

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของฉนวนความร้อนไหลของวัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลส

Thermal Efficiency of Flow Insulation of Stainless Steel Wool Porous Material

ปรีชา ชันติโกมล^{1*}, ตินกร ภูวสิน¹, ไมตรี พลสงคราม¹, วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ภิญโญ¹

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน (RTER) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: E-mail: Preecha@rmuti.ac.th, โทรศัพท์ 080-4705287

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนของฉนวนความร้อนไหลที่ทำจากวัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลส ซึ่งฉนวนความร้อนไหลคือวัสดุที่ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนไม่ให้การถ่ายโอนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งเมื่อของไหลร้อนไหลผ่าน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เส้นใยสแตนเลสเป็นวัสดุพรุนตัวอย่าง ทำเป็นแผ่นความหนา 10 mm เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 120 cm มีค่าความพรุนแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 0.9292, 0.9469, และ 0.9646 ในการทดลองจะทำการปล่อยอากาศร้อนผ่านวัสดุพรุนที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรตั้งแต่ 6 m³/h ถึง 12 m³/h อุณหภูมิทางเข้าแตกต่างกัน 5 ค่า ตั้งแต่ 350 ถึง 550 °C วัดค่าอุณหภูมิ ณ ทางเข้าและทางออกวัสดุพรุน ผลการทดสอบพบว่า อุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุพรุนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิทางเข้า แต่จะลดลงตามค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ค่าความพรุนมีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าอุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่าแผ่นวัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลสมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนไหลได้เป็นอย่างดี

คำหลัก: วัสดุพรุน; ฉนวนความร้อนไหล; ประสิทธิภาพเชิงความร้อน; เส้นใยสแตนเลส

Abstract

The present research article aims to propose the thermal efficiency of the flow insulator made of the stainless steel wool. The flow insulator is the material that prevents the heat transfer where the fluid flow through it. The stainless steel wool having 10 mm thickness, 120 mm diameter and three porosities 0.9292, 0.9469, and 0.9646 were examined. In the experiment, volume flow rates 6 m³/h – 12 m³/h and the inlet hot air temperatures 350 – 550 °C were varied flowing through the porous media. The temperature at inlet and outlet of the porous plates were measured. The results indicated that the temperature drop and the thermal efficiency increase with the inlet air temperature but decrease with increasing the volume flow rate. The porosity affect to the thermal efficiency and the temperature drop across the porous plates significantly. Obviously, the stainless steel wool acts as the flow insulator as well.

Keywords: Porous media; Flow insulator; Thermal efficiency; Stainless steel wool.

1. บทนำ

ฉนวนความร้อนไหลคือวัสดุใดที่มีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงานของของไหลร้อนที่ไหลผ่านตัววัสดุทำให้ของไหลมีอุณหภูมิลดลง ซึ่งทำให้มีอุณหภูมิแตกต่างระหว่างทางเข้าและทางออก เมื่อวัตถุได้รับพลังงานทำให้

อุณหภูมิสูงขึ้น วัตถุจะทำการแผ่รังสีความร้อนทั้งด้านหน้าและด้านหลังของวัสดุหลังส่วนใหญ่จะแผ่ออกไปด้านหน้า วัสดุหรือวัตถุที่จะทำให้เกิดคุณสมบัติดังกล่าวได้จะต้องเป็นของแข็งที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสภายในเนื้อวัสดุเป็นจำนวนมากกล่าวคือ มีช่องว่างหรือช่องกลวงแทรกอยู่

ในเนื้อวัสดุเป็นจำนวนมากซึ่งเรียกว่าวัสดุพอร์นค่าความพอร์นจะนิยามด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมด ดังนั้นวัสดุใดที่มีค่าความพอร์นสูงๆ หมายความว่าวัสดุนั้นมีปริมาตรช่องว่างมากด้วยโครงสร้างพิเศษแบบนี้ของวัสดุพอร์นทำให้วัสดุพอร์นมีคุณลักษณะเด่นที่สำคัญ 2 ประการคือ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและมีคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนที่ดีทำให้สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนระหว่างการพา การแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี

ในปี 1982 Echigo [1] ได้นำเสนอหลักการแปลงค่าเอนทาลปีเป็นรังสีความร้อนซึ่งได้ให้ชื่อว่าเป็นหลักการฉนวนความร้อนไหล (Folw-insulator) โดยได้นำแผ่นวัสดุพอร์นเซลลูลาร์เป็นชนิดนิเกิล-โครเมียมอะลูมินา ความหนา 15 mm วางขวางทิศทางการไหลของแก๊สไอเสียร้อนในแนวตั้งฉากพบว่าแก๊สไอเสียร้อนมีอุณหภูมิลดลงได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ต่อมา Wang และ Tien (1984) [2] ได้ทำการศึกษาระบบนี้ต่อยอดจาก Echigo โดยได้พิจารณาเทอมกระเจิงรังสีด้วยซึ่งได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ Tow-flux model พบว่ามีความแม่นยำสูงและเมื่อเร็วๆ นี้ Preecha และคณะ [3-5] ได้ทำการศึกษาลักษณะการของฉนวนความร้อนไหลในวัสดุพอร์นชนิดเซลลูลาร์เปิดชนิดโลหะ ซึ่งพบว่ามีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนไหลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะวัสดุพอร์นผิวดำ ต่อมาปรีชา ขันติโกมล (2010) [6] ได้ทำการศึกษาค่าความหนาของแผ่นวัสดุพอร์นเซลลูลาร์เป็นชนิด Ni-Cr ที่มีผลต่อระบบการแปลงเอนทาลปี - รังสีความร้อนชนิด 2 ชั้นพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำ หลังจากนั้น ธีระ ฮวบชุดทดและคณะ(2012) [6] ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาเชิงการทดลองของคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนโดยใช้วัสดุพอร์นชนิดเซลลูลาร์เปิดคอร์ติไรท์แผ่นเดียววัสดุที่ทดลองมี 2 เบอร์คือเบอร์ 6 และ 20 มีขนาดความพอร์น (Porosity) 0.873 และ 0.875 ตามลำดับพบว่าวัสดุพอร์นเซลลูลาร์เปิดคอร์ติไรท์เบอร์ 20 ทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนลดลงได้มากกว่าวัสดุเซลลูลาร์เปิดคอร์ติไรท์เบอร์ 6 เนื่องจากวัสดุเซลลูลาร์เปิดคอร์ติไรท์เบอร์ 20 มีความพอร์นมากและมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแสดงให้เห็นว่ามีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนสำหรับแก๊สร้อนไหลที่ดี อ้อพล ทันไชย (2012) [7] ได้ศึกษาคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนสำหรับแก๊สร้อนไหลผ่านวัสดุพอร์นชนิดตาข่ายสแตนเลสแผ่นเดียวพบว่าแผ่นวัสดุพอร์นชนิดสแตนเลสแผ่นเดียว

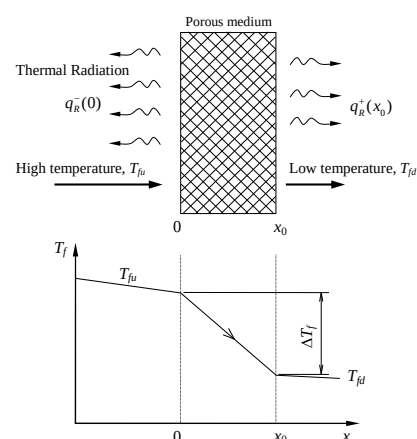
สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อนสำหรับแก๊สร้อนไหลได้แต่จะทำหน้าที่ได้ดีที่อุณหภูมิสูงๆ และความเร็วของอากาศต่ำนอกจากนี้วัสดุพอร์นที่มีจำนวนช่องต่อตารางนิ้วมากจะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีกว่า

จากข้อมูลงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุพอร์นมีคุณสมบัติเด่นด้านการกักเก็บพลังงาน แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลของคุณภาพการเป็นฉนวนความร้อนไหลของวัสดุพอร์นเส้นใยโลหะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติฉนวนความร้อนไหลของวัสดุพอร์นชนิดเส้นใยโลหะ

2 ทฤษฎี

2.1 หลักการแปลงเอนทาลปีรังสีความร้อน

หลักการในการตั้งเอนทาลปีของแก๊สไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงโดยใช้วัสดุพอร์นนั้น ได้ถูกนำเสนอโดย Echigo [3] หลักการในการแปลงพลังงานความร้อนจากค่าเอนทาลปีของแก๊สเป็นรังสีความร้อนโดยใช้วัสดุพอร์นนั้นประกอบด้วยสองกระบวนการของการถ่ายเทความร้อน คือ การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน รูปที่ 1 แสดงหลักการจำลองทางกายภาพของตัวแผ่รังสีความร้อน (Emitter) เมื่อแก๊สร้อนไหลผ่านแผ่นวัสดุพอร์น เอนทาลปีของแก๊สจะถูกถ่ายเทไปยังวัสดุพอร์นโดยการพาความร้อน เนื่องจากวัสดุพอร์นมีพื้นผิวสัมผัสมาก ส่งผลให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง ในขณะที่อุณหภูมิของวัสดุพอร์นมีสถานะเป็นของแข็งจะมีค่าสูงขึ้น และจะทำการแผ่รังสีความร้อนไปตามทิศทางการไหลและย้อนกลับ ซึ่งปริมาณหลักๆ จะเป็นส่วนที่ย้อนกลับมายังด้านทางเข้าของแก๊ส



รูปที่ 1 หลักการของฉนวนความร้อนไหล

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทพลังงานระหว่าง 2 บริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนได้แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ การนำความร้อน, การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน งานวิจัยนี้ใช้การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนในการคำนวณ

2.2.1 การพาความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุกับสารตัวกลางหรือของไหล วัตถุที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่าก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับของไหล ความร้อนที่ถ่ายเทนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) โดยใช้กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_\infty) \quad (1)$$

เมื่อ T_w คือ อุณหภูมิที่ผิววัสดุ (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิแก๊สร้อน (K)

h คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ($W/m^2 \cdot K$)

2.2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Heat efficiency, η_T) เป็นประสิทธิภาพของเครื่องทดลอง โดยการเทียบค่าระหว่างฟลักซ์ความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นวัสดุพอร์นกับอากาศร้อน และฟลักซ์ความร้อนที่ป้อนสู่ระบบ

$$\eta_T = \frac{\dot{q}_{porous}}{\dot{q}_{total}} \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{q}_{porous}$ คือ ฟลักซ์ความร้อนที่แลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นวัสดุพอร์นกับอากาศร้อน (W/m^2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\dot{q}_{porous} = \frac{m \cdot c_p (T_5 - T_8)}{A} \quad (3)$$

เมื่อ $m \cdot$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (m^3/s)

c_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($J/kg \cdot K$)

T_5 คือ อุณหภูมิทางเข้าวัสดุพอร์น (K)

T_8 คือ อุณหภูมิทางออกวัสดุพอร์น (K)

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\dot{q}_{total}$ คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (W/m^2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

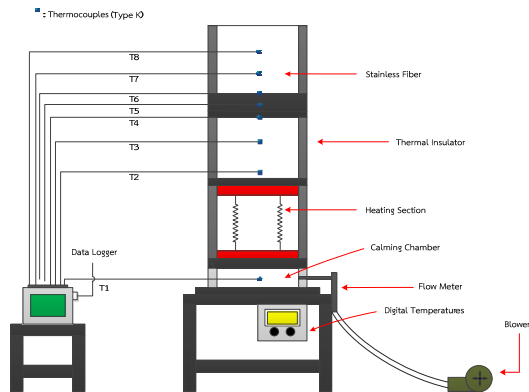
$$\dot{q}_{total} = \frac{m \cdot c_p (T_2 - T_1)}{A} \quad (4)$$

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิทางเข้าระบบ (K)

T_2 คือ อุณหภูมิทางออกระบบ (K)

3. อุปกรณ์และการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลอง ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนแรกเป็นส่วนความร้อน (Heating section) สูง 600 mm ส่วนที่สองเป็นส่วนฉนวนความร้อน (Thermally insulated section) สูง 300 mm และส่วนที่สามเป็นวัสดุพอร์น (Porous section) ชุดอุปกรณ์ทำจากท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 mm หนา 2 mm ติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอกท่อโดยใช้ฉนวนชนิดไฟเบอร์เซรามิค (Ceramic fiber) ทำให้เหลือเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 100 mm วัสดุพอร์นเป็นเส้นใยสแตนเลส ความหนา 10 mm ความพรุน (Porosity) 0.9292, 0.9469, และ 0.9646 ทดสอบโดยใช้แผ่นเดียว อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ จะทำการปรับเปลี่ยนตั้งแต่ $6 m^3/h$ ถึง $12 m^3/h$ ใช้เครื่องเป่าลม (Blower) เป่าอากาศเข้าไปผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล ไหลเข้าสู่ฮีตเตอร์ขนาด 5 kW ใช้ไฟฟ้าความต่างศักย์ 220 โวลต์ ชนิดเฟสเดียว ควบคุมอุณหภูมิของอากาศโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Thermal Controller) หลังจากนั้น อากาศร้อนจะถูกส่งผ่านไปในส่วนฉนวนความร้อน (Insulated section) ยาว 300 mm และไหลผ่านวัสดุพอร์น ซึ่งวางขวางทางการไหล ในการทดลองนี้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type-K thermocouple) ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศทางเข้า (Inlet gas temperature) ตั้งแต่ $350^\circ C$ ถึง $550^\circ C$ สัญญาณอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล เป็นสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง ต่อเข้ากับเครื่องบันทึก (Data logger)



รูปที่ 2 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3 วัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลส

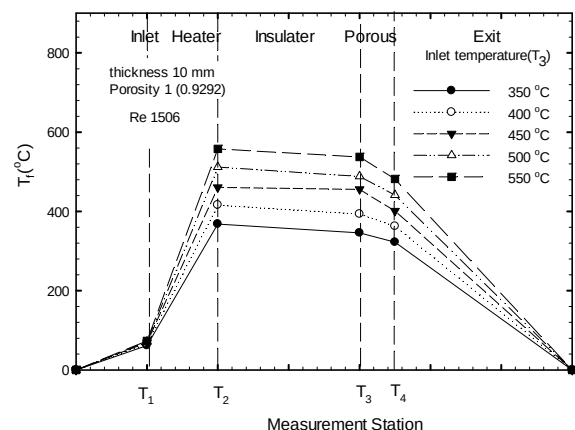
รูปที่ 3 แสดงวัสดุพรุนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้คือ วัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลสผลิตจากเส้นลวดสแตนเลสเกรด AISI / SUS410 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.13 mm ผ่านการรีดแบนมีขนาดความกว้าง 0.35 mm มีความหนา 0.05 mm และทำเกลียวเพื่อให้เส้นใยแต่ละเส้นจะถักยึดประสานซึ่งกันและกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) สูงประมาณ 26.10 W/(m.K)

4. ผลและการวิเคราะห์ผล

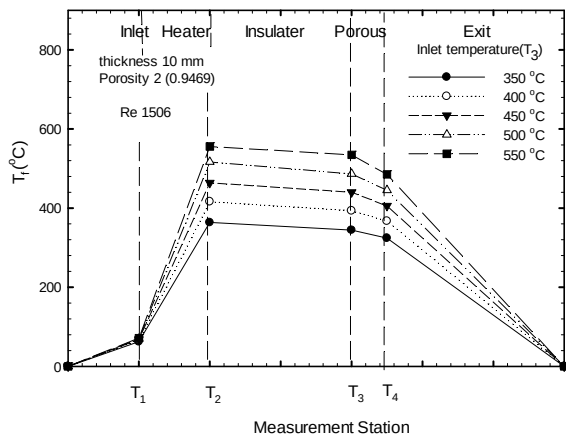
การทดลองการหาประสิทธิภาพนวนความร้อนไหลโดยใช้วัสดุพรุนชนิดเส้นใยสแตนเลส ที่มีความหนา 10 mm ความพรุน (Porosity) 0.9292, 0.9469, และ 0.9646 โดยใช้อากาศร้อนเป็นสารทำงานไหลผ่านวัสดุพรุน โดยควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศร้อนตั้งแต่ 6 m³/h จนถึง 12 m³/h โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 2 m³/h อุณหภูมิอากาศเข้าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 350 °C เพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 50 °C จนถึง อุณหภูมิ 550 °C

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในชุดทดลอง

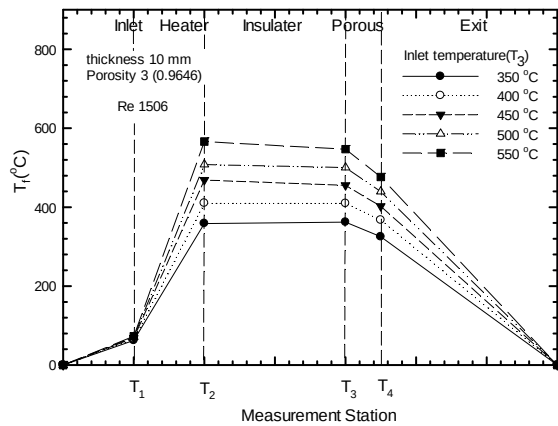
รูปที่ 4-7 แสดงโครงสร้างอุณหภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงในระบบ เมื่อติดตั้งวัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลสที่มีความหนา 10mm จากการทดลองพบว่าในส่วนที่ 1 อากาศไหลเข้าสู่ระบบด้วยอุณหภูมิบรรยากาศมาถึง ส่วนที่ 2 อากาศจะได้รับความร้อนจากชุดทำความร้อนไฟฟ้า ทำให้อากาศมีความร้อนสูงขึ้น อุณหภูมิมีการลดลงเล็กน้อยในช่วง Insulated Section อันเนื่องมาจากการสูญเสียให้กับระบบผ่านฉนวนความร้อน อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผ่นวัสดุพรุน (Inlet temperature) เป็นอุณหภูมิควบคุม อุณหภูมิอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อไหลผ่านแผ่นวัสดุพรุนและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิทางเข้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วัสดุพรุนทำหน้าที่เสมือนฉนวนความร้อนไหล (Flow insulator) สามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิแตกต่างระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกแผ่นวัสดุพรุนเป็นพลังงานที่แผ่นวัสดุพรุนดึงออกมาจากอากาศร้อนและส่งกลับไปยังบริเวณที่เป็นฉนวนความร้อนส่งผลให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ จากการกราฟยังแสดงให้เห็นว่าค่าความพรุนมีอิทธิพลต่อการเป็นฉนวนความร้อนไหลอย่างมีนัยสำคัญ วัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลสความพรุน 0.9646 มีค่าอุณหภูมิตกคร่อมสูงกว่าความพรุนที่ 0.9292 และ 0.9469 เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากกว่าความพรุนอื่นๆ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเห็นชัดเจนว่า เส้นอุณหภูมิตลอดอุปกรณ์การทดลองมีค่าสูงกว่าค่าความพรุนอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน



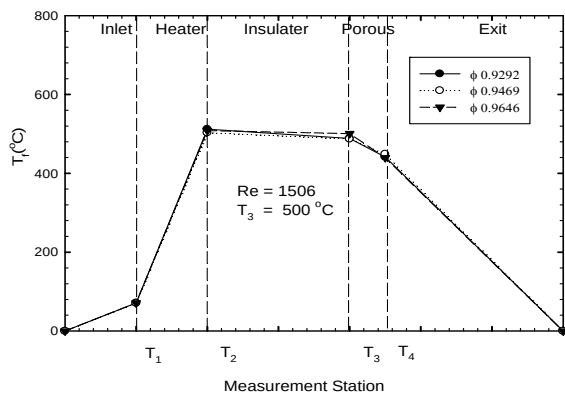
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในชุดทดลอง วัสดุพรุนความหนา 10 mm ความพรุน 0.9292



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในชุดทดลอง
วัสดุพรุนความหนา 10 mm ความพรุน 0.9469



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในชุดทดลอง
วัสดุพรุนความหนา 10 mm ความพรุน 0.9646



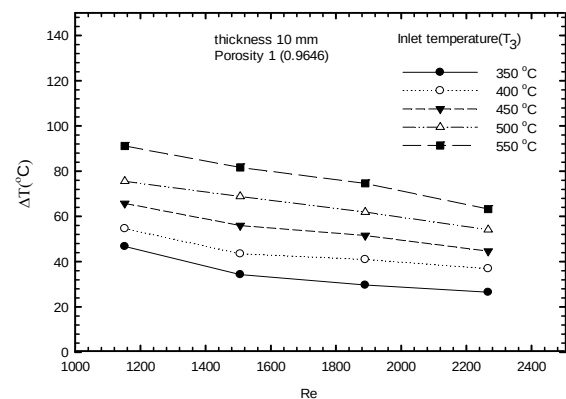
รูปที่ 7 เปรียบเทียบโครงสร้างอุณหภูมิอากาศกรณีติดตั้ง
วัสดุพรุนขนาด 10 mm ที่อุณหภูมิ 500

4.2 อุณหภูมิตกคร่อมวัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลส

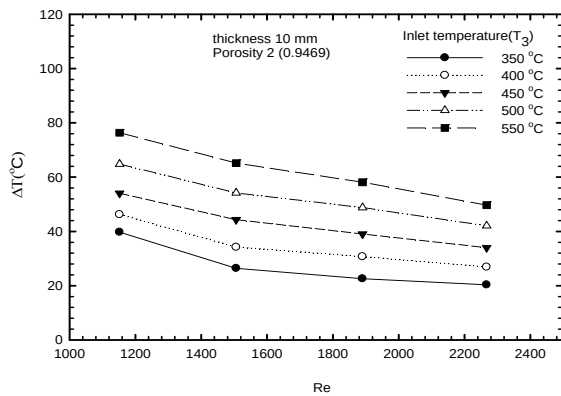
อุณหภูมิตกคร่อมชุดแผ่นวัสดุพรุน (ΔT) แสดงถึงคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนไหล กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิตกคร่อมสูงวัสดุพรุนจะแสดงคุณสมบัติการเป็น

ฉนวนความร้อนไหลที่ดี ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิตกคร่อมต่ำการเป็นฉนวนความร้อนไหลก็ต่ำด้วย

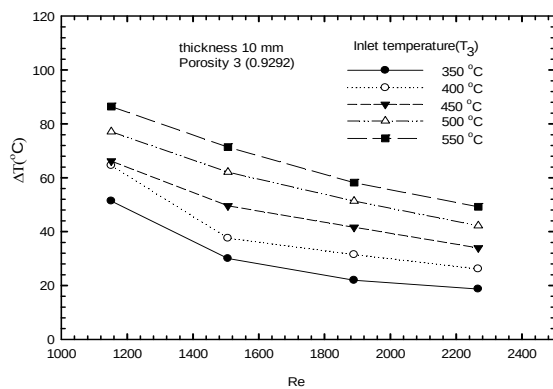
รูปที่ 8-11 แสดงอุณหภูมิตกคร่อมของชุดวัสดุพรุนขนาดของแผ่นวัสดุพรุนขนาด 10 mm กราฟแสดงให้เห็นว่าที่อัตราการไหลของอากาศร้อนต่ำ วัสดุพรุนขนาดจะทำหน้าที่การเป็นฉนวนความร้อนไหลได้ดี เกิดจากมีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนและเนื้อวัสดุพรุนได้ดี ทั้งโหมดการนำความร้อน โหมดการพาความร้อน และโหมดการแผ่รังสีความร้อน แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนเพิ่มขึ้นปริมาณการพาความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศร้อนสู่วัสดุพรุนมีสัดส่วนที่ลดลงเมื่อเทียบกับพลังงานรวมในสารทำงาน ซึ่งพลังงานจะถูกพาออกโดยโมเลกุลของของไหลส่งผลทำให้อุณหภูมิตกคร่อมของชุดแผ่นวัสดุพรุนลดลง จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าวัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลสความพรุนที่ 0.9646 จะมีอุณหภูมิตกคร่อมที่สูงกว่าวัสดุพรุนความพรุนที่ 0.9469 และความพรุนที่ 0.9292 เมื่อพิจารณาผลของความเร็วดังกล่าวอุณหภูมิตกคร่อมพบว่าเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นมากกว่า 1152 อุณหภูมิตกคร่อมจะลดต่ำลง สรุปได้ว่าวัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลสมีความเหมาะสมกับการใช้งานในงานที่มีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ ซึ่งจากรูปที่ 8 สำหรับความพรุน 0.9646 ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 1152 ที่อุณหภูมิทางเข้าของอากาศ (Inlet temperature) 350 400 450 500 และ 550 °C มีอุณหภูมิตกคร่อม 46.74 , 54.58 , 65.71 , 75.58 และ 91.19 ตามลำดับ ในขณะที่ความพรุนที่ 0.9469 ซึ่งจากรูปที่ 9 มีอุณหภูมิตกคร่อม 39.75 , 46.26 , 54.04 , 64.8 และ 76.36 ตามลำดับ และความพรุนที่ 0.9292 ตามรูปที่ 10 มีอุณหภูมิตกคร่อม 51.36 , 64.56 , 66.21 , 77.09 และ 86.45 ตามลำดับ



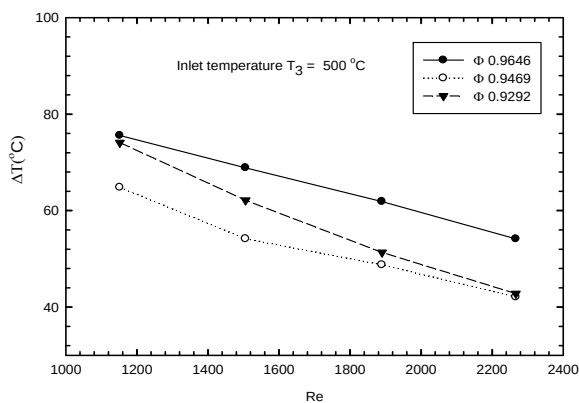
รูปที่ 8 อุณหภูมิตกคร่อมวัสดุพรุนเส้นใยสแตนเลสที่
ความพรุน 0.9646



รูปที่ 9 อุณหภูมิตกคร่อมวัสดุพอร์เลนส์ความพรุน 0.9469



รูปที่ 10 อุณหภูมิตกคร่อมวัสดุพอร์เลนส์ความพรุน 0.9292

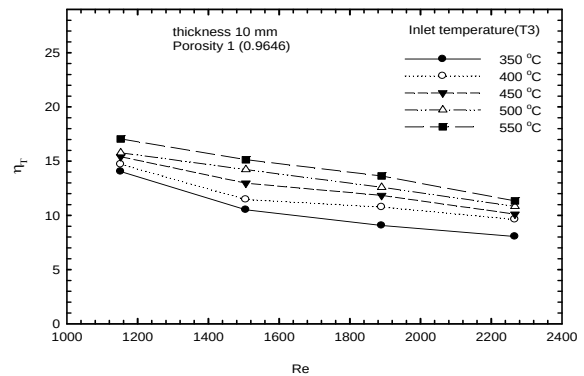


รูปที่ 11 เปรียบเทียบอุณหภูมิตกคร่อมวัสดุพอร์เลนส์ความหนา 10 mm อุณหภูมิขาเข้า 500 °C

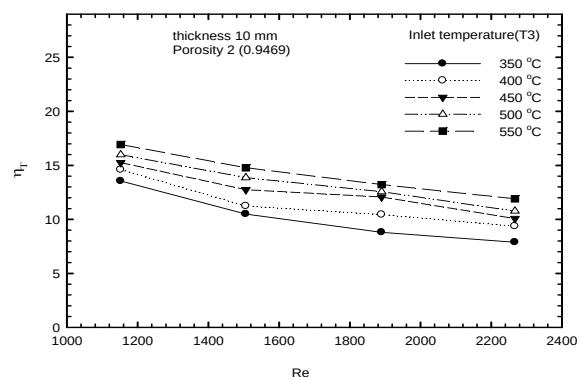
4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 4.9-4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ (Re) กับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของวัสดุพอร์เลนส์ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับอุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุพอร์เลนส์ ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุพอร์เลนส์ ผลการทดลองที่ได้พบว่า

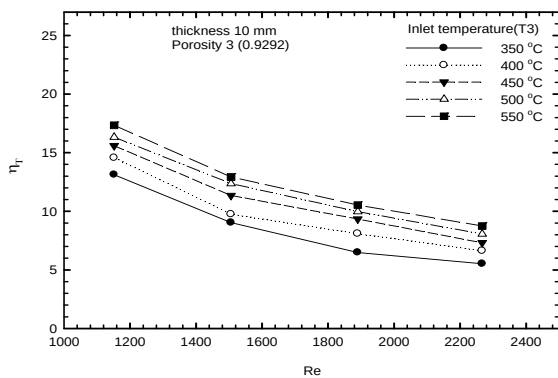
วัสดุพอร์เลนส์ความพรุน 0.9646 จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าวัสดุพอร์เลนส์ความพรุน 0.9292 และความพรุนที่ 0.9469 ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 1152 เมื่อตัวเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพจะลดต่ำลง สรุปได้ว่าวัสดุพอร์เลนส์ความพรุนที่เหมาะสมกับการใช้งานในงานที่มีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ ซึ่งจากรูปที่ 5.9 สำหรับความพรุน 0.9646 ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 1152, 1506, 1890 และ 2267 ที่อุณหภูมิทางเข้าของอากาศ(Inlet temperature) ที่มีประสิทธิภาพ 20, 15.2, 13.25, และ 11.32 ตามลำดับ ในขณะที่ความพรุนที่ 0.9469 ซึ่งจากรูปที่ 5.10 มีประสิทธิภาพ 16.97, 13.86, 12.59, และ 10.76 ตามลำดับ และความพรุนที่ 0.9292 ตามรูปที่ 5.11 มีประสิทธิภาพ 16.32, 12.36, 9.97, และ 8.06



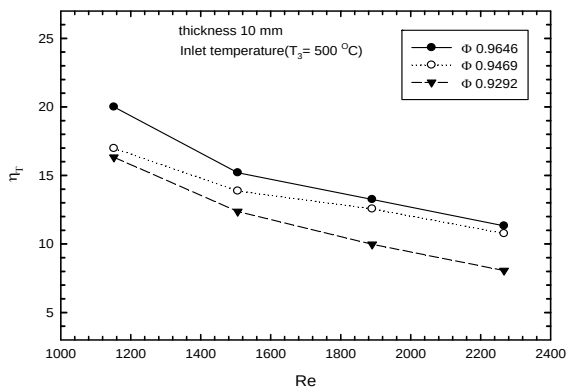
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุพอร์เลนส์ความหนา 10 mm ที่ความพรุน 0.9646



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัสดุพอร์เลนส์ความหนา 10 mm ที่ความพรุน 0.9469



รูปที่ 5.11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของวัสดุพอร์น
เส้นใยสแตนเลสความหนา 10 mm ที่ความพอร์น 0.9292



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกรณี
ติดตั้งวัสดุพอร์นเส้นใยสแตนเลสขนาด 10 mm อุณหภูมิ
อากาศทางเข้า 500 °C

5. สรุป

ในการศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนของฉนวนความร้อนไหลของวัสดุพอร์นชนิดเส้นใยสแตนเลสความหนา 10 mm ที่ค่าความพอร์น 3 ค่าคือ 0.9292, 0.9469, และ 0.9646 ได้ทำการวิเคราะห์ 3 ประเด็นคือ โครงสร้างอุณหภูมิ อุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุพอร์นและ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความพอร์นมีผลต่อโครงสร้างอุณหภูมิในอุปกรณ์การทดลอง โดยเฉพาะห้องฉนวนความร้อนซึ่งอยู่ด้านหน้าแผ่นวัสดุพอร์นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือค่าความพอร์นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องฉนวนความร้อนสูงขึ้น เนื่องจากผลของการแผ่รังสีความร้อนที่มีค่ามากขึ้น

2. อุณหภูมิตกคร่อมแผ่นวัสดุพอร์น และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความพอร์นอุณหภูมิขาเข้า แต่มีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนมีค่ามากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากความสามารถในการ

แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับเนื้อวัสดุพอร์น กล่าวคือ ความเร็วอากาศร้อนที่ต่ำมีเวลามากเพียงพอที่จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับเนื้อวัสดุพอร์นได้มากขึ้น แต่เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ความร้อนจะถูกพาไปกับโมเลกุลของอากาศได้มากขึ้น ทำให้มีเวลาในการสัมผัสกับเนื้อวัสดุพอร์นได้น้อยลง

จากข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวัสดุพอร์นชนิดเส้นใยสแตนเลสมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนไหลได้ค่อนข้างดี เนื่องจากเป็นชนิดโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนทุนวิจัย พื้นที่ทำวิจัย และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Echigo R. (1982). Effective energy conversion method between gas enthalpy and thermal radiation and application to industrial furnaces, *Proc.7th Int. Heat Transfer Conf.* Vol.6, pp. 361–366.
- [2] Wang K. Y., Tien C. L. (1984). Thermal Insulation in Flow Systems: Combined Radiation and Convection Through a Porous Segment, *Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 106, pp. 453-459.
- [3] Preecha Khantikomol and Kouichi Kamiuto, (2008). Design Considerations of Porous Gas Enthalpy-Radiation Converters for Exhaust-Heat Recovery Systems, *JSME*, Vol.3, No.2, pp.319-329
- [4] Preecha Khantikomol, Shinichi Saito, Kouichi Kamiuto and Takehiko Yokomine, (2010). Study on Single Layer Flow Insulation Utilizing Ni-Cr Open-Cellular Porous Plate, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol.37 (8), pp.1015-1024
- [5] Preecha Khantikomol, Shinichi Saito and Yokomine, (2010), Study of Multilayer Flow Insulation utilizing Open-Cellular Porous Plates,

J. Energy and Power Engineering, Vol.4 (11),
pp.21-29

[6] ปรีชา ชันติโกมล (2553), การวิเคราะห์ความหนาของแผ่นวัสดุในระบบเอนทาลปีของก๊าซรังสีความร้อนหลายชั้น โดยใช้วัสดุพูน (Ni-Cr). *วารสาร มทร.อีสาน*. ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2553.

[7] อีระ ฮวบขุนทด, บัณฑิต กฤตาคม และ ปรีชา ชันติโกมล (2555). การศึกษาเชิงการทดลองคุณสมบัติทนความร้อนไหลของวัสดุพูนเซลล์ลูการ์เปิดคอร์ติโรแผ่นเดียว. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. : 2-4 พฤษภาคม 2555. จังหวัดมหาสารคาม

[8] อำพล ทันไชย, วสันต์ ศรีเมือง และปรีชา ชันติโกมล (2555). การศึกษาเชิงทดลองคุณสมบัติทนความร้อนไหลของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสแผ่นเดียว. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. : 2-4 พฤษภาคม 2555. จังหวัด มหาสารคาม