

การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่ใส่แผ่นไบเกลียว Numerical Simulation of Heat Transfer in a Circular Tube with Helical Tapes

สมบัติ ทำนา^{1*} และ พงษ์เจต พรหมวงศ์²

¹ กลุ่มวิจัยคณิตศาสตร์ประยุกต์และกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เลขที่ 1771/1 ถนนพัฒนาการ
แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ: sombat_ae@tni.ac.th, โทรศัพท์ 0-2763-2600 ต่อ 2912, โทรสาร 0-2763-2600 ต่อ 2900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อกลมที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการใส่แผ่นไบเกลียว ซึ่งมีระยะพิทช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหรืออัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio, $PR=p/D$) เท่ากับ 1 และไบเกลียวมีความกว้างต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหรืออัตราส่วนการกั้นการไหล (Blockage ratio, $BR=b/D$) เท่ากับ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ ในการศึกษาเป็นการคำนวณโดยใช้วิธีปริมาตรสลับเนื่องและอัลกอริทึมแบบ SIMPLE อัตราการไหลที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 200 จนถึง 2000 ผลลัพธ์ที่ได้จากท่อที่มีการใส่แผ่นไบเกลียวนำไปเปรียบเทียบกับท่อกลมผิวเรียบ พบว่าท่อกลมที่มีการใส่แผ่นไบเกลียวถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อกลมผิวเรียบ (ท่อเปล่า) การเพิ่มขึ้นของความกว้างไบเกลียวให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันค่าตัวประกอบเสียดทานก็สูงเพิ่มขึ้นตาม แผ่นไบเกลียวที่ศึกษา กรณี $BR=0.20$ ที่ $Re=2000$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) สูงสุดเท่ากับ 2.4

คำหลัก: การจำลองเชิงตัวเลข; การถ่ายเทความร้อน; ท่อกลม; แผ่นไบเกลียว; การไหลแบบราบเรียบ

Abstract

The research presents the numerical simulation on heat transfer and laminar flow behaviors in an isothermal circular tube with helical tape inserts. The helical tape parameters include a single tape-pitch to tube-diameter ratio or pitch ratio ($PR=p/D=1$) and four tape-width to tube-diameter or blockage ratio ($BR=b/D= 0.05, 0.1, 0.15$ and 0.2), respectively. The simulation is performed by a finite volume method and the SIMPLE algorithm is used for handling the pressure-velocity coupling. The airflow rate is varied for Reynolds number (Re) ranging from 200 to 2000. The computation shows that the tube with helical tape inserts provides higher heat transfer rate than the smooth tube with no insert. The increment in BR leads to the considerable increase of heat transfer rate and friction factor. The inserted tube with $BR=0.2$ at $Re=2000$ provides the highest thermal enhancement factor of about 2.4.

Keywords: numerical simulation; heat transfer; circular tube; helical tape; laminar flow

CST-191

1. บทนำ

ตัวสร้างการหมุนชนิดแผ่นบิดและแผ่นใบเกลียว ถูกใช้เป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบ passive ซึ่งปราศจากการใส่กำลังจากภายนอก แผ่นบิดได้มีการประยุกต์ใช้กันหลากหลาย เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเปลือก เครื่องอุ่นอากาศจากแสงอาทิตย์ หม้อไอน้ำ และกระบวนการทางวิศวกรรมเคมี ฯลฯ แผ่นบิดได้รับความสนใจมากขึ้นโดยมีจุดเด่นคือ มีสมรรถนะที่คงตัว มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และติดตั้งง่าย การใส่แผ่นบิดหรือแผ่นใบเกลียวเพิ่มเข้าไปเป็นการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนพร้อมกับการสูญเสียความดันค่อนข้างน้อย แผ่นใบเกลียวจะไปขัดขวางไฮโดรไดนามิกส์/ชั้นขีดผิวความร้อน และรูปร่างการไหลหมุนวนจะสร้างชั้นขีดผิวบางๆ ขึ้น ที่มีความต้านทานทางความร้อนที่น้อยกว่าชั้นขีดผิวที่เกิดขึ้นในท่อเปล่า แผ่นใบเกลียวช่วยเพิ่มเวลาในการถ่ายเทความร้อนและเร่งเดียนท์ของความเร็ว และความเข้มข้นของความปั่นป่วนที่ใกล้ผนังท่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การหาศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายจากการไหลในท่อที่ใส่แผ่นบิดรูปทรงต่างๆ เป็นที่สนใจของนักวิจัยมากมาย ทั้งในด้านการทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลข [1-12] การพัฒนาเทคนิคการคำนวณในหลายสิบปีที่ผ่านมา เพื่อหาคำตอบของสมการการไหล ด้วยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(CFD) การพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบโดย Patankar และคณะ [1] ได้ศึกษาคำนวณการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสำหรับการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่แล้ว ต่อมา Date และ Singham [2] ได้รายงานการศึกษาเชิงตัวเลขของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในการไหลแบบราบเรียบที่มีความหนืดในท่อใส่แผ่นบิดภายใต้เงื่อนไขแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ พวกเขาได้ศึกษาอิทธิพลของแผ่นบิดและครีบด้วยการสมมติความหนาของแผ่นบิดเท่ากับศูนย์ ต่อมา Date [3] เสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการไหลในท่อใส่แผ่นบิดสำหรับการไหลสม่ำเสมอที่พัฒนาเต็มที่แล้ว

Du Plessis [4] คำนวณเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อใส่แผ่นบิดภายใต้เงื่อนไขขอบอุณหภูมิผิวคงที่สำหรับการไหลแบบราบเรียบ หลังจากนั้น Date และ Saha [5] ใช้สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน ในการทำนายพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อแบบฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอในท่อที่ใส่แผ่นบิดเว้นช่วง Eiamsa-ard และ Promvong [6] ได้ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นใบเกลียวทั้งแบบมีแกนกลางความยาวใบบิดเต็ม และใบเกลียวที่ไม่มีแกนกลางยาวเต็มและเว้นช่วง ต่อมา Sivashanmugam และ Suresh [7] ได้ศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายของการไหลแบบปั่นป่วนผ่านท่อกลมที่ใส่แผ่นใบเกลียวพร้อมแกนกลางที่มีอัตราส่วนการบิดสม่ำเสมอแตกต่างกัน อัตราส่วนการบิดเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนการบิดลดลง งานต่อมาของ Eiamsa-ard และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ ของการไหลหมุนวนและการพาความร้อนในท่อกลมที่ใส่แผ่นบิดแบบหลวม เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของช่องว่างระหว่างขอบแผ่นบิดและผนังท่อต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ค่าต่างๆ จากนั้น Guo [9] ได้ศึกษาเชิงตัวเลขของท่อกลมที่ใส่แผ่นใบเกลียวพร้อมแกนกลางที่มีทิศทางการหมุนใบเกลียววนขวาตลอดความยาวแกนกลาง และแกนกลางที่มีใบเกลียวเว้นช่วงทิศการหมุนวนซ้ายและขวา งานต่อมาของ Suresh และคณะ [10,11] ศึกษาเชิงทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนในท่อที่ใส่แผ่นใบเกลียวพร้อมแกนกลางที่มีอัตราส่วนการบิดแตกต่างกันสำหรับการไหลแบบราบเรียบและช่วงเปลี่ยนแปลงของสารนาโนฟลูอิด $Al_2O_3/water$ และ $CuO/water$ ต่อมา Zhang และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียหายของท่อที่ใส่แผ่นใบเกลียวทั้งที่มีแกนกลางและไม่มี โดยคำนวณช่วงการไหลปั่นป่วนศึกษาอิทธิพลของความกว้างแผ่นใบเกลียว

CST-191

จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นเป็นงานเกี่ยวกับคำนวณเชิงตัวเลขอย่างกว้างๆ สำหรับการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่แผ่นบิดและแผ่นไบเกลียว อย่างไรก็ตาม การศึกษาเชิงตัวเลขของปรากฏการณ์ความร้อนและการไหลราบเรียบผ่านท่อใส่ตัวสร้างการหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวยังไม่มีรายงาน เป้าหมายของการศึกษานี้ได้รายงานถึงพฤติกรรมของการไหลหมุนวน และกลไกการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวที่มีความกว้างแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ ANSYS FLUENT สำหรับคำนวณหาสนามการไหล (เวกเตอร์ความเร็ว และเส้นกระแสการไหล) และคำนวณสนามอุณหภูมิภายในท่อ และคำนวณการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลที่บริเวณผนังท่อ การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมได้เปรียบเทียบกับเลขนัสเซิลและตัวประกอบเสียดทานของท่อเปล่าผิวเรียบ(ไม่ใส่แผ่นไบเกลียว) เทียบกับผลเฉลยแม่นยำตรง [13] ผลการคำนวณเชิงตัวเลขอธิบายอิทธิพลของอัตราส่วนกันการไหล $BR=b/D=0.05, 0.1, 0.15$ และ 0.2 ที่อัตราส่วนพิทช์เดียวกันคือ $PR=p/D=1$ ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปของเลขนัสเซิล (Nu) การสูญเสียความดันแสดงในรูปตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ซึ่งในการคำนวณเชิงตัวเลขนี้เป็นการคำนวณภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิผนังท่อคงที่และใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ทั้งนี้ยังได้รายงานถึงอิทธิพลของการสร้างกริดต่อผลของการทำนายด้วย

2. แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนและการไหล

การจำลองทางคณิตศาสตร์รวมถึงการทำนายพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อกลมที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวที่ถูกใช้แก้สมการควบคุม การสมมติฐานให้ปัญหายากขึ้นสำหรับประยุกต์ใช้กับสมการการไหล และสมการพลังงานสู่แบบจำลองของกระบวนการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่แผ่นไบเกลียว โดยมีสมมติฐานหลักๆ คือ 1) การไหลของอากาศที่เข้าท่อทดสอบเป็นแบบ

ราบเรียบและอัดตัวไม่ได้ 2) เป็นการไหลที่สภาวะคงตัว 3) ไม่คิดการพาความร้อนตามธรรมชาติและการแผ่รังสี และ 4) คุณสมบัติของไหลไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

2.1 สมการควบคุม

จากสมมติฐานข้างต้นการประมาณค่าสมการเชิงอนุพันธ์ของสมการควบคุม ซึ่งใช้ในการอธิบายการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่ใส่แผ่นไบเกลียว โดยใช้สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน สำหรับแบบจำลองสามมิติ ที่สภาวะคงตัว การไหลที่ความหนาแน่นคงที่ สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้ สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

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

สมการพลังงาน:

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

เมื่อ Γ คือ เทอมการแพร่ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการข้างล่าง

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad (4)$$

2.2 ขั้นตอนการหาคำตอบ

ผลเฉลยเชิงตัวเลข ใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ ไร้การอัดตัวและไม่ขึ้นกับเวลา ซึ่งแบบจำลองจะถูก discretize โดยแบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) ใช้สำหรับคำนวณเทอมการพา และการแพร่ ตามลำดับ แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง โดยใช้อัลกอริธึมแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) การสุ่มหาคำตอบจะพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร ยกเว้นสมการพลังงานพิจารณาที่ค่าการแปรเปลี่ยนที่ 10^{-9}

CST-191

งานวิจัยที่น่าสนใจได้สนใจพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ 1) ตัวประกอบเสียดทาน 2) เลขนัสเซลล์ท์ และ 3) ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน อัตราการถ่ายเทความร้อน และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อใส่แผ่นไบเกลียว โดยตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาวของท่อ, L ดังสมการ

$$f = \frac{(\Delta p / L) D}{(1/2) \rho \bar{u}^2} \quad (5)$$

เลขนัสเซลล์ท์นิยามโดย

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \quad (6)$$

เลขนัสเซลล์ท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (7)$$

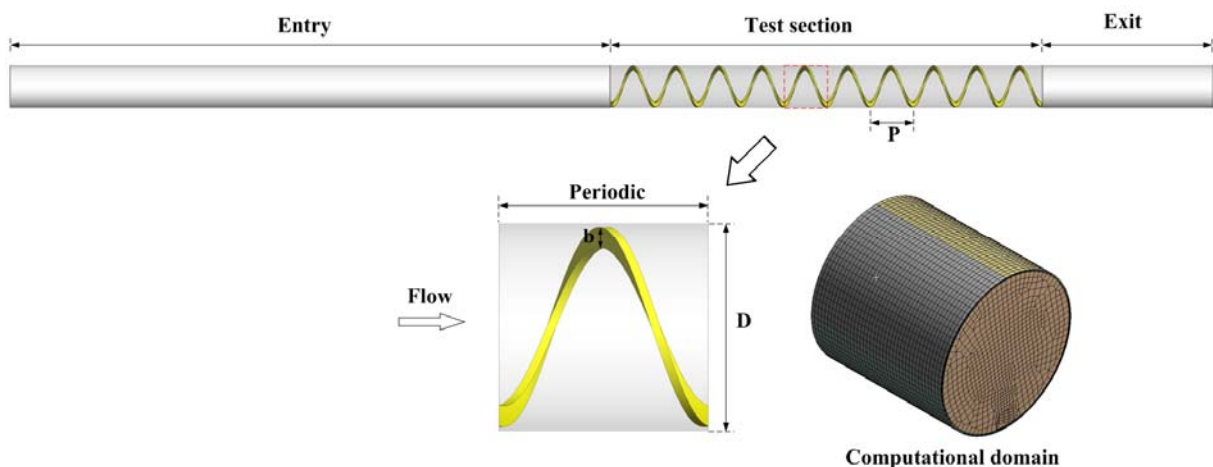
ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนแสดงถึงการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีอุปกรณ์ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่กำลังขับปั๊มเดียวกันแสดงได้ดังสมการ

$$TEF = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (8)$$

เมื่อ Nu_0 , Nu , f_0 และ f คือ เลขนัสเซลล์ท์ และตัวประกอบเสียดทานของท่อเปล่า และท่อที่มีตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียว ตามลำดับ

3. รูปทรงท่อและตัวสร้างการไหลหมุนวน

การศึกษาค้นคว้าการไหลในท่อกลมที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวภายในท่อ โดยท่อทดสอบแบ่งออกได้เป็นสามส่วน คือ ส่วนทางเข้า (entry) มีความยาว 1500 mm ส่วนทดสอบ (test section) มีความยาว 1000 mm และส่วนทางออก (exit) มีความยาว 500 mm ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งท่อมี



รูปที่ 1 รูปทรงของท่อกลมที่ใส่แผ่นไบเกลียว และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณการไหลเป็นคาบ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน(D) เท่ากับ 50 mm โดยการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขของงานวิจัยนี้ได้ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ พิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบ และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณสำหรับการไหลในท่อกลมพร้อมกับแผ่นไบเกลียวเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 1 แผ่นไบเกลียวมีความหนา 1 mm มีระยะพิตช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหรืออัตราส่วนระยะพิตช์ (Pitch ratio, $PR=p/D$) หนึ่ง

ค่าคือ $PR=1.0$ และไบเกลียวมีความกว้างต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อหรืออัตราส่วนกันการไหล (Blockage ratio, $BR=b/D$) สี่ค่าคือเท่ากับ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 ตามลำดับ อุณหภูมิผนังด้านในท่อและอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าคงที่เท่ากับ 310 และ 300 K ตามลำดับ ขณะเดียวกันที่ผนังด้านนอกท่อไม่มีการถ่ายเทความร้อน สมมติไม่มีการลื่นไถลที่ผนังท่อ (no-

CST-191

slip condition) และพิจารณาแผ่นใบเกลียวไม่มีการถ่ายเทความร้อน(เป็นฉนวน)

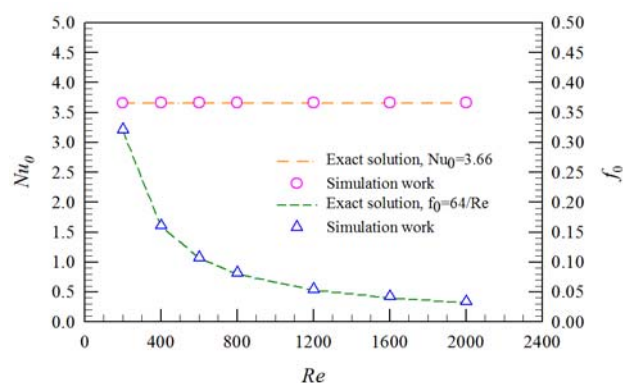
4. ผลการคำนวณเชิงตัวเลข

4.1 กริดอิสระ

การหากริดอิสระหรือหาจำนวนเอลิเมนต์ที่ไม่มีผลกระทบต่อคำตอบของผลเฉลยเชิงตัวเลข ได้ใช้เอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมในโดเมนการคำนวณ และใช้จำนวนเอลิเมนต์ที่แตกต่างกันสามค่าคือ 50,000 100,000 และ 200,000 ตามลำดับ คำนวณที่เงื่อนไขการเดียวกัน โดยเปรียบเทียบคำตอบเลขนัสเซลล์ท์พบว่าจำนวนกริด 100,000 ขึ้นไปเริ่มให้ค่าเลขนัสเซลล์ท์คลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า 1.3% ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาการลู่เข้าหาคำตอบใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าจำนวนกริด 200,000 มากๆ จึงใช้จำนวนกริด 100,000 สำหรับคำนวณงานวิจัยนี้

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ

ในรูปที่ 2 แสดงคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซลล์ท์ และตัวประกอบเสียดทานของท่อกลมผิวเรียบที่ไม่ใส่แผ่นใบเกลียว โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นยำตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ค่าผลเฉลยแม่นยำตรงสามารถเปิดดูได้ในหนังสือ[13] ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งค่าเลขนัสเซลล์ท์และค่าตัวประกอบเสียดทานมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นยำตรงเป็นอย่างดี โดยให้ค่าเลขนัสเซลล์ท์คลาดเคลื่อนในช่วง $\pm 1.7\%$ และตัวประกอบเสียดทานมีค่าคลาดเคลื่อนในช่วง $\pm 0.8\%$

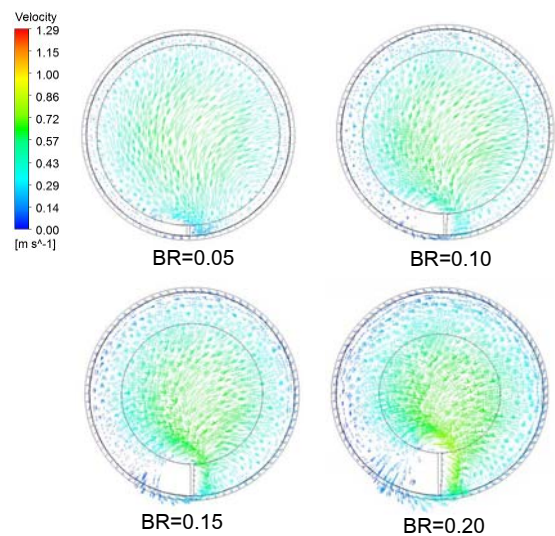


รูปที่ 2 การแปรเปลี่ยนเลขนัสเซลล์ท์ และตัวประกอบเสียดทานของท่อกลมผิวเรียบ

4.3 โครงสร้างการไหล

4.3.1 เวกเตอร์ความเร็ว

เวกเตอร์ความเร็วจากการทำนายสำหรับแผ่นใบเกลียวที่มีค่าอัตราส่วนกันการไหลแตกต่างกัน ($BR=0.05, 0.1, 0.15$ และ 0.2) โดยมีอัตราส่วนระยะพิตช์ $PR=1$ และเลขเรย์โนลด์ส $Re=1200$ แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการไหลหมุนวนที่เกิดขึ้นมีทิศทางวนขวาไปข้างหน้าตามแผ่นใบเกลียว(อากาศไหลเข้าท่อทดสอบในทิศพุ่งเข้าหาหน้ากระดาด) เมื่ออัตราส่วนกันการไหลเพิ่มขึ้นการไหลหมุนวนก็มีความเร็วมากขึ้น ช่วยดึงความร้อนที่ผนังท่อเข้ามาผสมกันกับอากาศบริเวณตรงกลางท่อได้ดีขึ้น



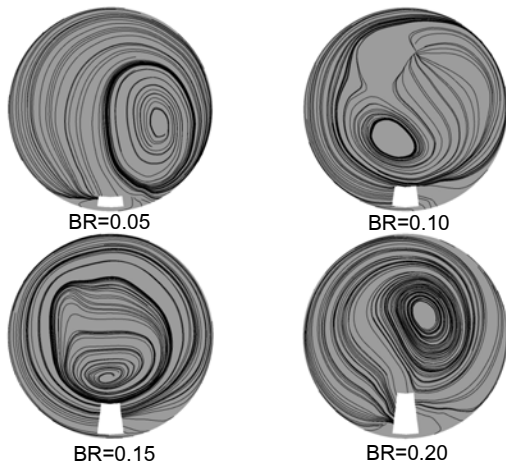
รูปที่ 3 เวกเตอร์ความเร็วที่ $Re=1200$

4.3.2 เส้นกระแสการไหล

ในรูปที่ 4 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบตัดขวาง สำหรับท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นใบเกลียวค่าอัตราส่วนกันการไหลค่าต่างๆ ที่มีอัตราส่วนระยะพิตช์ $PR=1$ และเลขเรย์โนลด์ส $Re=1200$ พบว่าแผ่นใบเกลียวช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนวนมีทิศทางตามการหมุนของใบเกลียว โดยเมื่อใบเกลียวมีอัตราส่วนกันการไหลเพิ่มขึ้น การไหล

CST-191

เกิดการหมุนวนมากขึ้น ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่ากระแสการไหลหมุนวนยังเหนี่ยวนำให้อากาศไหลกระแทกบริเวณผนังท่อด้วย ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณเกิดการไหลกระแทกสูงมาก

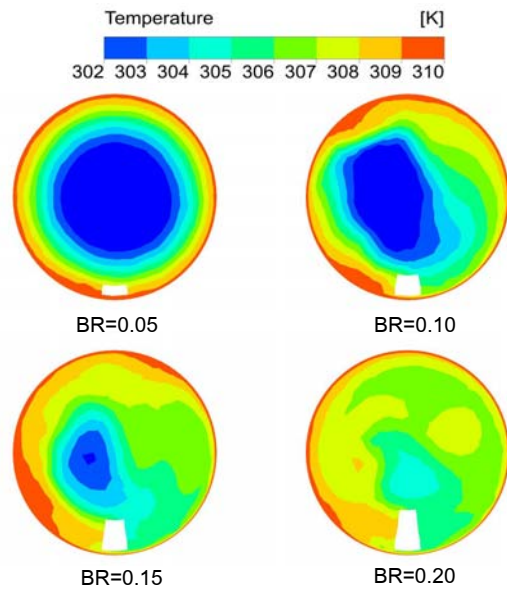


รูปที่ 4 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตัดขวางที่
Re=1200

4.3.3 สนามอุณหภูมิ

รูปที่ 5 แสดงคอนทัวร์ของสนามอุณหภูมิบนระนาบตัดขวางสำหรับท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นใบเกลียวที่มีค่าอัตราส่วนกันการไหลค่าต่างๆ อัตราส่วนระยะพิตช์ PR=1 และเลขเรย์โนลด์ส Re=1200 พบว่าแผ่นใบเกลียวที่มีค่าอัตราส่วนกันการไหล BR=0.05 (อัตราส่วนกันการไหลน้อยๆ) มีการกระจายอุณหภูมิที่ไม่ดีบริเวณตรงกลางท่อ และบริเวณผนังท่อมีชั้นขีดผิวความร้อนที่หนาจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนทั้งบริเวณตรงและผนังท่อต่ำ เมื่อแผ่นใบเกลียวมีอัตราส่วนกันการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายอุณหภูมิจากการผสมกันระหว่างอากาศร้อนกับเย็นตรงกลางท่อมากขึ้น ซึ่งรับอิทธิพลมาจากการไหลหมุนวนที่เข้มข้นมากขึ้น และเกิดการเหนี่ยวนำกระแสการไหลให้ไหลกระแทกที่ผนังท่อที่รุนแรงขึ้นด้วยสาเหตุนี้จึงเห็นว่าชั้นขีดผิวของความร้อนบางลง แผ่นใบเกลียวที่ BR=0.2 สร้างการไหลหมุนวนที่เข้มข้นสม่ำเสมอกว่าแผ่นใบเกลียวที่มีค่า BR น้อยๆ จึงมีการผสมกันระหว่างอากาศร้อนและเย็นที่ดีกว่าแผ่นใบเกลียวที่มีค่า BR ต่ำกว่า ดังนั้นจึงได้การ

กระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ ขณะเดียวกันการไหลไหลกระแทกบริเวณผนังท่อที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสมีความรุนแรงมาก ชั้นขีดผิวของความร้อนจึงบางลงมาก ทำให้เกรเดียนต์ของอุณหภูมิสูง และสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ดี



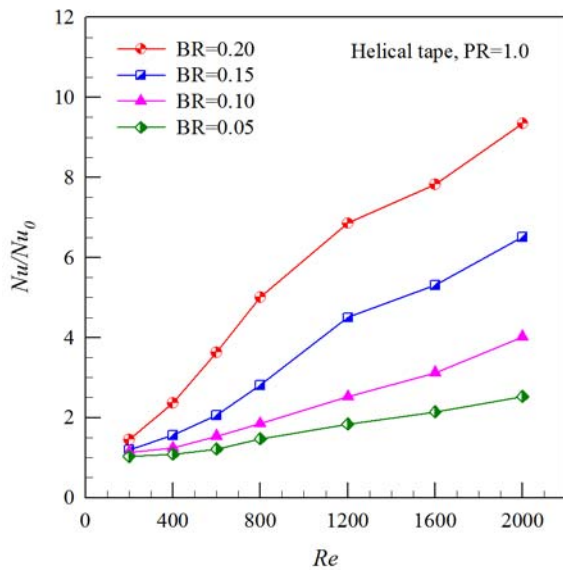
รูปที่ 5 คอนทัวร์ของอุณหภูมิที่ Re=1200

4.4 การถ่ายเทความร้อน

ผลของแผ่นใบเกลียวที่อัตราส่วนกันการไหล BR=0.05 , 0.1, 0.15 และ 0.2 ตามลำดับ ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข แสดงในรูปที่ 6 ผลลัพธ์ของท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นใบเกลียวทั้งหมดได้นำมาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์ Nu/Nu_0 อัตราการถ่ายเทความร้อนถูกพบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนการไหลและอัตราส่วนกันการไหลเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนกันการไหลเพิ่มขึ้นการไหลหมุนวนจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงมากขึ้น เป็นผลให้ชั้นขีดผิวของความร้อนบางลง ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อัตราส่วนเลขนัสเซลท์เฉลี่ย(ตลอดผิวของผนังท่อ) สำหรับท่อใส่แผ่นใบเกลียวที่ค่า BR=0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 ตามลำดับ ในช่วงเลขเรย์โนลด์สที่ศึกษาให้ค่าสูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1-9 เท่า โดยกรณี BR=0.2 ให้ค่า

CST-191

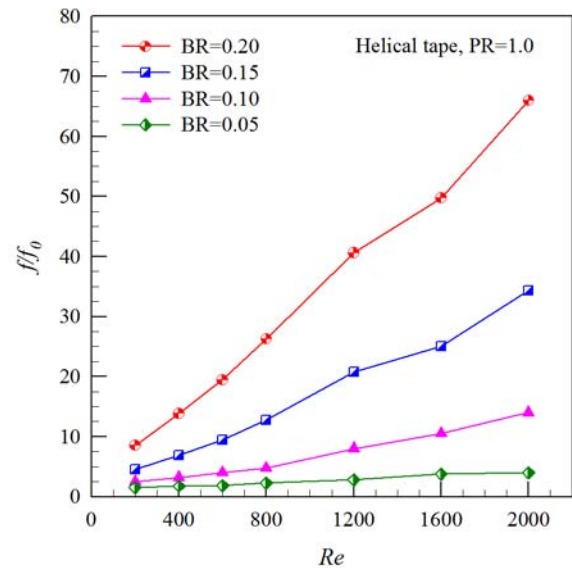
อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์เฉลี่ย Nu/Nu_0 สูงสุดประมาณ 9
เท่าของท่อเปล่า



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re

4.5 ตัวประกอบเสียดทาน

ลักษณะของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานระหว่างท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวและท่อเปล่าผิวเรียบ f/f_0 ที่อัตราส่วนกันการไหล $BR=0.05, 0.1, 0.15$ และ 0.2 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตาม และพบว่าเมื่ออัตราส่วนกันการไหล BR เพิ่มขึ้น ตัวประกอบเสียดทานก็สูงขึ้น โดยที่ค่า $BR=0.05$ และ $BR=0.1$ (ที่ค่าอัตราส่วนกันการไหลน้อยๆ) จะเกิดการสูญเสียความดันภายในท่อน้อยกว่าเพราะแผ่นไบเกลียวมีขนาดความกว้าง b น้อยจึงขัดขวางการไหลตรงกลางท่อน้อย เมื่อการไหลมีอัตราการไหลที่สูงขึ้นก็ยังคงไหลได้สะดวก ส่วนที่ค่า $BR=0.2$ จะเห็นได้ชัดว่ามีสัดส่วนการเพิ่มตัวประกอบเสียดทานที่สูงมากเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะแผ่นไบเกลียวมีความกว้างมากพอที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนวนมากขณะเดียวกันก็เกิดความดันลดมาก เป็นผลให้เกิดการสูญเสียความดันจากการไหลในท่อที่มีแผ่นไบเกลียวมากขึ้น โดยท่อที่ใส่แผ่นไบเกลียวกรณี $BR=0.2$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน f/f_0 สูงสุดมีค่าประมาณ 65 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re

4.6 ตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

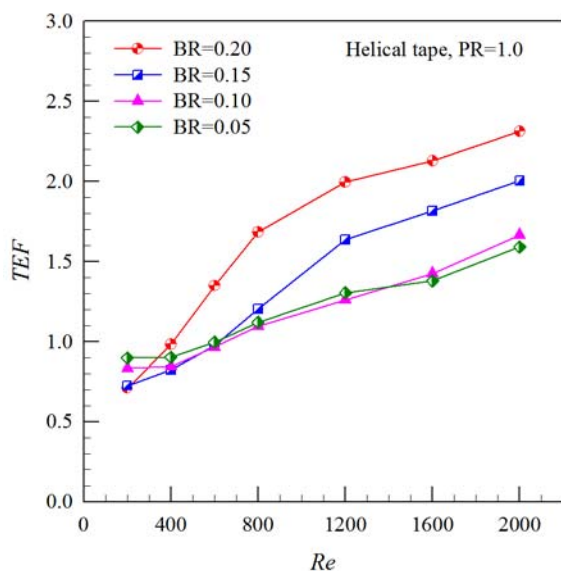
ในรูปที่ 8 ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเสียดทานที่เกิดขึ้นที่กำลังขับเคลื่อนเดียวกัน ในท่อที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียวที่มีอัตราส่วนกันการไหลแตกต่างกัน จากการศึกษาจำลองเชิงตัวเลข สังเกตเห็นว่าค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นสำหรับทุกแผ่นไบเกลียว โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส Re ต่ำกว่า 600 ยกเว้นกรณี $BR=0.2$ มีค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน TEF ที่น้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีอัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ เนื่องจากการไหลความเร็วยังไม่พอต่อการผสมกันระหว่างอากาศร้อนที่บริเวณผนังท่อกับตรงกลางท่อ โดยแผ่นไบเกลียวกรณี $BR=0.2$ ให้ค่า TEF ดีที่สุดเท่ากับ 2.4 ที่ $Re=2000$

5. สรุปผล

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลในท่อกลมที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนด้วยแผ่นไบเกลียว ที่ศึกษาผลของอัตราส่วนกันการไหล ($BR=b/D$) ต่อพฤติกรรมการ

CST-191

ถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ในการจำลองใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม โดยพิจารณาการไหลเป็นคาบ โดยการพล็อตเวกเตอร์ความเร็ว เส้นกระแสการไหล และคอนทัวร์อุณหภูมิพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสำหรับท่อที่ใช้แผ่นไบเกลียวที่ BR ต่างๆ ให้ค่าสูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ และค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่รับอิทธิพลมาจากอัตราส่วนกันการไหลดีที่สุดที่กำลังขับคงที่คือที่อัตรากันการไหล $BR=2.0$, $Re=2000$ ให้ค่า TEF สูงสุดถึง 2.4 อย่างไรก็ตามความเสียดทานที่เกิดขึ้นก็สูงตามด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M. (1977). *ASME J. Heat Transfer*, vol. 99, pp. 180-186.
- [2] Date, A.W. and Singham, J.R. (1972). Numerical prediction of friction and heat transfer characteristics of fully developed laminar flow in tubes containing twisted tapes, *Transaction of ASME, Journal of Heat Transfer*, paper no. 72-HT-17.
- [3] Date, A.W. (1974). Prediction of fully developed flow in a tube containing a twisted tape, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 17, pp. 845-859.
- [4] Du Plessis, J.P. (1982). Laminar flow and heat transfer in a smooth tube with a twisted-tape insert, *Ph.D Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Stellenbosch, South Africa*, 1982.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Sivashanmugam, P. and Suresh, S. (2007). Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of turbulent flow through a circular tube fitted with helical screw-tape inserts, *Chemical Engineering and Processing*, vol. 46, November 2006, pp. 1292-1298.
- [8] Eiamsa-ard, S., Wongcharee, K. and Sripattanapipat, S. (2009). 3-D Numerical simulation of swirling flow and convective heat transfer in a circular tube induced by means of loose-fit twisted tapes, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, July 2009, pp. 947-955.
- [9] 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.

CST-191

- [10] Suresh, S., Venkitaraj, K.P. and Selvakumar, P. (2011). Comparative study on thermal performance of helical screw tape inserts in laminar flow using $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ and CuO/water nanofluids, *Superlattices and Microstructures*, vol. 49, April 2011, pp. 608-622.
- [11] Suresh, S., Venkitaraj, K.P., Selvakumar, P. and Chandrasekar, M. (2012). A comparison of thermal characteristics of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ and CuO/water nanofluids in transition flow through a straight circular duct fitted with helical screw tape inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 39, January 2012, pp. 37-44.
- [12] Zhang, X., Liu, Z. and Liu, W. (2013). Numerical studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube fitted with helical screw-tape without core-rod inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 60, February 2013, pp. 490-498.
- [13] Incropera, F.P., Witt, P.D., Bergman, T.L. and Lavine, A.S. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, *John-Wiley & Sons*, 2006.