

## อิทธิพลมุมเอียงของแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีผลต่อการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลม Effect of Inclined Angle of Stainless Wire-Net on Forced Convection with in Circular Pipe

ภาณุวัฒน์ จันทร์มาก<sup>1</sup>, รพีพงศ์ เปี่ยมสุวรรณ<sup>2</sup> และ บัณฑิต กฤตาคม<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพูน (DiTo-Lab) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

744 ถนนสุนทรารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์

744 ถนนสุนทรารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

\*ติดต่อ: oann\_2431@hotmail.com, 086-3714201 และ bundit.kr@rmuti.ac.th, 097-3348815

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทดลองหาเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) ความดันตกคร่อม (Pressure drop,  $\Delta P$ ) และอัตราส่วนระหว่างเลขนัสเซลท์กับความดันตกคร่อม ( $NP_{ratio}$ ) ที่เกิดขึ้นจากการไหลของของไหลแบบบังคับภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่มีการเอียง ท่อทดสอบทำมาจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 82.55 mm ยาว 500 mm และหนา 3 mm ผิวด้านนอกของท่อทดสอบจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว หนาประมาณ 80 mm มีการเจาะรูขนาด 1.5 mm จำนวน 6 รู เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล โดยแบ่งเป็นการวัดอุณหภูมิภายนอกท่อจำนวน 3 รู และอีก 3 รู จะเป็นการวัดอุณหภูมิที่ผิวภายในของท่อ ในการทดลองจะติดตั้งตาข่ายสแตนเลส เบอร์ 304 ที่มีขนาดจำนวนของช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) เท่ากับ 8 อัตราการจ่ายอากาศ ( $V_i$ ) ให้กับระบบอยู่ในช่วง 300-700 l/min และเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของตาข่ายสแตนเลส ( $\alpha$ ) จำนวน 5 มุม คือ 10, 20, 30, 40 และ 45° จากผลการทดลองพบว่าค่า Nu และ  $\Delta P$  มีแนวโน้มลดลงตาม  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้น แต่กลับพบว่าค่า  $NP_{ratio}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเอียงแผ่นตาข่ายสแตนเลสภายในท่อกลมแม้จะช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนได้ไม่เต็มที่ แต่ก็สามารถลดความดันตกคร่อมได้เป็นอย่างดี

**คำหลัก:** เลขนัสเซลท์, ความดันตกคร่อม, วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส, การพาความร้อนแบบบังคับ

### Abstract

The objective of this research is to enhance the forced convection in circular pipe with installing an inclined porous media investigate the Nusselt number (Nu), pressure drop ( $\Delta P$ ) and the ratio between Nu and  $\Delta P$  ( $NP_{ratio}$ ) on the forced fluid flow in the circular pipe with installation the inclined wire-net porous insert. A tested circular pipe was made of stainless with 82.55 mm inner-diameter, 500 mm-long and 3 mm-thick. The outer surface of tested pipe was covered by fiber glass insulation with 80 mm-thick. Six holes of 1.5 mm-diameters were provided for installing the thermocouple on the pipe. Three thermocouples measured the outer surface temperature and three other of thermocouples monitored the inner surface temperature. In the experiment, the stainless wire-net of grade 304 with different three pores per inch (PPI), i.e., 4, 8 and 10, were conducted. The air flow rate ( $V_i$ ) was studied in the range of 300 – 700 l/min or Reynolds number (Re) was in the range of 3,500 – 8,500. Five inclined angle ( $\alpha$ ), namely 10, 20, 30, 40 and 45° were examined. From the experiment, it was found that the value of Nu and  $\Delta P$  trended to decrease as increasing  $\alpha$  but  $NP_{ratio}$  was increased with  $\alpha$ . Although the heat transfer

mechanism was slightly improved by the inclination of stainless wire-net in the circular pipe but the pressure drop was significantly decreased.

**Keywords:** Nusselt number, Pressure drop, Wire-net porous media, Forced heat convection

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้กระบวนการถ่ายเทความร้อนถือได้ว่าเป็นความสำคัญสำหรับการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างยิ่ง การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้เหมาะสมกับประเภทของงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และมักมีขีดจำกัดทั้งในด้านขนาดและอัตราการไหลของไหล ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าไม่สูงมากนัก หากสามารถหาวิธีการที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ ก็จะทำให้สมรรถนะในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งการนำวัสดุพรุนมาติดตั้งในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของวัสดุพรุน คือ มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรที่สูงกว่าวัสดุที่บดทั่วไป ส่งผลให้การส่งถ่ายความร้อนในทั้งกรณีการนำและการพาความร้อนของอุปกรณ์ใด ๆ ที่มีการใช้วัสดุพรุนมีค่าสูงขึ้น [1] ที่ผ่านมานักวิจัยได้พยายามทำการศึกษาทั้งการทดลองและการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อใช้ วัสดุพรุนในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยเฉพาะกรณีการพาความร้อนแบบบังคับที่มีของไหลไหลในท่อ โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

Al-Nimr และ Alkam [2] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลการติดตั้งวัสดุพรุนสำหรับการพาความร้อนที่ของไหลมีรูปแบบ การไหลเป็นแบบทรานซิสชันในท่อทรงกระบอก โดยทำการติดตั้งวัสดุพรุนแบบเยื้องศูนย์กลางบางส่วนทั้งท่อในและท่อนอกทรงกระบอก ต่อมา Alkam และ Al-Nimr [3] ได้พัฒนา งานวิจัยและศึกษาขยายเพิ่มเติมจากงานเดิมของพวกเขา [2] โดยทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเกี่ยวกับการประยุกต์ติดตั้งวัสดุพรุนแบบเยื้องศูนย์กลางทั้งด้านในและด้านนอกของผิวท่อตัวในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ (Double pipe heat exchanger) จากผลการคำนวณพบว่าที่ความหนาที่เหมาะสมจะให้ค่าการเพิ่มประสิทธิภาพการพาความร้อนสูงสุด  $F_u$  และคณะ [4] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของระบบการไหลของแก๊สแบบกลับไปมา (Oscillating Flow) เปรียบเทียบกับการ

ไหลแบบคงที่ (Steady) โดยมีวัสดุพรุนขวางการไหลของแก๊ส จากการทดลองพบว่าผลของการไหลของแก๊สแบบกลับไปมา ทำให้การกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อทดสอบมีค่าคงที่มากกว่าและการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบที่มีวัสดุพรุนมีค่าสูงกว่าการไหลแบบคงที่โดยที่ไม่มีวัสดุพรุน Pavel และ Mohamad [5] ได้ทำการทดลองและการคำนวณเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุพรุนชนิดโลหะที่ติดตั้งในท่อต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน วัสดุพรุนที่ใช้เป็นตาข่ายที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นลวดเท่ากับ 0.8 mm และค่าความพรุน ( $\epsilon$ ) อยู่ในช่วง 0.97 - 0.99 วิธีการทดลองจะใส่วัสดุพรุนเข้าไปในท่อทดสอบที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ (Constant wall temperature) และผิวท่อทดสอบที่มีฟลักซ์ ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) โดยทำการทดลองในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) เท่ากับ 1000 - 4500 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความพรุน ( $\epsilon$ ) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุพรุนต่อการส่งเสริมการพาความร้อน ผลการทดลองพบว่า การใส่วัสดุพรุนเข้าไปในท่อทดสอบทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังท่อทดสอบและแก๊สที่ไหลผ่านสูงขึ้นอย่างมาก ชัชวาล ปลื้มสุด และสุรชัย สนิทใจ [6] ได้ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของวัสดุพรุน ในการส่งเสริมการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลม ซึ่งใช้ตาข่ายเป็นวัสดุพรุน โดยมีค่าความพรุน ( $\epsilon$ ) อยู่ในช่วง 0.72 ถึง 0.86 ศึกษาถึงอิทธิพลของชนิดวัสดุพรุนในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ตั้งแต่ 3000 ถึง 9000 และทำการรักษาอุณหภูมิของผิวท่อทดสอบให้คงที่ จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity,  $k$ ) และความหนาของชั้นวัสดุพรุนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าความพรุนของวัสดุพรุนและระยะห่างระหว่างแผ่นวัสดุพรุนเพิ่มขึ้นกลับพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีแนวโน้มลดลง

ศักรินทร์ ทรงศิริเลิศ และคณะ [7] ได้สร้างชุดทดลองการส่งเสริมการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลมด้วยการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสและศึกษาทดลองหาเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) และ

ความดันตกคร่อม (Pressure drop,  $\Delta P$ ) ที่เกิดขึ้นจากการไหลของของไหลแบบบังคับภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งวัสดุพอร์ซันิตาข่ายสแตนเลส ดังแสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองในรูปที่ 2.5 จากการทดลองพบว่า ค่า  $Nu$  และค่า  $\Delta P$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามชั้นความหนาของชั้นวัสดุพอร์ซันิตาข่ายที่เพิ่มขึ้นแต่ปัญหาหลักอยู่ที่ค่า  $\Delta P$  ที่ยังคงมีค่าที่สูงมาก ๆ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ลวดตาข่ายยังไม่ได้มีการตรวจสอบอย่างเพียงพอ ซึ่งยังมีบางประเด็นที่ยังไม่ได้ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาตาข่ายสแตนเลสเบอร์ 304 โดยมีจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้วเท่ากับ 8 (PPI 8) มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพอร์ซันิตาข่ายเพื่อส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนกรณีการพาความร้อนแบบบังคับที่มีของไหลไหลในท่อ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของมุมเอียงของแผ่นวัสดุพอร์ซันิตาข่าย ( $\alpha$ ) ภายในท่อที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนอันจะเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

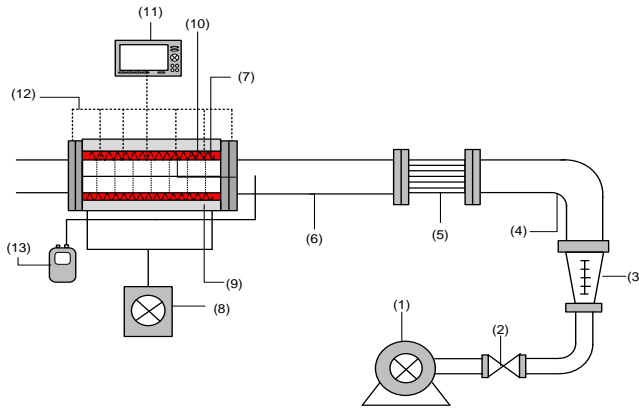
## 2. รายการสัญลักษณ์

- $\dot{Q}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อากาศได้รับ (W)  
 $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล ( $kg/s$ )  
 $A$  คือ พื้นที่ผิวท่อทดสอบ ( $m^2$ )  
 $c_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )  
 $h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $T_s$  คือ อุณหภูมิผิวท่อทดสอบ ( $^\circ C$ )  
 $T_i$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าท่อทดสอบ ( $^\circ C$ )  
 $T_e$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ทางออกท่อทดสอบ ( $^\circ C$ )  
 $T_m$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ย ( $^\circ C$ )  
 $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทดสอบ ( $mm$ )  
 $k$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ ( $W/m \cdot ^\circ C$ )  
 $\Delta P$  คือ ความดันตกคร่อม ( $N/m^2$ )  
 $D_h$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน ( $mm$ )  
 $Pr$  คือ Prandtl number  
 $Re$  คือ Reynolds number  
 $Nu$  คือ Nusselt number

- $L$  คือ ความยาวท่อทดสอบ ( $mm$ )  
 $L_p$  คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นวัสดุพอร์ซันิตาข่าย ( $mm$ )  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )  
 $v$  คือ ความเร็ว ( $m/s$ )

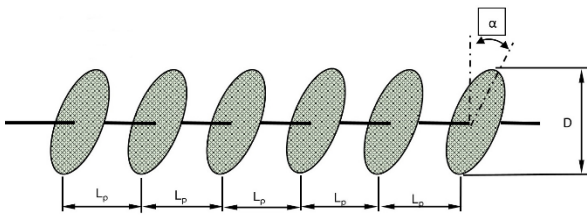
## 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

จากรูปที่ 1 แสดงแผนผังของอุปกรณ์การทดลองเพื่อศึกษาการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลมที่มีการติดตั้งวัสดุพอร์ซันิตาข่ายที่มีมุมเอียง ซึ่งมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ อากาศจะถูกเป่า โดยพัดลมเป่า (Blower) ให้ไหลผ่านท่อปรับการไหล (Setting flow pipe) จากนั้นอากาศก็ไหลผ่านท่อปรับการไหลให้เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอแนวตรง (Flow straightener) ไปยังช่วงท่อที่ทำให้ของไหลไหลเต็มท่อ (Developing flow pipe) ก่อนเข้าสู่ท่อทดสอบ (Test section) โดยผิวท่อทดสอบจะถูกให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ขนาด 200 W พร้อมทั้งมีการวัดความเร็วของของไหล (อากาศ ด้วยเครื่องวัดความเร็ว (Velocity meter) สำหรับท่อทดสอบจะทำมาจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 82.55 mm ยาว 500 mm และหนา 3 mm ผิวด้านนอกของท่อทดสอบจะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว หนาประมาณ 80 mm มีการเจาะรูขนาด 1.5 mm จำนวน 6 รู โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มที่ 1 เจาะทะลุฉนวนถึงผิวด้านนอกของท่อทดสอบ และกลุ่มที่ 2 จะเจาะทะลุทั้งฉนวนและความหนาของท่อจนถึงผิวท่อด้านในของท่อทดสอบ เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิของผิวทั้งด้านนอกและด้านในอย่างละ 3 ตำแหน่ง ซึ่งจะเจาะให้ตรงกับตำแหน่งของวัสดุพอร์ซันิตาข่าย (Porous media) ที่ประกอบอยู่บนแกนเหล็กตรงในลักษณะเอียงทำมุม  $\alpha$  กับแนวตั้งและถูกสอดเข้าไปตามแนวแกนของท่อทดสอบดังรูปที่ 2 นอกจากนี้ยังทำการวัดความดันตกคร่อม (Pressure drop,  $\Delta P$ ) ของท่อทดสอบด้วยมานอมิเตอร์ (Manometer)



- |                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| (1) Blower               | (8) Controller       |
| (2) Valve                | (9) Insulation       |
| (3) Rotameter            | (10) Test section    |
| (4) PVC pipe             | (11) Data logger     |
| (5) Flow straightener    | (12) Thermocouples   |
| (6) Developing flow pipe | (13) Micro manometer |
| (7) Heater               |                      |

รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 การติดตั้งวัสดุพรุน

อ้างอิงจากรูปที่ 2 จะมีวิธีการทดลองดังนี้ เริ่มจากติดตั้งวัสดุพรุนที่มีมุมเอียงเข้าไปในท่อทดสอบปรับและจ่ายอากาศไหลเข้าสู่ท่อทดสอบ เปิดการทำงานของขดลวดไฟฟ้าที่ต่อฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนกับผิวท่อทดสอบ รอจนอุณหภูมิทางเข้าและทางออกมีค่าคงที่รวมทั้งอากาศมีการไหลอยู่ที่สภาวะคงที่ (Steady state) จึงทำการบันทึกผลการทดลอง ประกอบไปด้วยอุณหภูมิผิวภายในและภายนอกของท่อทดสอบและความเร็วของอากาศทางเข้า นอกจากนั้นยังบันทึกความดันตกคร่อม ( $\Delta P$ ) ที่เกิดขึ้นภายในท่อทดสอบและอุณหภูมิทางออกของท่อทดสอบ

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient,  $h$ ) แบบบังคับภายในท่อกลมที่มี พลิกซ์ความร้อนผิวท่อคงที่ จะสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$h = \frac{\dot{Q}}{A\Delta(T_s - T_m)} \quad (1)$$

$$\dot{Q} = mc_p(T_e - T_i) \quad (2)$$

$$T_m = (T_e + T_i) / 2 \quad (3)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของงานวิจัยนี้จะนำเสนอในเทอมไร้มิติที่เรียกว่า เลขนัสเซลท์ ( $Nu$ ) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (4)$$

#### 5. ผลการทดลอง

##### 5.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับสมการสหสัมพันธ์ [9]

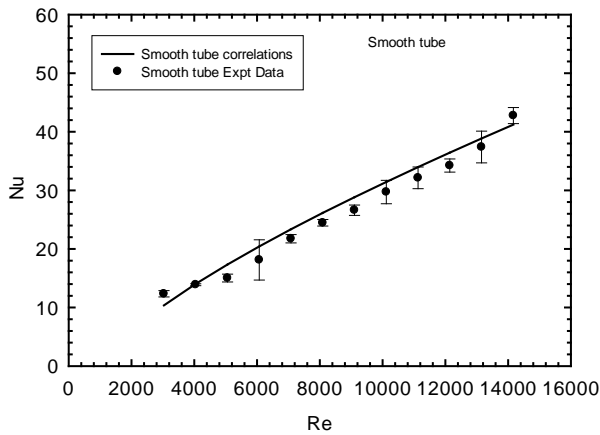
การเปรียบเทียบกับสมการสหสัมพันธ์ของ Gnielinski จะนำเสนอในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงการเทียบค่าของเลขนัสเซลท์ ( $Nu$ ) จากการทดลองจริง กับเลขนัสเซลท์ที่ได้จากสมการของ Gnielinski ดังแสดงในสมการที่ (5) กรณีท่อเปล่า พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์การทดลองของงานวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากสอดคล้องทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.5(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3}-1)} \quad (5)$$

โดย  $f$  คือ Friction factor ในท่อเรียบ

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (6)$$

$$0.5 \leq Pr \leq 2000 \text{ และ } 3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6$$

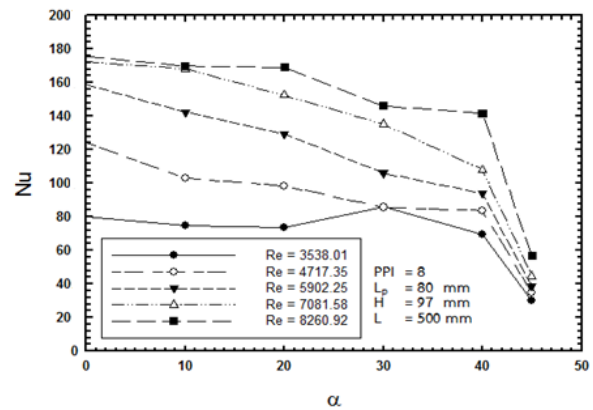


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของ Nu ระหว่างผลการทดลองจริง กับสมการของ Gnielinski สำหรับกรณีท่อเปล่า

### 5.2 อิทธิพลของมุมเอียง ( $\alpha$ )

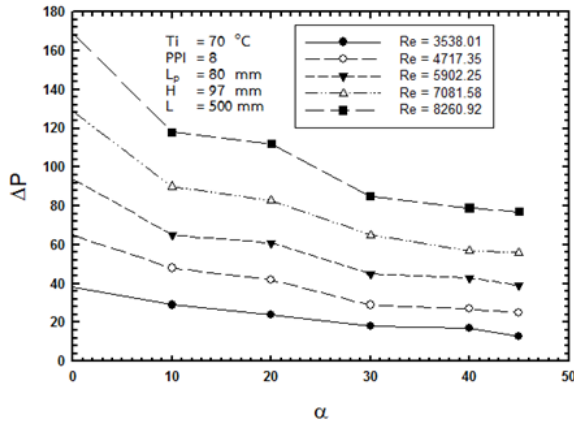
รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของมุมเอียง ( $\alpha$ ) ที่มีผลต่อ เลขนัสเซิลท์ (Nu) เป็นการทดลองที่สภาวะ PPI = 8,  $L_p = 80$  mm,  $H = 97$  mm และ  $L = 500$  mm พบว่า Nu จะสูงขึ้นตาม  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อ  $\alpha$  เพิ่มขึ้นแต่จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนที่  $\alpha \geq 45^\circ$  เนื่องมาจากเมื่อทำการเอียงแผ่นตาข่ายสแตนเลสจะทำให้ ตาข่ายสแตนเลสมีช่องที่แคบลง ส่งผลให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้อากาศไหลผ่านได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนดังแสดงด้วย Nu จะมีค่าลดลงแต่กลับเกิดผลดี กล่าวคือ ค่าความดันตกคร่อมภายในท่อ  $\Delta P$  เมื่อทำการติดตั้งแผ่น ตาข่ายสแตนเลสที่เอียงแสดงดังรูปที่ 5 พบว่าค่า  $\Delta P$  จะมีแนวโน้มลดลงตาม  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการเอียงที่เพิ่มขึ้นจนทำให้แรงของอากาศที่มาปะทะกับแผ่นตาข่ายสแตนเลสค่อย ๆ เคลื่อนที่ไปตามแผ่นที่เอียงเกิดแรงเฉือนที่มีค่าน้อยกว่าแรงปะทะในแนวตั้งฉากโดยตรงจึงส่งผลให้  $\Delta P$  ลดต่ำลง ถ้าทำการพิจารณาที่ค่า  $\alpha$  คงที่ใด ๆ พบว่าที่ค่า Nu และ  $\Delta P$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ Re เพิ่มขึ้น ผลที่ได้เช่นนี้เป็นไปตามหลักการของการถ่ายเทความร้อนทั่วไป เมื่อระบบมีสารทำงานที่ไหลผ่านระบบด้วยความเร็วที่มากขึ้นย่อมจะส่งเสริมการพาความร้อนได้ดียิ่งขึ้นและตามหลักการของกลศาสตร์ของไหลค่า  $\Delta P$  ของการไหลในท่อก็จะมีระดับที่สูงขึ้นตาม Re ที่เพิ่มขึ้นไปด้วย สำหรับค่าอัตราส่วนระหว่าง Nu กับ  $\Delta P$  ( $NP_{ratio}$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความสำคัญของการปรับปรุงการไหล

ภายในท่อ อธิบายคือแม้ว่าการปรับปรุง จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นก็จะทำให้เกิดความดันตกคร่อมขึ้นภายในท่อมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ในการเลือกใช้งานต้องมีค่าดัชนีบางอย่าง เพิ่มขึ้นมาบ่งบอกสภาวะที่ควรเลือกประยุกต์ใช้งาน ด้วยเหตุนี้อัตราส่วนระหว่าง Nu กับ  $\Delta P$  ( $NP_{ratio}$ ) จึงถูกนำมาอธิบายขอบเขตการทำงานที่เหมาะสม

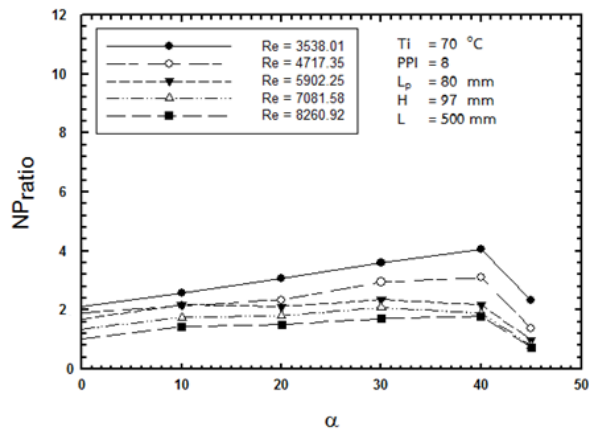


รูปที่ 4 อิทธิพลของ  $\alpha$  ที่มีผลต่อ Nu

จากรูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของ  $\Delta P$  ที่มีต่อ  $NP_{ratio}$  พบว่าค่า  $NP_{ratio}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้า ๆ ตาม  $\Delta P$  จนกระทั่ง  $\alpha = 40$  จะให้ค่า  $NP_{ratio}$  สูงสุดและเมื่อ  $\alpha > 40$  จะมีระดับลดลงอย่างรวดเร็ว ตามผลที่ได้นี้อาจกล่าวได้ว่าที่  $\alpha = 40$  เป็นสภาวะที่สมควรมีการประยุกต์ใช้มากที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ได้สูง ขณะเดียวกันก็มีความดันตกคร่อมภายในท่อที่น้อยเมื่อเทียบกับท่อเปล่า แต่หากพิจารณาที่  $\alpha$  คงที่ใด ๆ จะได้อ่าน่าสังเกตว่าค่า  $NP_{ratio}$  มีแนวโน้มลดลงเมื่อ Re เพิ่มขึ้น ผลการทดลองเช่นนี้จะทำให้เข้าใจกลไกการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายแบบจัดวางเอียงว่าควรเลือกใช้งานในกรณีที่มี Re ต่ำๆ จะให้ความคุ้มค่ามากกว่ากรณีของ Re สูง ๆ



รูปที่ 5 อิทธิพลของ  $\alpha$  ที่มีผลต่อ  $\Delta P$



รูปที่ 6 อิทธิพลของ  $\alpha$  ที่มีผลต่อ  $NP_{ratio}$

## 6. สรุปผลการทดลอง

1. ค่าเลขนัสเซิลท์ ที่ได้จากการทดลอง ( $Nu_{exp}$ ) กับ เลขนัสเซิลท์จากสมการของ Gnielinski ( $Nu_{gni}$ ) จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน
2. ค่าเลขนัสเซิลท์ ( $Nu$ ) และความดันตกคร่อม ( $\Delta P$ ) จะมีค่าลดลงตามมุมเอียง ( $\alpha$ ) ที่เพิ่มขึ้นแต่อัตราส่วน เลขนัสเซิลท์ต่อความดันตกคร่อม ( $NP_{ratio}$ ) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมุมเอียง ( $\alpha$ ) ที่เพิ่มขึ้น และจะพบข้อที่น่าสนใจว่าค่า  $NP_{ratio}$  จะมีค่าสูงที่สุด เมื่อ  $\alpha$  เท่ากับ  $40^\circ$
3. ค่า  $Nu$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ ( $Re$ ) เพิ่มขึ้น แต่ค่า  $NP_{ratio}$  กลับมีแนวโน้มลดลง เมื่อ  $Re$  เพิ่มขึ้น

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Garg, H.P. and Prakash, J. (2000). Solar Energy Fundamentals and Application, Tata McGraw Hill, New Delhi.
- [2] M.A. Al-Nimr and M.K. Alkam. (1997). Unsteady non-Darcian forced convection analysis in an annulus partially filled with a porous material, ASME Journal of Heat Transfer. Vol. 119, pp. 799–804
- [3] M.K. Alkam and M.A. Al-Nimr. (1999). Improving the performance of double-pipe heat exchanger by using porous substrates, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 42, pp. 3609–3618.
- [4] H. L. Fu, K. C. Leong, X. Y. Huang and C. Y. Liu. (2001). An experimental study of heat transfer of a porous channel subjected to oscillating slow, ASME Journal of Heat Transfer, Vol. 123 (1), pp. 162-170.
- [5] B. I. Pavel, and A. A. Mohamad. (2004). Experimental investigation of the potential of metallic porous inserts in enhancing forced convection heat transfer, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 47, pp. 4939–4952.
- [6] ชัชวาล ปลื้มสุด และสุรัชย์ สนิทใจ. (2550). อิทธิพลของวัสดุพอร์นในการส่งเสริมการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลม, การประชุมวิชาการเครื่องช่วยวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, จังหวัดชลบุรี, 17-19 ตุลาคม 2550, TSF-16.
- [7] ศักรินทร์ ทรงศิริเลิศ และคณะ. (2557). การศึกษาทดลองการส่งเสริมการพาความร้อนแบบบังคับในท่อกลมด้วยการติดตั้งวัสดุพอร์นชนิดตาข่ายสแตนเลส สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน