

## อิทธิพลของการใส่แผ่นผิวคลื่นต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

### Influence of Wavy Sheet Inserts on Heat Transfer in Square-Duct Heat Exchanger

ภาณุพงศ์ วิแสง<sup>1</sup>, นรินทร์ กุลนภาดล<sup>2</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>1\*</sup> และ ชินรัชช์ เขียรพงษ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

ถนนมรุพงษ์ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

\*ติดต่อ: kppongje@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-3298351, เบอร์โทรสาร 02-3298352

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจัตุรัสที่มีการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นวางทำมุมปะทะการไหล ( $\alpha$ ) เป็น  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$ , และ  $30^\circ$  ที่อัตราส่วนความสูงของคลื่นต่อความสูงของท่อหรืออัตราส่วนการปิดกั้นการไหล ( $R_b=b/H$ ) เท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนความยาวของคลื่นต่อความสูงของท่อหรืออัตราส่วนระยะพิตช์ ( $R_p=P/H$ ) เท่ากับ 0.5 ด้วยการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นในแนวทแยงมุมของท่อ โดยทำการทดลองที่สภาวะค่าพารามิเตอร์ความร้อนที่ผิวคงที่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ใช้ความเร็วลมที่สอดคล้องกับค่าเลขเรย์โนลด์สช่วง 4,000 ถึง 25,000 การถ่ายเทความร้อนจะแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ และการสูญเสียความดันจะแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน ผลการทดลองพบว่าการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกกรณีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากกว่ากรณีท่อผนังเรียบ แผ่นผิวคลื่น  $\alpha=60^\circ$  จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีอื่น ๆ แต่แผ่นผิวคลื่น  $\alpha=30^\circ$  จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด

**คำหลัก:** แผ่นผิวคลื่น; การถ่ายเทความร้อน; ค่าตัวประกอบเสียดทาน; ท่อจัตุรัส; สมรรถนะเชิงความร้อน

#### Abstract

The research presents a study of heat transfer and pressure loss behaviors in a square-duct heat exchanger with wavy sheet inserts at various attack angles ( $\alpha=90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $30^\circ$ ), wave- to duct-height ratios or blockage ratio ( $R_b=b/H$ ) of 0.2 and wavelength to duct height ratio or pitch ratio ( $R_p=P/H$ ) of 0.5. The wavy sheets were inserted diagonally into the tested duct having a constant wall heat-flux condition. The experiments were carried out by varying airflow rate to let Reynolds number in the range of 4,000 to 25,000. The effect of four attack angles on heat transfer and pressure loss was studied in terms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively. The experimental result reveals that the duct fitted with wavy sheets provides higher Nu and f than the smooth duct. The inserted duct with  $\alpha=60^\circ$  provides the highest Nu and f but the one with  $\alpha=30^\circ$  yields the highest thermal performance.

**Keywords:** wavy sheet; heat transfer; friction factor; square duct; thermal performance

## TSF-275

### 1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตอยู่ของมนุษย์เราเป็นอย่างมากไม่ว่าจะโดยตรงหรือโดยอ้อมและพลังงานบางชนิดที่ถูกใช้ไปก็ไม่สามารถสร้างขึ้นเพื่อทดแทนได้อย่างทันที่เพื่อให้เกิดความยั่งยืนของแหล่งพลังงานที่ถูกนำมาใช้มนุษย์เราจึงจำเป็นต้องรู้จักการประยุกต์ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถทำให้เราใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าโดยไม่สูญเสียเปล่าหรือเพื่อให้เกิดการสิ้นเปลืองอย่างน้อยที่สุด การพัฒนาวิจัยเครื่องมือและอุปกรณ์ใหม่ๆ ที่สามารถสร้างผลกำไร แต่ช่วยลดต้นทุนของสายงานการผลิต รวมทั้งสามารถประหยัดพลังงานทำให้ได้ผลลัพธ์อย่างคุ้มค่านั้นจึงถือเป็นเรื่องที่น่าสนใจ และส่งเสริมทำให้เกิดการพัฒนาและการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกันกับการศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้กล่าวถึงนี้ซึ่งเป็นแนวทางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ภายใต้ข้อจำกัดในเรื่องของขนาดที่เล็กลงเพื่อให้เกิดความคุ้มค่า การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยครีบริบหรือแผ่นบางภายในท่อช่วยให้เกิดการไหลที่มีความแรงและปั่นป่วนมากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีโดยการไหลที่ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงไปนี้ก็ได้นำมาซึ่งค่าของความดันตกคร่อมที่เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ด้วยเทคนิคและวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยรูปแบบการเพิ่มหรือเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสในรูปแบบต่างนั้น เป็นวิธีที่นักวิจัยหลายๆท่านใช้พัฒนาและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น Sriharsha และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาผลของความสูงของครีบริบต่อการกระจายตัวของการถ่ายเทความร้อนในผนังของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยใช้ครีบบนต่องานทำมุม  $90^\circ$  และครีบบนแยกส่วนทำมุม  $60^\circ$  ทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 10,000 ถึง 30,000 พบว่าการถ่ายเทความร้อนของครีบบนต่องานทำมุม  $90^\circ$  จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของครีบริบเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อ

เปรียบเทียบที่ความสูงของครีบริบเดียวกัน พบว่าครีบบนแยกส่วนทำมุม  $60^\circ$  ให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบบนต่องานทำมุม  $90^\circ$  และจะให้ค่าความดันสูญเสียน้อยกว่า Thianpong และคณะ [2] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่วงของค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,000 ถึง 22,000 โดยได้ทำการติดตั้งครีบบนสามเหลี่ยมหน้าจั่วและทำการจัดวางแบบตรงกันและแบบเยื้องกันโดยมีระยะพิตต์เท่ากับ 40 มิลลิเมตรแล้วทำการติดตั้งครีบริบที่ผิวด้านบนและด้านล่างของท่อซึ่งมีสัดส่วนความสูงของครีบริบต่อความสูงของท่อ  $R_b = b/H = 0.13, 0.2$  และ  $0.26$  พบว่าครีบริบจัดวางแบบตรงกันที่  $R_b = 0.26$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด แต่ครีบริบจัดวางแบบเยื้องกันที่  $R_b = 0.13$  ให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ภาณุวัฒน์และคณะ [3] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ทำการติดตั้งครีบริบทำมุมเอียง  $45^\circ$  ที่ผิวด้านล่างของท่อและมีอากาศเป็นของไหลทำงานทดสอบในช่วงของเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 40,000 โดยมีสัดส่วนความสูงของครีบริบต่อความสูงของท่อ  $R_b = 0.1, 0.3$  และ สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงของท่อ  $R_p = 1$  และ 2 พบว่าครีบริบเอียงทำมุม  $45^\circ$  ที่  $R_b = 0.3$  และ  $R_p = 1$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความเสียดทานสูงกว่าที่อัตราส่วนของครีบริบอื่นๆ สมบัติ[4]ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในการไหลแบบราบเรียบภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่อุณหภูมิผิวคงที่ ซึ่งได้ทำการวางแผ่นกันในแนวขวาง และในแนวเอียง และแบบแนวเอียงรูปตัววีที่ผิวทั้งสองด้านของท่อ พบว่าแผ่นกันวางในแนวเอียงรูปตัววีสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า Promvong และ Thianpong [5] ได้ทำการศึกษาค่าของตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนของครีบบนสามเหลี่ยมมุมฉากแบบวางตั้งรับลมและแบบเอียงรับลม และครีบบนสามเหลี่ยมหน้าจั่วและสี่เหลี่ยม ที่ค่า  $e/H$  เท่ากับ 0.3 และที่ค่า  $P/e$  เท่ากับ 6.67 โดยได้วางติดตั้งที่ผิวด้านบนและผิวด้านล่างของช่องขนาน แล้วพบว่าครีบริบ

## TSF-275

สามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมแบบซึ่งจัดวางในแนวเดียวกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุด และครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ถูกจัดวางแบบเอียงกันให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด ชีร์พัพน์และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ทำการติดตั้งครีบบรูปทรง W ในช่วงของเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 38,000 โดยครีบบมีมุมปะทะเท่ากับ  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , และ  $20^\circ$  ที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงของท่อ  $R_p=1$  และอัตราส่วนความสูงของครีบบต่อความสูงของท่อ  $R_b=0.2$  จากการศึกษาพบว่าครีบบที่มีมุมปะทะ  $20^\circ$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าประกอบความเสียดทานสูงสุด และค่าจะลดลงมาเมื่อครีบบมีมุมปะทะเท่ากับ  $15^\circ$  และ  $10^\circ$  ตามลำดับ

จากการทบทวนที่งานที่ผ่านมาพบว่าการสอดใส่โดยใช้แผ่นบางติดครีบบไม่ว่าจะเป็นครีบบวางเอียงหรือวางรูปตัววีให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงมากและให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าการสอดใส่โดยใช้แผ่นบิดหรือลวดขดเพียงลำพัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการอินทิเกรตหรือรวมแผ่นบางติดครีบบสามเหลี่ยมวางเอียงทำมุมเข้าด้วยกันกลายเป็นแผ่นบางขึ้นรูปเป็นทรงคลื่นสามเหลี่ยมเอียงทำมุมปะทะกับการไหลต่างๆ หรือเรียกว่า แผ่นผิวคลื่น โดยจะทำการสอดใส่ในแนวทแยงมุมของท่อเพื่อหาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและค่าประกอบความเสียดทาน รวมทั้งสมรรถนะความร้อนที่ค่ามุมปะทะต่างๆ

## 2. ทฤษฎีและการคำนวณ

สมการเลขเรย์โนลด์ส์สามารถเขียนในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ( $D_h = H$ ) ได้ดังนี้

$$Re = UD_h/\nu \quad (1)$$

เมื่อ  $U$  และ  $\nu$  เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $h$ ) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\bar{T}_s - T_b)} \quad (3)$$

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \quad (4)$$

$$\bar{T}_s = \sum T_s / 28 \quad (5)$$

เมื่อ  $Q_{air}$  คือ ความร้อนที่ให้กับอากาศ

$A$  คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพา

$\bar{T}_s$  คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ย

$T_s$  คือ อุณหภูมิผิวแต่ละจุดตามแนวยาวท่อ

$T_i, T_o$  คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออก

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

$C_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

การถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้ถูกนำเสนอในรูปแบบตัวแปรไร้มิติคือตัวเลขนัสเซลท์ซึ่งเป็นอัตราส่วนการพาความร้อนต่อการนำความร้อนภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆเขียนได้เป็น

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

ค่าตัวประกอบความเสียดทานเป็นตัวแปรไร้มิติค่าความดันตกคร่อมสำหรับการไหลภายในท่อที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวท่อใดๆ ด้วยความเร็วของของไหลค่าหนึ่งหาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (7)$$

เมื่อ  $\Delta P$  คือ ค่าความดันตกคร่อม

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ

ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน ( $\eta$ ) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ ( $h$ ) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

## TSF-275

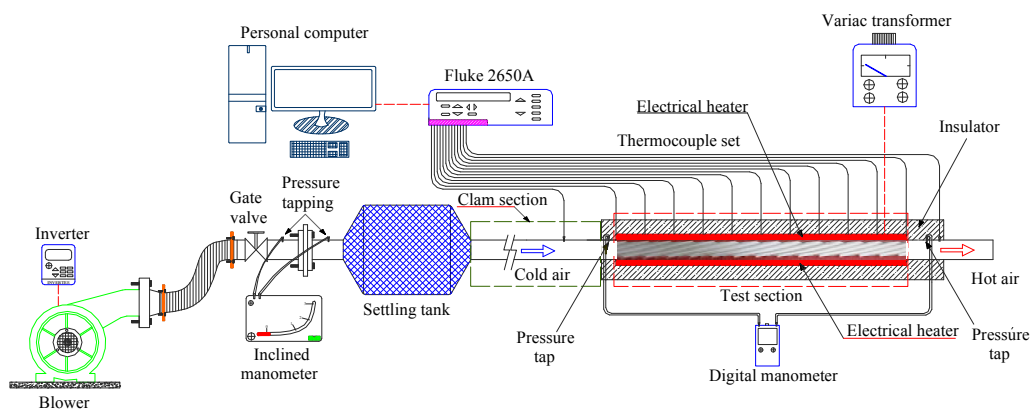
พื้นผิวเรียบ ( $h_0$ ) ที่กำลังขับเดียวกัน (blowing power, bp) สามารถหาค่าได้จากข้อเสนอแนะของ Webb [7]

$$\eta = \frac{h}{h_0} \bigg|_{bp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{bp} = \left( \frac{Nu}{Nu_0} \right) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (8)$$

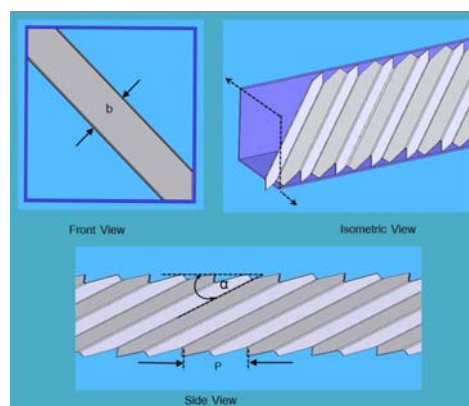
### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองได้แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ( $H \times H$ ) เท่ากับ 45x45 ตารางมิลลิเมตร, ส่วนทดสอบยาว ( $L$ ) เท่ากับ 1000 มิลลิเมตร พัดลมขนาด 1.45 กิโลวัตต์ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ โดยมีวาล์วคอยควบคุมอัตราการไหลของอากาศก่อนผ่านไปยังที่แผ่นออริฟิสเพื่อทำการวัดอัตราการไหลของอากาศ มาอิมิตเตอร์แบบหลอดเอียงเพื่อใช้วัดความแตกต่างของความดัน จากนั้นอากาศจะไหลผ่านถึงพากลมซึ่งจะทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลให้มีความเสถียร ก่อนเข้าสู่

ส่วนทดสอบ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่ให้ความร้อนกับผิวท่อส่วนทดสอบในสภาวะที่ฟลักซ์ความร้อนคงที่ อุปกรณ์บันทึกข้อมูลทำหน้าที่บันทึกค่าอุณหภูมิโดยจะเชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งจะใช้วัดอุณหภูมิที่ผิวทั้งหมด 28 ตำแหน่งตลอดส่วนทดสอบ และอีก 2 ตำแหน่งจะใช้วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางทางออกส่วนทดสอบ โดยจะแสดงค่าผ่านอุณหภูมิคอมพิวเตอร์ บริเวณส่วนทดสอบจะทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียจากแผ่นฮีตเตอร์ออกสู่สิ่งแวดล้อม รูปที่ 2 แสดงลักษณะการวางแผ่นผิวคลื่นที่มีอัตราส่วนความสูงยอดคลื่นต่อความสูงท่อ ( $R_b = b/H$ ) เท่ากับ 0.2 อัตราส่วนระยะห่างระหว่างยอดคลื่นต่อความสูงท่อ ( $R_p = P/H$ ) เท่ากับ 0.5 มีมุมปะทะการไหลเป็น  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  และ  $30^\circ$  โดยทำการติดตั้งแผ่นผิวคลื่นภายในท่อด้วยการวางในแนวทแยงมุมของท่อและได้ทำการทดลองที่ค่า  $Re$  ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 4,000 – 25,000 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของการใช้งานจริง



รูปที่ 1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะการวางแผ่นผิวคลื่น

## TSF-275

### 4. ผลการทดลอง

#### 4.1 การทวนสอบต่อผนังเรียบ

การทดสอบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของ ตัวเลขนัสเซิลท์และการสูญเสียความดันในพจน์ตัว ประกอบเสียดทานของชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กรณีท่อผิวเรียบ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ กับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และสหสัมพันธ์ของ Petukhov ตามลำดับ [8] ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski,

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (9)$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

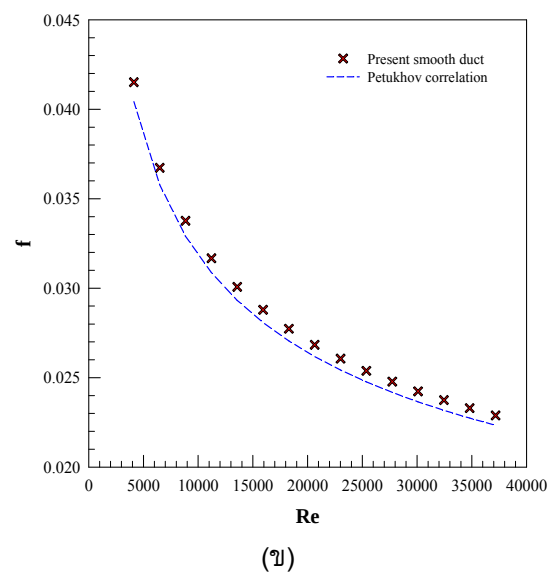
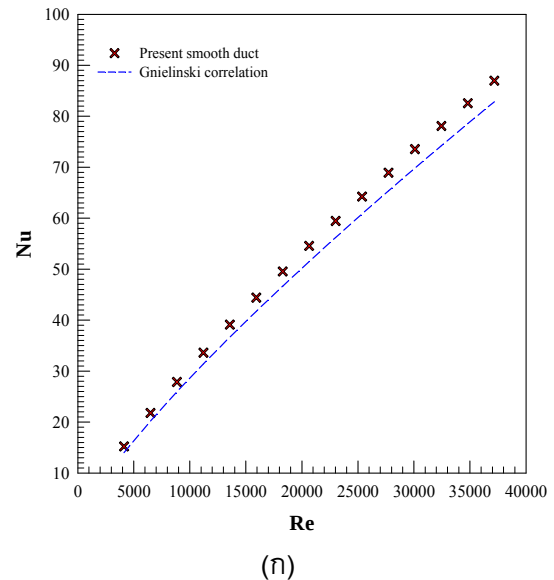
$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (10)$$

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของ (ก)  $Nu$  และ (ข)  $f$  กับ  $Re$  ที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าจาก สหสัมพันธ์ของสมการที่ (9) และ (10) เพื่อให้มั่นใจว่า ชุดอุปกรณ์ที่ได้ทำการทดสอบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $\pm 5\%$  สำหรับสหสัมพันธ์  $Nu$  และ  $\pm 3\%$  สำหรับ สหสัมพันธ์  $f$  ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ใน ช่วงที่สามารถยอมรับได้

#### 4.2 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวเลข นัสเซิลท์กับ (ก) เลขเรย์โนลด์และ (ข) มุมปะทะการ ไหล โดยค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซิลท์ ( $Nu/Nu_0$ ) นิยามจากอัตราส่วนของค่าการถ่ายเทความร้อนกรณี ท่อผิวคลื่นต่อค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีท่อผนัง เรียบ พบว่าค่า  $Nu/Nu_0$  มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มขึ้น กรณีการใส่แผ่นผิวคลื่นที่มุมปะทะการไหล  $60^\circ$  ให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดซึ่งมีค่า อยู่ระหว่าง 2.3-3.4 เท่า เนื่องจากการสัดใส่แผ่นผิว

คลื่นที่มุมปะทะนี้สามารถเพิ่มความปั่นป่วนของกระแส การไหลได้มาก สำหรับกรณีมุมปะทะการไหลเท่ากับ  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  และ  $30^\circ$  จะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ ลดลงตามลำดับ โดยที่มีค่าเท่ากับ 2.1-2.9, 1.8- 2.6, 1.7-2.5 เท่า



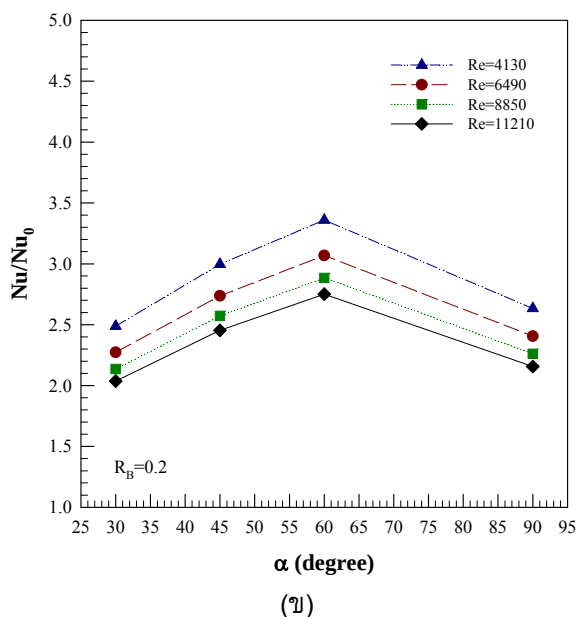
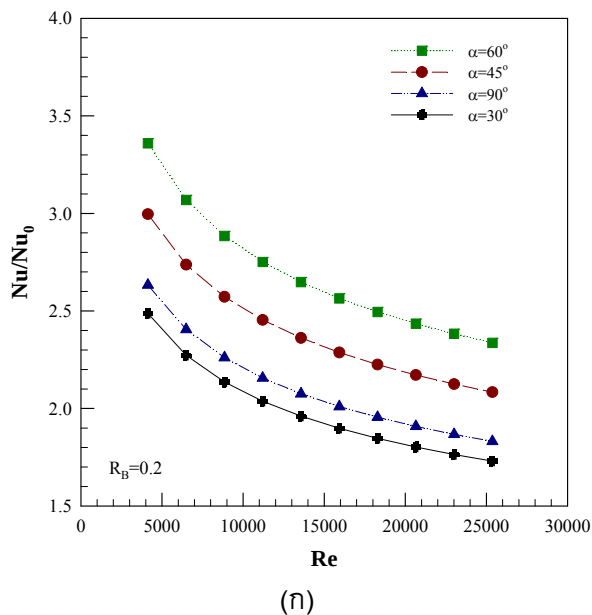
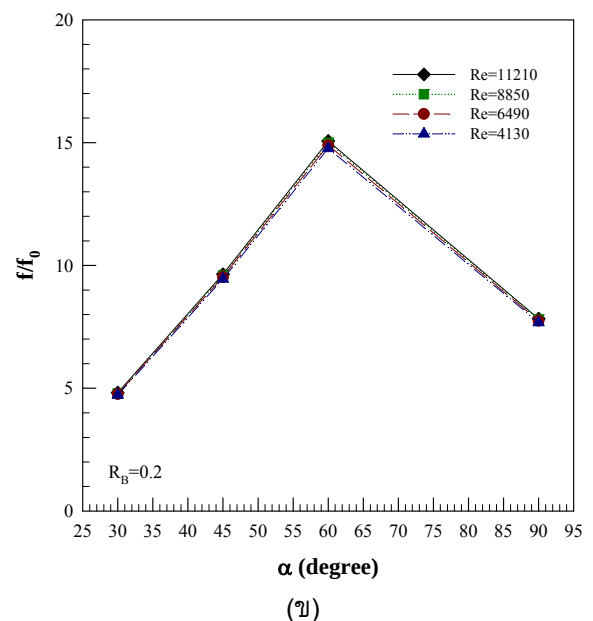
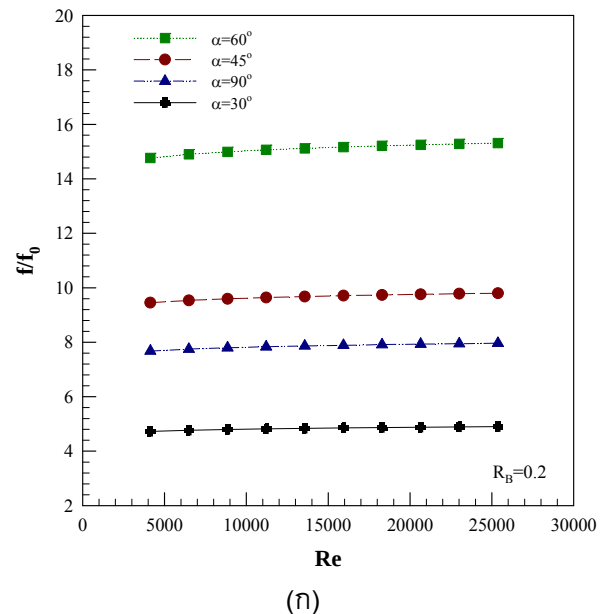
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของ (ก)  $Nu$  และ (ข)  $f$  กับ  $Re$  ของท่อผนังเรียบ

#### 4.3 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบ ความเสียดทานกับ (ก) เลขเรย์โนลด์และ (ข) มุม ปะทะการไหล โดยค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียด

## TSF-275

ทาน ( $ff_0$ ) นิยามจากอัตราส่วนของค่าความเสียดทานกรณีท่อสอดใส่แผ่นผิวคลื่นต่อค่าความเสียดทานกรณีท่อผนังเรียบ พบว่าค่า  $ff_0$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มขึ้น กรณีการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นที่มุมปะทะการไหลเท่ากับ  $60^\circ$  ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่ากรณีอื่นๆ โดยมีค่า  $ff_0$  เท่ากับ 14.8 - 15.3 เท่า เนื่องจากเป็นมุมปะทะที่ทำให้เกิดแรงต้านของกระแสการไหลมากที่สุดและค่า  $ff_0$  จะลดลงตามลำดับเมื่อมุมปะทะการไหลมีค่าเท่ากับ  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  และ  $30^\circ$  โดยมีค่า  $ff_0$  เท่ากับ 9.5-9.8, 7.7-7.9, 4.7-4.9 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของ  $Nu/Nu_0$  กับ (ก)  $Re$  และ(ข)  $\alpha$ รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนของ  $ff_0$  กับ (ก)  $Re$  และ (ข)  $\alpha$ 

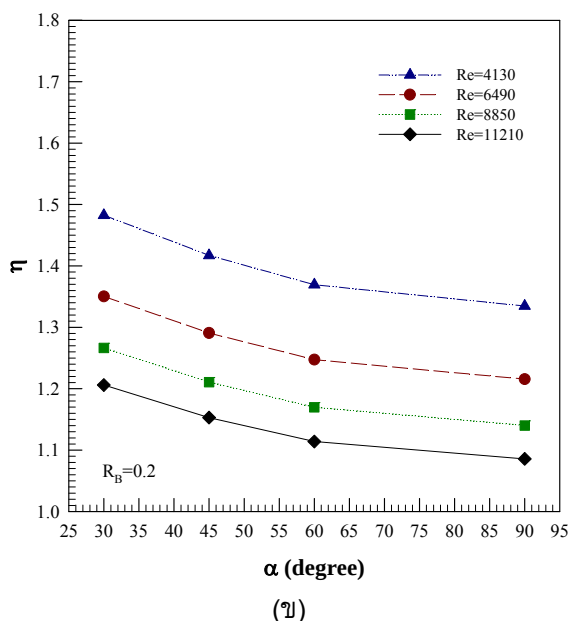
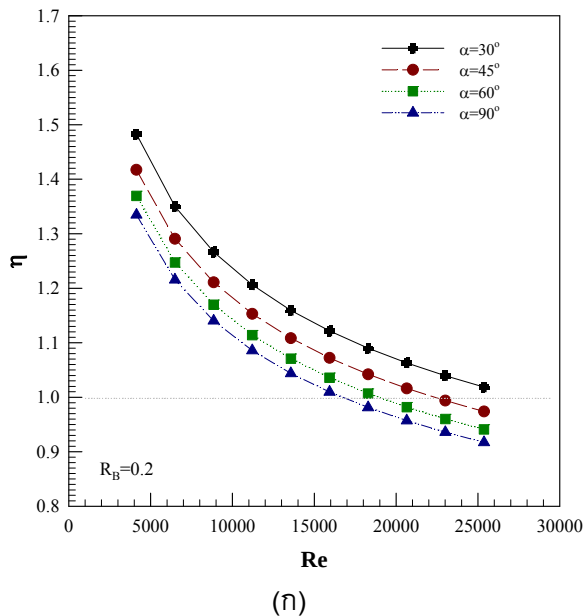
## 4.4 ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของสมรรถนะเชิงความร้อนกับ (ก) เลขเรย์โนลด์และ (ข) มุมปะทะการไหล พบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น และมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.02-1.48, 0.97-1.42, 0.94-1.37 และ 0.92-1.33 สำหรับกรณีมุมปะทะการไหลเท่ากับ  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$



## TSF-275

และ  $90^\circ$  ตามลำดับ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.48 เกิดขึ้นในกรณีการใช้แผ่นผิวคลื่นที่เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4,000 และมุมปะทะการไหลเป็น  $30^\circ$



รูปที่ 6 การแปรเปลี่ยนของ  $\eta$  กับ (ก) Re และ (ข)  $\alpha$

### 5. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษาเชิงทดลองนี้นำเสนอการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นในแนวขวางมุมของท่อโดยมีช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์มีค่าตั้งแต่

4,000 ถึง 25,000 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสอดใส่แผ่นผิวคลื่นที่ค่ามุมปะทะต่างๆส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนประมาณ 1.8–3.4 เท่าและการสูญเสียความดันประมาณ 4.5–15 เท่าของกรณีท่อผนังเรียบที่ไม่มีการสอดใส่ กรณีแผ่นผิวคลื่นที่มุมปะทะเท่ากับ  $60^\circ$  จะให้ค่า  $Nu/Nu_0$  และ  $f/f_0$  สูงสุด แต่ขณะเดียวกันค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 1.48 พบที่มุมปะทะเท่ากับ  $30^\circ$  ที่ค่า Re ต่ำสุด

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sriharsha V, Prabhu SV, Vedula RP. (2009). Influence of rib height on the local heat transfer distribution and pressure drop in a square channel with  $90^\circ$  continuous and  $60^\circ$  V-broken ribs. Applied Thermal Engineering, 29 pp. 2444-2459.
- [2] Thianpong C, Chompookham T, Skullong S, Promvong P. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 36 pp. 712-717.
- [3] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สมพล สกุลหลง, พงษ์เจต พรหมวงศ. (2555). การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบนผนัง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13; 4-5 เมษายน; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [4] สมบัติ ทำนา. (2552) การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นกั้นขวางเอียง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] Promvong, P. and Thianpong, C. (2008). Thermal performance of turbulent channel flows

## TSF-275

over different shaped ribs, Int Comm. Heat Mass Transfer, vol. 35, pp. 1327-1334.

[6] ชีรพัฒน์ ชมภูคำ, สิริสวัสดิ์ จีงเจริญนิรร, พงษ์เจต พรหมวงศ์. (2556). คุณลักษณะทางความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นติดครีรูปทรง W การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9; 8-10 พฤษภาคม; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

[7] Webb R. L. (1992). Principles of Enhanced Heat Transfer, John-Wiley & Sons, New York, USA, pp. 166-194.

[8] Incropera, F., Dewitt, P.D. (1996). Introduction to heat transfer, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons Inc.