

# การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีวงแหวนรูปเพชรเอียงทำมุมปะทะ 45 องศา

นรินทร์ กุลนาคดล<sup>1</sup> และ วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนรินทร์

<sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบคาบในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่เงื่อนไขพลาสม่าความร้อนที่ผนังคงที่ โดยมีการติดตั้งวงแหวนรูปเพชรภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล ( $\alpha$ ) เท่ากับ 45 องศา อัตราส่วนการวางการไหล ( $BR=e/D$ ) เท่ากับ 0.05 และอัตราส่วนระยะพิท ( $PR=P/D$ ) เท่ากับ 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 และ 2.0 ในการศึกษาเชิงทดลองค่าอัตราการไหลและการถ่ายเทความร้อนจะเปลี่ยนแปลงตามค่าเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number,  $Re$ ) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 6000 – 20000 ผลลัพธ์ที่ได้จากท่อที่มีวงแหวนรูปเพชรภายในจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ พบว่าท่อที่มีวงแหวนรูปเพชรภายในสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อผนังเรียบ และค่าของอัตราส่วนระยะพิท ( $PR$ ) ที่ลดลงจะทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น จากการคำนวณค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ( $TEF$ ) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.30 ที่ค่า  $PR=0.5$

**คำสำคัญ:** การไหลปั่นป่วน, การไหลแบบคาบ, วงแหวนรูปเพชร, สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

---

# Numerical study of Turbulent flow and heat transfer in a tube with 45° Diamond Rings

Narin Koolnapadol<sup>1</sup> and Witoon Chingtuaythong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Automotive Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

<sup>2</sup>Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

## Abstract

This paper presents a numerical analysis of turbulent periodic flow and heat transfer in a constant heat flux-surfaced tube with diamond rings. The diamond rings are introduced and mounted on the opposite walls of the tube with inline arrangements. The multiple diamond rings are placed at the attack angle ( $\alpha$ ) = 45°, blockage ratio (BR=b/D) = 0.05 and pitch ratio (PR=P/D) = 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 and 2. In experiment, the flow rate and heat transfer characteristics are presented for Reynolds number (Re) values ranging from Re = 6,000-20,000. It is found that the heat transfer in the tube with diamond rings is more effective than that with smooth tube. The decrease in the pitch ratio, PR leads to a considerable increase in the Nusselt number and friction factor. The computational result reveals that the maximum value of the thermal enhancement factor, is found to be 2.30 for using the diamond rings with PR=0.5.

**Keywords:** Turbulent flow, Periodic flow, diamond rings, Thermal performance

## 1. บทนำ

เมื่อโลกเข้าสู่สภาวะวิกฤตด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด แผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และแผงระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันการศึกษาวิจัยเชิงทดลองมีข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในชุดทดลอง รวมถึงข้อผิดพลาดจากจุดที่ใช้วัดอุณหภูมิไม่เพียงพอ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขเข้ามาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของกระบวนการโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในทางอุตสาหกรรม สำหรับการคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขจะกำหนดเงื่อนไขเป็นแบบการไหลที่มีการปรับตัวเต็มที่ในท่อ (fully developed flow) และมีการไหลแบบเป็นคาบ (periodic flow) เนื่องจากระบบท่อจริงที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีความยาวมากซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาลักษณะการไหลในช่องการไหลที่มีแผ่นกั้นอยู่เป็นเวลานานแล้ว ดังเช่น Patankar และคณะ [1] ได้ทำนายคุณลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีแผ่นกั้น โดยอาศัยหลักการของลักษณะการไหลเป็นคาบในช่วงการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ ต่อมา Webb และ Ramadhani [2] ได้คำนวณเชิงตัวเลขของลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานผนังเรียบที่ติดแผ่นกั้นแนวเอียงกันโดยใช้เงื่อนไขพื้นฐานลักษณะการไหลเป็นคาบในช่วงการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ ต่อมา Date และ Saha [3] ใช้สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน ในการทำนายพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อแบบพลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอในท่อที่ใส่แผ่นปิดเว้นช่วง ต่อมา Han และคณะ [4] ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อจัดรัศมีที่ติด

ครีบบนผนังสองด้านโดยใช้รูปทรงครีบบนผนังแตกต่างกัน 9 แบบ และแต่ละรูปทรงจะพิจารณาที่ค่าระยะช่วงครีบบนผนังต่อความสูงครีบบนผนัง 10 และความสูงครีบบนผนังต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.0625 ผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและตัวประกอบเสียดทานพบว่าครีบบนผนังทึบ และครีบบนผนังรูปตัววีให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าครีบบนผนังทึบและยังพบว่าที่มุม 60 องศาให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดในจำนวนครีบบนผนังที่วางเอียง ต่อมา Eiamsa-ard และ Promvong [5] ได้ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นใบเกลียวทั้งแบบมีแกนกลางความยาวไปปิดเต็มและใบเกลียวที่ไม่มีแกนกลางยาวเต็มและเว้นช่วง ต่อมา Sripattanapit และ Promvong [6] ได้วิเคราะห์เชิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบแบบ 2 มิติ ในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแนวเอียง โดยคิดลักษณะการไหลเป็นคาบ ที่มีเงื่อนไขอุณหภูมิผนังคงที่ เลขเรย์โนลด์ส์ที่ให้อยู่ในช่วง 100 ถึง 600 พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่าเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น และยังพบว่าทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่ใช้มุมยอดเพชรที่ 5 องศา และ 10 องศาให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชรที่ 0 องศา (แผ่นกั้นธรรมดา) และ Guo [7] ได้ศึกษาเชิงตัวเลขของท่อกลมที่ใส่แผ่นใบเกลียวพร้อมแกนกลางที่มีทิศทางการหมุนใบเกลียววนขวาตลอดความยาวแกนกลาง และแกนกลางที่มีใบเกลียวเว้นช่วงทิศการหมุนวนซ้ายและขวา

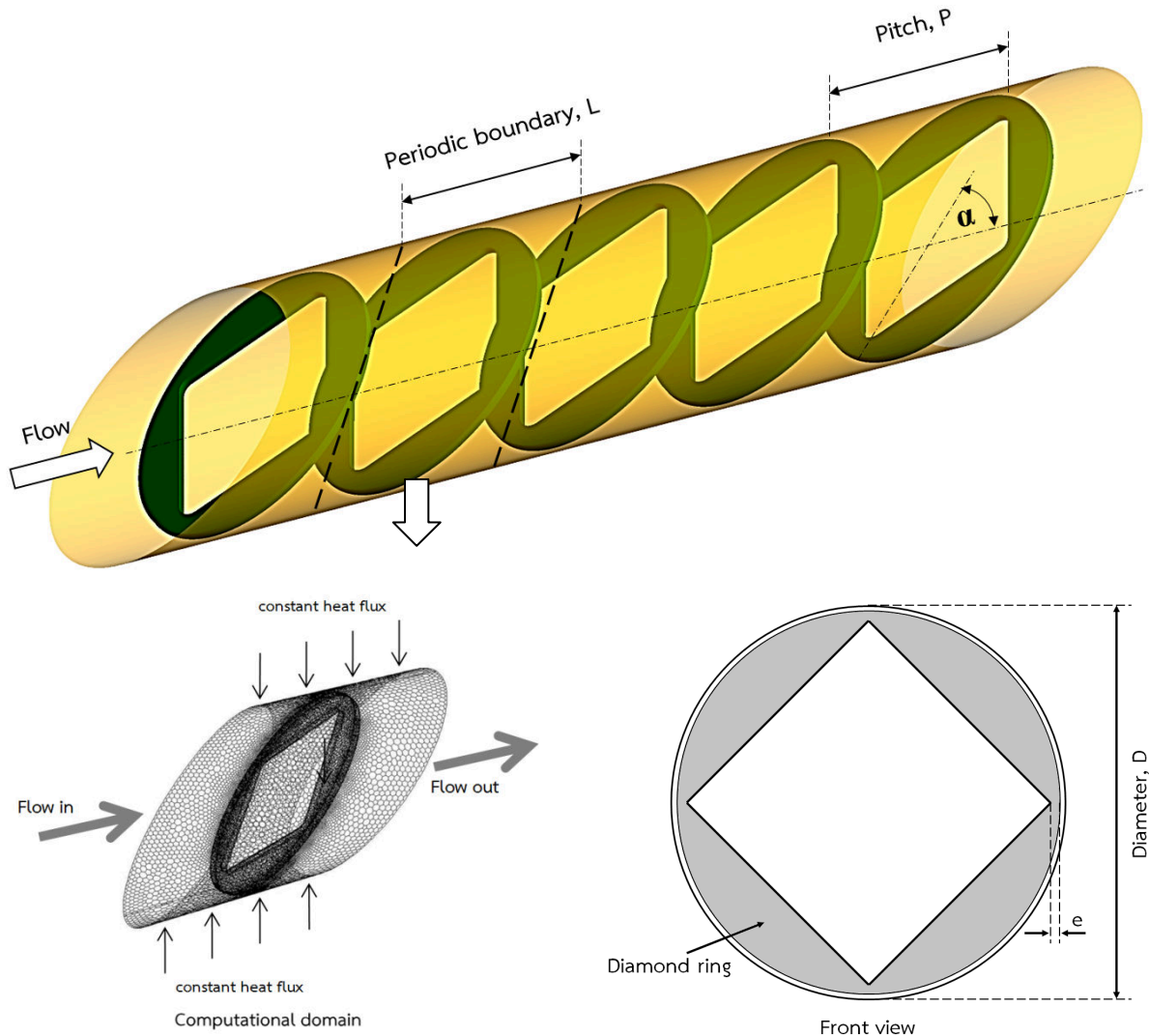
จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาเห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาโดยการจำลองพฤติกรรมการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดัน [1]-[7] ทำให้สามารถเชื่อมั่นได้ว่าการจำลองในลักษณะนี้สามารถนำมาประเมินผลการศึกษาได้จริงทำให้เกิดแนวคิดงานวิจัยในการศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขในท่อกลมที่มีวงแหวนรูปเพชรภายใน โดยศึกษาผลของการเพิ่มจำนวนวงแหวน (PR) โดยใช้การคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหลปั่นป่วนแบบ 3 มิติ ที่พิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบ

## 2. กรอบการวิจัยและสมการพื้นฐาน

### 2.1 กรอบการวิจัย

กรอบการวิจัยที่นำมาวิเคราะห์เป็นท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชรวางเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศาแสดงในรูปที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ระยะห่างระหว่างวงแหวนตามแนวการไหล ( $P$ ), เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อ ( $D$ ), ความสูงของวงแหวน ( $e$ ) และ

มุมปะทะการไหลของวงแหวน ( $\alpha$ ) ในการศึกษานี้จะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลคงที่ ( $BR=e/D$ ) = 0.05 แล้วทำการศึกษาระยะห่างระหว่างวงแหวน ( $PR=P/D$ ) ตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 ส่วนพารามิเตอร์อื่นกำหนดค่าที่ ดังนี้  $D=0.05$  เมตร,  $e=0.025$  เมตร และ  $\alpha=45$  องศา



รูปที่ 1 ท่อกลมที่ใส่วงแหวนรูปเพชรวางเอียงและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณการไหลแบบคาบ

### 2.2 สมการทางคณิตศาสตร์

การคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อน สำหรับการไหลในท่อกลม มีสมมติฐานต่าง ๆ ดังนี้

- การไหลของของไหลเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบปั่นป่วนและอัดตัวไม่ได้

- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วง
- ไม่คิดผลของการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น การไหลในท่อจะใช้สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการอนุรักษ์มวล สมการโมเมนตัมและ

สมการพลังงาน ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบเทนเซอร์ที่กีด  
ฉากดังนี้

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i u_j} \right) \right] \quad (2)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (\Gamma + \Gamma_i) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

เมื่อ  $\Gamma$  และ  $\Gamma_i$  คือ การแพร่ความร้อนและการแพร่  
ความร้อนแบบปั่นป่วนตามลำดับ

โดยที่

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr}$$

$$\Gamma_i = \frac{\mu_i}{Pr_i}$$

การไหลแบบปั่นป่วน เทอมความเค้นเรย์โนลส์  $-\overline{\rho u_i u_j}$   
ในสมการที่ (2) จากข้อสมมุติฐานของ Boussinesq ความ  
เค้นเรย์โนลด์ส์จะมีความสัมพันธ์กับเกรเดียนต์ของความเร็ว  
เฉลี่ย ดังสมการที่ (4)

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left( \rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (4)$$

เมื่อ  $k$  คือพลังงานจลน์ปั่นป่วน  
 $\delta_{ij}$  คือเดลต้าโครเนกเกอร์  
 $\mu_t$  คือความหนืดปั่นป่วน

แบบจำลอง RNG k- $\epsilon$  เป็นตัวอย่างของรูปแบบสมการที่  
ใช้สมมติฐานของบูสิเนสค์ และมาจากสมการนาเวียร์-สโตก  
กำหนดโดย

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + \rho \epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_\epsilon \mu_{eff} \rho \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon \quad (6)$$

เมื่อ  $\mu_{eff}$  คือ ค่าความหนืดประสิทธิผล

การ discretize ท่อสมการหลักทั้งหมดจะทำด้วยวิธี  
QUICK schemes แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตาม  
ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม [8] ด้วยอัลกอริธึมแบบ  
SIMPLE และใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน RNG k- $\epsilon$   
ในการคำนวณเชิงตัวเลข และทุกตัวแปรจะพิจารณาการลู่  
เข้าหาคำตอบที่ความแตกต่างของการการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า  
น้อยกว่า  $10^{-6}$  และค่าสมการพลังงานซึ่งพิจารณาที่ค่า  
น้อยกว่า  $10^{-9}$

การศึกษานี้มีตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปร คือ ค่าเลขเรย์  
โนลด์ส์ ตัวประกอบเสียดทาน ค่าเลขนัสเซลท์และค่า  
สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ซึ่งค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์

นิยามโดย

$$Re = \frac{\rho \bar{u} D}{\mu} \quad (7)$$

ตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) คำนวณได้จากความดันตกคร่อม  
, ( $\Delta P$ ) ตลอดช่วงความยาวของท่อ ( $L$ )

$$f = \frac{(\Delta p / L) D}{(1/2) \rho \bar{u}^2} \quad (8)$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะหาได้จาก

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \quad (9)$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยหาได้จาก

$$Nu = \frac{1}{L} \int Nu_x dx \quad (10)$$

สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน,  $TEF$

$$TEF = (Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3} \quad (11)$$

เมื่อ  $Nu_0$  และ  $f_0$  คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของท่อเปล่า ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากการพิจารณาผลของการถ่ายเทความร้อนที่กำลังปั๊มที่ใช้ในท่อเปล่าและท่อที่มีตัวสร้างความปั่นป่วนเท่ากัน

กำหนดเงื่อนไขทางเข้าและทางออกของท่อเป็นการไหลเป็นคาบ (periodic flow) ในช่วงการไหลพัฒนาเต็มที่ โดยในการคำนวณจะระบุอัตราการไหลเชิงมวลที่ทางเข้าและทางออกเท่ากัน ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวหาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลส์ระหว่าง 6000-20000 และกำหนดอุณหภูมิอากาศในตอนเริ่มต้นเท่ากับ 300 K

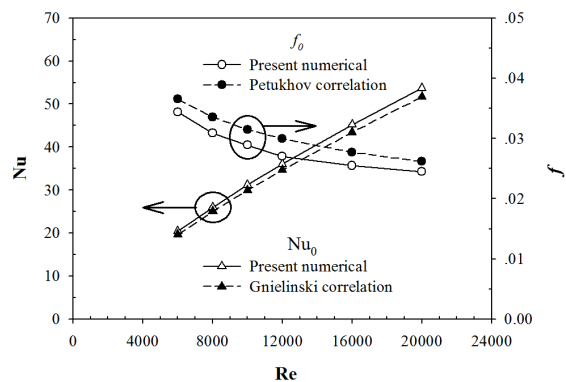
เงื่อนไขที่ผนังจะกำหนดเงื่อนไขแบบไม่มีการสิ้นไหลและกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่ผนังคงที่เท่ากับ  $500 \text{ W/m}^2$  ส่วนวงแหวนกำหนดให้เป็นฉนวนความร้อน

สำหรับการไหลในท่อ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยแบ่งเป็นพื้นที่รูปหกเหลี่ยม การวิเคราะห์ผลของจำนวนกริตที่มีผลต่อคำตอบ ทำการศึกษาโดยใช้จำนวนกริตที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 150,000, 400,000 และ 1,000,000 พบว่าเมื่อจำนวนกริตมากกว่า 400,000 ค่า  $Nu$  เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.5 % ส่วนค่า  $f$  เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.08% ดังนั้นจึงเลือกใช้จำนวนกริตที่ 400,000 ในการคำนวณ

### 3. ผลการทำนายและการอภิปราย

#### 3.1 การตรวจสอบผลการคำนวณ

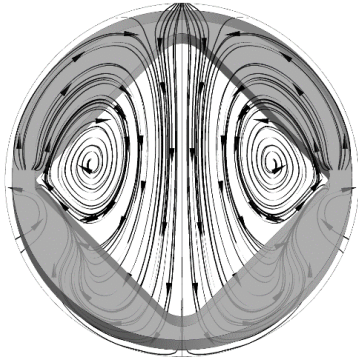
การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมทำได้โดยการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อผนังเรียบแล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลเฉลยแม่นยำตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน [9] พบว่า  $Nu$  ที่ได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 4% ส่วนค่า  $f$  มีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 8% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งค่า  $Nu$  และ  $f$  มีความสอดคล้องกับผลเฉลยแม่นยำตรงเป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2



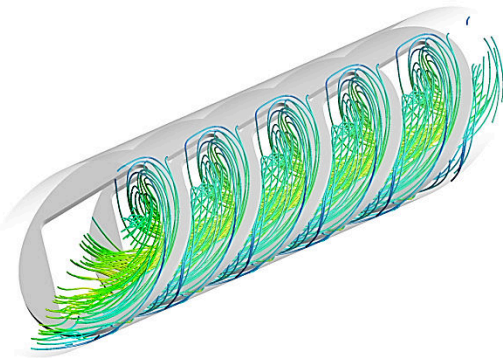
รูปที่ 2 ตรวจสอบผลการคำนวณค่า  $Nu$  และ  $f$

#### 3.2 ลักษณะการไหลในท่อที่มีวงแหวนรูปเพชร

จากการคำนวณหาผลเฉลยเชิงตัวเลข พบว่ากระแสการไหลผ่านวงแหวนจะมีลักษณะหมุนควงตามแนวยาว โดยลักษณะการไหลหมุนควงเกิดจากกระแสการไหลไหลปะทะกับวงแหวนที่วางเอียงทำมุม 45 องศาทำให้เกิดการไหลเป็นลักษณะวอร์เทคคู่บริเวณด้านข้างของท่อที่มีการหมุนของวอร์เทคเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) จากพฤติกรรมการไหลดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความดันแตกต่างบริเวณด้านบนและด้านล่างของวอร์เทคคู่ โดยบริเวณด้านบนจะมีความดันสูงและด้านล่างมีความดันต่ำ ส่งผลให้ของไหลจากด้านบนของวอร์เทคคู่ถูกดูดลงไปกระแทกบริเวณผนังด้านล่างของท่อในลักษณะเป็นช่วงตามจำนวนของวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) จากลักษณะการไหลดังกล่าวจะทำให้ผิวด้านล่างของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ และบริเวณผนังท่อด้านบนจะมีการถ่ายเทความร้อนต่ำสุด



(ก) ลักษณะการไหลแบบวอร์เทคคู่ผ่านวงแหวนรูปเพชรเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศา



(ข) โครงสร้างการไหลผ่านวงแหวนรูปเพชรเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศา

รูปที่ 3 เส้นกระแสการไหลในท่อที่มีวงแหวนรูปเพชรเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า  $Re = 6,000$  และ  $PR=1.0$

### 3.3 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิที่ผนังท่อติดตั้งวงแหวนรูปเพชรเอียงวางทำมุมปะทะการไหล 45 องศาภายในที่ค่า  $PR=1.0$ ,  $BR=0.05$  และ  $Re=6000$  จากรูปแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการหมุนควงตามแนวยาว (วอร์เทคคู่) ที่เกิดจากการไหลปะทะวงแหวนรูปเพชร ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นสูงกว่าท่อผนังเรียบอย่างมากโดยเฉพาะผนังด้านกลางของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง) และจะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ

ในบริเวณผนังด้านบนที่อยู่ระหว่างวงแหวนรูปเพชรดังแสดงในรูปที่ 4 (ค)

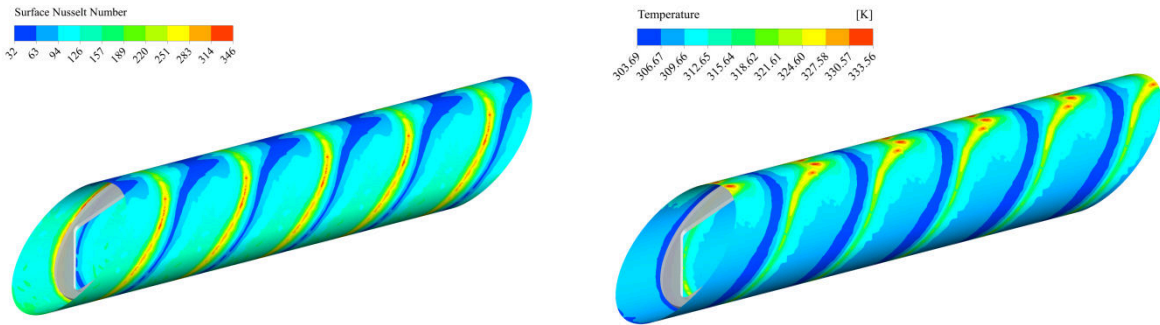
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ ( $Nu/Nu_0$ ) กับค่า  $Re$  ของท่อติดตั้งวงแหวนรูปเพชรทำมุมปะทะการไหล 45 องศา ในแต่ค่า  $PR$  พบว่าเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มขึ้นจาก 5,000 ถึง 20,000 จะส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในทุกกรณีที่มีการติดตั้งวงแหวนรูปเพชร โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิทซ์ พบว่าที่ค่า  $PR$  น้อยจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าที่ค่า  $PR$  มาก เนื่องจากที่ค่า  $PR$  น้อยจะสามารถสร้างกระแสการไหลแบบวอร์เทคคู่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่า  $PR=0.5$  สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 9.28 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบ

### 3.4 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 6 แสดงการกระจายความดันที่ผนังท่อติดตั้งวงแหวนรูปเพชร ทำมุมปะทะการไหล 45 องศาที่ค่า  $PR=1.0$ ,  $BR=0.05$  และ  $Re=6000$  พบว่าเมื่ออากาศปะทะกับวงแหวนรูปเพชรจะเกิดความดันสูงบริเวณด้านบนส่วนหน้าของวงแหวนรูปเพชร ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) และเกิดความดันต่ำบริเวณด้านล่างส่วนหลังของวงแหวนรูปเพชร ดังแสดงในรูปที่ 6 (ง) ซึ่งบริเวณด้านบนส่วนหน้าของวงแหวนรูปเพชรจะเกิดความดันสูงสุด ทำให้เกิดการสูญเสียความดันมากบริเวณนี้

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $f/f_0$  กับ  $Re$  ของท่อติดตั้งวงแหวนรูปเพชรทำมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า  $Re$  ต่าง ๆ พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า  $f/f_0$  เพิ่มขึ้น และยังพบว่าอิทธิพลของค่า  $PR$  กับค่า  $f/f_0$  นั้นแปรผกผัน เมื่อค่า  $PR$  น้อยจะทำให้ค่า  $f/f_0$  มีค่ามากกว่ากรณีที่ค่า  $PR$  มีค่ามาก ผลของ  $f/f_0$  มีสูงเกิดจากกรณีที่ค่า  $PR$  น้อยนั้นจะมีจำนวนวงแหวนมากกว่ากรณีที่ค่า  $PR$  มาก ทำให้เกิดการสูญเสียความดันในท่อมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก)

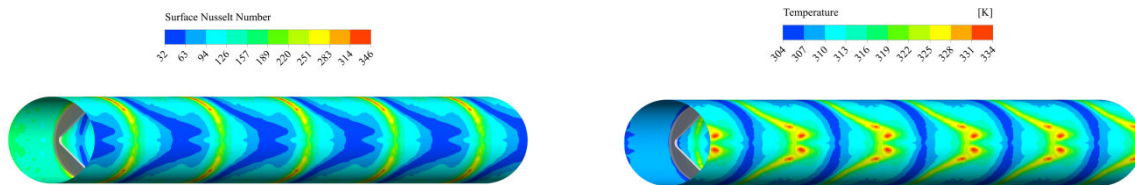




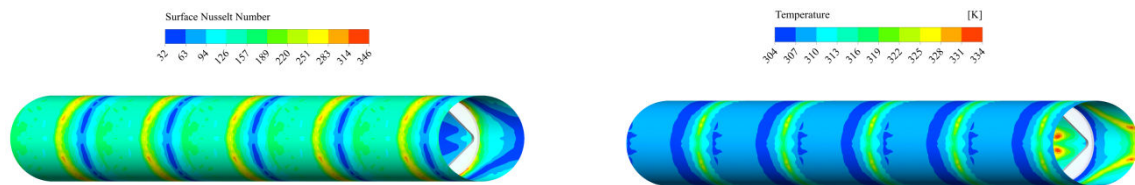
(ก) คอนทอร์ลเลขนัสเซลท์และอุณหภูมิบริเวณผนังท่อ



(ข) คอนทอร์ลเลขนัสเซลท์และอุณหภูมิบริเวณด้านข้างของผนังท่อ

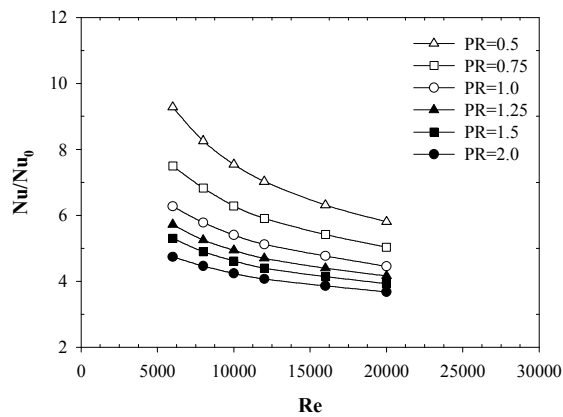


(ค) คอนทอร์ลเลขนัสเซลท์และอุณหภูมิบริเวณด้านบนของผนังท่อ



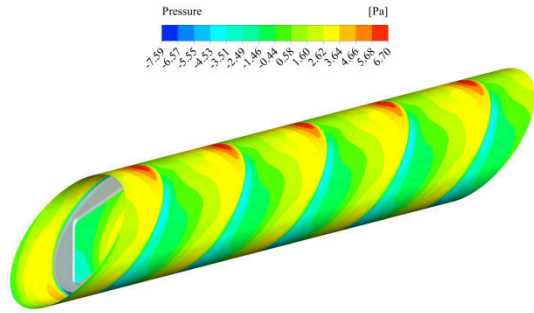
(ง) คอนทอร์ลเลขนัสเซลท์และอุณหภูมิบริเวณด้านล่างของผนังท่อ

รูปที่ 4 คอนทอร์ลเลขนัสเซลท์บนผนังท่อที่ค่า PR=1.0, BR =0.05 และ Re=6000

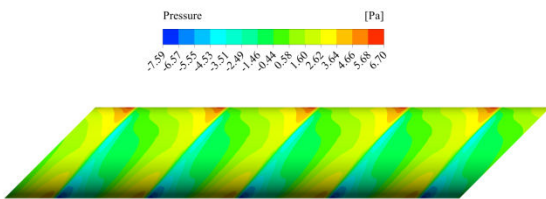


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Nu/Nu_0$  กับ  $Re$  ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชร

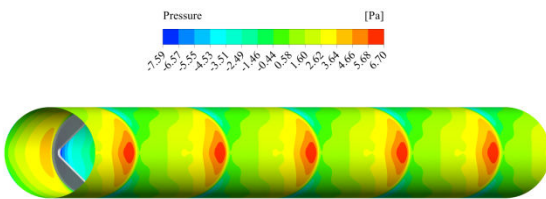




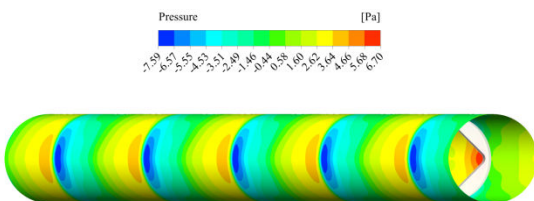
(ก) ความดันที่เกิดบริเวณผนังท่อ



(ข) ความดันที่เกิดบริเวณด้านข้างของผนังท่อ

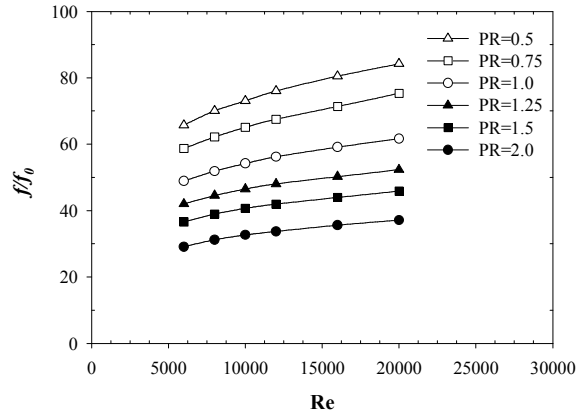


(ค) ความดันที่เกิดบริเวณด้านบนของผนังท่อ



(ง) ความดันที่เกิดบริเวณด้านล่างของผนังท่อ

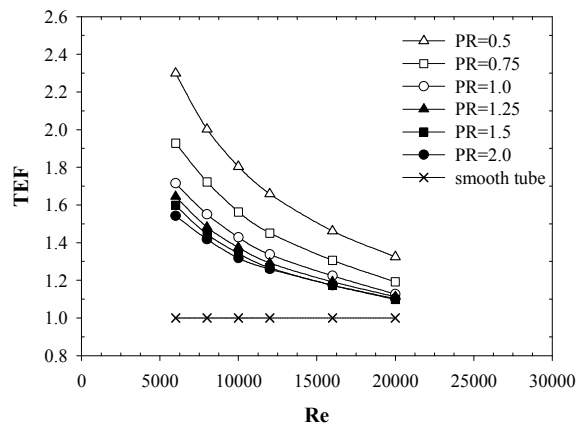
รูปที่ 6 การกระจายความดันบนผนังท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชรวางเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศา



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $f/f_0$  กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชร

### 3.5 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชรทำมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า PR ต่างๆ พบว่าที่ค่า PR=0.5 สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุด โดยในช่วงที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำ ( $Re=6000$ ) สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 2.30 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ และเมื่อพิจารณาภาพรวมของวงแหวนรูปเพชร ยังพบว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ทุกค่า PR



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนรูปเพชร

#### 4. สรุปผล

ผลการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน โดยติดตั้งวงแหวนรูปเพชรวางเอียงทำมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน โดยการติดตั้งวงแหวนรูปเพชรในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า  $BR=0.05$  และทำการปรับเปลี่ยนค่า PR ต่างๆ พบว่าการติดตั้งวงแหวนรูปเพชรจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดที่ค่า  $PR=0.5$  และมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) มากกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณีและยังพบว่าการติดตั้งวงแหวนรูปเพชรในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า  $PR=0.5$  สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุดเท่ากับ 2.3 ที่ค่า  $Re = 6000$

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์และมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการงานวิจัยนี้ รวมทั้งทุนในการตีพิมพ์ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัยนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M.(1977). ASME J. Heat Transfer, vol. 99, pp. 180-186.
- [2] B.W. Webb, S. Ramadhyani, Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs, Int. J. Heat Mass Transfer 28 (1985) 1679–1687.
- [3] Date, A.W. and Saha, S.K. (1990). Numerical prediction of laminar flow and heat transfer characteristics in a tube fitted with regularly spaced twisted-tape elements, International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 11, pp. 346-354.
- [4] J.C. Han, Y.M. Zhang, C.P. Lee, Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs, ASME, Journal of Heat Transfer 113 (1991) 590–596.
- [5] Eiamsa-ard, S. and Promvong, P. (2005). Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators, Solar Energy, vol. 78, November 2004, pp. 483-494.
- [6] S. Sripattanapipat, P. Promvong, Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, International Communications in Heat and Mass Transfer 36(2009) 32–38.
- [7] Guo, J., Xu, M. and Cheng, L. (2010). Numerical investigations of circular tube fitted with helical screw-tape inserts from the viewpoint of field synergy principle, Chemical Engineering and Processing, vol. 49, February 2010, pp. 410-417.
- [8] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [9] F. Incropera, P.D. Dewitt, Introduction to heat transfer, 3rd edition John Wiley & Sons Inc, 1996.