CST-54

การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย Conical rings

Numerical simulation of turbulent heat transfer in a round tube with conical-rings inserts

ประกายดาว เงินวัน, วิฑาดา เจษฎารัตนชัย* และ พงษ์เจต พรหมวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*ติดต่อ: kjwithad@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิด conical ring ถูกใช้ เพื่อสร้างการไหลหมุนวนในท่อ ส่งผลให้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากขึ้น งานวิจัยนี้นำเสนออิทธิพลของ conical ring ที่ติดตั้งในท่อกลมทั้งในส่วนของการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทาน ทำการศึกษาด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขสามมิติ สำหรับ conical ring ที่มีค่าอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนการขวางการไหล ($Dr = D_i/D$) เท่ากับ 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7) ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตท์คงที่ (PR = 2) ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 3000 ถึง 20000 ในท่อที่มีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ผลจากการศึกษาเสนอในรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัซเซิลและค่าตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับ ผลจากการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่า conical ring ที่ติดตั้งในท่อกลม ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่อัตราส่วนการขวางการไหล ($Dr = D_i/D$) เท่ากับ 0.7 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ conical ring ไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนแต่ยังส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน, แหวนรูปกรวย, ค่าเลขเรย์โนลด์, ฟลักซ์ความร้อน

Abstract

The conical rings are used as turbulators for produce the vortex flows lead to the heat transfer augmentation. The effects of the conical ring inserted in the round tube on the heat transfer rate and pressure loss are major studied in this present. The conical rings with different diameter ratios, ($Dr = D_i/D$ = 0.3, 0.5, 0.6 and 0.7) for a single pitch ratio, (PR = 2) are investigated numerically in three dimensional. The computation is carried out by varying the airflow rate for Reynolds number ranging from 3000-20000 in the tested section with a constant surface heat flux. The effects of conical ring on heat transfer and pressure drop are shown in terms of Nusselt number and friction factor, respectively, and the results obtained are compared with smooth round tube with no conical-ring. The numerical results show that the conical-rings inserted in the round tube lead to higher heat transfer rate than that of the smooth tube, especially the conical rings with diameter ratio of 0.7 give the highest heat transfer rate. However, the

uses of the conical ring not effects only increase heat transfer rate, but also increase every enlarge pressure loss.

Keywords: conical rings, heat flux, heat transfer, Reynolds number

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านความร้อน การมีระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีจะส่งผลอย่างมากต่อ การประหยัดพลังงาน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการสร้างความปั่นป่วนให้กับการไหล ของของไหลที่จะไปช่วยในการลดชั้นชิดผิวซึ่ง เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้ผลดีในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน

ในทางอุตสาหกรรมการถ่ายเทความร้อนโดยการสร้างความปั่นป่วนให้แก่การไหล ต้องมีต้นทุนเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นผลเสียเมื่อผลที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนที่เสียไปจึงมีผู้นำเสนอหลักการของการไหลที่มีการปรับตัวเต็มที่ในท่อ (Fully develop) และมีการไหลแบบเป็นคาบ (Periodic) ที่ทำการศึกษาโดย Patankar และคณะ [1] ได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการเพิ่มตัวสร้างการไหลปั่นป่วนในลักษณะต่าง ๆ โดยการใช้วิธีการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Muthusamy และคณะ [2] ซึ่งศึกษาผลของอุปกรณ์สร้างความ ปั่นป่วน รูปกรวยต่อการถ่ายเทความร้อนและปัจจัยความเสียดทาน จากผลการ ศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสอดตัวสร้างความปั่นป่วนรูปกรวยภายในท่อกลมช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น Yakut และคณะ [3] ยังได้ศึกษาผลกระทบของตัวสร้างความปั่นป่วนต่อการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วน, ความดันตกคร่อมและการไหลที่เกิดจากการสั่นสะเทือน Anvari และคณะ [4] ได้ทำการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนของน้ำในท่อกับแหวนรูปกรวยแทรกภายใน พบว่าตัวสร้างความปั่นป่วนรูปกรวยยังมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนอีกด้วยโดย การจัดวางแบบ DR มีค่าNusselt Number เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 141% ถึง 355% ขึ้นอยู่กับค่า Reynolds number ในทางกลับกันสำหรับการจัดวางแบบ DR ให้ค่า Nusselt Number เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 171% ถึง 521% ขึ้นอยู่กับค่า Reynolds number Promvonge [5] ได้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมกับการแทรกแหวนรูปกรวย จากการทดลองพบว่าแหวนรูปกรวยมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและปัจจัยแรงเสียดทาน การจัดวางแหวนรูปกรวยส่งผลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น โดยเฉพาะการจัดวางแบบ CR, DR และ CDR ทำให้ค่า Nusselt เพิ่มขึ้นถึง 197%, 333% และ 237% ตามลำดับ Eiamsa-ard และคณะ [6] ได้ศึกษาเชิงการทดลองของการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานการไหลในท่อที่มีการติดตั้งกรวยพรุน โดยศึกษาที่อัตราส่วนระยะพิตท์ (PR = 4, 6 และ 12) และจำนวนรูพรุนที่ต่างกันที่ (N = 4, 6 และ 8 รู) ทำการศึกษาที่ ค่าเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 4000-20000 โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ พบว่าการสอดใส่ Conical ring มีผลช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น และ จำนวนรูพรุนของกรวยก็ส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อด้วยเช่นกัน โดยการสอดใส่กรวยพรุนเข้าไปภายในท่อ สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 137 % เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ไม่มีการสอดใส่ครีบ และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 0.92 ที่ PR = 4 และ PR = 8 ที่ค่าเรโนลด์เท่ากับ 4000

จาการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การสอดใส่ Conical ring เข้าไปภายในท่อกลมมีผลในการสร้างความปั่นป่วนให้แก่การไหล ทำให้ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ไม่มีการสอดใส่ครีบรูปกรวยเข้าไปภายใน

CST-54

รายการสัญลักษณ์

D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ของท่อกลม
D_r	*อัตราส่วนการขวางการไหล* (D_i/D)
D_0	เส้นผ่านศูนย์กลางรูปกรวยทางออก
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางรูปกรวยทางเข้า
L	ความยาวของกรวย, *mm*
PR	อัตราส่วนระยะพิตท์, *mm*
f	ตัวประกอบเสียดทาน
Nu	เลขนัสเซิลท์
k	ค่าการนำความร้อน, *W/m-K*
ρ	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3
μ	ความหนืดแบบไดนามิก , Ns/m^2
m	อัตราการไหลของมวล, *kg/s*
Q	อัตราการถ่ายโอนความร้อน, *W*
Re	เลขเรย์โนลดส์
T	อุณหภูมิ, *K*
V	อัตราการไหล, m^3/s
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
ΔP	ความดันตกคร่อม, *Pa*

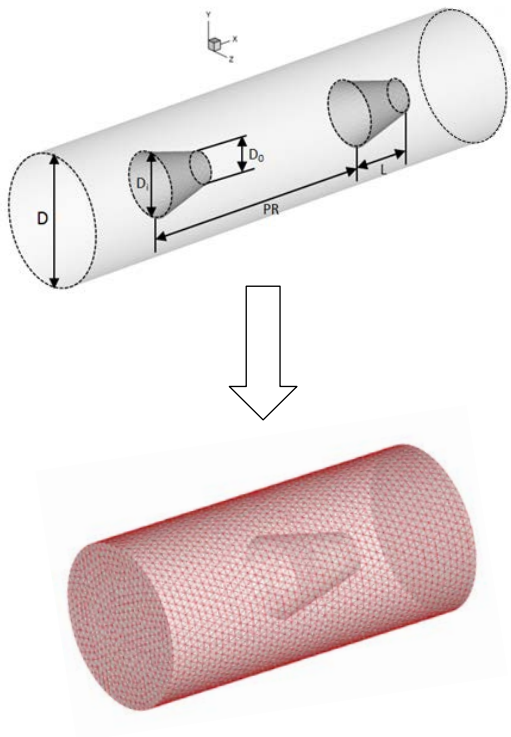
ตัวห้อย

i	ทางเข้า
0	ทางออก
a	อากาศ
b	กลุ่ม
p	ท่อผิวเรียบ
t	อุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน
w	ผนัง

2. โครงสร้างการไหลและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ระบบท่อกลมที่มีการสอดใส่แหวนรูปกรวย conical ring

ระบบที่ได้ทำการศึกษาเป็นการศึกษาท่อกลมที่มีการสอดใส่แหวนรูปกรวย conical ring โดยอัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูปกรวยที่ทางออก D_o = 0.15, 0.25, 0.3 และ 0.35 ตามลำดับ ที่ อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลแบบ periodic โดยมีการจัดวางแหวนรูปกรวย conical ring แบบตามกระแสการไหล



รูปที่ 1 ท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย Conical rings แบบการจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหลและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic

2.2. สมมติฐานและสมการในการคำนวณ

จากการวิจัยได้ศึกษาโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume method) ด้วยแบบจำลองการไหล 3 มิติ ที่มีการไหลแบบปั่นป่วน เป็นการไหลแบบคงตัวและไม่สามารถ อัดตัว ได้ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3000 ถึง 20000 โดยใช้ อากาศเป็นของไหลทดสอบ ไม่คำนึงแรงวัตถุและการสูญสลายเนื่องจากความหนืด ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน RNG k-ε พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน โดยทำการศึกษาการไหลในท่อกลม ที่มีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังท่อ โดยสอดใส่รูปกรวย conical ring ที่

อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 ลักษณะการติดตั้งเหมือนดังรูปที่ 1 สำหรับการไหลในท่อกลม

สำหรับการไหลในท่อกลมสมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการ โมเมนตัม และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

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

สมการพลังงาน:

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

เมื่อ Γ คือ การแพร่ทางความร้อน กำหนดโดย

$$\Gamma = \frac{\mu}{\Pr} \tag{4}$$

สมการควบคุมทั้งหมดจะทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องโดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi–implicit method for pressure–linked equations) ในการลู่เข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซิลท์ และ สมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์นิยามโดย

$$\mathrm{Re} = UD/\nu \tag{5}$$

ค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปของตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, ΔP ตลอดช่วงความยาว periodic ของท่อกลม, L และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม D

$$f = \frac{2}{(L/D)}\frac{\Delta P}{\rho U^2} \tag{6}$$

การถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปของค่าเลขนัสเซิลที่จุดใด ๆ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \tag{7}$$

ค่าเลขนัสเซิลเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A}\int Nu_x \partial A \tag{8}$$

สมรรถนะเชิงความร้อน,*TEF*

$$TEF = (Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3} \tag{9}$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซิลและตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ ตามลำดับ

2.3. เงื่อนไขขอบเขตของการศึกษา

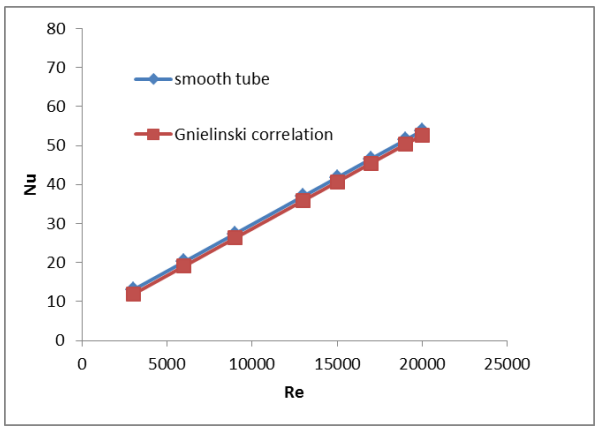
ขอบเขตของการศึกษาได้ทำการพิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation สมมติอากาศที่ 300 K และมีค่าเลขพรานด์ 0.7 ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกันสมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า เงื่อนไขขอบเขตไม่มีการลื่นไถลที่ผนัง (no-slip conditions) หรือความเร็วที่ผนังมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) กำหนดให้ที่ผนังของท่อกลมมีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ 600 W/m^2 ให้

แหวนรูปกรวย conical ring เป็นแบบความร้อนไม่สามารถผ่านได้

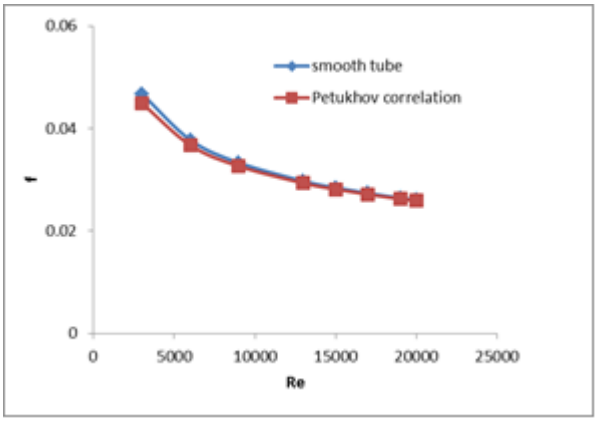
3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1. การพิสูจน์ความถูกต้องของท่อกลมผิวเรียบ

การพิสูจน์ความถูกต้องของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อกลมผิวเรียบที่ไม่มีการเพิ่มการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ โดยพบว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นตรง อยู่ไม่เกิน 5% ทั้งในส่วนของค่าเลขนัสเซิลและค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นตรง เป็นอย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้ดังรูปที่ 2



(a)

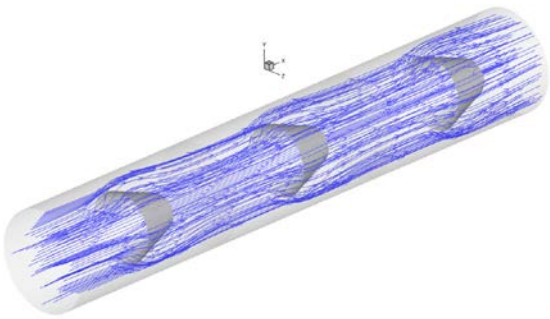


(b)

รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของ (a) เลขนัสเซิลท์ (b) ตัวประกอบเสียดทานของท่อกลมผิวเรียบ

3.2. พฤติกรรมการไหล

โครงสร้างของการไหลในท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย conical rings ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 และวิเคราะห์ที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000 และความยาวของรูปกรวย conical rings L = 0.5 มิลลิเมตร จากรูปที่ 3 แสดงโครงสร้างการไหลของอากาศภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหล พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นผลต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3 กระแสการไหลของของไหลภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหลที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.7, D_0 = 0.35 และ Re = 15000

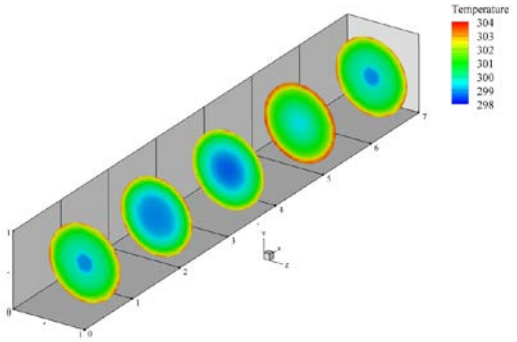
3.3. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

จากการไหลในท่อที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวยซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าการกระจายอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลมีลักษณะปั่นป่วนของกระแสการไหลทำให้เกิดการกระจายของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณใกล้กับผนังท่อซึ่งผนังท่อมีอุณหภูมิที่สูงกว่า

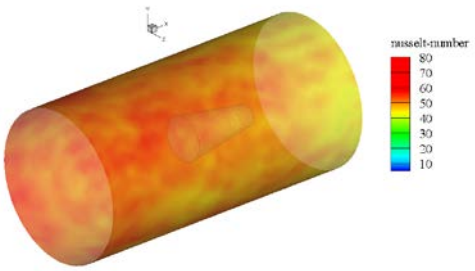
CST-54

ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้กับผนังท่อและอุณหภูมิของท่อมีความแตกต่างกันมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่า

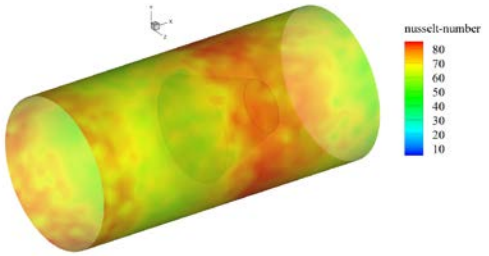
สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลสำหรับกรณีการติดตั้งแหวนรูปกรวยที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3 และ 0.7 ที่ Re = 3000 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่าจะให้ค่าเลขนัสเซิลสูงที่บริเวณผนังท่อด้านใน



รูปที่ 4 การกระจายของอุณหภูมิของท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.5 , D_0 = 0.25 และ Re = 9000

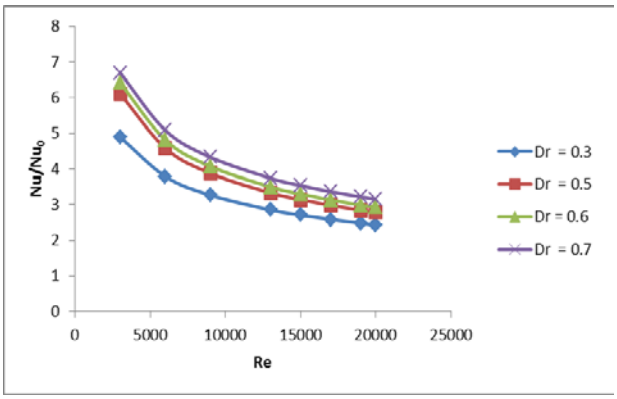


รูปที่ 5 การกระจายเลขนัสเซิลที่บริเวณผนังท่อ กลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3 , D_0 = 0.15 และ Re = 3000



รูปที่ 6 การกระจายเลขนัสเซิลที่บริเวณผนังท่อ กลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.7, D_0 = 0.35 และ Re = 3000

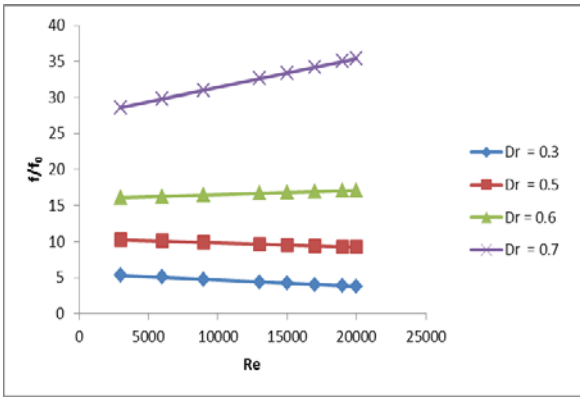
รูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลกับเลขเรย์โนลด์ของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหลที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 โดยที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000 และความยาวของรูปกรวย conical rings L = 0.5 มิลลิเมตร จากการศึกษาผลที่ได้พบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้นค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลจะมีค่าลดลง แต่ค่า Dr เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เลขนัสเซิล มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จากกราฟพบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลของ Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 ที่พิจารณาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3000 ถึง 20000 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลอยู่ในช่วง 2.4 - 6.7 โดยที่ Dr = 0.7 , D_0 = 0.35 และ Re = 3000 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิล สูงที่สุดที่ 6.7 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบไม่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ภายใน



รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลกับเลขเรย์โนลด์ของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 โดยที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000

3.4 การสูญเสียความดัน

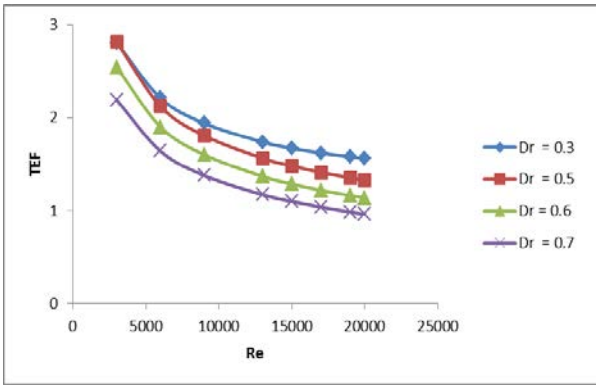
สำหรับค่าความดันสูญเสียหรือค่าความดันตกคร่อมแสดงไว้ในรูปของอัตราส่วนของค่าความดันตกคร่อม พบว่าที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.6 และ 0.7 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าเรย์โนลด์แต่ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3 และ 0.5 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่า ลดลงเมื่อค่าเรย์โนลด์ จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นการแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหลที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 โดยที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000 ให้ค่าค่าตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 4 - 35.4 โดยที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.7 , D_0 = 0.35 และ Re = 20000 ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุดที่ 35.4 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบไม่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ภายใน



รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 โดยที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000

3.5 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring โดยจัดวางแหวนรูปกรวยตามกระแสการไหลที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 โดยที่ค่า Re = 3000 ถึง 20000 พบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของแต่ละ Dr อยู่ในช่วง 0.9 - 2.81 เมื่อพิจารณาจากกราฟที่ได้พบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.5 และ Re = 3000 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดที่ 2.81 เท่า



รูปที่ 9 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของของ ท่อกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวย conical ring ที่อัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 และค่า Re = 3000 ถึง 20000

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อทรงกลมที่มีการติดตั้งแหวนรูปกรวยโดยอัตราส่วนการขวางการไหล Dr = 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 ที่ D_0 = 0.15, 0.25, 0.3 และ

0.35 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนระยะพิตท์ PR = 2 พบว่าเมื่อเพิ่มแหวนรูปกรวยในท่อกลมจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำการไหลและเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อ ซึ่งทำให้เกิดการกระจายอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณใกล้กับผนังท่อส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.81 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ Dr = 0.7, D_0 = 0.35 และ Re = 3000 การปั่นป่วนที่เกิดขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยค่า Dr = 0.7, D_0 = 0.35 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดที่ Re = 20000 โดยมีค่าเท่ากับ 35.4 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า และด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่เหมาะสมแล้ว ส่งผลให้ Dr = 0.5 มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 2.81 เท่าที่ค่า Re = 3000 เมื่อเปรียบเทียบกับท่าเปล่าผิวเรียบ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Patankar, S.V.,Liu, C.H. and Sparrow, E.M., Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise–periodic variations of cross-sectional area, ASME J. HeatTransfer, (1977) 180–186.

[2] Muthusamy, C., Vivar, M., Skryabin, I. and Srithar, K., Effect of conical cut-out turbulators with internal fins in a circular tube on heat transfer and friction factor, International Communications in Heat and Mass Transfer 44 (2013) 64–68.

[3] Yakut, K., Sahin, B., and Canbazoglu, S., Flow induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers, Applied Energy 78 (2004) 273–288.

[4] Anvari, A.R., Lotfi, R., Rashidi, A.M., and Sattari, S., Experimental research on heat transfer of water in tubes with conical ring inserts in transient regime, International Communications in Heat and Mass Transfer 38 (2011) 668–671.

[5] Promvonge, P., Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts, Energy Conversion and Management 49 (2008) 8–15

[6] Eiamsa-ard, S., Experimental investigation of heat trandfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-ring 37 (2010) 560 - 567