

การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนขนาดกะทัดรัดเพื่อนำความร้อนทิ้ง กลับมาใช้ใหม่ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ ออกไซด์ของแข็ง

Design of Compact Heat Exchanger for Waste Heat Recovery in Solid Oxide Fuel Cells System

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและ
สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด
เพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบเซลล์
เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง โดยความร้อนทิ้ง
อยู่ในรูปของอากาศร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200°C
- 340°C ก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก
โดยอากาศร้อนนี้ถูกใช้แลกเปลี่ยนกับน้ำเย็นเพื่อ
ผลิตน้ำอุ่น ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหล

เชิงมวลของอากาศร้อน อัตราการไหลเชิงมวล
ของน้ำ และอุณหภูมิของอากาศร้อน โดยทิศทาง
การไหลของน้ำเย็นและอากาศร้อนเป็นแบบไหล
สวนทางกัน จากการศึกษาพบว่า ค่าประสิทธิภาพ
ของการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ระหว่าง 0.847 -
0.880 ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของ
อากาศร้อน และอุณหภูมิของอากาศร้อน จาก
การทดสอบที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน
และน้ำมีค่า 0.00434 kg/s และ 0.0063 kg/s

ตามลำดับ ซึ่งสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 30.6°C เป็น 67.2°C และสามารถลดอุณหภูมิของอากาศร้อนลงเหลือ 35.2°C โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าระหว่าง 0.660 - 1.152 kW

คำหลัก : ความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด

Abstract

This research is to design and construct the prototype of compact heat exchange for the purpose of waste heat recovery process in Solid Oxide Fuel Cell system. The waste heat is hot air which its temperature is around 200°C - 340°C. This heated hot air is exchanged with cool water to produce warm water and also reduce the high temperature of hot air. The parameter that interested are the mass flow rate of hot air, the mass flow rate of water and the temperature of hot air. From the experiment, the heat effectiveness is about 0.847 - 0.880, depending on the mass flow rate and temperature of input hot air. At the flow rate of 0.00434 kg/s, and flow rate water of 0.0063 kg/s, the water can be heated from 30.6°C to 67.2°C and the temperature can be reduced down to 35.2°C. The rate of heat transfer is about 0.660 - 1.152 kW.

Key words : waste heat recovery, compact heat exchanger

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันสถานการณ์ด้านพลังงานมีความต้องการใช้จำนวนที่เพิ่มมากขึ้นทุกวัน และมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตอันใกล้ เหตุนี้ทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ การแสวงหาแหล่งพลังงานอื่นๆ มาทดแทนจึงเป็นเรื่องสำคัญ เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) เป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานที่สามารถนำมาทดแทนได้ เป็นระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สะอาดที่อาศัยขบวนการทางไฟฟ้าเคมีระหว่าง ก๊าซไฮโดรเจน กับก๊าซออกซิเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell : SOFC) เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ทำงานที่อุณหภูมิระหว่าง 600°C - 1000°C จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการด้านความร้อนของระบบ ด้วยเหตุผลในเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน การบำรุงรักษาและในด้านประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเอง ถ้าการจัดการด้านความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิงดี โดยมีการนำความร้อนที่สูงสูญเสียออกไปใช้ประโยชน์ และมีการลดการสูญเสียพลังงานสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์ ก็จะส่งผลถึงระบบเซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงด้วย

ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านได้ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด โดยประยุกต์ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในรถยนต์ (automobile heat exchanger) เพื่อดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ โดยเจนจิรา (1) ได้ดัดแปลงคอนเดนเซอร์สำหรับระบบปรับอากาศรถยนต์มาใช้ในกระบวนการดึงความร้อนทิ้งที่ลอยตัวจากเตาอย่างขนานเพื่อใช้ในการอุ่นน้ำผ่านหม้อไอน้ำ และทงเกียรติ (2) ได้

มีการดัดแปลงหม้อน้ำรถยนต์มาใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการดึงความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับคืน นอกจากนี้ อดิพงษ์ และทงเกียรติ (3) ยังมีการดัดแปลงหม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อใช้ดึงความเย็นทิ้งจากระบบปรับอากาศกลับมามีใช้ทำความเย็นสำหรับอากาศก่อนเข้าเครื่องส่งลมเย็น (fan coil) และพัฒนาเพื่อมาใช้ในกระบวนการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์

จะเห็นว่าการวิจัยที่ผ่านมามีเป้าหมายหลักในการศึกษาเพื่อการประยุกต์ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในรถยนต์ให้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด ในการดึงความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ แต่ในส่วนระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดเพื่อนำความร้อนทิ้งจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งมาใช้ประโยชน์ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียร้อนกับน้ำเย็นก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก เพื่อให้ได้น้ำร้อนอุณหภูมิใช้งานมากกว่า 50°C สำหรับการอุปโภค และลดระดับอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ไหลออกมาให้มีระดับอุณหภูมิเป็นที่ยอมรับในการปล่อยสู่บรรยากาศ ทำให้เป็นการลดมลภาวะด้านความร้อนอันเป็นสาเหตุที่ทำให้โลกร้อนขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้รับคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด ซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซไอเสียร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงและน้ำซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_h = \dot{m}_a C_{p_h} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (1)$$

$$Q_c = \dot{m}_w C_{p_c} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (2)$$

โดยที่

Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อน (W)

Q_c คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ (W)

$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน (kg/s)

$\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

C_{p_h} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศร้อน (J/kgK)

C_{p_c} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (J/kgK)

$T_{h,in}$ คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°C)

$T_{h,out}$ คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก (°C)

$T_{c,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำขาเข้า (°C)

$T_{c,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำขาออก (°C)

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยเฉลี่ย (Q_{ave}) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{ave} = \frac{1}{2}(Q_h + Q_c) \quad (3)$$

$$Q_{ave} = (UA)\Delta T_{LMTD} \quad (4)$$

โดยที่

Q_{ave} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (W)

(UA) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมพื้นที่ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (W/K)

ΔT_{LMTD} คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

เนื่องจากงานวิจัยนี้รูปแบบการไหลระหว่างอากาศร้อนกับน้ำของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการไหลแบบสวนทาง ดังนั้นการคำนวณหาค่าอุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อกหาได้จาก

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln \left(\frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}} \right)} \quad (5)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของค่า Nusselt number ดังสมการ

$$Nu_D = \frac{hD_h}{k} \quad (6)$$

โดยที่

Nu_D คือ ค่าตัวเลขนัสเซิลท์

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/mK)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (m)

ดัชนีที่บ่งบอกสมรรถนะที่นิยมใช้สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในปัจจุบันคือค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน (effectiveness) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\varepsilon = \frac{Q_{ave}}{Q_{max}} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{Q}{(\dot{m}Cp)_{min} \Delta T_{max}} \quad (8)$$

$$Q_{max} = (\dot{m}Cp)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (9)$$

โดยที่

ε คือ ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน

Q_{ave} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

Q_{max} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด (W)

$(\dot{m}Cp)_{min}$ คือ ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลกับความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่มีค่าน้อย (kW/K)

ΔT_{max} คือ อุณหภูมิแตกต่างสูงสุด ($^{\circ}\text{C}$)

นอกจากค่าต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วยังมีตัวแปรอีกตัวแปรหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนคือจำนวนหน่วยการถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Number of Transfer Units (NTU) โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$NTU = \frac{(UA)}{(\dot{m}c_p)_{min}} \quad (10)$$

3. อุปกรณ์การทดสอบ

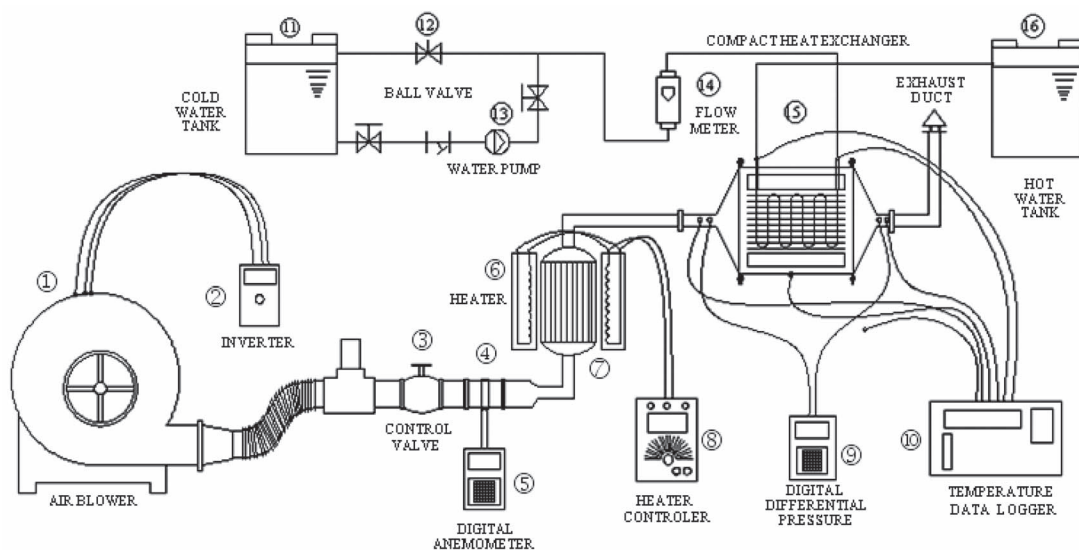
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด เพื่อใช้ในระบบการดึงความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ สำหรับผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 50°C อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1 โดยใช้พัดลม (①) (blower) ขนาด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดอากาศ ซึ่งควบคุมปริมาณอากาศไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการปรับอินเวอร์เตอร์ (②) (Inverter) หรือปรับที่วาล์ว (③) โดยปริมาณอากาศแต่ละครั้งของการทดสอบจะถูกกำหนดโดยเครื่องวัดความเร็ว (④) อากาศจะต้องไหลผ่านท่อรับความร้อน (⑦) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับเครื่องกำเนิดความร้อน (⑥) ทำให้อากาศมีอุณหภูมิตามที่ต้องการและจัด

ระเบียนการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด โดยกำหนดให้อากาศเป็นก๊าซไอเสียร้อนก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด (15) ต่อไป

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดถูกออกแบบให้มีขนาดกว้าง 0.20 m. ยาว 0.22 m. และสูง 0.22 m. มีท่อทางเข้าและทางออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0254 m. ภายในใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0095 m. ครีบอลูมิเนียมแบบรอยหยัก โดยอุณหภูมิอากาศร้อนเข้า ออก และอุณหภูมิน้ำเข้า ออก ถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล type K จำนวนทั้งสิ้น 6 จุด โดยบันทึกค่าที่วัดได้ลงอุปกรณ์ data logger ส่วนค่าความดันตกคร่อมใช้เครื่องมือ digital differential pressure ในการวัดภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดมีการหุ้มฉนวนใยแก้วความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก

4. วิธีการทดสอบ

รูปที่ 2 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด การทดสอบเริ่มจากเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของอากาศร้อนโดยกำหนดให้เป็นก๊าซไอเสียให้ได้ตามต้องการ โดยควบคุมความเร็วอากาศร้อนให้อยู่ในช่วง 1.329 ถึง 1.524 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วดังกล่าวควบคุมค่าอัตราการไหลเชิงมวลอากาศร้อนให้ที่อยู่ระหว่าง 0.00434 ถึง 0.00498 kg/s ซึ่งใกล้เคียงกับค่าตัวอย่างอัตราการไหลเชิงมวลอากาศร้อนสูงสุด 0.0196 kg/s ขนาด SOFC 2,070 W มีสถานะเป็นก๊าซ (5) และปรับอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำให้อยู่ในช่วง 0.0063 ถึง 0.0094 kg/s ในแต่ละช่วงความเร็วอากาศร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ทดสอบจะต้องรอให้อุณหภูมิทางเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ก่อนจะทำการบันทึกค่าและเก็บข้อมูล ในขณะเดียวกันก็บันทึกค่าความดันตกคร่อมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวด้วย



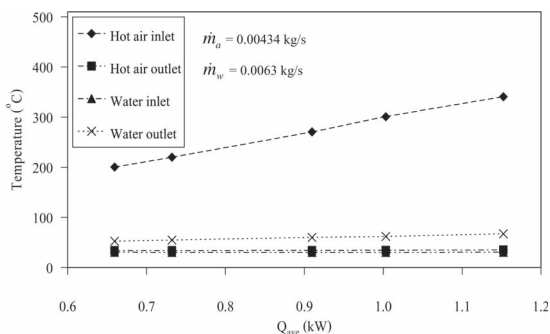
รูปที่ 1 โดอะแกรมของอุปกรณ์การทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด



รูปที่ 2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด

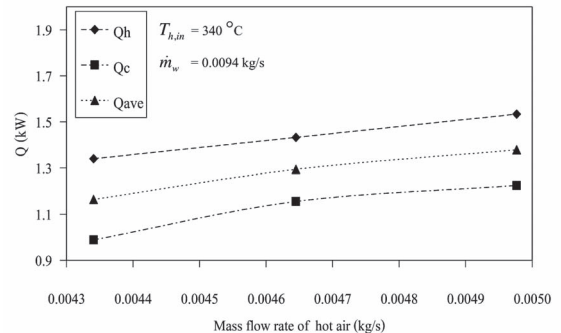
5. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

เมื่อได้ทำการทดสอบและคำนวณตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว จากนั้นจึงได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็นการทดสอบที่การปรับเปลี่ยนปัจจัยทางด้านขาเข้าต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด เนื่องจากการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ความร้อนทั้งจากระบบอยู่ในรูปของอากาศร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 200°C - 340°C ก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก (5) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบที่ค่าอากาศร้อนต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด



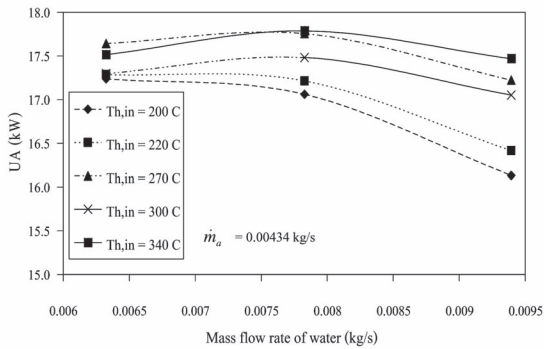
รูปที่ 3 ค่าความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กรณีที่อัตราการไหลเชิงมวลอากาศร้อน 0.00434 kg/s

รูปที่ 3 เป็นการแสดงค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศร้อน และน้ำที่สภาวะทางเข้าและทางออกที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.00434 kg/s พบว่าค่าความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปตามเงื่อนไขในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 30°C ให้มีค่ามากกว่า 50°C และสามารถลดอุณหภูมิของอากาศร้อนลงเหลือน้อยกว่า 50°C ค่าสูงสุดอุณหภูมิของน้ำประมาณ 67°C เกิดในกรณีที่อุณหภูมิของอากาศร้อนมีค่า 340°C



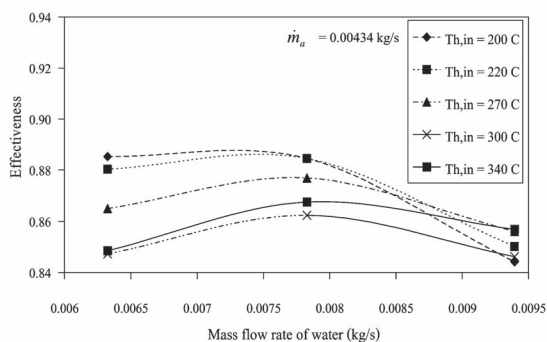
รูปที่ 4 อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีอุณหภูมิอากาศร้อน 340°C

รูปที่ 4 เป็นการแสดงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับกรณีอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 340°C พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำและอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อนจะมีค่ามากกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำเสมอ



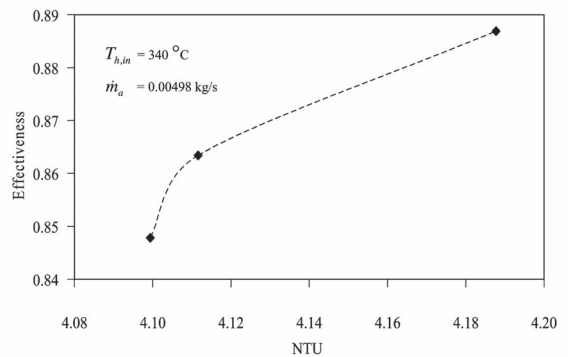
รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนโดยรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีใช้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน 0.00434 kg/s

รูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนโดยรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนคงที่ 0.00434 kg/s และทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำดังนี้ 0.0063, 0.0078 และ 0.0094 kg/s ตามลำดับ พบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนโดยรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มค่าลดลง

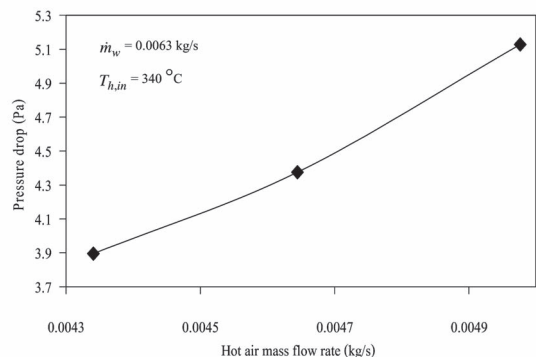


รูปที่ 6 ค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีใช้อัตราการไหลเชิงมวลอากาศร้อน 0.00434 kg/s

รูปที่ 6 เป็นการแสดงค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำ ที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อนคงที่ 0.00434 kg/s พบว่าค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนมีแนวโน้มค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเพิ่มขึ้น ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองของขวัญชัย และอดิพงศ์ (4) รูปที่ 7 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกับ ค่า NTU ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนแปรผันตรงกับค่า NTU



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและค่า NTU ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีใช้อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 200 °C



รูปที่ 8 ความดันอากาศร้อนตกคร่อมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด

ค่าความดันอากาศร้อนตกคร่อมระหว่างทางเข้าและออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด แสดงในรูปที่ 8 พบว่าค่าความดันตกคร่อมนี้แปรผันตามอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน โดยค่าความดันตกคร่อมมีค่ามากที่สุดประมาณ 5.128 Pa ที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน 0.00498 kg/s ซึ่งถือว่ามีความต่ำ เมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทอื่น ๆ

6. สรุปผลการทดสอบ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด เพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง จากการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ระหว่าง 0.847 - 0.880 ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน และอุณหภูมิของอากาศร้อน จากการทดสอบสามารถเพิ่ม

อุณหภูมิของน้ำจาก 30.6°C เป็น 67.2°C และสามารถลดอุณหภูมิของอากาศร้อนลงเหลือ 35.2°C โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 0.660 - 1.152 kW ณ ที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศร้อน 0.00434 kg/s และอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ 0.0063 kg/s ซึ่งให้ผลสอดคล้องเป็นไปตามทฤษฎีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและแผนงานโครงการพัฒนาบุคลากร สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ในความอนุเคราะห์ด้านทุนวิจัย และขอขอบคุณคุณสมมาส แก้วล้วน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- (1) เจนจิรา เปี่ยมดี. (2545). "การออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบการอบแห้งขนม" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- (2) ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2547). "การใช้หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับคืน" กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- (3) อติพงศ์ นันทพันธุ์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2547). "สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์" บทความวิชาการนำเสนอการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, ขอนแก่น.
- (4) ขวัญชัย ไกรทอง และ อติพงศ์ นันทพันธุ์. (2548). "การประยุกต์ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวางดัดแปลงจากคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ : กรณีศึกษาการดึงความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนมาใช้อุ่นอากาศ" วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร ปี 2548 ฉบับที่ 13(1) พ.ศ. 2548 หน้า 13-23.
- (5) Yau-Pin Chyou, Tsang-Dong Chung, and Jong-Sheng Chen, "START-UP STRATEGY FOR OPERATING A SOLID OXIDE FUEL CELL BASED ON TRANSIENT ANALYSES", Proc. of the 9th International Symposium on SOFC (SOFC IX), Paper #1232, Quebec City, Canada, 15 - 20 May (2005).