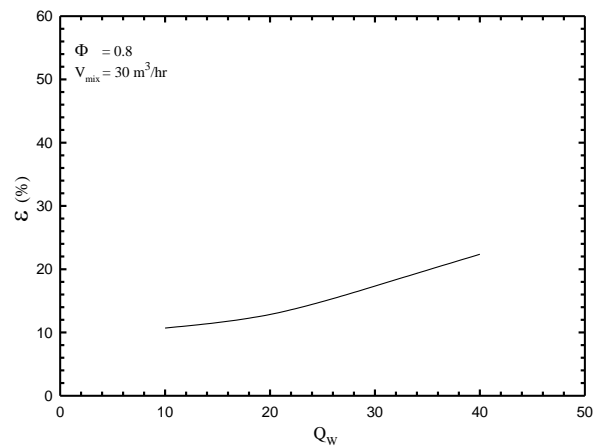
รูปที่ 3 อิทธิพลของ V_{mix} ต่อ ε

6.2 อิทธิพลของ V_{mix}

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของ V_{mix} ที่มีต่อประสิทธิภาพ (ε) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยเป็นการศึกษาที่สภาวะ Φ เท่ากับ 0.80 และ Q_w เท่ากับ 40 L/min จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า V_{mix} จาก 5 ถึง 30 m³/hr [7-8] ค่า ε จะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบเร็วและมากยิ่งขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ต่อเนื่องรุนแรงยิ่งขึ้น ระบบมีปริมาณแก๊สร้อนที่เพิ่มขึ้นซึ่งอธิบายได้ด้วย

6.3 อิทธิพลของ Q_w

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของ Q_w ที่มีต่อประสิทธิภาพ (ε) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยเป็นการศึกษาที่สภาวะ Φ เท่ากับ 0.80 และ V_{mix} เท่ากับ 30 m³/hr จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่า Q_w จาก 10 ถึง 40 L/min ค่า ε จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Q_w ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากระบบมีอัตราการไหลของน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนออกไปจากระบบเพิ่มขึ้นซึ่งอธิบายได้ด้วยผลต่างดังแสดงในสมการที่ (3) จึงทำให้ ε มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 อิทธิพลของ Q_w ต่อ ε

7. สรุปผลการคำนวณ

จากผลการศึกษาที่ได้รับประเด็นสำคัญของงานวิจัยนี้สามารถสรุปคือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ε) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Φ ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากระบบได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจากเชื้อเพลิงที่เพิ่มหรือปริมาณไอดีผสมที่หนาขึ้น แต่จะมีแนวโน้มลดลงตามค่า V_{mix} ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีปริมาณแก๊สร้อนเพิ่มขึ้น และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Q_w ที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากระบบมีอัตราการไหลของน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนออกไปจากระบบมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยและอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพอรุน (DiTo - Lab) ที่ให้ข้อมูลและแนวทางในการดำเนินการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Odabae et al. (2011). Metal Foam Heat Exchangers for Heat Transfer Augmentation from a Cylinder in Cross-Flow, *Transp Porous Med* 86, pp. 911–923.

[2] M. Odabae and K. Hooman. (2012). Metal foam heat exchangers for heat transfer augmentation from a tube bank, *Applied Thermal Engineering* 36, pp. 456-463.

[3] Sonia Rashidian and Mohamad Reza Tavakoli. (2017). Using Porous Media to Enhancement of Heat Transfer in Heat Exchangers, *Management and Science (IJAEMS)*, Vol-3, pp. 1051-1064.

[4] Bernardo Buonomo et al. (2018). Numerical investigation on a Heat Exchanger in Aluminum Foam, *Energy Procedia* 148, pp. 782–798.

[5] Bernardo Buonomo et al. (2018). Numerical investigation on aluminum foam application in a tubular heat exchanger, *Heat and Mass Transfer* 54, pp. 2589–2597.

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

[7] ปรีชา ศรีสุวรรณ และคณะ (2555). การประยุกต์ใช้ หินตุ้ปลาเป็นวัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นในหัวพันไฟ วัสดุพอรุนเชื้อเพลิงแก๊ส, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 18 - 20 ธันวาคม 2555.

[8] ศาสตรา บุญมาก และคณะ (2555). หัวพันไฟ วัสดุพอรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 18 - 20 ธันวาคม 2555.

[9] สำเร็จ จักรใจ (2547). การเผาไหม้, สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร