

การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่พีระมิดปลายตัด

Flow and Heat Transfer Simulations in Round Tube with Truncated Pyramids

ราชนันท์ พูลเพิ่ม¹, สมบัติ ทำนา^{2*}, สมพล สกุลหลง³, วทีญญู ไพโรจน์¹ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์¹

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

² ห้องปฏิบัติการวิจัยคณิตศาสตร์ประยุกต์และกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เลขที่ 1771/1 ถนนพัฒนาการ
แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

³ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เลขที่ 199 ถนนสุขุมวิท
ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่พีระมิดปลายตัดที่เป็นตัวสร้างการไหลปั่นป่วน การคำนวณเป็นการไหลแบบปั่นป่วนสามมิติ ที่มีลักษณะการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์และเข้าเป็นช่วงของการไหล (periodic flow) โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ซึ่งพิจารณาการไหลที่เลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วง 3,000 ถึง 20,000 พีระมิดที่ใส่ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นพีระมิดปลายตัดตรงขนานกับฐานโดยมีฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม ตามลำดับ การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนได้นำเสนอในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากผลการคำนวณพบว่าท่อที่ใส่พีระมิดให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ โดยพบว่ากรณีพีระมิดที่มีฐานรูปหกเหลี่ยมให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในกรณีพีระมิดที่ศึกษา ขณะเดียวกันการใส่พีระมิดปลายตัดเข้าไปในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนก็เพิ่มค่าความดันตกคร่อมอีกด้วย

คำหลัก: การจำลองเชิงตัวเลข; การถ่ายเทความร้อน; พีระมิด; ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน; การไหลปั่นป่วน

Abstract

This work presents a numerical study on heat transfer augmentation in a circular tube inserted with truncated-pyramid turbulators. The computations are based on a three dimensional turbulent fully developed periodical flow by using air as the test fluid for Reynolds number ranging from 3,000 to 20,000. The pyramid inserted into the circular tube is cut at its tip where three pyramid bases are set to square, hexagonal and octagonal shapes. The investigations of heat transfer and pressure drop are, respectively, displayed in forms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f). As per numerical results, it is found that the use of pyramid turbulators provides higher heat transfer rate than the case of smooth tube. The hexagonal one yields higher heat transfer rate than other shapes meanwhile it also increases considerably higher pressure drop.

Keywords: numerical simulation; heat transfer; pyramid; heat exchanger tube; turbulent flow.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ได้มีบทบาทอย่างมากในวงการอุตสาหกรรมและถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในงานรูปแบบต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อน

การทำความเย็น อุตสาหกรรมเคมี การผลิตชิ้นงานจากวัสดุต่างๆ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ชัดว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นต้องมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

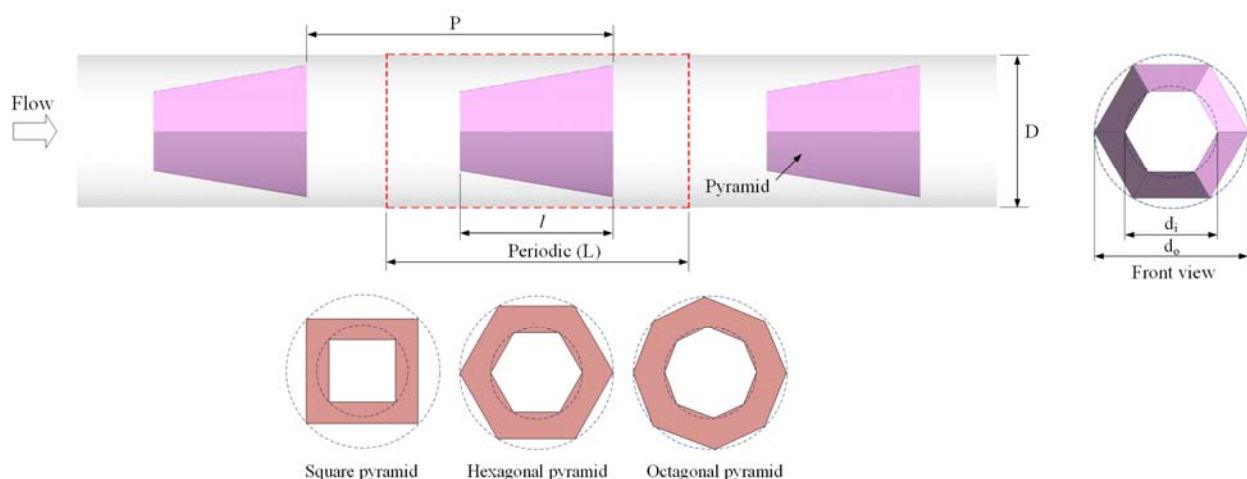
การติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการสอดใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนหรือ turbulators เข้าสู่ด้านในของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งวิธีการนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นหลักการที่ไม่ซับซ้อน การซ่อมบำรุงง่าย ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดี และที่สำคัญคือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนโดยไม่ต้องใช้พลังงานใดๆเป็นตัวขับเคลื่อน (passive) ซึ่งปรากฏในงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตมากมาย เช่น Kongkaitpaiboon และคณะ [1] ได้ทดลองนำวงแหวนติดตั้งภายในท่อกลมที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางวงแหวนต่อท่อกลมต่างกัน พบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 57%-195% เมื่อเทียบกับท่อเปล่า Promvong [2] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านท่อกลม โดยการสอดใส่วงแหวนกรวยที่ค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางวงแหวนต่อท่อกลมต่างกัน พบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นที่ 197%-333% Dermus [3] ได้ศึกษาการใส่วงแหวนกรวยที่ทำมุมต่างๆ เพื่อศึกษาถึงการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน Yakut และ Sahin [4] ทดลองถึงพฤติกรรมของไหลที่เกิดจากตัวสร้างการไหลหมุนวน โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพทางความร้อนและค่าความดันตกคร่อมจากการสันสะท้อน รูปแบบการไหลของของไหลผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนนี้จะถูกกำหนดให้เป็นการปรับตัวเต็มที่ในท่อ (fully develop) และมีการไหลทางเข้าและทางออกลักษณะแบบเป็นคาบ (periodic) ซึ่งถูกนำเสนอโดย Patankar และคณะ [5] ใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่เพิ่มตัวสร้างการไหลหมุนวนในลักษณะรูปร่างต่าง ๆ จากหลักการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

จากข้อมูลต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น การใช้ตัวสร้างการไหลหมุนวนรูปแบบวงแหวนและกรวยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดัดแปลงจากตัวสร้างการไหลหมุนวนแบบกรวยขึ้นมา โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงพีระมิดปลายตัดตรงขนานกับฐาน 3 รูปแบบ ได้แก่ พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม ตามลำดับ สอดใส่ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอากาศไหลผ่าน ใช้การคำนวณเชิงตัวเลขผ่านวิธีการใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) ที่มีความแม่นยำสูงในการปฏิบัติงานในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ ของไหลที่ไหลผ่านภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอากาศที่ไหลเข้าแบบปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ดีกว่าท่อเปล่า

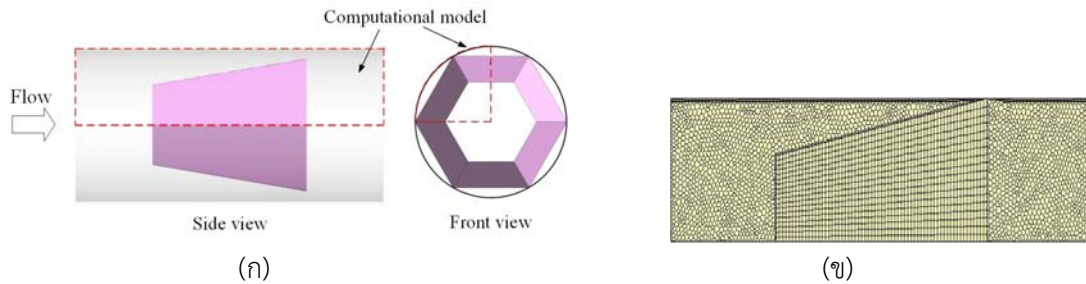
2. โครงสร้างการไหลและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลอง

ลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะเป็นการไหลของอากาศผ่านภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนรูปทรงพีระมิดปลายตัดตรงขนานกับฐานเข้ากับด้านในของผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งขนาดของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการจำลอง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D=50$ mm รูปทรงพีระมิดที่นำมาใช้เป็นตัวสร้างการไหลหมุนวนมี 3 รูปแบบ ได้แก่ พีระมิดฐานสี่เหลี่ยม ฐานหกเหลี่ยม และฐานแปดเหลี่ยม ตามลำดับ ซึ่งฐานและปลายตัดพีระมิดหลายเหลี่ยมอยู่ในวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d_i และ d_o



รูปที่ 1 โครงสร้างทางกายภาพของแบบจำลอง และขอบเขตการจำลองที่คิดการไหลแบบ periodic



รูปที่ 2 (ก) ขอบเขตแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ และ (ข) รูปแบบของกริดที่ใช้ในการคำนวณ

โดยตัวพรีมีตมีความยาว $l = 50$ mm ขนาดของหน้าตัดพรีมีตด้านนอก $d_o = 49.9$ mm หน้าตัดด้านเข้าที่เล็กกว่าหน้าตัดด้านออกกับกระแสการไหลของอากาศ อัตราส่วนของหน้าตัดพรีมีตด้านเข้าต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ $D_{Ri} = d_i/D = 0.6$ อัตราส่วนระยะห่างพรีมีตต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ หรืออัตราส่วนระยะพิทช์ (pitch ratio) คงที่ $P_R = P/D = 2$ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบคาบ (periodic) อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากพรีมีตที่ใช้มีลักษณะสมมาตร จึงพิจารณาแบบจำลองและกริดที่ใช้ในการคำนวณเพียง 1 ใน 4 ของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2 สมมติฐาน

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทรงกลมที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนฐานพรีมีตมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ โดยมีการไหลแบบปั่นป่วนและเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ กำหนดให้คุณสมบัติของของไหลคงที่ไม่คำนึงถึงแรงของวัตถุ รวมถึงการสูญเสียเนื่องจากความหนืดและการแผ่รังสีความร้อน อุณหภูมิที่ผิวท่อด้านในมีค่าคงที่ ไม่คำนึงถึงความหนาของท่อและความหนาของตัวสร้างการไหลหมุนวน รวมทั้งผลจากการนำความร้อนที่ตัวสร้างการไหลหมุนวน

2.3 สมการที่เกี่ยวข้อง

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลผ่านตัวสร้างการไหลหมุนวนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน โดยโมเดลแบบจำลองการไหลปั่นป่วนใช้แบบจำลอง k-ε แบบ Realizable สมการต่างๆ สามารถเขียนอยู่ในรูปเทนเซอร์ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

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

สมการพลังงาน:

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

เมื่อ Γ และ Γ_t คือ การแพร่ทางความร้อน และการแพร่ทางความร้อนแบบปั่นป่วนตามลำดับ

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad \text{และ} \quad \Gamma_t = \frac{\mu_t}{Pr_t} \quad (4)$$

สมการควบคุมทั้งหมดซึ่งได้แก่สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงานจะใช้แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก (QUICK) และทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม โดยการใช้แผนผังวิธีแบบ SIMPLE ในการปฏิบัติการ

ในการวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ส (Re) ตัวประกอบเสียดทาน (f) เลขนัสเซลท์ (Nu) และสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์ส สามารถนิยามได้โดย

$$Re = \frac{\bar{V} D}{\nu} \quad (5)$$

สำหรับตัวประกอบเสียดทาน สามารถคำนวณได้จากความดันตกคร่อม, (Δp) ตลอดของช่วงความยาว periodic ที่อากาศไหลผ่านตลอดแนวความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนี้

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{(\Delta P)}{\rho \bar{V}^2} \quad (6)$$

การถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณหาได้จากเลขนัสเซลท์ที่จุดใดๆ สามารถเขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (7)$$

และสมรรถนะเชิงความร้อน

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

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนผิวเรียบตามลำดับ

2.4 กริดอิสระ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ใช้ระบบการแบ่งกริดที่ไม่สม่ำเสมอ (non-uniform grid) โดยประกอบด้วยกริดทรงสี่เหลี่ยมและทรงกรวย ดังรูปที่ 3 (ข) การหาผลกระทบของจำนวนกริดที่มีผลต่อคำตอบนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์โดยใช้จำนวนกริดที่แตกต่างกันได้แก่ 67,859, 116,769 และ 249,588 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานระหว่างจำนวนกริด 116,769 และ 249,588 เท่ากับ 0.88% และ 0.45% ตามลำดับ ดังนั้นจึงใช้จำนวนกริด 116,769 ในการวิจัยครั้งนี้

2.5 เงื่อนไขขอบเขต

- พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation
- อุณหภูมิอากาศไหลเข้าที่ 300 K และมีค่าเลขพรานด์ เท่ากับ 0.7
- อากาศไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่
- รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน
- กำหนดให้คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า
- เงื่อนไขขอบเขตไม่มีการสิ้นไหลที่ผิวท่อ หรือความเร็วที่ผิวท่อมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผิวท่อที่อยู่กับที่
- ผิวของท่อกลมมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2
- ให้ตัวสร้างการไหลหมุนวนเป็นแผ่นบางและความร้อนไม่สามารถผ่านได้

3. ผลการจำลองและอภิปรายผล

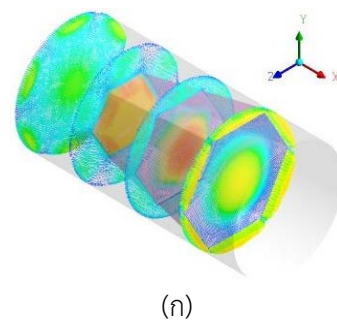
3.1 พฤติกรรมการไหล

ลักษณะของการไหลในท่อกลมที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนฐานพีระมิดที่อัตราส่วนความกว้างทางเข้าของพีระมิดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม $D_{Ri} = 0.6$ และมีอัตราส่วนระยะพิทช์ $P_R = 2$ วิเคราะห์การจำลองที่ค่า $Re = 3,000 - 20,000$ จากรูปที่ 3 (ก) แสดงถึงโครงสร้างการไหลแนวขวางของอากาศที่ไหลผ่านท่อ

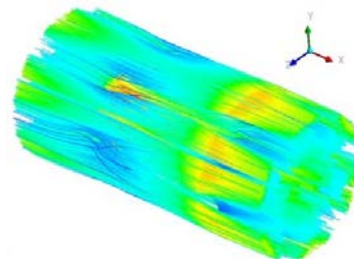
แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนรูปทรงพีระมิดฐานหกเหลี่ยมไว้ภายใน จากรูปที่ 3 (ข) พบว่าการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนส่งผลให้โครงสร้างการไหลตามแนวยาวของอากาศเกิดการปั่นป่วน และเกิดการหมุนวนของกระแส ส่งผลให้เกิดการกระแทกที่ผิวท่อและผนังของตัวสร้างการไหลหมุนวน ซึ่งการกระแทกที่ผนังของกระแสนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

3.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

จากการไหลของของไหลในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน การกระจายของอุณหภูมิที่หน้าตัดขวางต่างๆ ในท่อเปล่าและท่อที่ใส่พีระมิดมีลักษณะดังรูปที่ 4 (ก) และ (ข) เห็นได้ชัดว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะไหลอยู่บริเวณแนวแกนกลางท่อ ส่วนอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะไหลอยู่บริเวณใกล้ผิวท่อ กรณีติดตั้งพีระมิดจะมีชั้นชิดผิวของอุณหภูมิที่บางกว่าท่อเปล่า เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านพีระมิดช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนวนทำให้เกิดการผสมกันระหว่างอากาศเย็นกับอากาศร้อนที่ติดผนังท่อ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อ พบว่ากรณีใส่พีระมิดมีอุณหภูมิที่ผนังท่อต่ำกว่ากรณีท่อเปล่า เนื่องจากการไหลหมุนวนดูดอากาศร้อนบริเวณใกล้ผนังขึ้นมาผสมกับอากาศเย็นตรงกลางท่อ ทำให้ที่ผนังท่อบริเวณที่มีอุณหภูมิที่เย็นกว่ากรณีท่อเปล่าซึ่งมีอุณหภูมิที่ผนังสูง

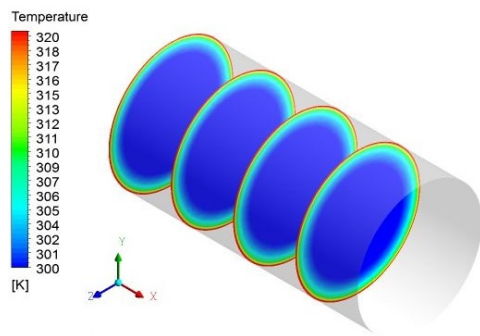


(ก)

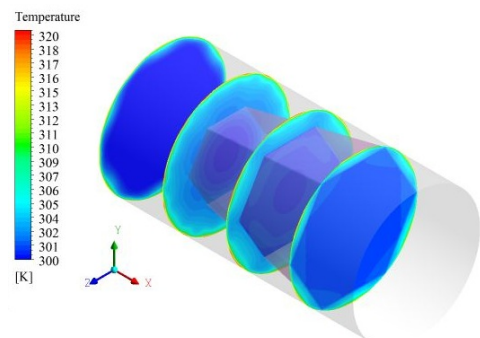


(ข)

รูปที่ 3 ลักษณะการไหล (ก) บนระนาบตัดขวาง และ (ข) ในแนวตามยาว กรณีติดตั้งพีระมิดฐานหกเหลี่ยม

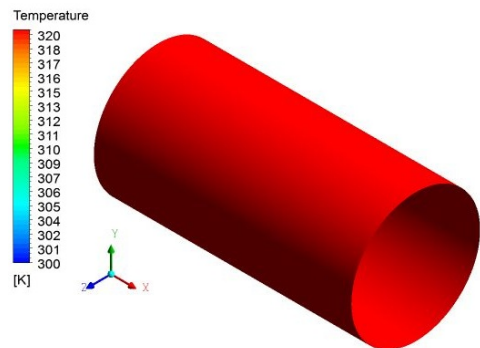


(ก)

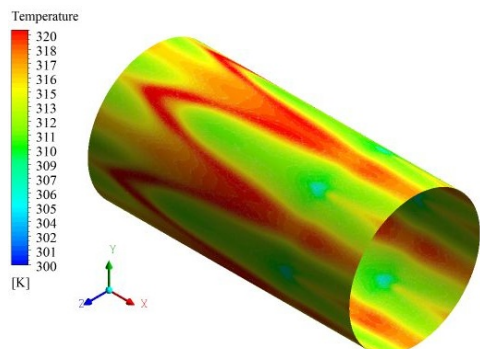


(ข)

รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิที่ระนาบตัดขวาง
(ก) ท่อเปล่า และ (ข) ท่อติดตั้งพินระนาบหกเหลี่ยม



(ก)



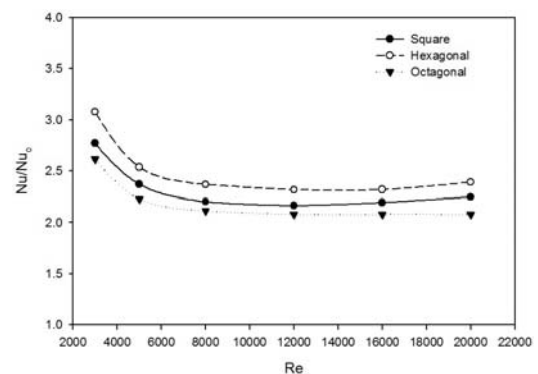
(ข)

รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อ (ก) ท่อเปล่า
และ (ข) ท่อติดตั้งพินระนาบหกเหลี่ยม

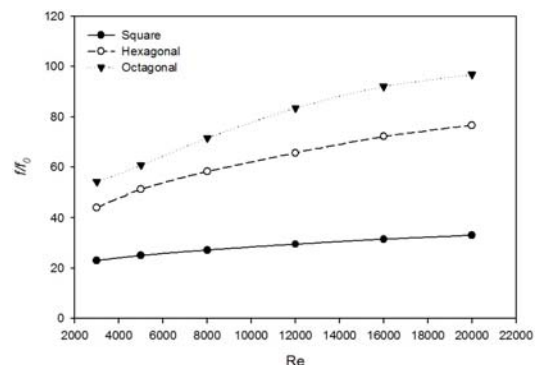
รูปที่ 6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน
เลขนัสเซลต์ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้าง
การไหลหมุนวนพีระมิดต่อท่อแลกเปลี่ยนความร้อนผิว
เรียบกับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น
จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต์ลดลง สำหรับตัว
สร้างการไหลหมุนวนแบบพีระมิดฐานหกเหลี่ยมให้ค่า
อัตราส่วนเลขนัสเซลต์ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.08 เท่า
เมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ $Re = 3,000$

3.3 การสูญเสียความดัน

ค่าความสูญเสียความดันหรือค่าความดันตกคร่อมนั้น
ได้แสดงให้เห็นในรูปของอัตราส่วนของค่าตัวประกอบ
เสียดทานกรณีท่อติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนพีระมิด
ต่อค่าตัวประกอบเสียดทานท่อเปล่าระหว่างค่า Re ที่
3,000 - 20,000 ดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วน
ของตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อตัวสร้างการ
ไหลหมุนวนพีระมิดมีจำนวนเหลี่ยมฐานมากขึ้น โดย
พินฐานแปดเหลี่ยมให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียด
ทานมากที่สุดที่ $Re = 20,000$ โดยมีค่าเท่ากับ 96.8 เท่า
เมื่อเทียบกับท่อเปล่า



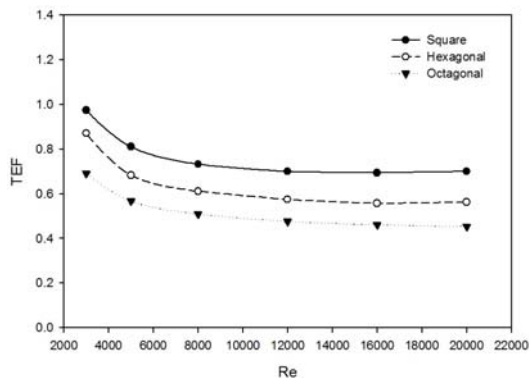
รูปที่ 6 การแปรเปลี่ยน Nu/Nu_0 กับ Re สำหรับ
พินฐานแบบต่างๆ



รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยน f/f_0 กับ Re สำหรับพินฐาน
แบบต่างๆ

3.4 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนฐานพีระมิดรูปทรงต่างๆ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มสูงขึ้นจะมีแนวโน้มต่อการลดลงของค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่พิจารณา โดยตัวสร้างการไหลหมุนวนแบบฐานสี่เหลี่ยมให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดที่ 0.97 ที่ $Re = 3,000$ ดังรูปที่ 8

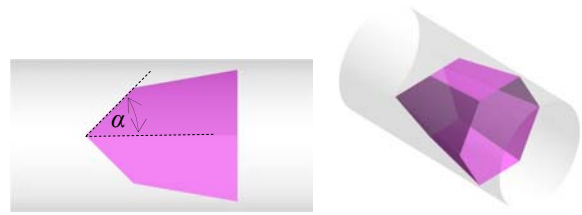


รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยน TEF กับ Re สำหรับพีระมิดฐานแบบต่างๆ

จากผลการจำลองที่ได้ยังให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดี เนื่องจากเกิดค่าความดันตกคร่อมที่สูงขึ้นมากเมื่อติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนเข้าไป ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้จึงน้อย ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงรูปแบบตัวสร้างการไหลหมุนวนนี้ให้เกิดความดันตกคร่อมที่ลดลง โดยเลือกใช้ตัวสร้างการไหลหมุนวนแบบพีระมิดฐานหกเหลี่ยมที่มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์มากที่สุดมาปรับปรุงโครงสร้างให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลง เพื่อคาดหวังให้ได้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นกว่าเดิม รายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.5 ต่อไป

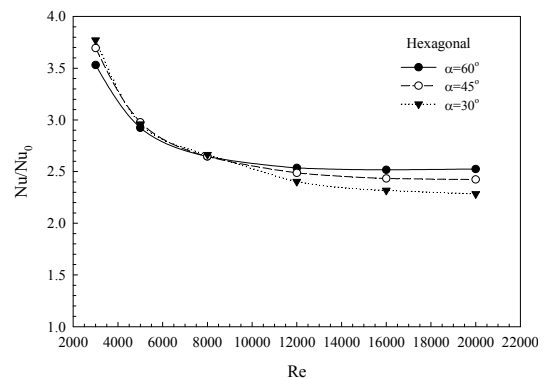
3.5 การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวสร้างการไหลหมุนวน

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนนี้จะทำการตัดปลายของพีระมิดฐานหกเหลี่ยมทำมุมกับแนวทิศทางการไหล ดังรูปที่ 9 โดยตัดทำมุม $\alpha = 30^\circ$, 45° และ 60° ตามลำดับ เพื่อหามุมตัดที่ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้



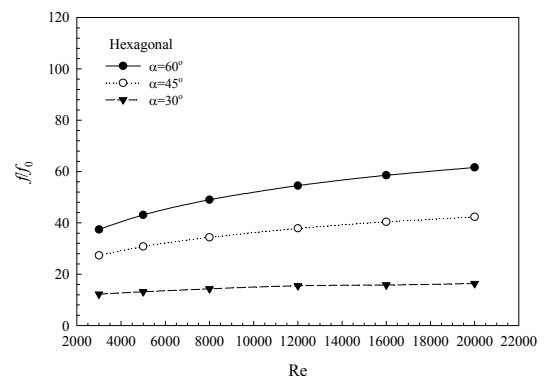
รูปที่ 9 พีระมิดฐานหกเหลี่ยมตัดปลาย

3.5.1 การถ่ายเทความร้อนที่ได้มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่ได้ตัด โดยการตัดที่มุม $\alpha = 30^\circ$ ที่ $Re = 3,000$ ให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 3.77 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ดังรูปที่ 10

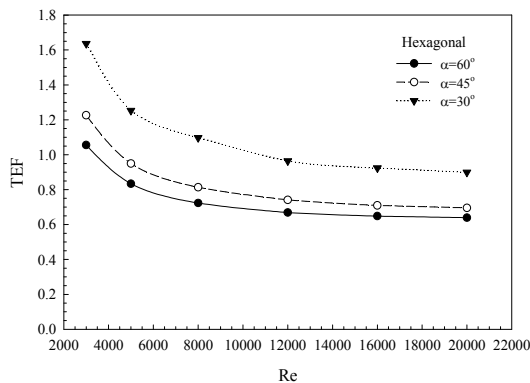


รูปที่ 10 การแปรเปลี่ยน Nu/Nu_0 กับ Re สำหรับพีระมิดฐานหกเหลี่ยมที่มุมตัดต่างกัน

3.5.2 อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่ได้ตัด ซึ่งการตัดที่ $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 12.24-16.37 เท่าเทียบกับท่อเปล่า ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การแปรเปลี่ยน f/f_0 กับ Re สำหรับพีระมิดฐานหกเหลี่ยมที่มุมตัดต่างกัน



รูปที่ 12 การแปรเปลี่ยน TEF กับ Re สำหรับพรีมิตฐานหกเหลี่ยมที่มีมุมตัดต่างกัน

3.5.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับแบบที่ไม่ได้ตัด โดยการตัดที่ $\alpha=30^\circ$ ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.64-0.9 เท่าเทียบกับท่อเปล่า ดังรูปที่ 12 และมีแนวโน้มว่าหากยิ่งตัดให้มุมเหลือน้อยลงกว่าเดิม อาจจะเพิ่มสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้นกว่าเดิมได้อีก

4. สรุปผลการจำลอง

4.1 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของรูปทรงพรีมิต

จากผลการจำลองเชิงตัวเลข เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมกรไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนทรงพรีมิตหน้าตัดเสมือนรูปทรงสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม และแปดเหลี่ยม ที่ $Re=3,000 - 20,000$ พบว่าตัวสร้างการไหลหมุนวนพรีมิตจะช่วยให้เกิดการไหลหมุนวนของของไหล ซึ่งช่วยกระจายของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณผิวท่อมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อเพิ่มมากขึ้น โดยแบบพรีมิตฐานหกเหลี่ยมให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ 3.08 เท่าของท่อเปล่าที่ $Re=3,000$ และมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำสุดที่ 1.63 เท่าในกรณีติดตั้งพรีมิตแบบฐานสี่เหลี่ยมที่ $Re=20,000$ และจากการที่เกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลหมุนวนที่เพิ่มขึ้นมานั้น ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตามมาด้วย โดยที่แบบพรีมิตฐานแปดเหลี่ยมให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุดที่ $Re=20,000$ โดยมีค่าเท่ากับ 98.79 เท่าของท่อเปล่า และมีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดที่ 8.6 เท่าของท่อเปล่า กรณีใช้พรีมิตฐานสี่เหลี่ยมที่ $Re=3,000$ และพบว่า

พรีมิตฐานสี่เหลี่ยมให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดที่ 1.01 ที่ค่า $Re=3,000$

4.2 เมื่อปรับปรุงตัดทำมุมต่างๆ

ผลจากการจำลองเชิงตัวเลข เมื่อนำตัวสร้างการไหลหมุนวนพรีมิตฐานหกเหลี่ยมซึ่งให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ ไปตัดมุมที่ทางเข้า เพื่อเพิ่มค่าสมรรถนะเชิงความร้อนให้ดียิ่งขึ้น โดยการถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อกับค่าสูงสุดที่ 3.77 เท่าของท่อเปล่าที่ $Re=3,000$, $\alpha=30^\circ$ ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุดที่ 61.62 เท่าของท่อเปล่าที่ $Re=20,000$, $\alpha=60^\circ$ และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงสุด 1.64 เท่าของท่อเปล่าที่ $Re=3,000$, $\alpha=30^\circ$ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการตัดมุมของตัวประกอบเสียดทานให้ผลที่ดีกว่าแบบไม่ตัดมุม และมุมตัดที่ $\alpha=30^\circ$ ให้สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kongkaitpaiboon, V., Nanan, K. and Eiamsaard, S. (2010). Experimental investigation of convective heat transfer and pressure loss in a round tube fitted with circular-ring turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37(5), May 2010, pp. 568 – 574.
- [2] Promvong, P. (2007). Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts, *Energy Conversion and Management*, vol. 49(1), January 2008, pp. 8 – 15.
- [3] Durmus, A. (2004). Heat transfer and exergy loss in cut out conical turbulators, *Energy Convers*, vol. 45(5), March 2004, pp. 785 – 796.
- [4] Yakut, K. and Sahin, B. (2004). Flow-induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers, *Applied Energy*, vol. 78(3), July 2004, pp. 273 – 288.
- [5] Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M. (1977). Fully Developed Flow and Heat Transfer in Ducts Having Streamwise-Periodic Variations of Cross-Sectional Area, *Journal of Heat Transfer*, vol. 99(2), May 1977, pp. 180 – 186.