

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ระบบระบายความร้อนแบบทรานสไปเรชั่นโดยใช้วัสดุพูนชนิดโลหะโฟมเซลเปิด Transpiration Cooling System Using Metal Open-Cell Foam Porous Material

บัณฑิต กฤตาคม^{1,2*} และ พิพัฒน์ อมตฉายา¹, สาทิต ทูลไธสง²

¹ ห้องปฏิบัติการการพัฒนาเทคโนโลยีของวัสดุพูน (Development in Technology of Porous Materials Research Laboratory)

² ห้องปฏิบัติการงานวิจัยอาจารย์รุ่นใหม่ (The New Generation Smart Teacher-Gang Research Laboratory)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ: E-mail: bundit.kr@rmuti.ac.th, โทรศัพท์: 044-233-073, โทรสาร: 044-233-074

บทคัดย่อ

การทดลองระบบระบายความร้อนแบบทรานสไปเรชั่นโดยใช้วัสดุพูนชนิดโลหะโฟมเซลเปิด ถูกทำการศึกษาเพื่ออธิบายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนร่วมระหว่างการพาและการแผ่รังสีความร้อน วัสดุพูน ที่เลือกใช้ในการทดลอง คือ นิกเกิล-โครม (Nickel-Chrome) ที่มีค่าความพูนและจำนวนรูต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (Pores per inch, PPI) เท่ากับ 0.92 และ 8.5 ตามลำดับ ฟลักซ์การแผ่รังสี (Radiative heat flux) ที่แผ่ไปยังผิวด้านบนของ วัสดุพูนนั้นอยู่ในช่วง 1.9 kW/m^2 ถึง 15.4 kW/m^2 แต่สำหรับอากาศป้อนมาจากด้านล่าง มีค่าความเร็วในช่วง $2.122 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ถึง $12.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ซึ่งจัดให้อยู่ในรูปตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ในการแสดงผล การศึกษาจะอธิบายด้วยสองประสิทธิภาพ นั่นคือ ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (Temperature efficiency) และการ เปลี่ยนพลังงาน (Conversion efficiency) โดยที่ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิจะหมายถึงการเปรียบเทียบความ ไกลเคียงกันระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุพูนกับอุณหภูมิของอากาศขาเข้า พบว่าในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความเร็วของอากาศ (Re) ที่จ่ายให้กับระบบเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มากกว่า 10 สำหรับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะหมายถึงความสามารถของวัสดุพูนในการส่งถ่ายพลังงานด้วยการ พาความร้อน (Convective heat transfer) หลังจากทีวัสดุพูนได้ดูดซับความร้อนจากการรังสีที่แผ่เข้ามา พบว่าจะ มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนและความเร็วของอากาศที่ป้อนให้กับระบบ และจะเข้าสู่ สภาวะคงที่เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มากกว่า 10 เช่นเดียวกับกรณีประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ

คำหลัก: คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน, ระบบระบายความร้อนแบบทรานสไปเรชั่น, วัสดุพูนชนิดโลหะโฟมเซลเปิด, ฟลักซ์การแผ่รังสี,

Abstract

Heat transfer characteristics of combined convection and radiation in the air transpiration cooling system using metal open-cell foam porous plates was investigated experimentally. The Nickel –Chrome (Ni-Cr) open-cellular porous materials having porosity of 0.92 and pores per inch (PPI) of 8.5 was examined. The upper surface of porous plate was heated by the heat flux of incoming radiation varying

from 1.9 to 15.4 kW/m² whereas air injection velocity fed into the lower surface was varied from 2.122×10^{-4} to 12.73×10^{-4} m/s. The air velocity was rearranged as Reynolds number (Re). For the report of the results in the present study, two efficiencies including of temperature and conversion efficiency were presented. From the experimental investigation, the temperature efficiency, indicating how close the mean temperature of a porous heat shield is to the inlet air temperature, rapidly increased with the air injection velocity (Re). It then was saturated at a constant value for Re is higher than 10. The conversion efficiency, which regard as the ability of porous materials in transferring energy by convection after absorbed from heat radiation, decreased with increasing the heat flux and the air injection velocity. Also, It then was asymptotic to constant values for Re is higher than 10.

Keywords: Heat transfer characteristics, The air transpiration cooling system, Open-cellular porous materials, Radiation heat flux,

1. บทนำ

งานบางงานในภาคอุตสาหกรรม หรือระบบขนส่ง จะมีโครงสร้างของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ ต้องทำงานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ๆ เช่น เครื่องจักรที่อยู่ใกล้เตาหลอมเหล็ก ท่อส่งอากาศจากเครื่องอัดอากาศไปยังอุปกรณ์ใช้ลมที่อยู่ใกล้แหล่งความร้อนสูง ใบพัดของแก๊สเทอร์ไบน์ ปีกเครื่องบินบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ การเผาไหม้อย่างรุนแรงของเชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนที่หัวฉีดเชื้อเพลิงในยานอวกาศ เป็นต้น โครงสร้างและอุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องมีกำบังความร้อน (Thermal shield) หรือระบบระบายความร้อน (Cooling system) ที่เพียงพอและเหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิที่สูง โดยทั่วไปการระบายความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงจะนิยมใช้อากาศหรือของไหลเป็นสารตัวกลางในการหล่อเย็น [1] ได้แก่ การระบายความร้อนแบบฟิล์ม (Film cooling) การระบายความร้อนแบบการพา (Convection cooling) การระบายความร้อนแบบไอน้ำหรือน้ำ (Steam/water cooling) การระบายความร้อนแบบปะทะ (Impingement cooling) และการระบายความร้อนแบบทรานสปิเรชัน (Transpiration cooling) จากระบบระบายความร้อนดังกล่าวข้างต้นพบว่า มีเพียงระบบระบายความร้อนแบบทรานสปิเรชันเท่านั้นที่อากาศไหลทะลุผ่านแหล่งความร้อนที่ต้องการระบายตลอดทั่วทั้งเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

ซึ่งเครื่องจักรแบบนี้มีโครงสร้างเป็นวัสดุพรุน ทำให้สามารถระบายความร้อนได้โดยตรง ขณะเดียวกันเครื่องจักรที่เป็นวัสดุพรุนก็ยังทำหน้าที่เป็นเสมือนกำบังความร้อนไปในตัว

ระบบการระบายความร้อนแบบทรานสปิเรชันเป็นเทคนิคที่รู้จักกันแพร่หลายและมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง Duwez และ Wheeler [2] เสนอวิธีการส่งเสริมการระเหยความร้อน ในกรณีที่อยู่ในสภาวะที่มีการถ่ายเทความร้อนสูง ดังพบเห็นในเครื่องยนต์เจ็ท (Jet Engine) เป็นการใช้วัสดุพรุนร่วมกับของไหลที่ถูกบังคับให้ไหลผ่านวัสดุพรุนในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของความร้อน โดยเรียกวิธีการระบายความร้อนดังกล่าวว่า Sweat cooling (หรือ Transpiration cooling) พวกเขาพบว่าสามารถใช้ก๊าซหรือของเหลวเป็นตัวระบายความร้อนแบบ Sweat cooling ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Grootenhuis [3] ศึกษาการระบายความร้อนจากผิวที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ใบกังหันและผนังของกังหันไอน้ำ หรือฉนวนหุ้มห้องเผาไหม้ โดยใช้อากาศความดันสูงเป่าผ่านวัสดุพรุนที่ดูดซับความร้อนไว้ และทำให้เกิดชั้นของฉนวนกันความร้อนใต้ผิวที่ปะทะความร้อนโดยตรง เป็นเสมือนกำบังความร้อน (Thermal shield) Kubota [4] ได้วิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบการระบายความร้อนแบบทรานสปิเรชัน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์มิติเดียวภายใต้สภาวะไม่คงตัว (Unsteady state) โดยระบบระบาย

ความร้อนประกอบด้วย วัสดุพูนสะท้อนรังสี ระบบการถ่ายอากาศที่ใช้ดูดซับความร้อนจากการแผ่รังสี โดยอาศัยการพาความร้อน ผลการคำนวณพบว่า อุณหภูมิผิวและการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพูนทางด้านหลังจะตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อรังสีความร้อนที่ตกกระทบ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของของไหล ทำให้อุณหภูมิในวัสดุพูนลดลง Maruyama และคณะ [5] ทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับระบบฉนวนความร้อนที่มีลักษณะเป็นเสมือนกำบังความร้อนในการศึกษาพบว่า เมื่อมีการให้ความร้อน ความลึกที่ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ไปในวัสดุได้นั้น จะไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการพ่นก๊าซเข้าไป และมีค่ามากกว่าในกรณีที่มีการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว Wang และคณะ [6] ทดลองใช้เทคนิคการสร้างภาพโดยอาศัยคลื่นความร้อนอินฟราเรด (Infrared thermal imaging technique; IRTIT) ในการบอกสมรรถนะการระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่น จากการศึกษาพบว่าความเสถียรของระบบการวัดเกิดขึ้นในวัสดุพูนที่ทำด้วยโลหะโครเมียม – นิเกิล ที่มีความพูน 21 % เมื่อเร็ว ๆ นี้ Kamiuto และคณะ [7] ได้ศึกษาทั้งด้านทฤษฎีและการทดลองของการถ่ายเทความร้อนร่วมระหว่างการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนของระบบการระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่นด้วยอากาศ โดยการใช้วัสดุพูนชนิดโฟมเซลเปิด หรือเซลล์าร์เปิด (Open-cell foam or open-cellular materials) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ส่วนค่าประสิทธิภาพอุณหภูมิจะมีค่าคงที่ และจะมีค่าสูงกว่า 90% วัสดุพูนโฟมเซลเปิดสามารถใช้เป็นกำบังความร้อนได้ดี ถ้าความหนาเชิงแสง (Optical thickness) ของวัสดุพูน มีค่ามากกว่า 5

จากการศึกษาที่กล่าวมา พบว่ามีทั้งด้านทฤษฎีและการทดลองของระบบระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่น แต่การศึกษาส่วนใหญ่สนใจเพียงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection heat transfer) เป็นหลัก ส่วนอิทธิพลการแผ่รังสีมีการศึกษา

เพียงเล็กน้อย ทำให้สมรรถนะที่ได้ยังมีค่าต่ำและไม่มี ความสอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาคณลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยการพาร่วมกับการแผ่รังสีความร้อนในระบบการระบายความร้อนที่ใช้วัสดุพูนแบบโฟมเซลเปิดชนิดนิเกิล-โครม เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกวัสดุพูนชนิดนี้ในการใช้เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนของทรานส์ไพเรชั่นหรือกำบังความร้อน

2. รายการสัญลักษณ์

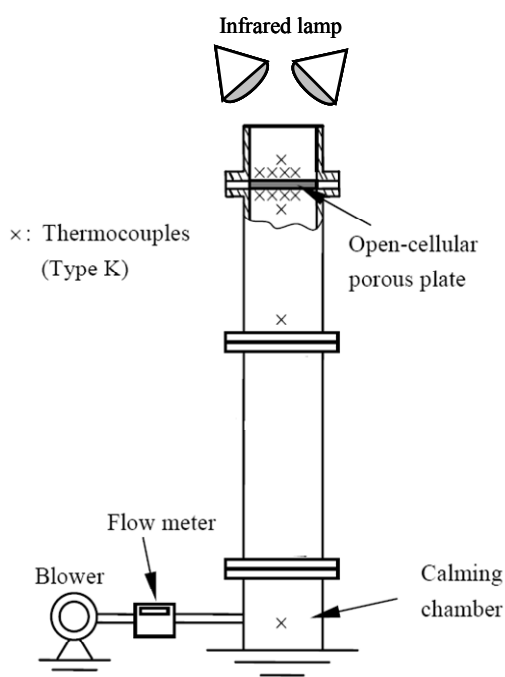
$c_{p,F}$	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ($J/kg^{\circ}C$)
D_s	เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลสตรีท (m)
$q_{R,F}$	ค่าฟลักซ์ของการแผ่รังสี (W/m^2)
Re	ตัวเลขเรย์โนลด์ ($=\rho_F u_F D_s/\mu_F$)
T_F	อุณหภูมิของอากาศ (K)
T_{FB}	อุณหภูมิของอากาศด้านขาเข้า (C)
T_{FF}	อุณหภูมิของอากาศด้านขาออก (C)
T_0	อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า (C)
T_R	อุณหภูมิการแผ่รังสี (C)
T_{SB}	อุณหภูมิผิวหลังของแผ่นวัสดุพูน (C)
T_{SF}	อุณหภูมิผิวหน้าของแผ่นวัสดุพูน (C)
u_F	ความเร็วของอากาศขาเข้าสู่วัสดุพูน (m/s)
x	ความหนาของแผ่นวัสดุพูน (m)
β	สัมประสิทธิ์การลื่นไถล (m^{-1})
ρ_F	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
μ_F	ความหนืดของอากาศ ($Pa\cdot s$)
η_c	การเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย
η_T	ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ และประสิทธิภาพ
τ	ความหนาเชิงแสง ($=\beta x$)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

แผนผังอุปกรณ์การทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของอากาศที่ไหลเข้าระบบ (Inlet air section) ส่วนที่สองเป็นวัสดุพูน (Porous section) ส่วนที่สามเป็นส่วนแผ่รังสีความร้อน (Radiation section) โดยส่วนอากาศไหลเข้าหรือส่วนที่หนึ่งจะเป็นท่อทำมา

จากสแตนเลส ยาว 600 mm หนา 2 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 108 mm จะมีวัสดุทดลองวางอยู่ด้านบนของท่อ ซึ่งเป็นวัสดุพูนแบบโฟมเซลเปิดชนิดนิกเกิล-โครม (Ni – Cr) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 mm (ส่วนที่สอง) และด้านบนสุดจะติดตั้งหลอดไฟอินฟราเรดขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด (ส่วนที่สาม) เพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนเสมือนการแผ่รังสีเข้ามายังวัสดุทดลอง สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพูนที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ จะแสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลองของระบบระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพูนแบบโฟมเซลเปิดชนิดนิกเกิล-โครม (Nickel –Chrome)

สัมประสิทธิ์	ค่ากายภาพ	
ค่าความพูน	ϕ	0.92
จำนวนช่องต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว	PPI	8.5
ความหนา	x	0.0103 m
Extinction coefficient	β	117.8 m^{-1}
ความหนาเชิงแสง	τ	1.213

จากส่วนประกอบทั้งหมดของระบบระบายความร้อนแบบนี้ มีหลักการทำงาน คือ อากาศเย็นถูกดูดมาจากพัดลมดูด (Blower) ด้านล่าง ผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter) และส่งอากาศเย็นนี้ขึ้นไปในแนวดิ่งตามท่อเข้าสู่วัสดุทดลองหรือวัสดุพูนที่ได้รับการแผ่รังสีจากหลอดไฟอินฟราเรดภายนอก ซึ่งพลังงานการแผ่รังสีความร้อนถูกตรวจวัดด้วยเครื่องวัดฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนชนิดแคลอรีมิเตอร์แบบน้ำนิ่ง (Still-type water calorimeters) เมื่อระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและทางออกจากวัสดุพูน รวมทั้งอุณหภูมิของวัสดุพูนที่ผิวด้านหน้าและด้านหลัง โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K thermocouples) ค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จะนำไปวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุระบายความร้อนหรือกักเก็บความร้อนต่อไป

3.2 ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิและประสิทธิภาพ

การเปลี่ยนพลังงาน

เพื่อแสดงถึงสมรรถนะของระบบระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่นนี้ ในงานวิจัยจึงนำเสนอในรูปของประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (Temperature efficiency, η_T) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย (Conversion efficiency, η_C) ซึ่งประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ มีความหมายทางกายภาพ คือ ค่าการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของวัสดุพูนกับอุณหภูมิของอากาศขาเข้า สำหรับความหมายทางกายภาพของประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย คือ ความสามารถของวัสดุพูนในการส่งถ่ายพลังงานด้วยการพาความร้อนหลังจากที่วัสดุพูนได้ดูดซับความร้อนจากการรังสีที่แผ่เข้ามา สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

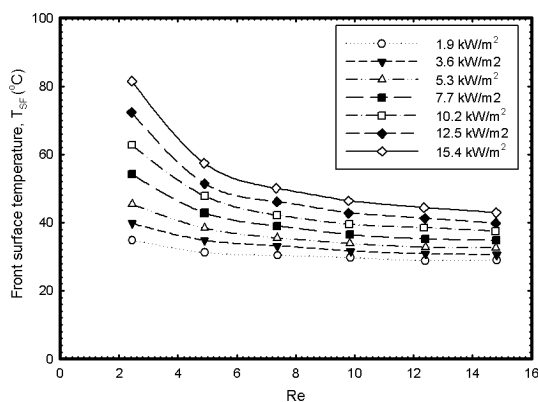
$$\eta_T = \left[T_R - \left(\frac{T_{SB} + T_{SF}}{2} \right) \right] / (T_R - T_0) \quad (1)$$

$$\eta_C = \rho_F C_{P,F} u_F (T_{FF} - T_{FB}) / q_{R,F} \quad (2)$$

4. ผลและการวิเคราะห์

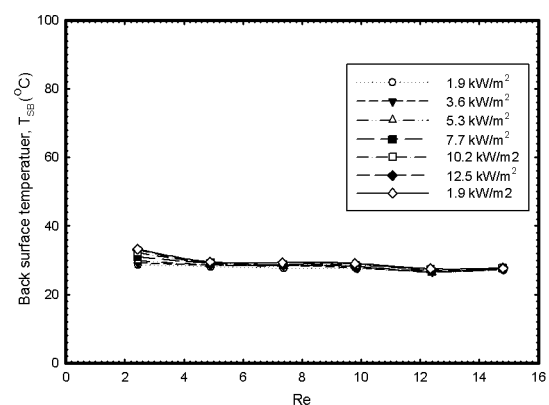
4.1 อุณหภูมิผิวของวัสดุพูน

อิทธิพลของความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่ระบบ เพื่อใช้ระบายความร้อน ซึ่งแสดงในรูปเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวของวัสดุพูนด้านอากาศไหลออกหรือด้านที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะเรียกอุณหภูมิที่ตำแหน่งนี้ว่า อุณหภูมิผิวหน้า (Front surface temperature, T_{SF}) ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าเมื่อ Re เพิ่มขึ้นค่า T_{SF} จะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกับค่าฟลักซ์ความร้อน สูงๆ จนกระทั่ง Re มีค่ามากกว่า 10 ค่า T_{SF} จะลดลงเพียงเล็กน้อยแม้เพิ่มค่า Re ขึ้นไปอีก และแนวโน้มของ T_{SF} จะเข้าสู่ค่าคงที่ เนื่องจากว่าขณะที่วัสดุพูนได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงแรกเป็น อิทธิพลของการพาความร้อน (Convection heat transfer) ทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าลดลงตามค่าความเร็วของอากาศที่ป้อนให้กับระบบ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วมากขึ้น การพาความร้อนก็ไม่ได้ส่งเสริมการระบายความร้อนเท่าที่ควร จึงอาจกล่าวได้ว่าการระบายความร้อนในระบบนี้ไม่ควรให้ค่า $Re > 10$ นอกจากนี้หากพิจารณาที่ Re เดียวกัน จะพบว่า อุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัสดุพูนจะเพิ่มขึ้นตามฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหน้า (Front surface, T_{SF}) กับเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re)

รูปที่ 3 จะแสดงอิทธิพลของความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่ระบบเพื่อระบายความร้อน โดยแสดงในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวของวัสดุพูนด้านอากาศไหลเข้า ซึ่งจะเรียกอุณหภูมิที่ตำแหน่งนี้ว่า อุณหภูมิผิวหลังของวัสดุพูน (Back surface temperature, T_{SB}) โดยอยู่ในสภาวะการทดลองเดียวกันกับรูปที่ 2 พบว่าเมื่อ Re เพิ่มขึ้นค่า T_{SB} จะลดลงเล็กน้อย จะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่วัสดุพูนได้รับค่าฟลักซ์ความร้อนสูง ๆ แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาโดยภาพรวม จะพบว่า T_{SB} แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง นั้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุพูนแบบโฟมเซลเปิดชนิดนี้ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเป็นกักบังความร้อน เพราะสามารถป้องกันอุณหภูมิจากด้านผิวหน้าได้เป็นอย่างดี

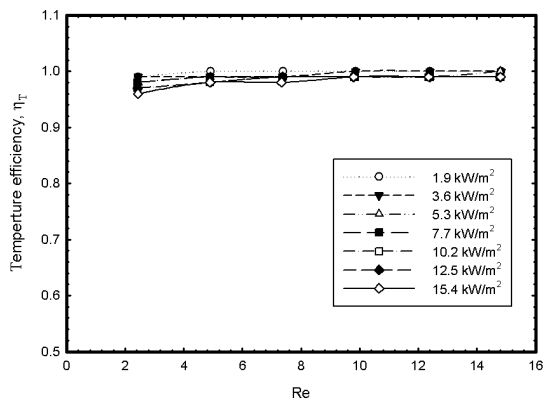


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวหลัง (Back surface, T_{SB}) กับเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re)

4.3 ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ

รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าสู่ระบบเพื่อใช้ระบายความร้อน โดยแสดงในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิ (η_T) พบว่าเมื่อ Re เพิ่มขึ้นค่า η_T จะเพิ่มขึ้นและเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าประมาณ 98% โดยเฉพาะเมื่อ Re มากกว่า 10 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดแผ่นวัสดุพูนซึ่งทำหน้าที่เป็นกักบังความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศที่ป้อนให้กับระบบ

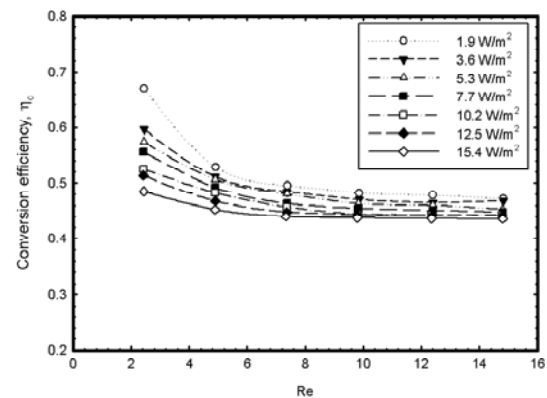
เพื่อทำการระบายความร้อน นอกจากนี้ยังพบว่า η_T จะลดลงเล็กน้อยเมื่อฟลักซ์ทางความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดแผ่นวัสดุพูนกับ อุณหภูมิของอากาศไหลเข้าระบบมีความแตกต่างกัน มากขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ
เชิงอุณหภูมิ (Temperature efficiency, η_T)
กับเลขเรย์โนลด์ (Reynolds, Re)

4.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ไหล เข้าสู่ระบบ (Re) เพื่อใช้ระบายความร้อนที่มีต่อค่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย (η_c) พบว่าเมื่อ Re เพิ่มขึ้นค่า η_c จะลดลงและเข้าสู่ ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 45 - 50 % โดยเฉพาะเมื่อ Re มากกว่า 10 จากผลที่ได้จึงอาจ กล่าวได้ว่าอากาศเย็นที่ป้อนเข้าวัสดุพูนเพื่อระบาย ความร้อนนั้นจะสามารถดูดซับพลังงานจากวัสดุพูน (เมื่อวัสดุพูนได้รับพลังงานการแผ่รังสีมาจาก หลอดไฟอินฟราเรด) ได้ประมาณ 45 - 50% แม้จะ เพิ่มความเร็วอากาศเย็น (Re) ไปมากกว่านี้ก็ตาม นอกจากนี้ η_c จะลดลงเมื่อปริมาณฟลักซ์ทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในกรณีพิจารณาที่ Re คงที่ แสดงให้เห็น ว่าวัสดุพูนชนิดโฟมเซลล์เปิดชนิดนี้ มีสมรรถนะในการ ส่งถ่ายความร้อนได้ดี หรือเหมาะสมนำมาเป็นกักเก็บ ความร้อนเมื่อได้รับความร้อน (การแผ่รังสี) ที่ไม่สูง มากนัก



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ
การเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย
(Conversion efficiency, η_c) กับเลขเรย์โนลด์
(Reynolds, Re)

5. สรุปผล

จากการศึกษาทดลองระบบระบายความร้อนแบบ ทรานส์ไพเรชั่นโดยใช้วัสดุพูนชนิดโลหะโฟมเซลล์เปิด สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

- 1) เลขเรย์โนลด์ (Re) แปรผกผันต่ออุณหภูมิผิว ของวัสดุพูน กล่าวคือเมื่อ Re เพิ่มขึ้น อุณหภูมิผิว ของวัสดุพูนจะลดต่ำลง เนื่องมาจากอิทธิพลของการ พาคความร้อน
- 2) อิทธิพลของการพาความร้อนจะมีผลต่อการ ระบายความร้อนในวัสดุพูนน้อยมากเมื่อ Re มีค่า มากกว่า 10
- 3) ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่าง รวดเร็ว เมื่อความเร็วของอากาศ (Re) ที่ป้อนให้กับ ระบบเพิ่มขึ้น และจะเข้าสู่สภาวะคงที่ เมื่อค่า Re มากกว่า 10 แต่ประสิทธิภาพเชิงอุณหภูมิจะลดลง เล็กน้อย เมื่อค่าฟลักซ์การแผ่รังสีความร้อนแก่ระบบ สูงขึ้น
- 4) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานเฉลี่ย (η_c) จะลดลง เมื่อฟลักซ์การแผ่รังสีและความเร็วของ อากาศที่ป้อนให้กับระบบเพิ่มขึ้น และจะเข้าสู่สภาวะ คงที่เมื่อ Re มากกว่า 10
- 5) ระบบระบายความร้อนแบบทรานส์ไพเรชั่น ด้วยวัสดุพูนโฟมเซลล์เปิดชนิด นิกเกิล-โครม ที่มีค่า

ความพรุนและ PPI เท่ากับ 0.92 และ 0.85 ตามลำดับ มีสมรรถนะและความเหมาะสมในการใช้งานที่ดีที่ราบไต้ที่ $Re \geq 10$

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณนายพนม สุปะเม นายวิชาญ ชาสุดสี และนายหัตถ์ชัย สุตสวาส นักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Boyce, M. P. (2001). *Gas turbine engineering handbook*, Gulf Professional Publishing (GPP), Houston.

[2] Duwez, P. and Wheeler, H. L. Experimental study of cooling by injection of a fluid through a porous material, *Journal of Aeronautical Sciences*, vol. 15, September 1948, pp. 509 - 521.

[3] Grootenhuis, P. The mechanism and application of effusion cooling, *Journal of the Royal Aeronautic Society*, vol. 63, February 1959, pp. 73 - 89.

[4] Kubota, H. Thermal response of a transpiration-cooled system in a radiative and convective Environment, *Transaction of the ASME: Journal of Heat Transfer*, vol. 99, November 1977, pp. 628 - 633.

[5] Maruyama, S., Viskanta, R. and Aihara, T. (1990). Analysis of an active high-temperature thermal insulation system, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 11(No.3), September 1993, pp. 196 - 203.

[6] Wang, J. H., Messner, J. and Stetter, H. An experimental investigation of transpiration cooling Part I: Application of an Infrared Measurement Technique, *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 9(No.3), April 2003, pp.153 - 161.

[7] Kamiuto, K., Unoki, K. and Andou, A. Thermal characteristics of transpiration cooling system using open-cellular porous materials in a radiative environment, *International Journal Transaction Phenomena*, vol. 7, 2005, pp. 85 - 96.