

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยครีบทวี

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH
V-SHAPED RIBS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยครีบทวี

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH
V-SHAPED RIBS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH
V-SHAPED RIBS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยครีบทวี

ตรงค์จรจรศ	วิบูลย์ศักดิ์	59010625
ศุภกานต์	วงศ์พัฒนเลิศ	59011320
อธิปฉัตร	เพิ่มพูลโชคคณา	59011482
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2562		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ ANSYS (FLUENT) ในการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนของอากาศทั้งสามแนวแกนการเคลื่อนที่ภายในท่อที่มีรอยกดผิวเป็นครีบทวี โดยที่ผนังท่อกดผิวเป็นครีบทวีและเป็นการไหลแบบปลายวีชี้ทวนกระแส ซึ่งครีบทวีทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อและนำของไหลเย็นไปสัมผัสผนังท่อโดยในการทดสอบใช้ของไหลเป็นอากาศที่มีอัตราการไหลในช่วงค่าเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) ระหว่าง 4,000 ถึง 15,000 ของไหลจะถูกทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction factor, f) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะดูจากค่าตัวสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) โดยครีบทวีถูกทดสอบโดยใช้มุมปะทะ (Angle of attack, α) 2 ค่า คือ 30° และ 45° อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบทวีต่อความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อวงกลมหรืออัตราส่วนพิตช์ (Pitch ratio, PR) 3 ค่า คือ 0.05 , 1.0 และ 1.5 อัตราส่วนความลึกของรอยกดครีบทวีกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อวงกลมหรืออัตราส่วนบล็อก (Blockage ratio, BR) 3 ค่า คือ 0.05 , 0.075 และ 0.1 จากการศึกษาจะพบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบทวีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อกลมที่ไม่มีรอยกดครีบทวี และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.85 ที่อัตราส่วนบล็อกเท่ากับ 0.05 อัตราส่วนพิตช์เท่ากับ 0.5 มุมปะทะเท่ากับ 30° ความกว้างของครีบทวี 1.5 มิลลิเมตร จำนวนครีบทวี 4 ครีบทวี ระยะห่างระหว่างปลายครีบทวี 4 มิลลิเมตร ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 5,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH V-SHAPED RIBS

Tarongthat	Viboonsak	59010625
Supakarn	Wongpatthanalert	59011320
Athipchat	Permpoonchokkana	59011482
Assoc.Prof.Dr.	PongjetPromvonge	Advisor
Year 2562		

Abstract

This project presents the behaviors of a 3-dimensional turbulent flow and heat transfer enhancement in a circular tube with V-shaped ribs placed on a tube wall. The tube wall has a constant temperature. Flow friction and heat transfer patterns were simulated by using numerical analysis by a software named ANSYS (FLUENT). The V-shaped ribs cause the turbulent swirling flow in the tube and bring the cool fluid at the central core to the tube wall region. The tested fluid is air in the range of Reynolds number 4,000 to 15,000. The fluid flow is tested to increase the heat transfer and flow friction in the form of Nusselt number and friction factor while thermal enhancement factor (TEF) is employed as a thermal performance indicator. The V-shaped ribs are tested by varying the angle of attack from 30° to 45°, three pitch ratios = 0.5, 1.0, 1.5 and three blockage ratios = 0.05, 0.075, 0.1. From the numerical results, the tube with V-shaped ribs provided considerably higher thermal performance than the one without V-shaped ribs. The highest TEF is found to be 1.85 at blockage ratio = 0.05, pitch ratio = 0.5, angle of attack = 30°, rib width = 1.5 mm., number of ribs = 4 and the distance between V-tips of ribs = 4 mm at Reynolds number 5,000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.สมชาย ศรีพัฒนพิพัฒน์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ ผศ.ดร. สมบัติ ทำนา จากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่มาช่วยในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดาและครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ซึ่งได้ให้การเลี้ยงดูผู้เขียน พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ธรรม์ธรรมศ วิบูลย์ศักดิ์

นางสาว ศุภกานต์ วงศ์พัฒนเลิศ

นาย อธิปฉัตร เพิ่มพูลโชคคณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน.....	5
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับของไหล.....	5
2.1.2 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน.....	5
2.1.3 การไหลในท่อกลม.....	7
2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน.....	8
2.1.5 หลักการของการถ่ายเทความร้อน.....	9
2.1.5.1 วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน.....	9
2.1.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.1.5.3 สภาวะการพัฒนาย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน.....	10
2.1.5.4 การพาความร้อน.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การคำนวณการไหลแบบชั่วเป็นช่วง.....	15
2.2.1 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความเร็ว.....	15
2.2.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง.....	15
2.2.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง.....	16
2.2.2 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความร้อน.....	16
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 แบบจำลองและวิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	22
3.2 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณ.....	23
3.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข.....	23
3.4 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม.....	24
3.5 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน.....	25
3.5.1 ลักษณะเบื้องต้นของครีบทัววี.....	25
3.5.2 รอยกตครีบทัววีแบบพื้นฐาน.....	26
3.5.3 รอยกตครีบทัววีแบบปรับปรุงอัตราส่วนบล็อก.....	28
3.5.4 รอยกตครีบทัววีแบบปรับปรุงอัตราส่วนพิตช์.....	31
3.5.5 รอยกตครีบทัววีแบบปรับปรุงมุมปะทะ.....	34
3.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	40
4.1 การปรับปรุงครีบทัววีโดยการเปลี่ยนความกว้างของครีบทัววี.....	40
4.2 การปรับปรุงครีบทัววีโดยการเปลี่ยนจำนวนครีบทัววี.....	44
4.3 การปรับปรุงครีบทัววีโดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัววี.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	51
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย.....	52
บรรณานุกรม.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ.....	6
2.2 การไหลภายในท่อกลม.....	7
2.3 แสดงการพัฒนาความเร็วชั้นขีดผิวของการไหลภายในท่อ.....	7
2.4 แผนภาพของ Moody.....	9
2.5 การพาความร้อนของการไหลในท่อ.....	12
2.6 แสดงรูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง.....	15
2.7 ตัวอย่างวัสดุที่มีครีปรูปตัววีแบบแยกกัน(DDIR). (a) DDIR plate (b) DDIR tube.....	17
2.8 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีปรูป DDIR แบบแยกกัน.....	17
2.9 ท่อที่มีครีปรูปตัววีแบบแยกกัน (ครีปรูปไม่โค้งตามผิวท่อ).....	18
2.10 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวเลขนัสเซิลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการจำลองด้วย ANSYS.....	18
2.11 โครงสร้างของรอยกคบนท่อกลม (a) แบบวี (b) แบบพี.....	19
2.12 แนวโน้มของตัวแปรต่างๆ.....	21
3.1 กราฟเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองปั่นป่วนและผลจากการทดลองของ Ji-an Meng [5].....	24
3.2 รูปร่างของกริดเซลล์.....	25
3.3 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววี.....	26
3.4 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha=45^\circ$	26
3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$	27
3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$	27
3.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$	28
3.8 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha=45^\circ$	29
3.9 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกคครีปรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.075 และ $\alpha=45^\circ$	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
3.10 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.1$ และ $\alpha=45^\circ$	29
3.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.075$ และ $BR=0.1$	30
3.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.075$ และ $BR=0.1$	30
3.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.075$ และ $BR=0.1$	31
3.14 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$	32
3.15 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$	32
3.16 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1.5$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$	32
3.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$	33
3.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$	33
3.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$	34
3.20 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=30^\circ$	35
3.21 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$	35
3.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววีที่ $BR=0.05$, $PR=1$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่ $BR=0.05$, $PR=1$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$	36
3.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่ $BR=0.05$, $PR=1$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$	36
3.25 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อกลมที่ไม่มีรอยกดครึ่งตัว.....	37
3.26 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัว.....	38
3.27 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่ไม่มีรอยกดครึ่งตัว.....	38
3.28 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัว.....	39
4.1 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านหน้าและภาพด้านบนของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$, $w=3$ mm.....	40
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm., 1.5 mm., 2.25 mm., 3 mm., 3.75 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	41
4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm., 1.5 mm., 2.25 mm., 3 mm., 3.75 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	42
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm., 1.5 mm., 2.25 mm., 3 mm., 3.75 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	43
4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับจำนวนครึ่งตัว 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	44
4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับจำนวนครึ่งตัว 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	45
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับจำนวนครึ่งตัว 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	45
4.8 (a) ครึ่งตัวแปกติ (b) ครึ่งตัวแบบเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครึ่งตัว.....	46
4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัวที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายครึ่งตัว 0 mm. ,2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha =30^\circ$	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายศรีบตัววี 0 mm., 2 mm., 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm. ที่ BR=0.05, PR=0.5, $\alpha = 30^\circ$	47
4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายศรีบตัววี 0 mm., 2 mm., 4 mm., 6 mm. และ 8 mm. ที่ BR=0.05, PR=0.5, $\alpha = 30^\circ$	48
4.12 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบธรรมดา.....	49
4.13 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบปรับปรุง.....	49
4.14 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ บนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบธรรมดา.....	50
4.15 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ บนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบปรับปรุง.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_c	พื้นที่หน้าตัด, m^2
b	ความลึกของรอยกตครีบทวี, mm .
BR	อัตราส่วนบล็อก
C_p	ความร้อนจำเพาะ, $J/kg \cdot K$
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม, mm .
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์, m .
f	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
l	ความยาวของครีบทวี, mm .
L	ความยาวช่วงหนึ่งของการไหล, m .
m	อัตราไหลโดยมวลของของไหล, kg/s
n	จำนวนครีบทวี
Nu	เลขนัสเซลท์
p	ระยะพิตช์, mm .
PR	อัตราส่วนพิตช์
p	เส้นรอบรูปเปียก, m .
Δp	ความดันตกคร่อม, N/m^2
Pr	เลข Prandtl
q_s''	ฟลักซ์ความร้อน, W/m^2
Q	ปริมาณการพาความร้อน, W
Re	เลขเรย์โนลด์
Re_c	เลขเรย์โนลด์สวิฤติ
T	อุณหภูมิของของไหล, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
T_m	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัด, K
T_w	อุณหภูมิผนังท่อ, K
T'	อุณหภูมิเฉลี่ยผสม, K
ΔT_m	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอกการิทึม, K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEF	ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน
u	ความเร็วของของไหล, m/s
V_{avg}	ค่าความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s
w	ความกว้างของครีบทวี, mm.
y	ระยะห่างระหว่างปลายครีบทวี, mm.
α	มุมปะทะของการไหล, °
ρ	ความหนาแน่นของสาร, kg/m ³
μ	สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล, N·s/m ²



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานเป็นสิ่งที่เราใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันของเรา ซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่หลากหลาย แต่ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกกลับสวนทางกับจำนวนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลังงาน ทำให้เรามีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นและต้องใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงได้มีการนำพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ มาใช้แทนวัตถุดิบที่ลดน้อยลง ซึ่งหนึ่งในนั้นคือพลังงานความร้อน กระบวนการถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรม เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือ และเครื่องจักรต่างๆ เพื่อการพัฒนากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น การศึกษาปรับปรุงสมรรถนะทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนกันอย่างแพร่หลาย โดยทั่วไปวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Heat Convection) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ 1) วิธีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกในการช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Passive technique) คือ การสร้างความปั่นป่วนของการไหล โดยการติดตั้งอุปกรณ์หรือเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายในท่อ วิธีการเหล่านี้จะช่วยให้สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน แต่ก็ทำให้มีการต้านการไหลเพิ่มขึ้นและยังทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในท่อด้วยเช่นกัน 2) วิธีที่อาศัยพลังงานจากภายนอกเข้ามาช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Active technique) คือ การนำอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาช่วยทำให้เกิดการสั่นสะเทือนและเพิ่มความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อ

แต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันแต่ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ก็คือ แบบ Passive technique เนื่องจากในระยะยาวสามารถปรับเปลี่ยนและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้นได้และยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบการใช้วิธี Active technique

การเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อจะต้องพิจารณาทั้ง ขนาด รูปทรง มุมปะทะ และค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่จะมีผลกับการถ่ายเทความร้อน เป็นสิ่งสำคัญซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งจะคุ้มค่ากับการลงทุน เราจึงได้นำวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาใช้ในการศึกษาและปรับปรุงเพื่อหาค่าต่างๆที่เหมาะสมซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนและแรงกาย โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายและมีการปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาอย่างเรื่อย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนของของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ ในท่อกลมที่มีการกุดต่อเป็นครีบริบตัววี (V-shaped rib) โดยการจัดครีบริบตัววีในท่อกลมแบบซี่ทวนกระแสการไหล ซึ่งได้กำหนดผนังท่อที่มีความร้อนแบบอุณหภูมิผิวท่อคงที่ การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS (FLUENT) student 2019 R3 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยประกอบด้วย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งทำการศึกษาในท่อกลมที่มีการกุดต่อเป็นครีบริบตัววี

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลมที่มีครีบริบตัววีแบบต่างๆกัน

1.2.3 เพื่อพัฒนาและปรับปรุงครีบริบตัววีแบบต่างๆ เพื่อนำไปสู่การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน ลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และเพิ่มค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้น

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.3.1 เข้าใจพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยการวิเคราะห์เชิงในท่อกลมที่มีการกุดต่อเป็นครีบริบตัววี

1.3.2 ทราบถึงตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดภายในท่อกลมที่มีการกุดต่อเป็นครีบริบตัววีแบบต่างๆกัน

1.3.3 พัฒนาและปรับปรุงครีบริบตัววีให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อน โดยการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัสเซิลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน บนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite volume method)

1.4.2 ใช้อากาศเป็นการไหลทดสอบ

1.4.3 ศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 3000 ถึง 15000

1.4.4 ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน RNG k- ϵ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.5 การคู่ควบของความเร็วและความดันใช้กระบวนการวิธีแบบ Coupled
- 1.4.6 เทอมของการพาความร้อนใช้การคำนวณแบบ QUICK
- 1.4.7 พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection)
- 1.4.8 ทำการวิจัยเฉพาะท่อกลมที่มีการให้ความร้อนที่ผนังแบบอุณหภูมิผิวต่อคงที่ 310 K
- 1.4.9 อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างครีบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Pitch Ratio, PR) เท่ากับ 0.5, 1, 1.5
- 1.4.10 อัตราส่วนระหว่างความลึกของครีบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Blockage Ratio, BR) เท่ากับ 0.05, 0.075, 0.1

1.4.11 มุมปะทะ (α) เท่ากับ 30, 45 องศา

1.4.12 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 50 mm.

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม

1.5.2 กำหนดลักษณะและรูปร่างของครีบทัววีโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำการตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสมเทียบกับผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตที่มีการกดท่อรูปแบบต่างๆ

1.5.3 สร้างแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบทางพลศาสตร์ของไหลพร้อมกับเลือกขนาดและจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม

1.5.4 คำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ Re, PR, BR, มุมปะทะ โดยจัดวางครีบทัววีแบบชี้ทวนกระแสการไหล

1.5.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณโดยเปรียบเทียบ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และ ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ด้วยการสร้างกราฟเปรียบเทียบ

1.5.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1.6.1 ได้ความรู้เกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบเพิ่มตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อกลม

1.6.2 ได้เรียนรู้ถึงอิทธิพลของค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมที่มีการกดท่อเป็นครีบริบตัววี

1.6.3 ได้พัฒนาและออกแบบครีบริบตัววีให้มีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

1.6.4 เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1.6.5 เพื่อประหยัดแรงงานและนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต

1.6.6 เป็นแนวทางเพื่อการวิจัยด้านการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการกดท่อเป็นครีบริบตัววีต่อไป

1.6.7 ได้ฝึกฝนการใช้โปรแกรม ANSYS ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกันและเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างมากในทางอุตสาหกรรมและเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง การเลือกใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นต้องมีการเลือกและพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เพราะต้องคำนึงถึงการนำพลังงานมาใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะทำการศึกษากายภาพของความร้อนในท่อกลมที่มีการกดท่อเป็นครีบทวี เพื่อทำให้เกิดกระแสของการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน จึงจำเป็นต้องศึกษางานวิจัยในอดีตเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงรูปแบบของครีบทวีให้เหมาะสมที่สุด

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

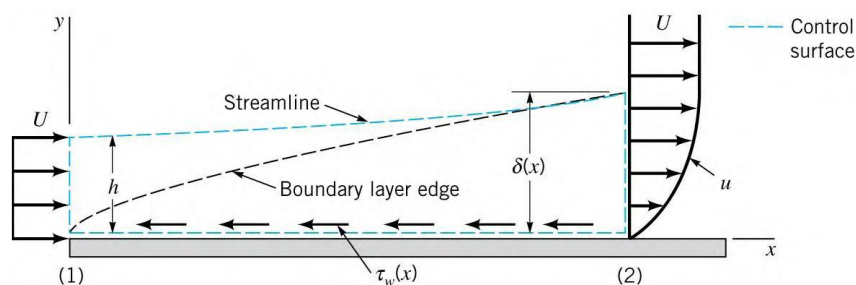
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อถูกกระทำด้วยแรงเค้นเฉือน ของเหลวและก๊าซต่างเป็นรูปแบบหนึ่งของของไหล แตกต่างกันว่าก๊าซเป็นของไหลอัดตัวได้ ส่วนของเหลวเป็นของไหลอัดตัวไม่ได้หรืออัดตัวได้ภายใต้ความดันสูง ของไหลอัดตัวได้ คือของไหลที่มีความหนาแน่นไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้

2.1.2 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

เมื่อของไหลซึ่งมีความหนืดไหลไปตามผิวของวัตถุ ความหนืดของของไหลจะทำให้อนุภาคเล็กๆ ของของไหลยึดติดอยู่กับผิวของวัตถุ เมื่อของไหลยิ่งเข้าไปใกล้ผิววัตถุมากยิ่งขึ้นจะทำให้เกิดชั้นบางๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลมากยิ่งขึ้น ในชั้นนี้ เรียกว่า “ชั้นขอบเขตของความเร็ว (Velocity Boundary)” ส่วนการไหลที่อยู่นอกขอบเขตนี้ไปเรียกว่า “เส้นการไหลหลัก (Mainstream)” ซึ่งสามารถตัดทิ้งผลกระทบจากความหนืดได้ ชั้นขอบเขตของการไหลนี้จะแบ่งออกเป็นชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) กับ ชั้นขอบเขตของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ

สามารถพิจารณารูปแบบการไหลได้จากหลายตัวแปร หากพิจารณาจากความเร็วของของไหล ที่ความเร็วต่ำจะทำให้เกิดการไหลแบบราบเรียบ ถ้าความเร็วสูงจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน หรือ พิจารณาจากความหนืดภายในท่อ ถ้าของไหลมีความหนืดสูง มักจะเกิดการไหลแบบราบเรียบ เพราะแรงต้านความเร็วในการไหลมาก ในทางกลับกันถ้าของไหลมีความหนืดต่ำ จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนเพราะแรงต้านความเร็วในการไหลน้อย เราสามารถใช้ค่าตัวแปรที่ไม่มีมิติที่เรียกว่า “ค่าเรย์โนลด์ Re (Reynolds Number)” เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหล โดยสามารถหาค่าได้จากสมการ (2.1)

$$Re = \frac{V_{avg} D}{\nu} \quad (2.1)$$

- Re คือ ตัวแปรไร้มิติที่บ่งชี้ชนิดการไหลของไหล
 V_{avg} คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยของของไหล
 ρ คือ ความหนาแน่นของสาร มวลของสารนั้นส่วนด้วยปริมาตร
 μ คือ ความหนืดของสารนั้น
 ν คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$D = D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (2.3)$$

โดย A_c และ p เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปเปียกตามลำดับ

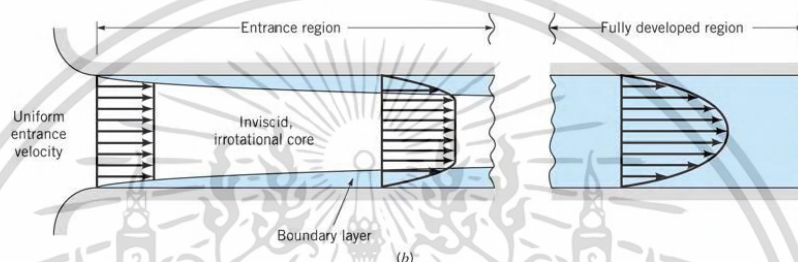
ค่าเรย์โนลด์ส์ที่อยู่ในระหว่างเปลี่ยนจากการไหลแบบเป็นชั้นไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนนั้น เรียกว่า “ค่าเรย์โนลด์ส์วิกฤติ (Critical Reynolds)” เนื่องจากค่าเรย์โนลด์ส์เป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงขับเคลื่อนของการไหลต่อความหนืด ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าค่าเรย์โนลด์มีค่ามากก็สามารถแสดงเป็นเชิงสัมพันธ์ให้เห็นว่าผลกระทบ (Effect) ของค่าความหนืดจะมีค่าน้อย

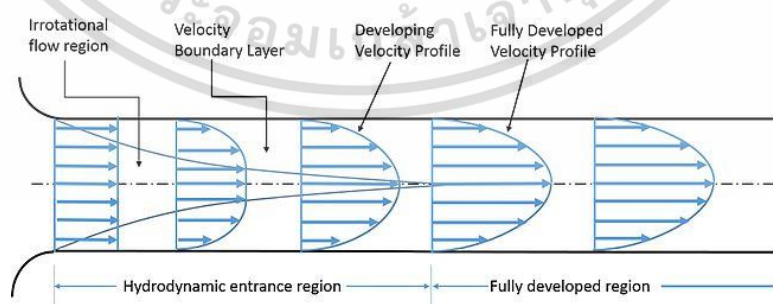
2.1.3 การไหลในท่อกลม

การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในรูปที่ 2.2 นั้นจะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้า ชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆพัฒนาเพิ่มขึ้นที่ละเล็กที่ละน้อย จนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (L_e) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบนและล่าง หลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed)



รูปที่ 2.2 การไหลภายในท่อกลม

ค่าเรย์โนลด์ส์วิกฤติ Re_c ของการไหลภายในท่อที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์แล้ว คือค่าเรย์โนลด์ส์ที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่า $Re_c = 2300$ หรืออยู่ในช่วงระหว่าง 2000 – 4000 โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนในการไหล ความขรุขระภายในท่อที่ไหล หรือรูปทรง และสภาพของทางเข้า ส่วนค่าเรย์โนลด์ที่ต่ำกว่า 2000 ไม่ว่าจะท่อจะมีความยาวมากเพียงใด การไหลก็จะไม่เปลี่ยนแปลงไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน จะยังคงรักษาสภาพการไหลแบบเป็นชั้นหรือราบเรียบต่อไป



รูปที่ 2.3 แสดงการพัฒนาความเร็วชั้นขีดผิวของการไหลภายในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการไหลภายในท่อเรียบ ค่าเรย์โนลด์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นการไหลแบบปั่นป่วน คือ $Re_D > 4,000$ และระยะจากทางเข้าสำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการปรับตัวของของไหลเข้าสู่ช่วงสมบูรณ์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_{h,trib} = 10D \quad (2.4)$$

2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ Moody หรือ Darcy เป็นตัวแปรไร้มิติที่สามารถกำหนดได้ดังสมการต่อไปนี้

$$f_{Darcy} = \frac{(\frac{\Delta p}{L})D}{\rho V_{avg}^2 / 2} \quad (2.5)$$

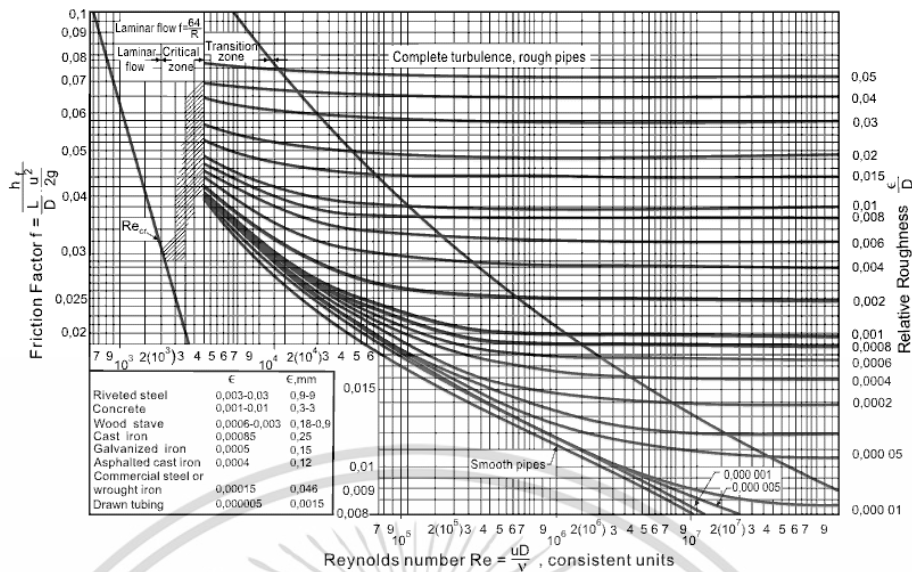
เมื่อ L คือ ความยาวของท่อที่วัดความดันตกคร่อมได้

สำหรับการไหลภายในท่อผิวเรียบ ที่ค่าเรย์โนลด์สูงๆ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้จากการพัฒนาของ Blasius ดังสมการต่อไปนี้

$$f = \frac{0.3160}{Re_d^{1/4}} \quad (2.6)$$

สำหรับค่าเรย์โนลด์ในช่วง $4000 \leq Re_D \leq 10^5$

แผนภาพของ Moody แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ Darcy-Weisbach ค่าเรย์โนลด์ และค่าความขรุขระของพื้นผิว สำหรับช่วงการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ภายในท่อ ซึ่งสามารถใช้ทำนายความดันตกคร่อมหรืออัตราการไหลในท่อได้



รูปที่ 2.4 แผนภาพของ Moody

2.1.5 หลักการของการถ่ายเทความร้อน

2.1.5.1 วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน

วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี

1) การนำความร้อน

การนำความร้อน หมายถึง กระบวนการที่ความร้อนถ่ายเทโดยอาศัยการเคลื่อนไหวของอะตอมหรือโมเลกุลในของแข็งไปตามลำดับ

2) การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหน้าของวัตถุกับของไหล ก็เรียกว่า การพาความร้อน ในอุปกรณ์ความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยมากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุ มักจะสำคัญกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหลเอง ในที่นี้ จึงจะกล่าวถึงการพาความร้อนในลักษณะดังกล่าว การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) และการไหลที่เกิดขึ้นจากปั๊มหรือพัดลม เป็นต้น ซึ่งแบบแรกจะเรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ แบบหลังจะเรียกว่า การพาความร้อนด้วยการบังคับ

3) การแผ่รังสี

การแผ่รังสี วัตถุทุกชนิดจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาว และความเข้มค่าหนึ่งจากพื้นผิวอยู่ตลอดเวลา โดยความยาวและความเข้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน หากวัตถุนั้นดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ก็จะได้รับพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้เรียกว่า การแผ่รังสี

2.1.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน

เมื่ออุณหภูมิของของไหลและผิวท่อมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การพาความร้อนจะเกิดขึ้น เมื่อสภาวะความร้อนที่ผิวของท่อเป็นอุณหภูมิผิว (T_s) คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อน (q_s'') คงที่ สภาวะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (Thermally fully developed condition) จะเกิดขึ้น

จากการทดลองการไหลแบบปั่นป่วน ค่า Pr เกือบจะไม่มีผลกับการพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความเร็ว และชั้นขีดผิวเชิงความร้อน ซึ่งอาจประมาณได้ว่า $L_{e,th} / D \approx 10$

ฟลักซ์ความร้อน (q_s'') สามารถหาได้จากกฎของนิวตัน ดังนี้

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \quad (2.7)$$

เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิผิว

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัด

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

2.1.5.3 สภาวะการพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน

สภาวะการพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (Thermally fully developed) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิไร้มิติไม่มีการเปลี่ยนแปลง การพาความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างชั้นขีดผิวกับของไหล อุณหภูมิของของไหลจึงเปลี่ยนแปลงตามระยะ x เพื่อให้ได้ตามเงื่อนไขของการพัฒนาเชิงความร้อน กำหนดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิแบบไร้มิติในรูป $(T_s - T)/(T_s - T_m)$ อัตราส่วนนี้เป็นอิสระกับ x หมายความว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไร้มิตินี้จะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการไหลแบบนี้ว่าการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน และจะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right] = 0 \quad (2.8)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใด ๆ

เงื่อนไขที่กำหนดสำหรับสมการ (2.8) อาจจะเป็น q_s'' คงที่ หรือ T_s คงที่

2.1.5.4 การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหน้าของวัตถุกับของไหล ก็เรียกว่า การพาความร้อน ในอุปกรณ์ความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยมากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุ มักจะสำคัญกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหลเอง ในที่นี้ จึงจะกล่าวถึงการพาความร้อนในลักษณะดังกล่าว การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) และการไหลที่เกิดขึ้นจากปั๊มหรือพัดลม เป็นต้น ซึ่งแบบแรกจะเรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ แบบหลังจะเรียกว่า การพาความร้อนด้วยการบังคับ

ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน

เมื่อพิจารณาในเชิงจุลภาคเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุ จะพบว่าที่จริงแล้วการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการนำความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลที่ผิวสัมผัสนั่นเอง โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจะขึ้นอยู่กับการกระจายของอุณหภูมิของชั้นผิวสัมผัส ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจึงไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของของไหลและรูปร่างของวัตถุเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นราบเรียบหรือปั่นป่วน และขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นอยู่ในช่วงเร่งความเร็วหรือมีความเร็วคงที่แล้ว ฯลฯ อีกด้วย ในที่นี้ เราจะรวมเอาปัจจัยที่ซับซ้อนเหล่านี้ไว้ในค่าที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

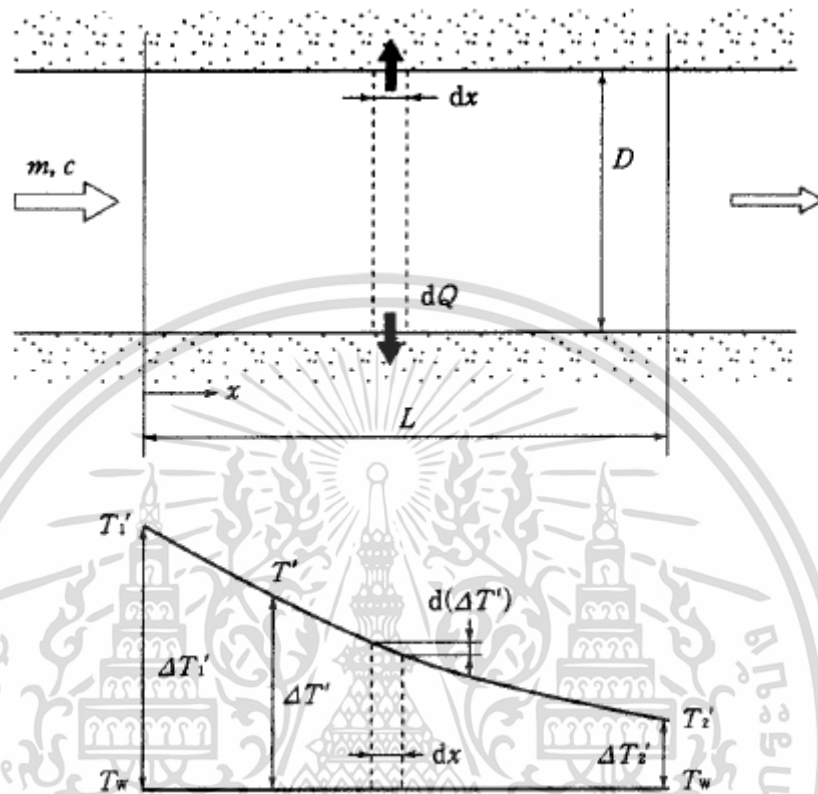
การคำนวณการพาความร้อนในกรณีที่ผิวหน้าของวัตถุห่อหุ้มการไหลอยู่ เช่น การไหลในท่อกลม จะต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากการไหลในท่อที่ไหลด้วยความเร็วคงที่นั้น ทุกจุดในท่อจะเสมือนเป็นผิวสัมผัส กล่าวคือ ไม่เพียงแต่อุณหภูมิของของไหล ณ จุดที่ห่างเพียงพอกจากผิวหน้าจะมีค่าไม่เท่ากันเท่านั้น แต่อุณหภูมิของของไหลตามทิศทางของการไหลก็ไม่คงที่ด้วย ดังนั้นในกรณีนี้ จึงเกิดปัญหาว่าจะใช้ค่าใดเป็นอุณหภูมิของตัวของไหล

รูปที่ 2.5 แสดงของไหลกำลังไหลอยู่ภายในท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน D โดยที่ทางเข้าและทางออกซึ่งมีความยาวตามแนวแกนของท่อเท่ากับ L จะแทนด้วยตัวห้อย 1 และ 2 ในกรณีนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยผสม T' ซึ่งใช้เป็นอุณหภูมิตัวแทนของของไหล ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวแกนของท่อภายในระหว่างช่วงดังกล่าวนี้ จะนิยามดังต่อไปนี้

$$T' = \frac{\int T u ds}{\int u ds}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ T และ u หมายถึงอุณหภูมิและความเร็วของของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่เล็กๆ dS ณ ตำแหน่งใดๆ บนพื้นที่หน้าตัดตามลำดับ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยผสม จะเป็นอุณหภูมิที่ใช้แสดงในกรณีนี้ถือว่าของเหลวที่ไหลผ่านจะผสมกันอย่างสมบูรณ์ในอุดมคติ ณ ทุกๆ พื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 2.5 การพาความร้อนของการไหลในท่อ

ที่จุดนี้ ถ้าให้อุณหภูมิที่ผนังท่อด้านในระหว่างช่วงระยะทางนี้มีค่าคงที่เท่ากับ T_w และถือว่าสัมประสิทธิ์ความร้อน h_m จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งตามแนวแกนของท่อ และถือว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ $\Delta T'$ เท่ากับผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผสม T' กับ T_w เมื่อให้ความร้อนจำเพาะและอัตราไหลโดยมวลของของไหลเท่ากับ c และ m ตามลำดับ และให้การเปลี่ยนแปลง $\Delta T'$ ในบริเวณเล็กๆ ภายในระยะทาง dx ตามทิศทางความยาวเท่ากับ $d(\Delta T')$ แล้ว ปริมาณความร้อน dQ ที่พาจากของไหลไปยังผนังท่อภายในช่วงระยะทางเล็กๆ นี้ จะเท่ากับความร้อนในของไหลที่ลดลงในช่วงระยะทางนี้ ดังนั้น

$$dQ = -mcd(\Delta T') = h_m(T' - T_w)\pi Ddx = h_m\Delta T'\pi Ddx$$

$$-mcd(\Delta T') = h_m\Delta T'\pi Ddx, \quad \frac{1}{\Delta T'}d(\Delta T') = -\frac{h_m\pi D}{mc}dx$$

$$\ln(\Delta T') = -\frac{h_m\pi D}{mc}x + C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ เมื่อ $x=0$ แล้ว $\Delta T' = \Delta T'_1$ และเมื่อ $x=L$ แล้ว $\Delta T' = \Delta T'_2$ จะได้ว่า

$$\ln(\Delta T'_2) = \frac{hm\pi D}{mc}L + \ln(\Delta T'_1) \quad (a)$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากของไหลไปยังผนังท่อตลอดช่วงระยะทางนี้จึงเท่ากับ

$$Q = mc(T'_1 - T'_2) = mc((T'_1 - T_w) - (T'_2 - T_w)) = mc(\Delta T'_1 - \Delta T'_2) \quad (b)$$

ถ้าให้อุณหภูมิที่เป็นตัวแทนของอุณหภูมิของของไหลตลอดช่วงระยะทางนี้เท่ากับ T_m และให้ผลต่างระหว่าง T_m กับอุณหภูมิผนังท่อ T_w เท่ากับ ΔT_m และให้

$$Q = hm\Delta T_m\pi DL \quad (c)$$

แล้ว จากสมการ (a), (b) และ (c) จะคำนวณ ได้ดังนี้

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T'_1 - \Delta T'_2}{\ln(\Delta T'_1) - \ln(\Delta T'_2)} = \frac{\Delta T'_1 - \Delta T'_2}{\ln\left(\frac{\Delta T'_1}{\Delta T'_2}\right)} = \frac{(T'_1 - T_w) - (T'_2 - T_w)}{\ln\left(\frac{T'_1 - T_w}{T'_2 - T_w}\right)} \quad (2.9)$$

ค่า ΔT_m ที่มีนิยามตามข้างต้น เรียกว่า ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอกการิทึม ถ้าใช้ ΔT_m นี้แล้ว ปริมาณการพาความร้อนจะเท่ากับ

ปริมาณการพาความร้อน = (สัมประสิทธิ์การพาความร้อน) \times (ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอกการิทึม) \times (พื้นที่ผิวด้านในท่อ)

ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การพาความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหล เป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุประเภทของของไหล โครงสร้างของชั้นผิวสัมผัส ฯลฯ อย่างไรก็ตาม เราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในรูปของฟังก์ชันของปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในการพาความร้อนด้วยการบังคับ จะมีปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, ความเร็วกระแสหลัก (u)[m/s], ระยะทาง (D)[m], สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล (μ)[Pa·s], ความหนาแน่น (ρ)[kg/m³], ความร้อนจำเพาะ (C_p)[J/kg·K] และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)[kg/m³] สามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันปริมาณต่าง ๆ ต่อไปนี้

$$\left(\frac{hD}{k}\right) = f\left\{\left(\frac{uD}{\mu}\right), \left(\frac{C_p\mu}{k}\right)\right\} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทั้ง 3 พจน์ในสมการ (2.10) เป็นปริมาณไม่มีหน่วยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณทางฟิสิกส์หลายตัว มีชื่อเรียกว่า Nusselt number (Nu), Reynolds number (Re) และ Prandtl number (Pr)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2.11)$$

$$Re = \frac{uD}{\mu/\rho} = \frac{uD}{\nu} \quad (2.12)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{u/\rho}{k/C_p \mu} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.13)$$

เมื่อ ν คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์

α คือ Thermal diffusivity

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (2.14)$$

กล่าวคือ Nu สามารถแสดงด้วยฟังก์ชันของ Re กับ Pr

สำหรับการไหลภายในท่อผิวเรียบ สามารถหาค่าตัว Nu ได้จากการพัฒนาของ Dittus-Boelter ดังสมการต่อไปนี้

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (2.15)$$

$n = 0.4$ สำหรับการทำความร้อน และ 0.3 สำหรับการทำความเย็น

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวที่ทดสอบ (h) กับ ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวเรียบ (h_0) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (2.16)$$

$$TEF = \frac{(Nu / Nu_0)}{(f / f_0)^{1/3}} \quad (2.17)$$

เมื่อ Nu คือ เลขนัสเซลท์

Nu_0 คือ เลขนัสเซลท์ของท่อผิวเรียบ

f คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเสียดทาน

f_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเสียดทานของท่อผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อน การลดภาระและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำ และความถูกต้องในการคำนวณ โดยใช้วิธีการคำนวณแบบซ้ำเป็นช่วง (periodic flow) เข้ามาช่วย ซึ่งการวิเคราะห์การไหลลักษณะนี้จะใช้เป็นแบบรูปทรงเรขาคณิต การคำนวณแบบไหลซ้ำเป็นช่วงนี้สามารถแบ่งได้เป็นการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็ว และการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็ว

การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็วเป็นลักษณะการไหลเมื่อมีค่าความดันตกคร่อมเกิดขึ้นข้ามขอบเขตการไหลไปในทิศทางการไหลที่พัฒนาสมบูรณ์แล้ว สถานะการไหลซ้ำเป็นช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากมีช่วงความยาวทางเข้าที่เพียงพอ

2.2.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลซ้ำเป็นช่วง

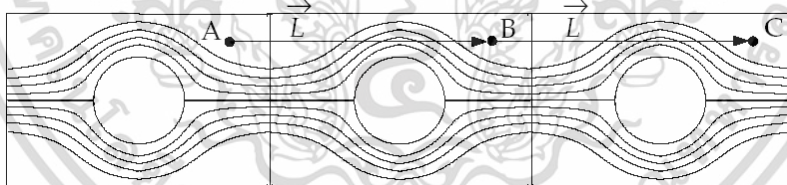
เมื่อรูปแบบการไหลเกิดขึ้นในช่วงการไหล L โดยมีค่าความดันตกคร่อมคงที่ในช่วงโมดูลนั้น ๆ ตามทิศทางการไหล นิยามของการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็วโดยค่าความเร็วย่อยจะซ้ำกันในตัวมันเอง ดังสมการ

$$u_i(\bar{r}) = u_i(\bar{r} + \bar{L}) = u_i(\bar{r} + 2\bar{L}) = \dots; \quad i=1,2,3,\dots \quad (2.18)$$

เมื่อ

\bar{r} คือ เวกเตอร์บอกตำแหน่ง

\bar{L} คือ เวกเตอร์ความยาวที่ซ้ำเป็นช่วงของขอบเขตการไหล



รูปที่ 2.6 แสดงรูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง

จากรูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$u_A = u_B = u_C$$

$$\bar{p}_A = \bar{p}_B = \bar{p}_C$$

$$v_A = v_B = v_C$$

$$P_B - P_A = P_C - P_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลเข้าเป็นช่วง

สำหรับการไหลแบบมีความหนืดร่วมด้วยนั้น ค่าความดันตกคร่อมในช่วงการไหลหรือโมดูลนั้น ๆ จะมีค่าเท่ากัน แสดงดังสมการ

$$\Delta p = p(\bar{r}) - p(\bar{r} + \bar{L}) = p(\bar{r} + \bar{L}) - p(\bar{r} + 2\bar{L}) = \dots \quad (2.19)$$

ค่าเกรเดียนต์ของความดันเฉพาะ สามารถแยกได้เป็นสองส่วน คือส่วนเกรเดียนต์ที่เข้าเป็นช่วง ($\nabla \bar{p}(\bar{r})$) และส่วนเกรเดียนต์ความเปลี่ยนแปลงเชิงเส้น ($\beta \frac{\bar{L}}{|\bar{L}|}$) โดยแสดงได้ดังสมการ

$$\nabla p(\bar{r}) = \beta \frac{\bar{L}}{|\bar{L}|} + \nabla \bar{p}(\bar{r}) \quad (2.20)$$

เมื่อ

$\bar{p}(\bar{r})$ คือ ความดันที่เข้ากันเป็นช่วง

$\beta |\bar{r}|$ คือ ส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน

2.2.2 การไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อน

นิยามการไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อให้ความร้อนที่ผนังท่อที่มีพื้นที่ความร้อนคงที่ ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างขอบเขตของการเข้าเป็นช่วงจะมีค่าคงที่ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นแบบเข้าเป็นช่วง จะอธิบายได้ดังสมการนี้

$$\frac{T(\bar{r} + \bar{L}) - T(\bar{r})}{L} = \frac{T(\bar{r} + 2\bar{L}) - T(\bar{r} + \bar{L})}{L} = \sigma \quad (2.21)$$

$$\sigma = \frac{Q}{\dot{m} c_p L} = \frac{T_{bulk, exit} - T_{bulk, inlet}}{L} \quad (2.22)$$

$$T_{bulk} = \frac{\int_A T |\rho \bar{u} \cdot d\bar{A}|}{\int_A |\rho \bar{u} \cdot d\bar{A}|} \quad (2.23)$$

เมื่อ

σ คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่กำหนดให้

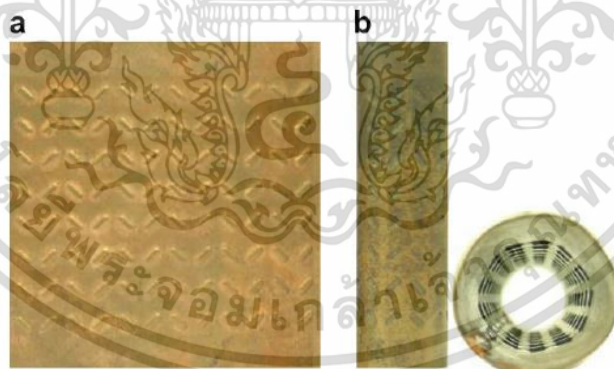
T_{bulk} คือ อินทิเกรตตลอดพื้นที่หน้าตัดของโดเมนการไหลที่เข้าเป็นช่วง, A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

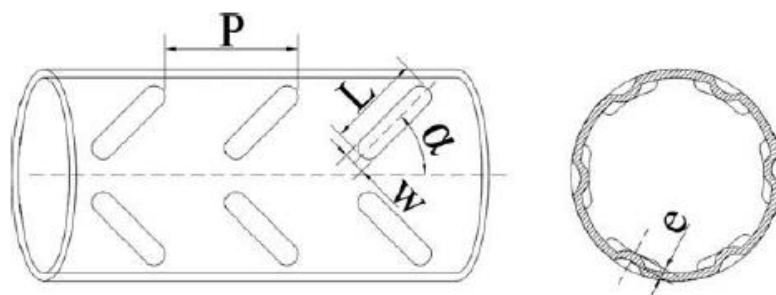
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 Xiao-wei Li, Ji-an Meng, Zeng-yuan Guo. (2009) , Turbulent flow and heat transfer in discrete double inclined ribs tube [5] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทดลองวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ โดยการเพิ่มความปั่นป่วนให้การไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อด้วยการสร้างท่อที่มีรอยกดรูปตัววีแบบแยกกัน โดยรอยกดมีการโค้งตามผิวท่อ ในการทดลองนี้ได้ใช้น้ำเป็นของไหลภายในท่อกำหนดเลขเรย์โนลด์ที่ 15,000-60,000 และจากการศึกษาเชิงตัวเลขมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองในการทดสอบจริง โดยมีความคลาดเคลื่อนของเลขนัสเซลท์ไม่เกิน 10 % และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่เกิน 15 % จากการศึกษพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีรอยกด มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 100 -120% เมื่อเทียบกับท่อปกติ และมีการสูญเสียแรงดันอยู่ที่ 170-250% โดยเมื่อเทียบกับท่อปกติที่ใช้กำลังปั๊มเท่ากันมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 30-50%

จากตัวแปรที่เรานำมาศึกษาทั้งสามตัวแปรคือ จำนวนครี (N) = 8 , 10 , 12 ความสูงครี (h*) = 0.25 , 0.5 , 0.75 , 1.0 , 1.25 มิลลิเมตร และ ระยะพิท (P*) = 6 , 8 , 10 มิลลิเมตร ระยะพิทที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า PEC มีแนวโน้มลดลง ส่วนความสูงครีที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าPEC มีค่าสูงมากขึ้น และเมื่อจำนวนครีเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อค่าPEC (เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าที่เหมาะสมในการทดลองนี้คือ ความสูงครี = 0.75 มิลลิเมตร มีจำนวนครี = 12 และระยะพิท = 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวัสดุที่มีครีรูปตัววีแบบแยกกัน(DDIR). (a) DDIR plate (b) DDIR tube

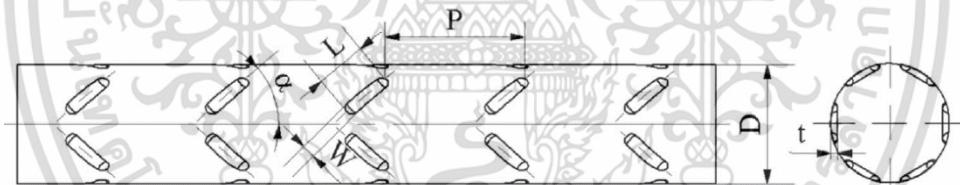


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.8 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีรูป DDIR แบบแยกกัน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

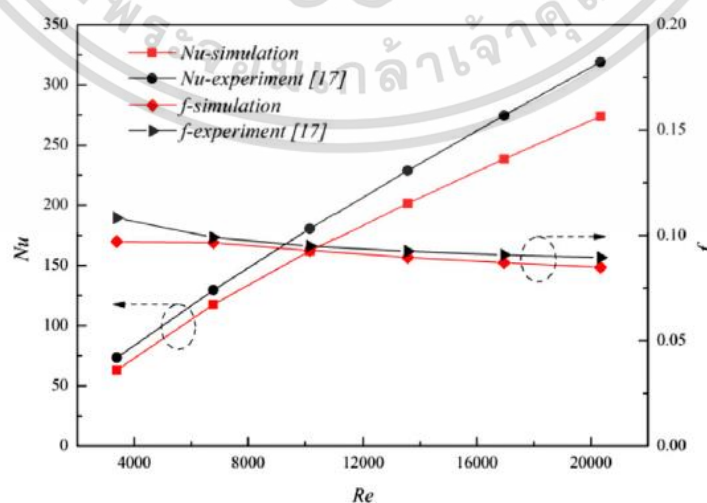
2.3.2 Nianben Zheng, Wei Liu, Zhichun Liu, Feng Shan (2015) ,

A numerical study on heat transfer enhancement and the flow structure in a heat exchanger tube with discrete double inclined ribs [2] ได้ทำการทดลองและศึกษาเชิงตัวเลข การถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างการไหลในท่อและเปลี่ยนความร้อนที่มีครีบบั้ววีแบบแยกกันโดยใช้น้ำเป็นของไหลและศึกษาในเลขเรย์โนลด์ที่ 3,390-20,340 และจากการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่ามี การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 1.8-3.6 เท่า เมื่อเทียบกับท่อปกติขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น 2.1-5.6 โดยเมื่อเทียบกับท่อปกติที่ใช้กำลังปั๊มเท่ากัน มีอัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ 1.3-2.3 เท่า

ในการทดลองนี้มีการศึกษาหลายกรณี โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงของครีบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (e/d) และอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (p/d) โดยจากตัวแปรที่เรานำมาศึกษาทั้งสามตัวแปรคือ อัตราส่วนความสูงของครีบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (e/d) = 3, 4, 5, 6 อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (p/d) = 5, 7.5, 10 และ มุมปะทะของครีบ (α) = 15, 22.5, 30, 37.5, 45 ค่าที่เหมาะสมในการทดลองที่นำมาใช้คือ อัตราส่วนความยาวครีบ = 4 อัตราส่วนระยะพิทช์ = 5 มุมปะทะของครีบ = 37.5 องศา โดยยิ่งอัตราส่วนความยาวครีบเพิ่มมากขึ้น ยิ่งทำให้ค่าPEC เพิ่มสูงมากยิ่งขึ้น และยังอัตราส่วนระยะพิทช์เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าPEC มีค่าลดลงตามลำดับ โดยจะมีมุมปะทะคงที่ที่ 37.5 องศา



รูปที่ 2.9 ท่อที่มีครีบบั้ววีแบบแยกกัน (ครีบไม่โค้งตามผิวท่อ)



รูปที่ 2.10 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวเลขนัสเซลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าหรือการบริการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 Nianben Zheng, Peng Liu, Feng Shan, Zhichun Liu, Wei Liu (2016) , Effects of rib arrangements on the flow pattern and heat transfer in an internally ribbed heat exchanger tube [3] ในการทดลองนี้มีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการจัดวางครีบบนต่อลักษณะการไหล และการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยในการทดลองนี้จะพิจารณาครีบบนแบบพีและแบบวี จากการทดลองเลขนัสเซลล์ท์และอัตราส่วนเสียดทานของท่อครีบบนแบบวีจะมากกว่าท่อครีบบนแบบพีอยู่ 57-76 เปอร์เซ็นต์ และ 86-94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพที่แรงดันปั๊มเดียวกันของท่อครีบบนแบบวีจะอยู่ที่ 1.32-1.74 ซึ่งมากกว่าท่อครีบบนแบบพีอยู่ 27 – 41 เปอร์เซ็นต์ เราสามารถอ้างอิงจากการทดลองได้ว่าการใช้ครีบบนแบบวีเป็นรูปแบบการไหลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า

ในการทดลองนี้จะใช้ค่าต่างๆเท่ากัน โดยเทียบความแตกต่างระหว่างการจัดรูปแบบครีบบนแบบ P และแบบ V โดยค่าเหมาะสมที่ใช้ในการทดลองคือ $P^* = 0.59$ $L^* = 0.8$ $t^* = 0.1$ $w^* = 0.2$ มุมปะทะ (α) ที่ใช้คือ 90 องศา โดยมีจำนวนครีบบน = 6 จากการทดลองเมื่อวัดจากตำแหน่งที่มีค่าเลขเรโนลด์เดียวกัน ค่าPEC (เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ) รวมถึงเลขนัสเซลล์ท์และอัตราส่วนเสียดทานของท่อครีบบนแบบ V จะมีค่าสูงกว่าท่อครีบบนแบบ P

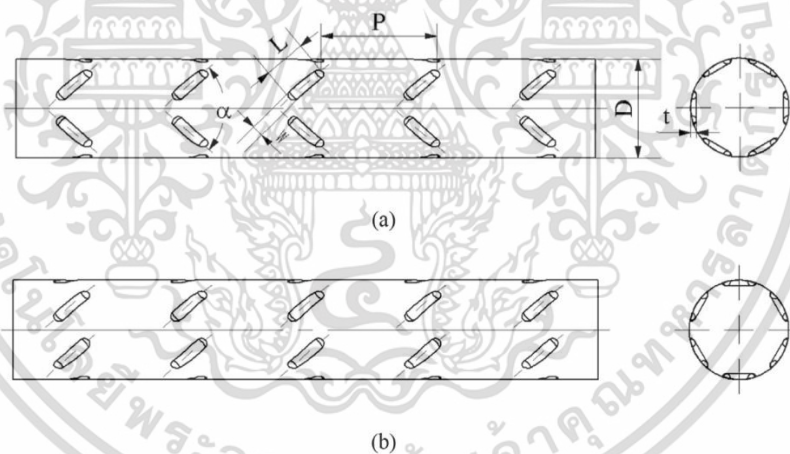


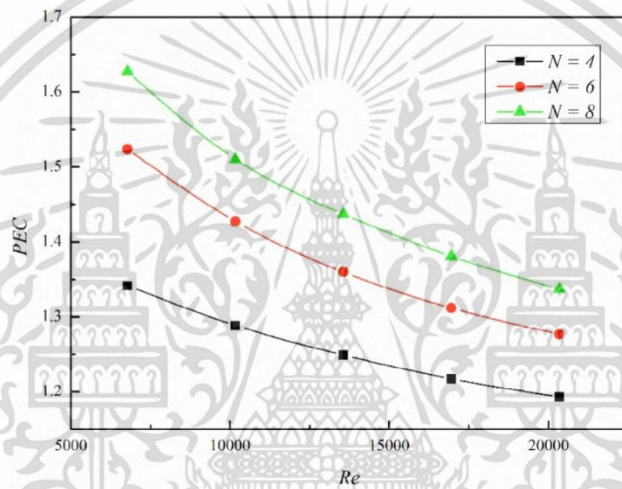
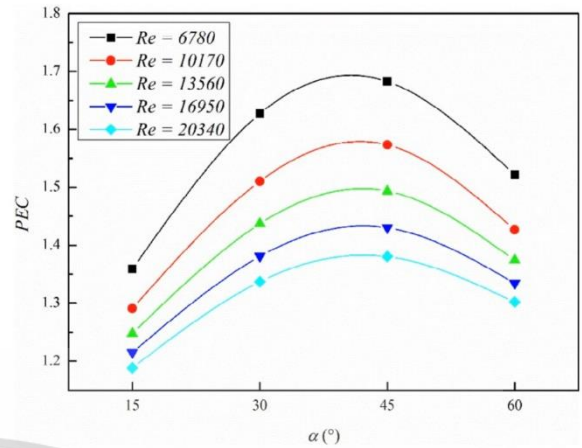
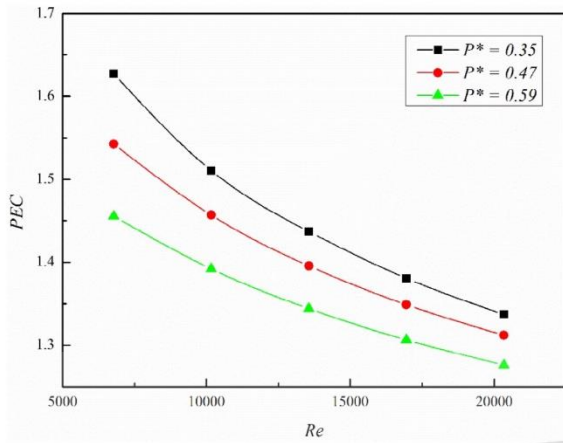
Fig. 2. Structure and configurations of the ribbed tube: (a) V-type; (b) P-type.

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของรอยกคบนท่อกลม (a) แบบวี (b) แบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Nianben Zheng, Peng Liu, Feng Shan, Zhichun Liu, Wei Liu (2016) , Numerical investigations of the thermal-hydraulic performance in a rib-grooved heat exchanger tube based on entropy generation analysis [4] ทำการคำนวณทางตัวเลขเพื่อสังเกตลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบร่องครีบกุ่ม ครีบและร่องที่มีรอยกุดแบบไม่ต่อเนื่อง โดยศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองคือ อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบ (P^*) จำนวนครีบ(N) และองศาการเอียงของครีบ (α) ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) อยู่ที่ประมาณ 1.58-2.46 ในขณะที่อัตราส่วนเสียดทาน (f/f_0) อยู่ที่ 1.82-5.03 โดยจากการประเมินประสิทธิภาพอยู่ที่ 1.19-1.68 ซึ่งในการทดลองได้วิเคราะห์การสร้างเอนโทรปีซึ่งช่วยบ่งชี้ผลกระทบของครีบร่องว่ามีประโยชน์ในทางอุณหพลศาสตร์โดยจำนวนการสร้างเอนโทรปีที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่ P^* (อัตราส่วนพิท) = 0.35, N (จำนวนครีบ) = 8 และ α (มุมของการปะทะ) = 45° ซึ่งจากค่าที่กล่าวมาจะทำให้ได้ประสิทธิภาพของผลการทดลองได้มากที่สุด

จากตัวแปรที่เรานำมาศึกษาทั้งสามตัวแปรคือ P^* (อัตราส่วนระยะพิท) = 0.35 , 0.47 , 0.59 มีจำนวนครีบ (N) = 4 , 6 , 8 และมีมุมปะทะ α = 15 , 30 , 45 , 60 โดยจากแนวโน้มของการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระยะพิทที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าPEC (เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ) มีแนวโน้มลดลง ส่วนจำนวนครีบที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าPECมีค่าลดลง และยิ่งองศาของมุมปะทะมีค่ามากขึ้นยิ่งทำให้ PEC มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 2.12 แนวโน้มของตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แบบจำลองและวิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของแบบจำลองท่อกลมโดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ของรอยกตผิวท่อครีรูปตัววี โดยคำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเป็นหลัก การหาค่าที่เหมาะสมของรอยกตผิวท่อครีรูปตัววีได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หลักๆ ดังนี้ อัตราส่วนพิตซ์ (PR), อัตราส่วนบล็อก (BR), องศาของมุมปะทะ (α)

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยเลขนัสเซลท์ (Nu), ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f), ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF), เลขเรย์โนลด์ (Re) ในการไหลแบบ Steady ในการวิจัยนี้ใช้ 4 สมการดังต่อไปนี้

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Average Nusselt Number)

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_s dA \quad (3.1)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction Factor)

$$f_{Darcy} = \frac{(\frac{\Delta p}{L})D}{\rho V_{avg}^2 / 2} \quad (3.2)$$

เมื่อ Δp คือค่าความดันตกคร่อม และ L คือความยาวช่วงหนึ่งของการไหล

ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor)

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (3.3)$$

เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

$$Re = \rho V_{avg} D / \mu \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวแปรหลักข้างต้นสามารถนำผลมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของครีบทวีวี เพื่อเป็นตัวชี้วัดรูปแบบที่เหมาะสมของครีบทวีวี โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหรือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานควรที่จะมีค่าต่ำ และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนควรจะมีค่าสูง ซึ่งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเป็นตัวชี้วัดว่าครีบทวีวีจะเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่

3.2 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณ

สำหรับการคำนวณการไหลใน 3 มิติ ขอบเขตที่ใช้มีเงื่อนไขดังนี้

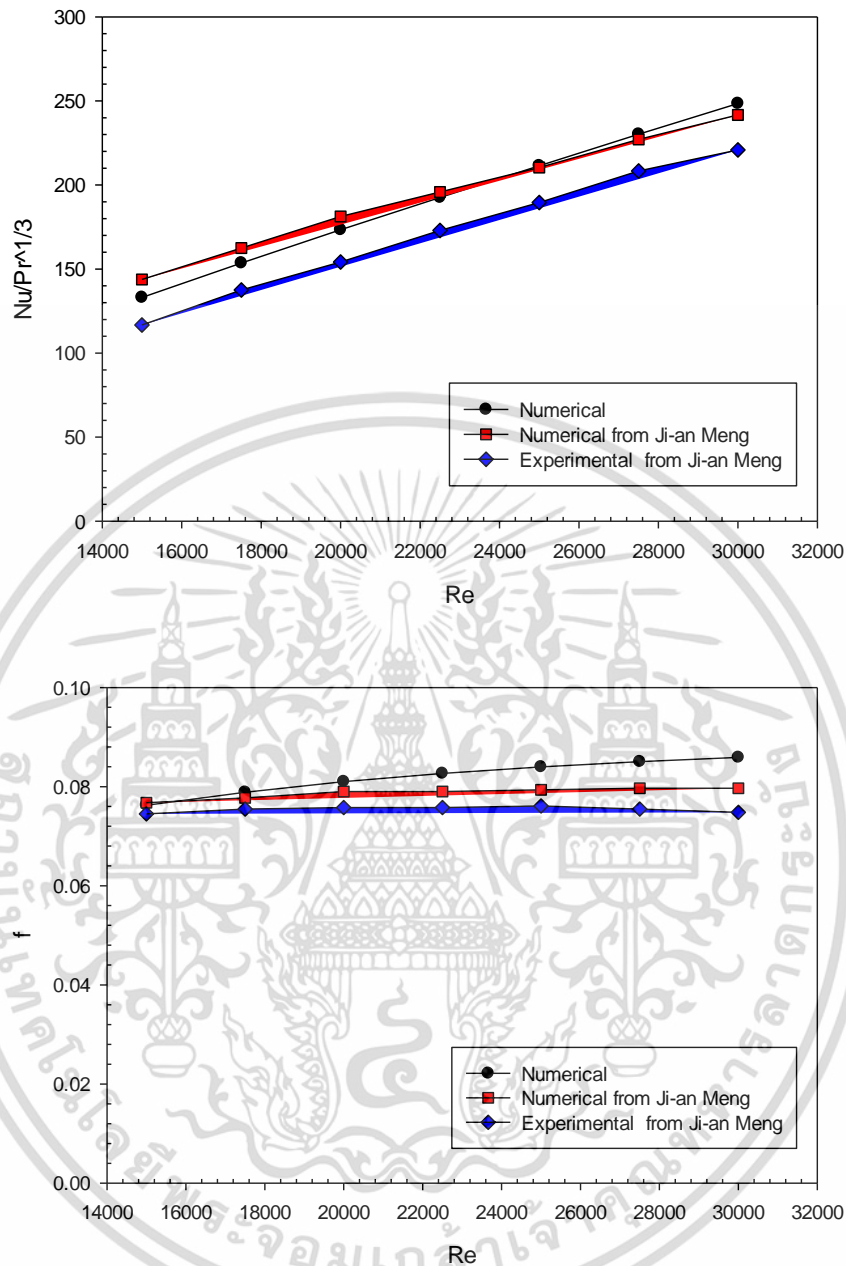
- 3.2.1 ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ
- 3.2.2 ใช้การคำนวณแบบปริมาตรสี่เหลี่ยมและวิธีการแบบ QUICK
- 3.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า
- 3.2.4 ทำการศึกษาเรย์โนลด์ในช่วง 3,000 ถึง 15,000
- 3.2.5 กำหนดให้ผนังของวงกลมมีค่าอุณหภูมิผิวที่คงที่ 310 K
- 3.2.6 จำนวนของครีบทวีวีเบื้องต้นเท่ากับ 4 ตัว
- 3.2.7 ความยาวของครีบทวีวีเท่ากับ 20 มิลลิเมตร
- 3.2.8 ความกว้างของครีบทวีวีเบื้องต้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร
- 3.2.9 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร
- 3.2.10 อัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5
- 3.2.11 อัตราส่วนบล็อกเท่ากับ 0.05, 0.075 และ 0.1
- 3.2.12 มุมของการปะทะเท่ากับ 30° และ 45°
- 3.2.13 ความกว้างของครีบทวีวีแบบปรับปรุงเท่ากับ 2%, 3%, 4.5%, 6% และ 7.5%
- 3.2.14 จำนวนของครีบทวีวีแบบปรับปรุงเท่ากับ 2, 3, 4, 5 และ 6 ครีบทวีวี
- 3.2.15 ระยะห่างระหว่างปลายครีบทวีวี 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร

3.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข

ในการทำการทดลองโดยแบบจำลองเชิงตัวเลขนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองที่ใช้เสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขมีความถูกต้องและแม่นยำ โดยเลือกการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับงานวิจัยของ Ji-an Meng [5] ลักษณะของรอยกุดเป็นรูป capsule มีอัตราส่วน $BR = 0.02$, $PR = 0.32$ เปรียบเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วน RNG k- ϵ ใช้กระบวนการแบบ QUICK มีค่าใกล้เคียงที่สุด ได้ผลดังรูปที่ 3.1

ซึ่งการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขและผลจากการทดลองของ Ji-an Meng [5] พบว่ามีการคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองไม่เกิน 15% และมีการคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองเชิงตัวเลขของ Ji-an Meng [5] ไม่เกิน 10% ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังนั้นแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้จึงเหมาะสมกับการนำไปทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กราฟเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองปั่นป่วนและผลจากการทดลองของ Ji-an Meng [5]

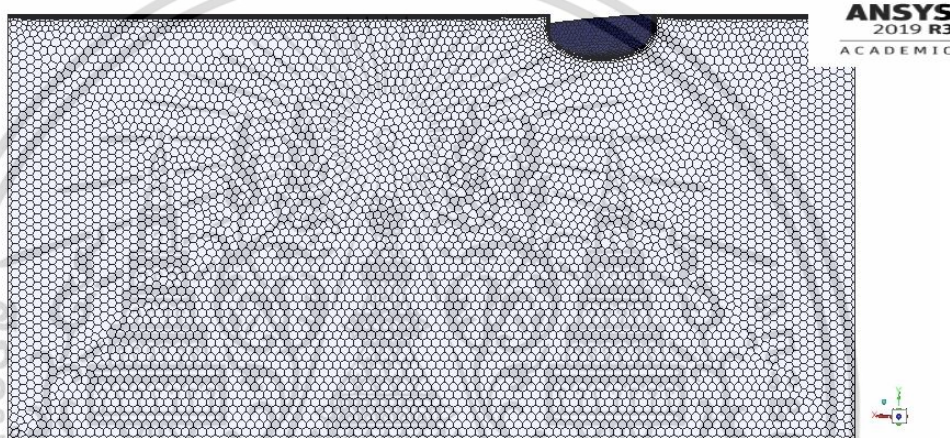
3.4 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม

รูปแบบกริดเซลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการแบ่งกริดเซลล์แบบสม่ำเสมอ (Uniform fine grid) เป็นเซลล์รูปทรงแบบ poly-hexacore ซึ่งพิจารณาบริเวณกริดเซลล์ที่ติดผนังให้มีจำนวนกริดเซลล์ที่หนาแน่น และบริเวณที่ห่างจากผนังมีจำนวนกริดเซลล์ที่มีความหนาแน่นเบาบางลงตามลำดับ

ส่วนการตรวจสอบจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสมนั้นทำได้โดยการหาจำนวนกริดเซลล์ที่มีผลต่อเลขนัสเซลล์ต์และค่าความดันตกคร่อม โดยการเปรียบเทียบเลขนัสเซลล์ต์และค่าความดันตกคร่อมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณผลมาจากจำนวนกริดเซลล์ที่ต่างกัน โดยกำหนดความยาวของครีบทัววี (l) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ความกว้างของครีบทัววี (w) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวนของครีบทัววี เท่ากับ 4 ตัว ค่าอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) เท่ากับ 0.05 ค่าอัตราส่วนพิตช์ (PR) เท่ากับ 1 ค่ามุมของการปะทะ (α) เท่ากับ 45° และมีเลขเรย์โนลด์ (Re) เท่ากับ 5,000 พิจารณาจากความคลาดเคลื่อนของค่า เลขนัสเซิลท์และค่าความดันตกคร่อม ซึ่งทั้งสองค่าต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้จำนวนกริดเซลล์ที่ 100,000 สำหรับอัตราส่วนพิตช์ (PR) ที่ 0.5, 200,000 สำหรับอัตราส่วนพิตช์ (PR) ที่ 1, 400,000 สำหรับอัตราส่วนพิตช์ (PR) ที่ 1.5 และไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนกริดเซลล์ที่มากกว่านี้เพื่อเป็นการลดภาระในการคำนวณให้น้อยลง



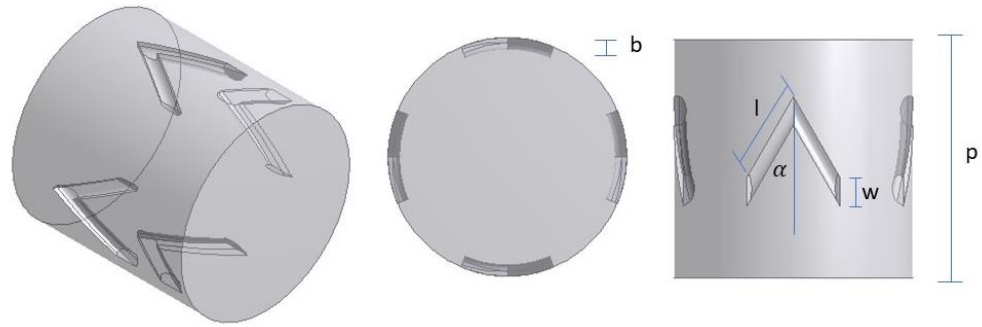
รูปที่ 3.2 รูปร่างของกริดเซลล์

3.5 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

3.5.1 ลักษณะเบื้องต้นของครีบทัววี

ก่อนจะทำการศึกษาวิจัย ต้องมีการหาลักษณะเบื้องต้นของครีบทัววีที่เหมาะสมในการศึกษาก่อน ลักษณะเบื้องต้นที่จะทำการเลือกในเบื้องต้น คือ ความยาวของครีบทัววี (l) ความกว้างของครีบทัววี (w) และจำนวนของครีบทัววี (n) โดยกำหนดค่า ดังนี้

1. จำนวนของครีบทัววีเท่ากับ 4 ตัว
2. ความยาวของครีบทัววีเท่ากับ 20 มิลลิเมตร
3. ความกว้างของครีบทัววีเท่ากับ 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตครีบริบตัววี

3.5.2 รอยกตครีบริบตัววีแบบพื้นฐาน

ในการศึกษาครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาครีบริบตัววีแบบพื้นฐาน โดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ

ดังนี้

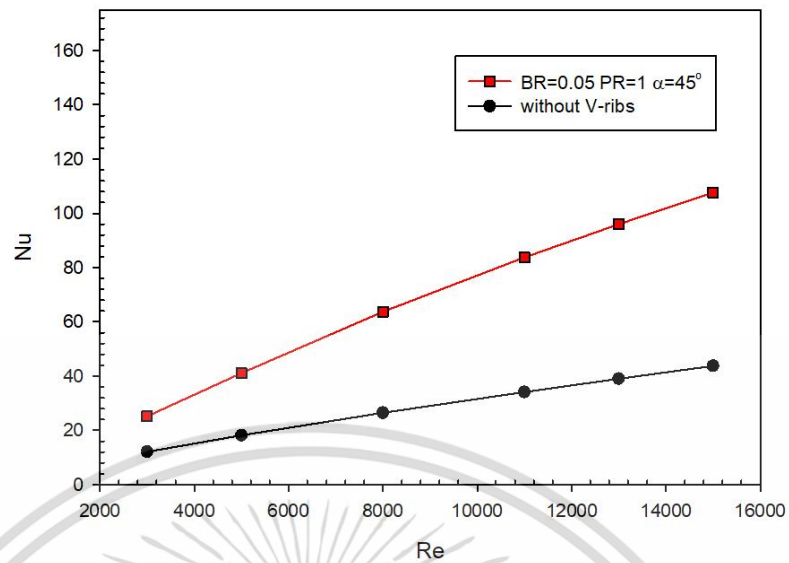
1. อัตราส่วนส่วนพิทช์ (PR, p/d) = 1.0
2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
4. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อกลม (d) = 50 มิลลิเมตร

โดย b คือ ความลึกของครีบริบตัววี , p คือ ระยะห่างระหว่างครีบริบตัววี

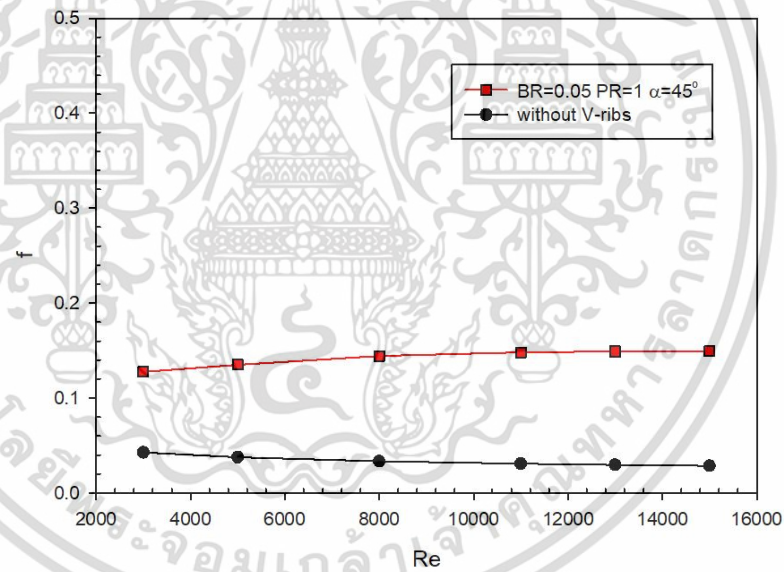


รูปที่ 3.4 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตครีบริบตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

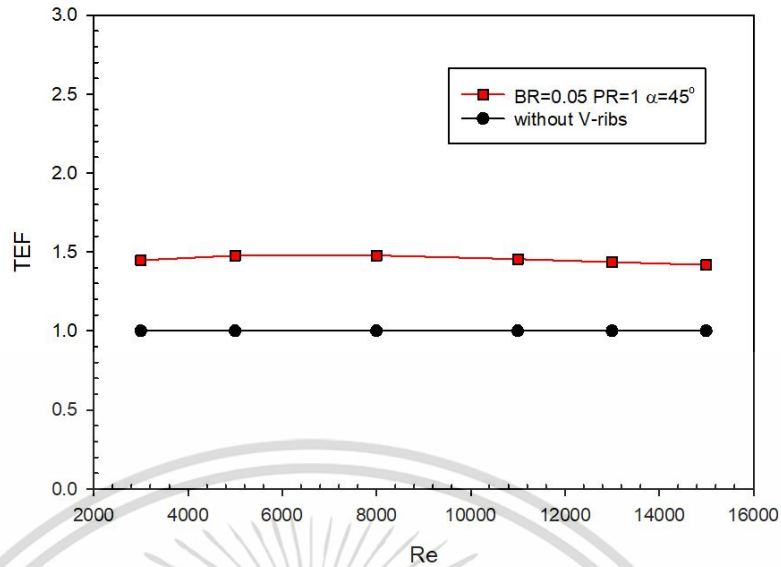


รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบทวีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$



รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบทวีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบทัววีแบบพื้นฐาน ที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$

จากการศึกษารอยกดครีบทัววีแบบพื้นฐาน พบว่าเมื่อกดรอยกดครีบทัววีแบบพื้นฐานจะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและทำลายชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal Boundary Layer) จึงส่งผลให้การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลและผนังท่อที่มีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ อย่างไรก็ตามรอยกดครีบทัววีส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ยังได้ค่าที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ของรอยกดครีบทัววีเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานและเพื่อให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

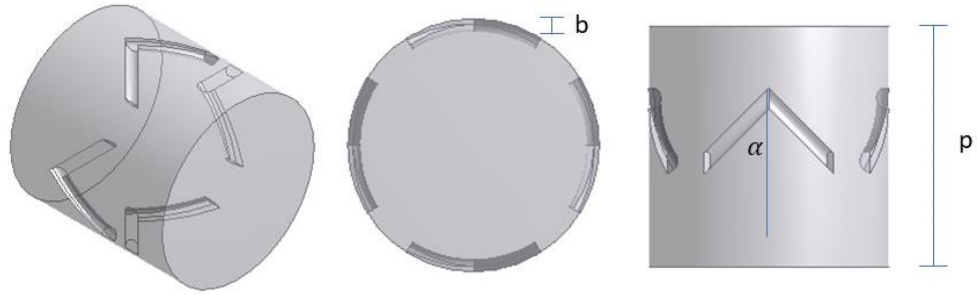
3.5.3 รอยกดครีบทัววีแบบปรับปรุงอัตราส่วนบล็อก

การศึกษาอิทธิพลของความสูงของครีบทัววี ในรูปของอัตราส่วนบล็อก มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมให้มีค่าลดลงจากครีบทัววีแบบพื้นฐาน โดยปรับเปลี่ยนความสูงของครีบทัววีจาก PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

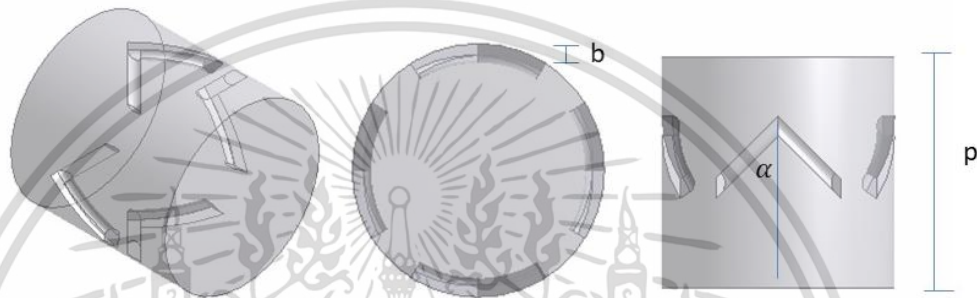
1. อัตราส่วนส่วนพิทช์ (PR, p/d) = 1.0
2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05 , 0.075 , 0.1
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม (d) = 50 มิลลิเมตร

โดย b คือ ความลึกของครีบทัววี , p คือ ระยะห่างระหว่างครีบทัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตครีบ
ตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$

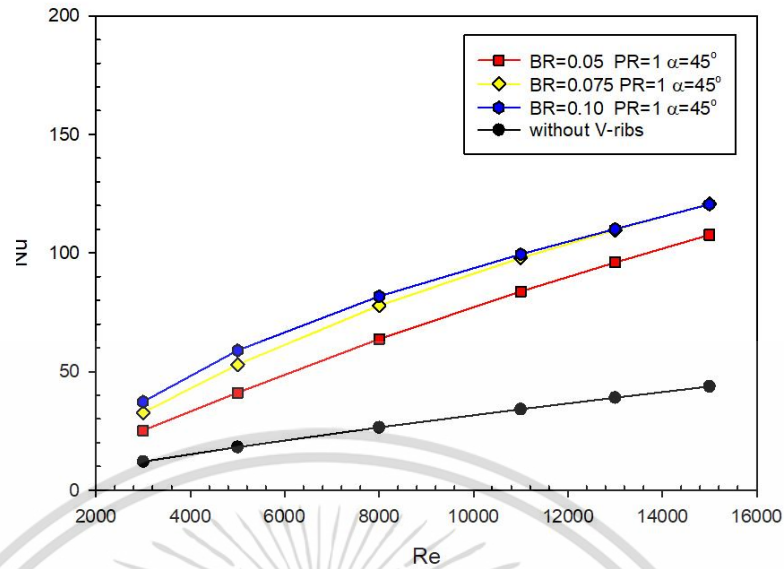


รูปที่ 3.9 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตครีบ
ตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.075$ และ $\alpha=45^\circ$

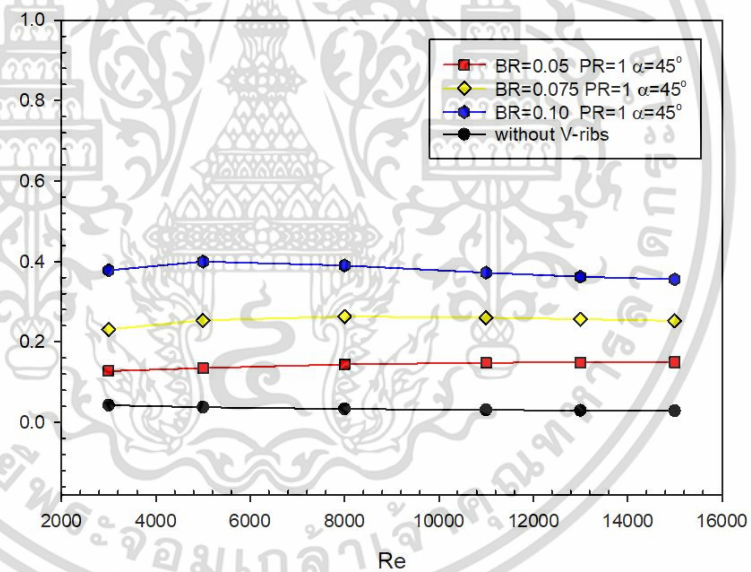


รูปที่ 3.10 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตครีบ
ตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.1$ และ $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

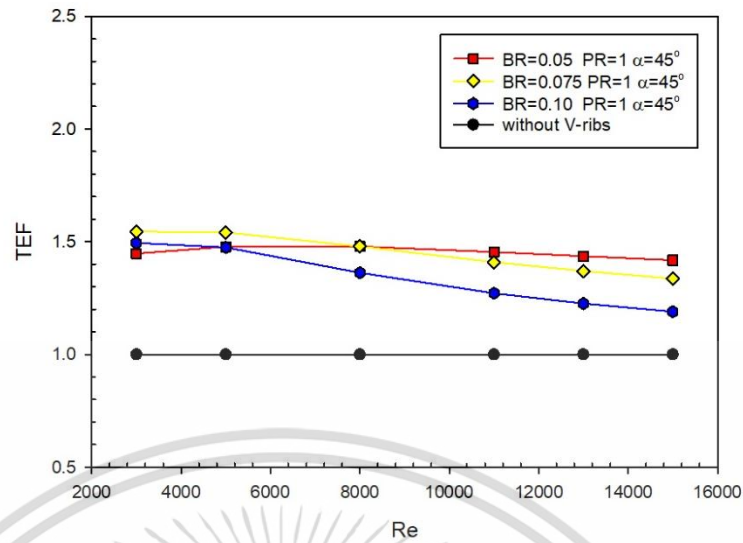


รูปที่ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่ PR=1, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง BR=0.05, BR=0.075 และ BR=0.1



รูปที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่ PR=1, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง BR=0.05, BR=0.075 และ BR=0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



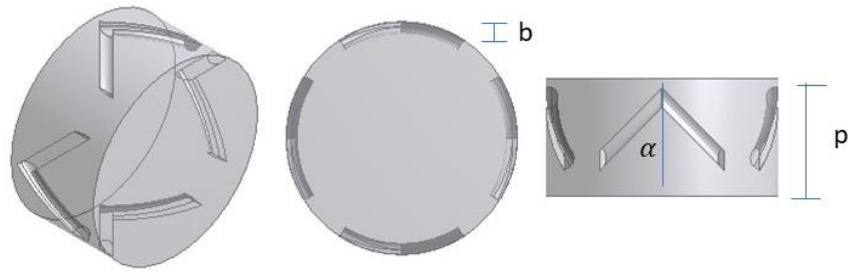
รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่ PR=1, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง BR=0.05, BR=0.075 และ BR=0.1

เมื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนบล็อกของครีบริบตัววี พบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีอัตราส่วนบล็อกน้อย จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่า และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีอัตราส่วนบล็อกมากกว่า

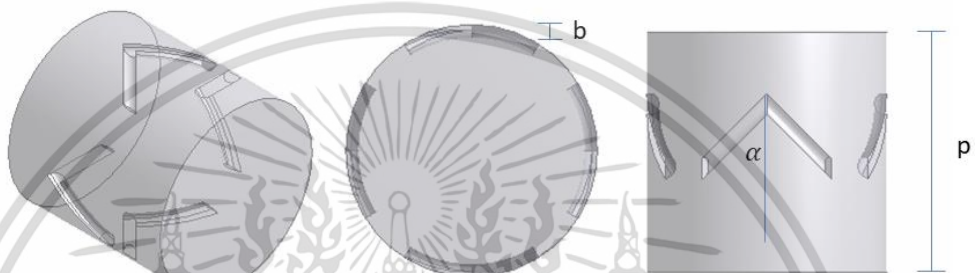
3.5.4 รอยกดครีบริบตัววีแบบปรับปรุงอัตราส่วนพิตช์

การศึกษาอิทธิพลของระยะพิตช์ของครีบริบตัววี ในรูปของอัตราส่วนพิตช์ เพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นจากครีบริบตัววีแบบพื้นฐาน โดยปรับเปลี่ยนระยะห่างของครีบริบตัววีจาก PR=1, BR=0.05, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR, p/d) = 0.5 , 1.0 , 1.5
 2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05
 3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
 4. เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม (d) = 50 มิลลิเมตร
- โดย b คือ ความลึกของครีบริบตัววี , p คือ ระยะห่างระหว่างครีบริบตัววี



รูปที่ 3.14 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบ
ตัววี่ที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$

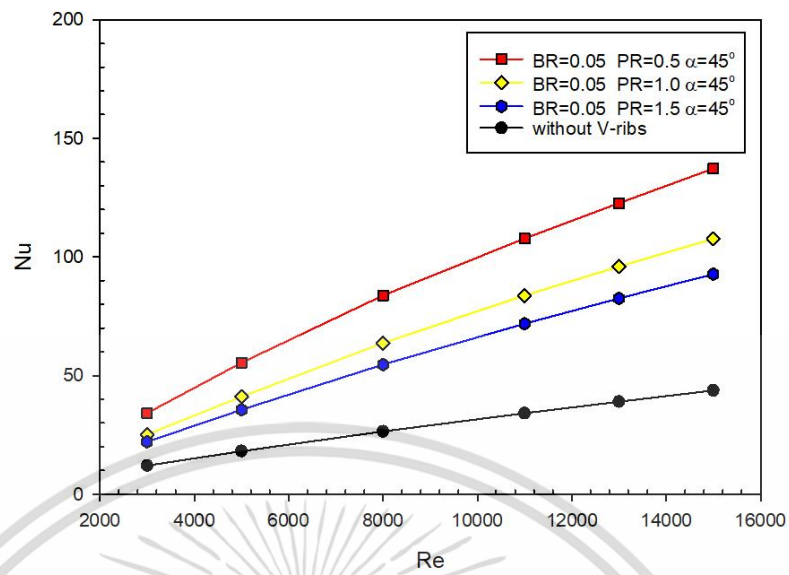


รูปที่ 3.15 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบ
ตัววี่ที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$

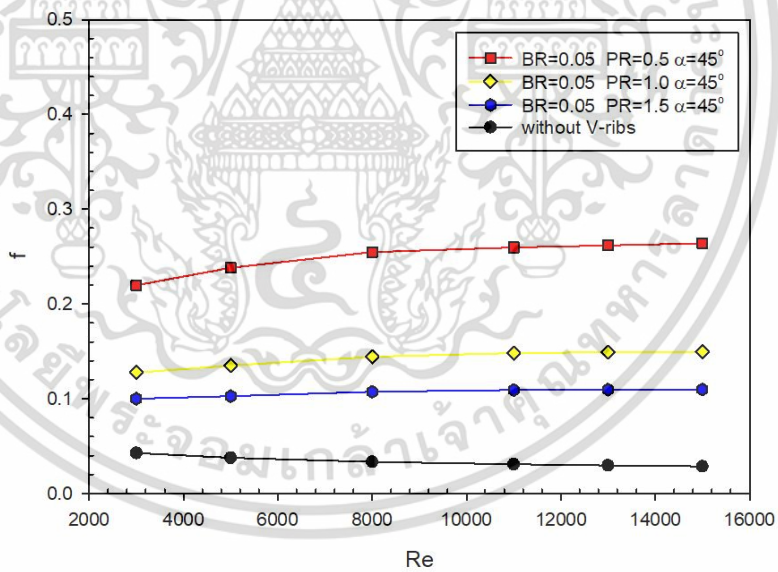


รูปที่ 3.16 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบ
ตัววี่ที่ $PR=1.5$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

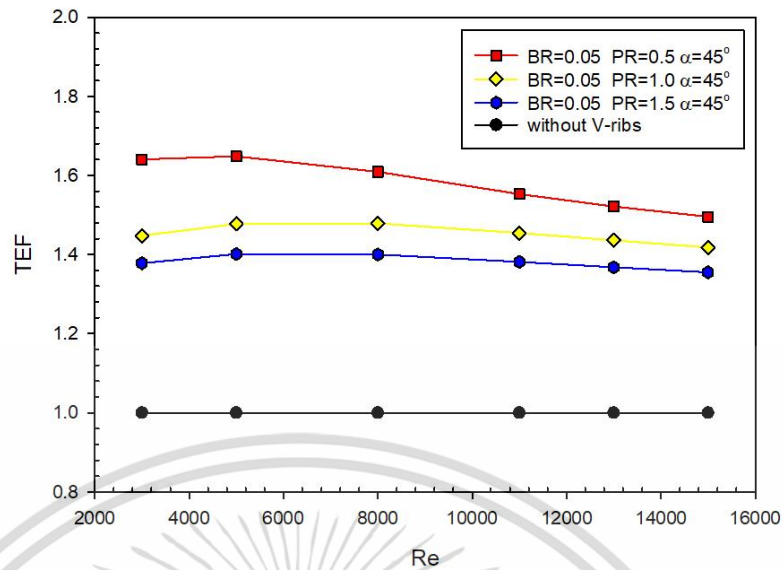


รูปที่ 3.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกตศรียบตัววี่ที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$



รูปที่ 3.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกตศรียบตัววี่ที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัวที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1.0$ และ $PR=1.5$

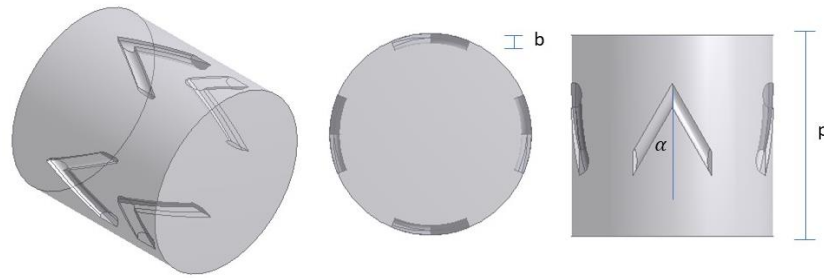
เมื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตช์ของครีบริบตัว พบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัวที่มีอัตราส่วนพิตช์น้อย จะมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลและผนังท่อที่มีค่ามากขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานยังมีค่าสูง และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัวที่มีอัตราส่วนพิตช์มาก

3.5.5 รอยกดครีบริบตัวแบบปรับปรุงมุมปะทะ

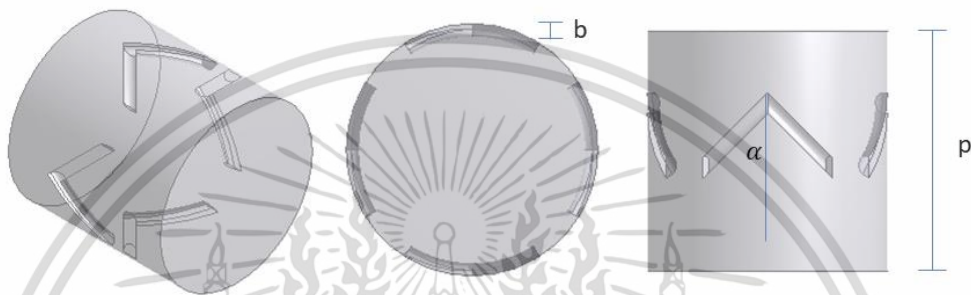
การศึกษาค่าอิทธิพลของมุมปะทะของครีบริบตัว (α) เพื่อลดความดันตกคร่อม และเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนจากครีบริบตัวแบบพื้นฐาน โดยปรับเปลี่ยนระยะห่างของครีบริบตัวจาก $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ ($PR, p/d$) = 1.0
2. อัตราส่วนบล็อก ($BR, b/d$) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = $30^\circ, 45^\circ$
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลม (d) = 50 มิลลิเมตร

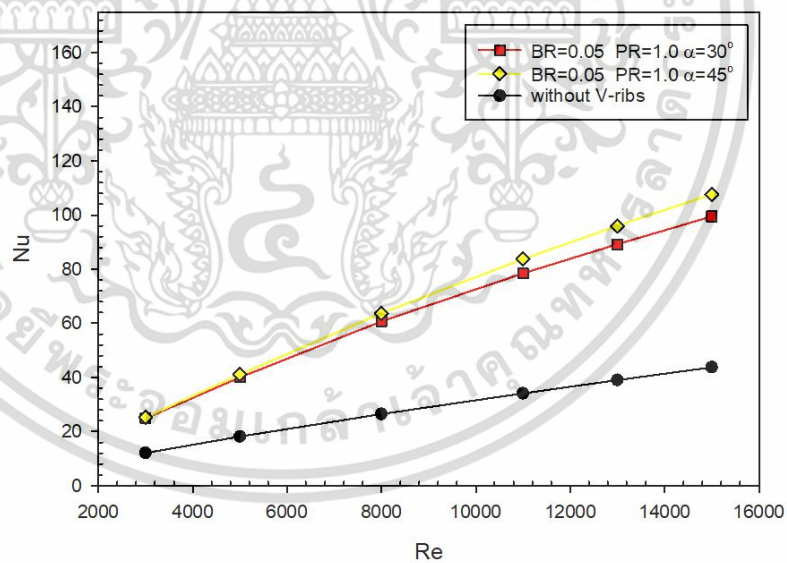
โดย b คือ ความลึกของครีบริบตัว , p คือ ระยะห่างระหว่างครีบริบตัว



รูปที่ 3.20 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบ
ตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=30^\circ$

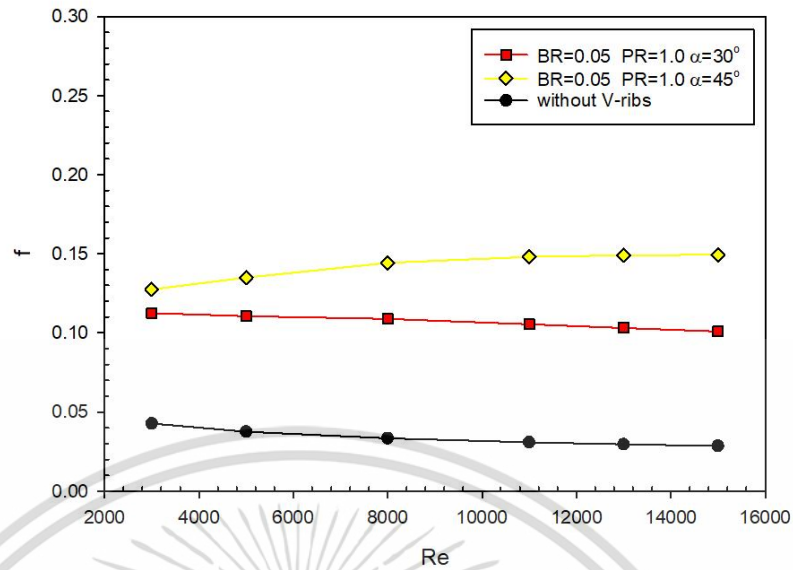


รูปที่ 3.21 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบ
ตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$ และ $\alpha=45^\circ$

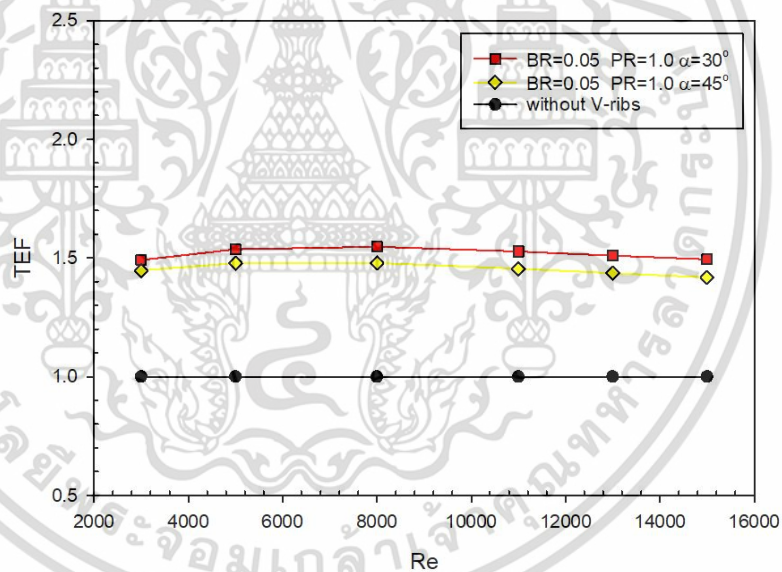


รูปที่ 3.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีที่ $BR=0.05$, $PR=1$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่ BR=0.05, PR=1 ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$

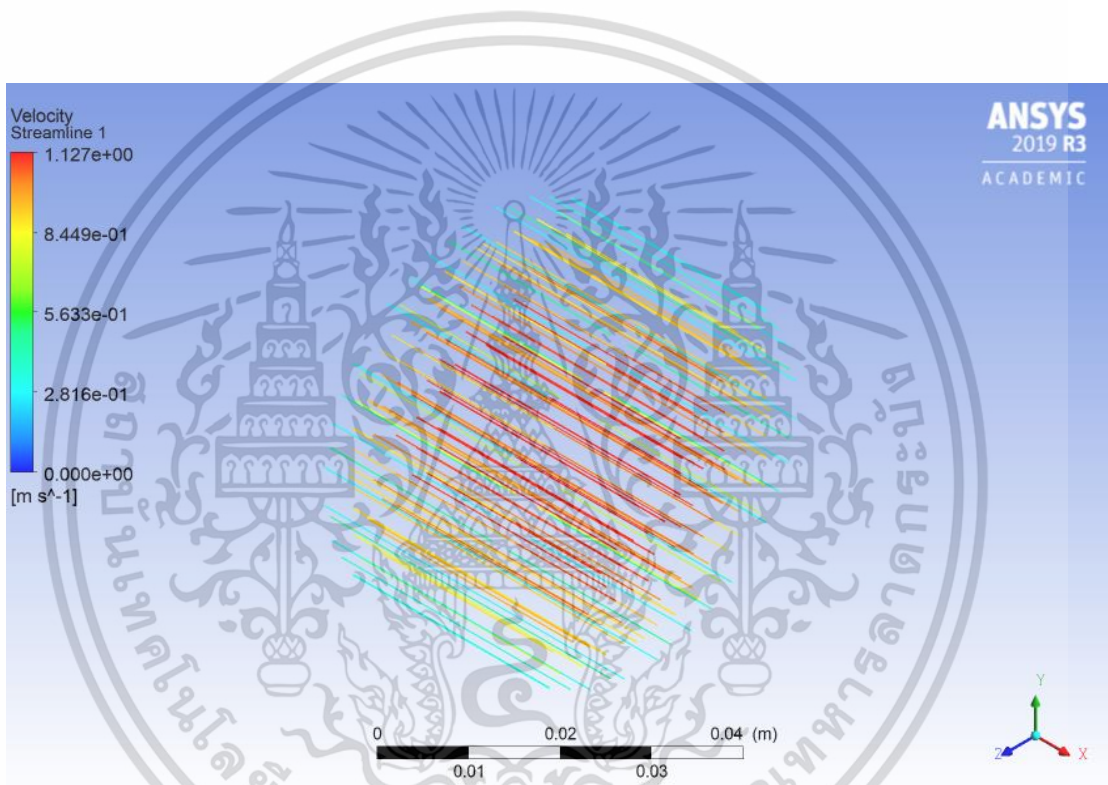


รูปที่ 3.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่ BR=0.05, PR=1 ระหว่าง $\alpha=30^\circ$ และ $\alpha=45^\circ$

เมื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะ พบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีมุมของการปะทะน้อย จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยกว่า และ สมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีมุมปะทะมากกว่า

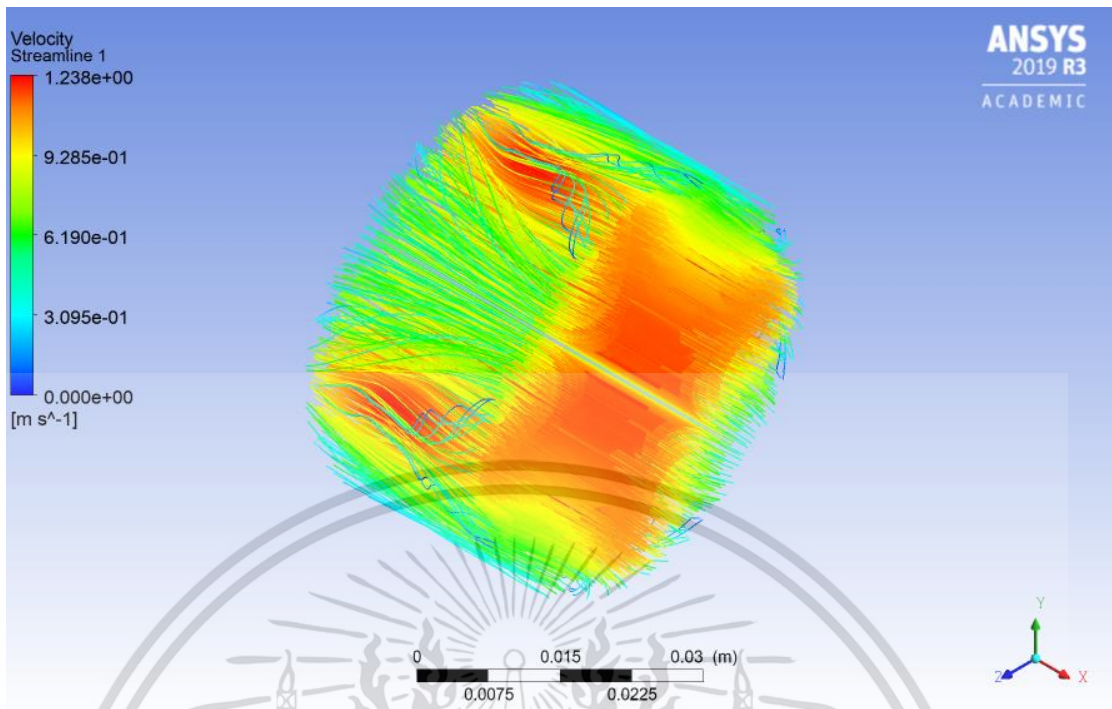
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ของรอยกดครีบทัววีทำให้ทราบว่า รอยกดครีบทัววีที่มีอัตราส่วน บล็อกการไหลน้อย ($BR=0.05, 0.075, 0.1$) จะช่วยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อได้ดี รอยกดครีบทัววีที่มีอัตราส่วนพิทซ์น้อย ($PR=0.5, 1.0, 1.5$) จะช่วยทำให้ของไหลไหลแบบปั่นป่วนได้มากขึ้นแต่ก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน และรอยกดครีบทัววีที่มีมุมของการปะทะน้อย ($\alpha=30^\circ, 45^\circ$) จะช่วยลดตัวสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากการศึกษารูปแบบของรอยกดครีบทัววีพบค่าที่เหมาะสมคือ $PR=0.5, BR=0.05, \alpha=30^\circ$ ซึ่งมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.755 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ 3000

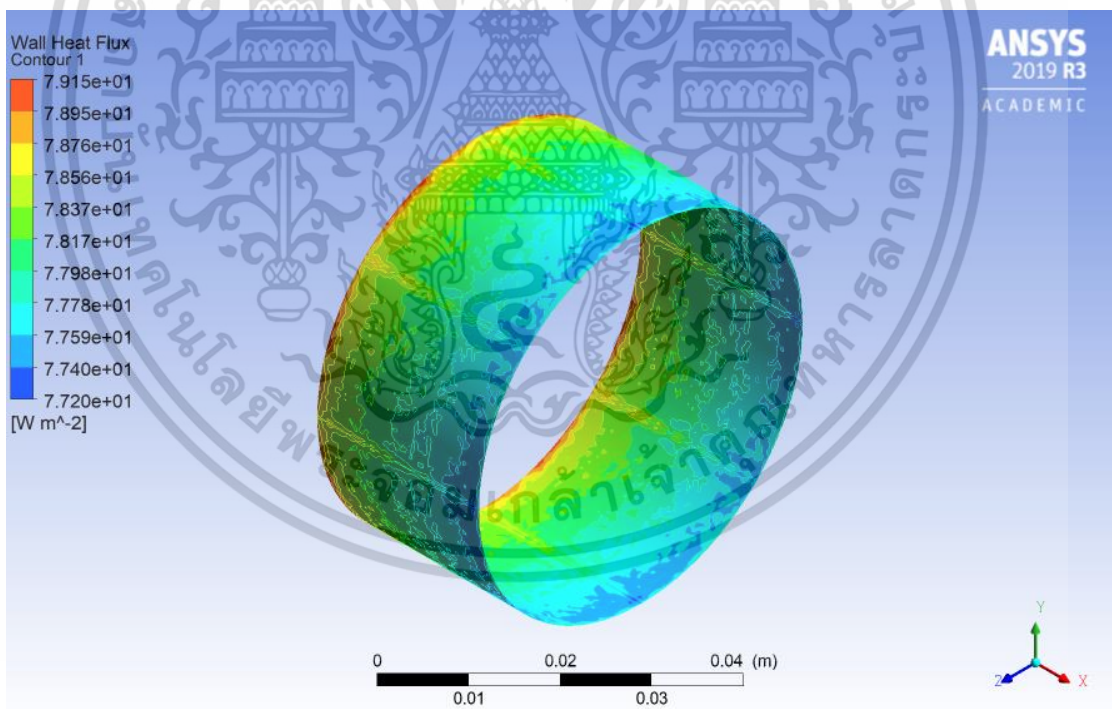


รูปที่ 3.25 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อกลมที่ไม่มีรอยกดครีบทัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

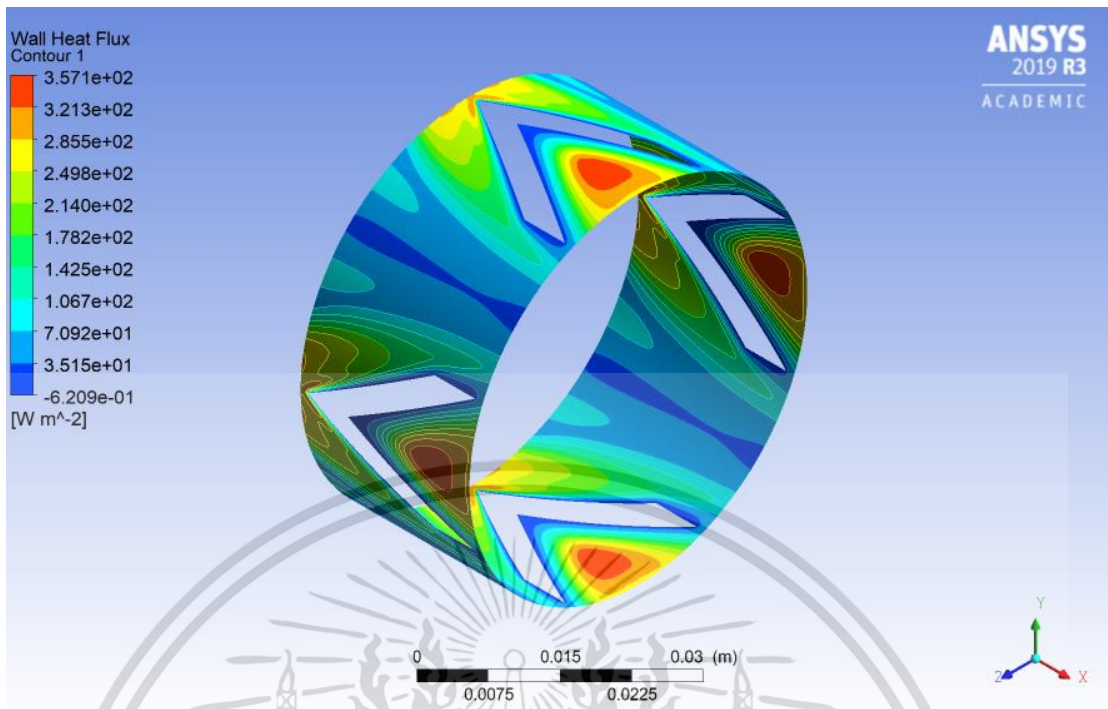


รูปที่ 3.26 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อกลมที่มีรอยกดครึ่งตัววี



รูปที่ 3.27 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมไม่มีรอยกดครึ่งตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกตคริสต้ววี

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม

3.6.2 กำหนดลักษณะและรูปร่างของคริสต้ววีโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำการตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสมเทียบกับผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตที่มีการกตท่อบรรูปแบบต่างๆ

3.6.3 สร้างแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบทางพลศาสตร์ของไหลพร้อมกับเลือกขนาดและจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม

3.6.4 คำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ โดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ Re, PR ,BR, มุมปะทะ โดยจัดวางคริสต้ววีแบบซี่ทวนกระแสการไหล

3.6.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณโดยเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และ ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ด้วยการสร้างกราฟเปรียบเทียบและปรับปรุงคริสต้ววีให้ดีขึ้น

3.6.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

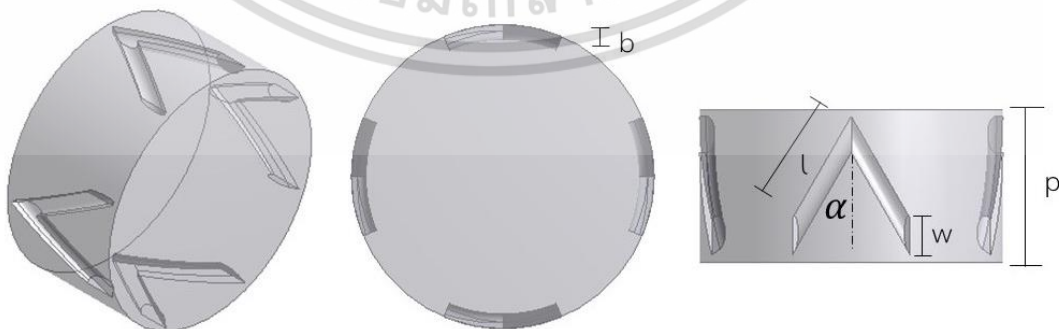
บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ท่อที่มีรอยกตศรีบตัววีสามารถช่วยเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น แต่ก็ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นเช่นเดียวกัน จึงเป็นที่มาของการปรับปรุงรูปแบบศรีบตัววี ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS (FLUENT) student R3 2019 โดยจะทำการปรับปรุงรูปแบบของศรีบตัววีและเพิ่มเงื่อนไขการคำนวณขึ้นโดยจะทำการเปลี่ยนความกว้างของศรีบตัววี จำนวนศรีบตัววีและเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายศรีบตัววี เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของรอยกตศรีบตัววีบนท่อกลมให้ดียิ่งขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการประเมินผลของค่าต่างๆและง่ายต่อการศึกษางานวิจัย โดยจะแสดงผลที่ได้ทั้งแบบปรับปรุงขนาดศรีบในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) กราฟความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) และจะอธิบายถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างหลังปรับปรุงศรีบตัววีว่าเกิดผลอย่างไรและสรุปผลตัวแปรที่เหมาะสมจากการศึกษา

4.1 การปรับปรุงศรีบตัววีโดยการเปลี่ยนความกว้างของศรีบตัววี

โดยการปรับปรุงขนาดของความกว้างของศรีบตัววี (w) ซึ่งจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนี้ 2% (1mm.), 3% (1.5mm.), 4.5% (2.25mm.), 6% (3mm.) และ 7.5% (3.75mm.)



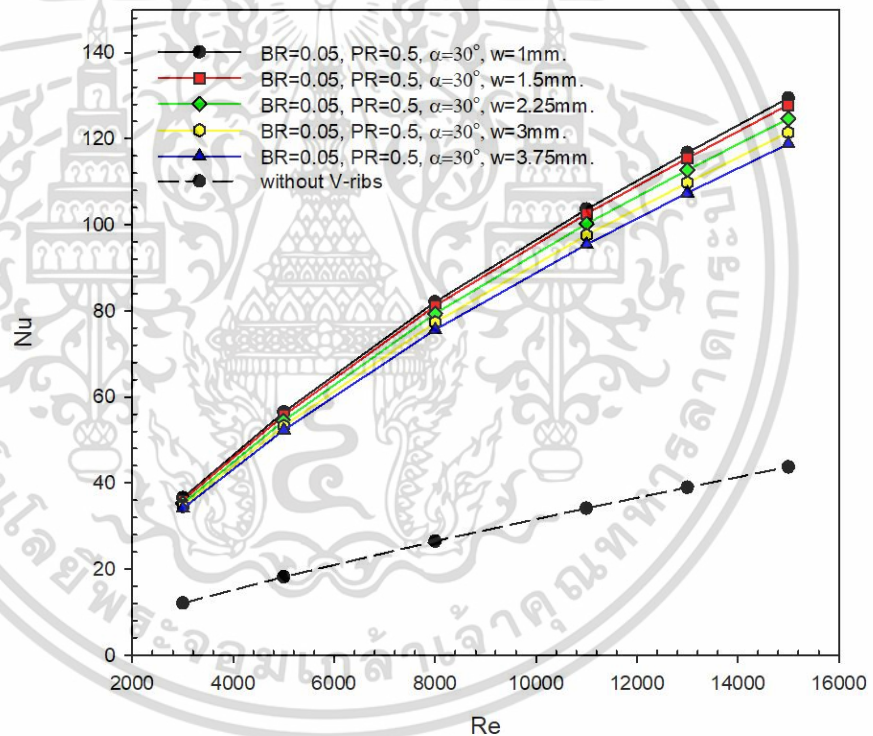
รูปที่ 4.1

แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านหน้าและภาพด้านบนของท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha = 30^\circ$, $w=3$ mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

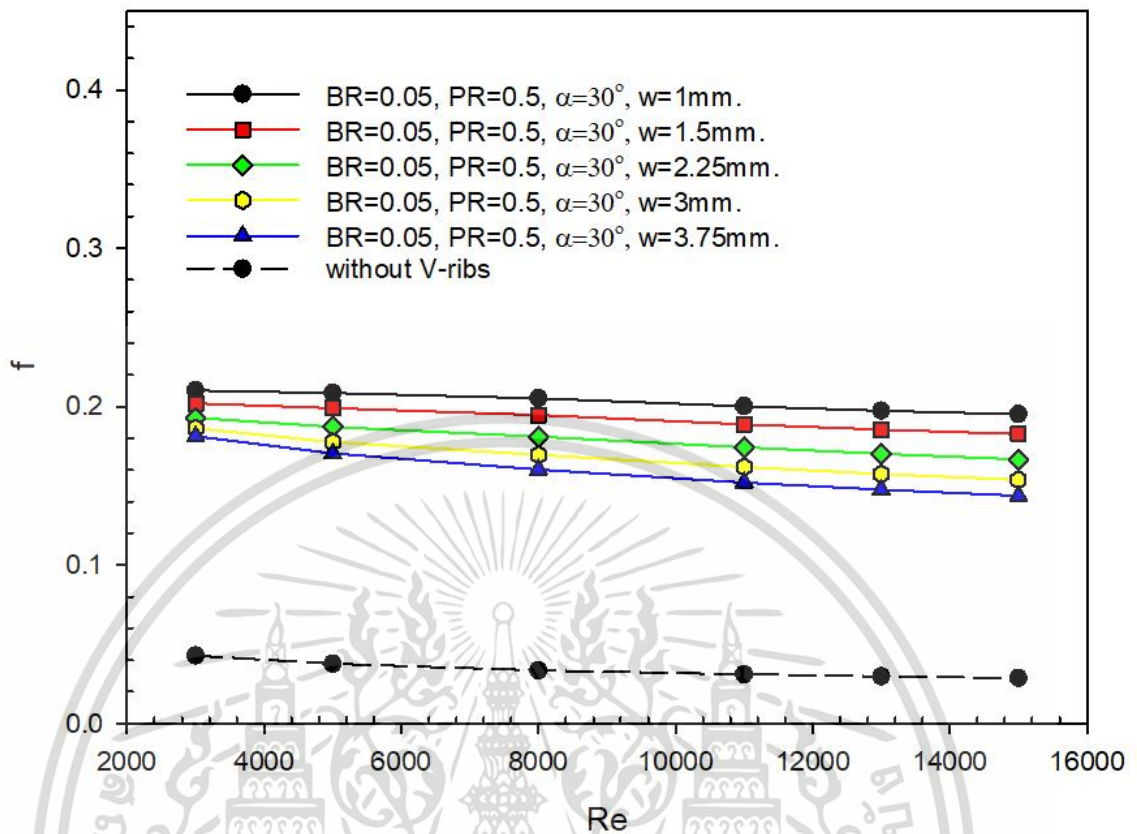
การศึกษาอิทธิพลของความกว้างของครีบทวี มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้มีค่าสูงขึ้น โดยการปรับความกว้างของครีบทวี มีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนพิทช์ (PR, p/d) = 0.5
2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°
4. ความยาวของครีบทวี (l) = 20 mm.
5. ความกว้างของครีบทวี (w) = 1 mm. , 1.5 mm. , 2.25 mm. , 3 mm. , 3.75 mm.
6. จำนวนครีบทวี (n) = 4
7. พื้นที่หน้าตัดของท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) = 50 mm.



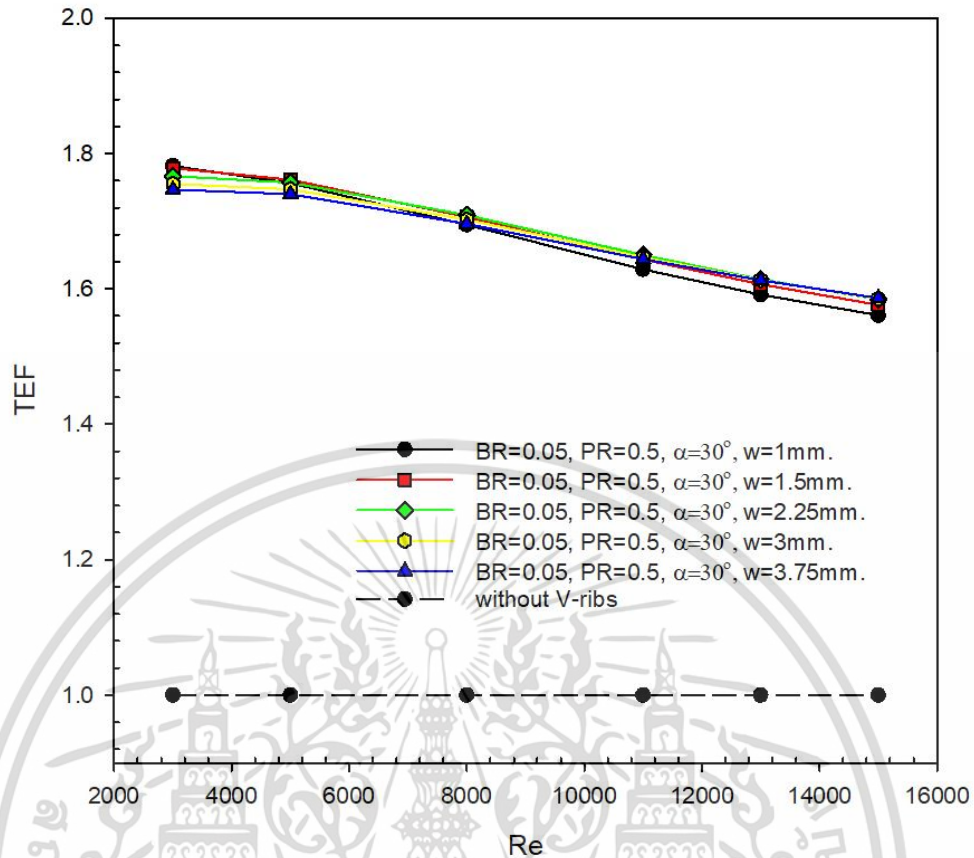
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกตครีบทวีที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm. , 1.5 mm. , 2.25 mm. , 3 mm. , 3.75 mm. ที่ BR=0.05, PR=0.5, $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยยกดรีบตัววีที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm. , 1.5 mm. , 2.25 mm. , 3 mm. , 3.75 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบตัววีที่มีการปรับขนาดความกว้าง 1 mm., 1.5 mm., 2.25 mm., 3 mm., 3.75 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$

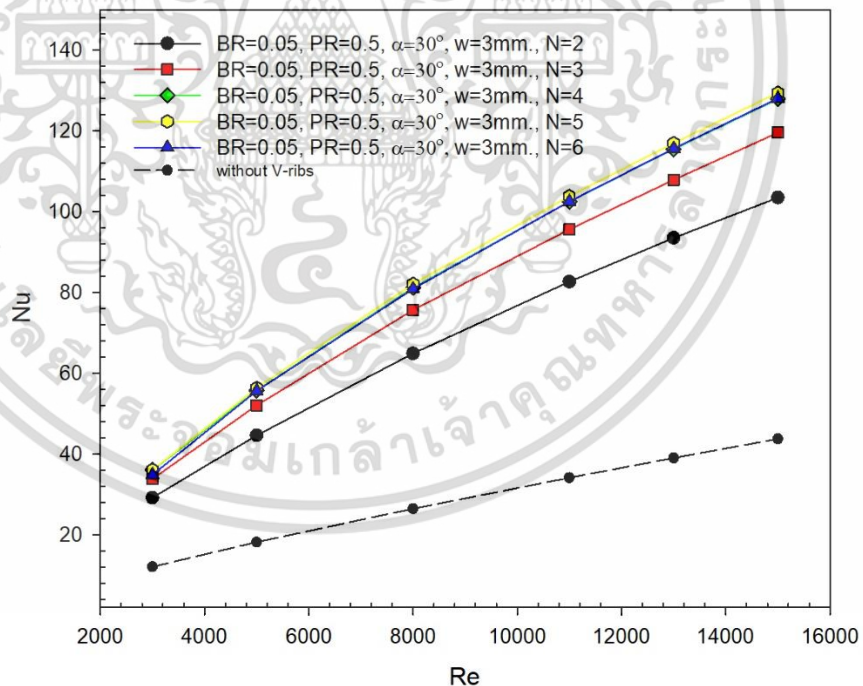
เมื่อศึกษาอิทธิพลของความกว้างของครีบตัววี พบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบตัววีที่มีความกว้างของครีบตัววีน้อย จะมีค่า Nu และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากกว่าเดิมเล็กน้อย สมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่หากลดความกว้างต่ำเกินไป ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะลดลงจากการศึกษาจึงเลือกค่าความกว้างของครีบตัววีที่มีสมรรถนะเชิงความร้อนโดยรวมที่ดีที่สุด คือ 1.5 mm. (3% โดยเทียบกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง)

4.2 การปรับปรุงครีบทวีโดยการเปลี่ยนจำนวนครีบทวี

โดยการปรับปรุงจำนวนของครีบทวี (n) ซึ่งเป็นจำนวนครีบทวีรอบเส้นรอบวงของท่อกลม ดังนี้ จำนวนครีบทวี 2, 3, 4, 5 และ 6 ตัว

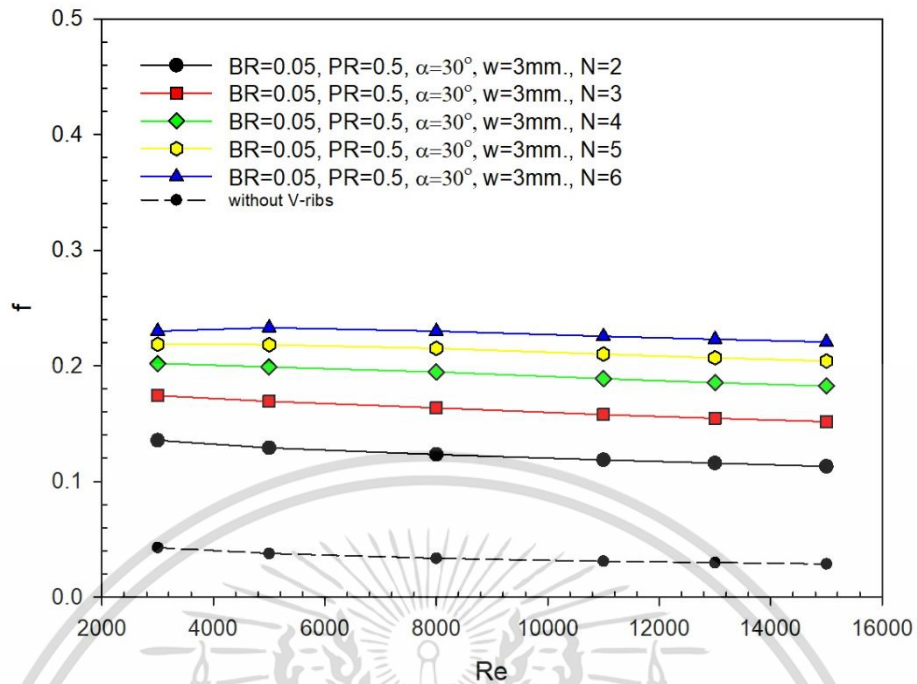
การศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบทวี มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้มีค่าสูงขึ้น โดยการปรับจำนวนครีบทวี มีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนพิตช์ (PR, p/d) = 0.5
2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°
4. ความยาวของครีบทวี (l) = 20 mm.
5. ความกว้างของครีบทวี (w) = 1.5 mm.
6. จำนวนครีบทวี (n) = 2, 3, 4, 5 และ 6 ครีบทวี
7. พื้นที่หน้าตัดของท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) = 50 mm.

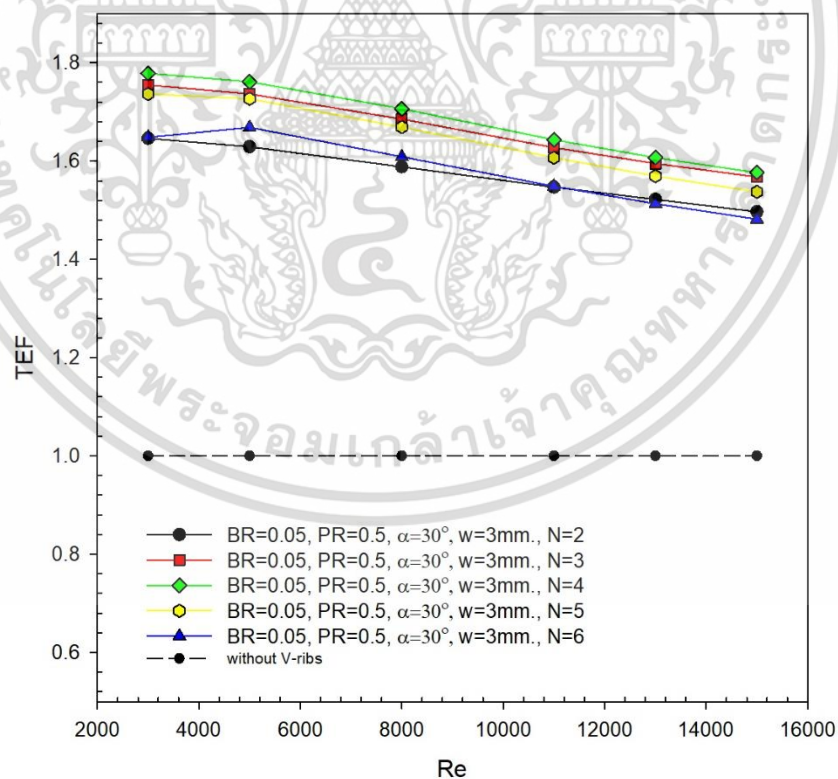


รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกตครีบทวีที่มีการปรับจำนวนครีบทวี 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกตครีบริบตัววีที่มีการปรับจำนวนครีบริบตัววี 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$



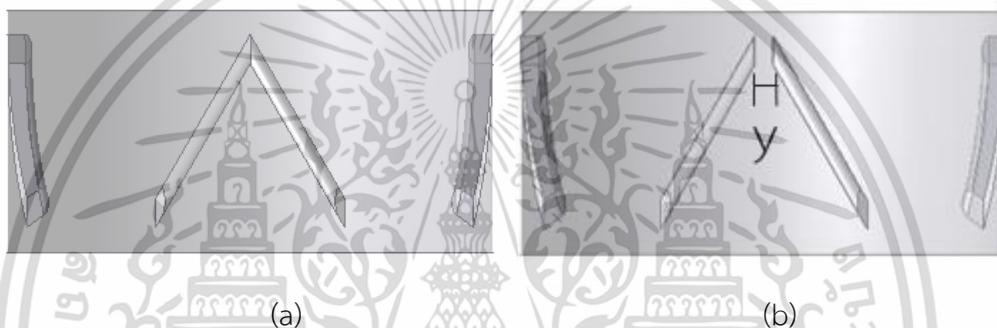
รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกตครีบริบตัววีที่มีการปรับจำนวนครีบริบตัววี 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนครีบทัว พบว่าท่อกลมที่มีรอยกตครีบทัวที่มีจำนวนครีบทัวมาก จะมีค่า Nu และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงขึ้น สมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้น แต่หากเพิ่มจำนวนครีบทัวมากเกินไป ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะลดลง จากการศึกษาจึงเลือกจำนวนครีบทัวที่มีสมรรถนะเชิงความร้อนโดยรวมที่ดีที่สุด คือ 4 ครีบ

4.3 การปรับปรุงครีบทัวโดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว

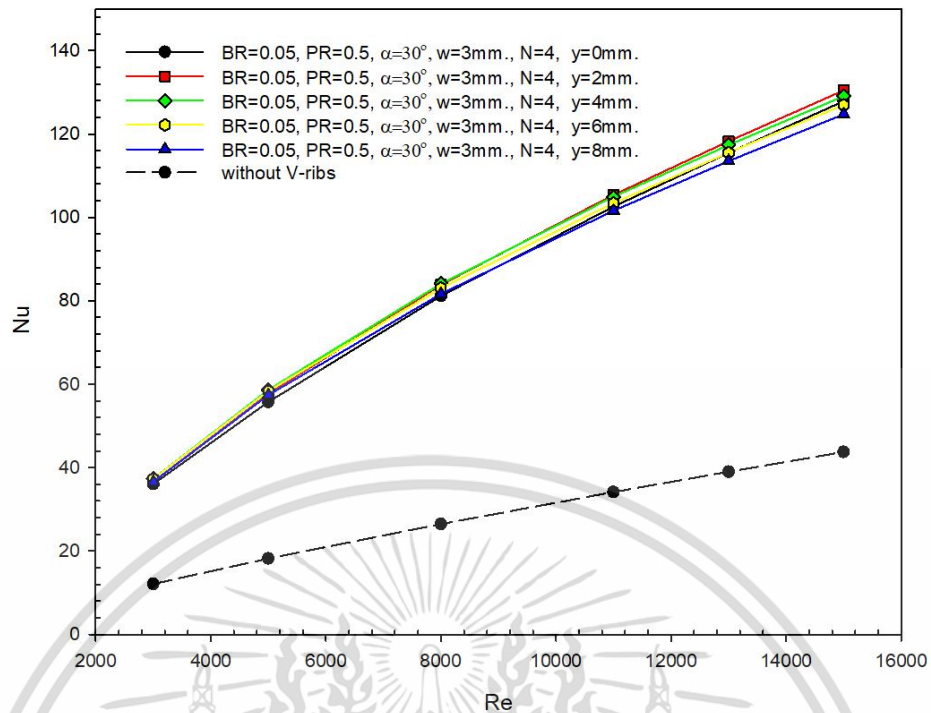
โดยการปรับปรุงครีบทัวด้วยการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว (y) มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างครีบทั้งสองข้างที่ปลายมุมแหลมของครีบทัว ดังนี้ ระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว 2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm.



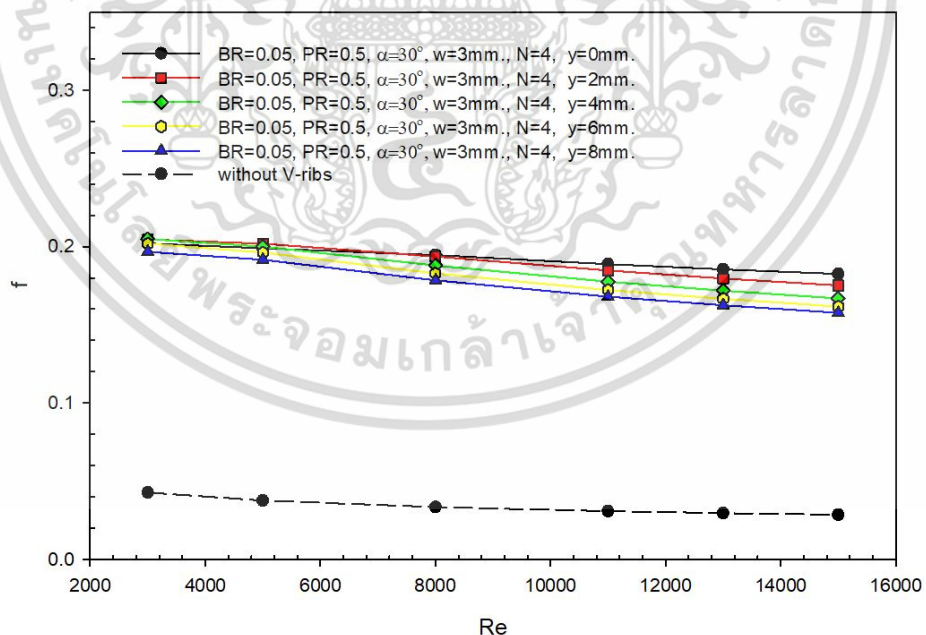
รูปที่ 4.8 (a) ครีบทัวแบบปกติ (b) ครีบทัวแบบเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว

การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้มีค่าสูงขึ้น โดยการปรับการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว มีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนพิทช์ (PR, p/d) = 0.5
2. อัตราส่วนบล็อก (BR, b/d) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°
4. ความยาวของครีบทัว (l) = 20 mm.
5. ความกว้างของครีบทัว (w) = 1.5 mm.
6. จำนวนครีบทัว (n) = 4
7. ระยะห่างระหว่างปลายครีบทัว (y) = 0 mm. , 2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm.
8. พื้นที่หน้าตัดของท่อกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) = 50 mm.

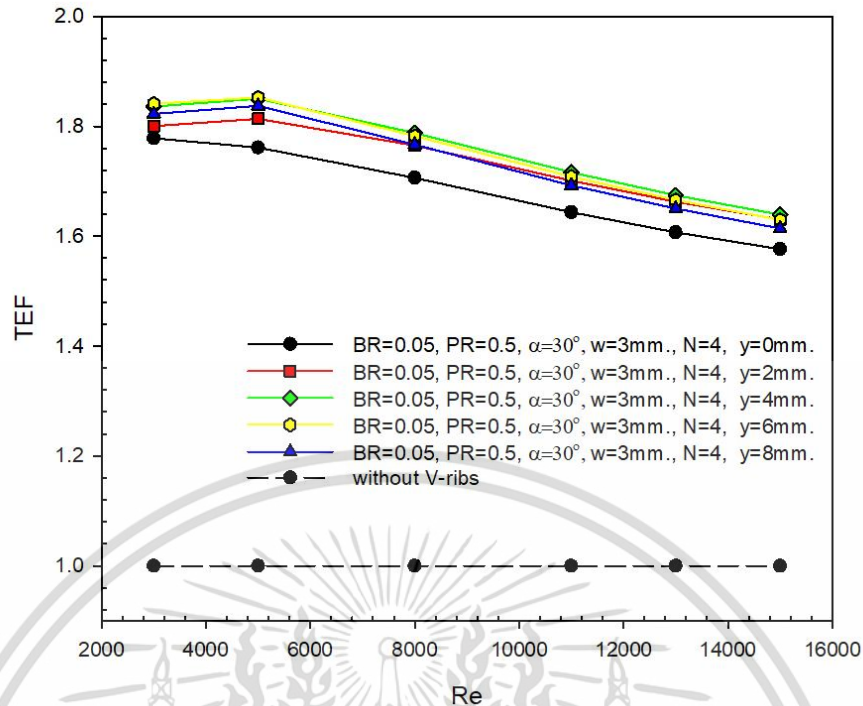


รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววี 0 mm., 2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha = 30^\circ$



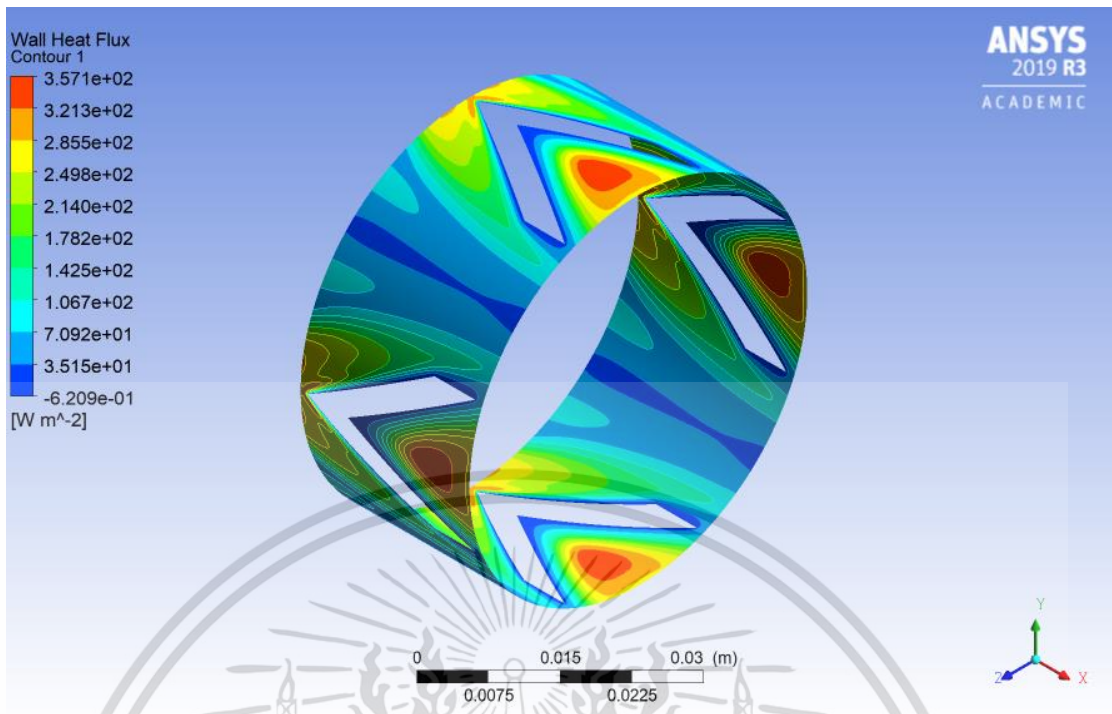
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววี 0 mm. 2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

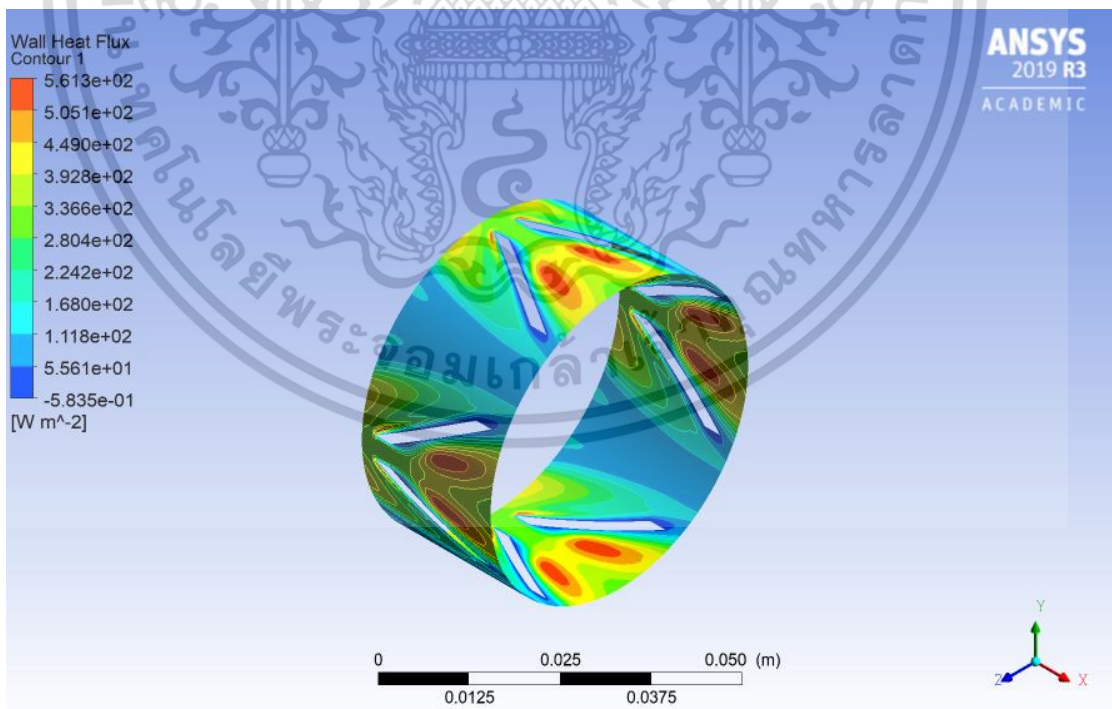


รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีการปรับระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววี 0 mm. 2 mm. , 4 mm. , 6 mm. และ 8 mm. ที่ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha = 30^\circ$

เมื่อศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววี พบว่าท่อกลมที่มีรอยกดครีบริบตัววีที่มีระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววีมาก จะมีค่า Nu ลดลงเล็กน้อย และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงประมาณหนึ่ง สมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววีมากเกินไป ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะลดลง จากการศึกษาก็เลือกระยะห่างระหว่างปลายครีบริบตัววีที่มีสมรรถนะเชิงความร้อนโดยรวมที่ดีที่สุด คือ 4 mm.

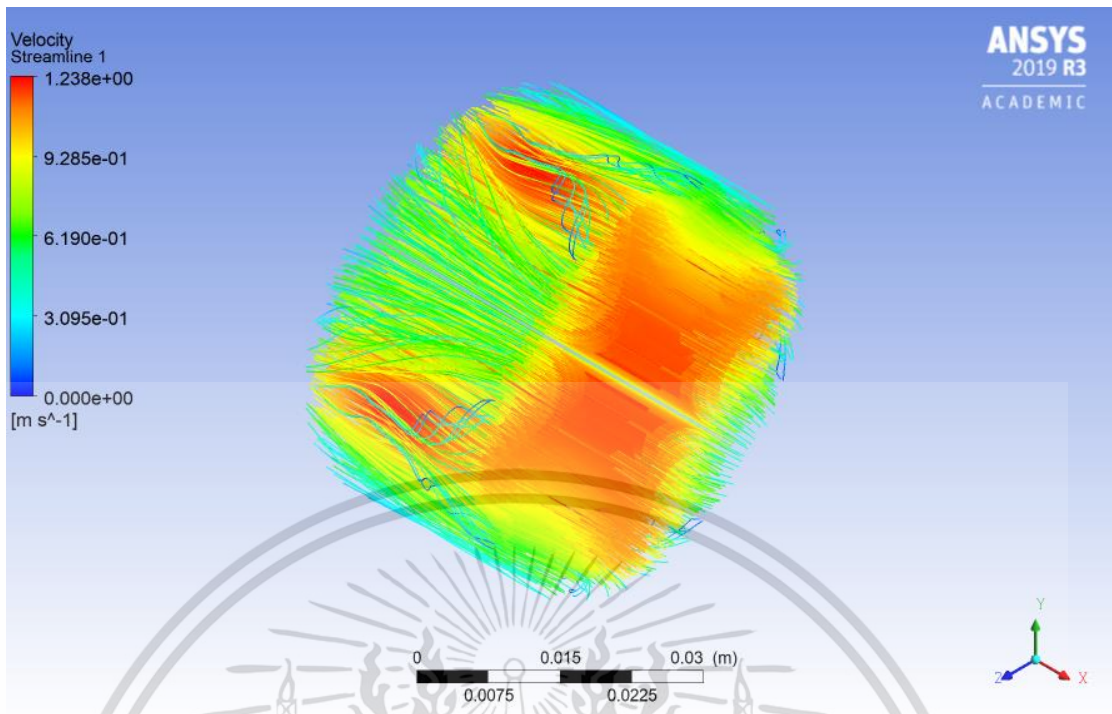


รูปที่ 4.12 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบธรรมดา

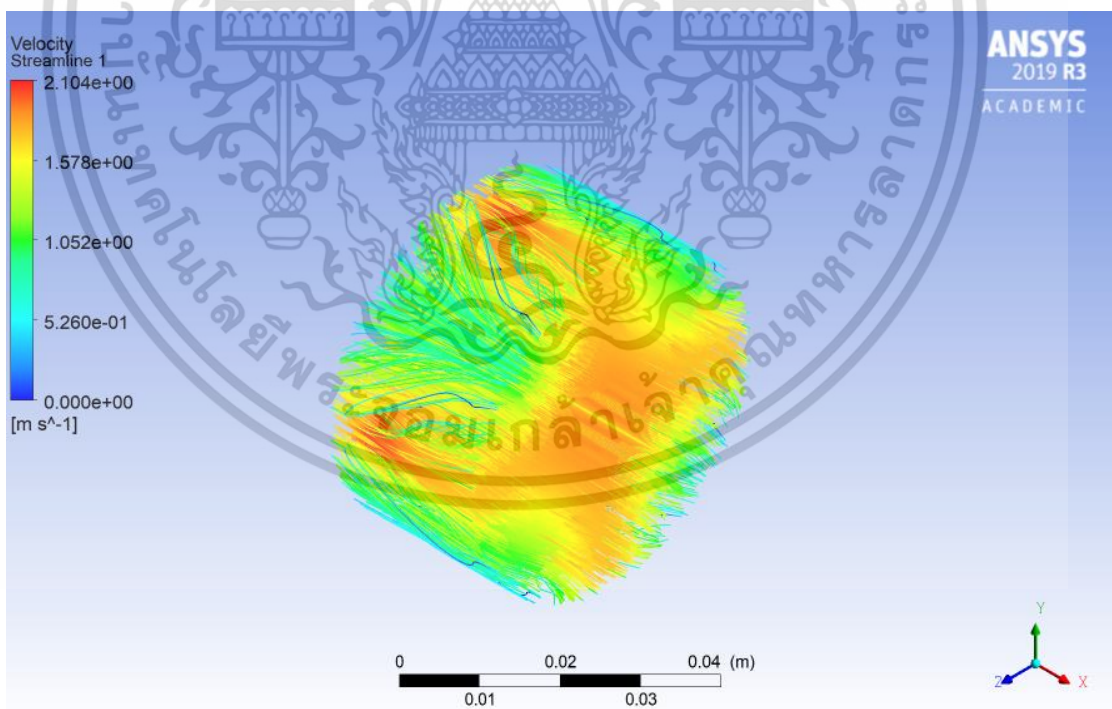


รูปที่ 4.13 คอนทัวร์ของการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนท่อกลมที่มีรอยกตศรีบตัววีแบบปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ บนท่อกลมที่มีรอยกตกรีบตัววีแบบธรรมดา



รูปที่ 4.15 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ บนท่อกลมที่มีรอยกตกรีบตัววีแบบปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อกลมที่มีรอยกตครีบตัววี ทำให้ทราบถึงผลของอิทธิพลของอัตราส่วนบล็อก (BR) อัตราส่วนพิตช์ (PR) และมุมของการปะทะ (α) ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่ออัตราส่วนบล็อกน้อย จะช่วยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อได้ดี และมีค่าความดันตกคร่อมน้อย เมื่ออัตราส่วนพิตช์น้อย จะช่วยทำให้ของไหลไหลแบบปั่นป่วนได้มากขึ้น แต่ก็ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อมุมของการปะทะน้อย จะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากการศึกษารูปแบบของรอยกตครีบตัววีพบค่าที่เหมาะสมคือ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$ ซึ่งมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.755 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ 3000

จากการศึกษาการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อกลมที่มีรอยกตครีบตัววีที่ได้ทำการปรับปรุง โดยทำการเปลี่ยนความกว้างของครีบตัววี (w) จำนวนครีบตัววี (n) และเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายครีบตัววี (y) ซึ่งพบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนดีขึ้น โดยเมื่อความกว้างของครีบลดลง จะทำให้เลขนัสเซิลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งทำให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนใกล้เคียงกันมาก คาดว่าความกว้างของครีบตัววีอาจจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนน้อย เมื่อจำนวนครีบตัววีเพิ่มขึ้น จะทำให้เลขนัสเซิลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างครีบตัววีขึ้น จะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ การเพิ่มระยะห่างระหว่างท่อทำให้เกิด Vortex ขึ้น 2 วง ซึ่งท่อกลมที่มีรอยกตครีบตัววีแบบธรรมดามีการเกิด Vortex ขึ้น 1 วง การเกิด Vortex ขึ้น 2 วง ช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ พบว่าค่าที่เหมาะสมของท่อกลมที่มีรอยกตครีบตัววีแบบปรับปรุงแล้ว คือ $BR=0.05$, $PR=0.5$, $\alpha=30^\circ$, $w=1.5$ mm., $n=4$ และ $y=4$ mm. โดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด เท่ากับ 1.85 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ 5000 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อกลมที่มีรอยกตครีบตัววีแบบธรรมดา

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย

จากงานวิจัยที่ศึกษามา การใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการจำลองพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในท่อ ทำให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม ซึ่งมีข้อดีคือสามารถช่วยลดต้นทุนและประหยัดเวลาสำหรับการทำการทดลองจริง แต่การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงการคาดการณ์ถึงผลการจำลองพฤติกรรมการไหลที่มีความเป็นไปได้เท่านั้น อาจได้ผลไม่แม่นยำเท่าการทำทดลองจริง

ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป อยากเสนอแนะเรื่องรูปแบบของครีบทัววี หากปรับเปลี่ยนรูปแบบของครีบทัววี อย่างการลบมุมแหลมให้โค้งขึ้น จะส่งผลอย่างไรต่อพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน หรือถ้าเปลี่ยนจากการให้ความร้อนที่ผนังท่อแบบอุณหภูมิผิวคงที่เป็นแบบพลักซ์ความร้อนคงที่ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Bureau of Energy Human Resource Development. 2019. **The Practical Energy Management Training**. Retrieved November 10, 2019, from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html
- [2] Nianben Zheng, Wei Liu, Zhichun Liu, Peng Liu, Feng Shan. (2015) **A numerical study on heat transfer enhancement and the flow structure in a heat exchanger tube with discrete double inclined ribs**. Applied Thermal Engineering 90 (2015) 232-241
- [3] Nianben Zheng, Peng Liu, Feng Shan, Zhichun Liu, Feng Shan, Wei Liu. (2016) **Effect of rib arrangements on the flow pattern and heat transfer in an internally ribbed heat exchanger tube**. International Journal of Thermal Sciences 101 (2016) 93-105
- [4] Nianben Zheng, Peng Liu, Feng Shan, Zhichun Liu, Feng Shan, Wei Liu. (2016) **Numerical investigation of the thermal-hydraulic performance in a rib-grooved heat exchanger tube based on entropy generation analysis**. Applied Thermal Engineering 99 (2016) 1071-1085
- [5] Xiao-wei Li, Ji-an Meng, Zeng-yuan Go. (2009) **Turbulent flow and heat transfer in discrete**. International Journal of Heat and Mass Transfers 52 (2009) 962-970