

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมโค้งด้วยตัวสร้างกระแสวน Enhancement of Heat transfer in Circular path channel using Vortex generator

กฤษณะ ภัลยวรรณ์ และ อุดมเกียรติ นนทแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

อีเมลล์ noom84@gmail.com, unk@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ในอุปกรณ์อุตสาหกรรม ที่มีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วการไหล และขนาดพื้นที่มักใช้วิธีการสร้างกระแสไหลวนขึ้นในช่องทางไหลกระแสไหลวนจะทำให้เกิดผลอย่างน้อยสองอย่าง คือ หนึ่งการเพิ่มอัตราการแพร่พลังงานเนื่องจากการกระเพื่อมของความเร็วในโซนประสมประสานของเวคและ สองการลดลงของความดันสูญเสียเนื่องจากความหนาชั้นขีตผิวลดลง งานวิจัยนี้ใช้การจำลองเชิงตัวเลขด้วย โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS-FLUENT V.14 โดยมีวัตถุประสงค์ในการหารูปทรง และจำนวนตัวสร้างกระแสไหลวนที่เหมาะสมกับช่องทางไหลที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมโค้ง ของแผ่นถ่ายเทความร้อน ของไหลตัวกลางเป็นไอน้ำความดัน 10 บาร์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เลือกตัวสร้างกระแสไหลวนทรงกระบอกภาคตัดจตุรัสและภาคตัดกลมเป็นกรณีศึกษา ใช้ตัวเลขนัสเซลและปริมาณการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวบ่งชี้สมรรถนะ กระทำการจำลอง 5 กรณี ประกอบด้วย ช่องทางไหลที่ไม่มีตัวสร้างกระแสไหลวนมีตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดกลมที่จัดวางห่างกันด้วยระยะ $dh/L=77.2, 144.7$ และ ตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัสที่มีระยะ $dh/L=77.2, 144.7$ ตามลำดับ ผลการจำลองการไหลแสดงให้เห็นว่าตัวสร้างกระแสไหลวนทรงกระบอกภาคตัดจตุรัสที่จัดวางห่างกันด้วยระยะ $dh/L=144.7$ ให้สมรรถนะดีกว่าทั้งในแง่การถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย อันเนื่องมาจากเวคที่เกิดด้านหลังตัวสร้างกระแสไหลวนครอบคลุมบริเวณกว้างใหญ่กว่าซึ่งส่งผลให้การไหลเกิดการกระเพื่อมความเร็วรุนแรงกว่า

คำสำคัญ: ตัวสร้างกระแสไหลวน, เวค, ตัวเลขนัสเซล, การกระเพื่อมความเร็ว, การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

Abstract

The heat transfer enhancement in industrial equipment that is limited in speed of flow and space are often used to generate eddy currents in the channel flow. Eddy currents will serve at least two purposes, one to increase the energy diffuse due to the velocity fluctuation of stream in the mixing zone of the wake. And second, the reduction of pressure loss due to boundary layer thickness decreases. This research used numerical simulation commercial software ANSYS-FLUENT V.14. The objective is to find

the shape and number of the vortex generator appropriate with circular path channel of plate heat exchanger. Working fluid is a steam pressure 10 bar, temperature is 200 degrees Celsius. Select circular and square cross sectional cylinder shape vortex generators into a case study. Use nusselt number and the amount of heat transfer as an indicator of performance. Simulation consists of five-case channel flow, channel flow without vortex generator with circular cross sectional place apart with distance $dh/L=77.2, 144.7$ and with square cross sectional place apart with distance $dh/L=77.2, 144.7$ respectively. The simulation result show that the square cross sectional cylinder vortex generators place apart with distance $dh/L=144.7$ is better performance in terms of heat transfer and pressure loss. Due to the wake behind vortex generator coverage a wide area, this results in the velocity fluctuation.

Keywords: Vortex generator, Wake, Nusselt number, Velocity fluctuation, Heat transfer enhancement

1. คำนำ

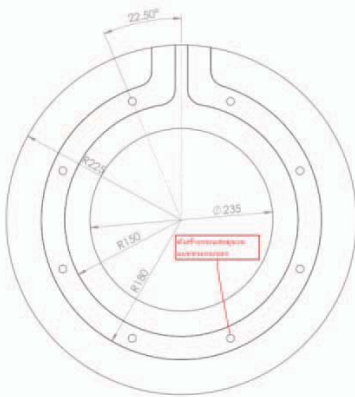
ปัจจุบันประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์ยางมากเป็นอันดับหนึ่งในสามของโลก หนึ่งในผลิตภัณฑ์ยางที่สำคัญก็คือ ยานพาหนะหรือยางล้อ ในการผลิตยางล้อกระบวนการที่สำคัญก็คือ กระบวนการขึ้นรูปยาง ซึ่งหัวใจหลักของการขึ้นรูปล้อก็คือระบบความร้อนและความแข็งแรงของตัวล้อหุ้มเบ้าพิมพ์ โดยจะเป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตและคุณภาพของล้อยางที่ได้ออกมามีคุณภาพเพียงใด จากการวิเคราะห์ระบบพบว่าการไหลภายในเสื้อหุ้มเบ้าพิมพ์มีการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีนัก การที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะทำให้การไหลภายในเป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยการใส่อุปกรณ์สร้างกระแสไหลวนเข้าไปยังช่องทางการไหล Hag และคณะ [1] ได้ศึกษาถึงการระบายความร้อนแบบบังคับภายใต้สภาวะคงที่ของชุดระบายความร้อนที่มีลักษณะแบบทรงกระบอก S.F. Tsai และคณะ [2] ได้ศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวเคลือบแบบคลื่นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน Li และคณะ [3] ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านครีปที่มีลักษณะโปรไฟล์เป็นวงรี G.Jilanni และคณะ [4] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบร่วมระหว่างการพาความร้อนแบบบังคับกับการนำความร้อนในแท่งทรงกระบอก CilaHermanและEricKang [5]

ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนในช่องด้วยใบพัดโค้ง Pongjet Promvong และคณะ [6] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในช่องสามเหลี่ยมโดยใช้ตัวสร้างกระแสนวนตามแนวยาว กิตติศักดิ์ คูวัญญู และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ [7] ได้ศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในใบพัดกังหันก๊าซที่มีเทอร์บิเลเตอร์ติดตั้ง

ในการทํารายในครั้งนีจึงได้ศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านกลุ่มครีบริบที่มีลักษณะโปรไฟล์แบบทรงกระบอกยัดติดภาคตัดกลมและจตุรัสที่เรียงตัวตามแนวศูนย์กลางของท่อที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมภายใต้สภาวะพลศาสตร์ความร้อนที่

2. ลักษณะของปัญหา

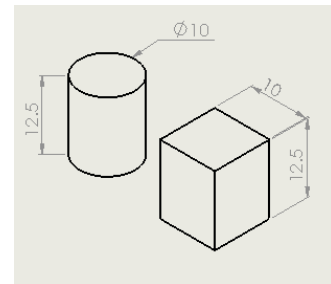
สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องทางไหลที่มีอุปกรณ์สร้างกระแสนวนติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อของไหลไหลผ่านตัวสร้างกระแสนวนความเร็วที่ผิวจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วของกระแสนวนจึงทำให้เกิดกระแสนวนที่ด้านหลังซึ่งบริเวณนี้เรียกว่าเวคโซนดังแสดงในรูปที่ 2 กำหนดให้อุปกรณ์สร้างกระแสนวน มี 2 แบบคือตัวสร้างกระแสนวนภาคตัดจตุรัสและภาคตัดกลมขนาด 10mm ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยแต่ละแบบจะมีการจัดวางจำนวนแบ่งเป็น 8 และ 14 แท่ง วางบนผนังด้านล่างของช่องทางไหลซึ่งมีความสูงเท่ากับ 12.5 mm โดยวางสิ่งกีดขวางอันแรกเป็นมุม 22.5 องศาถัดมาตั้งโดยที่ผนังด้านบนถูกกำหนดให้มีพลศาสตร์ความร้อนคงที่ (q'') เท่ากับ 1000 W/m^2 ออกจากผนัง



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์สร้างกระแสนวน



รูปที่ 2 เวคโซน



รูปที่ 3 รูปแบบอุปกรณ์สร้างกระแสนวน

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านกลุ่มครีบริบนั้นสามารถอธิบายโดยใช้สมการสมดุลมวล สมการโมเมนตัม สมการพลังงานและแบบจำลองความปั่นป่วน ซึ่งในงานศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ นำมาใช้วิเคราะห์สำหรับปัญหา ดังแสดงต่อไปนี้

สมการต่อเนื่อง:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม:

$$\rho \frac{D\mathbf{V}}{Dt} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = -\nabla P + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

สมการพลังงาน:

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \text{div} \mathbf{U} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \phi + S_i \quad (3)$$

สมการ Turbulent kinetic energy (k):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \mathbf{U}) = \text{div} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \text{ grad } k \right) \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \epsilon \quad (4)$$

สมการ Turbulent kinetic energy dissipation (ϵ):

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \epsilon \mathbf{U}) = \text{div} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \text{ grad } \epsilon \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

โดย $C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\epsilon=1.3$

สมการขอบเขต:

$$u = 0, v = 0, w = 0, q = q_{\text{wall}}$$

สมการเงื่อนไขเริ่มต้น:

$$u = u_{\text{in}}, v = 0, w = 0, T = T_{\text{in}}, k = k_{\text{in}}, \epsilon = \epsilon_{\text{in}}$$

3.1 การคำนวณเชิงตัวเลข

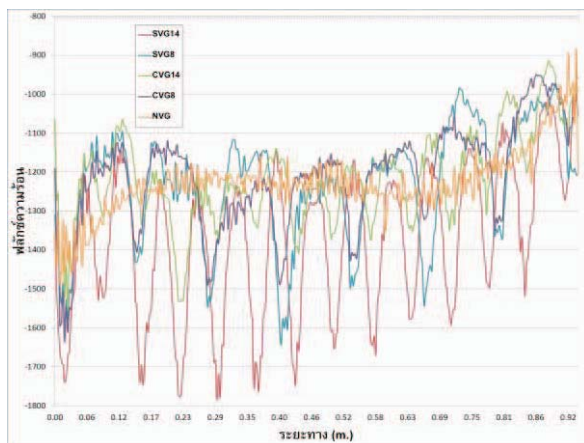
ในส่วนของการคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้น ได้ใช้ระเบียบปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method) ด้วยโปรแกรม ANSYS-FLUENT V.14 ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และใช้การประมาณค่าภายในด้วยวิธีผลต่างอันดับที่สอง (Second order upwind) เพื่อตีความผลของการพา สำหรับเทอมของความดันและความเร็วซึ่งคู่ควบกันอยู่ ได้ใช้กระบวนการหาคำตอบด้วยวิธี SIMPLE รูปแบบการจัดวางกริดแบบ

ไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured grids) ทั้งในส่วนของครีปและส่วนของของไหลบริเวณรอบๆ ครีป

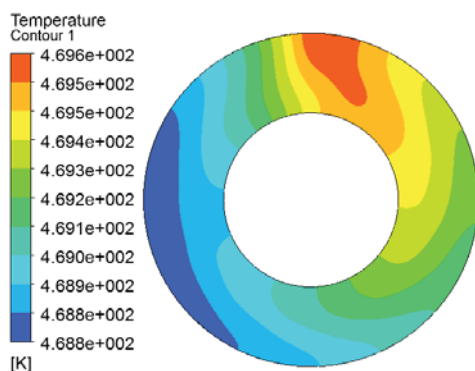
4. ผลการคำนวณเชิงตัวเลข

4.1 ผลการถ่ายเทความร้อน

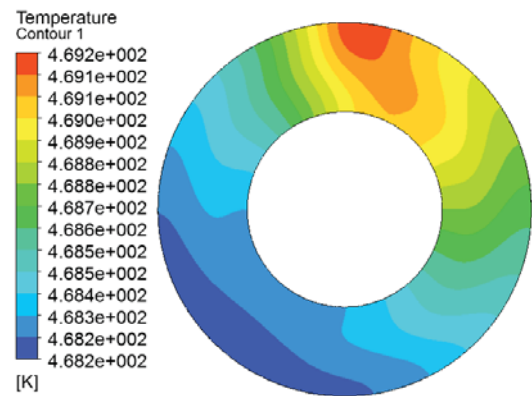
จากกราฟการถ่ายเทความร้อนออกจากไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าช่องทางการไหลที่มีตัวสร้างกระแสไหลวนมีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า ตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัสให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดจึงทำให้ได้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวค่อนข้างคงที่ดังแสดงในรูปที่ 5-6 เนื่องจากการกระเพื่อมของความเร็วในโซนประสมประสานของเขตที่เกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าดังแสดงในรูปที่ 7-8 การถ่ายเทพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มจำนวนตัวสร้างกระแสไหลวน เนื่องจากระยะทางระหว่างตัวสร้างกระแสไหลวนน้อยทำให้เขตที่เกิดขึ้นยังคงส่งผลถึงตัวสร้างกระแสไหลวนตัวถัดไปดังแสดงในรูปที่ 9-12 ซึ่งสอดคล้องกับกราฟระหว่างตัวเลขนัสเซลกับตัวเลขเรโนลด์ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งของไหลที่มีค่า Re สูง จะมีการส่งถ่ายโมเมนตัมที่มากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นด้วย



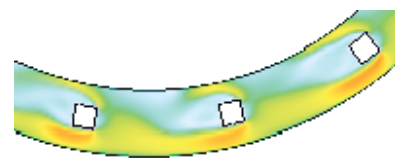
รูปที่ 4 กราฟระหว่างฟลักซ์ความร้อนกับระยะทาง



รูปที่ 5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นความร้อนที่มีตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัส 14 ตัว



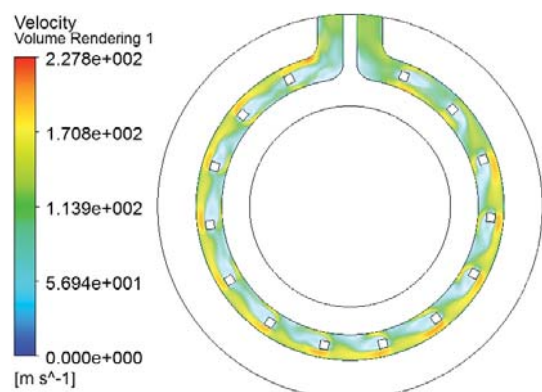
รูปที่ 6 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นความร้อนที่ไม่มีตัวสร้างกระแสไหลวน



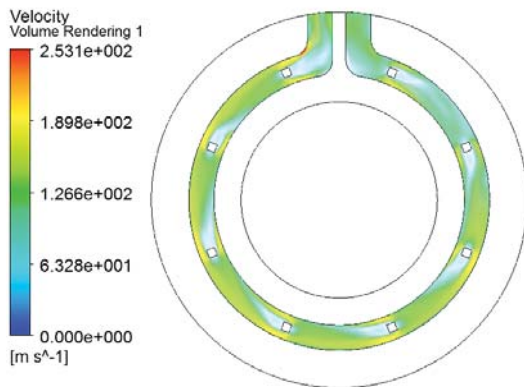
รูปที่ 7 เขตที่เกิดขึ้นจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัส



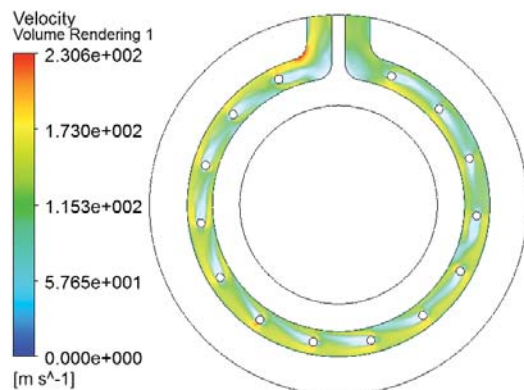
รูปที่ 8 เขตที่เกิดขึ้นจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดกลม



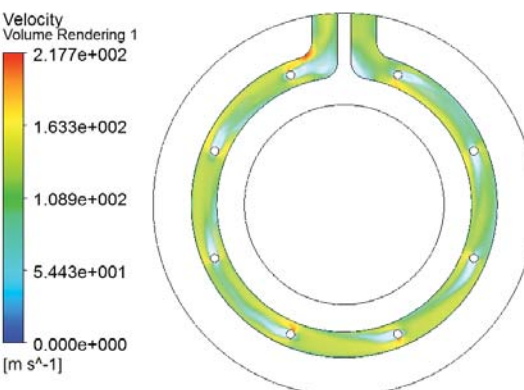
รูปที่ 9 การกระจายตัวของความเร็วจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัสจำนวน 14 ตัว



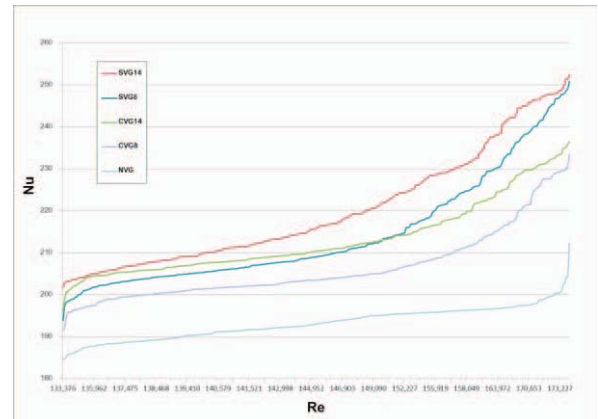
รูปที่ 10 การกระจายตัวของความเร็วจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
จตุรัสจำนวน 8 ตัว



รูปที่ 11 การกระจายตัวของความเร็วจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
กลมจำนวน 14 ตัว



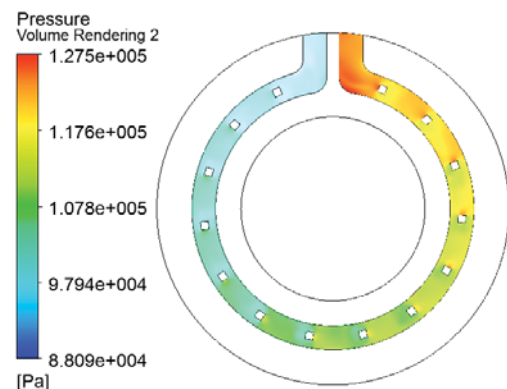
รูปที่ 12 การกระจายตัวของความเร็วจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
กลมจำนวน 8 ตัว



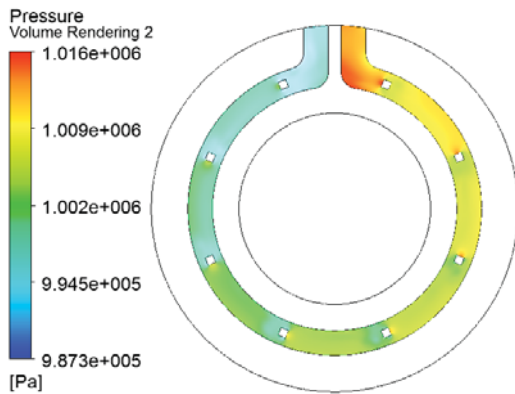
รูปที่ 13 กราฟระหว่างตัวเลขนัสเซลกับตัวเลขเรย์โนลด์

4.1 ผลของความดันสูญเสีย

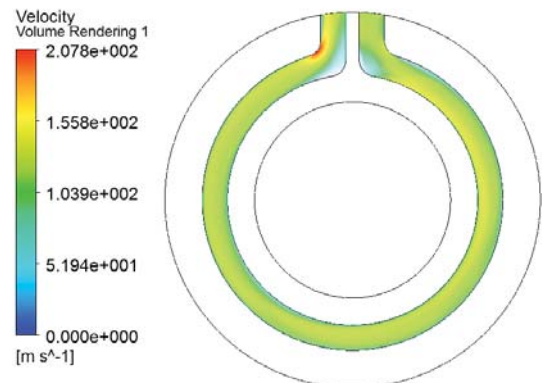
การเปลี่ยนภาคตัดของตัวสร้างกระแสหมุนวนไม่มีผลต่อความดันสูญเสียดังแสดงในรูปที่ 14-18 ความดันสูญเสียขึ้นอยู่กับระยะระหว่างตัวสร้างกระแสหมุนวนโดยระยะที่เหมาะสมจะทำให้เกิดพื้นที่ขึ้นส่งผลต่อตัวสร้างกระแสไหลวนตัวถัดไปดังแสดงในรูปที่ 9-12 ซึ่งในงานวิจัยนี้ dh/L ที่เหมาะสมคือ 144.7 การลดลงของความดันสูญเสียเป็นผลมาจากการกระเพื่อมของความเร็วในโซนประสมประสานของเวกทำให้ชั้นขีดผิวมีความหนาลดลง



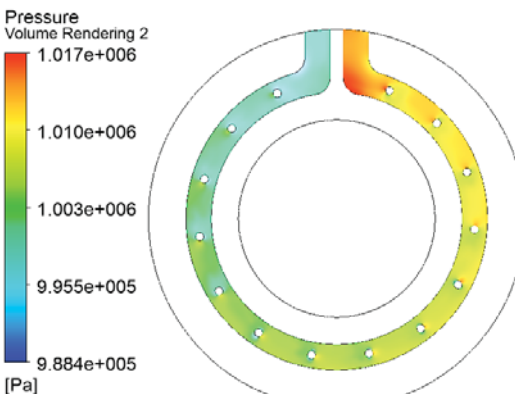
รูปที่ 14 การกระจายตัวของความดันจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
จตุรัสจำนวน 14 ตัว



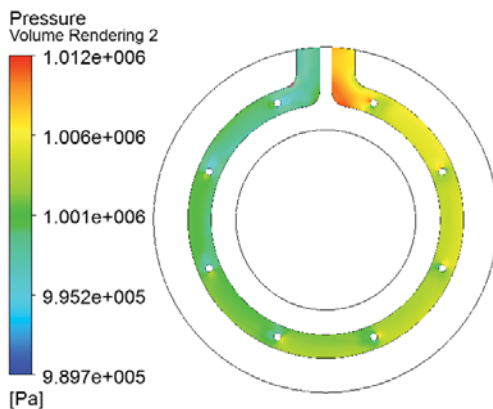
รูปที่ 15 การกระจายตัวของความดันจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
จตุรัสจำนวน 8 ตัว



รูปที่ 18 การกระจายตัวของความดันของช่องทางไหลที่ไม่มีตัวสร้าง
กระแสไหลวน



รูปที่ 16 การกระจายตัวของความดันจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
กลมจำนวน 14 ตัว



รูปที่ 17 การกระจายตัวของความดันจากตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัด
กลมจำนวน 8 ตัว

5. สรุป

การศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนผ่านอุปกรณ์สร้างกระแสไหลวนที่ติดตั้งในช่องทางไหล มีประสิทธิภาพน่าพึงพอใจในระดับหนึ่ง สามารถสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

5.1.เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การไหลมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น

5.2.เมื่อเพิ่มจำนวนอุปกรณ์สร้างกระแสไหลวนจะทำให้มีแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น

5.3.ตัวสร้างกระแสไหลวนภาคตัดจตุรัสให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าแบบภาคตัดกลม

5.4.ระยะระหว่างตัวสร้างกระแสไหลวนมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย

6. สัญลักษณ์

NVG	ช่องการไหลที่ไม่มีตัวสร้างกระแสหมุนวน
CVG8	ช่องการไหลที่มีตัวสร้างกระแสหมุนวนทรงกะบอก 8 แท่ง
CVG14	ช่องการไหลที่มีตัวสร้างกระแสหมุนวนทรงกะบอก 14 แท่ง
SVG8	ช่องการไหลที่มีตัวสร้างกระแสหมุนวนทรงสี่เหลี่ยม 8 แท่ง
SVG14	ช่องการไหลที่มีตัวสร้างกระแสหมุนวนทรงสี่เหลี่ยม 14 แท่ง
C1,C2	ค่าคงที่ใน dissipation rate equation
k	turbulence kinetic energy
P	ความดันเฉลี่ย
S	General source term
q"	ค่าฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวผนังท่อที่จุดใดๆ
Re	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์
Nu.	นัสเซลล์นัมเบอร์
dh	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก
L	ระยะระหว่างตัวสร้างกระแสไหลวน
u	ความเร็วในแกน x
v	ความเร็วในแกน y
w	ความเร็วในแกน z

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.F.B. Haq, K. Akintunde, S.D. Probert, Thermal performance of a pin-fin assembly, International Journal of Heat and Fluid Flow 16 (1995) 50-55.
- [2] S.F. Tsai, T.W.H. Sheu, S.M. Lee, Heat transfer in conjugate heat exchanger with a wavy fin surface, International Journal of Heat and Mass Transfer 42 (1999) 1735-1745.
- [3] Q. Li, Z. Chen, U. Flechtner, H. Warnecke, Heat transfer and pressure drop characteristics in rectangular channels with elliptic pin, International Journal of Heat and Fluid Flow 19 (1998) 245-250.
- [4] G. Jilani, S. Jayaraj, M. Adeel Ahmad, Conjugate Forced convection-conduction heat transfer Analysis of heat generating vertical cylinder, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 331-341.
- [5] Cila Herman, Eric Kang, Heat transfer in grooved channel with curved vanes, International Journal of Heat and Mass Transfer 45(2002) 3741-3757
- [6] Pongjet Promvong, Teerapat Chompookham, Sutapat Kwankaomeng, Chinruk Thianpong, Enhanced heat transfer in a triangular ribbed channel with longitudinal vortex generators, Energy Conversion and Management 51 (2010) 1242-1249
- [7] กิตติศักดิ์ คูวัญญู และ สมพงษ์, การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในใบพัดกังหันก๊าซที่มีเทอร์บิวเลเตอร์ติดตั้ง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17