

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยแหวนรูปตัววี

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH V-RINGS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-D-058-009

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยแหวนรูปตัววี

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH V-RINGS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-D-058-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEAT TRANSFER AUGMENTATION IN A ROUND TUBE WITH V-RINGS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-D-058-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

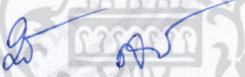
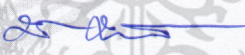
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยแหวนรูปตัววี
Thesis Title Heat Transfer Augmentation in a Round Tube with V-Rings
นักศึกษา นายวิฑูรย์ ชิงถ้ายทอง
รหัสประจำตัว 53610205
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงค์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-058-009

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมิทธิ์	เยี่ยมสอาด	
ผศ.ดร.วิฑาดา	เจษฎารัตนชัย	วิฑาดา เจษฎารัตนชัย
รศ.ดร.ชินรัชช์	เจียรพงษ์	ชินรัชช์
ดร.มธุรส	สุชาติวัฒน์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงค์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยแหวนรูปตัววี
นักศึกษา	นายวิฑูรย์ ชิงถ้ายทอง
รหัสนักศึกษา	53610205
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยตัวสร้างการหมุนวนด้วยแหวนแบบต่างๆรูปตัววี การทดสอบกระทำภายใต้สภาวะพลาซึ่มความร้อนที่ผิวท่อคงที่ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 5,000 ถึง 25,000 ผลการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน แสดงอยู่ในพจน์เลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบเสียดทาน (f) ตามลำดับ การศึกษาทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใส่แหวนรูปตัววี (V-shaped ring) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของ 3 ตัวแปรของวงแหวน คืออัตราส่วนการขวางการไหล ($R_B = e/D = 0.1, 0.15$ และ 0.2), อัตราส่วนระยะพิตช์ ($R_p = P/D = 0.5, 0.1, 1.5$ และ 2.0) และมุมปะทะการไหล ($\alpha = 20, 30$ และ 45°) ส่วนที่สอง เป็นการปรับปรุงแหวนรูปตัววีของส่วนแรก โดยจะศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใส่แหวนวงรีรูปตัววี (V-shaped oval ring) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของ 3 ตัวแปรของวงแหวน เช่นที่กล่าวมาแล้ว คือ มุมปะทะ (α), อัตราส่วนการขวางการไหล ($e/D, R_B$) และอัตราระยะพิตช์ ($P/D, R_p$) โดยศึกษาที่มุมปะทะการไหล ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° และส่วนสุดท้าย เป็นการปรับปรุงแหวนวงรีรูปตัววีของส่วนที่สอง โดยจะศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใส่แหวนทรงแคปซูลรูปตัววี (V-shaped capsule ring) โดยศึกษาถึงอิทธิพลของ 3 ตัวแปรของวงแหวนเช่นที่กล่าวมาแล้ว คือ มุมปะทะ (α), อัตราส่วนการขวางการไหล ($e/D, R_B$) และอัตราระยะพิตช์ ($P/D, R_p$) โดยศึกษาที่มุมปะทะการไหล ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° ที่อัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) 0.1, 0.15 และ 0.2 และอัตราส่วนระยะพิตช์ (R_p) 0.5, 0.1, 1.5 และ 2.0 ผลการศึกษาพบว่า การใส่แหวนรูปตัววี แหวนวงรีรูปตัววี และแหวนแคปซูลรูปตัววี จะไปเพิ่มการไหลแบบหมุนวนที่ส่งผลทำให้เกิดกระแสหมุนวนคู่ที่บริเวณด้านข้างทั้งสองของท่อ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีความดันแตกต่างที่ต่ำลงระหว่างบริเวณผิวท่อและส่วนกลางท่อทำให้ของไหลถูกดูดเข้าไปกระแทกบริเวณผิวท่อเนื่องจากอิทธิพลของวอร์เทกซ์ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแหวนวงรีรูปตัววีจะให้ค่าการสูญเสียความดันต่ำกว่าแหวนรูปตัววีเนื่องจากพื้นที่ความสูงที่หายไปของส่วนด้านบนและด้านล่างตามลักษณะของแหวนวงรีจึงส่งผลให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยแหวนวงรีรูปตัววีที่ $\alpha = 30^\circ, R_B=0.1$ และ $R_p=0.5$ มีสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.79 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Heat Transfer Augmentation in a Round Tube with V-Rings
Student	Mr. Witoon Chingtuaythong
Student ID.	53610205
Degree	Doctor of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents an experimental study on thermal performance enhancement in a heat exchanger tube inserted with V-shaped rings, V-shaped oval rings and V-shaped capsule Rings. The experimental work was carried out in a uniform heat-fluxed round tube by varying turbulent airflow for Reynolds number (Re) ranging from 5000 to 25,000. The obtained experimental results of the heat transfer and flow friction characteristics are displayed in terms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively. The outline of the present investigation is divided into three parts as follows. Firstly, the study is focused on heat transfer and pressure loss of the heat exchanger tube fitted with V-shaped rings. In this part, effects of three parameters of the V-shaped ring included three ratios of ring width to tube diameter ($R_B=e/D=0.1, 0.15, \text{ and } 0.2$), four ratios of ring pitch to tube diameter ($R_P=P/D=0.5, 1, 1.5 \text{ and } 2$), and three attack angles ($\alpha=20^\circ, 30^\circ \text{ and } 45^\circ$) on thermal performance of the tube are experimentally examined. Secondly, the investigation is emphasized on heat transfer and pressure loss in the tube inserted with V-shaped oval ring that is modified from the V-ring. Similar to the first part, three parameters of the V-shaped oval ring included three ratios of ring width to tube diameter ($R_B = e/D = 0.1, 0.15, \text{ and } 0.2$), four ratios of ring pitch to tube diameter ($R_P = P/D = 0.5, 1, 1.5 \text{ and } 2$), and three attack angles ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ \text{ and } 45^\circ$) are introduced. Finally, the study is focused on heat transfer and pressure loss in the tube with V-shaped capsule ring inserts also modified from the V-shaped oval ring. As above, three parameters of the V-shaped capsule ring included three ratios of ring width to tube diameter ($R_B=e/D=0.1, 0.15, \text{ and } 0.2$), four ratios of ring pitch to tube diameter ($R_P=P/D=0.5, 1, 1.5 \text{ and } 2$), and three attack angles ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ \text{ and } 45^\circ$) are examined. The use of the V-shaped ring, V-shaped oval ring and V-shaped capsule ring is to produce two pairs of counter-rotating vortices throughout the tube leading to higher thermal performance enhancement due to vortex-induced impingement on both sidewalls of the tube. The experimental results show that the V-shaped oval ring provides lower pressure drop than the V-shaped rings because of decreasing the flow blockage area on the upper and lower parts of the rings and yields the highest thermal performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Therefore, the V-shaped oval ring with $\alpha=30^\circ$, $R_b=0.1$ and $R_p=0.5$ gives the maximum thermal enhancement factor (TEF) of 1.79.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ระหว่างการดำเนินการศึกษาวิจัยแก่ข้าพเจ้า จากบุคคลจำนวนมาก อันได้แก่

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย

คณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับคำชี้แนะและการให้ความอนุเคราะห์ทั้งทางด้านการเรียนและการดำเนินการวิจัย

พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ร่วมห้องปฏิบัติการ Thermo & Fluid & CFD และเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโทและเอกภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ

บิดา มารดาและบุคคลในครอบครัว ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนทางการศึกษาและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

บูรพาจารย์ ทุกท่านผู้ซึ่งให้การประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า
ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา รวมทั้งบุคคลผู้มีพระคุณที่ข้าพเจ้า
ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำหรับเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยในระดับปริญญาเอกและมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อำนวยความสะดวกสำหรับการเรียนในระดับปริญญาเอก

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XVIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์	3
1.6 การเผยแพร่งานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์	4
1.6.1 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ	4
1.6.2 ผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	5
2.1 บทนำ	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.3 แนวคิดงานวิจัย	33
บทที่ 3 ทฤษฎี	34
3.1 บทนำ	34
3.2 กลศาสตร์ของไหล	34
3.2.1 การไหลแบบภายในท่อ	34
3.2.2 การวิเคราะห์สูญเสียของการไหลแบบภายในท่อ	35
3.3 การถ่ายเทความร้อน	39
3.3.1 การพาความร้อนสำหรับการไหลภายในท่อ	39
3.3.2 การวิเคราะห์ทางความร้อน	41
3.3.3 สหสัมพันธ์ของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	43
4.1 บทนำ	43
4.2 การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมสำหรับการทดลอง	43
4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	45
4.3.1 ท่อทดสอบสำหรับชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	45
4.3.2 พัฒนความดันสูงและเครื่องควบคุมปริมาณอากาศ	45
4.3.3 ชุดฮีตเตอร์แบบปลอกกรัดและเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า	46
4.3.4 ชุดสายวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล	47
4.3.5 อุปกรณ์วัดความดันตกคร่อม	48
4.4 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ	48
4.4.1 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานทดสอบ	48
4.4.2 ลักษณะทางกายภาพของแหวนรูปตัววี	50
4.5 วิธีการทดลอง	53
4.5.1 การทดลองกรณีเพื่อเตรียมชุดทดสอบ	53
4.5.2 การทดลองกรณีใส่ชิ้นงานทดสอบ	53
4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	55
4.6.1 การถ่ายเทความร้อน	55
4.6.2 ตัวประกอบความเสียหาย	55
4.6.3 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	56
4.6.4 พารามิเตอร์	56
4.7 ผลการทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	57
บทที่ 5 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้แหวนรูปตัววี	59
5.1 บทนำ	59
5.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน	59
5.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา	61
5.3.1 การถ่ายเทความร้อน	61
5.3.2 การสูญเสียความดัน	64
5.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	67
5.3.4 สมการสหสัมพันธ์	70
5.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา	72
5.4.1 การถ่ายเทความร้อน	72
5.4.2 การสูญเสียความดัน	75
5.4.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	78
5.4.4 สมการสหสัมพันธ์	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้ง VII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา	83
5.5.1 การถ่ายเทความร้อน	83
5.5.2 การสูญเสียความดัน	86
5.5.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	89
5.5.4 สมการสหสัมพันธ์	92
5.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนวงรีรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา	94
5.7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	95
บทที่ 6 การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยการใช้แหวนวงรีรูปตัววี	96
6.1 บทนำ	96
6.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน	96
6.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา	98
6.3.1 การถ่ายเทความร้อน	98
6.3.2 การสูญเสียความดัน	101
6.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	104
6.3.4 สมการสหสัมพันธ์	108
6.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา	109
6.4.1 การถ่ายเทความร้อน	109
6.4.2 การสูญเสียความดัน	112
6.4.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	115
6.4.4 สมการสหสัมพันธ์	119
6.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา	120
6.5.1 การถ่ายเทความร้อน	120
6.5.2 การสูญเสียความดัน	123
6.5.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	126
6.5.4 สมการสหสัมพันธ์	130
6.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนวงรีรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา	131
6.7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	132
บทที่ 7 การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยการใช้แหวนแปดรูปตัววี	134
7.1 บทนำ	134
7.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมูมปะทะการไหล 45 องศา	137
7.3.1 การถ่ายเทความร้อน	137
7.3.2 การสูญเสียความดัน	139
7.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน	143
7.3.4 สมการสหสัมพันธ์	146
7.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมูมปะทะการไหล 30 องศา	147
7.4.1 การถ่ายเทความร้อน	147
7.4.2 การสูญเสียความดัน	150
7.4.3 การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน	153
7.4.4 สมการสหสัมพันธ์	156
7.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมูมปะทะการไหล 20 องศา	158
7.5.1 การถ่ายเทความร้อน	158
7.5.2 การสูญเสียความดัน	161
7.5.3 การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน	164
7.5.4 สมการสหสัมพันธ์	167
7.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา	169
7.7 สรุปผลการทดลอง	170
บทที่ 8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	172
8.1 สรุปผลการทดลอง	172
8.1.1 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนรูปตัววี	172
8.1.2 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนวงรีรูปตัววี	173
8.1.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนแคปซูลรูปตัววี	174
8.2 ข้อเสนอแนะ	175
บรรณานุกรม	176
ภาคผนวก	181
ภาคผนวก ก	182
ภาคผนวก ข	184
ภาคผนวก ค	189
ประวัติผู้เขียน	191

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
5.1	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	70
5.2	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	81
5.3	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	92
5.4	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง	94
6.1	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	107
6.2	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	118
6.3	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	129
6.4	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง	131
7.1	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีรูปทรงต่างๆ ที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ใน ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	145
7.2	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	156
7.3	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อน	167
7.4	ผลการศึกษการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง	169

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	เทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยใช้ท่อบิดเกลียว	2
2.1	(ก) ไบบิดที่อัตราส่วนการบิด, (ข) ไบบิดที่อัตราส่วนการเว้นระยะของไบบิด	6
2.2	โครงสร้างไบบิด: (ก) $y=1$ (ข) $y=1.5$ (ค) $y=2$ (ง) $y=2.5$ (จ) $y=\infty$	6
2.3	ชิ้นงานทดสอบ	7
2.4	ลักษณะระยะความยาวของไบบิด (ก) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.29, (ข) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.43, (ค) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.57, (ง) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 1.0	7
2.5	ลักษณะของไบบิดคู่แบบแยกส่วน (ก) ไบบิดเดี่ยว, (ข) ไบบิดคู่ตลอดความยาวท่อ, (ค) ไบบิดคู่แบบแยกส่วน	8
2.6	ลักษณะรูปทรงของไบบิดที่พัฒนาในแบบต่างๆ	8
2.7	รูปแบบไบบิดมีรอบหยัก	9
2.8	ลักษณะไบบิดที่อัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนความห่างของการบิดเกลียว (ก) อัตราส่วนการบิด, (ข) อัตราส่วนระยะห่างของการบิดเกลียว	10
2.9	(ก) ตัวแปรของขนาดและระยะไบบิด, (ข) รูปทรงต่างๆ ของไบบิด	11
2.10	ลักษณะท่อทดลองที่ใส่ไบบิด (ก) ไบบิดทั่วไป, (ข) C-CC ไบบิดที่มุม=30°, (ค) C-CC ไบบิดที่มุม=60°, (ง) C-CC ไบบิดที่มุม=90°	11
2.11	ไบบิดที่มีปีกสามเหลี่ยมที่มีขนาดปีกแตกต่างกัน	12
2.12	ระยะห่างการตัดที่ขอบของไบบิดแบบต่างๆ	13
2.13	ลักษณะของไบบิดที่มีการตัดขอบ (PTS) และเทพิดทั่วไป (TT)	14
2.14	ไบบิดที่มีการตัดขอบเป็นรูปตัววีที่มีขนาดแตกต่างกัน	14
2.15	ไบบิดขนาดต่างๆ ที่มีการติดเทพฟรี	15
2.16	(ก) ลักษณะไบบิดที่มีการสอดใส่ในท่อกลม, (ข) บ่งบอกค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง	15
2.17	รูปทรงของปีกที่แตกต่างกันบนไบบิด	16
2.18	อัตราส่วนการบิดของไบบิดขนาดสั้นที่ติดตั้งช่วงทางเข้าท่อทดสอบ (STS)	16
2.19	รูปทรงไบบิดบิดสลับแกนที่แตกต่างกัน	17
2.20	ชิ้นงานทดสอบ	17
2.21	ครีบบางแหวนที่ติดตั้งภายในท่อทดสอบ	18
2.22	(ก) ลักษณะครีบ (WVGs) มุม 30° และ (ข) ครีบ (WVGs) ติดตั้งภายในท่อ	18
2.23	ลักษณะรูปทรงแผ่นเจาะติดปีก	20
2.24	การจำลองการไหลรูปแบบการจัดวางตัววีแยก	20
2.25	ชิ้นงานทดสอบรูปตัววี	21

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.26	รูปทรงของท่อที่มีการติดตั้งครีบบางเอียงกึ่งกลางท่อและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ	23
2.27	รูปทรงการจำลองวิเคราะห์ข้อมูล	23
2.28	รูปทรงของท่อจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบบั้วและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ	24
2.29	(ก) ช่องการไหลและแผ่นรูปตัวยาว, (ข) พารามิเตอร์และเงื่อนไขขอบเขต	25
2.30	ท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย Conical rings	25
2.31	ลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อกลมที่มีครีบบางทำมุม	26
2.32	ท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าแบบวางเอียงและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบคาบ	27
2.33	ลักษณะครีบบั้วและลักษณะท่อช่วงทดสอบ	27
2.34	ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีบบั้วสี่เหลี่ยมรูปตัวยาว	28
2.35	ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีบบางตัดกัน	30
2.36	ครีบบั้วตัวดับเบิลที่วางในแนวเส้นทแยงมุมของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส	30
2.37	ส่วนทดสอบที่มีการใส่ครีบบาง	31
2.38	ลักษณะการจัดวางครีบบั้วในช่องขนาน	32
3.1	รูปร่างความเร็วและชั้นขอบเขตการไหลของของไหลภายในท่อกลม	35
3.2	รูปร่างความเร็วจริงและรูปร่างความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายในท่อกลม	35
3.3	ปริมาตรควบคุมของการไหลภายในท่อกลม	36
3.4	แผนภูมิมิติ	39
3.5	รูปร่างอุณหภูมิและชั้นขอบเขตความร้อนของของไหลภายในท่อกลม	40
3.6	รูปร่างอุณหภูมิจริงและรูปร่างอุณหภูมิเฉลี่ยของการไหลภายในท่อกลม	40
4.1	แหวนรูปตัวยาวที่มุมปะทะการไหล 45° แบบต่างๆ กรณียังไม่มีการสร้างเป็นตัวยาว ก) แหวนรูปตัวยาว ข) แหวนวงรีรูปตัวยาว ค) แหวนแคปซูลรูปตัวยาว	43
4.2	ไดอะแกรมการติดตั้งชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม	44
4.3	ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม	44
4.4	ท่อทดสอบสำหรับชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	45
4.5	พัดลมความดันสูงและเครื่องควบคุมปริมาณอากาศ	46
4.6	ชุดฮีตเตอร์แบบปลอกกรัดและเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า	47
4.7	ชุดสายวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	เครื่องวัดความดันตกคร่อม	48
4.9	แบบชิ้นงานที่ออกแบบ	48
4.10	ขั้นตอนการตัดแผ่นอะคริลิกตามแบบ	49
4.11	ขั้นตอนการงอชิ้นงานทดสอบ	49
4.12	ขั้นตอนการติดชิ้นงานเข้ากับแกนทดสอบ	50
4.13	แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	50
4.14	แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	50
4.15	แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	51
4.16	ลักษณะของแหวนรูปตัววี	51
4.17	แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	51
4.18	แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	52
4.19	แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	52
4.20	ลักษณะของแหวนวงรีรูปตัววี	52
4.21	แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	53
4.22	ลักษณะของแหวนแคปซูลรูปตัววี	53
4.23	แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า	54
4.24	แสดงการตรวจสอบการรั่วของรังสีความร้อน	54
4.25	การทดสอบชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์	58
5.1	การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแหวนรูปตัววี	60
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	61
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	62
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	63
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	65
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	66
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	67
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.9	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัยสเกลที่สัมพันธ์กับเลขนัยสเกลที่จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	71
5.10	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	71
5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	73
5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลที่กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	74
5.13	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	76
5.14	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	77
5.15	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	78
5.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	80
5.17	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัยสเกลที่สัมพันธ์กับเลขนัยสเกลที่จากการทดลองกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา	82
5.18	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	82
5.19	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	84
5.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลที่กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	85
5.21	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	87
5.22	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	88
5.23	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	91
5.25	ความสัมพันธ์ของเลขนีสเซลล์ท์สัมพันธ์กับเลขนีสเซลล์ท์จากการทดลองกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	93
5.26	ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	93
5.27	ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	94
6.1	การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแหวนวงรีรูปตัววี	97
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนีสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	98
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	99
6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	101
6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45°	103
6.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	104
6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	105
6.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	107
6.9	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนีสเซลล์ท์สัมพันธ์กับเลขนีสเซลล์ท์จากการทดลองกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	108
6.10	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา	109
6.11	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	110
6.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	112

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.13	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	113
6.14	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	115
6.15	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	116
6.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	118
6.17	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนีสเชิลท์สสัมพันธ์กับเลขนีสเชิลท์จากการทดลองกรณีใส่วงรีแหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	119
6.18	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	120
6.19	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	121
6.20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเชิลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	123
6.21	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	125
6.22	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	126
6.23	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	127
6.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	129
6.25	ความสัมพันธ์ของเลขนีสเชิลท์สสัมพันธ์กับเลขนีสเชิลท์จากการทดลองกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	130
6.26	ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	131
6.27	เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.1	ลักษณะเชิงกายภาพของตัวตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแหวนแคปซูลรูปตัววี	134
7.2	การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	135
7.3	การจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่มีแหวนแคปซูลรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	136
7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	138
7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเชิลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	139
7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	141
7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	142
7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	143
7.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	145
7.10	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนีสเชิลท์สัมพันธ์กับเลขนีสเชิลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	146
7.11	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา	147
7.12	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	148
7.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเชิลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	150
7.14	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	152
7.15	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	153
7.16	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	155
7.18	แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลล์ท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	157
7.19	แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา	157
7.20	ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	159
7.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	160
7.22	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	162
7.23	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	163
7.24	ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	164
7.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	166
7.26	ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลล์ท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	168
7.27	ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา	168
7.28	ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	169

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวอักษรลาติน

A	พื้นที่การพาความร้อนของช่องขนาน, m^2
A_c	พื้นที่หน้าตัด, m^2
A_s	พื้นที่ผิว, m^2
AR	อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงท่อ (W/H)
b	ความสูงครึ่งบาง, m
R_B	อัตราส่วนความสูงครึ่งต่อความสูงท่อ (e/D)
C_f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หรือ ตัวประกอบเสียดทานของแผ่นผนัง
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่, J/kg K
C_v	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของของไหลที่ปริมาตรคงที่, J/kg K
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, m
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m
e	ความสูงครึ่ง, m
f	ตัวประกอบเสียดทาน
f/f_0	อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน
f_{exp}	ตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง
f_{pre}	ตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์
G	ระยะร่อง, m
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2K

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

H	ความสูงท่อ
I	กระแสไฟฟ้า, A
j	ตัวประกอบการถ่ายเทความร้อนของคูเบริน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, W/m ² K
L	ความยาวของส่วนทดสอบ, m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
Nu	เลขนัสเซลท์
Nu/Nu ₀	อัตราส่วนเลขนัสเซลท์
Nu _{exp}	เลขนัสเซลท์จากการทดลอง
Nu _{pre}	เลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์
P	ระยะพิตช์, m
P _e	ความยาวเส้นรอบรูป, m
P _t	ระยะพิตช์ตามขวาง, m
Pr	เลขพรานส์
R _p	อัตราส่วนระยะพิตช์ครีบต่อความสูงท่อ (P/D)
P	ความดันของไหล, N/m ²
ΔP	ความดันตกคร่อม, N/m ²
\dot{q}	ค่าการถ่ายเทความร้อน, W
\dot{q}_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งหมด, W
\dot{q}''_s	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิว, W/m ²

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

R	ค่าคงที่ของก๊าซ, J/kg.K
Re	เลขเรย์โนลด์
r	รัศมีที่ตำแหน่งใด ๆ, m
r_0	รัศมีท่อกลม, m
St	เลขสแตนต์ัน
T	อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งใด ๆ, °C
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล, °C
T_i	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทางเข้า, °C
T_o	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทางออก, °C
T_s	อุณหภูมิเฉลี่ยผิวครีบ, °C
TEF	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
TEF_{exp}	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการทดลอง
TEF_{pre}	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสหสัมพันธ์
t	ความหนาแหวน, m
U	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
u	ความเร็วตามแนวแกน X, m/s
u_m	ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, m/s
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m ³ /s

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

v	ปริมาตรจำเพาะ, m^2/s
v_r	ความเร็วตามแนวแกน r , m/s
W	ความกว้างท่อ, m
\dot{W}_{in}	การจ่ายกำลังให้พัดลม, W
x	ความยาวที่ตำแหน่งใด ๆ, m
x_{fd}	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัวเต็มที, m
$x_{fd,h}$	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัว, m
x_{fdt}	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัวเต็มทีของความร้อน, m
y	ความยาวส่วนบิดของใบพัด
w	ความกว้างใบพัด
สัญลักษณ์ตัวอักษรกรีก	
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
ν	ความหนืดเชิงจลน์, m^2/s
α	มุมปะทะครีป ($^\circ$, degree)
μ	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล, $N.s/m^2$
μ_s	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหลที่ผิว, $N.s/m^2$
τ_r	ความเค้นเฉือนในแนวรัศมี, N/m^2
τ_s	ความเค้นเฉือนบนผิว, N/m^2

สัญลักษณ์ตัวห้อย

exp	การทดลอง
0	ท่อผนังเรียบ
i	เข้า
o	ออก
pp	กำลังขับ (pumping power)
pre	สหสัมพันธ์
s	ผิวท่อ



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้แทนแรงงานคน เพื่อความสะดวกสบายและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ส่งผลให้มีความต้องการพลังงานในปริมาณมากขึ้น โดยในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมได้พัฒนาศักยภาพทั้งในด้านเทคโนโลยีการผลิต วัสดุดิบ และอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้ตระหนักถึงความสำคัญในการประหยัดพลังงานและการหาพลังงานทดแทนมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็พบว่าในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจและจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ที่ตามมาทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มลพิษ ภาวะโลกร้อน วิกฤตราคาเชื้อเพลิงและวิกฤตเศรษฐกิจ เป็นต้น ฉะนั้นการใช้องค์ความรู้พื้นฐานอย่างเหมาะสมเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ อย่างจริงจังเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ดังนั้นถ้าสามารถหาวิธีการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีค่าสูงขึ้น จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในแง่ของการประหยัดพลังงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงจะสามารถดำเนินการในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามที่ต้องการได้รวดเร็วขึ้น จึงทำให้พลังงานที่จ่ายให้แก่ระบบมีปริมาณน้อยลง หรือในแง่การลงทุนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงสามารถออกแบบและผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กลงในขณะที่ขีดความสามารถในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนยังคงเดิมตามที่ระบบต้องการ จากประโยชน์ที่กล่าวมาทั้งในแง่การประหยัดพลังงานและการลงทุน การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแบบต่างๆ โดยวิธีการในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 แบบ Active Techniques เป็นวิธีการเพิ่มค่าสมรรถนะทางความร้อนโดยการนำแหล่งพลังงานภายนอกเข้ามาช่วยในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น อุปกรณ์ทางกล และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เป็นต้น และวิธีที่ 2 แบบ Passive Techniques เป็นวิธีการทำให้ของไหลเกิดการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากการตัดแปลงพื้นผิวของท่อและการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นโดยไม่มีนำพลังงานจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเทคนิคทั้ง 2 แบบ มีความเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างกันไป หรือแม้กระทั่งการนำวิธีการทั้งสองนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกัน แต่อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีการแบบ Passive Techniques โดยการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนหรือตัวสร้างการหมุนควงมาใส่หรือติดตั้งในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำมาใช้สำหรับปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่เดิมได้โดยง่ายโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการออกแบบและเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตใหม่ ดังที่ได้นำเสนอจากงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาและการใช้แนวคิดนี้ในการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 เทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยใช้ท่อปิดเกลียว
ที่มา: [http:// fsnantai.com](http://fsnantai.com)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ทำให้รู้ถึงจุดเด่นและจุดด้อยของการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบหมุนวนและตัวสร้างการหมุนควงในแต่ละรูปแบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับท่อหน้าตัดกลมด้วยการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแหวนรูปตัววี (V-Rings) รูปทรงต่างๆ ที่ได้พัฒนามาจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยมีการศึกษาที่พารามิเตอร์ต่างๆ ในลักษณะการใส่ภายในของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมและมีสมรรถนะทางความร้อนในการทำงานที่ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่มีแหวนรูปตัววี โดยมีการศึกษาผ่านทางการทดลองโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้นแบบ ดังนี้ รูปทรงของแหวนรูปตัววี มุมปะทะการไหล (α) อัตราส่วนการขวางการไหล ($R_b=e/D$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($R_p=P/D$)

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อกลมที่มีแหวนรูปตัววีที่พารามิเตอร์ต่างๆ

1.2.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของท่อที่มีแหวนรูปตัววีกับท่อผิวเรียบเพื่อหาค่าการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน (TEF)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ตัวประกอบเสียดทาน (f) และค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF)

1.3.2 การทดสอบใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ความเร็วอากาศที่ทดสอบอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,000 ถึง 25,000

1.3.4 การให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบพลั๊กความร้อนคงที่

1.3.5 ศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบของแหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) แหวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings) และแหวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings)

1.3.6 ศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่ามุมปะทะการไหล (α)=20°, 30° และ 45° ลักษณะสมมาตรกัน โดยวางในทิศทางสวนกระแสการไหลของอากาศ

1.3.7 ศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่าอัตราการวางการไหล (R_B)=0.10, 0.15 และ 0.20

1.3.8 ศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่าอัตราระยะพิตต์ (R_p)=0.5, 1.0, 1.5 และ 0.20

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาดังกล่าวจะช่วยให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันโดยการใส่ตัวสร้างกระแสการไหลแบบหมุนวน (vortex) ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้เงื่อนไขขอบเขตงานวิจัยนี้ มีความคาดหวังว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยจะเป็นประโยชน์ในด้านของการศึกษาวิจัยต่อยอดสำหรับแนวความคิดในการพัฒนารูปแบบตัวสร้างการหมุนวนที่ให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น และเป็นประโยชน์ในด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมสำหรับการออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีค่าสมรรถนะทางความร้อนที่สูงขึ้น

1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยแหวนรูปตัววี” ได้มีการแบ่งรายละเอียดของการนำเสนอออกเป็นทั้งหมด 8 บทหลักๆ ด้วยกันประกอบด้วย บทที่ 1 กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ตลอดจนประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ บทที่ 2 นำเสนอผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและแนวความคิดของการศึกษาวิจัยสำหรับงานวิจัยเล่มนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ กลศาสตร์ของไหล การถ่ายเทความร้อน และหลักการการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำความเข้าใจ บทที่ 4 นำเสนอถึงอุปกรณ์และการติดตั้งชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม ลักษณะของตัวสร้างการหมุนวนรูปแบบต่างๆ วิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอน และการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง บทที่ 5 นำเสนอถึงผลการศึกษาวิจัยการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แหวนรูปตัววี บทที่ 6 นำเสนอผลการศึกษาวิจัยการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในโดยใช้แหวนวงรีรูปตัววี บทที่ 7 นำเสนอผลการศึกษาวิจัยการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในโดยใช้แหวนแคปซูลรูปตัววี และบทที่ 8 นำเสนอบทสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้สำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาต่อไป

1.6 การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.6.1 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

1. Witoon Chingtuaythong, Pongjet Promvong, Chinaruk Thianpong and Monsak Pimsarn. 2016. "Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings." **Applied Thermal Engineering**, 110 (2017) : 1164-1171.
2. Narin Koolnapadol, Witoon Chingtuaythong Pongjet Promvong, and Sutapat Kwankaomeng. 2014. "Thermal Characteristics in a Tube Fitted with Inclined Vortex Rings." *Advanced Materials Research*, 931-932 : 1203-1207.
3. Witoon Chingtuaythong, Sompol Sullong, Sirisawat Juengaroennirachon and Pongjet Promvong. 2013. "Heat Transfer Study of Turbulent Flow in a Heat Exchanger Tube with 45° V-baffles." *The Journal of Interdisciplinary Networks: Special Issue on Interdisciplinary Research and Development in ASEAN Universities*, Vol. 2, Number 2, pp. 61-66.

1.6.2 ผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- Witoon Chingtuaythong, Chotiwut Prasopsuk and Pongjet Promvong. 2014. "A Study of Heat Transfer Enhancement by Using Triangular V-ribs in Round Tube." **Thai Society of Mechanical Engineers. (TSME)**, 17-19 December 2014, The Empress, Chingmai, Thailand

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกนำเสนอผ่านงานวิจัยจำนวนมากในลักษณะของหลักการ แนวคิดและการประยุกต์ใช้งานจริง เนื่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานกันแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม หากสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในแง่ประหยัดต้นทุนการผลิตและค่าดำเนินการกระการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงเป็นแรงผลักดันให้นักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีวิธีการสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่หลากหลาย เช่น วิธีการแบบ Active วิธีการแบบ Passive หรือแม้กระทั่งการนำวิธีการทั้งสองนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกัน แต่สำหรับงานวิจัยนี้ขอมุ่งเน้นงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการแบบ Passive โดยการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนสอดใส่หรือติดตั้งในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสามารถจำแนกความแตกต่างในรายละเอียดการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาออกเป็นหมวดหมู่ได้ดังนี้

- ลักษณะของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ท่อหน้าตัดสามเหลี่ยม ท่อหน้าตัดวงกลม ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบจัตุรัสและแบบช่องขนาน
- ของไหลที่ใช้เป็นสารทำงาน เช่น อากาศ น้ำ สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ และสารผสม วัสดุนาโน
- ช่วงการไหลของของไหลในการทดสอบ แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ การไหลช่วงต่อและการไหลแบบปั่นป่วน
- รูปแบบการศึกษาที่เป็นการศึกษาเชิงทดลองและการศึกษาเชิงตัวเลข
- ลักษณะของตัวสร้างความปั่นป่วน เช่น ใบพัด ลวดขด ครีบก้นการไหลและวงแหวนวอร์เทค เป็นต้น

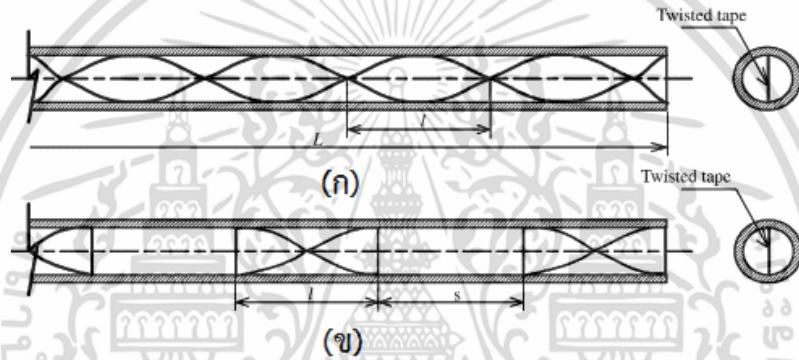
ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาในเรื่องของการปรับปรุงสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ เพื่อที่จะหาวิธีในการลดต้นทุนในด้านพลังงาน ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้ารูปแบบและวิธีการของการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลมให้มีความเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใส่ใบพัดรูปแบบต่างๆ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กลุ่มที่ 2 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนด้วยครีบก้นการไหลและวงแหวนวอร์เทคในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

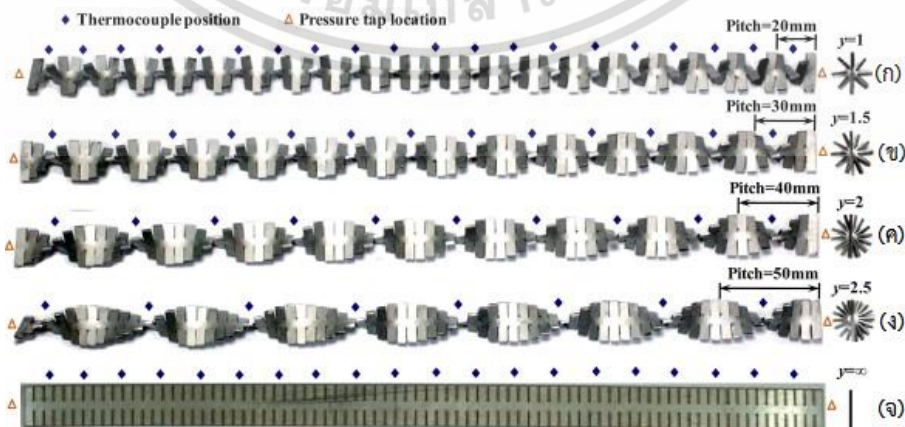
กลุ่มที่ 1 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใส่ไบปิดรูปแบบต่างๆ ในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อน

S. Eiamsa-ard et al. [1] การทดลองนี้เป็นการศึกษาหาค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานที่ทำให้เกิดการไหลในลักษณะหมุนควงภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อมีการใส่ไบปิด โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในและด้านนอกเท่ากับ 50.6 และ 25.8 มิลลิเมตรตามลำดับ ใช้น้ำเย็นและน้ำร้อนเป็นของเหลวในการทำงาน ไบปิดทำมาจากสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และความยาว 1500 มิลลิเมตร จะถูกสอดเข้าภายในท่อทดลอง มีกรณีศึกษาอยู่ 2 แบบคือ (1) ไบปิดมีความยาวเต็มรูปแบบไบปิดปกติ โดยมีอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดอยู่ที่ ($y=6.0$ และ 8.0) และ (2) อัตราส่วนการเว้นระยะของไบปิด ($S=1.0$ 2.0 และ 3.0) ซึ่งผลที่ได้รับจากการทดลองพบว่ากรณีใส่ไบปิดจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการบิด (Y) และเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนพื้นที่ว่าง (S)



รูปที่ 2.1 (ก) ไบปิดที่อัตราส่วนการบิด, (ข) ไบปิดที่อัตราส่วนการเว้นระยะของไบปิด

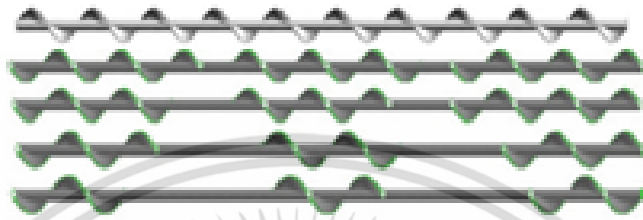
Chang et al. [2] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการบิด ($y=1, 1.5, 2, 2.5$ และ ∞) โดยมีผลต่อตัวประกอบเสียดทานและการถ่ายเทความร้อนในท่อ ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 1000 ถึง 40000 ใช้อากาศเป็นสารทำงาน จากการทดลองพบว่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.28–2.40 และ f/f_0 มีค่าเท่ากับ 2.0–4.7 และ TEF มีค่าเท่ากับ 0.99 – 1.80 ลักษณะดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างไบปิด (ก) $y=1$, (ข) $y=1.5$, (ค) $y=2$, (ง) $y=2.5$, (จ) $y=\infty$

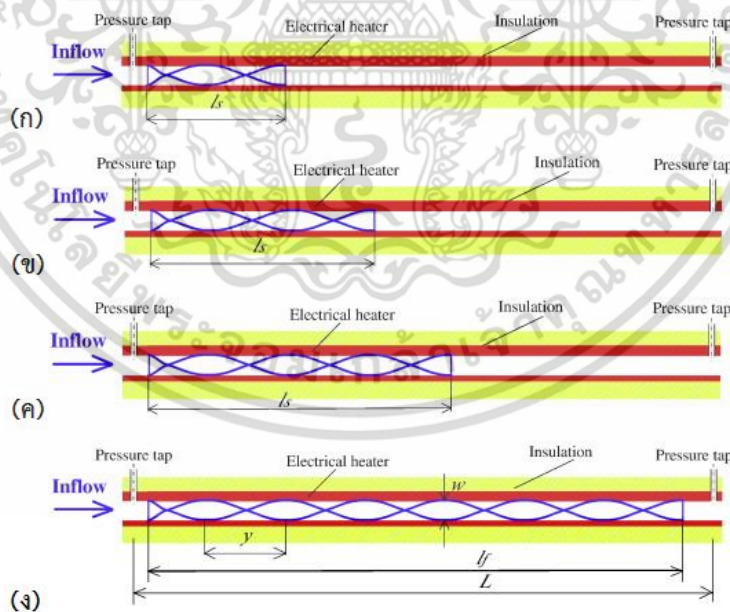
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P. Sivashanmugam and S. Suresh [3] ได้ทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของท่อกลมที่มีผลต่อการใส่ไบบิต ซึ่งอัตราส่วนการเว้นระยะของสกรูเกลียวต่อความยาวเท่ากับ 100, 200, 300, และ 400 มิลลิเมตร การศึกษานี้มีน้ำเป็นของไหลมีเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงระหว่าง 6000–14000 และผลการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างท่อผนังเรียบกับกรณีที่มีการติดตั้งไบบิต โดยผลการทดลองพบว่า การติดตั้งไบบิตที่อัตราส่วนการเว้นระยะของสกรูเกลียวมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น $\pm 10\%$



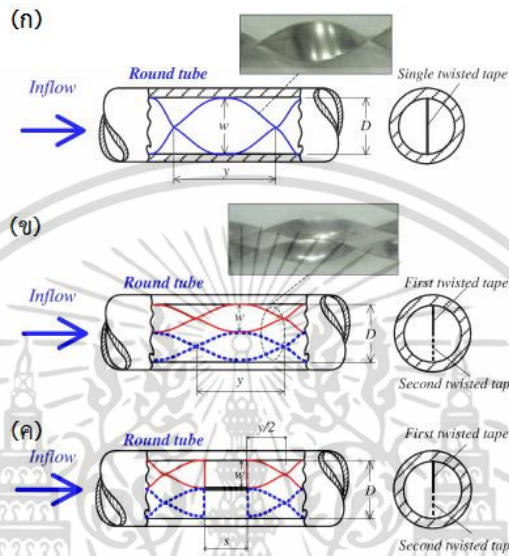
รูปที่ 2.3 ชิ้นงานทดสอบ

Eiamsa-ard et al. [4] ได้ทำการศึกษาค่าความเสียดทานและการเพิ่มประสิทธิภาพในท่อกลมโดยการใส่ไบบิต ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความยาวไบบิตที่ 0.29, 0.43, 0.57 และ 1.0 มีอากาศเป็นสารทำงานและเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ 4000-20000 จากการวิจัยและเก็บผลพบว่า Nu/Nu_0 อยู่ในช่วง 1.1-1.37, f/f_0 อยู่ในช่วง 1.6-2.4 และ TEF อยู่ในช่วง 0.85–1.05 ลักษณะดังรูป 2.4



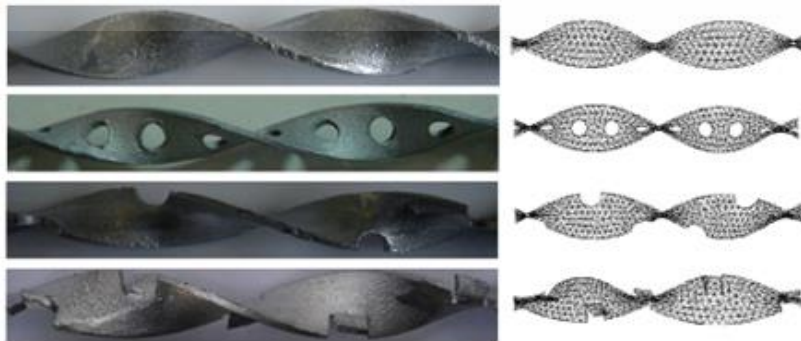
รูปที่ 2.4 ลักษณะระยะความยาวของไบบิต: (ก) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.29, (ข) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.43, (ค) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.57, (ง) อัตราส่วนความยาวเท่ากับ 1.0

Eiamsa-ard et al. [5] ทำการศึกษาผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีการสอดใส่ใบปิดคู่แบบเต็มและแยกส่วน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของใบปิด คู่แบบแยกส่วนที่อัตราส่วนช่องว่างแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า ได้แก่ 3.0, 4.0 และ 5.0 ใช้อากาศเป็น สารทำงานและเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ 4000–19000 จากการทดลองพบว่า Nu/Nu_0 อยู่ในช่วง 2.32-2.46, f/f_0 อยู่ในช่วง 2.13-2.55 และ TEF อยู่ในช่วง 0.8-1.1 ลักษณะของใบปิดคู่ ดังแสดงใน รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของใบปิดคู่แบบแยกส่วน: (ก) ใบปิดเดี่ยว, (ข) ใบปิดคู่ตลอดความยาวท่อ, (ค) ใบปิดคู่แบบแยกส่วน

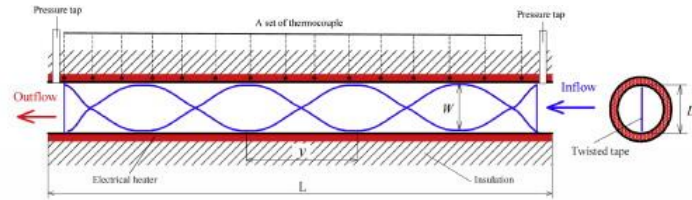
M. Rahimi et al. [6] การทดลองนี้เป็นการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม (CFD) และศึกษาอิทธิพลของลักษณะใบปิดที่พัฒนาขึ้นมาแตกต่างกัน 3 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยมีปัจจัยในการวิเคราะห์คือการหาค่าการถ่ายเทความร้อน แรงแเสียดทานและประสิทธิภาพการ ถ่ายเทความร้อนของท่อกลมและมีน้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งจะใช้เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 2950–11800 พร้อมทั้งนำผลมาเปรียบเทียบ ผลการศึกษาพบว่าช่วงของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและแรง เสียดทานจะมีค่าที่สูงโดยมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ 1.33–2.49 ตัวประกอบความเสียดทาน อยู่ที่ 4.4–8.7 และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ 0.9–1.22



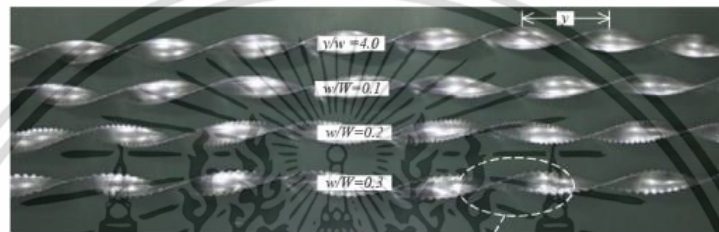
รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปทรงของใบปิดที่พัฒนาในแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นจำเป็นต้องใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

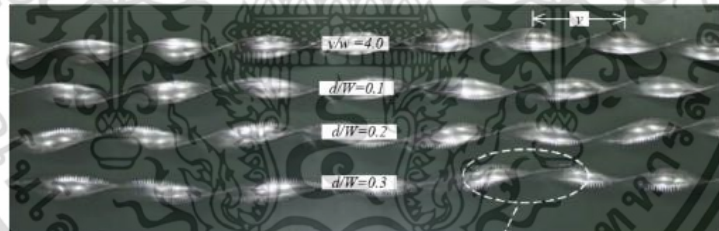
Eiamsa-ard et al. [7] ทำการศึกษาความร้อนในท่อกลมที่ติดตั้งด้วยไบปิดมีรอยหยัก โดยเลขเรย์โนลด์ 4000 – 20000 ใช้อากาศเป็นของไหลในการทดสอบและศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนความกว้างและความลึกของรอยหยัก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งผลการศึกษาพบว่า Nu/Nu_0 อยู่ที่ 1.32-1.42, f/f_0 อยู่ที่ 2.49-3.33 และ TEF อยู่ที่ 0.97-1.17



(ก)



(ข)

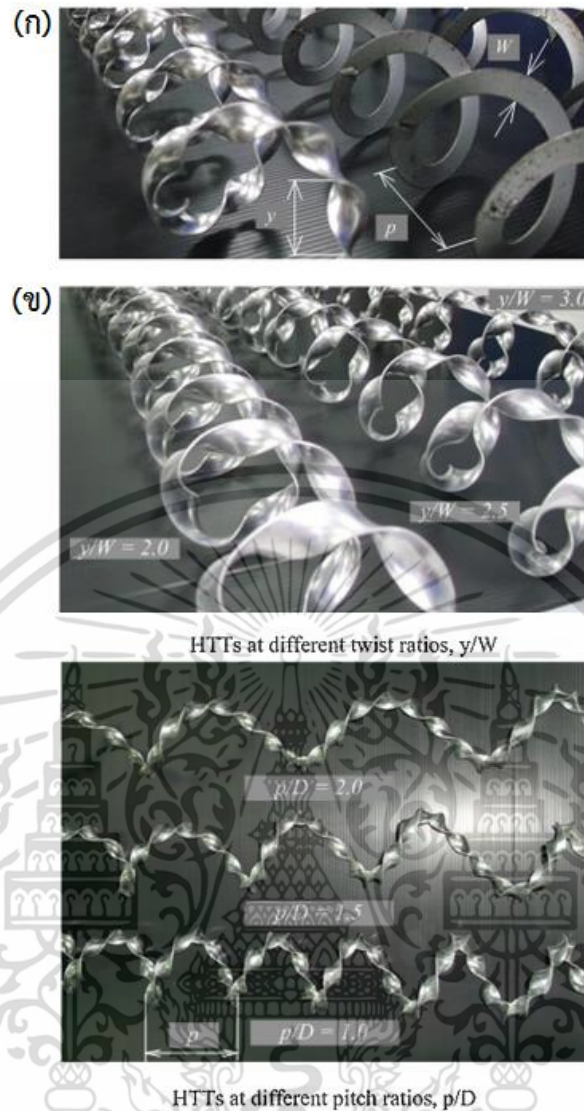


(ค)

รูปที่ 2.7 รูปแบบไบปิดมีรอยหยัก

S. Eiamsa-ard et al. [8] งานวิจัยนี้อธิบายการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการติดตั้งไบปิดแบบ helically (HTTs) โดยไบปิดแบบ helically แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งการทดลองจะศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการบิด (y/W) เท่ากับ 2, 2.5 และ 3 อัตราส่วนระยะพิคต (P/D) เท่ากับ 1, 1.5 และ 2 ตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 6000-20000 นอกจากนี้การทดสอบจะนำมาเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นที่ค่าเรย์โนลด์ต่ำๆ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.29 โดยพบที่อัตราการบิด (y/W)=3 และที่อัตราส่วนระยะพิคต (P/D)=2 ที่เลขเรย์โนลด์ 6000

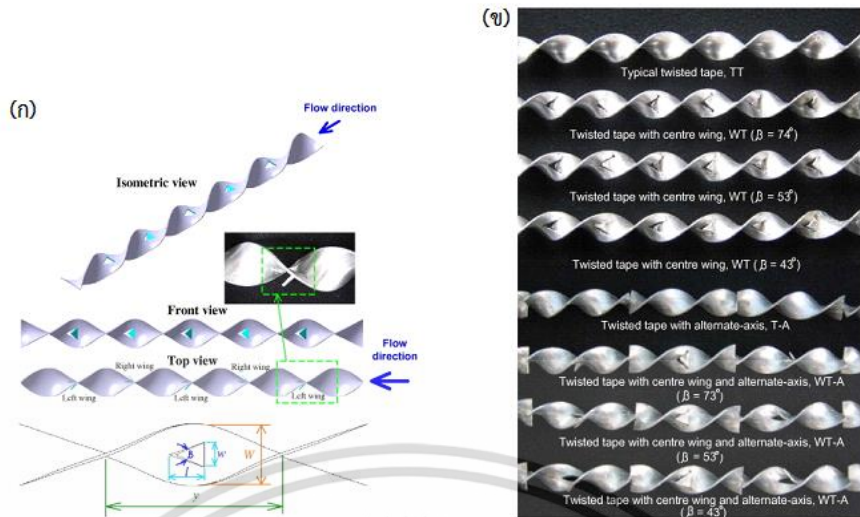
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะใบบิดที่อัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนความห่างของการขดเกลียว (ก) อัตราส่วนการบิด, (ข) อัตราส่วนระยะห่างของขดเกลียว

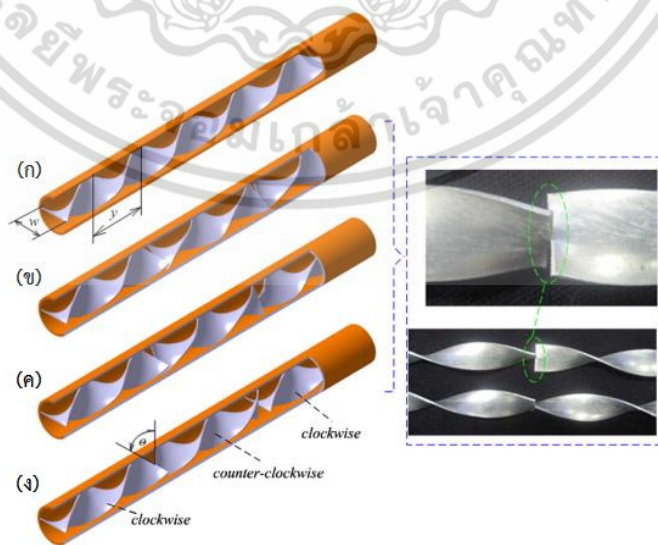
S. Eiamsa-ard et al. [9] ศึกษาผลของใบบิดภายในท่อกลมที่มีลักษณะ (1) ใบบิดที่มีปีก (WT) (2) ใบบิดบิดสลับแกน (TA) และ (3) เทปบิดทั่วไป (TT) แสดงในรูปที่ 2.9 นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะของปีกบนใบบิด (43° , 53° และ 74°) และผลของการบิดสลับแกนของใบบิดจะมีความยาวบิดคงที่ (Y) เท่ากับ 57 มิลลิเมตร สอดคล้องกับอัตราการบิดคงที่ (y/W)=3 ใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดสอบและมีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 5200-22000 จากการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ติดตั้งใบบิด (WT-A) ให้ค่าสูงกว่าทุกกรณี นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อมุมมีการเปลี่ยนแปลงโดยที่ WT-A มุม 74° ให้ค่าประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (TEF)=1.4 สูงกว่ากรณีอื่นๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนจะมีความสัมพันธ์คือการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 (ก) ตัวแปรของขนาดและระยะใบบิด, (ข) รูปทรงต่างๆ ของใบบิด

S. Eiamsa-ard and P. Promvong [10] นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนและความเสียหายภายในท่อกลมโดยมีการติดตั้งใบบิดภายใน ลักษณะการติดตั้งใบบิดดังรูปที่ 2.9 ในการทดสอบจะทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดของใบบิด $(y/w)=3, 4$ และ 5 ที่มีการบิดสลับแกนที่มุมแตกต่างกัน $(\alpha)=30^\circ, 60^\circ$ และ 90° การทดลองมีช่วงเรย์โนลด์อยู่ที่ $3000-27000$ ใช้น้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งผลการทดลองพบว่าใบบิดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแต่ก็มีปัจจัยที่ตามมาด้วยก็คือแรงเสียดทานแต่อย่างไรก็ตามในการติดตั้งใบบิดจะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าต่อธรรมดา $Nu/Nu_0=1.27-1.91$ และผลของการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของใบบิดปรากฏว่าที่มุม $\alpha=90^\circ$ ที่ $(Y/W)=3, 4$ และ 5 จะมีค่าเท่ากับ $1.4, 1.3$ และ 1.34 ตามลำดับ



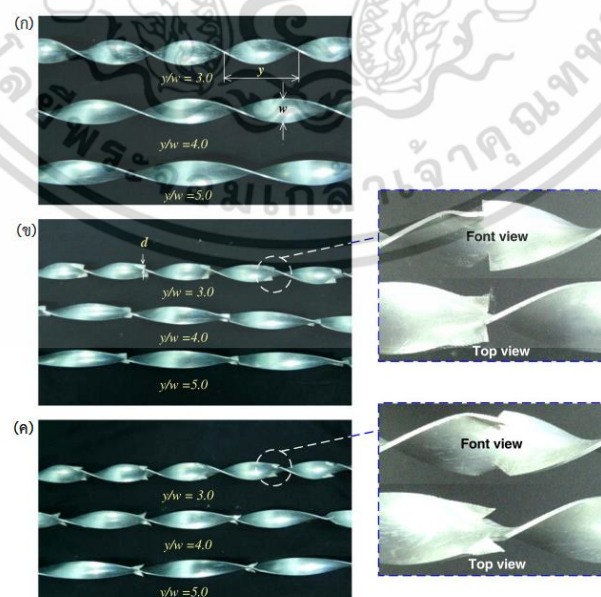
รูปที่ 2.10 ลักษณะท่อทดลองที่ใส่ใบบิด (ก) ใบบิดทั่วไป, (ข) C-CC ใบบิดที่มุม=30°, (ค) C-CC ใบบิดที่มุม=60°, (ง) C-CC ใบบิดที่มุม=90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P. Murugesan et al. [11] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานภายในกลมที่ใส่ไบบิตที่มีการติดตะปูบนไบบิต โดยจะทำการหาอัตราส่วนการบิดของไบบิตที่มีการติดตะปูบนไบบิต (WN-TT) ไบบิตแบบธรรมดา (P-TT) และมีอัตราส่วนการบิดอยู่ที่ $Y=2.0, 4.4$ และ 6.0 ใช้ น้ำ เป็นของเหลวในการทำงาน ช่วงเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 2000 ถึง 12000 ซึ่งการทดลองพบว่าไบบิตแบบ (WN-TT) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทานและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าไบบิตแบบ (P-TT) และท่อธรรมดา โดยจะมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ 1.32 ที่ค่าเรย์โนลด์ต่ำๆ

P. Murugesan et al. [12] ศึกษาการถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทานและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใส่ไบบิตแบบตัดขอบเป็นช่องสี่เหลี่ยม (STT) และไบบิตแบบธรรมดา (PTT) การทดลองจะใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยไบบิต (STT และ PTT) มีอัตราส่วนการบิดของไบบิต ($y=2.0, 4.4$ และ 6.0) และเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 2000 ถึง 12000 ซึ่งการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทานและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มีการติดตั้งไบบิต (STT) จะสูงกว่าไบบิต (PTT)

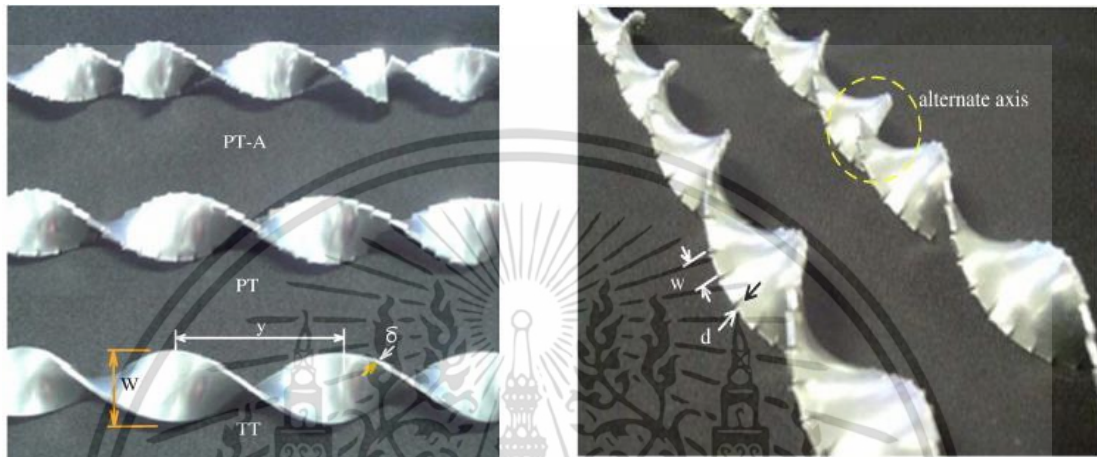
S. Eiamsa-ard et al. [13] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทานและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ไบบิตที่มีปีกสามเหลี่ยมที่มีขนาดปีกแตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.11 และใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอิทธิพลอัตราส่วนการบิดของไบบิตที่มีปีกสามเหลี่ยมที่มีขนาดปีกแตกต่างกันและมีตัวแปรในการศึกษาครั้งนี้ อัตราส่วนการบิด (y/w)=3, 4 และ 5 ความลึกของอัตราส่วนปีกตัด (DR)=0.11, 0.21 และ 0.32 ซึ่งช่วงเลขเรย์โนลด์ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 3000-27000 โดยจากผลการทดลอง พบว่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในท่อที่มีการติดตั้งไบบิตจะเพิ่มขึ้นและมีค่าอัตราส่วนนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 1.10-2.55 อัตราส่วนความเสียดทาน (f/f_0) อยู่ระหว่าง 2.50-7.02 และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนอยู่ระหว่าง 0.88-1.24



รูปที่ 2.11 ไบบิตที่มีปีกสามเหลี่ยมที่มีขนาดปีกแตกต่างกัน

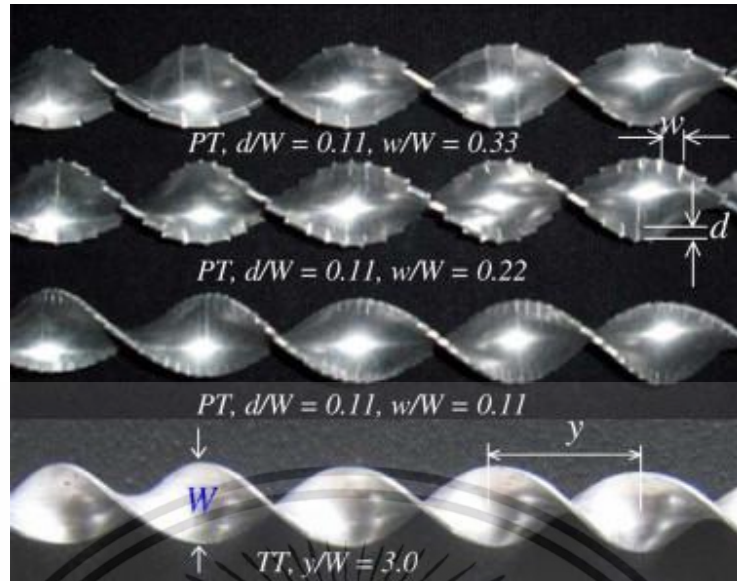
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P. Seemawute and S. Eiamsa-ard [14] ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระยะห่างการตัดที่ขอบของใบปิด ใช้น้ำเป็นของเหลวในการทำงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ เลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 5000-20000 งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของใบปิดที่มีการตัดขอบ (PT) และใบปิดธรรมดา (TT) ดังรูปที่ 2.12 นอกจากนี้เห็นได้ชัดว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจะเพิ่มขึ้นถึง 184%, 102% และ 57% เมื่อเทียบกับท่อเปล่า



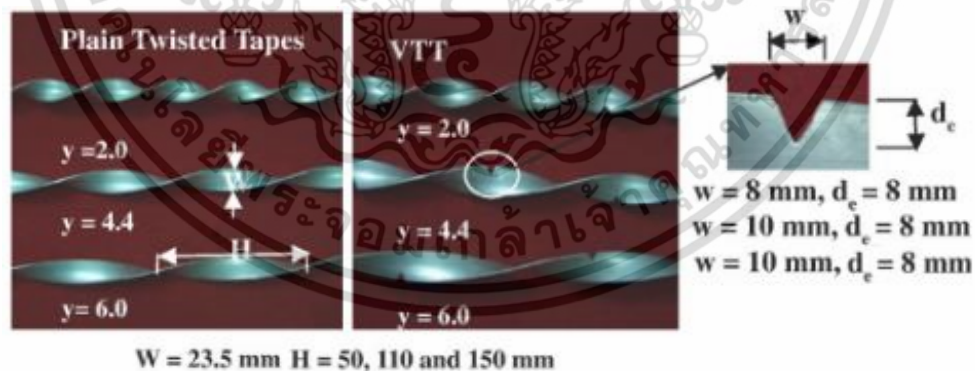
รูปที่ 2.12 ระยะห่างการตัดที่ขอบของใบปิดแบบต่างๆ

S. Eiamsa-ard et al. [15] ศึกษาผลกระทบของใบปิดที่มีการตัดขอบ (PTS) ในการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียแรงเสียดทานและประสิทธิภาพการระบายความร้อนในท่อกลม จากการทดลองได้ศึกษาใบปิดมีอัตราส่วนคงที่ปิด (y/W)=3.0 อัตราส่วนการตัดขอบ ($DR=D/W$)=0.11, 0.22 และ 0.33 อัตราส่วนความกว้างของใบปิด ($WR=w/W$)=0.11, 0.22 และ 0.33 แสดงดังรูปที่ 2.13 นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบกับท่อเปล่าภายใต้เงื่อนไขความร้อนคงที่และมีเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 1000–20000 โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน ผลการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนและแรงเสียดทานในท่อที่ติดตั้งใบปิดที่มีการตัดขอบ(PTS) จะสูงกว่ากรณีใบปิดธรรมดาและท่อผนังเรียบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนอัตราส่วนการตัดขอบ (DR) ที่เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนความกว้างของใบปิดลดอัตราส่วนความกว้างของใบปิด (WR) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นดีที่สุด ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงกว่าท่อเปล่าถึง 2.6 เท่าที่การไหลแบบปั่นป่วน และ 12.8 เท่าที่การไหลแบบราบเรียบ โดยประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.29 ในการไหลแบบปั่นป่วนและ 4.88 ในการไหลแบบราบเรียบ



รูปที่ 2.13 ลักษณะของใบปิดที่มีการตัดขอบ (PTS) และเทปบิดทั่วไป (TT)

P. Murugesan et al. [16] แสดงผลของใบปิดที่มีการตัดขอบเป็นรูปตัววีที่มีขนาดแตกต่างกันและมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน แรงเสียดทานและประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม โดยมีกรณีศึกษาตั้งนี้ อัตราส่วนกรบิด (y/W)=2.0, 4.4 และ 6.0 อัตราส่วนความลึกและอัตราส่วนความกว้าง (DR)=0.34 และ (WR)=0.34DR และ 0.43DR และ WR=0.34) ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อใส่ใบปิดตัดขอบเป็นรูปตัววี (VTT) จะทำให้การถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนการบิด (Y) อัตราส่วนความกว้าง (WR) และเพิ่มอัตราส่วนความลึก (DR) โดยจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ $\pm 6\%$ และ $\pm 10\%$ สำหรับแรงเสียดทาน



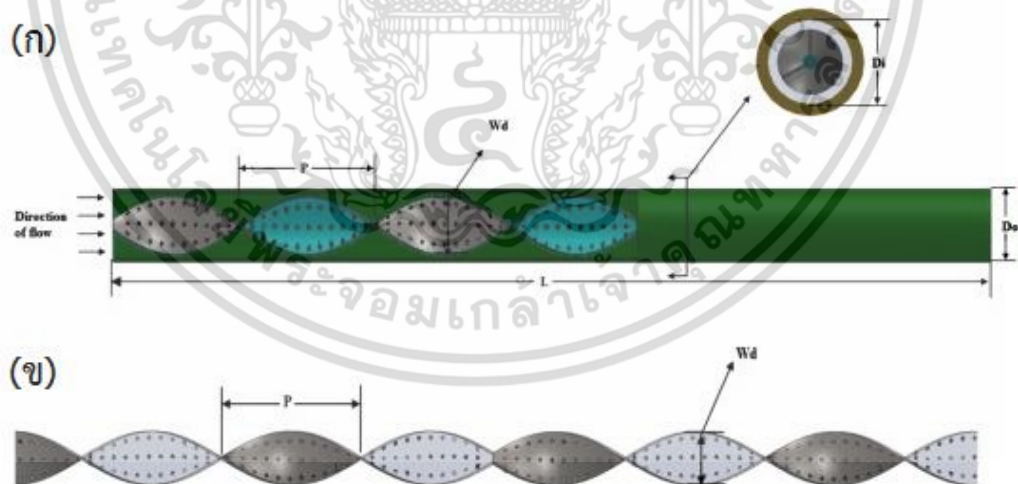
รูปที่ 2.14 ใบปิดที่มีการตัดขอบเป็นรูปตัววีที่มีขนาดแตกต่างกัน

Bas and Ozceyhan et al. [17] ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ใบปิดเว้นระยะความห่างจากผิวท่อ ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งตั้งแต่ 5132–24989 ซึ่งจะศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนการเว้นระยะระหว่างใบปิดกับผิวท่อ โดยอัตราส่วนการบิดอยู่ที่ $y/D=2.0, 3.0,$ และ 4.0 อัตราส่วน $c/D=0.00, 0.0178$ และ 0.0357 ดังแสดงในรูปที่ 2.15 จากผลการทดลองพบว่าที่ค่า $c/D=0.0178$ และ $y/D=2$ ค่าการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ 1.76 ที่ค่า $Re=5132$ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรณียิ่งไปกว่านั้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนการบิดยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนการเว้นระยะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนความลึกยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนความกว้างยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนความลึกยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ยิ่งเพิ่มอัตราส่วนความกว้างยิ่งทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น



รูปที่ 2.15 ใบบิดขนาดต่าง ๆ ที่มีการติดเทปพรอย

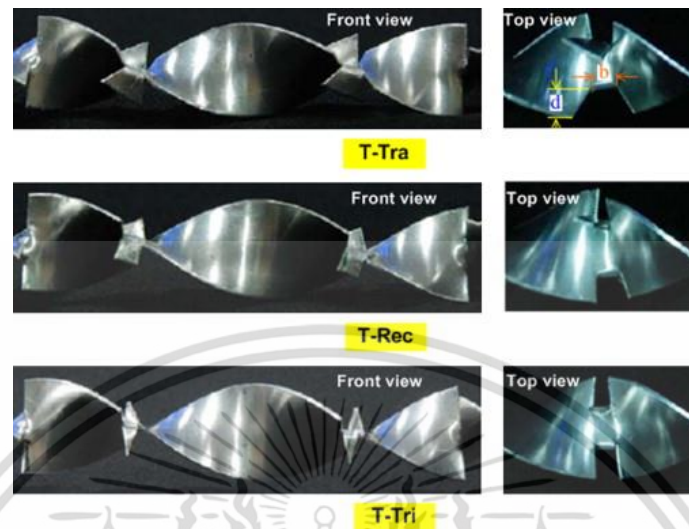
M.M.K. Bhuiya et al. [18] งานวิจัยนี้เป็นการทดลองหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมพร้อมกับสอดใส่ใบบิดที่เจาะรูพรุนบนใบบิดและใบบิดจะมีค่า $R_p=1.6, 4.5, 8.9$ และ 14.7% ซึ่งการทดลองครั้งนี้จะใช้ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 7200-49800 ใช้อากาศเป็นสารทำงานภายใต้เงื่อนไขขอบเขตฟลักซ์ความร้อนคงที่ พบว่าผลการทดลองนี้อัตราการถ่ายโอนความร้อนและแรงเสียดทานของท่อที่ทำการติดตั้งใบบิดพรุนจะมีค่าสูงกว่าท่อธรรมดา โดยค่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีใบบิดพรุนจะมีค่าเท่ากับ 110-340, 110-360 และ 28-59% สูงกว่าค่าท่อผิวเรียบตามลำดับ



รูปที่ 2.16 (ก) ลักษณะใบบิดที่มีการสอดใส่ในท่อกลม, (ข) บ่งบอกค่าตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง

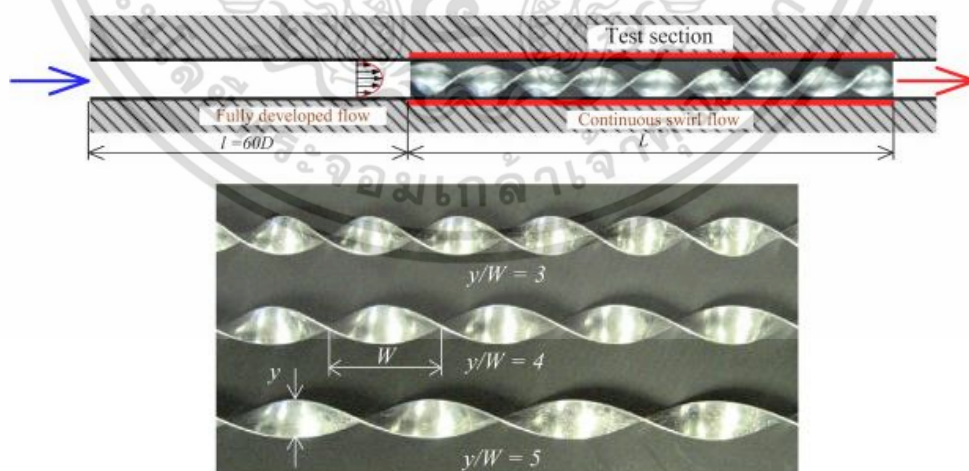
K. Wongcharee and S. Eiamsa-ard [19] ผลกระทบของใบบิดที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานในท่อกลม อิทธิพลของรูปทรงของปีกบนใบบิดมีทั้ง สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม และรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งการทดลองนี้ใช้ใบบิดที่อัตราส่วนปีกแตกต่างกัน ($D/W=0.1, 0.2$ และ 0.3) และอัตราการบิดคงที่ ($y/W=4.0$) ผลปรากฏว่าทั้งอัตราการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานจะเพิ่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้น โดยใบปิดที่ติดตั้งภายในท่อสูงกว่าท่อที่ไม่มีใบปิด นอกจากนี้ยังพบว่า การถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราส่วนปีก ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดทางความร้อนสูงถึง 1.42



รูปที่ 2.17 รูปทรงของปีกที่แตกต่างกันบนใบปิด

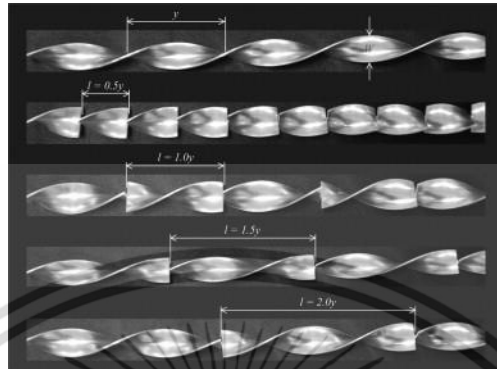
S. Eiamsa-ard and P. Seemawute [20] วิจัยนี้นำเสนอผลการทดลองของการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดของใบปิดขนาดสั้นที่ติดตั้งช่วงทางเข้าท่อทดสอบ ($STS=y/W=3, 4$ และ 5) ดังรูปที่ 2.19 การทดลองใช้น้ำเป็นของไหลสำหรับอัตราการไหลของน้ำอยู่ในช่วง 5200-15300 ผลการทดลองพบว่าอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดของใบปิดขนาดสั้นที่ติดตั้งช่วงทางเข้าท่อทดสอบ (STS) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงตามระยะความกว้างของใบปิด



รูปที่ 2.18 อัตราส่วนการบิดของใบปิดขนาดสั้นที่ติดตั้งช่วงทางเข้าท่อทดสอบ (STS)

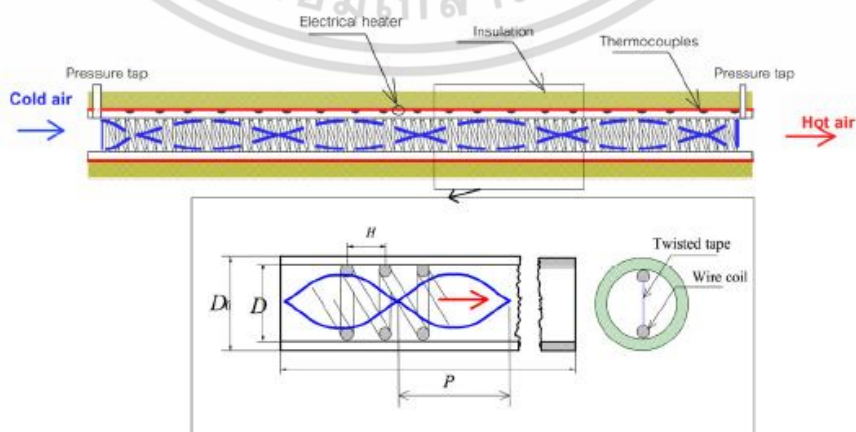
S. Eiamsa-ard et al [21] การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยใช้ใบปิดความยาวในการบิดสลับแกนของใบปิดที่แตกต่างกัน ($L/Y=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0) มีการทดสอบใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเลขเรย์โนลด์ อยู่ระหว่าง 5000-21500 ผลการทดลองพบว่าการใส่ไบบิดความยาวในการบิดสลั๊บกแกนจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานเมื่อเทียบกับกรณีไบบิดแบบธรรมดาและท่อเรียบ โดยการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ที่ $L/y=0.5$ ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 รูปทรงไบบิดสลั๊บกแกนที่แตกต่างกัน

วิฑูรย์ และคณะ [22] ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม โดยการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อที่มีปลั๊กความร้อนคงที่ โดยใช้ลวดขดเป็นตัวสร้างความปั่นป่วน ใส่ภายในท่อทดสอบซึ่งมีการใส่ไบบิดไว้ภายในลวดขดตลอดความยาวเพื่อสร้างการไหลแบบหมุนวนบริเวณผิวท่อทดสอบ แสดงในรูปที่ 2.20 อิทธิพลของค่าอัตราส่วนระยะพิทซ์ลวดขด (P_c) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด (d_c) และอัตราส่วนระยะพิทซ์ไบบิด (P_b) ต่อความกว้างไบบิด (W), $[CR : y]$ ในการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในท่อกลมที่ใช้ในการทดสอบ อัตราการไหลของอากาศใช้ทดสอบที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Numbers, Re) ระหว่าง 3000–20000 ผลจากการทดลองนำไปเปรียบเทียบกับกรณีใส่ลวดขดหรือไบบิดอย่างเดียวในท่อผิวเรียบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใส่ลวดขดพร้อมไบบิดสามารถทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลวดขดหรือไบบิดอย่างเดียว การใช้ลวดขดและไบบิดร่วมกันที่ค่าอัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนลวดขดที่ค่าน้อยๆ จะสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าค่าอัตราส่วนการบิดและอัตราส่วนลวดขดที่มีค่าสูงๆ ภายใต้เงื่อนไขที่เหมือนกัน



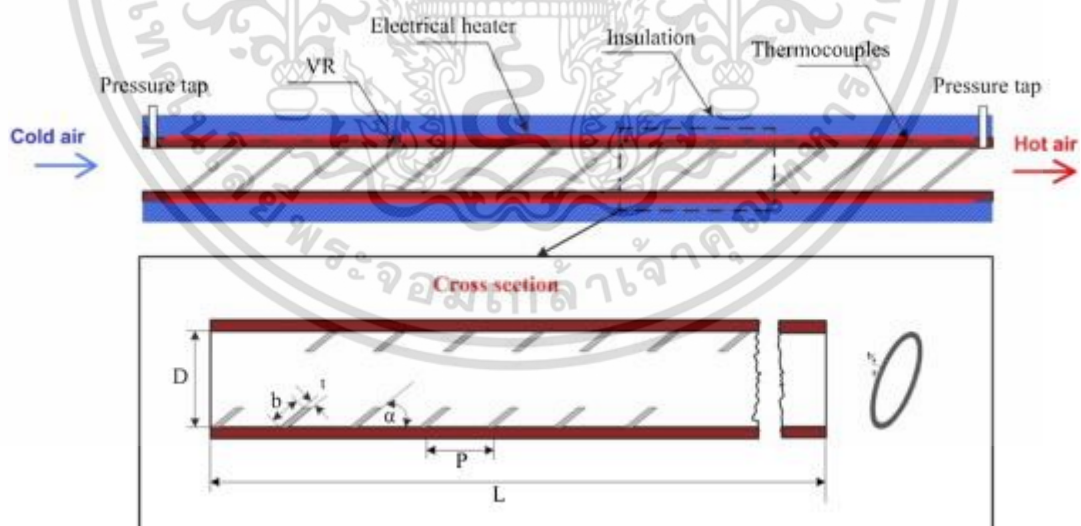
รูปที่ 2.20 ชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีรพัฒน์ ชมพุกำ. [23] บทความนี้เป็นการทบทวนเทคนิคในการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในท่อกลมด้วยแผ่นไบบิด (twisted tape) อธิบายแนวคิดพื้นฐานการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาแบบบังคับภายในท่อกลม เทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 แบบ คือ เทคนิคแบบพาสซีฟ (passive technique) เทคนิคแบบแอคทีฟ (active technique) และเทคนิคแบบผสม (compound technique) การประยุกต์ใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแผ่นไบบิดในช่วงที่ผ่านมา

กลุ่มที่ 2 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนด้วยครีบบังกั้นการไหลและวงแหวนวอร์เทคในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

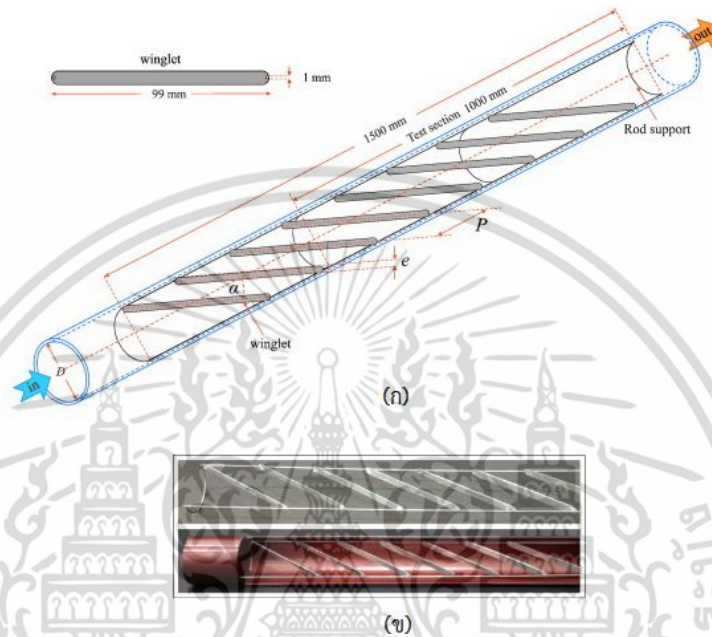
P. Promvong et al. [24] ศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวงแหวน (VR) เอียงทำมุม 30° ภายในท่อถ่ายเทความร้อนแบบปลั๊กความร้อนคงที่และการทดลองได้ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ อัตราส่วนความกว้างวงแหวน ($R_B=e/D$)=0.1, 0.15 และ 0.2 อัตราส่วนระยะพิตต์วงแหวน ($R_P=P/D$)=0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ใช้อากาศเป็นของเหลวในการทดสอบ สำหรับเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000-26000 มีปัจจัยให้วงแหวนที่ใช้สร้างวอร์เทคหมุนอยู่ภายในท่อเพื่อช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน โดยอัตราส่วนความกว้างวงแหวน (R_B) จะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อได้ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันที่ค่าอัตราส่วนความกว้างวงแหวน (R_B) จะให้ค่าสูงกว่าท่อผนังเรียบ โดยเฉพาะค่า $R_B=0.2$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันมากกว่าอัตราส่วนความกว้างวงแหวน $R_B=0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอิทธิพลของการติดตั้งวงแหวน (VR) ที่ค่า $R_B=0.1$ และระยะพิตต์ $R_P=0.5$ จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.21 ครีบบังกั้นที่ติดตั้งภายในท่อทดสอบ

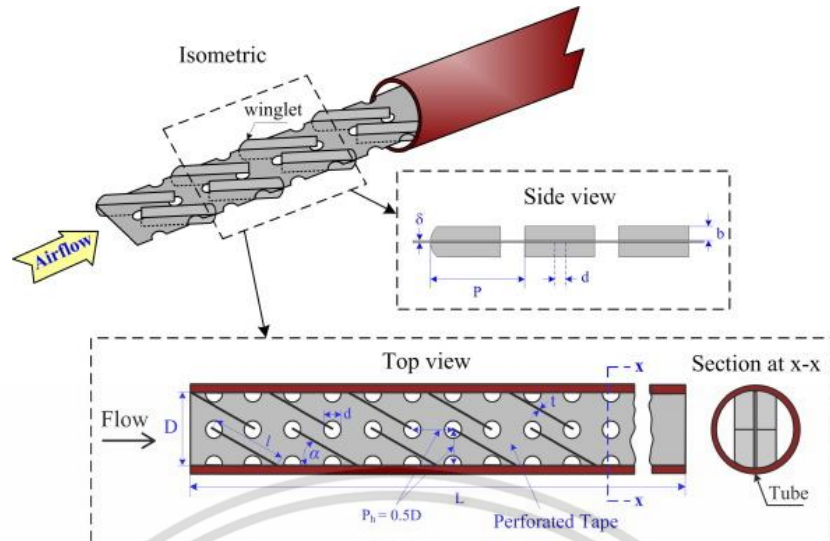
S. Chokphoephun et al. [25] บทความนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลการจัดวางแบบ Wing Vortex Generators (WVGs) เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและการทดลองเป็นแบบปลั๊กความร้อนคงที่ โดยมีการไหลอยู่ช่วงเรย์โนลด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 5300–24000 จากการทดลอง (WVGs) ได้ทำการศึกษาที่มุม 30° ระยะพิตต์ ($R_p=P/D$) และ อัตราส่วนความกว้าง ($R_B=e/D$) ซึ่งผลการทดลองพบว่าที่ระยะพิตต์และอัตราส่วนความกว้างต่างๆ เมื่อเทียบกับท่อเรียบหรือท่อที่ใส่ใบปิด ขดลวด พบว่าอิทธิพลการจัดวางแบบ Wing Vortex Generators (WVGs) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานมากกว่า โดยค่าการถ่ายเทความร้อน (Nusselt) เฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 2.03-2.34 แต่กรณีขดลวดและใบปิดจะอยู่ในช่วง 1.35-1.59



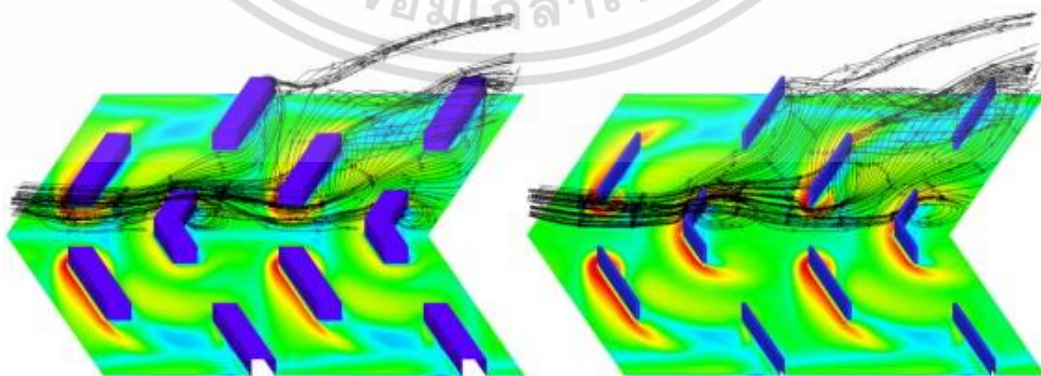
รูปที่ 2.22 (ก) ลักษณะครีบ (WVGs) มุม 30° และ (ข) ครีบ (WVGs) ติดตั้งภายในท่อ

S. Skullong et al. [26] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะความร้อนและการไหลภายในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งแผ่นเจาะติดปีก (WPT) ดังรูปที่ 2.23 การทดลองเป็นแบบพลังความร้อนคงที่ การไหลของอากาศจะมีค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 4180-26000 งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายของการใช้แผ่นเจาะติดปีก (WPT) คือเพื่อการสร้างกระแสของการหมุนวนไปทำลายชั้นขอบเขตความร้อนบนผนังท่อ โดยทำการทดลองที่มุมเอียงของปีกเท่ากับ 30° ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ($BR=0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ และ 0.3) และระยะพิตต์ ($R_p=0.5, 1.0$ และ 1.5) เพื่อหาการประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหลภายในท่อ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าตัวเลข (Nu) และแรงเสียดทาน (f) จะเพิ่มขึ้นที่ค่า R_B สูงและจะลดลงที่ค่า R_B ต่ำตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (TEF) เท่ากับ 1.71 เมื่อเทียบกับแผ่นที่มีการติดปีกและใบปิดจะให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าประมาณ 1.2 เท่า



รูปที่ 2.23 ลักษณะรูปทรงแผ่นเจาะติดปีก

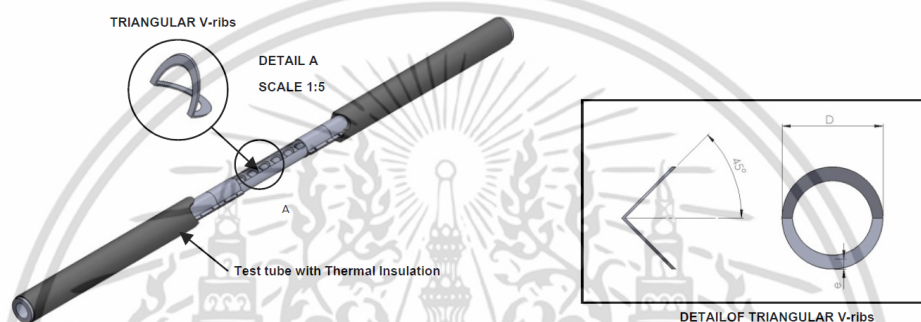
P. Promvong et al. [27] การศึกษาและตรวจสอบการไหลและการถ่ายเทความร้อนในลักษณะรูปแบบสามมิติโดยอุณหภูมิต่ออยู่ที่ 60° และครีบริมมีการวางเป็นรูปตัววีไม่ต่อเนื่องวางไว้บนผนังทั้งสองดังรูปที่ 2.24 สภาพ isothermal ไหลถูกนำไปใช้เฉพาะบนและล่างผนังท่อคล้ายกับการระบายความร้อนทางเดินภายในของใบพัดกังหันก๊าซ computations ที่จะขึ้นอยู่กับวิธีการปริมาณจำกัด กับขั้นตอนวิธีการที่ง่ายสำหรับการจัดการการมีความสัมพันธ์กันระหว่างความดันและความเร็ว โดยจะใช้อากาศเป็นของไหลในการทำงานและมีอัตราการไหลของตัวเลขเรโนลด์ตั้งแต่ 10000-25000 ซึ่งผลการคำนวณพบว่าการไหลภายในท่อจะได้รับการพัฒนาการไหลอย่างเต็มที่และผลที่ได้จะพบว่าอัตราส่วนความสูงต่อความสูงครีบริม (R_B) มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม โดยลักษณะความร้อนในการไหลจะเป็นแบบการหมุนควง ไปกระทบครีบริมตัววีและไหลไปกระทบผนังท่อจึงช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกับท่อและจะเพิ่มขึ้นตามค่าอัตราส่วนความสูงต่อความสูงครีบริม (R_B) และจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1.8 สำหรับ $R_B=0.0725$ ที่ค่าเรย์โนลด์ต่ำๆ และจะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบถึง 4 เท่า



รูปที่ 2.24 การจำลองการไหลรูปแบบการจัดวางตัววีแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W. Chingtuaythong et al. [28] บทความนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มีการใส่ครีบริบรูปตัวทรงแท่งสามเหลี่ยมในท่อกลม โดยมีแนวความคิดพื้นฐานคือการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบริบรูปตัวทรงแท่งสามเหลี่ยมเพื่อสร้างกระแสหมุนวนแบบบอร์เทคและมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ เงื่อนไขการทดลองมีดังนี้ อัตราส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ ($R_b=e/D$)=0.2 มุมปะทะ 45 องศาและสัดส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000–25000 จากผลการทดลองเทอมของตัวเลขนัสเซิลท์ ความเสียดทานและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของกลมที่มีการสอดใส่ครีบริบตัวทรงแท่งสามเหลี่ยมและนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ซึ่งพบว่าครีบริบตัวทรงแท่งสามเหลี่ยมที่ระยะพิตต์เท่ากับ 1.0 ให้ค่าความเสียดทานและค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด



รูปที่ 2.25 ชิ้นงานทดสอบรูปตัววี

S. Suwannapan et al. [29] บทความนี้เป็นการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการใส่ครีบริบรูปตัววี โดยการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศที่เลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4000–25000 และครีบริบรูปตัววีจะมีทิศทางตามกระแสการไหลของอากาศ ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนและความดันลดลง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของเลขนัสเซิลท์และความเสียดทาน โดยการทดลองมีการศึกษาถึงอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ ($R_p=P/H$)=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 อัตราส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ ($R_b=e/H$)=0.2 และมีมุมปะทะที่ 45 องศา จากการทดลองพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานที่มีการสอดใส่ครีบริบรูปตัววีจะช่วยให้ค่าสูงขึ้น โดยที่ระยะพิตต์ 0.5 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าการสูญเสียความดันสูงที่สุดและที่ระยะพิตต์ 1.5 จะให้ค่าการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดถึง 1.45

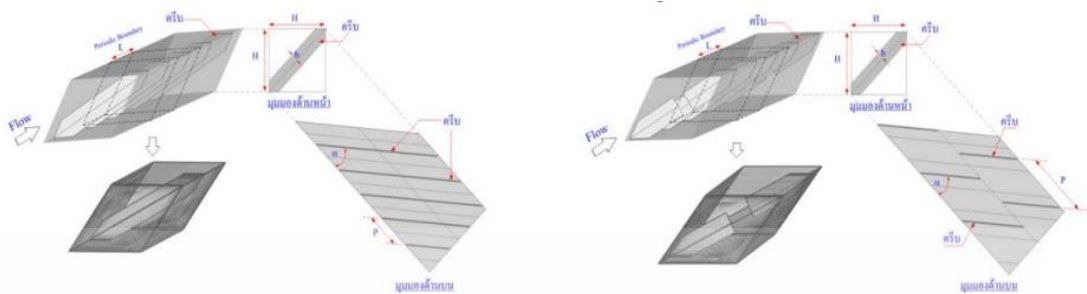
ขโยคม และคณะ. [30] งานวิจัยนี้นำเสนอถึงการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยการสอดใส่ ใบพัดที่มีการติดครีบริบรูปตัววีภายใต้เงื่อนไขที่มีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวท่อนอกอย่างสม่ำเสมอมีอากาศเป็นของไหลทำงานในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 5300-23000 โดยทำการศึกษาดังกล่าวถึงอิทธิพลของครีบริบที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($R_b=e/D$) เท่ากับ 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตซ์ ($R_p=P/W$) เท่ากับ 1, 2 และ 4 ซึ่งติดตั้งอยู่บนใบพัดที่มีอัตราส่วนการปิด ($Y=y/W$) เป็น 4 ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย โดยนำเสนอในรูปแบบของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและลดอัตราส่วนระยะพิทช์ ส่วนค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) จะมีค่าลดลงเมื่อทำการทดลองที่เลขเรย์โนลด์สูงขึ้น โดยมีค่าสูงที่สุดประมาณ 1.43 จากกรณีการใช้ครีบบที่มี $R_b=0.20$ และ $R_p=1$ ที่ $Re=5300$

สุรียา และคณะ. [31] เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ทางวิศวกรรมที่สำคัญและมีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมรวมทั้งงานทางด้านเกษตรกรรม ซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำเป็นจะต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งในการขับเคลื่อนกระบวนการ โดยปริมาณพลังงานที่ใช้จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นส่วนหนึ่งมาจากสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีสมรรถนะสูงสามารถเกิดกระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างรวดเร็วก็จะช่วยลดปริมาณพลังงานที่จ่ายแก่ระบบได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษถึงการเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยเทคนิคครีบบางขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ทำการศึกษาที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($R_p=P/D$) เป็น 0.5 1.0 และ 1.5 โดยครีบบมีความสูง (H) จำนวน 2 ขนาด ได้แก่ 5 และ 10 มิลลิเมตร ($R_b=H/D$)=0.1 และ 0.2 ตามลำดับในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 5300-24000 ภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลศาสตร์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ พบว่าการใช้ครีบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 2.04-3.32 เท่าของท่อเปล่า และให้ตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 3-24 เท่าของท่อเปล่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานซึ่งแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายใต้กำลังของปั๊มเดียวกัน จะเห็นว่าการใช้เทคนิคครีบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ ก่อให้เกิดผลดีหากมีการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในแง่ของการประหยัดพลังงานเนื่องจากช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือในแง่ของการลดต้นทุนทางวัสดุเนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่าสมรรถนะสูงขึ้นทำให้สามารถลดขนาดเครื่องลงได้ในขณะที่ขีดความสามารถการทำงานยังคงเดิม ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งาน เช่น กระบวนการอบไล่ความชื้น, เครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์หรือผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น

บุญลอย และคณะ. [32] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งครีบบางเอียง 2 แบบ ได้แก่ ครีบบแบบเต็มและครีบบแบบแยกตัวจัดวางตรงกันที่กึ่งกลางตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อโดยทำการเปรียบเทียบที่มุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° ความสูงของครีบบเท่ากับ 0.10-0.30 และระยะห่างระหว่างครีบบมีค่าคงที่เท่ากับ 1 โดยให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบพลศาสตร์ความร้อนคงที่ในการคำนวณใช้ วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ของท่อ เท่ากับ 4000-20000 ผลลัพธ์ของการคำนวณเชิงตัวเลขใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG k- ϵ ทำการศึกษาอิทธิพลของครีบบต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อ ผลจากการศึกษาที่ได้จากพบว่าท่อที่มีการติดตั้งครีบบเอียงถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ จากการศึกษาพบว่าทั้งสองกรณีให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อที่มีผนังเรียบโดยการ เพิ่มครีบบางเอียงแบบเต็มจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูง กว่าครีบบางเอียงแบบแยกตัว กรณีครีบบางเอียงแบบเต็มตัวจะให้ค่า

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 1.46 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกรณี
 ครอบวางแบบแยกเต็มตัวซึ่งให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1 ถึง 1.42



รูปที่ 2.26 รูปทรงของท่อที่มีการติดตั้งครีบบางเอียงกึ่งกลางท่อและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิด
 การไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ

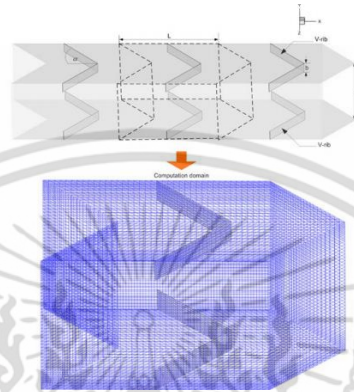
สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. [33] บทความนี้นำเสนอการศึกษา
 เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบคาบและราบเรียบใน ท่อที่มีอุณหภูมิ
 ผิดวงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่ผนังด้านบนและด้านล่างตรงกัน ซึ่งมีมุมปะทะ (α) เท่ากับ
 45 องศาและมีอัตราส่วนการกั้น (R_B) ตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.30 ในการศึกษาใช้อัตราการไหลที่ใช้จะ
 เปลี่ยนแปลง ไปตามค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 100 จนถึง 1000 จากผลลัพธ์ที่ได้จากท่อที่มี
 การติดตั้งแผ่นกั้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ พบว่าท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะเพิ่มการถ่ายเท
 ความร้อนได้ดีกว่าท่อผิวเรียบ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการกั้นทำให้ค่าเลขนัสเซลต์และตัว
 ประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (η) สูงสุดเท่ากับ 2.53 ที่ค่า $R_B=0.25$
 และ $Re=1000$



รูปที่ 2.27 รูปทรงการจำลองวิเคราะห์ข้อมูล

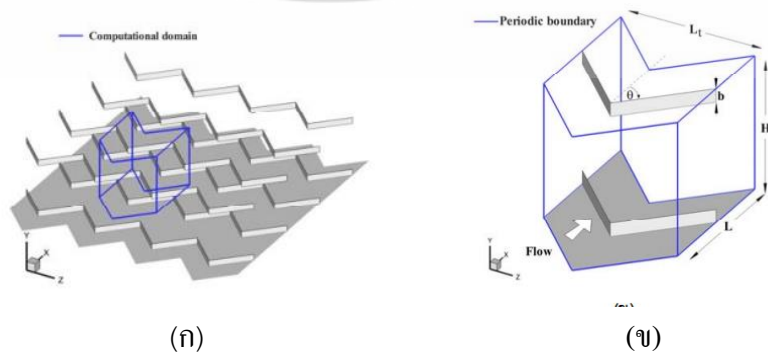
วิฑาดา และคณะ. [34] งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อน
 สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อจัตุรัส ที่มีอุณหภูมิผิวดวงที่ โดยมีการติดตั้งครีบบตัววีที่ผนังของท่อ มี
 อัตราส่วนระหว่างระยะห่างของครีบบต่อความสูงของท่อ (R_p)=1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 โดย
 ครีบบที่ติดตั้งนั้นมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะ (α)=45° จัดวางแบบตรงและมีค่าอัตราส่วน
 การบล็อกการไหล (R_B)=0.15 ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ
 SIMPLE ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน การไหลของของไหลและการ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียความดันสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้น ผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อในช่วง $Re=100-1000$ โดยค่าการถ่ายเทความร้อน โดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซล (Nu) และการสูญเสียความดัน โดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) พบว่าการเพิ่มครีบตัววีจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อ เปรียบเทียบกับท่อที่มีผิวเรียบ โดยค่า R_p ที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่ลดลง ที่ $R_p=1.00$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด และในขณะเดียวกันก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานหรือ ค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดเช่นกัน



รูปที่ 2.28 รูปทรงของท่อจัดรีสที่มีการติดตั้งครีบตัววีและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ

สมชาย ศรีพัฒนาพิพัฒน์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. [35] บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมกรไหลแบบราบเรียบในช่องขนานที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่ผนังด้านบนและด้านล่างตรงกัน ซึ่งมีมุมปะทะ (α)=60° และมีอัตราส่วนการกั้น (R_B) ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.15 ในการศึกษาอัตราการไหลที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 1000 จากผลลัพธ์ที่ได้จากช่องการไหลที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับช่องการไหลผิวเรียบ พบว่าช่องการไหลที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าช่องการไหลผิวเรียบการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการกั้นทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (η) สูงสุดเท่ากับ 1.88 ที่ $R_B=0.075$ และ $Re=1000$ ของแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 60°



รูปที่ 2.29 (ก) ช่องการไหลและแผ่นรูปตัววี, (ข) พารามิเตอร์และเงื่อนไขขอบเขต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถือว่าผิดกฎหมาย

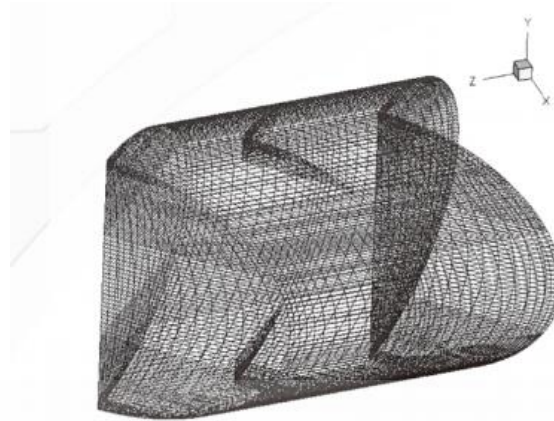
ประกายดาว และคณะ. [36] ตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิด conical ring ถูกใช้เพื่อสร้างการไหลหมุนวนในท่อ ส่งผลให้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากขึ้น งานวิจัยนี้นำเสนออิทธิพลของ conical ring ที่ติดตั้งในท่อกลมทั้งในส่วนของการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทาน ทำการศึกษาด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขสามมิติ สำหรับ conical ring ที่มีค่า อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนการขวางการไหล ($DR=D_i/D$) เท่ากับ 0.3, 0.5, 0.6 และ 0.7 ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์คงที่ (R_p)=2 ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 3000-20000 ในท่อที่มีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ผลจากการศึกษาเสนอในรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมใน รูปของเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับ ผลจากการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่า conical ring ที่ติดตั้ง ในท่อกลม ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่อัตราส่วนการ ขวางการไหล ($DR=D_i/D$) เท่ากับ 0.7 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ conical ring ไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนแต่ยังส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง



รูปที่ 2.30 ท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย Conical rings

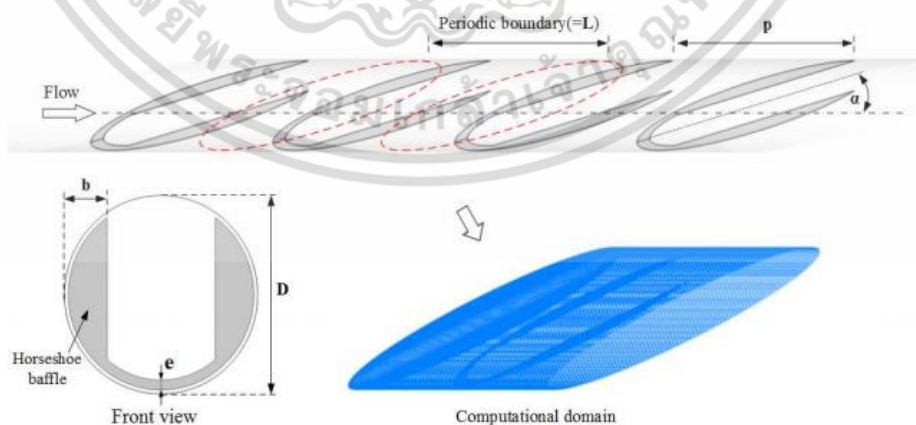
ยุทธนา พลอยฉาย. [37] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบลามินาร์สามมิติ ในท่อกลมที่มีผนังท่ออุณหภูมิคงที่ โดยการเปรียบเทียบการวางครีบบลายวีทำมุม 45 องศา แบบปลายวีตามกระแส การไหลและปลายวีทวนกระแสการไหลที่อัตราส่วนการบล็อก เท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 ซึ่งการไหลให้เป็นแบบคาบและการคำนวณโดยใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและแผนผังแบบ SIMPLE โดยศึกษาคูณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลสำหรับเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงเท่ากับ 100-800 ผลการคำนวณบ่งบอกว่าการถ่ายเทความร้อนของการวางครีบบลายวีทำมุมปลายวีทวนกระแสการไหลให้ค่าสูงกว่าแบบปลายวีตามกระแสการไหลทุกค่าเลขเรย์โนลด์ที่ค่าอัตราส่วนการบล็อกเท่ากันและพบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการวางครีบบลายวีทวนกระแสการไหลตั้งแต่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ขึ้นไป จะมีค่าสูงกว่า แบบปลายวีตามกระแสการไหลที่ค่า $R_b=0.10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 ลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อกลมที่มีครีบบางทำมุม

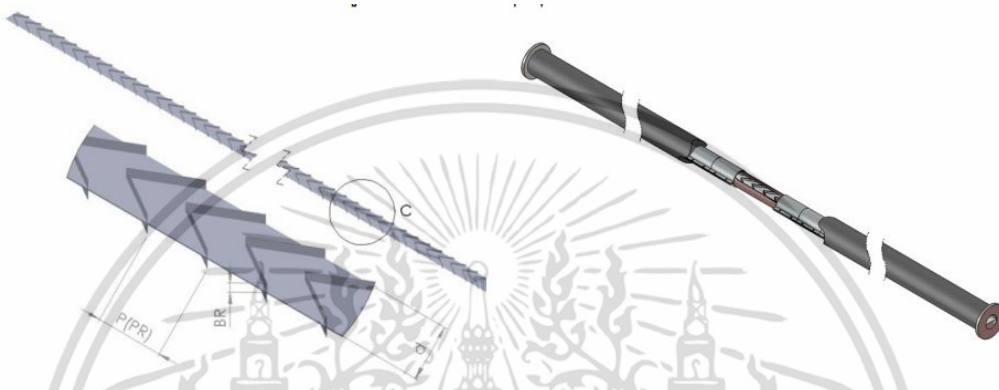
สมบัติ ทำนา และพงษ์เจต พรหมวงศ์. [38] งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลเป็นคาบแบบปั่นป่วนในท่อกลมที่มีฟลักซ์ความร้อนที่ผนังท่อคงที่ มีการใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียงทำมุมปะทะ (α)=20 องศา โดยแผ่นกั้นมีอัตราส่วนการปิดกั้นการไหล ($R_b=e/D$)=0.2 และอัตราส่วนระยะพิตต์มีการเปลี่ยนแปลง ($R_p=P/D$)=0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 และ 2.0 ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและอัลกอริธึมแบบ simple ค่าเรย์โนลด์ที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 4000-20000 อิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลที่ได้จากการคำนวณพบว่าท่อกลมที่มีการใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียงจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อกลมที่ไม่ใส่แผ่นกั้น การลดลงของอัตราส่วนระยะพิตต์ทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น ในทุกแผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางทำมุมเอียงที่ใช้ในการศึกษา พบว่ากรณีระยะพิตต์ที่ 0.5 ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) สูงสุดเท่ากับ 2.03 ที่เลขเรย์โนลด์ต่ำสุด



รูปที่ 2.32 ท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าแบบวางเอียงและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิฑูรย์ และคณะ. [39] บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและแรงดันตกคร่อมภายในท่อกลมที่มีการสอดแผ่นครีบริบตัววี โดยการทำการทดลองที่สภาวะผิวท่อเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ขนาดของครีบริบมีมุมปะทะ 30 องศา, อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 อัตราส่วนความสูงครีบริบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.15 ซึ่งในการทดสอบใช้อากาศเป็นของไหลในการทดสอบและในลักษณะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000-25000 โดยพบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.5 ที่ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ 5000



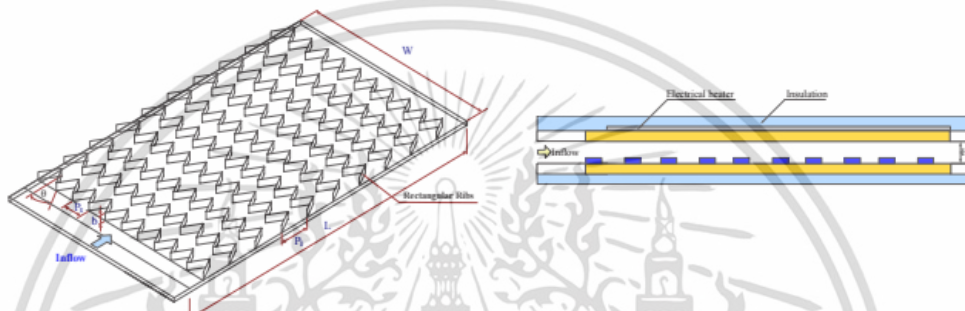
รูปที่ 2.33 ลักษณะครีบริบรูปตัววีและลักษณะท่อช่วงทดสอบ

ธีรพัฒน์ ชมพุกำ และพงษ์เจต พรหมวงศ์. [40] บทความนี้ทำการศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นติดครีบริบตัววีคู่ ท่อทดสอบทำการทดลองที่สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่และใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองถูกปรับให้สอดคล้องกับค่าของเลขเรย์โนลด์ (Re) ช่วงระหว่าง 4000-25000 แผ่นติดครีบริบ ทำการทดสอบโดยจัดวางครีบริบ 2 แบบ คือ แบบซี่ทวนกระแสการไหลและแบบซี่ตามกระแสการไหล, สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ ($R_p=P/H$)=1 และ 2 มุมปะทะ (α)=30° และ สัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (b/H)=0.2 อิทธิพลของการจัดวางครีบริบต่อคุณลักษณะทางความร้อนและความเสียดทานการไหลในท่อจะถูกทำการทดสอบ ผลการทดลองของการถ่ายเทความร้อนแสดงในพจน์เลขนัสเซิลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันแสดงในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) เปรียบเทียบกรณี ติดตั้งแผ่นติดครีบริบตัววีคู่กับท่อผิวเรียบพบว่า ชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบริบตัววีคู่จัดวางครีบริบแบบซี่ตามทิศทางการไหลให้ ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแบบซี่ทวนทิศทางการไหล แผ่นติดครีบริบตัววีคู่จัดวางครีบริบ แบบซี่ตามทิศทางการไหลที่ $R_p=1$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.83 ที่ค่า เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด

ภาณุวัฒน์ และคณะ. [41] บทความนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนานที่มีการติดครีบริบสี่เหลี่ยมรูปตัววี โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิว คงที่ ครีบริบสี่เหลี่ยมรูปตัววีทำมุมปะทะ (α)=30 องศา ซี่ตามทิศทางการไหล ติดตั้งที่ผิวล่างของส่วนทดสอบ ใช้เพื่อสร้างการหมุนกลับและการหมุนที่มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.2, 0.3 และ 0.4, ความหนา (t)=0.3 มิลลิเมตร มีสัดส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามยาวต่อความสูงช่องขนาน (P_t/H , PR)=1.33 และระยะพิตต์ตามขวางต่อความสูงช่องขนาน (P_t/H)=1 ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (Aspect Ratio, AR)=10, ความสูงช่องขนาน (H)=30 มิลลิเมตร การทดลองใช้ความเร็วการไหลของอากาศในระดับต่าง ๆ กัน ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 5000-23000 จากนั้นทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในรูปของตัวประกอบเสียดทาน (f) เพื่อศึกษาผลของการติดตั้งครีบสี่เหลี่ยมรูปตัววีและอิทธิพลของความสูงครีบ (e) การศึกษาพบว่า การติดตั้งครีบสี่เหลี่ยมรูปตัววีให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่องขนานที่ผนังไม่มีครีบและเมื่อเปรียบเทียบที่ค่า (e/H) ต่างๆ พบว่าที่ค่า (e/H)=0.2 ให้ค่าสมรรถนะความร้อน (η) สูงสุดให้ค่าเท่ากับ 1.35



รูปที่ 2.34 ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีบสี่เหลี่ยมรูปตัววี

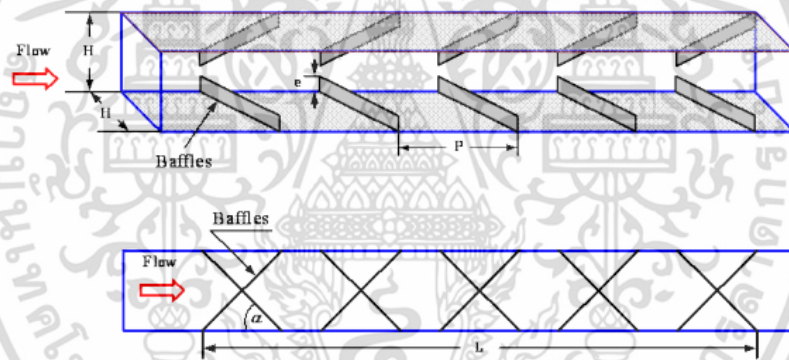
วิชญ์ และคณะ. [42] บทความนี้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบสามเหลี่ยมและปีกโดยการทำการทดลองที่สภาวะผิวเป็นแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่และของไหลที่ใช้ในการทดลองคืออากาศในการทดลองจะใช้ความเร็วอากาศต่างๆ กัน โดยค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 4000-25000 ทำการเปรียบเทียบผลของกรณีท่อสี่เหลี่ยมมีผนังเรียบ ท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบที่ผิวบนและผิวล่างและท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบที่ผิวบน ล่างและมีการติดตั้งปีกที่ทางเข้าของท่อทดสอบ โดยทำการจัดวางครีบบนมีแนวเดียวกันเพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลองพบว่าท่อที่มีการใส่ครีบหรือติดตั้งปีกที่ทางเข้าให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมที่มีผนังเรียบและท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบอย่างเดียว พบว่าท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบและมีการติดตั้งปีกที่ทางเข้าของท่อสี่เหลี่ยมให้ผลการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด

ไพฑูรย์ สุขเตี้ยม และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. [43] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบ โดยทำการทดลองที่สภาวะผิวของท่อเป็นแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ในการทดลองโดยปรับใช้ความเร็วลมหลายๆ ค่าในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=4000-40000$ โดยทำการเปรียบเทียบผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบกับท่อที่มีการสอดใส่แผ่นติดครีบรูปตัวยูวางในแนวทแยงมุมภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำการจัดวางแผ่นติดครีบโดยให้ปลายตัวยูชี้ตามลมที่มุม 45 องศา สัดส่วนความสูงครีบต่อความสูงท่อ $e/H=0.11$ สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูง ท่อ $R_p=0.44, 0.88$ และ 1.33 เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบรูปตัวยูให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้พิมพ์เอกสารนี้ขึ้นต้นหน้ากระดาษ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทานเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างท่อที่มีผนังเรียบ จะได้ว่าท่อที่มีแผ่นติดครีบริบด้วยที่ $R_p = 0.44$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

ภาณุวัฒน์ และคณะ. [44] บทความนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะผิวเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ครีบริบวางเอียงติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมี ความสูง (H)=40 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ (e/H)=0.1, 0.3 สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูง ท่อ $R_p=1, 2$ โดยทำการติดตั้งครีบริบที่ผิวบน - ล่างของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α)=45° การทดลองใช้ความเร็วอากาศในระดับต่างๆ กัน โดยค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 4000-40,000 เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าการใช้ครีบริบวางเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบไม่มีครีบริบการติดตั้งครีบริบที่ $e/H=0.3$ ที่ $R_p=1$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงสุด ตามด้วย $e/H=0.3$ ที่ $R_p=2$ และ $e/H=0.1$ ที่ $R_p=1, 2$ ตามลำดับ แต่ตัวประกอบเสียดทานก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน จึงส่งผลให้ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ $e/H=0.3$ ที่ $R_p=1$ มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น

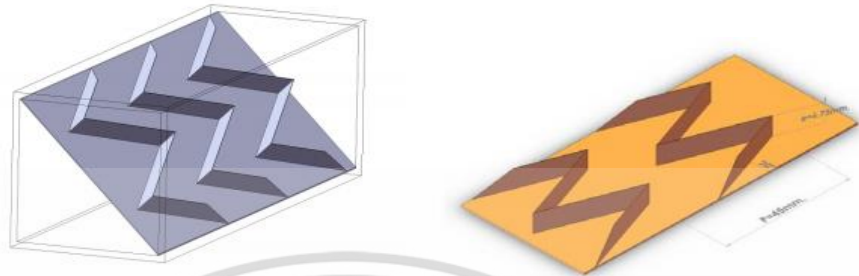


รูปที่ 2.35 ส่วนทดสอบและการติดตั้งครีบริบตัดกัน

วิฑาดา และคณะ. [45] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยแผ่นติดครีบริบ โดยทำการทดลองที่สภาวะผิวของท่อเป็นฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ในการทดลองโดยปรับใช้ความเร็วลมหลายๆ ค่าในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re = 4000-40000$ โดยทำการเปรียบเทียบผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบกับท่อที่มีการสอดใส่แผ่นติดครีบริบตัวดับเบิลวีในแนวทแยงมุมภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำการจัดวางแผ่นติดครีบริบที่มุม 10° , 20° และ 30° โดยครีบริบมีความสูง 15% ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าชุดทดลองที่มีแผ่นติดครีบริบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบและพบว่าท่อที่มีแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีทำมุม 30° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดตามด้วยแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีมุม 20° ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นติดครีบริบรูปดับเบิลวีที่มุม 30° , 20° และ 10° ให้ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบ

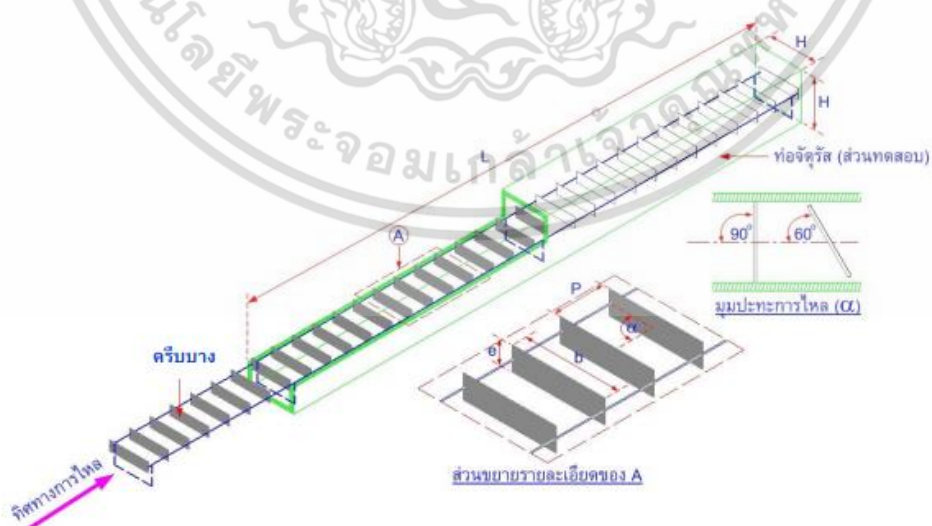
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียบ 3.64, 3.39 และ 2.93 เท่า ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าตัวประกอบเสียตทานเฉลี่ยสำหรับแผ่นติดครีบริบรูปดัดเบิลวีมีค่ามากกว่าท่อผนังเรียบ 25.80, 15.70 และ 7.49 เท่า สำหรับมุม 30° , 20° และ 10° ตามลำดับ



รูปที่ 2.36 ครีบริบรูปตัวดัดเบิลวีที่วางในแนวเส้นทแยงมุมของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ภาณุวัฒน์ และคณะ. [46] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อจัตุรัสด้วยการใส่ครีบบาง โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ดังนี้ความสูงครีบบางต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนการปิดกั้นการไหล ($R_B=e/H$)=0.2 และ 0.3 มุมปะทะการไหล (α)= 60° และ 90° และใช้ระยะพิตต์ต่อความสูงท่อหรืออัตราส่วนระยะพิตต์ ($R_P=P/H$)=1.5 ทำการทดลองที่สภาวะพลิกซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ใช้ความเร็วที่สอดคล้องกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ อยู่ในช่วงระหว่าง 4000-23000 เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน จากการทดลองพบว่าการใช้ครีบบางที่ค่า $\alpha=90^\circ$ และ $R_B=0.3$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียตทานสูงกว่ากรณีอื่นๆ ในขณะที่การติดตั้งครีบบางที่ค่า $\alpha=60^\circ$ และ $R_B=0.3$ พบว่ามีค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด



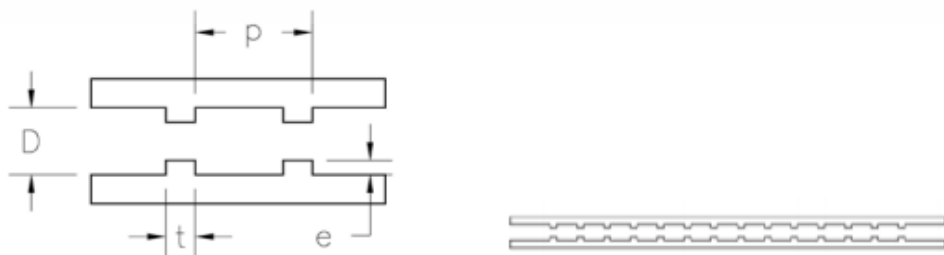
รูปที่ 2.37 ส่วนทดสอบที่มีการใส่ครีบบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิริสวัสดิ์ และคณะ. [47] บทความนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยการใส่ใบพัดเกลียวเว้นช่วงภายในท่อกลม การทดลองจะเลือกใช้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000-25000 และมีอากาศเป็นของไหล ซึ่งทำการศึกษาอัตราส่วนระยะพิตต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง ($R_p=P/D$)=2 อัตราส่วนการบล็อกการไหล ($R_B=e/D$)=0.27 และที่มุมปะทะการไหล (α)=75, 60, 45 และ 30 องศา ตามลำดับ โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อติดตั้งขดลวดที่มุมต่างๆ ภายในท่อกลมจะ ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมาวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่ามุมปะทะการไหล (α)=60 องศา จะให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.13–1.50 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ

ภาณุวัฒน์ และคณะ. [48] บทความนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยการใส่ครีบบีเยิงทำมุมในแนวทแยงมุมของท่อ การทดลองนี้ใช้ค่าความเร็วสอดคล้องกับตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงระหว่าง 4000-25000 มีมุมปะทะ α เท่ากับ 30 องศา, ระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ ($R_p=P/H$)=2 ความสูงครีบบีเยิงต่อความสูงท่อ ($R_B=e/H$)=0.1, 0.15 และ 0.2 ผลการทดลองนี้ได้นำเสนอค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของตัวเลขนัสเซิลท์และค่าการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลองพบว่า การใส่ครีบบีเยิงทำมุมจะให้ค่าเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีท่อเรียบทุกกรณีศึกษา การใส่ครีบบีเยิงทำมุมที่ค่า $R_B=0.2$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าการสูญเสียความดันสูงสุด แต่ที่ค่า $R_B=0.1$ จะให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

ศรัณย์ พิพัฒน์ศาสตร์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. [49] บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของช่องขนานที่มีครีบบีเยิงที่มีลักษณะความร้อนคงที่ การศึกษาจะพิจารณาถึงสัดส่วนความสูงของครีบบีเยิงต่อระยะห่างแผ่นช่องขนานความร้อน (e/D) และการจัดรูปแบบแผ่นครีบบีเยิงที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทาน โดยมีขอบเขตการศึกษาที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number) ตั้งแต่ช่วงระหว่าง 250–5000 สัดส่วนความสูงครีบบีเยิงต่อระยะห่างแผ่นช่องขนานความร้อน (e/D) มีค่าเท่ากับ 0.20 และ 0.25 การจัดระยะห่างแผ่นครีบบีเยิงตรงและเอียงกันทำมุม 0 และ 180 องศาและระยะพิตต์คงที่เท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยผลที่ได้จะทำการศึกษา เปรียบเทียบกับการถ่ายเทความร้อนของแผ่นช่องขนานความร้อนผิวเรียบ ภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน จากการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนความสูงครีบบีเยิงต่อระยะห่างแผ่นช่องขนาน (e/D) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้เพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.38 ลักษณะการจัดวางครีบบีเยิงในช่องขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุริยา โชคเพิ่มพูน และคณะ. [50] งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีกบางที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจตุรัสปีกบางที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะที่แตกต่างกันของมุมปะทะการไหล ($\alpha=30^\circ, 45^\circ,$ และ 60°) และอัตราส่วนความสูงปีก ($R_B=e/H$)=0.05, 0.10 และ 0.15 ที่อัตราส่วนระยะพิตต์คงที่ ($R_p=P/H$)=1.0 ซึ่งปีกบางจะถูกสอดใส่ในช่วงท่อทดสอบตามแนวทแยงมุมของหน้าตัดและให้ปีกบางลอยอยู่บริเวณกลางหน้าตัดท่อทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขสภาวะพลศาสตร์ความร้อนที่ผิวคังที่มีอากาศเป็นของไหลทำงานในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์มีค่าระหว่าง 6000- 26000 ผลการศึกษาของกรณีศึกษาทั้งหมดจะทำการเปรียบเทียบที่ผิวเรียบ พบว่าการใช้ปีกบางช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและทำให้เกิดการสูญเสียความดันที่สูงกว่าที่ผิวเรียบและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกมีค่าสูงขึ้นภายใต้เงื่อนไขการศึกษานี้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากที่ผิวเรียบประมาณ 1.55–2.29 และ 2.27–8.48 เท่า ตามลำดับ ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.49 เกิดขึ้นในกรณีการใช้ปีกบางที่ $Re=6500, \alpha=30^\circ$ และ $BR=0.10$

2.3 แนวคิดงานวิจัย

จากการศึกษาวิจัยของนักวิจัยจำนวนมาก พบว่าชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ในการศึกษาวิจัยสามารถจำแนกตามลักษณะรูปร่างหน้าตัดท่อได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ท่อหน้าตัดกลม ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมแบบช่องขนาน ซึ่งมีลักษณะกายภาพของผิวภายในท่อที่แตกต่างกัน ทำให้มีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนหรือตัวสร้างการหมุนคังที่แตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนหรือตัวสร้างการหมุนคังในแต่ละรูปแบบสำหรับหน้าตัดท่อแต่ละลักษณะ

ตัวสร้างความปั่นป่วนที่เป็นที่นิยมสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลมคือการสอดใส่ใบปิด การประยุกต์ใบปิดมีการศึกษาอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการบิดซึ่งพบว่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายมีค่าเพิ่มเมื่ออัตราส่วนการบิดมีค่าลดลง การศึกษาถึงลักษณะการติดตั้งในรูปแบบต่างๆ โดยเฉพาะการพัฒนารูปร่างของใบปิดให้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมนับเป็นรูปแบบการศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้ใบปิดที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงอิทธิพลของจำนวนใบปิดและทิศทางการบิดที่มีต่อการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นยังมีจำนวนการศึกษาน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเริ่มต้นการศึกษาด้วยการประยุกต์ใช้ชุดใบปิดที่มีจำนวนใบปิดและทิศทางการบิดที่แตกต่างกันสำหรับเป็นตัวสร้างความปั่นป่วน

ตัวสร้างการหมุนคังประเภทกริบ ปีกและแผ่นกั้นบาง นั้นให้ผลลัพธ์ในแง่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีสำหรับประยุกต์ใช้ในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบบช่องขนาน โดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของรูปทรง อัตราส่วนการขวางการไหล อัตราส่วนระยะพิตต์และมุมปะทะการไหล ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการศึกษา แต่ถึงอย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ตัวสร้างการหมุนคังประเภทกริบ ปีกและแผ่นกั้นบางสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดทอกกลมมีจำนวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาวิจัยที่น้อยมาก จึงได้เกิดแนวคิดการนำตัวสร้างการหมุนควงประเภทปีกมาประยุกต์ใช้ในลักษณะรูปทรงที่คล้ายคลึงกับที่มีการศึกษาวิจัยในท่อน้ำตัดสี่เหลี่ยมได้แก่ ปีกวางเอียง ปีกรูปตัววีชี้ ตามกระแสการไหลและปีกรูปตัววีชี้ทวนกระแสการไหล และพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยการติดตั้งปีกบนโครงลวดครึ่งวงกลมเพื่อให้ปีกลอยกลางหน้าตัดท่อ และมีการต่อยอดความคิดด้วยการนำมุมปะทะการไหลที่ให้สรรณะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดสำหรับกรณีการติดตั้งปีกบนโครงลวดครึ่งวงกลมลอยกลางหน้าตัดท่อ มาเป็นขอบเขตการศึกษาในกรณีการติดตั้งชิ้นงานบนโครงลวดครึ่งวงกลมและแผ่นทึบบางโดยให้ปีกแนบติดผิวภายในท่อทดสอบเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาวิจัยต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎี

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยกลศาสตร์ของไหล [26] การถ่ายเทความร้อน [27-30] และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน [31] โดยทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลจะกล่าวถึงลักษณะการไหลภายในท่อ ความดันสูญเสียที่เกิดจากการไหลภายในท่อ ในขณะที่ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนจะมุ่งเน้นไปที่การพาความร้อนแบบบังคับสำหรับการไหลภายในท่อ และสหสัมพันธ์ที่ใช้เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อน ส่วนหลักการการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะแสดงถึงวิธีการ ประโยชน์และแนวคิดสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทฤษฎีและหลักการทั้งหมดนี้จะใช้เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียความดัน การถ่ายเทความร้อน และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ภายใต้ขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้

3.2 กลศาสตร์ของไหล

3.2.1 การไหลแบบภายในท่อ

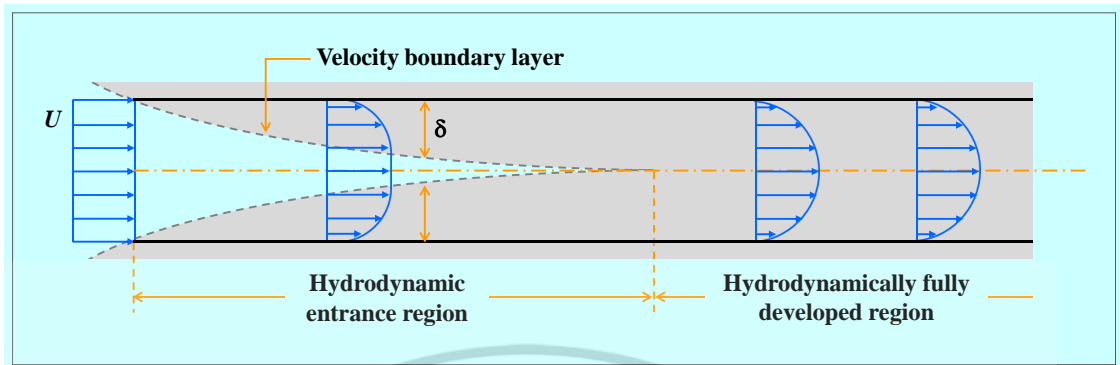
การไหลแบบภายในท่อ (internal flow) คือ การไหลที่ถูกกักและล้อมรอบทั้งหมดด้วยของแข็ง สามารถจำแนกสภาพการไหลออกเป็นสองสถานะ ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) สภาพการไหลทั้งสองแบบจะมีผลต่อรูปร่างความเร็ว (velocity profile) ความเสียดทาน สำหรับการไหลในช่วงต่อระหว่างการไหลของทั้งสองสถานะนี้จะเรียกว่า การไหลแบบช่วงต่อ (transition) โดยตัวแปรไร้มิติที่เป็นตัวกำหนดสภาพการไหล คือ เลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและความหนืดของของไหล ค่าเลขเรย์โนลด์วิกฤติสำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลงของการไหลจากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วนเริ่มต้น 2300 และเป็นการไหลแบบปั่นป่วนเต็มตัวที่ค่าเลขเรย์โนลด์ประมาณ 4000

$$Re = UD / \nu \quad (3.1)$$

ในช่วงเริ่มก่อนที่ของไหลจะไหลเข้าสู่ท่อ ความเร็วของของไหลมีลักษณะสม่ำเสมอ และจากเงื่อนไขการไม่ลื่นไถล (no slip condition) ทำให้ความเร็วของของไหลที่ติดกับผนังท่อเป็นศูนย์และจากความเสียดทานเนื่องจากความหนืดระหว่างชั้นของของไหลจึงก่อให้เกิดเป็นรูปร่างความเร็ว โดยรูปร่างของความเร็วจะพัฒนาขึ้นตามความหนาของชั้นขอบเขตความเร็ว (velocity boundary layer) ที่เกิดขึ้นจากบนผนังท่อจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ชั้นขอบเขตนั้นเบียดชนกัน ช่วงการไหลในระยะนี้เรียกว่า การไหลในย่านขาเข้า (hydrodynamic entrance region) ความยาวของการไหลในย่านนี้เรียกว่า ความยาวการไหลในย่านขาเข้า (hydrodynamic entry length) ซึ่งระยะความยาวของการไหลในย่านขาเข้าจะขึ้นอยู่กับสภาพการไหล สำหรับสภาพการไหลแบบปั่นป่วนมีค่าประมาณ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และหลังจากตำแหน่งนี้ไปรูปร่างความเร็วของของไหลจะที่ค่าคงที่ โดยความเร็วของของไหลที่ติดกับผนังท่อมีค่าเป็นศูนย์และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังท่อเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมีความเร็วสูงสุดที่บริเวณใจกลางท่อ เรียกช่วงการไหลจากนี้ไปนี้ว่า การไหลที่พัฒนาเต็มที่ (hydrodynamically fully developed region) ดังรูปที่ 3.1

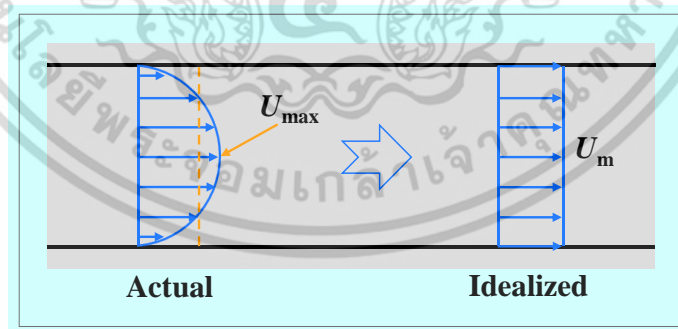


รูปที่ 3.1 รูปร่างความเร็วและชั้นขอบเขตการไหลของของไหลภายในท่อกลม

เมื่อพิจารณารูปร่างความเร็วของการไหลภายในท่อ พบว่าความเร็วทั่วทั้งหน้าตัดใดๆ ของท่อ มีค่าไม่เท่ากันโดยแปรผันตามระยะห่างจากผนังท่อ แต่สำหรับการวิเคราะห์การไหลภายในท่อแบบ 1 มิติ สมมติให้เป็นความเร็วเฉลี่ยที่มีค่าเท่ากันตลอดหน้าตัดใด ๆ ซึ่งใช้เกณฑ์อัตราการไหลของมวล เท่ากันระหว่างรูปร่างความเร็วจริงและรูปร่างความเร็วเฉลี่ย เรียกว่า ความเร็วเฉลี่ยมวล (mass-averaged velocity)

$$\dot{m} = \rho U A_{cross} \quad (3.2)$$

สำหรับการไหลภายในท่อพื้นที่หน้าตัดคงที่ ภายใต้สภาวะการไหลคงที่ (steady state) ซึ่งมีความเร็วเท่ากันตลอดหน้าตัด และเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ (incompressible flow) คือสมมติให้ความหนาแน่นของของไหลเป็นค่าคงตัว ทำให้ความเร็วเฉลี่ยมวลมีค่าคงที่ตลอดความยาวท่อ



รูปที่ 3.2 รูปร่างความเร็วจริงและรูปร่างความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายในท่อกลม

3.2.2 การวิเคราะห์สูญเสียของการไหลแบบภายในท่อ

การวิเคราะห์การสูญเสียของการไหลแบบภายในท่อสามารถกระทำได้โดยการใช้สมการควบคุม ได้แก่ สมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัมและสมการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับการวิเคราะห์จะทำการสมมุติสภาวะของการไหลเป็นการไหลภายใต้สภาวะการไหลคงที่และเป็นการไหลที่

อัดตัวไม่ได้ ในช่วงการไหลที่พัฒนาเต็มที่ ภายในท่อที่มีขนาดหน้าตัดคงที่และมีความดันสม่ำเสมอที่หน้าตัดใดๆ

สมการอนุรักษ์มวล

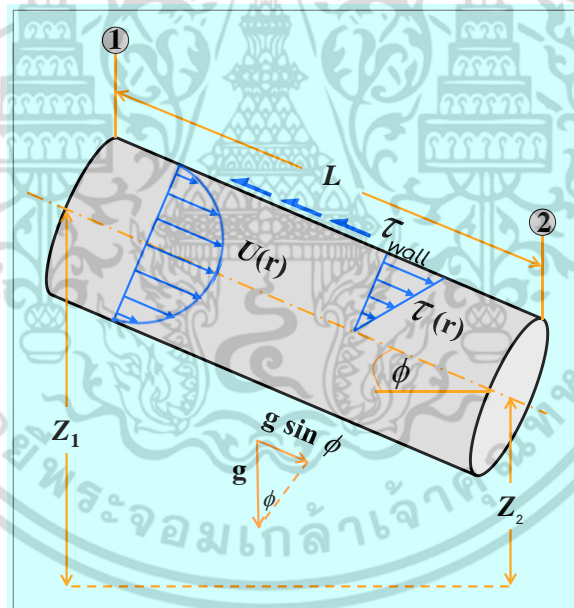
$$\dot{m} = \rho_1 U_1 A_{1\text{cross}} = \rho_2 U_2 A_{2\text{cross}} \quad (3.3)$$

เนื่องจากการไหลภายใต้สภาวะการไหลคงที่และเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ ทำให้เป็นการไหลที่มีความเร็วเท่ากันตลอดหน้าตัดและความหนาแน่นคงที่ตลอดความยาวท่อ จะได้สมการอนุรักษ์มวลในรูปอัตราการไหลเชิงปริมาตร

$$U_1 A_{1\text{cross}} = U_2 A_{2\text{cross}} = \dot{Q} \quad (3.4)$$

การสมมุติให้เป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้เป็นข้อสมมุติฐานที่ดีสำหรับของไหลที่มีสถานะของเหลว และของไหลในสถานะก๊าซเฉพาะที่มีความเร็วการไหลต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก สำหรับในบรรยากาศปกติคือความเร็วที่ต่ำกว่า 330 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม



รูปที่ 3.3 ปริมาตรควบคุมของการไหลภายในท่อกลม

พิจารณาการไหลของของไหลผ่านภายในปริมาตรควบคุมในรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการอนุรักษ์โมเมนตัมในแนวแกนระดับของท่อได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุมมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม ดังสมการ 3.5

$$\dot{m}(U_2 - U_1) = \sum F_x = (P_1 A_{1\text{cross}} - P_2 A_{2\text{cross}}) - (\tau_{\text{wall}} A_s) - (\rho g A_{\text{cross}} L \sin \phi) \quad (3.5)$$

แรงที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมในแนวแกนของท่อได้แก่ (1) แรงเนื่องจากความดัน (2) แรงเนื่องจากความเสียดทานที่ผนังท่อ (3) แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลกที่พิจารณาเฉพาะที่อยู่ในเอกสารนี้เป็นเอกลักษณ์สำหรับวิศวกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเซอร์เรียบร้อยแล้วไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกนระดับของท่อ เนื่องจากเป็นการไหลภายใต้สภาวะการไหลคงที่ภายในท่อที่มีขนาดหน้าตัดคงที่ ทำให้ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากันเป็นไปตามสมการอนุรักษ์มวล

$$0 = A_{\text{cross}} (P_1 - P_2) - (\tau_{\text{wall}} A_s) - (\rho g A_{\text{cross}} L \sin \phi) \quad (3.6)$$

จัดรูปสมการที่ 3.6 ใหม่จะได้

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (L \sin \phi) = \left(\frac{\tau_{\text{wall}} A_s}{\rho g A_{\text{cross}}} \right) = \frac{\tau_{\text{wall}} 4L}{\rho g D} \quad (3.7)$$

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่าพจน์ที่สองทางซ้ายมือของสมการ 3.7 มีค่าเท่ากับ $(z_1 - z_2)$ และทำการจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (z_1 - z_2) = \frac{\tau_{\text{wall}} 4L}{\rho g D} \quad (3.8)$$

สมการอนุรักษ์พลังงาน

จากรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการอนุรักษ์พลังงานที่ 2 ตำแหน่งของท่อ โดยพิจารณาระบบไม่มีความร้อนและงานมาเกี่ยวข้อง มีเพียงการเปลี่ยนรูปของพลังงานไปอยู่ในรูปของการสูญเสีย ดังสมการที่ 3.9

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{loss}} \quad (3.9)$$

จัดสมการ 3.9 ในรูปของการสูญเสียได้ว่า

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + \frac{(U_1^2 - U_2^2)}{2g} + (z_1 - z_2) = h_{\text{loss}} \quad (3.10)$$

สำหรับการไหลภายใต้สภาวะการไหลคงที่ภายในท่อที่มีขนาดหน้าตัดคงที่ ทำให้ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน ผลต่างของพจน์ที่มีความเร็วมีค่าเป็นศูนย์ ดังสมการ 3.11

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (z_1 - z_2) = h_{\text{loss}} \quad (3.11)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการที่ 3.8 และ 3.11 จะพบว่าที่พจน์ซ้ายมือของสมการทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียและแรงเสียดทานที่ผนังท่อ ดังสมการที่ 3.12

$$h_{\text{loss}} = \frac{\tau_{\text{wall}} 4L}{\rho g D} \quad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.12 หากทราบแรงเสียดทานที่ผนังท่อจะทำให้สามารถหาค่าการสูญเสียจากการไหลของระบบได้ สำหรับการไหลในสภาวะแบบราบเรียบสามารถคำนวณแรงเสียดทานได้จากผลลัพธ์ของสมการควบคุมในระบบอนุพันธ์ แต่สำหรับสภาวะการไหลแบบปั่นป่วนการคำนวณแรง

เสียดทานจากสมการควบคุมไม่สามารถกระทำได้ จึงต้องใช้กรรมวิธีทางการทดลองเท่านั้นในการหาคำตอบ และจากวิธีการหน่วยวัดคุณลักษณะจะได้ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานดังสมการที่ 3.13

$$\tau_{\text{wall}} = f^n(\rho, d, U, \mu, \varepsilon) \quad (3.13)$$

ค่าตัวแปรตัวสุดท้ายคือค่าความขรุขระของผิวท่อโดยเฉลี่ยสามารถหาได้จากการทดลอง และจากความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการ 3.13 สามารถสร้างตัวแปรคุณลักษณะที่เป็นฟังก์ชันของเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนความขรุขระต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทานดังสมการที่ 3.14 โดยนิยามตัวแปรคุณลักษณะเป็นตัวประกอบความเสียดทาน (f) เรียกว่า Darcy's friction factor

$$f = f^n(\rho, d, U, \mu, \varepsilon) \equiv \frac{8\tau_{\text{wall}}}{\rho U^2} \quad (3.14)$$

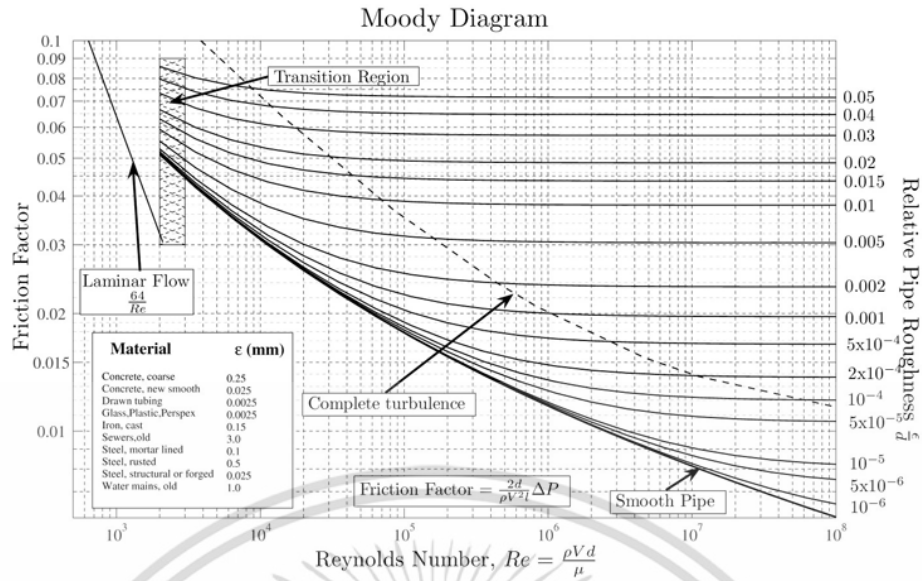
จากความสัมพันธ์ของพจน์ตัวแปรแรงเสียดทานในสมการที่ 3.12 และ 3.14 จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานและการสูญเสีย ดังสมการที่ 3.15

$$f = \frac{2gh_{\text{loss}}}{(L/D)U^2} \quad (3.15)$$

เมื่อพิจารณาการไหลภายในท่อที่วางอยู่แนวระดับจะพบว่าพจน์ที่สองทางซ้ายมือของสมการ 3.11 ($z_1 - z_2$) มีค่าเท่าศูนย์ ทำให้สามารถจัดรูปสมการตัวประกอบความเสียดทานตามสมการที่ 3.15 ใหม่เป็นดังสมการที่ 3.16 เมื่อ $(P_1 - P_2) = \Delta P$

$$f = \frac{2\Delta P}{(L/D)\rho U^2} \quad (3.16)$$

วิวัฒนาการทางการทดลองผสมผสานกับการพัฒนากังทฤษฎี จนกระทั่งทำให้สามารถพัฒนาการหาค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อที่ความขรุขระต่าง ๆ ในช่วงความเร็วการไหลที่แตกต่างกัน ออกมาในรูปแบบแผนภูมิที่เรียกว่า “แผนภูมิมูดี้” (Moody chart)



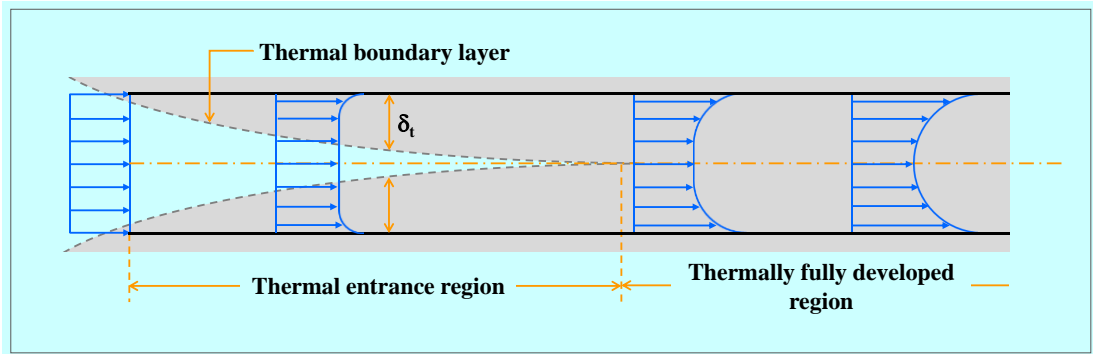
รูปที่ 3.4 แผนภูมิโมดตี้

3.3 การถ่ายเทความร้อน

3.3.1 การพาความร้อนสำหรับการไหลภายในท่อ

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ภายในท่อชั้นขอบเขตความเร็วจะถูกพัฒนาขึ้น และหากว่าอุณหภูมิของของไหลกับอุณหภูมิที่ผิวท่อมีค่าแตกต่างกันชั้นขอบเขตทางความร้อน (thermal boundary layer) ก็จะถูกพัฒนาขึ้นพร้อมกับกระบวนการพาความร้อน ซึ่งสถานะที่ผิวของท่ออาจเป็นกรณีอุณหภูมิผิวคงที่หรือกรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวสม่ำเสมอ โดยในช่วงการไหลที่ชั้นขอบเขตทางความร้อนกำลังพัฒนาขึ้นจนมีความหนาถึงแนวกึ่งกลางท่อ เรียกว่าช่วงย่านขาเข้าทางความร้อน (thermal entrance region) ความยาวในย่านนี้เรียกว่า ความยาวย่านขาเข้าทางความร้อน (thermal entry length) ซึ่งระยะความยาวของการไหลในย่านขาเข้าจะขึ้นอยู่กับสถานะการไหล สำหรับสถานะการไหลแบบปั่นป่วนมีค่าประมาณ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อคล้ายกับกรณีของความเร็ว และหลังจากตำแหน่งนี้ไปรูปร่างของความร้อนจะที่ค่าคงที่ โดยอุณหภูมิของของไหลที่ติดกับผนังท่อมีค่าเท่ากับอุณหภูมิผิวท่อและมีค่าลดลงเมื่อระยะจากผนังท่อเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมีอุณหภูมิต่ำสุดที่บริเวณใจกลางท่อ (กรณีผิวท่อมีอุณหภูมิสูงกว่าของไหล) เรียกช่วงนี้ว่า การพัฒนาเต็มที่ทางความร้อน (thermally fully developed region) ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งรูปร่างของอุณหภูมิที่ปรับตัวเต็มที่ก็จะแตกต่างกันตามเงื่อนไขสถานะที่ผิวท่อ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวท่อกับของของไหลที่ไหลผ่านภายในท่อทำให้เกิดกระบวนการพาความร้อนขึ้น อัตราการพาความร้อนถูกนำเสนอรูปของกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งมีรูปสมการเป็น

$$Q = hA_s(T_s - T_b) \tag{3.17}$$

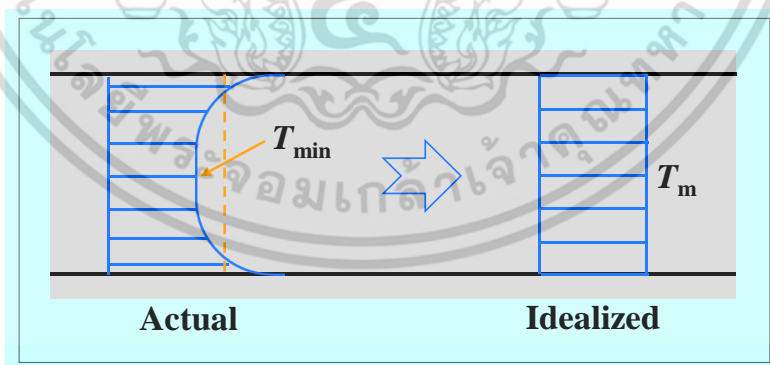


รูปที่ 3.5 รูปร่างอุณหภูมิและชั้นขอบเขตความร้อนของของไหลภายในท่อกลม

พิจารณาชั้นของของไหลที่ติดกับผนังท่อพบว่ามีความหนาของอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของผนังท่อซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการไม่กระโดดของอุณหภูมิ (no-temperature-jump condition) และเกิดส่งถ่ายพลังงานกับชั้นของของไหลในชั้นติดกัน จากเงื่อนไขการไม่สั่นไหลทำให้ความเร็วของของไหลที่ติดกับผนังท่อเป็นศูนย์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากผนังท่อไปสู่ชั้นของของไหลที่อยู่ติดกับผนังท่อจะเป็นเพียงการนำความร้อนเท่านั้น

เมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยการไหลผ่านภายในท่อที่มีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิของของไหลที่หน้าตัดใด ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยของไหลที่ติดกับผิวท่อจะมีอุณหภูมิเท่ากับผิวท่อ แล้วจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อระยะห่างจากผิวท่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุดที่ตำแหน่งแนวจุดศูนย์กลางหน้าตัดท่อ เพื่อความสะดวกในการใช้งานจะนำเสนอในรูปอุณหภูมิเฉลี่ย (average temperature) โดยให้มีค่าคงตัวตลอดหน้าตัดและมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหล ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพิจารณาจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$E_{fluid} = \dot{m}C_p T_m \tag{3.18}$$



รูปที่ 3.6 รูปร่างอุณหภูมิจริงและรูปร่างอุณหภูมิเฉลี่ยของการไหลภายในท่อกลม

คุณสมบัติของของไหลสำหรับการไหลภายในจะพิจารณาที่อุณหภูมิบัลค์ (bulk temperature, T_b) ดังสมการที่ 3.19 เนื่องค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหล

$$T_b = (T_{m,i} + T_{m,o}) / 2 \tag{3.19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์ทางความร้อน

พิจารณาการไหลภายในท่อที่หน้าตัดคงที่ของของไหล ภายใต้สภาวะการไหลคงตัว ในท่อที่มีการให้ความร้อนที่ผิวภายนอกท่อ และมีการไหลของของไหลเกิดขึ้นภายในท่อ จากกฎการอนุรักษ์พลังงานของการไหลภายในท่อสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 3.20

$$Q = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (3.20)$$

เงื่อนไขการให้ความร้อนที่ผิวภายนอกท่อสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่และกรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยที่สภาวะหนึ่งจะสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้เงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่เงื่อนไขการให้ความร้อนที่ผิวท่อทั้งสองกรณีจะเกิดขึ้นพร้อมกันได้

กรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ สามารถอธิบายอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการที่ 3.21

$$Q = \dot{q}A_s = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (3.21)$$

อัตราการพาความร้อนของของไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน ดังสมการที่ 3.17 เมื่อพิจารณากระบวนการพาความร้อนภายในท่อภายใต้เงื่อนไขสภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่จะได้ว่า

$$Q = \dot{q}A_s = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = hA_s(T_s - T_b) \quad (3.22)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.22 สามารถจัดรูปเพื่อแสดงค่าอยู่ในพจน์ของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.23

$$h = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A_s(T_s - T_b)} \quad (3.23)$$

ในการศึกษาการพาความร้อนสำหรับการไหลภายในท่อ นิยมแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ คือ เลขนัสเซิลท์ ซึ่งเป็นตัวแปรที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและค่าการนำความร้อน ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใด ๆ ดังสมการที่ 3.24

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (3.24)$$

3.3.3 สหสัมพันธ์ของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ สหสัมพันธ์สำหรับตัวประกอบความเสียดทานและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่มาได้มาจากการศึกษาเชิงการทดลอง เนื่องจากการศึกษาทางทฤษฎีกระทำได้ยาก โดยมีการศึกษาเชิงทดลองจากนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากในช่วงการไหลที่แตกต่างกันสำหรับกรณีท่อผิวเรียบ ดังที่นำเสนอต่อไปนี้

สหสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนของ Dittus-Boelter:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (0.1 \leq Pr \leq 160 \quad Re > 10,000) \quad (3.25)$$

โดยที่ $n=0.4$ สำหรับกรณีการให้ความร้อนแก่ของไหล และ $n=0.3$ สำหรับกรณีการทำให้ของไหลมีอุณหภูมิต่ำลง

สหสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนของ Gnielinski:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{2/3}-1)} \quad (0.5 \leq Pr \leq 2000 \quad 3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6) \quad (3.26)$$

สหสัมพันธ์ตัวประกอบความเสียดทานของ Blasius:

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (3000 \leq Re \leq 20,000) \quad (3.27)$$

สหสัมพันธ์ตัวประกอบความเสียดทานของ Petukhov:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (10^4 < Re < 10^6) \quad (3.28)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

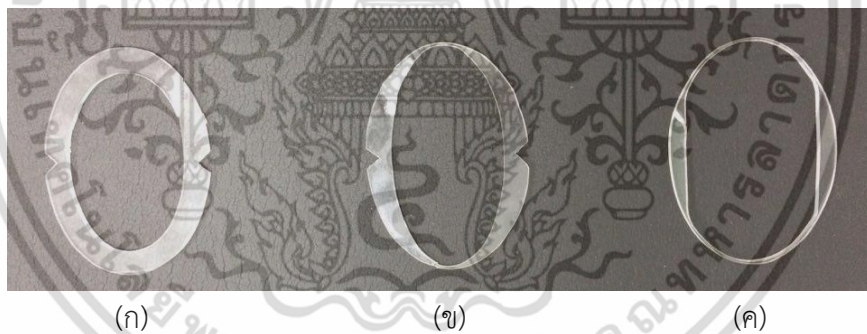
บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมสำหรับการทดลองที่มีแหวนรูปตัววี (V- Shaped Rings) แบบต่างๆ ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน รวมถึงขั้นตอนการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยแบ่งส่วนในการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ ศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวสร้างการหมุนวน 3 รูปแบบ ดังนี้

- 1) แหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) ที่มีความสูงของวงแหวนคงที่ โดยการศึกษาอิทธิพลของความสูง, ระยะพิตช์และศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะของแหวนรูปตัววี
- 2) แหวนวงรีรูปตัววี (V- Shaped Oval Rings) ที่มีความสูงของวงแหวนไม่คงที่ มีรูปร่างเหมือนไข่โดยนำแหวนรูปตัววีมาพัฒนาเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยลดขนาดความสูงด้านปีกของแหวนรูปตัววีซึ่งเป็นส่วนที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ
- 3) แหวนแคปซูลรูปตัววี (V- Shaped Capsule Rings) ที่มีความสูงของวงแหวนไม่คงที่ มีรูปร่างเหมือนหลอดแคปซูลโดยนำแหวนวงรีรูปตัววีมาพัฒนาเพื่อลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านให้มีความค่าน้อยกว่าเดิม โดยลดขนาดความสูงด้านบนและด้านล่างของแหวนรูปตัววี

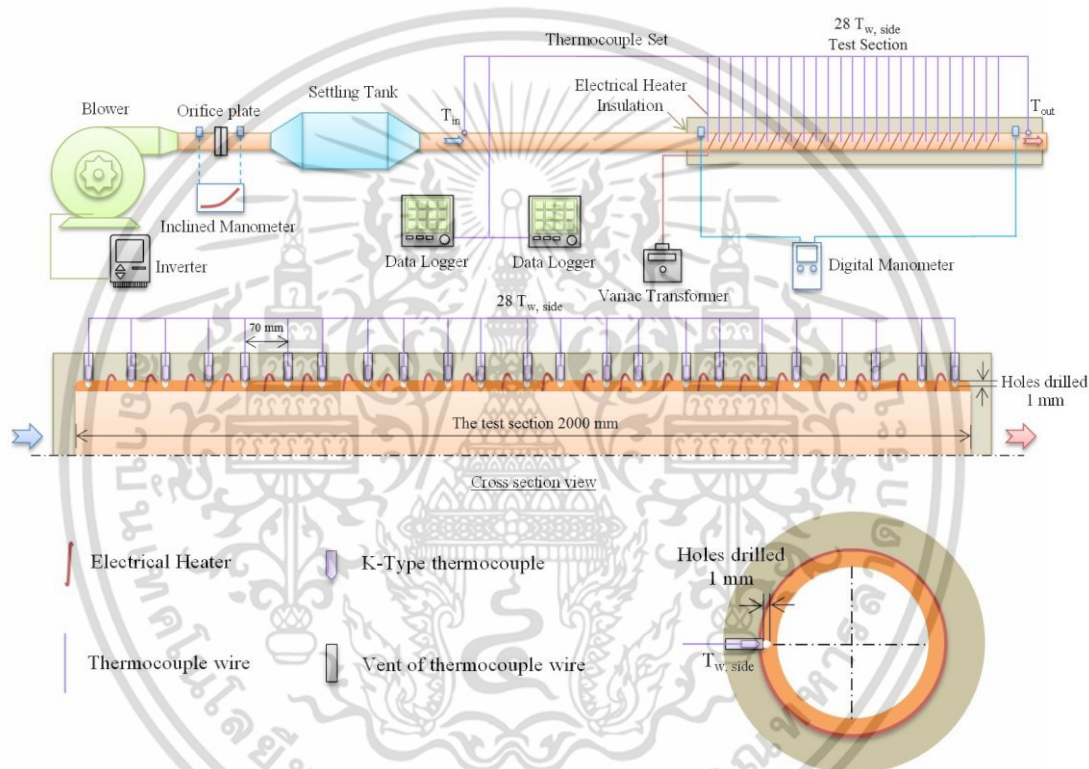


รูปที่ 4.1 แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 45° แบบต่างๆ กรณียังไม่มีการสร้างเป็นตัววี ก) แหวนรูปตัววี ข) แหวนวงรีรูปตัววี ค) แหวนแคปซูลรูปตัววี

4.2 การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมสำหรับการทดลอง

การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมที่มีอากาศเป็นของไหลทำงาน โดยมีพัดลมความดันสูงขนาด 2 HP ทำหน้าที่จ่ายอากาศเข้าสู่ระบบ ซึ่งค่าความเร็วรอบของพัดลมสามารถปรับค่าได้ผ่านเครื่องควบคุมความถี่ (Inverter) สำหรับปรับค่าเพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ โดยที่ค่าอัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมผ่านแผ่นออริฟิส โดยอ่านค่าความดันตกคร่อมผ่านมาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง สำหรับการวัดความความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K จำนวน 28 เส้น ถูกเชื่อมติดที่ผนังด้านข้างของท่อในช่วงทดสอบ ด้วยระยะห่างที่เท่าๆกัน 70 มิลลิเมตร และใช้สาย RTD ชนิด PT-100 เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 จำนวน 2 ตัว สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของท่อทดสอบ โดยติดตั้งสายวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกห่างจากช่วงทดสอบมีระยะห่างเท่ากับ 1000 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยสายวัดค่าอุณหภูมิทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อผ่านเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ในส่วนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเลือกใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50.8 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร มีความยาวรวมเท่ากับ 4000 มิลลิเมตร แบ่งเป็นช่วงความยาวทดสอบ 2000 มิลลิเมตร ช่วงความยาวทางเข้า 1500 มิลลิเมตร และช่วงความยาวทางออก 500 มิลลิเมตร ผนังด้านนอกของท่อทดสอบมีการติดตั้งฮีตเตอร์แบบบล็อกสำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่และมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ และเครื่องวัดความดันตกคร่อม (Digital manometer) ถูกใช้สำหรับวัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างช่วงท่อทดสอบ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โดอะแกรมการติดตั้งชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม



รูปที่ 4.3 ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม

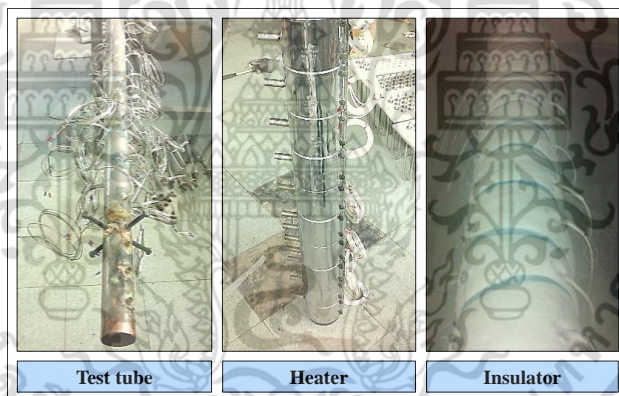
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

4.3.1 ท่อทดสอบสำหรับชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

1) ท่อทดสอบเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50.8 มิลลิเมตร มีความหนา 2 มิลลิเมตร ความยาวรวมตลอดทั้งเส้น 4000 มิลลิเมตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นช่วงท่อทางเข้ายาว 1500 มิลลิเมตร เป็นส่วนที่สร้างการไหลของอากาศให้มีสภาวะปรับตัวเต็มที่ โดยมีการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิทางเข้าบริเวณนี้ ส่วนที่ 2 เป็นช่วงท่อทดสอบการถ่ายเทความร้อนยาว 2000 มิลลิเมตร ส่วนสุดท้ายช่วงท่อทางออกยาว 500 มิลลิเมตรและได้มีการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิทางออกบริเวณนี้ สำหรับที่ผิวด้านนอกของท่อในช่วงทดสอบมีการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K บริเวณด้านข้างสำหรับวัดอุณหภูมิผิวท่อ จำนวน 28 ตัว และใช้สาย RTD ชนิด PT-100 จำนวน 2 ตัวสำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าและทางออกของท่อทดสอบซึ่งถูกติดตั้งที่ต้นทางเข้าและปลายทางออกของท่อทดสอบ ส่วนบริเวณผิวภายนอกของช่วงท่อทดสอบได้มีการติดตั้งฮีตเตอร์แบบปลอกกรัดจำนวน 20 ตัวสำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลั๊กความร้อนคงที่

2) ฉนวนกันความร้อนมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนชั้นในเป็นฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์แบบท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 นิ้วและมีความหนา 1.5 นิ้ว ส่วนชั้นที่ 2 เป็นฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้วแบบแผ่นมีความหนา 1 นิ้ว ส่วนชั้นนอกสุดแบบฉนวนยางกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สำหรับป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ



รูปที่ 4.4 ท่อทดสอบสำหรับชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

4.3.2 พัฒลมความดันสูงและเครื่องควบคุมปริมาณอากาศ

1) พัฒลมความดันสูงขนาด 1.5 kW ยี่ห้อ HITACHI รุ่น VB-020-DN สำหรับจ่ายอากาศซึ่งเป็นของไหลทำงานเข้าสู่ระบบของชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

2) อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Omron รุ่น 3G3JX Series สำหรับควบคุมรอบของพัฒลมความดันสูง เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ

3) แผ่นออริฟิส (Orifice plate) เป็นอุปกรณ์สำหรับปรับเทียบวัดอัตราการไหลของอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบ

4) มาโนมิเตอร์ชนิดท่อเอียง (Inclined manometer) ยี่ห้อ Dwyer รุ่น Mark II Model MM-80 เป็นอุปกรณ์สำหรับอ่านค่าความดันตกคร่อมของอากาศที่ไหลผ่านออริฟิสเพื่อใช้สำหรับเป็นระดับอ้างอิงในการปรับอัตราการไหลในช่วงทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เครื่องมือวัดความเร็วลม (Vane-type Anemometer) รุ่น Testo 445 เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความเร็วของอากาศที่จ่ายเข้าสู่ระบบที่ระดับอ้างอิงต่างๆ จากมาโนมิเตอร์ชนิดท่อเอียงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ



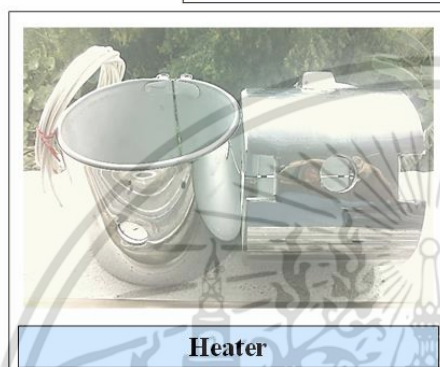
รูปที่ 4.5 พัดลมความดันสูงและเครื่องควบคุมปริมาณอากาศ

4.3.3 ชุดฮีตเตอร์แบบปลอกรัดและเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า

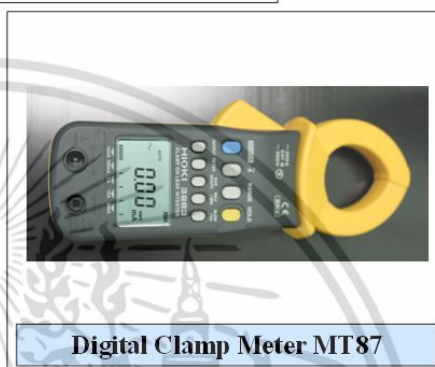
- 1) ฮีตเตอร์แบบปลอกรัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 100 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์ จำนวน 20 ตัว สำหรับกำเนิดความร้อนให้แก่ผิวภายนอกของท่อทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่
- 2) เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า ขนาด 12 แอมแปร์ จำนวน 1 เครื่อง สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-240 โวลต์ สำหรับปรับปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์แบบปลอกรัด
- 3) เครื่องกระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ Hioki รุ่น 3283 สำหรับวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์แบบปลอกรัด



Voltage Regulator



Heater



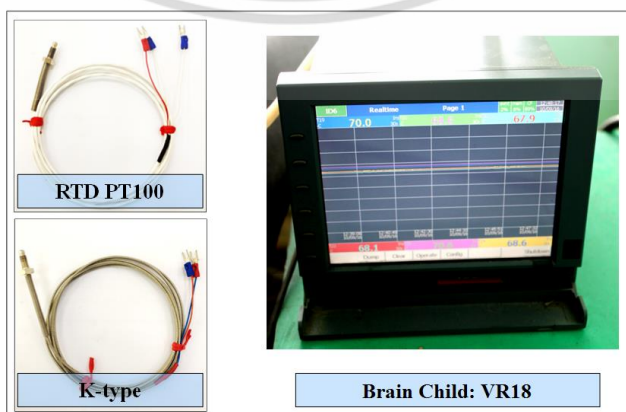
Digital Clamp Meter MT87

รูปที่ 4.6 ชุดฮีตเตอร์แบบปลอกกรดและเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า

4.3.4 ชุดสายวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล

1) ชุดสายวัดอุณหภูมิจะแบ่งออกตามลักษณะการใช้งาน โดยมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทที่ 1 เป็นสายวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K จำนวน 28 เส้น สำหรับวัดอุณหภูมิผิวท่อช่วงทดสอบ ซึ่งสายวัดอุณหภูมิประเภทนี้โดยมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูงและมีอัตราการสูญเสียที่ต่ำ เหมาะสำหรับติดตั้งในที่ที่มีความร้อนสะสมสูง และประเภทที่ 2 เป็นสายวัดอุณหภูมิแบบ RTD ชนิด PT-100 จำนวน 2 เส้น ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของอากาศ ซึ่งสายวัดอุณหภูมิประเภทนี้มีอัตราการสูญเสียสูง ไม่นิยมใช้สำหรับติดตั้งในที่ที่มีการถอดเปลี่ยนสายวัดอุณหภูมิได้ยาก

2) เครื่องบันทึกผลอุณหภูมิหือ Brain Child รุ่น VR18 Series จำนวน 2 เครื่อง สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิผิวท่อด้านข้าง 28 จุด และทางเข้าและทางออก จำนวน 2 จุด



RTD PT100

K-type

Brain Child: VR18

รูปที่ 4.7 ชุดสายวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 อุปกรณ์วัดความดันตกคร่อม

1) เครื่องวัดความดันตกคร่อม ยี่ห้อ Testo รุ่น 510 สำหรับวัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างท่อทดสอบทั้งกรณีท่อผิวเรียบและกรณีที่มีการใส่ตัวสร้างความปั่นป่วน สำหรับการนำไปคำนวณหาค่าตัวประกอบเสียดทาน



Digital Manometer

รูปที่ 4.8 เครื่องวัดความดันตกคร่อม

4.4 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ

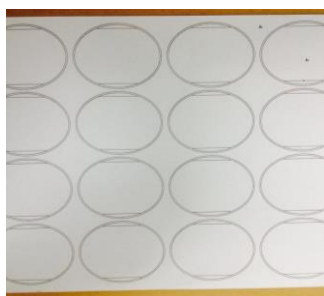
งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตของลักษณะชิ้นงานทดสอบสำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนสำหรับเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลม โดยแบ่งชิ้นงานทดสอบเป็น 3 รูปทรง ดังนี้

- 1) แทวนรูปตัววี (V-Shaped Rings)
- 2) แทวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings)
- 3) แทวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings)

4.4.1 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานทดสอบ

ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานทดสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนการออกแบบ ในขั้นตอนนี้จะมีการออกแบบชิ้นงานในโปรแกรมเขียนแบบ โดยมีการวาดแบบ 3 มิติเสมือนจริง แล้วถอดแบบ 2 มิติออกมาติดกับแผ่นอะครีลิคที่เตรียมไว้



รูปที่ 4.9 แบบชิ้นงานที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิใช่ผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการตัดชิ้นงานตามแบบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดชิ้นงานจากแผ่นอะครีลิคหนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเลื่อยฉลุเล็กสำหรับการตัดชิ้นงานทดสอบ ส่วนในการตัดชิ้นงานทดสอบจะต้องมีความระมัดระวังเนื่องจากแผ่นอะครีลิคมีความเปราะซึ่งอาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกได้ โดยทำการตัดชิ้นงานทดสอบจำนวน 80 ชิ้นต่อ 1 เงื่อนไขขอบเขต



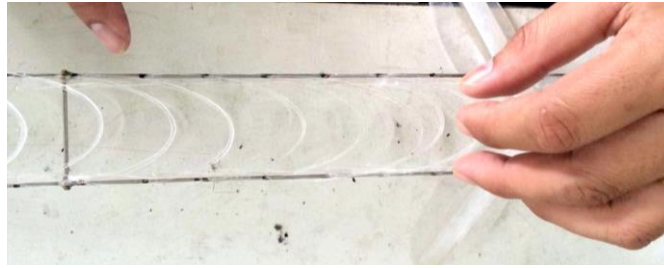
รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการตัดแผ่นอะครีลิคตามแบบ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการงอชิ้นงานตามเงื่อนไขทดสอบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการตัดตามแบบมางอทำมุมตามเงื่อนไขทดสอบที่มุมปะทะการไหลต่างๆ ซึ่งกระบวนการงอแผ่นอะครีลิคจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงในการทำให้แผ่นมีความอ่อนตัว กระทำโดยใช้ปืนความร้อนเป่าบริเวณที่จะงอชิ้นงานแล้วใช้แบบที่เตรียมไว้กดลงบนชิ้นงานก็จะได้ชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด



รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการงอชิ้นงานทดสอบ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้าย ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปตามแบบมาทำการติดเข้ากับแกนทดสอบตามเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนด สำหรับใส่เข้าไปในท่อทดสอบ

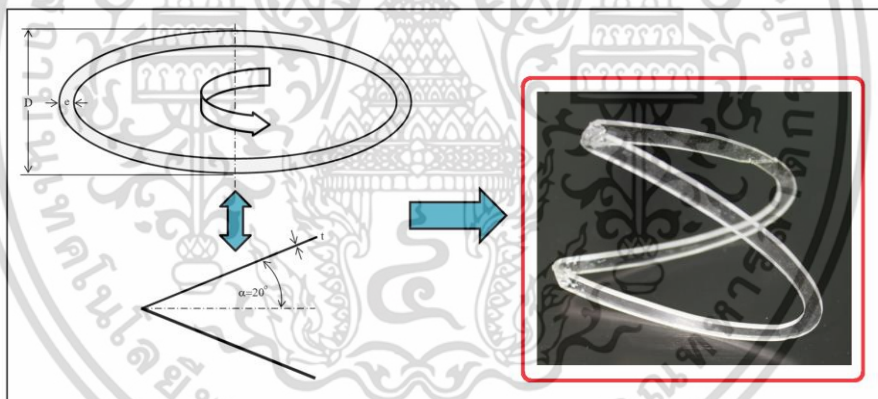


รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นงานเข้ากับแกนทดสอบ

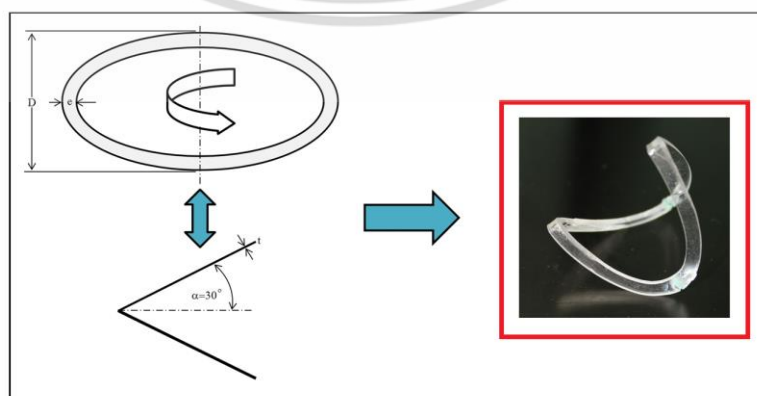
4.4.2 ลักษณะทางกายภาพของแหวนรูปตัววี

1) แหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings)

แหวนรูปตัววี สร้างจากแผ่นอะครีลิกชนิดใส หนา 2 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนและไม่สามารถทนทานต่อความร้อนสูงได้ ลักษณะทางกายภาพของแหวนรูปตัววีได้แสดงดังรูปที่ 4.13 - 4.16 การทดสอบกระทำโดยนำแหวนรูปตัววีมีติดเข้ากับแกนที่ถูกออกแบบมาตามเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดและใส่เข้าไปในท่อทดสอบ ดังรูปที่ 4.14 ซึ่ง แหวนรูปตัววีจะมีความสูง (e) เท่ากับ 5, 7.5 และ 10 มิลลิเมตรและทดลองที่ระยะพิตต์ $P=25, 50, 75$ และ 100 มิลลิเมตร ที่มุมปะทะการไหล $\alpha=20, 30$ และ 45 องศา

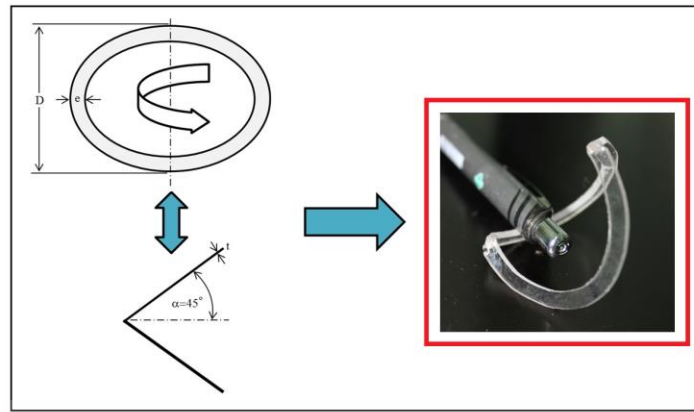


รูปที่ 4.13 แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

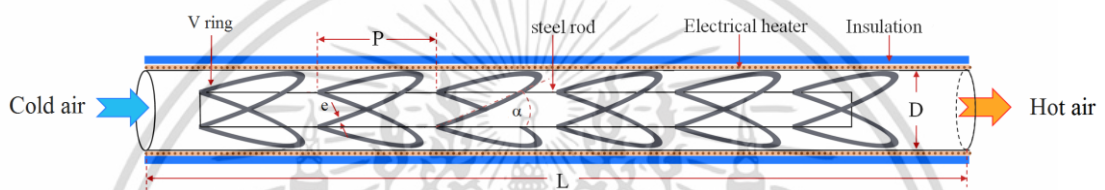


รูปที่ 4.14 แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



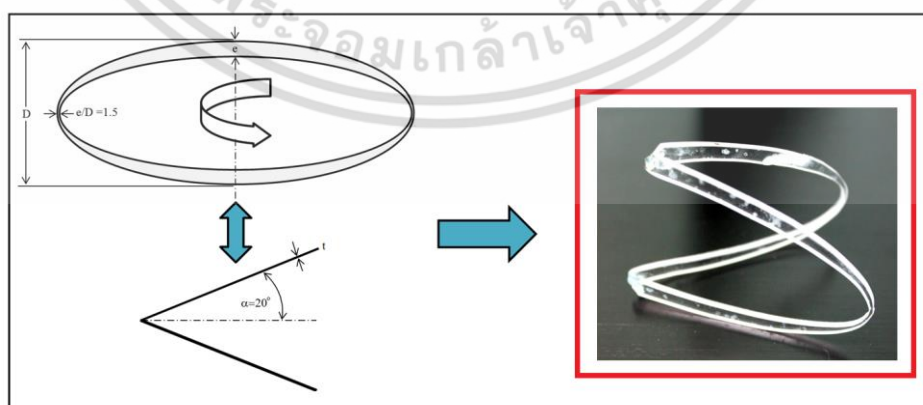
รูปที่ 4.15 แหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา



รูปที่ 4.16 ลักษณะของแหวนรูปตัววี

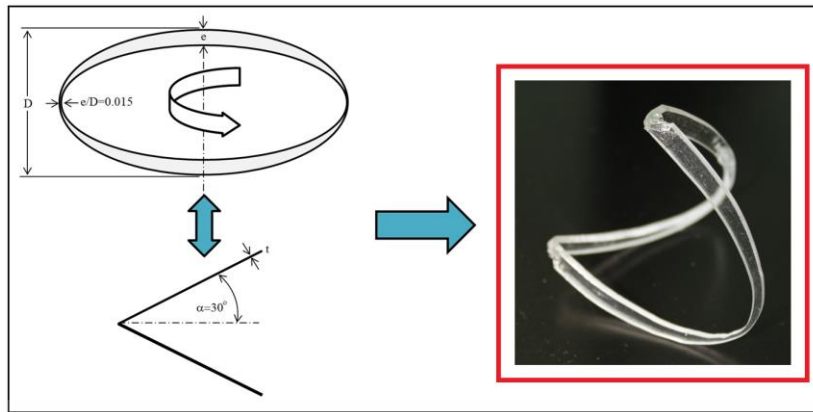
2) แหวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings)

แหวนวงรีรูปตัววี สร้างจากอะครีลิก หนา 2 มิลลิเมตร มีลักษณะของวงแหวน ดังรูปที่ 4.17-4.19 ความสูงของขอบวงแหวน (e) ไม่เท่ากัน โดยคาดหวังว่าการดัดแปลงนี้จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง โดยทำการใส่เข้าไปในท่อทดลองดังรูปที่ 4.20 ซึ่งแหวนวงรีรูปตัววีจะมีความหนา ด้านข้าง 5, 7.5 และ 10 มิลลิเมตร ส่วนด้านบนและด้านล่างของวงแหวนจะมีความหนา 0.75 มิลลิเมตร ($e/D=0.015$) และทดลองที่ระยะพิตต์ $P=25, 50, 75$ และ 100 มิลลิเมตร ที่มีมุมปะทะการไหล $\alpha=20, 30$ และ 45 องศา

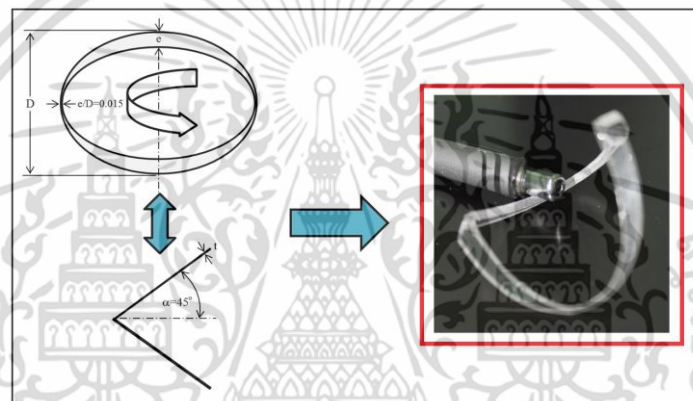


รูปที่ 4.17 แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา

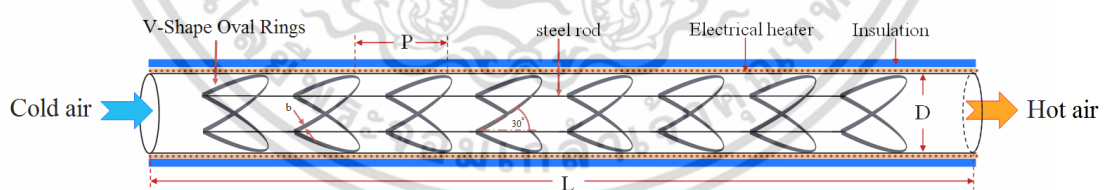
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา



รูปที่ 4.19 แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

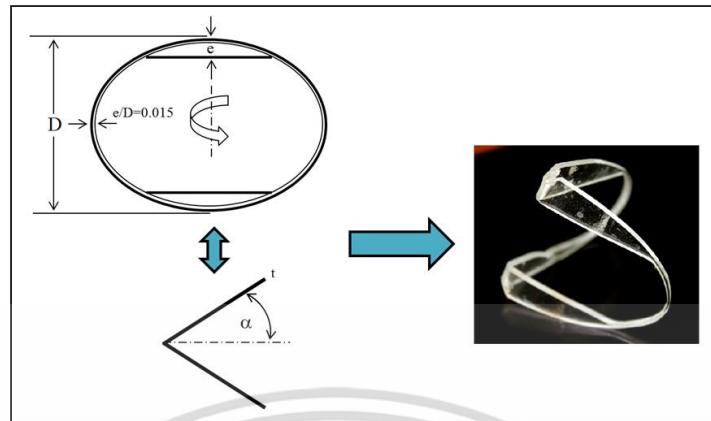


รูปที่ 4.20 ลักษณะของแหวนวงรีรูปตัววี

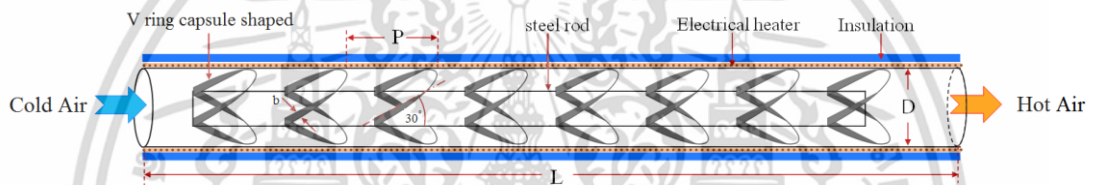
3) แหวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings)

แหวนแคปซูลรูปตัววี สร้างจากอะคริลิก หนา 2 มิลลิเมตร มีลักษณะของวงแหวน ดังรูปที่ 4.21 ความสูงของขอบวงแหวน (e) ไม่เท่ากัน โดยส่วนด้านบนของวงแหวนจะถูกเอาออกให้เหลือเพียงส่วนด้านข้างของวงแหวนซึ่งเป็นบริเวณทำให้เกิดกระแสไหลวน โดยคาดหวังว่าการดัดแปลงนี้จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงจากชิ้นงานทดสอบแบบแหวนวงรีรูปตัววี โดยทำการใส่เข้าไปในท่อทดลองดังรูปที่ 4.22 ซึ่งแคปซูลรูปตัววีจะมีความหนาด้านข้าง 5, 7.5 และ 10 มิลลิเมตร ส่วนด้านบนและด้านล่างของวงแหวนจะมีความหนา 0.75 มิลลิเมตร ($e/D=0.015$) และทดลองที่ระยะพิตต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P=25, 50, 75 และ 100 มิลลิเมตร ที่มุมปะทะการไหล $\alpha=20, 30$ และ 45 องศา



รูปที่ 4.21 แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา



รูปที่ 4.22 ลักษณะของแหวนแคปซูลรูปตัววี

4.5 วิธีการทดลอง

4.5.1 การทดลองกรณีเพื่อเตรียมชุดทดสอบ

- 1) เปิดพัดลมเพื่อจ่ายอากาศเข้าสู่ระบบและควบคุมความเร็วของพัดลมผ่านอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ต้องการ โดยดูอัตราการไหลของอากาศในระบบจากค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซผ่านระดับของของไหลในมาโนมิเตอร์แบบท่อเอียงเป็นระดับอ้างอิง
- 2) วัดค่าความเร็วของอากาศที่ปลายทางออกของชุดทดสอบด้วยเครื่องวัดความเร็วเทียบค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิซผ่านระดับของของไหลในมาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง
- 3) นำค่าความเร็วที่ได้มาคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ และกำหนดค่าเลขเรย์โนลด์สำหรับการทดลองอยู่ในช่วงระหว่าง 5000-25,000 จำนวน 9 ค่า

4.5.2 การทดลองกรณีใส่ชิ้นงานทดสอบ

- 1) ใส่ชิ้นงานทดสอบในท่อทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลม โดยให้ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งของช่วงทดสอบ
- 2) เปิดพัดลมเพื่อจ่ายอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อวัดค่าความดันตกคร่อมท่อช่วงทดสอบ ที่ระดับความเร็วอากาศที่กำหนดในรูปเลขเรย์โนลด์จำนวน 9 ค่า ด้วยเครื่อง Digital manometer
- 3) จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนกับผิวท่อด้วยเงื่อนไขพลั๊กความร้อนคงที่

ดังแสดงในรูปที่ 4.23-4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ปรับค่าปริมาณการไหลของอากาศไปที่ค่าเลขเรย์โนลด์ค่าแรก ($Re=5000$) โดยใช้ระดับของของไหลในมาโนมิเตอร์แบบท่อเอียงเป็นระดับอ้างอิง

5) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวท่อที่ตำแหน่งต่าง ๆ และอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอากาศ เมื่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ทำการบันทึกผลผ่านเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

6) ปรับค่าปริมาณการไหลของอากาศไปที่ค่าเลขเรย์โนลด์ค่าถัดไป ดำเนินการทดลองตามขั้นตอน 5 จนกระทั่งครบตามตัวเลขเรย์โนลด์ที่กำหนดไว้ 9 ค่า

7) ปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับฮีตเตอร์เพื่อทำการลดอุณหภูมิท่อทดสอบ เพื่อป้องกันการตั้งอและชิ้นงานทดสอบเสียหาย

8) ปิดพัดลมผ่านเครื่องควบคุมปริมาณการไหลของอากาศ เครื่องมีวัดและแสดงผลทั้งหมดของระบบ

9) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันจากผลการทดลอง นำเสนอในรูปของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับ รวมทั้งค่าสมรรถนะการเพิ่มค่าความร้อน



รูปที่ 4.23 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.24 แสดงการตรวจสอบการรั่วของรังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: เนื่องจากชิ้นงานทดสอบมีลักษณะทางกายภาพเป็นรูปตัววีและบางกรณีมีความหนาไม่เท่ากันทั้งวงแหวน จึงมีการตั้งสมมุติฐานว่า อิทธิพลจากการใส่แหวนรูปตัววีจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันที่หน้าตัดเดียวกัน จึงต้องมีการทดสอบ 2 ครั้งคือ ทดสอบผลของการถ่ายเทความร้อนบริเวณด้านข้างและด้านบนของชิ้นงานทดสอบ โดยการหมุนชิ้นงานทดสอบ

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.6.1 การถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ที่เกิดจากกระบวนการพาความร้อนโดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน จากความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ได้รับโดยของไหลทำงาน (Q_a) กับปริมาณการพาความร้อนที่เกิดขึ้น (Q_{conv}) แสดงดังต่อไปนี้

$$Q_a = Q_{conv} \quad (4.1)$$

โดยที่ความร้อนที่ได้รับโดยของไหลทำงานและปริมาณการพาความร้อน นำเสนอในรูปแบบสมการที่ (4.2) และ (4.3) ตามลำดับได้แก่

$$Q_a = \dot{m}C_{p,a}(T_o - T_i) \quad (4.2)$$

$$Q_{conv} = hA(\tilde{T}_w - T_b) \quad (4.3)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.1), (4.2) และ (4.3) จึงได้สมการสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ได้ดังนี้

$$h = \dot{m}C_{p,a}(T_o - T_i) / A(\tilde{T}_w - T_b) \quad (4.4)$$

อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวท่อและอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศขาเข้าและขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.5) และ (4.6)

$$\tilde{T}_w = \sum T_w / 28 \quad (4.5)$$

$$T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (4.6)$$

การถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้ถูกนำเสนอในรูปแบบตัวแปรไร้มิติคือเลขนัสเซิลท์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนการพาความร้อนต่อการนำความร้อนภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ แสดงดังสมการ (4.7)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4.7)$$

4.6.2 ตัวประกอบความเสียดทาน

ค่าตัวประกอบความเสียดทานเป็นตัวแปรไร้มิติค่าความดันตกคร่อมสำหรับการไหลภายในท่อที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวท่อใดๆ ด้วยความเร็วของของไหลค่าหนึ่ง ดังสมการที่ (4.8)

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

การหาค่าสมรรถนะของอุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อน พิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียจากความเสียดทานของอุปกรณ์ซึ่งเกิดขึ้นควบคู่กันไป โดยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนของตัวเลขนัสเซลท์จากท่อที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนตัวเลขต่อตัวเลขเซลท์จากท่อที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) ในทำนองเดียวกัน อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนของตัวประกอบความเสียดทานจากท่อที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่อตัวประกอบความเสียดทานจากท่อที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (f/f_0) อัตราส่วนทั้งสองถูกนำไปประยุกต์สำหรับค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขการควบคุมกำลังทำงานของปั๊มคงที่ สามารถแสดงสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

$$TEF = \frac{h_s}{h_p} \bigg|_{pp} = \frac{Nu_s}{Nu_p} \bigg|_{pp} = \left(\frac{Nu_s}{Nu_p} \right) \left(\frac{f_s}{f_p} \right)^{-1/3} \quad (4.9)$$

4.6.4 พารามิเตอร์

เลขเรย์โนลด์

เลขเรย์โนลด์เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของของไหลทำงาน ซึ่งสามารถแสดงในรูปตัวแปรไร้มิติได้ดังนี้

$$Re = UD / \nu \quad (4.10)$$

อัตราส่วนการขวางการไหล

อัตราส่วนการขวางการไหลเป็นค่าแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาของวงแหวนต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทดสอบ

$$R_b = e / D \quad (4.11)$$

อัตราส่วนระยะพิตต์

อัตราส่วนระยะพิตต์เป็นค่าแสดงถึงอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างวงแหวนต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทดสอบ

$$R_p = P / D \quad (4.12)$$

4.7 ผลการทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การทดสอบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของตัวเลขนัสเซลท์และการสูญเสียความดันในพจน์ตัวประกอบเสียดทาน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีท่อผิวเรียบ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Gnielinski สำหรับตัวเลขนัสเซลท์ ดังสมการที่ 4.14 และ 4.15 และสหสัมพันธ์ของ Blasius และ Petukhov สำหรับตัวประกอบเสียดทาน ดังสมการที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการติดตั้งชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (4.14)$$

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (4.15)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius:

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (4.16)$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (4.17)$$

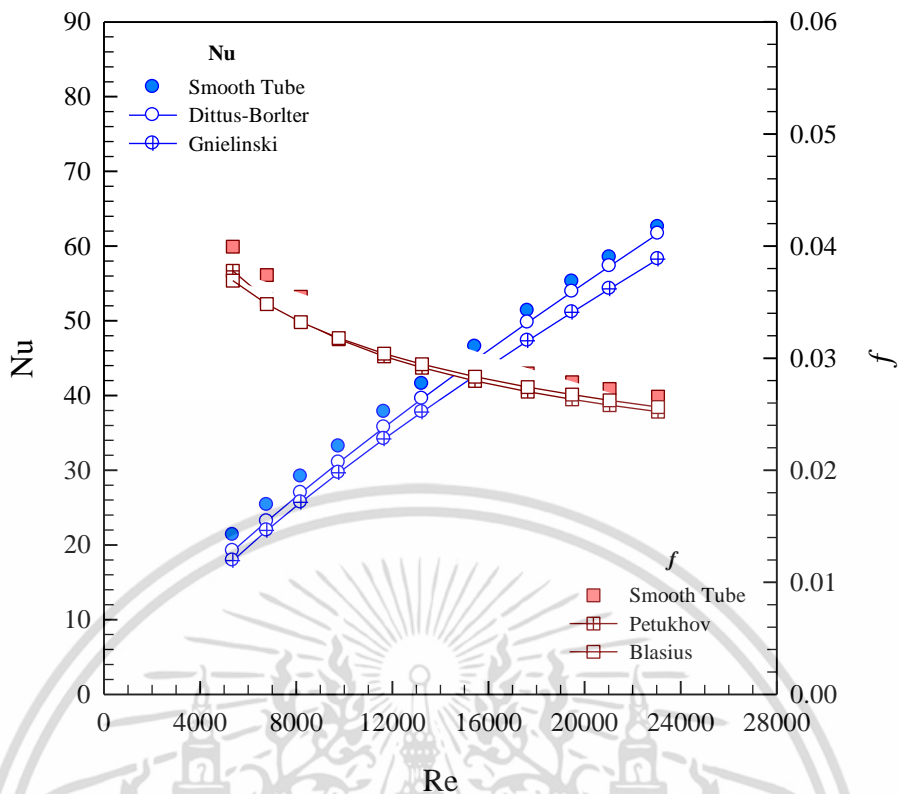
พบว่าแนวโน้มของตัวเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสอดคล้องกับผลจากสหสัมพันธ์ตัวเลขนัสเซลท์ที่มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 5\%$ และ $\pm 8\%$ เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Gnielinski ตามลำดับ ในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 6\%$ เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius และ Petukhov ดังรูปที่ 4.25 โดยสามารถสร้างสหสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของชุดทดสอบได้ดังสมการที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

สหสัมพันธ์ค่าตัวเลขนัสเซลท์ของชุดทดสอบ:

$$Nu = 0.059 Re^{0.698} Pr^{0.4} \quad (5000 \leq Re \leq 25,000) \quad (4.18)$$

สหสัมพันธ์การตัวประกอบเสียดทานของชุดทดสอบ:

$$f = 0.36 Re^{-0.268} \quad (5000 \leq Re \leq 25,000) \quad (4.19)$$



รูปที่ 4.25 การทดสอบชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ แหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings)

5.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาทดลองการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_b=0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

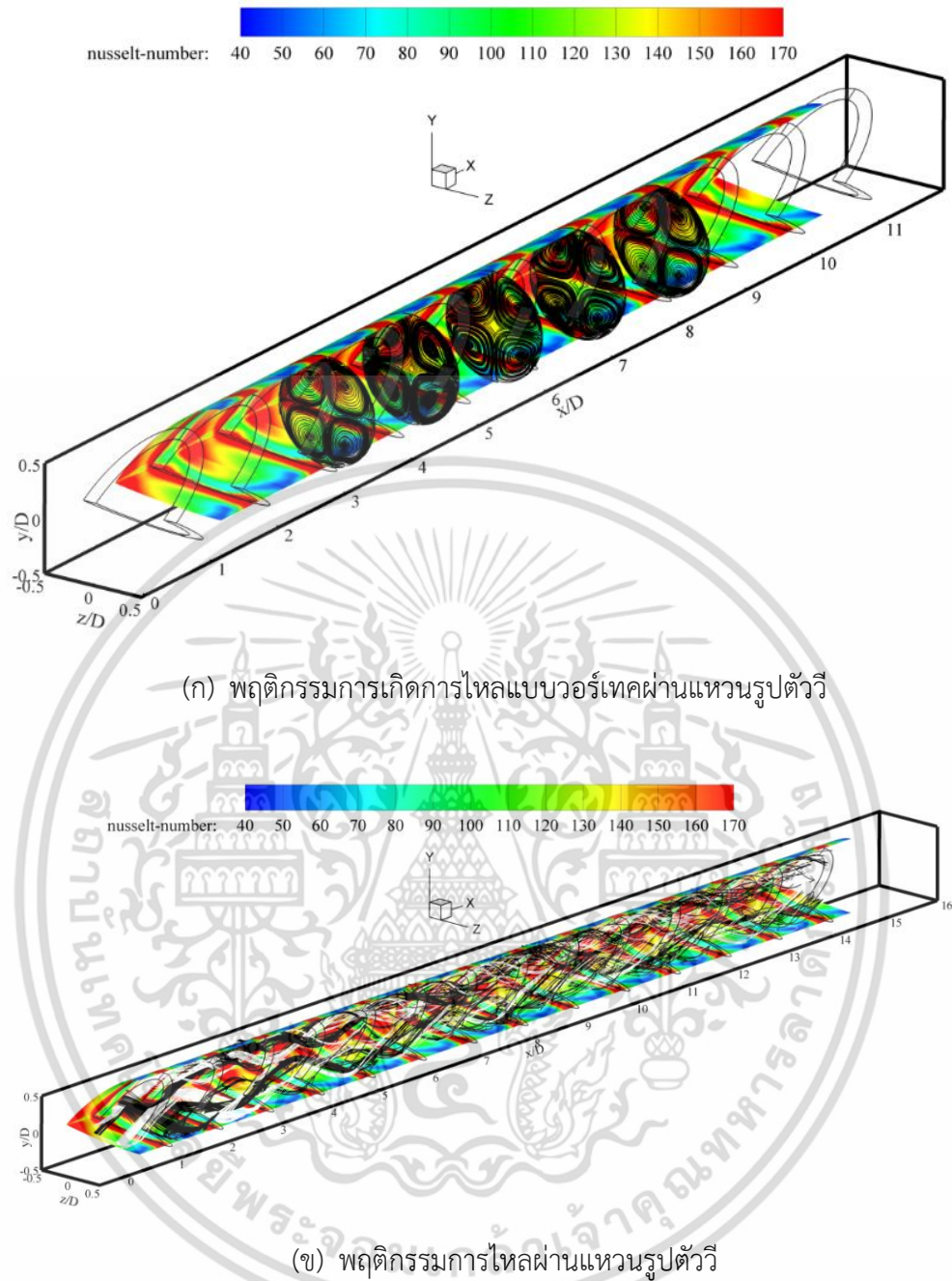
ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_b=0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_b=0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลล์ต์และการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันกับท่อผนังเรียบ และแสดงค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบของกรณีศึกษาในแต่ละส่วน ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณที่กำลังขับเดียวกัน ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

5.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน

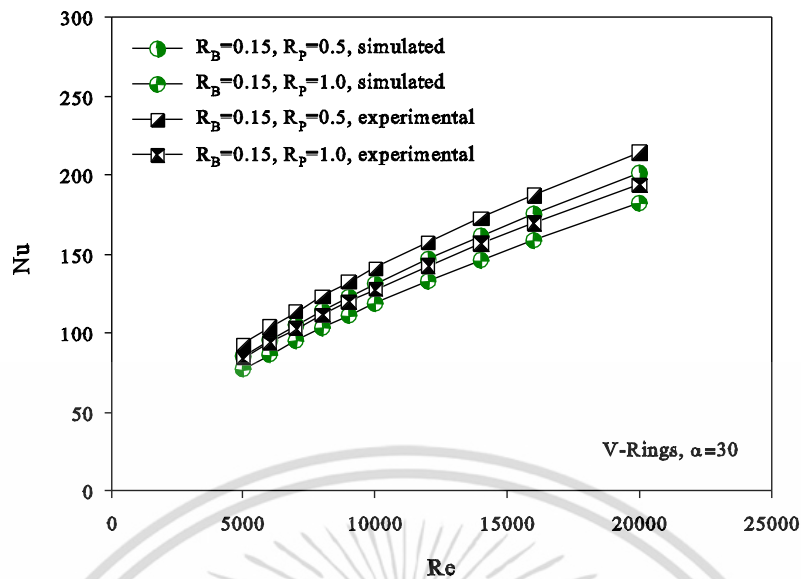
รูปที่ 5.1 แสดงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนผ่านแหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) ในรูปแบบการไหล 3 มิติ จะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลผ่านแหวนรูปตัววีจะมีลักษณะเป็นการไหลแบบวอร์เทค 4 วง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ก) โดยลักษณะการไหลแบบนี้จะทำให้เกิดความดันแตกต่างกันระหว่างบริเวณผิวท่อกับบริเวณกลางท่อ ส่งผลให้กระแสน้ำไหลบริเวณกลางท่อถูกดูดเข้าไปกระแทกบริเวณผิวท่อโดยวงแหวนวอร์เทค พฤติกรรมการไหลผ่านแหวนรูปตัววีจะส่งผลให้บริเวณด้านข้างของท่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่าบริเวณด้านบนและด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ข) ซึ่งการไหลในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับผิวร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จากรูปจะสังเกตเห็นว่าลักษณะของการไหลผ่านแหวนรูปตัววีส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่ใส่แหวนรูปตัววี



รูปที่ 5.1 การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแหวนรูปตัววี

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา โดยจากการศึกษาผลของการจำลองการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_b)=0.15 และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p)=0.5 และ 1.0 พบว่าการถ่ายเทความร้อนสำหรับการใส่แหวนรูปวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน โดยผลการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่าการจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

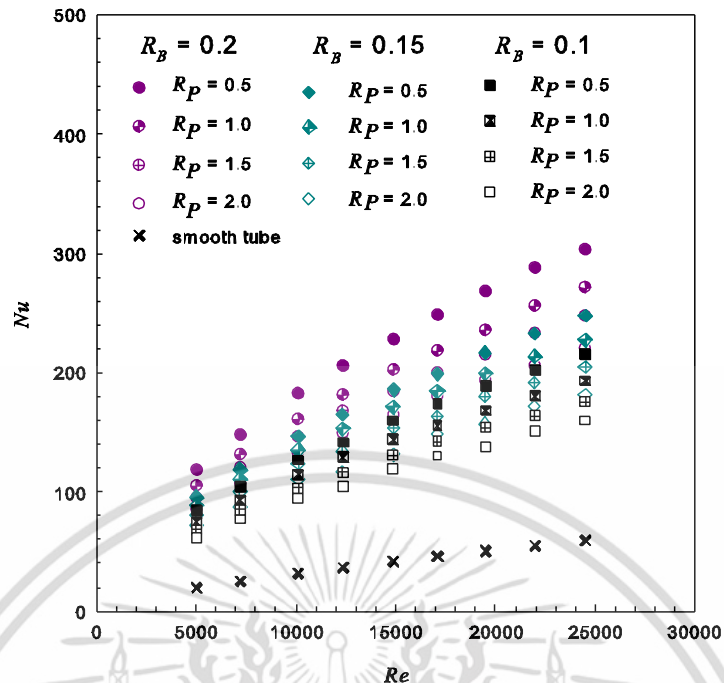
5.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา

5.3.1 การถ่ายเทความร้อน

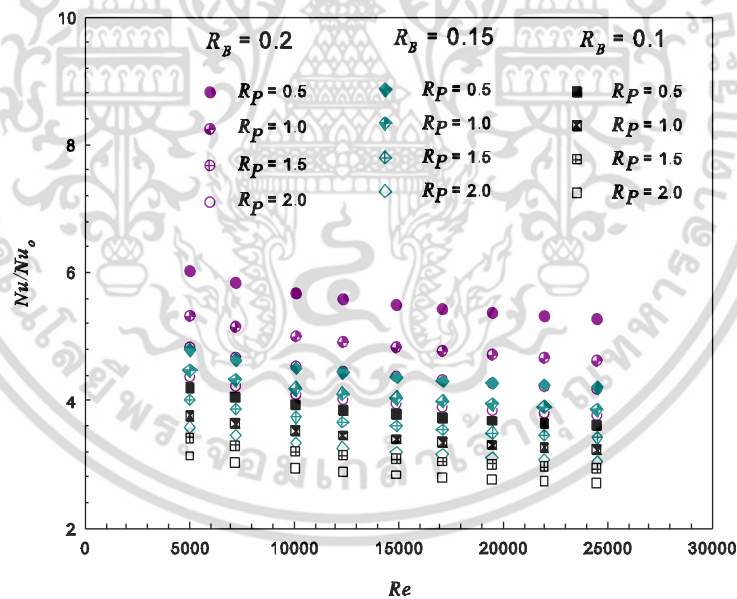
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.3 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 10, 19 และ 26% ตามลำดับ ในกรณีของค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 8, 17 และ 27% ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ ที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 11, 19 และ 28% ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณีศึกษา และเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_P=0.5$ ที่ค่า R_B ต่างกันจะพบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 19 และ 30% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 26 และ 37% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 17 และ 29% ตามลำดับ และที่ค่า $R_P=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 18 และ 28% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

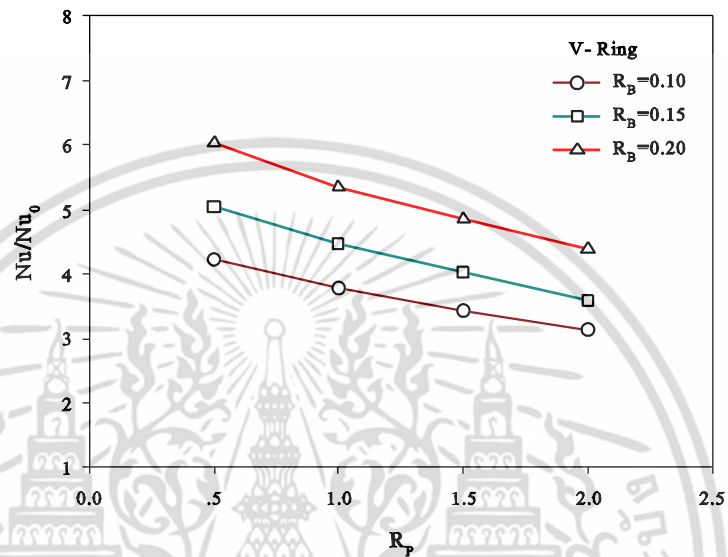


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

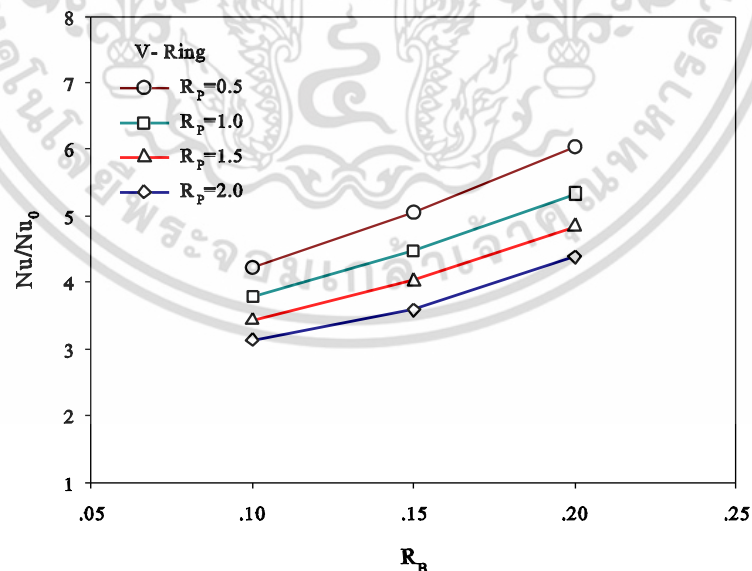
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

อัตราส่วนการการถ่ายความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.3 (ข) พบว่า แนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนรูปตัววี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเพิ่มอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน กรณีศึกษาการใส่แหวนรูปตัววี ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.61-4.21, 3.23-3.77, 2.94-3.42 และ 2.71-3.13 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.20-4.79, 3.86-4.46, 3.41-4.00 และ 3.03-3.58 ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.27-6.02, 4.62-5.32, 4.18-4.83 และ 3.76-4.37 ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

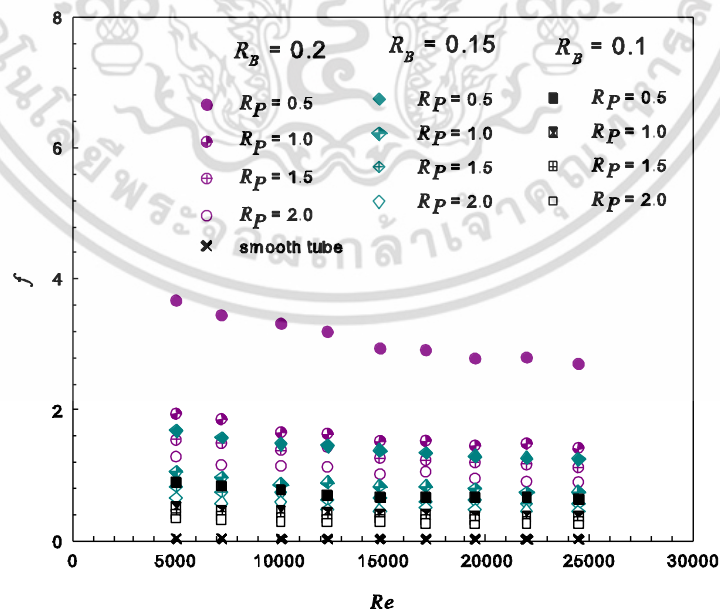
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเชิลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรูปที่ 5.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเชิลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่า R_B และรูปที่ 5.4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเชิลท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่า R_p

5.3.2 การสูญเสียความดัน

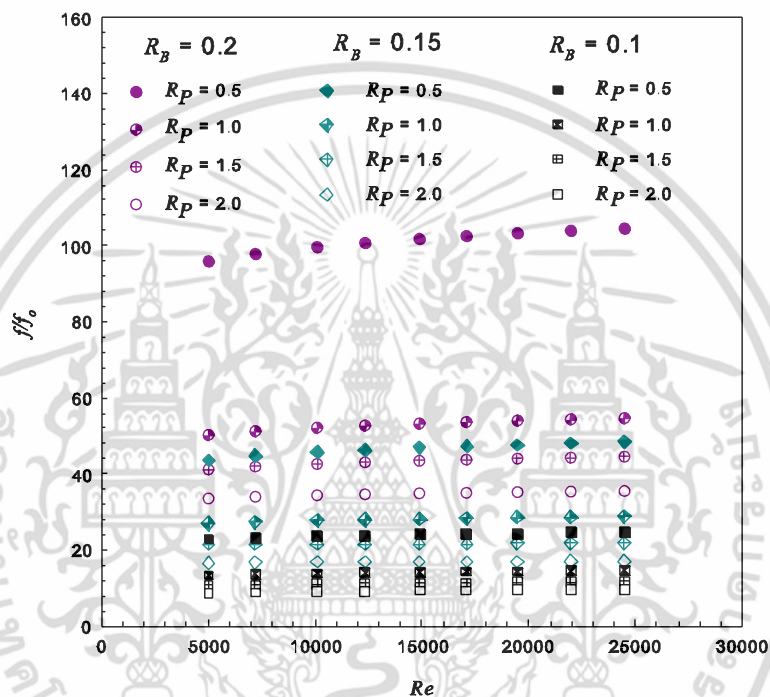
ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.5 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลง สำหรับทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 41, 53 และ 61% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 39, 54 และ 64% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 48, 57 และ 66% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ ที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_P=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_P=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 54 และ 76% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 47 และ 73% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 50 และ 74% ตามลำดับ และที่ค่า $R_P=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 51 และ 73% ตามลำดับ

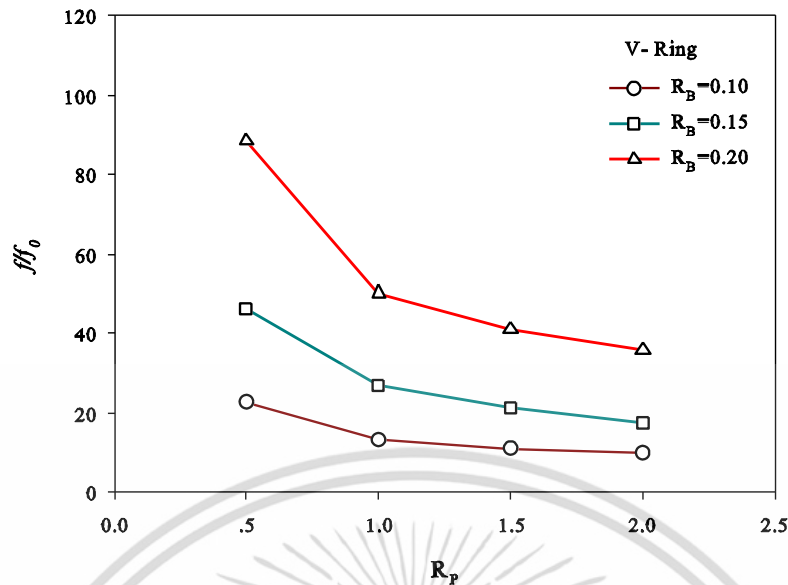


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

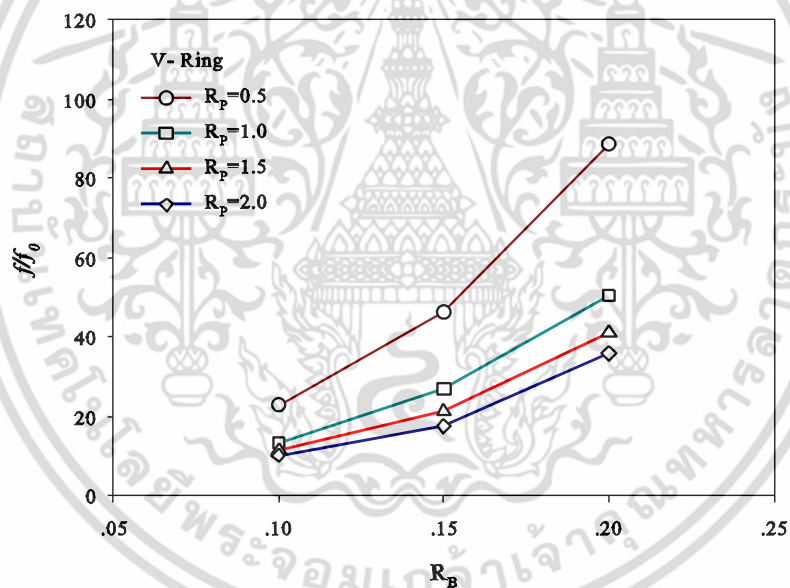
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.5 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนรูปตัววีจะเพิ่มค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานให้สูงขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 22.98-24.66, 13.41-14.67, 10.7-11.66 และ 8.73-9.61 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 43.77-48.46, 27.01-28.87, 21.35-21.79 และ 16.57-17.12 ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 95.90-104.52, 50.26-54.65, 41.17-44.51 และ 33.52-35.48 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

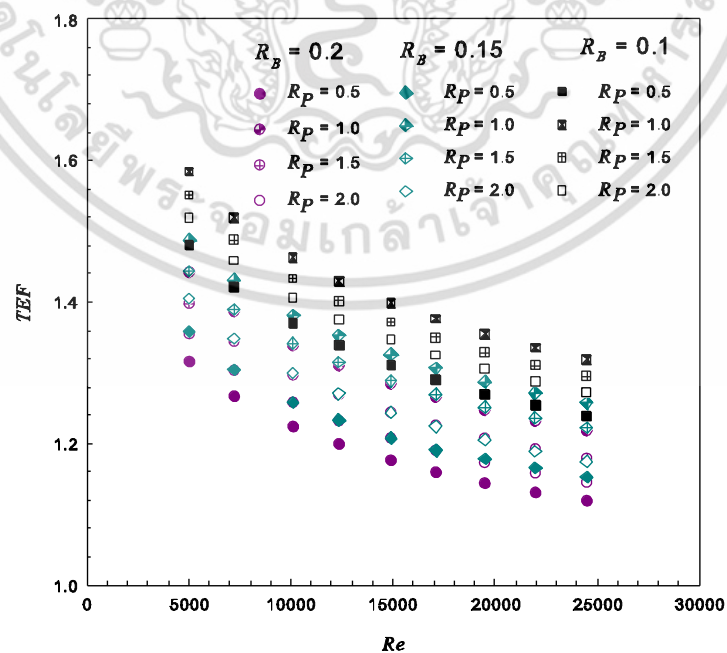
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.6 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) โดยที่ค่า $R_p=0.5$ จะมีค่าตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้เห็นใบเขียวจะเอ็งเห็นที่นักการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นสูงมาก ทำให้ทราบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ระบบรับภาระมากเมื่อกับค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 และรูปที่ 5.6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) และพบว่ากรณีแหวนรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0

5.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

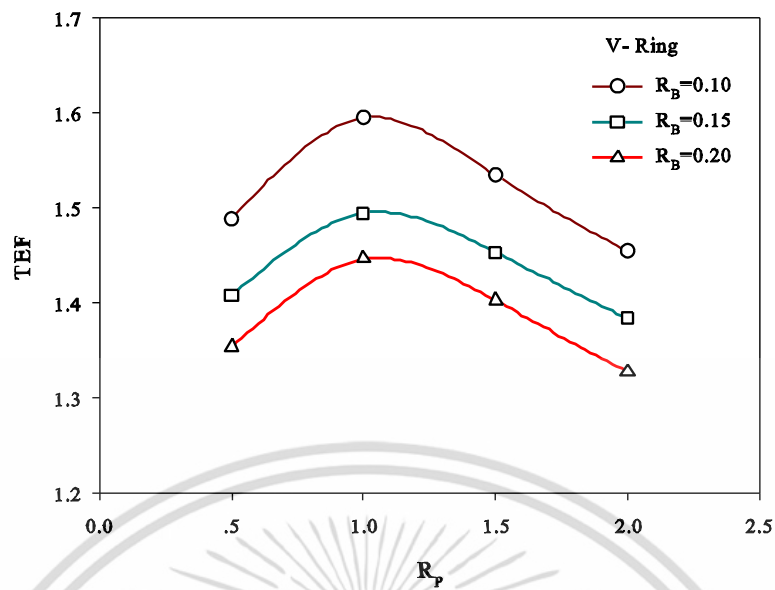
จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มค่าตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่างๆ ดังรูปที่ 5.7 พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา โดยอิทธิพลของแหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_p ต่างๆ ทำให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B ลดลง (ความสูงของแหวนรูปตัววีมีค่าลดลง) และที่ค่า R_p ลดลง (จำนวนแหวนรูปตัววีเพิ่มขึ้น) ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.24-1.48, 1.32-1.58, 1.29-1.55 และ 1.27-1.52 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.15-1.36, 1.26-1.49, 1.22-1.44 และ 1.17-1.40 และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.12-1.32, 1.22-1.44, 1.18-1.40 และ 1.15-1.36 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.58 เกิดขึ้นกับกรณีการใช้แหวนรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000



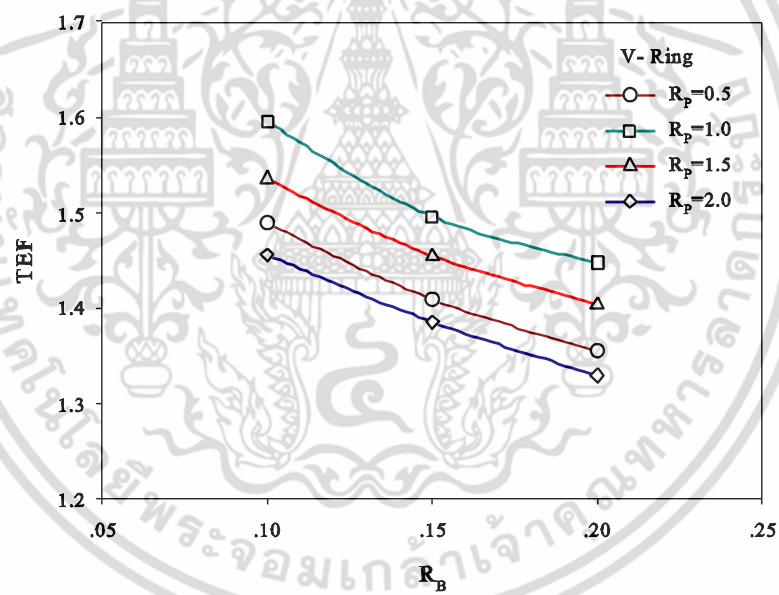
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล

45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

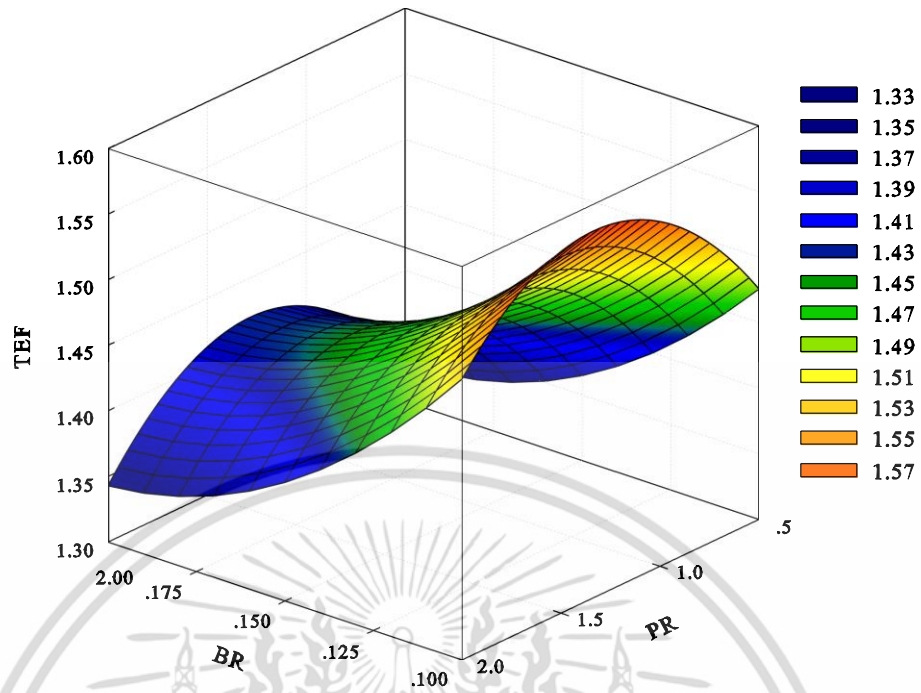


(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.8 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p=1.0$, 1.5 และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าการสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลง จากอิทธิพลของตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นที่อัตราส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 0.5 และรูปที่ 5.8 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_b=0.10$, 0.15 และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และพบว่าค่าอัตราส่วนระยะพิตต์จะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากกว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ดังแสดงในรูปที่ 5.8 (ค)

ตารางที่ 5.1 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน
ส่วนที่ 1 กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_P	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.61-4.21	22.98-24.66	1.24-1.48
	1.0	3.23-3.77	13.41-14.67	1.32-1.58
	1.5	2.94-3.42	10.7-11.66	1.29-1.55
	2.0	2.71-3.13	8.73-9.61	1.27-1.52
0.15	0.5	4.20-4.79	43.77-48.46	1.15-1.36
	1.0	3.86-4.46	27.01-28.87	1.26-1.49
	1.5	3.41-4.00	21.35-21.79	1.22-1.44
	2.0	3.03-3.58	16.57-17.12	1.17-1.40
0.20	0.5	5.27-6.02	95.90-104.52	1.12-1.32
	1.0	4.62-5.32	50.26-54.65	1.22-1.44
	1.5	4.18-4.83	41.17-44.51	1.18-1.40
	2.0	3.76-4.37	33.52-35.48	1.15-1.36

5.3.4 สมการสหสัมพันธ์ ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

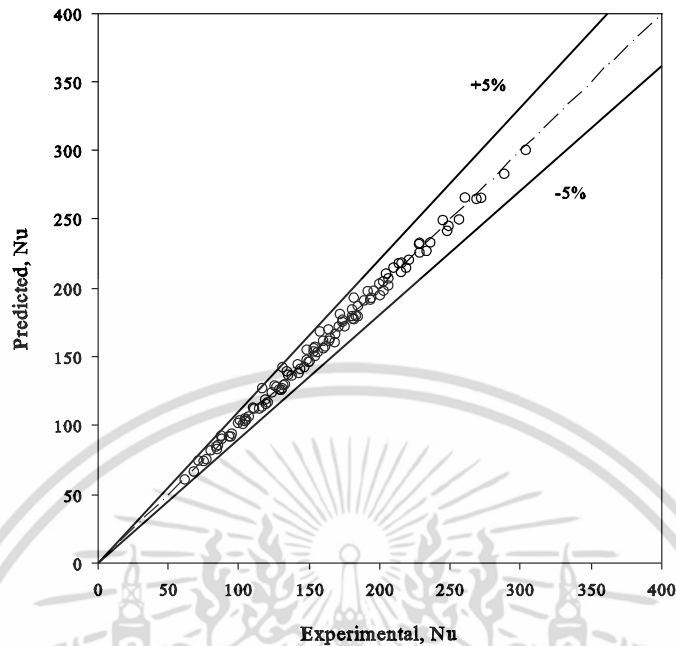
$$Nu = 2.1588Re^{0.603}Pr^{0.4}R_B^{0.498}(R_P+1)^{-0.469} \quad (5.1)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

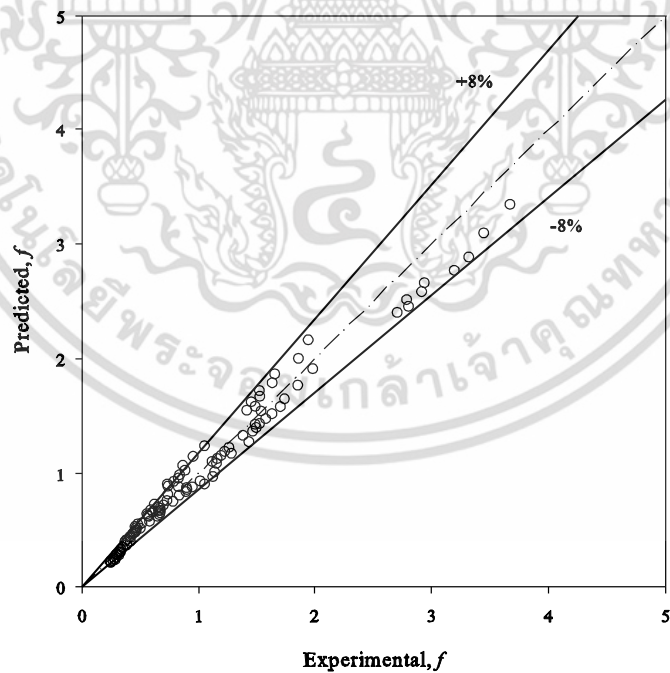
ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$

$$f = 883.87 \text{Re}^{-0.216} R_B^{1.94} (R_p + 1)^{-1.515} \quad (5.2)$$



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์ที่สัมพันธ์กับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา

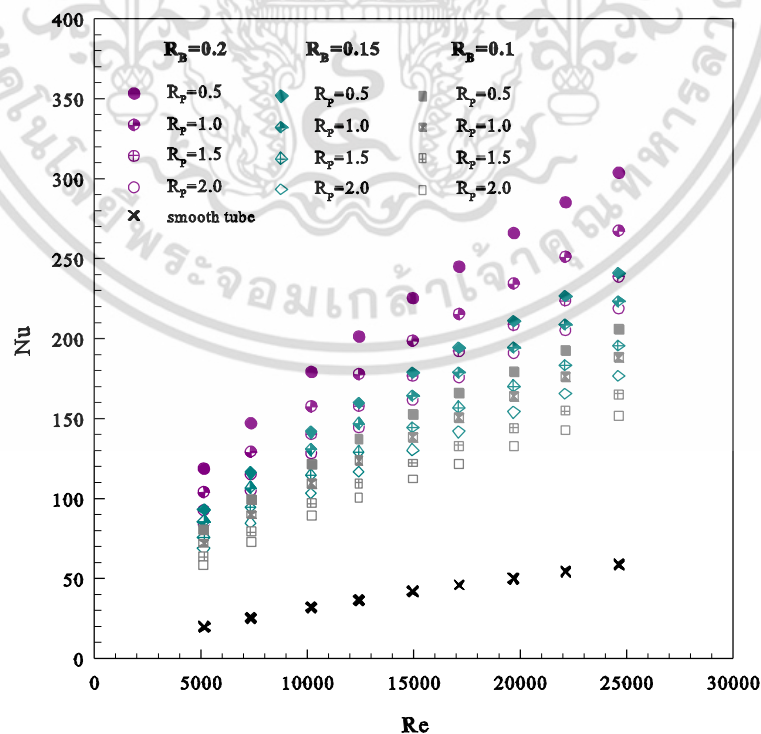
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา

5.4.1 การถ่ายเทความร้อน

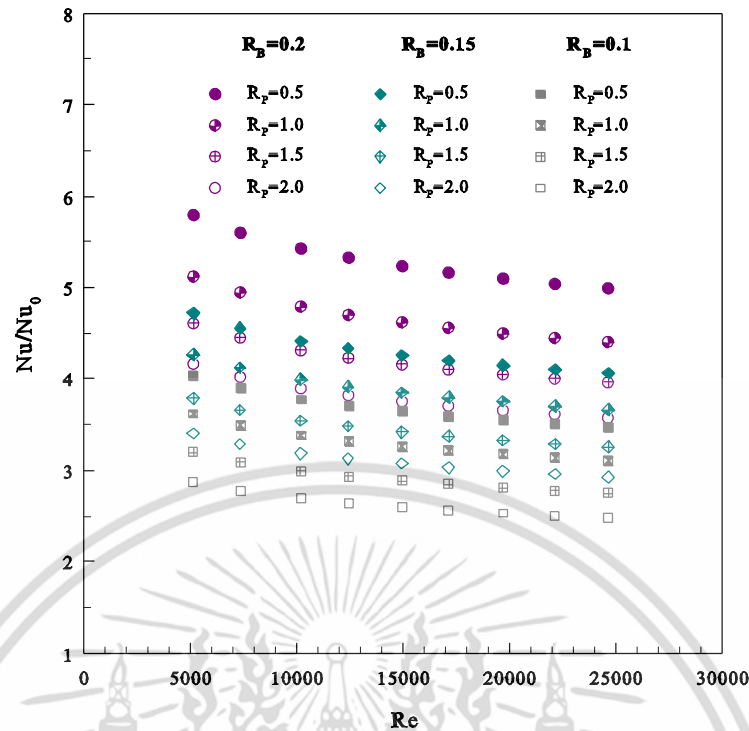
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.11 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ทุกกรณีศึกษา ผลของการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 9, 20 และ 26% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 8, 19 และ 27% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 12, 22 และ 28% ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณี และเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_p=0.5$ ที่ค่า R_B ต่างกันจะพบว่าค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 21 และ 32% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 27 และ 38% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 18 และ 31% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 19 และ 30% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

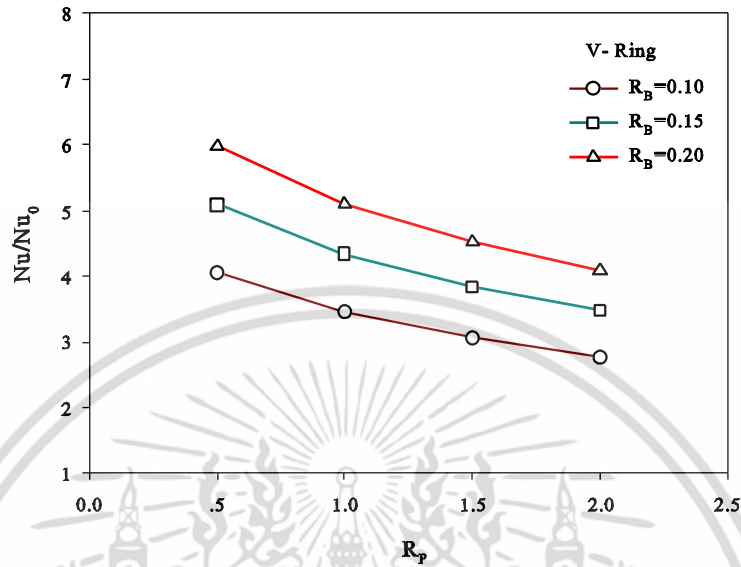
อัตราส่วนการการถ่ายความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.5 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น กรณีใส่แหวนรูปตัววีจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบ สำหรับกรณีใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.03-3.48, 3.11-3.62, 2.75-3.20 และ 2.48-2.88 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.06-4.72, 3.67-4.27, 3.26-3.79 และ 2.92-3.40 ตามลำดับ และกรณีที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.99-5.79, 4.40-5.12, 3.96-4.61 และ 3.57-4.16 ตามลำดับ จากการศึกษาจึงพบว่าใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบต่ำกว่ากรณีใส่แหวนรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ทุกกรณีศึกษา

รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.12 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่า R_B และรูปที่ 5.12 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์

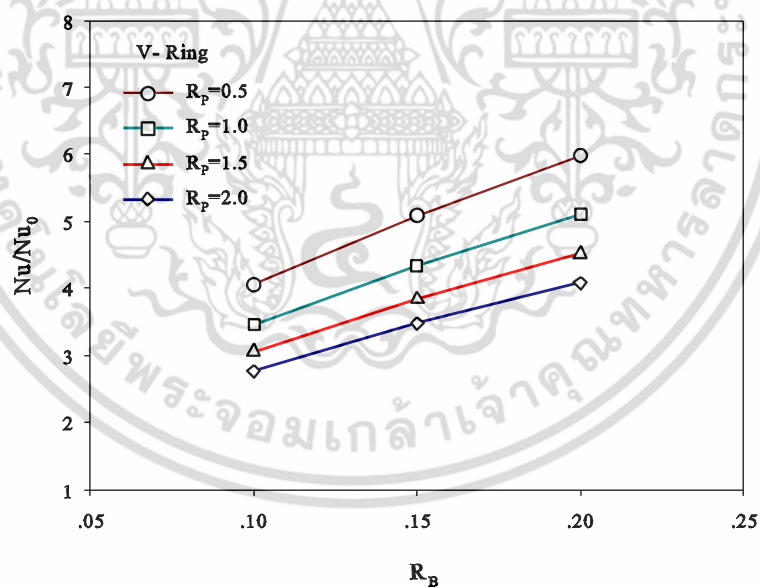
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังหน่วยงานอื่น ๆ ให้นำเอกสารฉบับนี้ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่า R_p



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

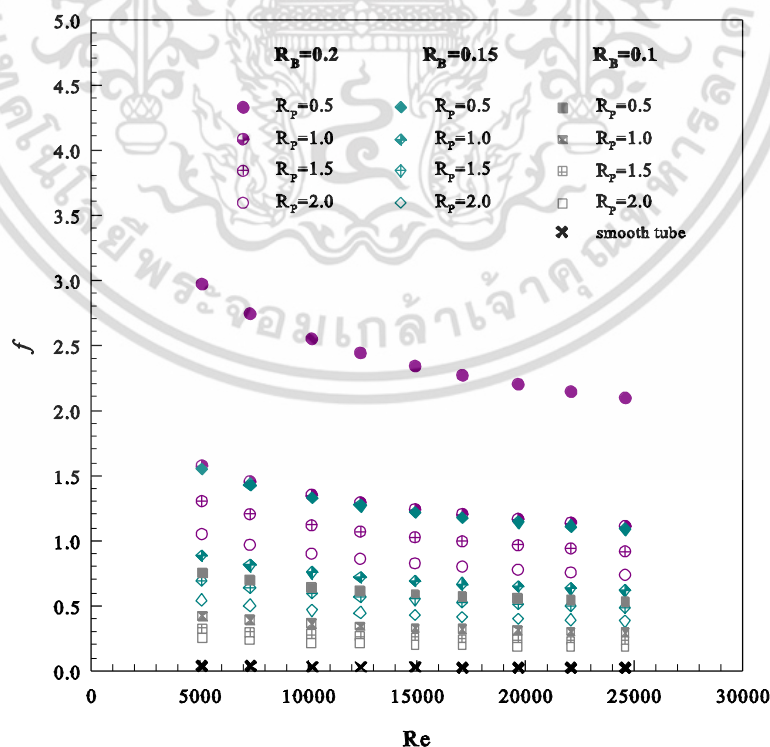
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การสูญเสียความดัน

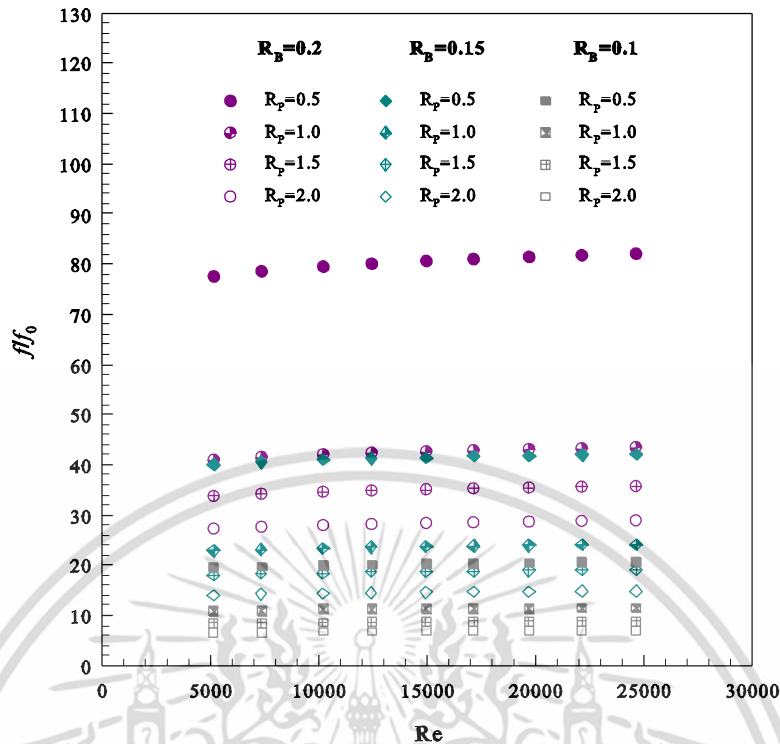
ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.13 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงสำหรับทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 44, 57 และ 67% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 43, 55 และ 65% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 47, 56 และ 65% ตามลำดับ โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 48 และ 75% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 44 และ 73% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 47 และ 75% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 48 และ 76% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

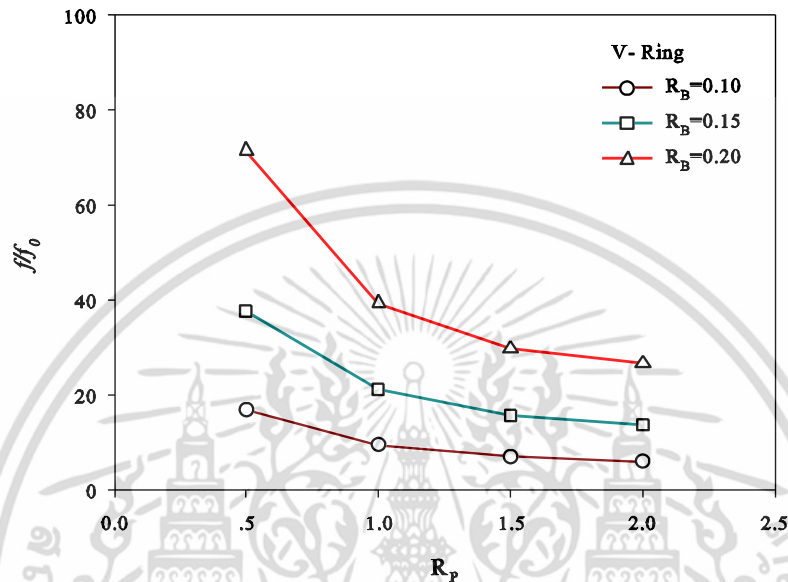
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นจากการใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.13 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนรูปตัววีจะเพิ่มค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานอย่างชัดเจน สำหรับกรณีใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 19.45-20.62, 10.87-11.49, 8.37-8.86 และ 6.56-6.96 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 40.07-42.18, 22.86-24.13, 18.00-19.03 และ 14.06-14.86 ตามลำดับ และกรณีที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 77.56-82.10, 40.99-43.48, 33.76-35.73 และ 27.27-28.90 ตามลำดับ จากการศึกษาจึงพบว่าการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา จะสามารถลดค่าตัวประกอบเสียดทานจากกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ทุกกรณีศึกษา

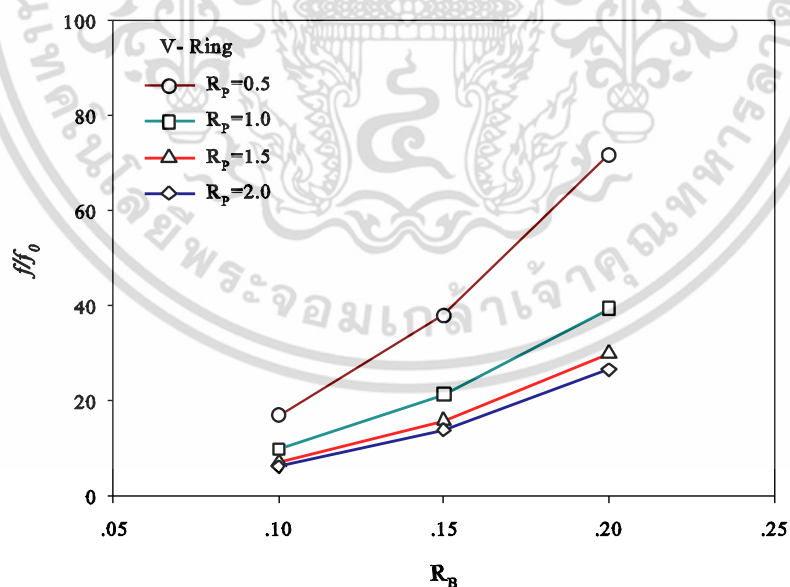
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิชิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรูปที่ 5.14 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิชิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่า R_B และรูปที่ 5.14 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่า R_p แต่พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 อย่างชัดเจน



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



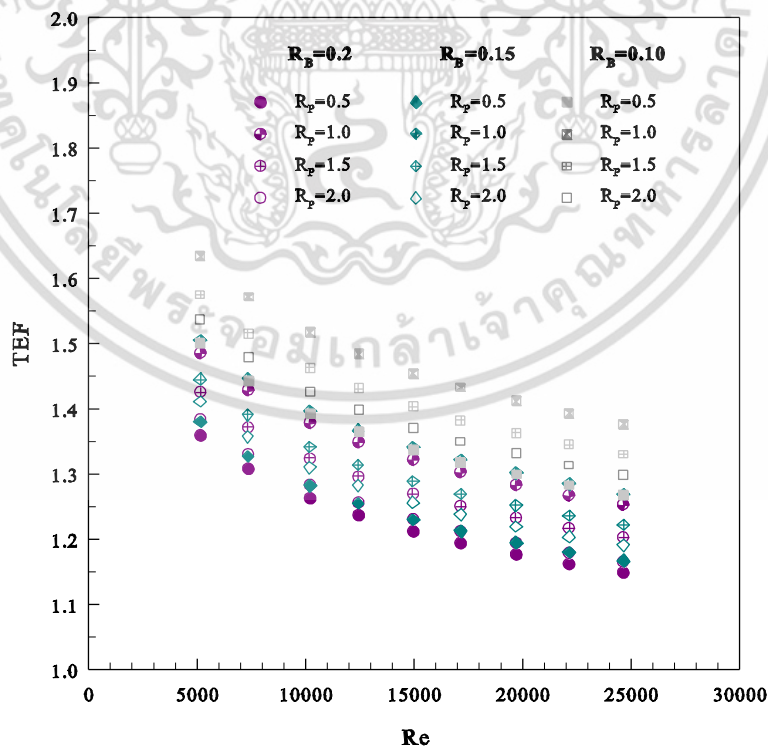
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

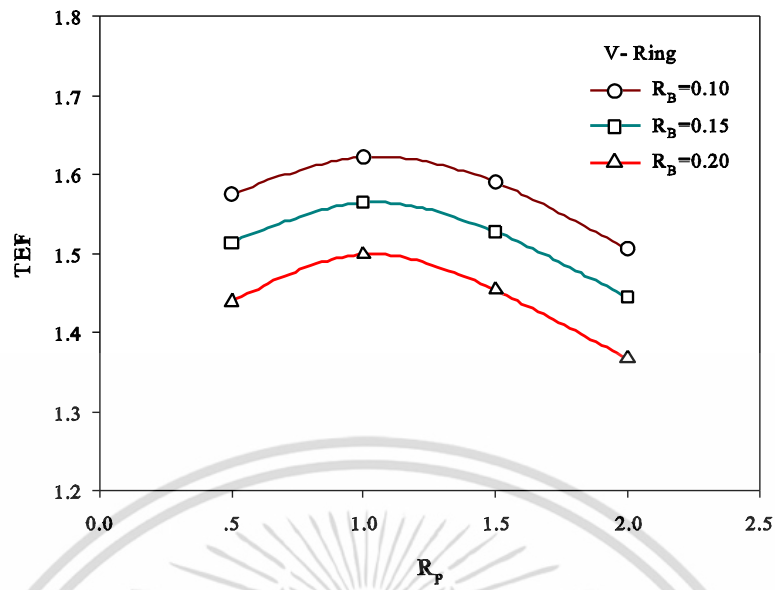
5.4.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.15 พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา จากการศึกษาอิทธิพลจากกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_P ต่างๆ พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B ลดลง (ความสูงของปีกแหวนรูปตัววีลดลง) และที่ค่า R_P ลดลง (จำนวนแหวนรูปตัววีเพิ่มขึ้น) การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.27-1.50, 1.38-1.63, 1.33-1.57 และ 1.30-1.54 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.17-1.38, 1.27-1.50, 1.22-1.44 และ 1.19-1.41 และค่า $R_B = 0.20$ และ $R_P = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.15-1.36, 1.25-1.49, 1.20-1.43 และ 1.16-1.38 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.63 เกิดขึ้นในกรณีการใส่แหวนรูปตัววี ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=1.0$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000 จากการศึกษาการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา เปรียบเทียบกับกรณีการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศาจะลดลงจากมุมปะทะการไหล 45 องศา แต่ค่าของตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจากกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา สูงกว่ากรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ทุกกรณีศึกษา

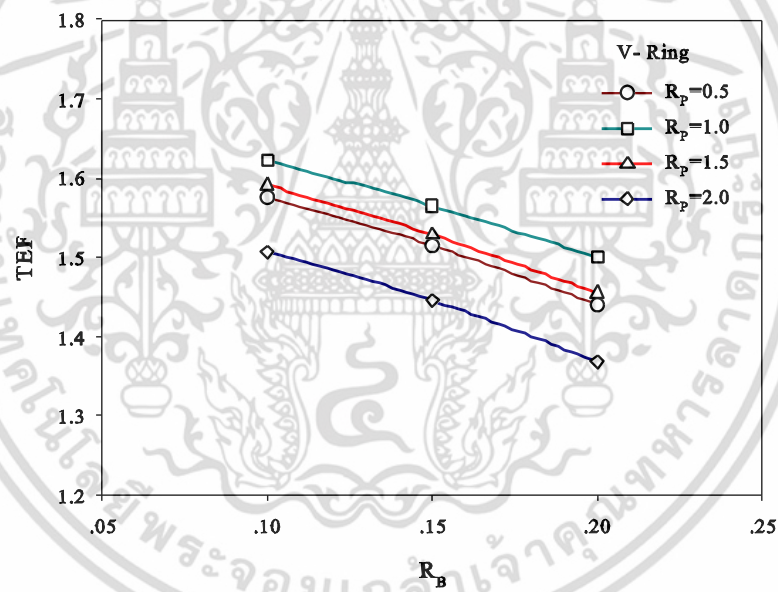


รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

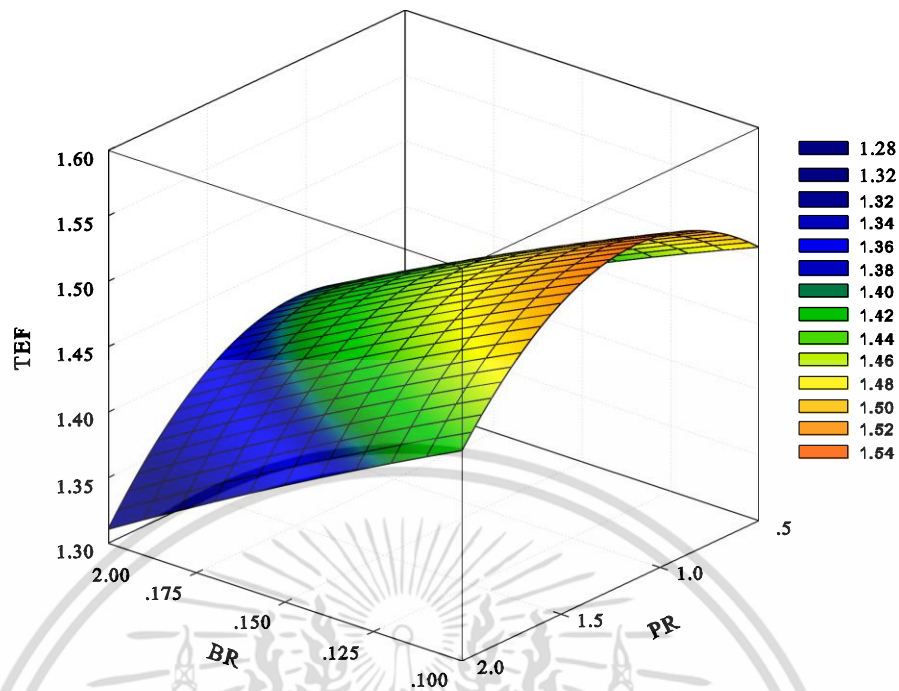


(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.16 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p = 0.5$ ค่าการสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลง จากอิทธิพลของตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นที่อัตราส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 0.5 และรูปที่ 5.16 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p = 0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และพบว่าค่าอัตราส่วนระยะพิตต์จะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากกว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ดังแสดงในรูปที่ 5.16 (ค)

ตารางที่ 5.2 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน
ส่วนที่ 2 กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_p	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.03-3.48	19.45-20.62	1.27-1.50
	1.0	3.11-3.62	10.87-11.49	1.38-1.63
	1.5	2.75-3.20	8.37-8.86	1.33-1.57
	2.0	2.48-2.88	6.56-6.96	1.30-1.54
0.15	0.5	4.06-4.72	40.07-42.18	1.17-1.38
	1.0	3.67-4.27	22.86-24.13	1.27-1.50
	1.5	3.26-3.79	18.00-19.03	1.22-1.44
	2.0	2.92-3.40	14.06-14.86	1.19-1.41
0.20	0.5	4.99-5.79	77.56-82.10	1.15-1.36
	1.0	4.40-5.12	40.99-43.48	1.25-1.49
	1.5	3.96-4.61	33.76-35.73	1.20-1.43
	2.0	3.57-4.16	27.27-28.90	1.16-1.38

5.4.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

$$Nu = 2.406Re^{0.606}Pr^{0.4}R_B^{0.562}(R_p + 1)^{-0.549} \quad (5.3)$$

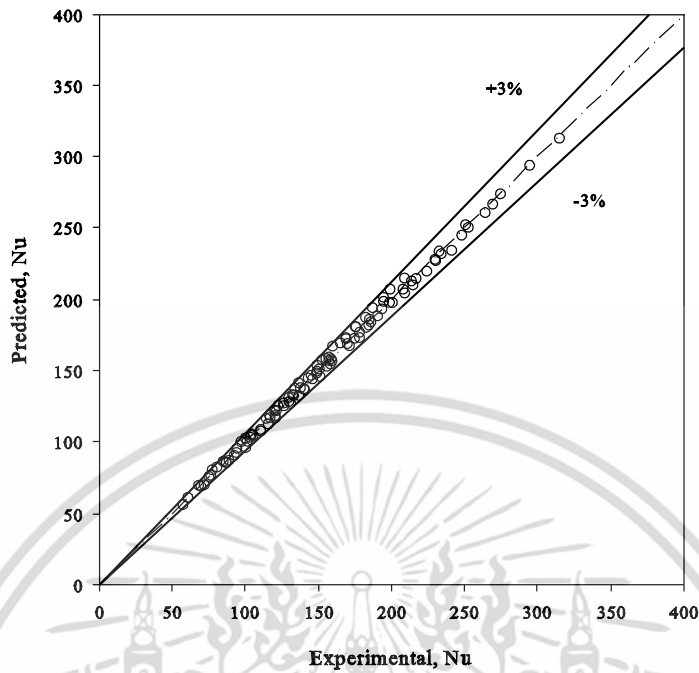
ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

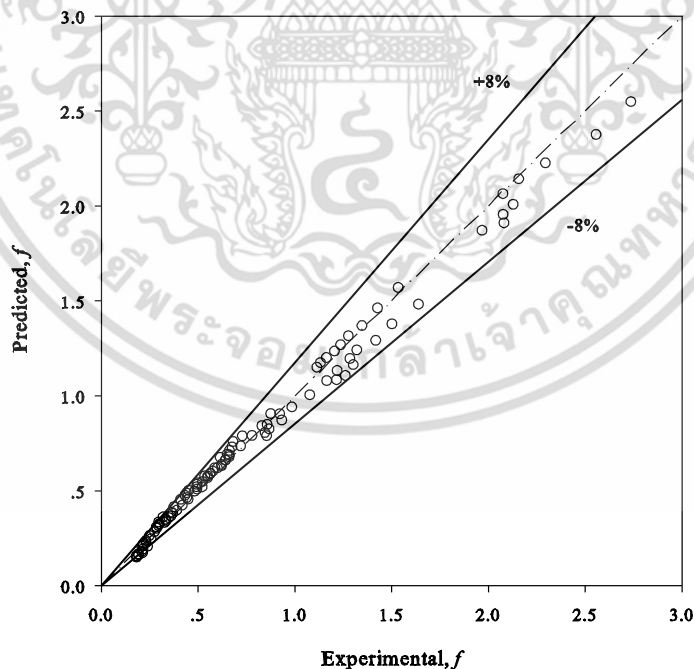
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = 606.49Re^{-0.198}R_B^{1.917}(R_p + 1)^{-1.689} \quad (5.4)$$



รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนีสเซิลท์สหสัมพันธ์กับเลขนีสเซิลท์จากการทดลองกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา

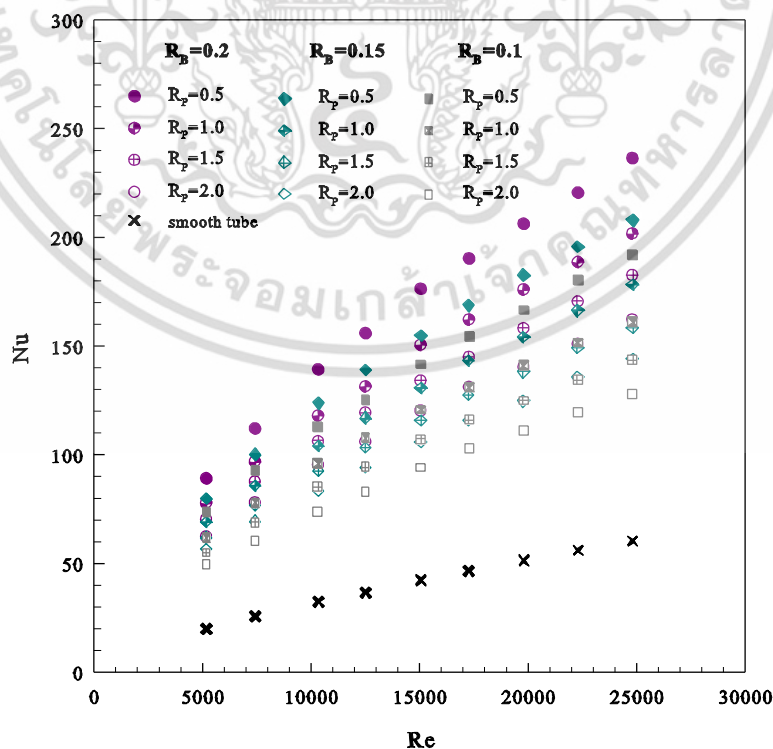
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา

5.5.1 การถ่ายเทความร้อน

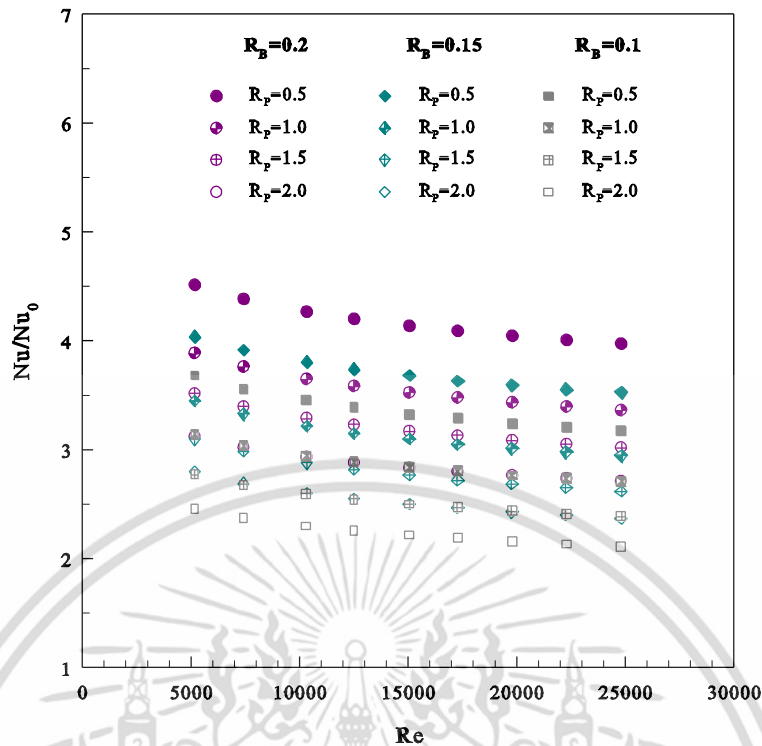
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.19 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 25 และ 34% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 24 และ 31% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 24 และ 31% ตามลำดับ

โดยทำการศึกษาอิทธิพลของค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณี เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_P=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกันจะพบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 11 และ 19% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 12 และ 19% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 13 และ 21% ตามลำดับ และที่ค่า $R_P=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 11 และ 21% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



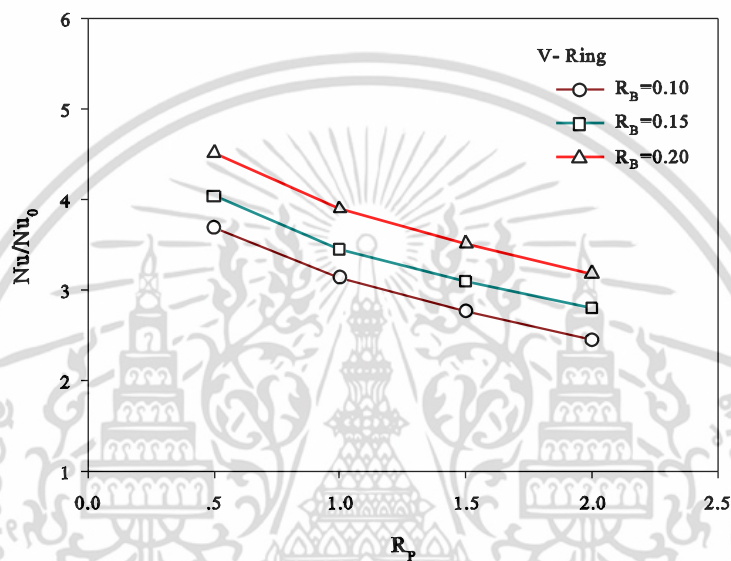
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

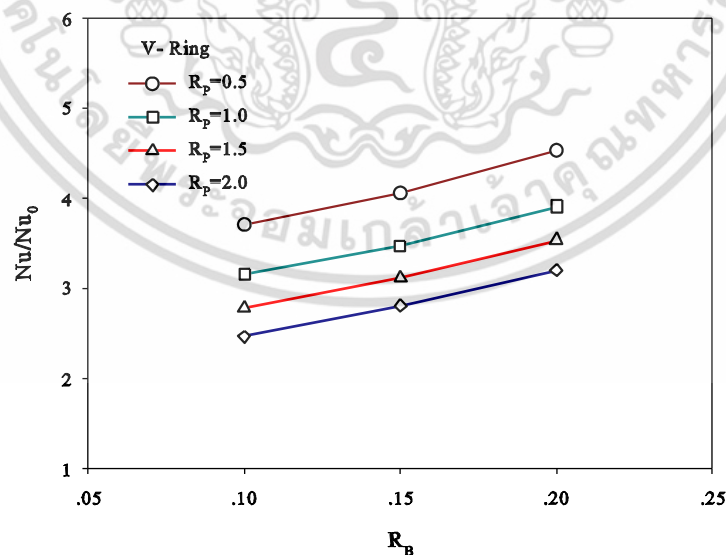
อัตราส่วนการการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.19 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนรูปตัววีจะเพิ่มค่าอัตราส่วน การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนรูปตัววี ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนัสเซลท์ จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง $3.17-3.66, 2.68-3.11, 2.37-2.75$ และ $2.11-2.45$ ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าเลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง $3.52-4.04, 2.94-3.44, 2.62-3.09$ และ $2.36-2.79$ ตามลำดับ และกรณีที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าเลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง $3.97-4.51, 3.36-3.89, 3.02-3.51$ และ $2.71-3.12$ ตามลำดับ และจากการศึกษายังพบว่าการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะให้ค่า การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบต่ำกว่ากรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา ตามลำดับ

รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการ ถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.20 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และเมื่อเปรียบกับแหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 และ 30 องศา พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่างๆ มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามุมปะทะการไหลมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และรูปที่ 5.20 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และมีแนวโน้มในทิศทางตรงข้ามกับอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

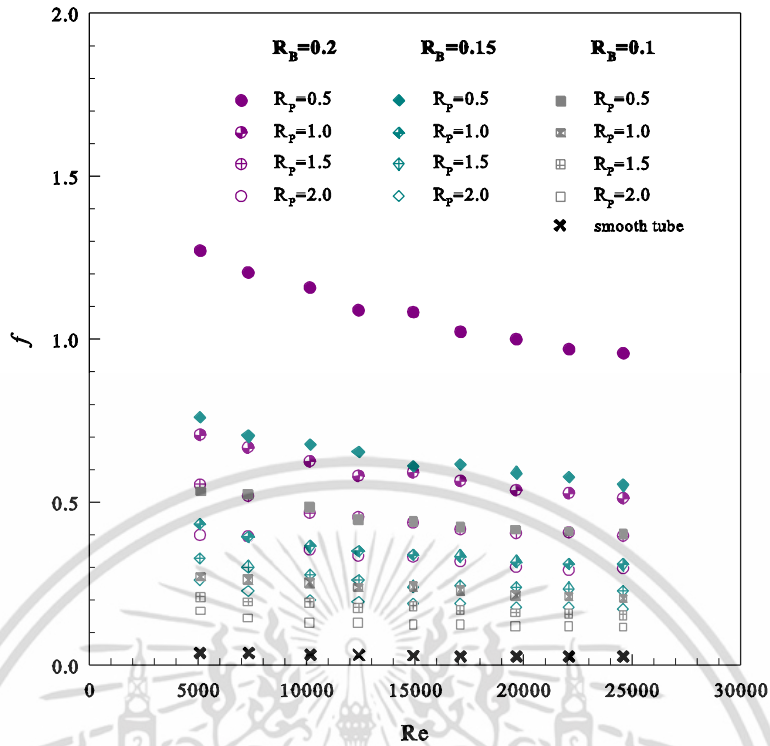
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 การสูญเสียความดัน

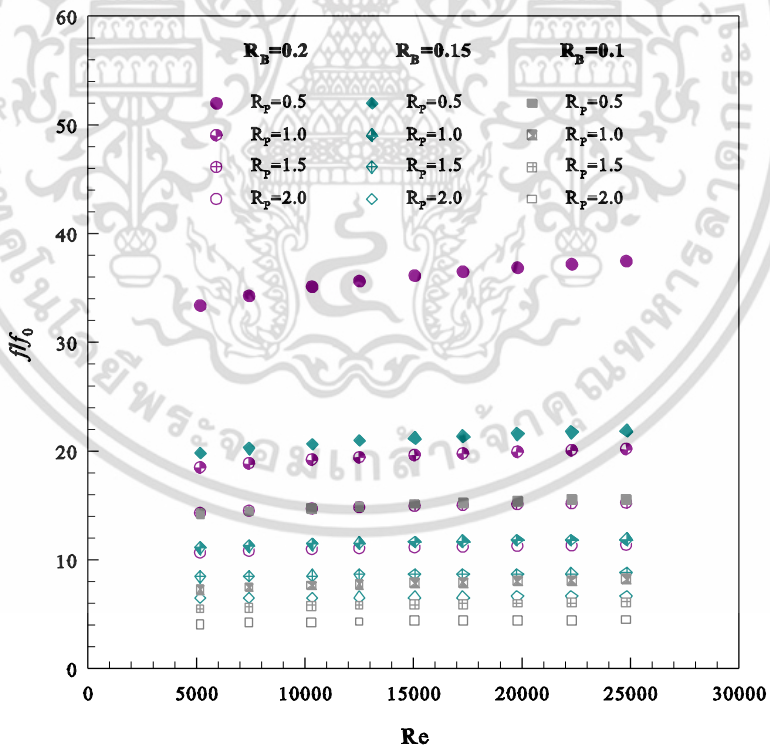
ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 5.21 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้การค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงสำหรับทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 48, 61 และ 71% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 45, 59 และ 69% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 46, 59 และ 69% ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ โดยศึกษาอิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 41 และ 58% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p = 1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 41 และ 60% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 42 และ 61% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 41 และ 61% ตามลำดับ

อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 5.21 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนรูปตัววีจะเพิ่มค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานอย่างชัดเจน สำหรับกรณีการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 14.14-15.58, 7.23-8.16, 5.45-6.07 และ 4.08-4.44 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 19.75-21.86, 11.06-11.74, 8.39-8.70 และ 6.41-6.56 ตามลำดับ และกรณีที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 33.34-37.44, 18.46-20.15, 14.26-15.20 และ 10.61-11.32 ตามลำดับ จากการศึกษาจึงพบว่าการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะสามารถลดค่าตัวประกอบเสียดทานจากการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา ตามลำดับ



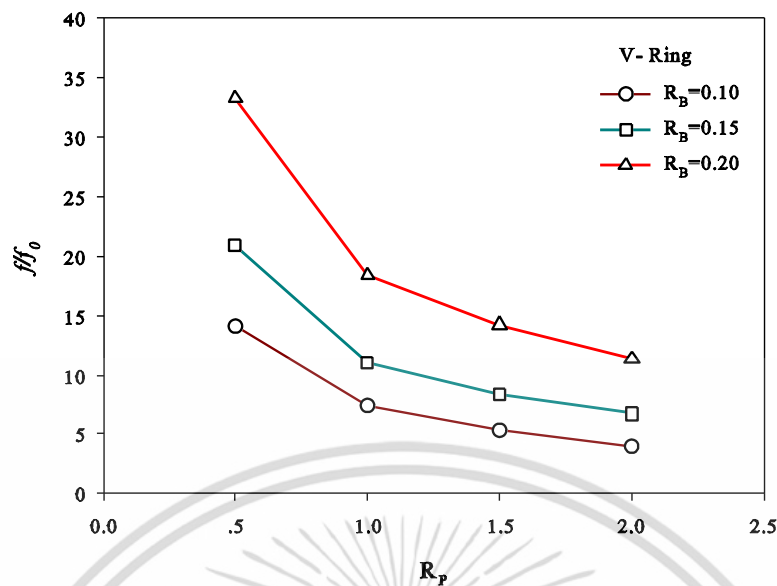
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์



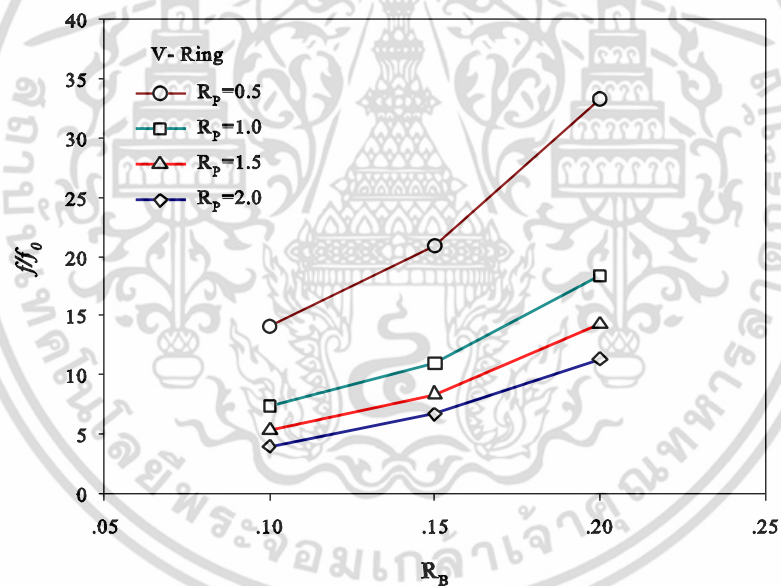
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

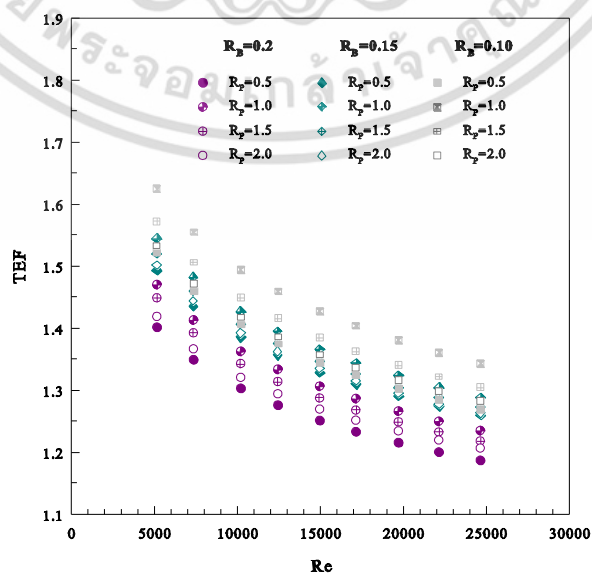
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.22 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่า R_B และรูปที่ 5.22 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่า R_p แต่พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 อย่างชัดเจน

5.5.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

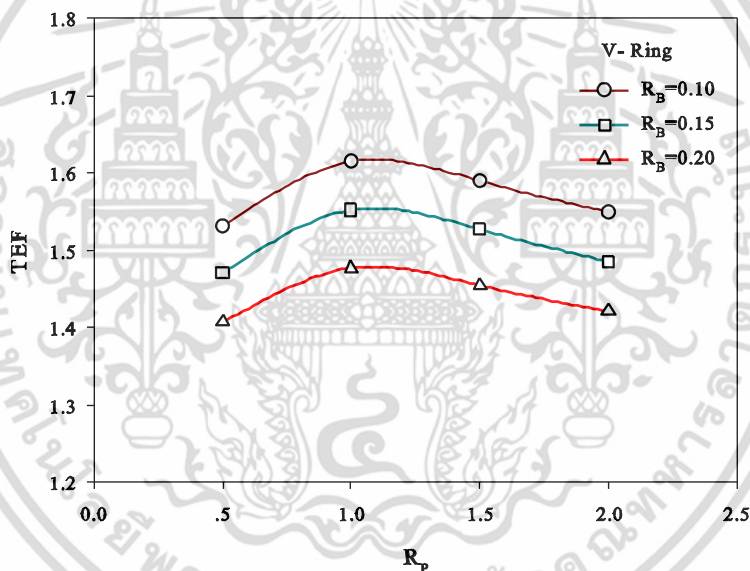
จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 5.23 ทุกกรณีศึกษา จากการศึกษาคณิตศาสตร์จากกรณีใส่แหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_p ต่างๆ ทำให้ทราบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B ลดลง (ความสูงของปีกแหวนรูปตัววีลดลง) และที่ค่า R_p ลดลง (จำนวนแหวนรูปตัววีเพิ่มขึ้น) การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.27-1.52, 1.34-1.62, 1.30-1.57 และ 1.28-1.53 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.26-1.49, 1.29-1.54, 1.27-1.52 และ 1.26-1.50 และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.19-1.40, 1.23-1.47, 1.22-1.45 และ 1.21-1.42 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.62 เกิดขึ้นในกรณีการใช้แหวนรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000 และจากการศึกษาการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา เปรียบเทียบกับกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะลดลงจากมุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา แต่ค่าของตัวประกอบเสียดทานกลับลดลงอย่างมากส่งผลให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา และมีค่าใกล้เคียงกับกรณีใส่แหวนรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ทุกกรณีศึกษา



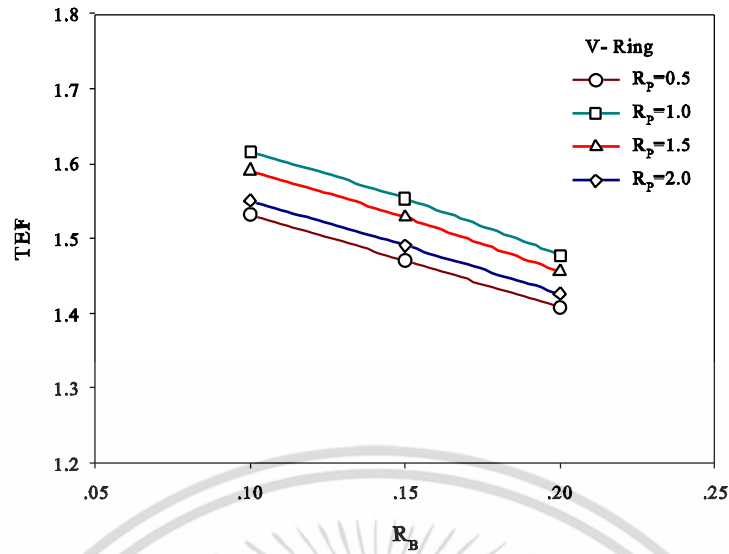
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทกับการเพิ่มของเลขเรย์โนลด์ที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

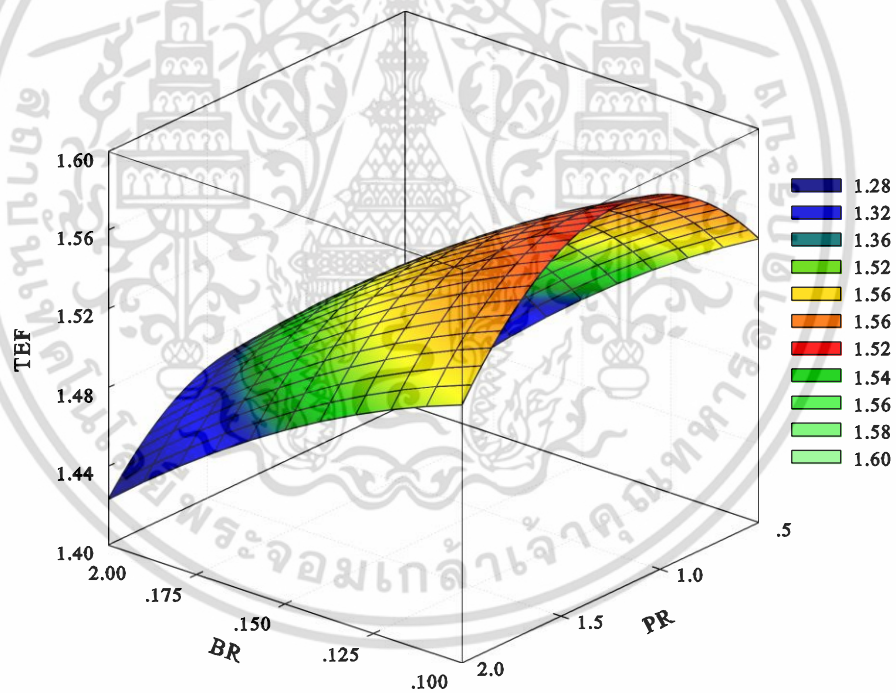
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 5.24 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าการสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลงต่ำสุดทุกกรณีศึกษา เนื่องจากอิทธิพลของตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่อัตราส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 0.5 และรูปที่ 5.24 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และพบว่าค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากกว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ดังแสดงในรูปที่ 5.24 (ค)



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

ส่วนที่ 3 กรณีใส่ใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_P	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.17-3.66	14.14-15.58	1.27-1.52
	1.0	2.68-3.11	7.23-8.16	1.34-1.62
	1.5	2.37-2.75	5.45-6.07	1.30-1.57
	2.0	2.11-2.45	4.08-4.44	1.28-1.53
0.15	0.5	3.52-4.04	19.75-21.86	1.26-1.49
	1.0	2.94-3.44	11.06-11.74	1.29-1.54
	1.5	2.62-3.09	8.39-8.70	1.27-1.52
	2.0	2.36-2.79	6.41-6.56	1.26-1.50
0.20	0.5	3.97-4.51	33.34-37.44	1.19-1.40
	1.0	3.36-3.89	18.46-20.15	1.23-1.47
	1.5	3.02-3.51	14.26-15.20	1.22-1.45
	2.0	2.71-3.12	10.61-11.32	1.21-1.42

5.5.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

$$Nu = 1.279Re^{0.603} Pr^{0.4} R_B^{0.324} (R_P + 1)^{-0.558} \quad (5.5)$$

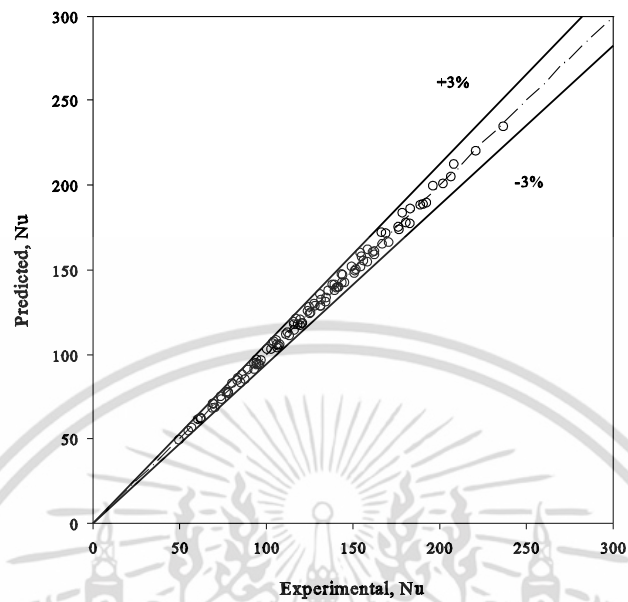
ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

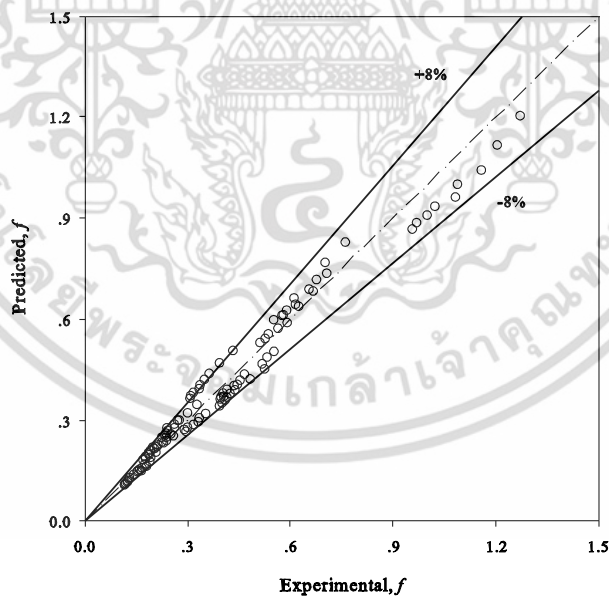
รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = 115.75Re^{-0.209}R_B^{1.299}(R_p + 1)^{-1.703} \quad (5.6)$$



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา

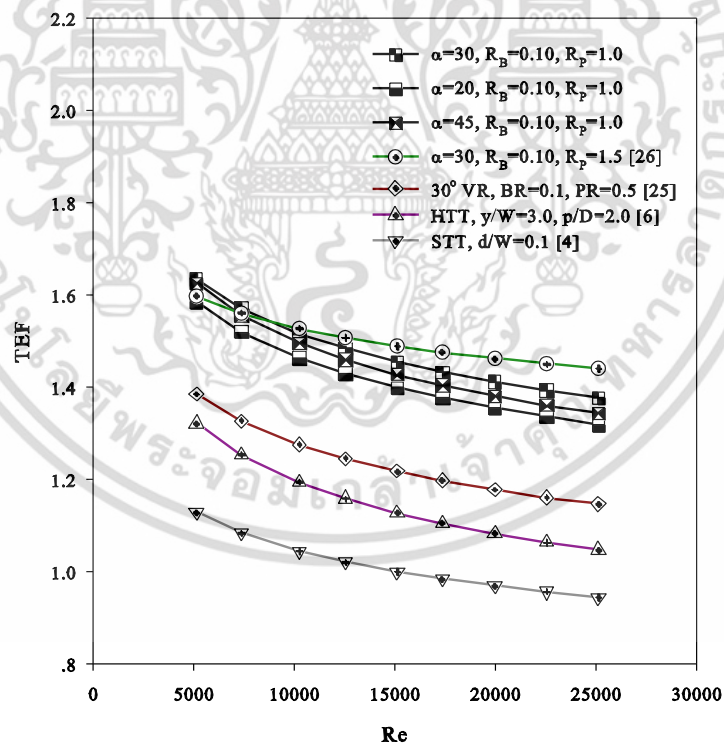
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลลัพธ์ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดที่ได้จากการประยุกต์ใช้แหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหลทั้ง 3 มุม ในงานวิจัยฉบับนี้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง	กรณีศึกษา	TEF
ส่วนที่ 2: V-Shaped Rings	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.0$	1.38-1.63
ส่วนที่ 3: V-Shaped Rings	$\alpha=20^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.0$	1.34-1.62
ส่วนที่ 1: V-Shaped Rings	$\alpha=45^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.0$	1.32-1.58
[26]	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.5$	0.99-1.41
[25]	$\alpha=30^\circ$, $BR=0.10$, $PR=0.5$	0.98-1.41
[6]	$y/W=3.0$, $p/D=2.0$	1.04-1.40
[4]	$d/W=0.1$	1.03-1.40



รูปที่ 5.27 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมโดยใช้แหวนรูปตัววีซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 กรณีศึกษาโดยการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ส่วนที่ 2 กรณีศึกษาโดยการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา และส่วนที่ 3 กรณีศึกษาโดยการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่า R_B และ R_p ต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ สามารถสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะแปรผันตรงกับความเร็ของการไหลภายในท่อเนื่องจากความเร็วของการไหลที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนภายในท่อที่รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงถึงปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบของอากาศที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีของไหลทำงานสำหรับรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น

2. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนรูปตัววีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบทุกกรณี เนื่องจากการใส่แหวนรูปตัววีจะช่วยให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น

3. การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสูงแหวนรูปตัววีมีค่ามากขึ้น (R_B) เนื่องจากการใส่แหวนรูปตัววี ที่ค่า R_B มากๆ ช่วยให้เกิดการหมุนวนของของไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้นตามความสูงของปีกแหวนรูปตัววี ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น และการใส่แหวนรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า $R_B=0.20$ จะสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 600 % เทียบกับท่อผนังเรียบ

4. เมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) มีค่าลดลงจะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากค่า R_p ที่ลดลงจะส่งผลต่อความรุนแรงของการหมุนวนที่เพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนของแหวนรูปตัววีภายในท่อ

5. การใส่แหวนรูปตัววีทุกกรณีศึกษาให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีท่อผิวเรียบ เนื่องจากการใส่แหวนรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะไปขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ส่งผลให้อากาศภายในท่อเดินทางไม่สะดวกทำให้เกิดแรงต้านการไหลเพิ่มมากขึ้น

6. ค่าตัวประกอบความเสียดทานจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าปีกของแหวนรูปตัววีมีค่าสูงขึ้นและอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลง เนื่องจากค่าปีกของแหวนรูปตัววีที่สูงขึ้นจะไปขวางการไหลภายในท่อและค่าอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลงทำให้แหวนรูปตัววีมีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงต้านภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่ามากขึ้น

7. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนรูปตัววีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบและมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้นตามมา แม้ว่าการใส่แหวนรูปตัววีจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นก็ตาม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น พบว่าการใส่แหวนรูปตัววีจะช่วยเพิ่มลดการใช้พลังงานความร้อนเมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นผลของตัวประกอบเสียดทาน โดยผลของการใส่แหวนรูปตัววีที่ดีที่สุดจะเกิดที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$

บทที่ 6

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ แหวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings)

6.1 บทนำ

บทนี้จะเสนอผลการศึกษเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แหวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings) ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้พัฒนามาจากแหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานที่เกิดจากแหวนรูปตัววีไปวางกั้นการไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนและพบว่าส่วนที่ช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของแหวนรูปตัววีที่ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) ที่รุนแรง จึงได้นำมาเป็นเงื่อนไขสำหรับการพัฒนาพัฒนาการใช้แหวนวงรีรูปตัววีแบบใหม่ขึ้นมา ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

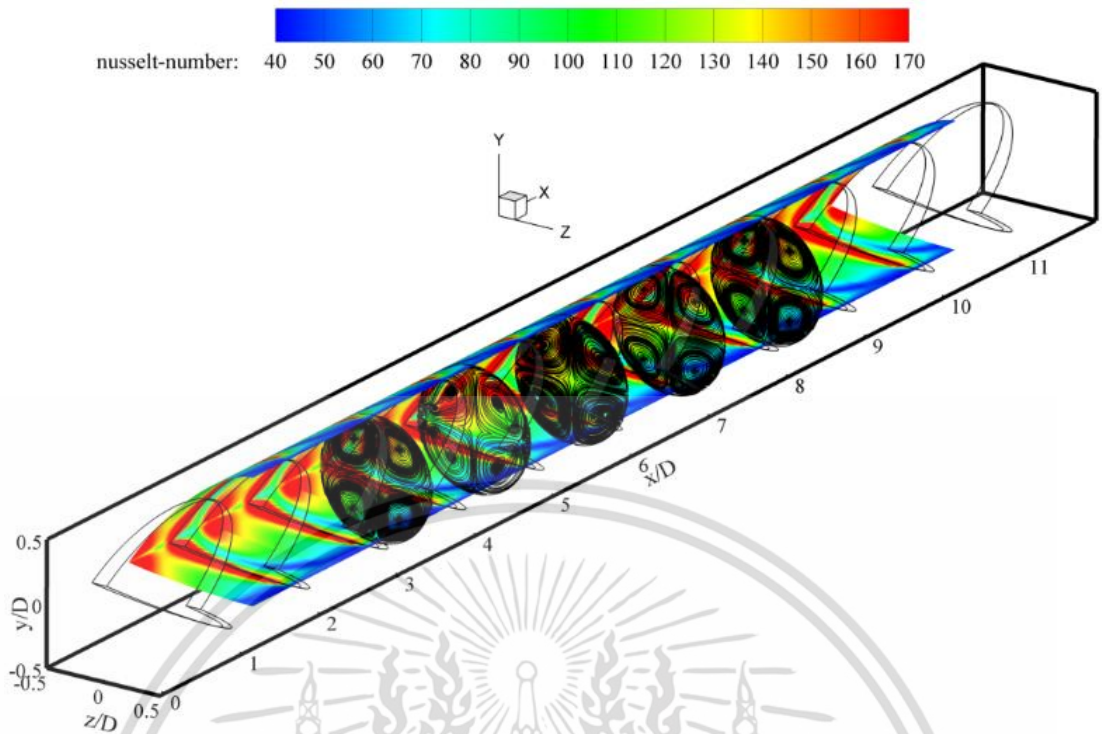
ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา ที่มีค่าอัตราส่วนการวางกั้นการไหลแตกต่างกันที่ ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

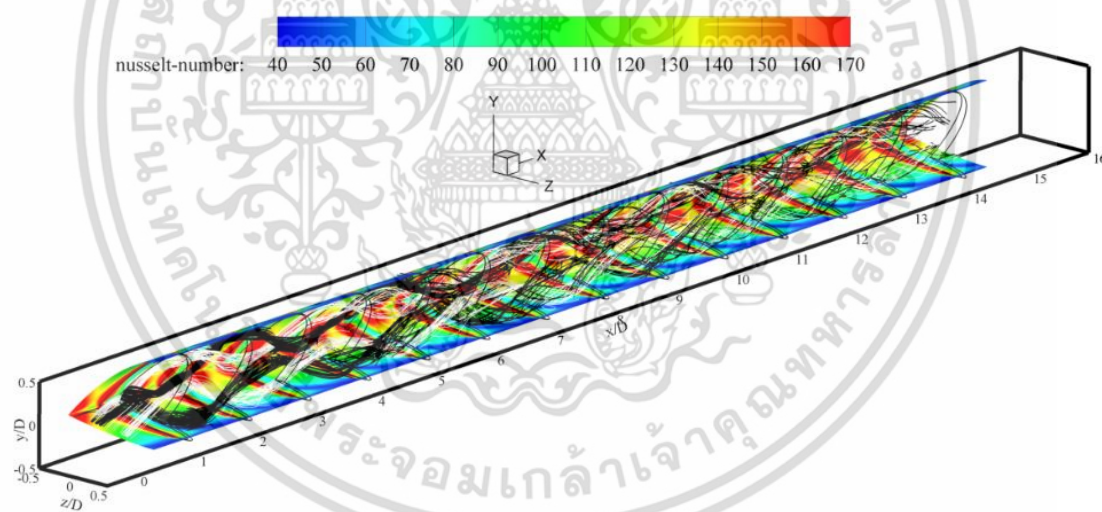
ซึ่งในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัยเซลล์และการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันกับท่อผนังเรียบ และแสดงค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบของกรณีศึกษาในแต่ละส่วน ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณที่กำลั้งขบเดียวกัน ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

6.2 การจำลองพฤติกรรมกรไหลและการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 6.1 แสดงพฤติกรรมกรไหลผ่านแหวนวงรูปตัววี จะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลของอากาศผ่านแหวนวงรูปตัววีจะมีลักษณะเป็นการไหลแบบบอร์เทค 4 วง แสดงในรูปที่ 6.1 (ก) ที่มีการไหลคล้ายกับการไหลผ่านแหวนรูปตัววีแต่การไหลแบบบอร์เทคจะมีความแรงน้อยกว่า เนื่องจากการพัฒนาโดยการทำให้บริเวณปลายปีกของวงแหวนบางลงเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งการไหลในลักษณะนี้จะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับผิวร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.1 (ข)



(ก) คอนทัวร์เลขนีสเซิลท์และเส้นกระแสการไหลแบบวอร์เทค



(ข) คอนทัวร์เลขนีสเซิลท์และเส้นกระแสการไหล 3 มิติ

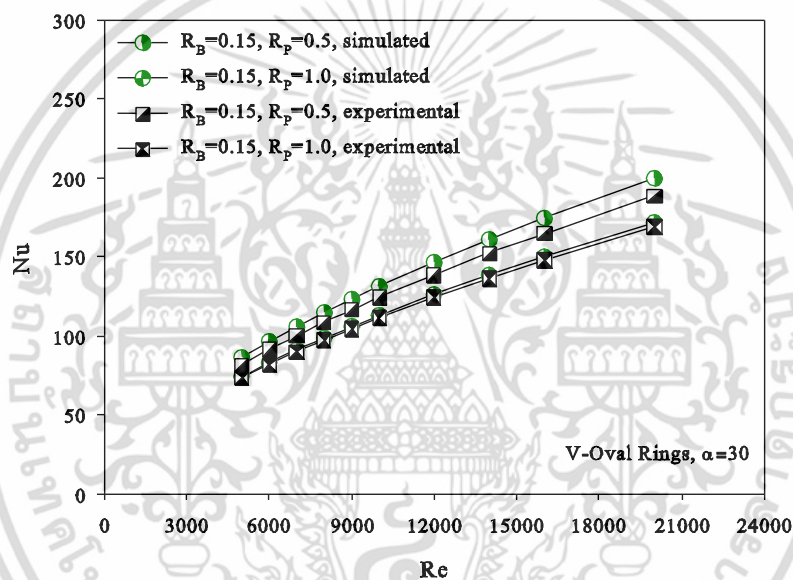
รูปที่ 6.1 การจำลองพฤติกรรมกรไหลของอากาศผ่านแหวนวงรีรูปตัววี

รูปที่ 6.2 แสดงพฤติกรรมกรถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววี ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ที่นำเสนอในรูปแบบการไหล 2 และ 3 มิติ พบว่ากรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของแหวนวงรีอย่างชัดเจน แสดงในรูปที่ 6.2 (ข) ส่วนบริเวณด้านบนและด้านล่างของแหวนวงรีรูปตัววีพฤติกรรมกรถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งตรงกับข้อสมมุติฐาน ลักษณะการไหลแบบวอร์เทคจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น และจะเกิดขึ้นบริเวณตัววีของแหวน ส่วนบริเวณปลายปีก (ด้านบนและด้านล่างวงแหวน) การถ่ายเทความร้อนบริเวณนี้จะไม่ดีเมื่อเทียบกับบริเวณด้านข้างของแหวนและบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้พิมพ์เอกสารนี้แล้ว ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์แล้ว ผู้เขียนขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินคดีตามกฎหมายต่อไป

ดังกล่าวยังเพิ่มค่าตัวประกอบเสียดทานให้สูงขึ้นด้วย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะไปขวางการไหลของอากาศได้มาก ซึ่งลักษณะการออกแบบแหวนวงรีรูปตัววีได้อาศัยข้อสมมุติฐานและการจำลองพฤติกรรมกรไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา โดยจากการศึกษาผลของการจำลองการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับกรทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกันการไหล (R_B)=0.15 และค่าอัตราส่วนระยะพิศด (R_P)=0.5 และ 1.0 พบว่าการถ่ายเทความร้อนสำหรับการใส่แหวนวงรีรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน โดยผลการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่าการจำลองทางคณิตศาสตร์เท่ากับ 3%



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณีเปรียบเทียบการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

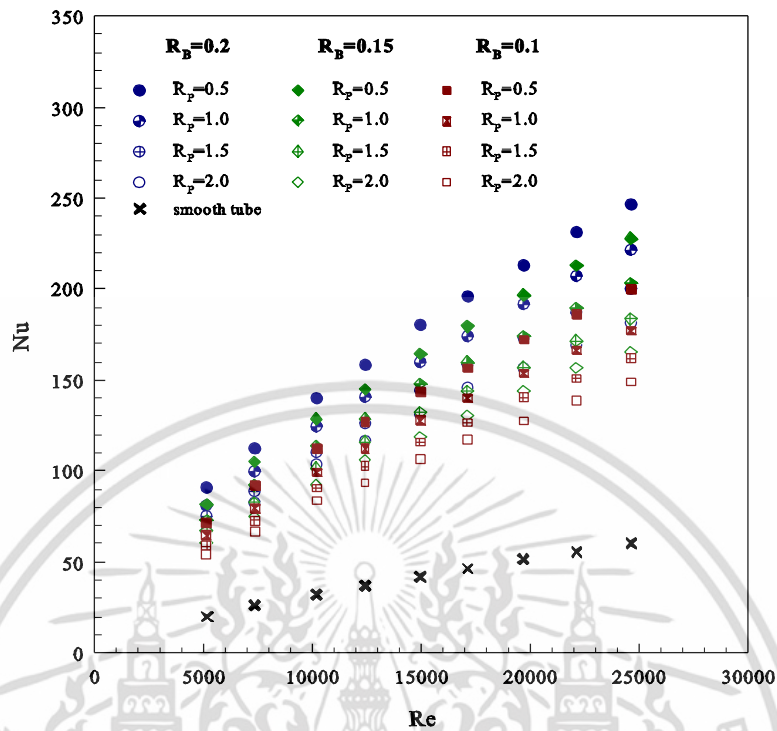
6.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา

6.3.1 การถ่ายเทความร้อน

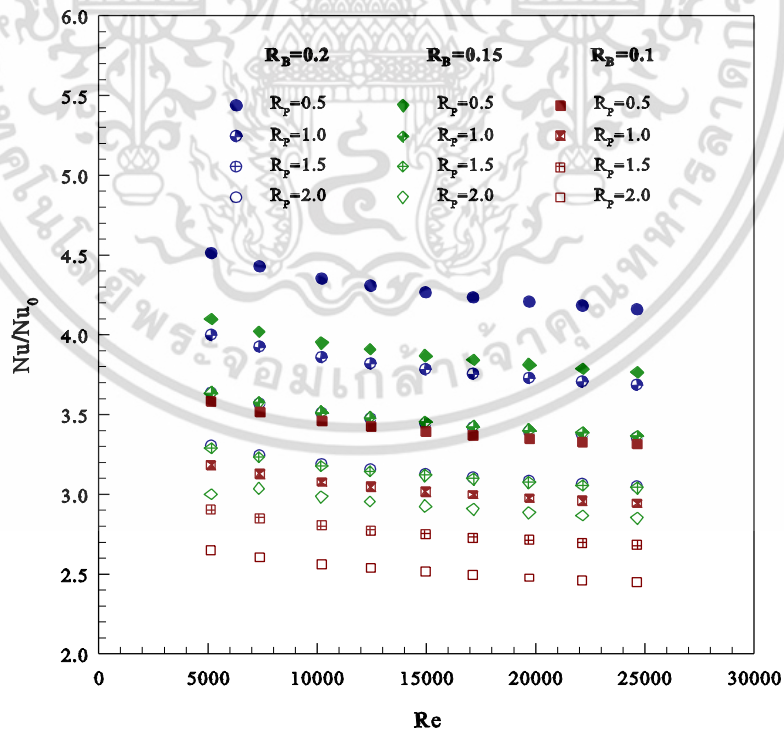
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.3 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกันการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิศด (R_P) สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_P = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 11, 19 และ 26% ตามลำดับ ในกรณีที่ค่า $R_B=0.15$ ที่ $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 11, 19 และ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ ที่ $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 11, 20 และ 26% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

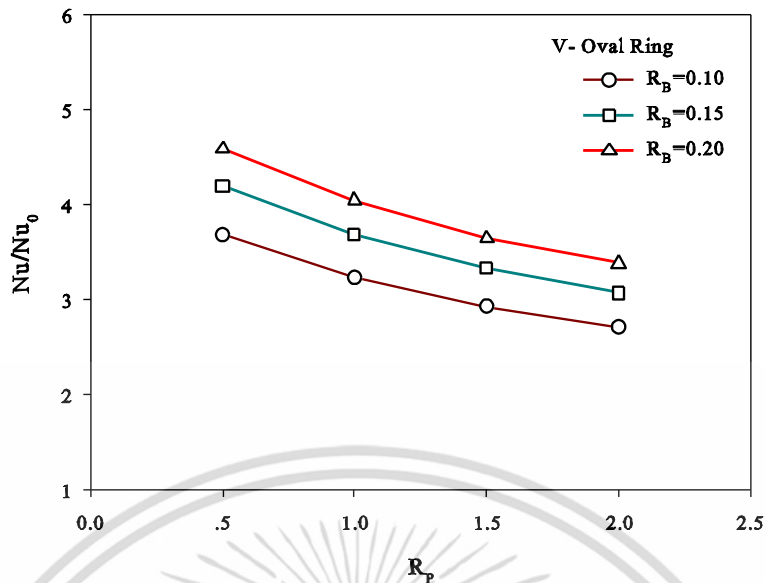
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

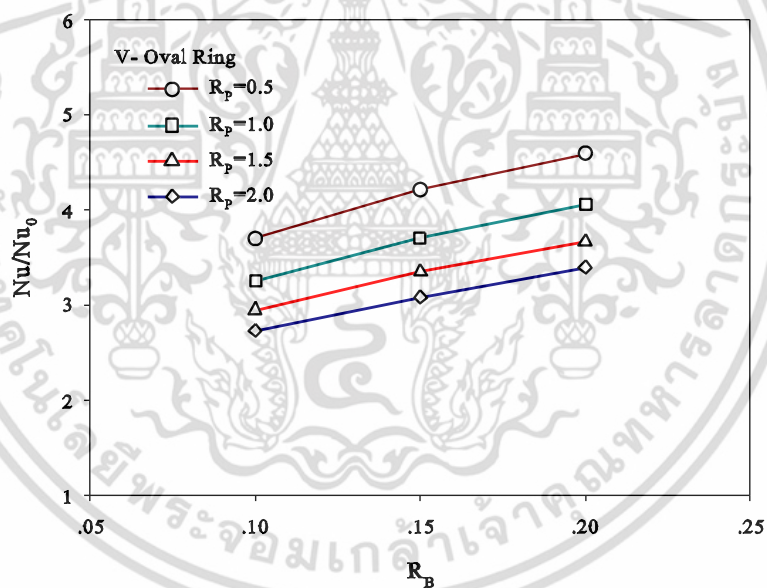
การศึกษาอิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณีศึกษา และเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_p=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกันจะพบว่าค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 8 และ 20% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 8 และ 20% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 8 และ 19% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 6 และ 19% ตามลำดับ

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกรณีแหวนวงรีรูปวงรีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.3 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะช่วยเพิ่มค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน สำหรับกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนัยสเซลท์จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.31-3.58, 2.94-3.23, 2.69-2.94 และ 2.46-2.68 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัยสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.77-4.10, 3.36-3.63, 3.04-3.29 และ 2.85-2.99 ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัยสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.16-4.51, 3.68-4.00, 3.35-3.63 และ 3.05-3.30 ตามลำดับ

รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 5.4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลอง พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

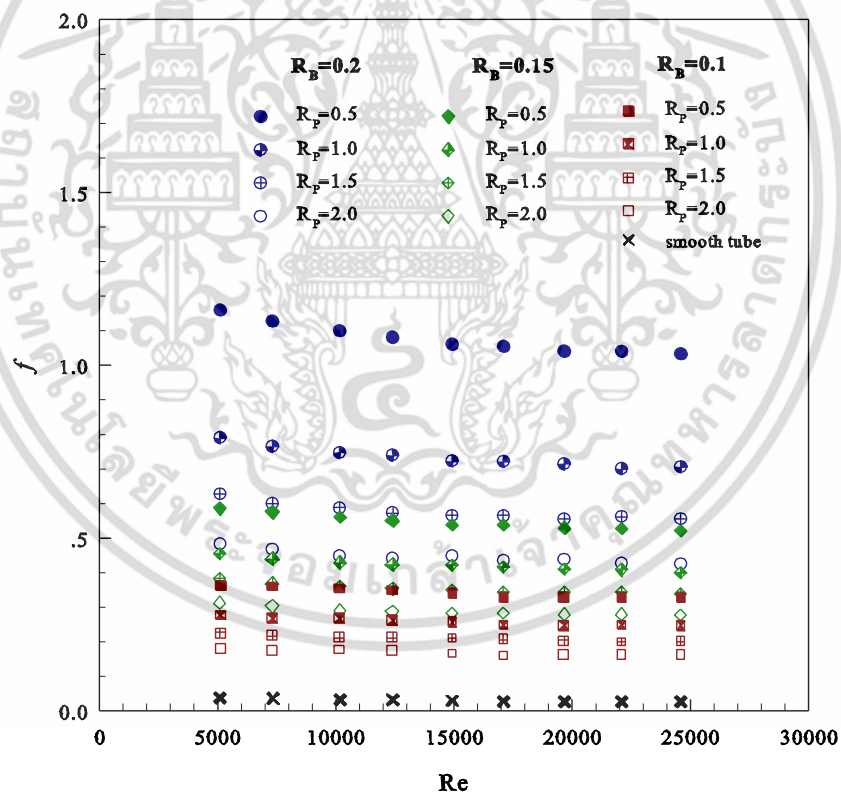
6.3.2 การสูญเสียความดัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.5 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ เพิ่มขึ้นส่งผลให้การค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงสำหรับทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิศด (R_p) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 25, 39 และ 51% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 14, 43 และ 61% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B = 0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 32, 47 และ 59% ตามลำดับ

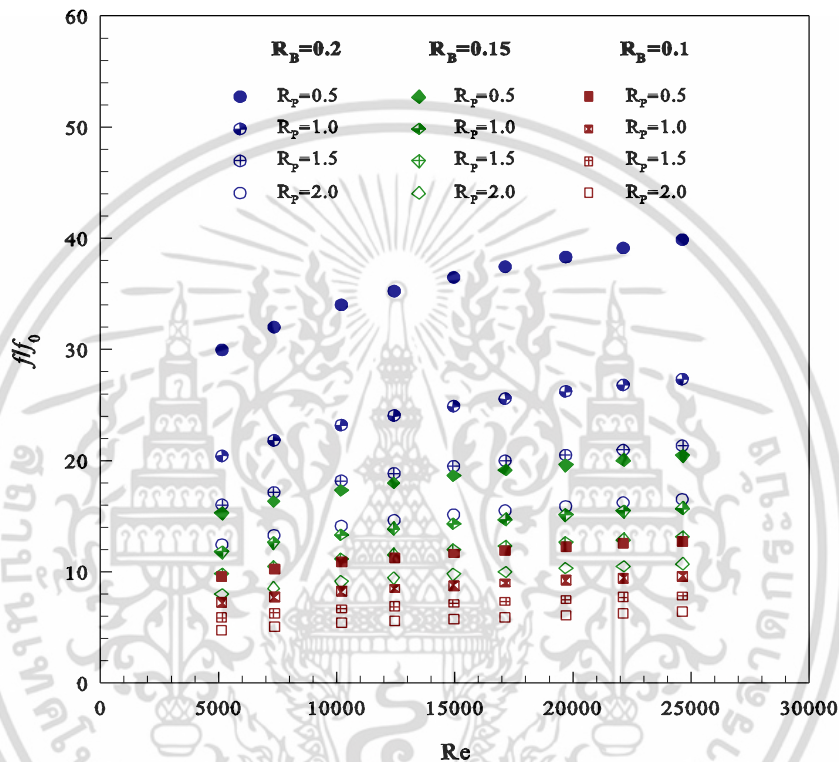
โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ ที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 49 และ 68% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 43 และ 65% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 39 และ 64% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 35 และ 62% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.5 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น อิทธิพลจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน กรณีศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 9.52-12.76, 7.17-9.58, 5.81-7.79 และ 4.71-6.30 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 15.23-20.39, 11.73-15.69, 9.78-13.10 และ 7.97-10.68 ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 29.90-39.81, 20.37-27.27, 15.98-21.28 และ 12.39-16.48 ตามลำดับ

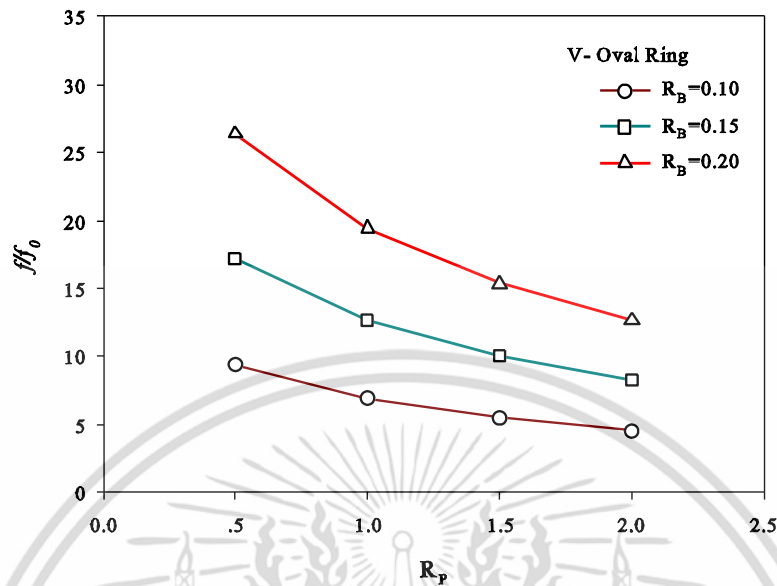


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

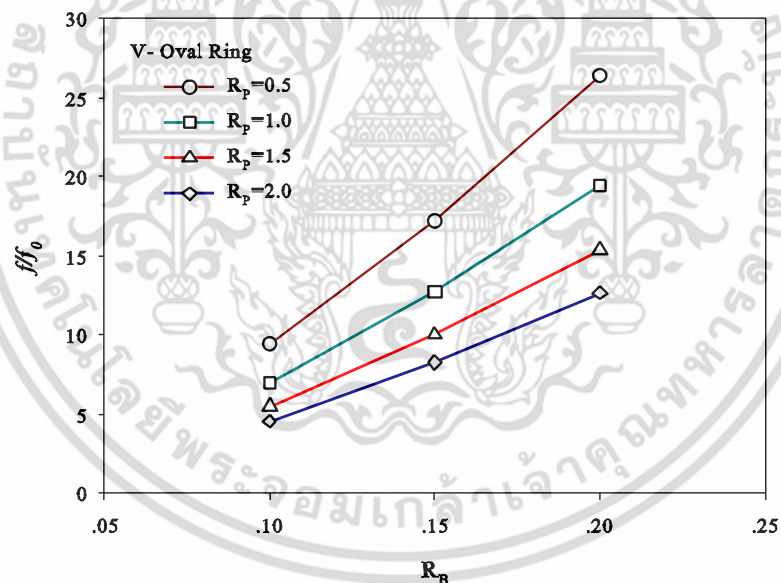
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45°

รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45° องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.6 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นสูงมาก ทำให้ทราบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ระบบรับภาระมากเมื่อเทียบกับค่า $R_p=1.0, 1.5$ และรูปที่ 6.6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบ

เสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



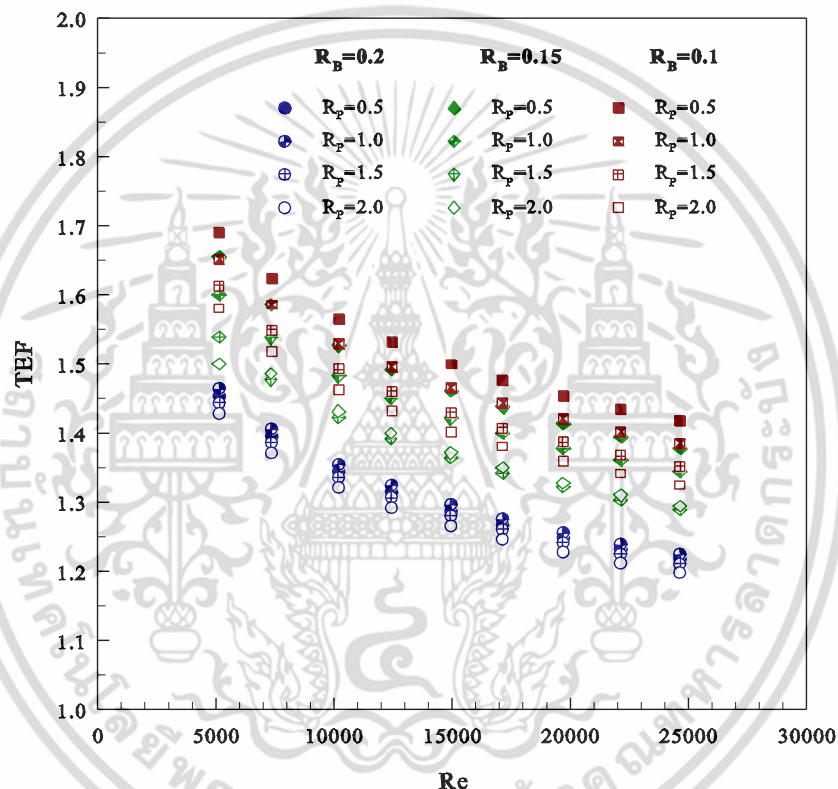
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

6.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 6.7 พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.0 ทุกครั้ง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา จากการศึกษานี้พบว่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B และ R_p ลดลง ค่าของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.42-1.69, 1.38-1.65, 1.35-1.61 และ 1.32-1.58 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.38-1.65, 1.34-1.60, 1.29-1.54 และ 1.29-1.50 และค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.22-1.45, 1.22-1.46, 1.21-1.44 และ 1.20-1.43 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.69 เกิดขึ้นในกรณีการใช้แหวนวงรีรูปตัววี ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000



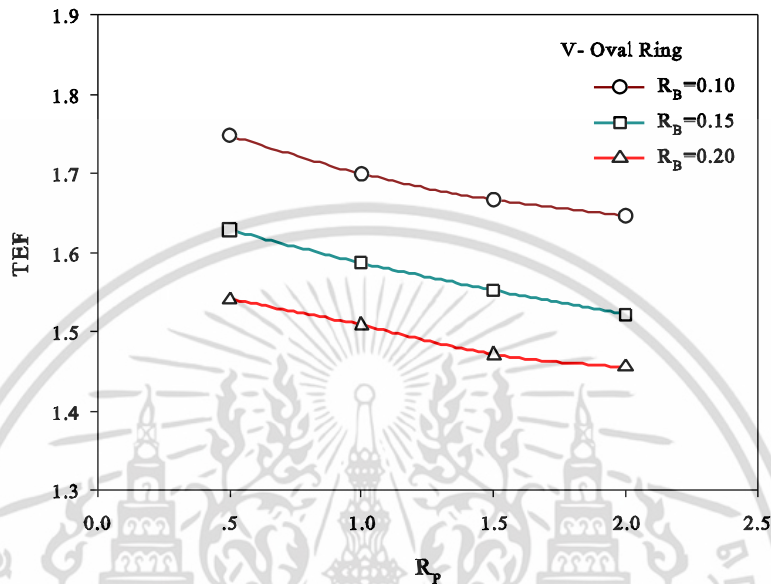
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.8 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p= 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ จะเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ผลจากอิทธิพลของการไหลแบบบอร์เทคทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงจากกรณีใส่แหวนรูปตัววีเล็กน้อยในขณะที่ค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นไม่

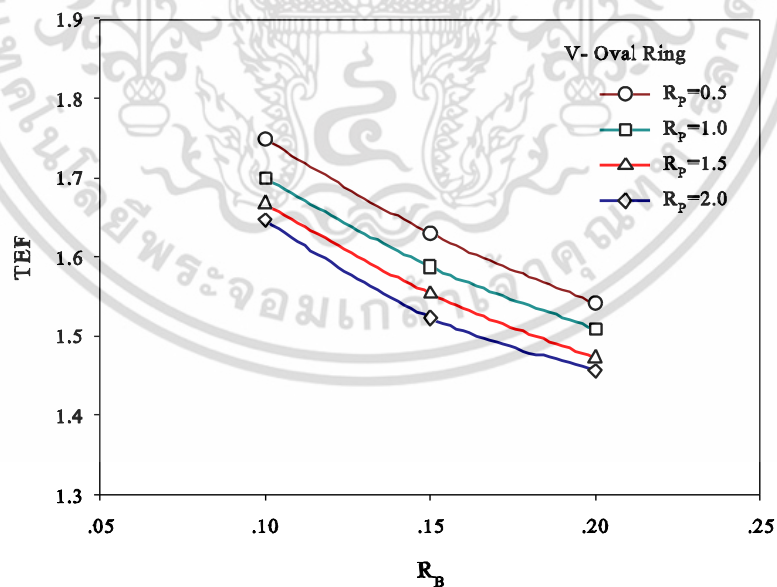
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยทางวิชาการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก และรูปที่ 6.8 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10$, 0.15 และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และยังพบว่า การใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลดีเมื่อค่า R_B และ R_p มีค่าน้อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.8 (ค)

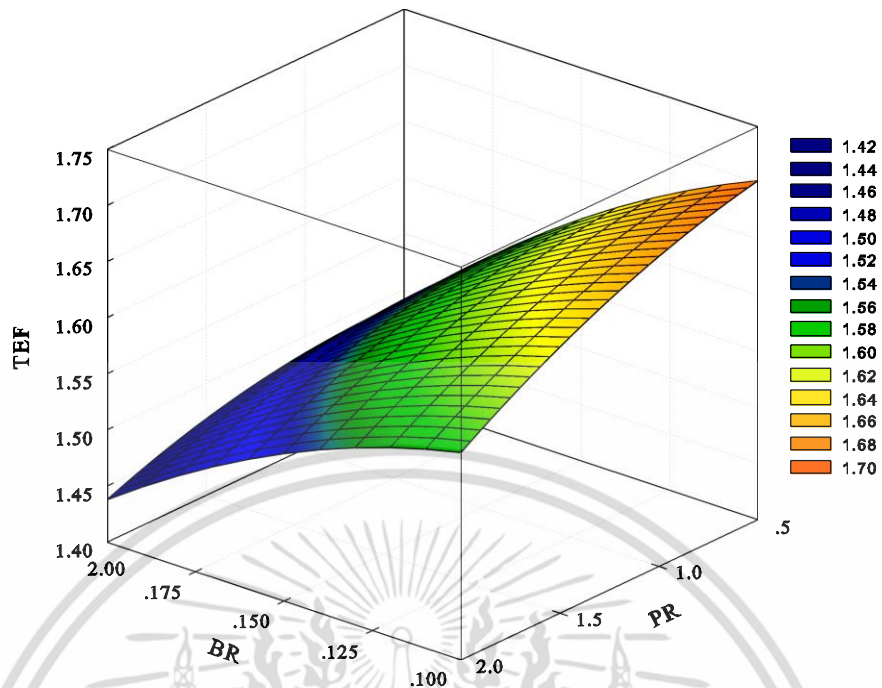


(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

ตารางที่ 6.1 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ส่วนที่ 1 กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_P	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.31-3.58	9.52-12.76	1.42-1.69
	1.0	2.94-3.23	7.17-9.58	1.38-1.65
	1.5	2.69-2.94	5.81-7.79	1.35-1.61
	2.0	2.46-2.68	4.71-6.30	1.32-1.58
0.15	0.5	3.77-4.10	15.23-20.39	1.38-1.65
	1.0	3.36-3.63	11.73-15.69	1.34-1.60
	1.5	3.04-3.29	9.78-13.10	1.29-1.54
	2.0	2.85-2.99	7.97-10.68	1.29-1.50
0.20	0.5	4.16-4.51	29.90-39.81	1.22-1.45
	1.0	3.68-4.00	20.37-27.27	1.22-1.46
	1.5	3.35-3.63	15.98-21.28	1.21-1.44
	2.0	3.05-3.30	12.39-16.48	1.20-1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

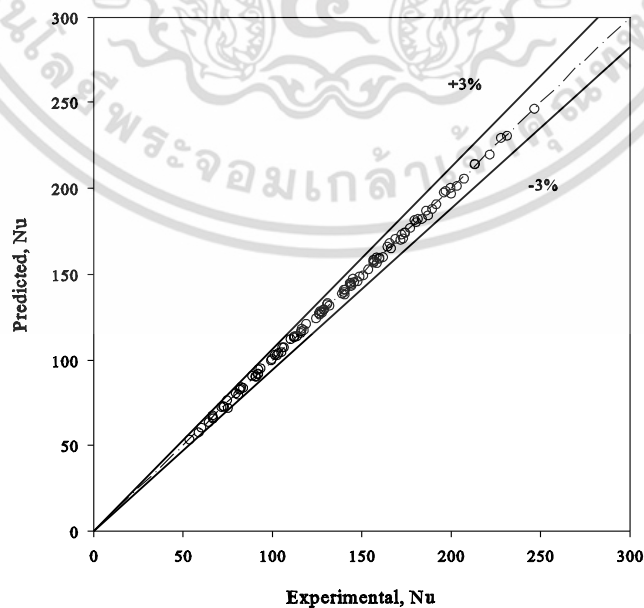
$$Nu = 0.831Re^{0.647}Pr^{0.4}R_B^{0.323}(R_P + 1)^{-0.442} \quad (6.1)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re= 5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

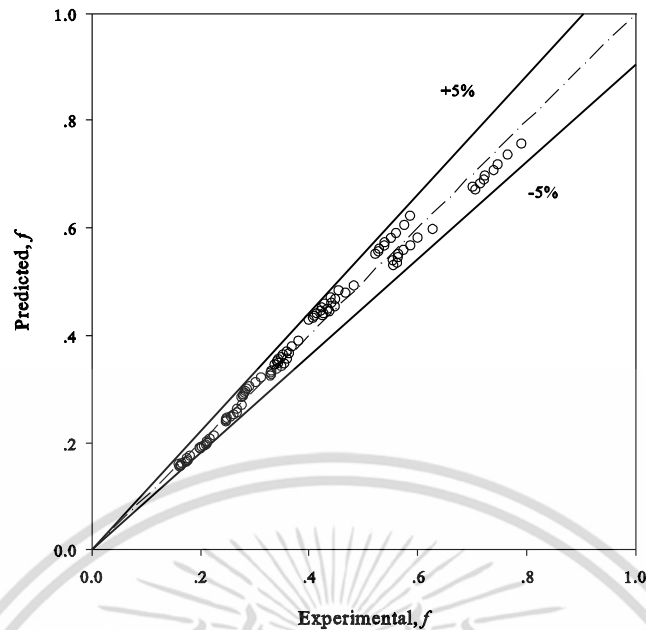
$$f = 33.191Re^{-0.077}R_B^{1.486}(R_P + 1)^{-1.059} \quad (6.2)$$



รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง

กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา

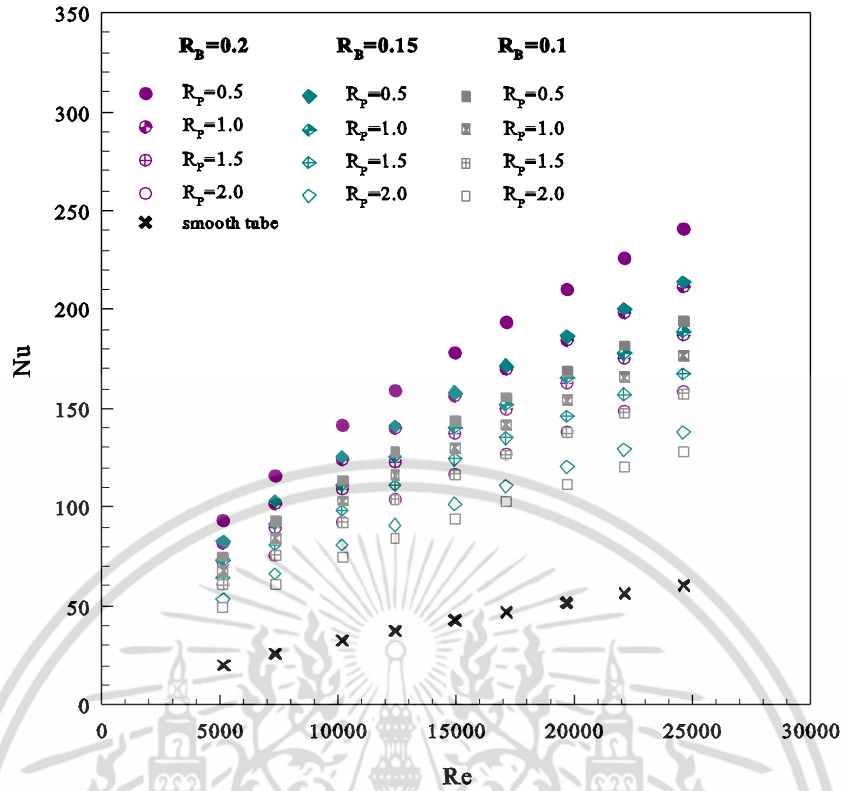
6.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา

6.4.1 การถ่ายเทความร้อน

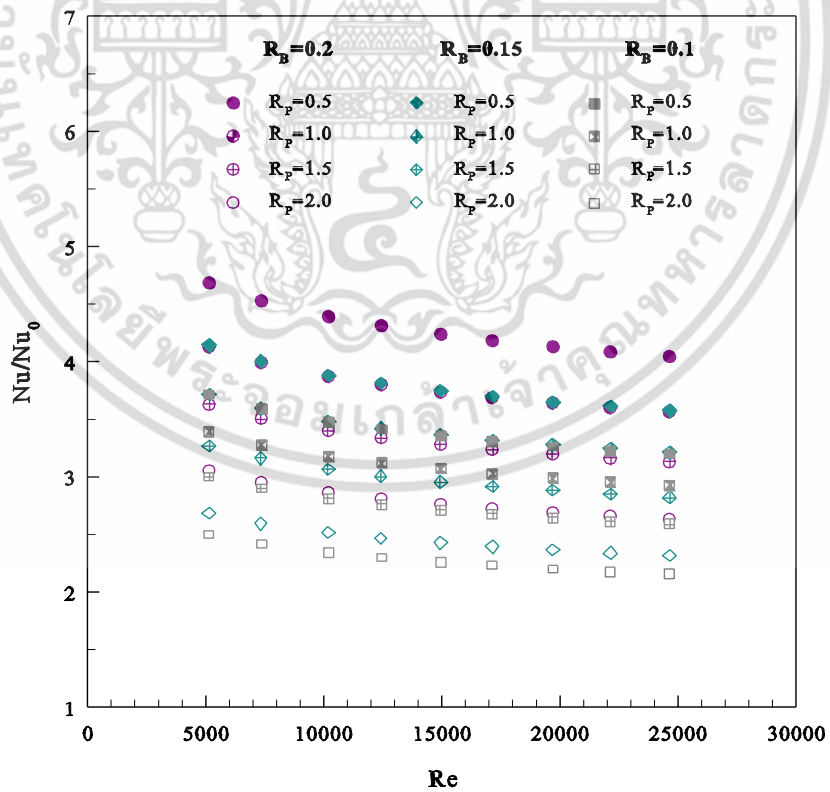
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.11 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 9, 19 และ 33% ตามลำดับ ในกรณีที่ค่า $R_B=0.15$ ที่ $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 10, 21 และ 35% ตามลำดับ และค่า $R_B=0.20$ ที่ $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 12, 23 และ 35% ตามลำดับ

อิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกันทุกกรณีศึกษา และเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_p=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกัน พบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 12 และ 21% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 10 และ 18% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 10 และ 17% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 12 และ 18% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

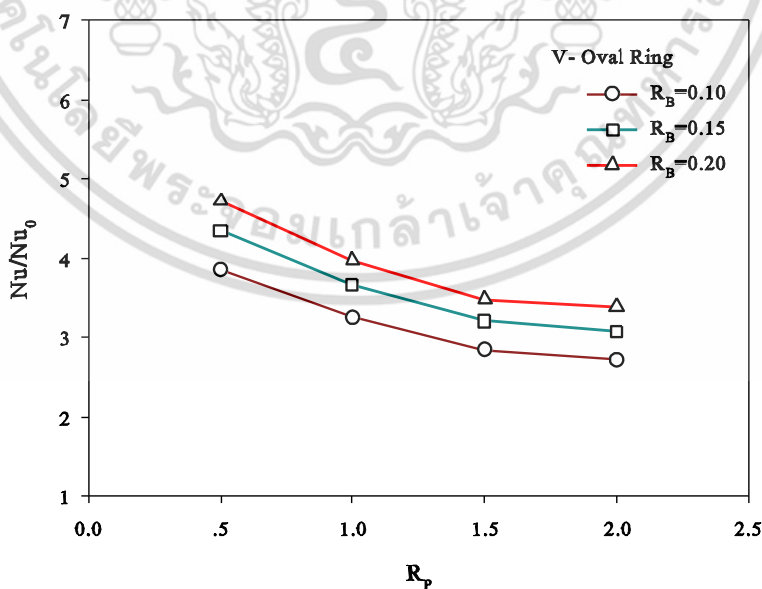


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

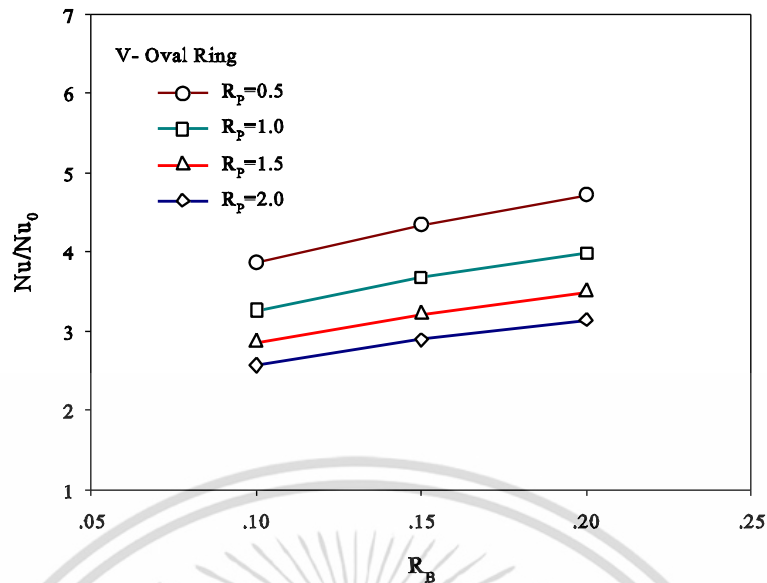
รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการถ่ายความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.11 (ข) พบว่า แนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบ กรณีศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.19-3.71, 2.92-3.39, 2.58-2.99 และ 2.15-2.49 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B = 0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.57-4.14, 3.21-3.71, 2.82-3.26 และ 2.31-2.68 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.04-4.68, 3.56-4.12, 3.12-3.62 และ 2.63-3.05 ตามลำดับ และพบว่าการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบต่ำกว่ากรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา ทุกกรณีศึกษา

รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.12 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่า แนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 6.12 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลอง พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

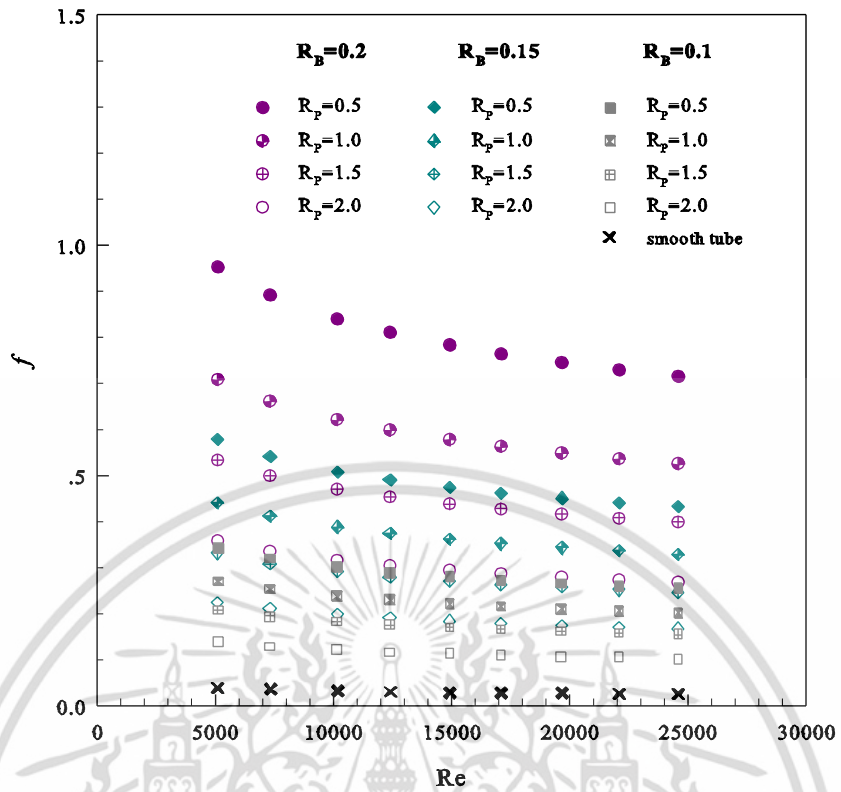
6.4.2 การสูญเสียความดัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.13 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้การค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลง สำหรับทุกกรณีศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 21, 39 และ 60% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 14, 43 และ 61% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B = 0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 26, 44 และ 62% ตามลำดับ

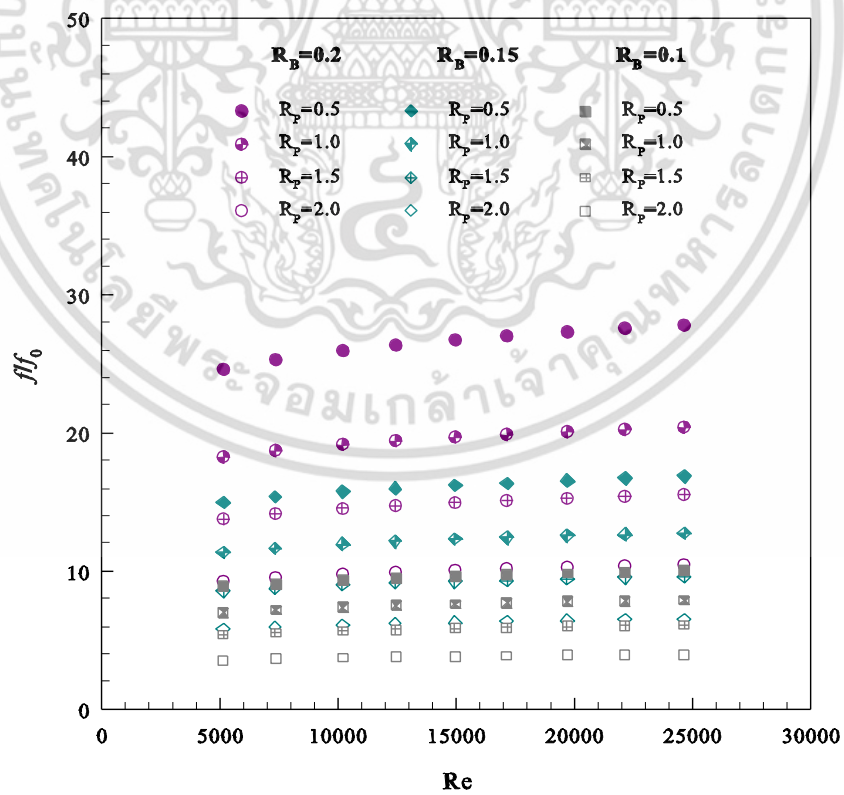
โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ ที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 39 และ 64% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 38 และ 61% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 38 และ 61% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 38 และ 62% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

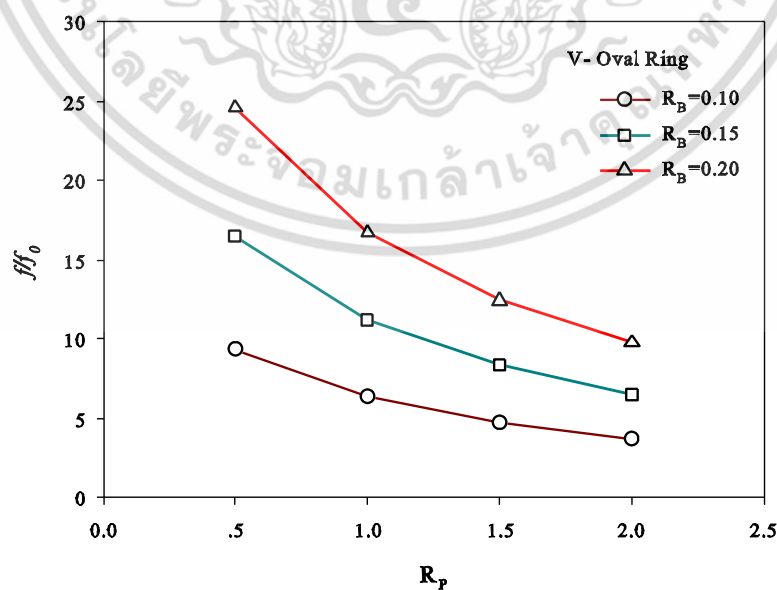


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

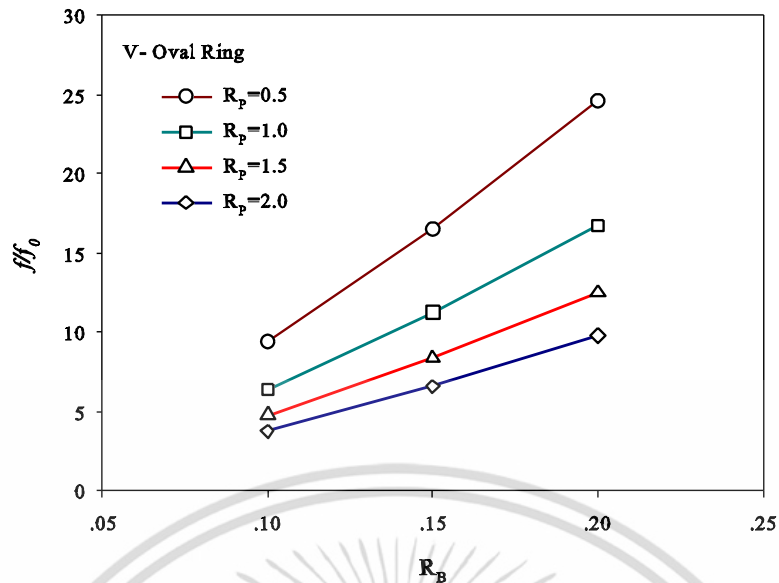
อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.13 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงชัน การใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.86-9.98, 7.00-7.89, 5.38-6.06 และ 3.52-3.57 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 14.93-16.84, 11.34-12.75, 8.52-9.56 และ 5.78-6.50 ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 24.58-27.78, 18.25-20.39, 13.75-15.50 และ 9.24-10.44 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า การใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา สามารถลดค่าตัวประกอบเสียดทานจากกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ทุกกรณีศึกษา

รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.14 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 6.14 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



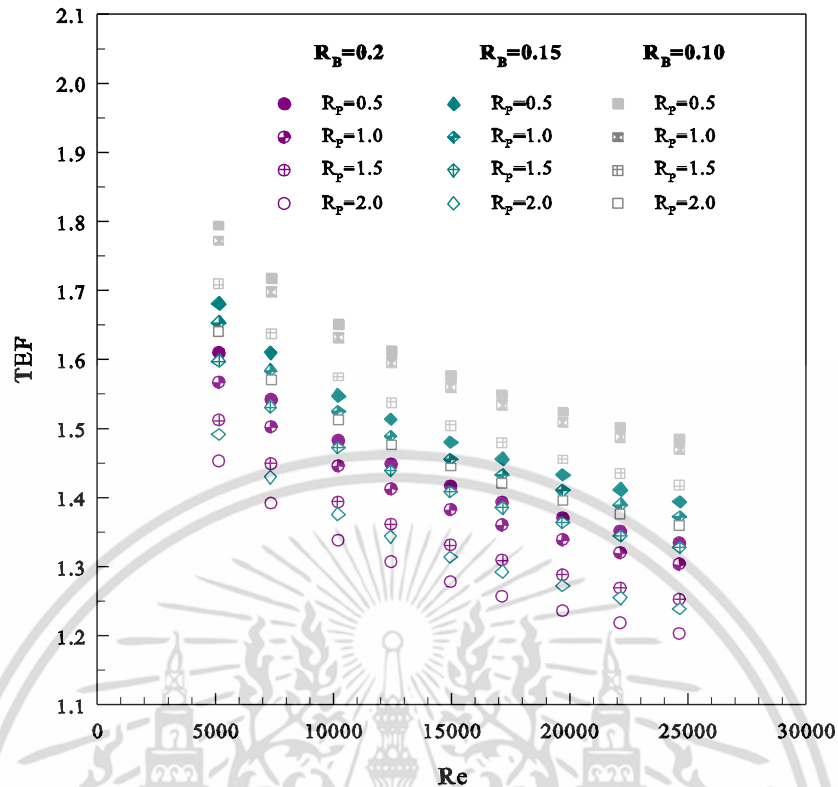
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

6.4.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

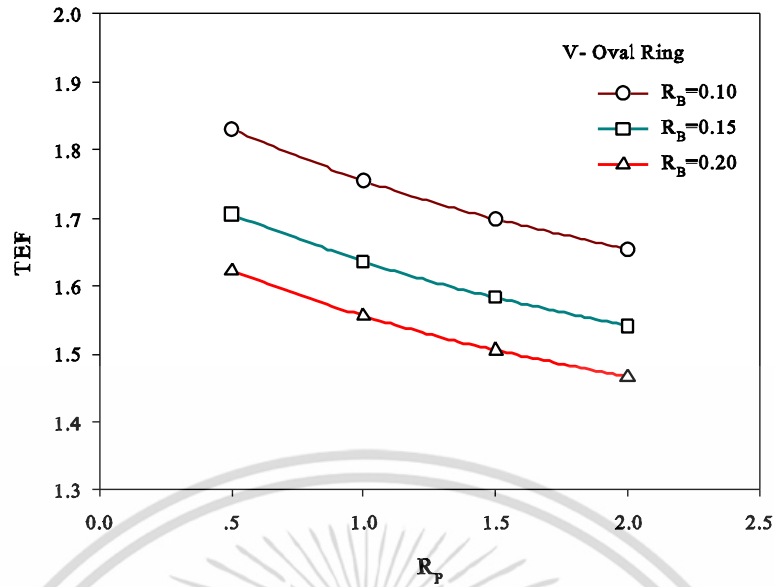
จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 6.15 พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา จากการศึกษาอิทธิพลจากกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_p ต่างๆ ทำให้ทราบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B และ R_p ลดลง จากผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.48-1.79, 1.47-1.77, 1.42-1.71 และ 1.36-1.64 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.39-1.68, 1.37-1.65, 1.33-1.60 และ 1.24-1.49 และค่า $R_B = 0.20$ และ $R_p = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.33-1.61, 1.30-1.57, 1.25-1.51 และ 1.20-1.45 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.79 เกิดขึ้นในกรณีการใช้แหวนวงรีรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000 จากการศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา เปรียบเทียบกับกรณีการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา จะมีค่าน้อยกว่ามุมปะทะการไหล 45 องศา ในขณะที่ค่าของตัวประกอบเสียดทานกลับลดลง ส่งผลให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของ แหวนวงรีรูปตัววี ที่มุมปะทะการไหล 30 องศา มีค่าสูงกว่ากรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ทุกกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

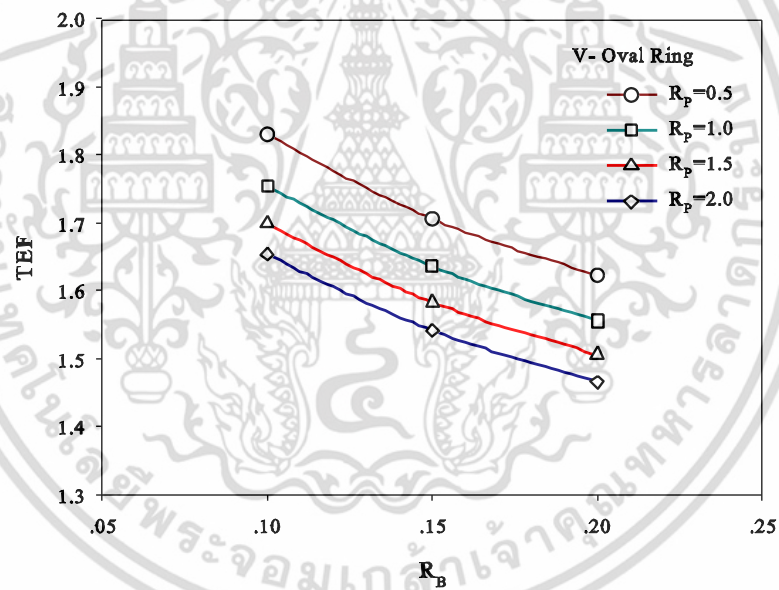


รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.16 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกับกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 6.16 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกับกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ R_p และพบว่าค่า R_B และ R_p น้อยๆ จะทำให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 6.16 (ค)

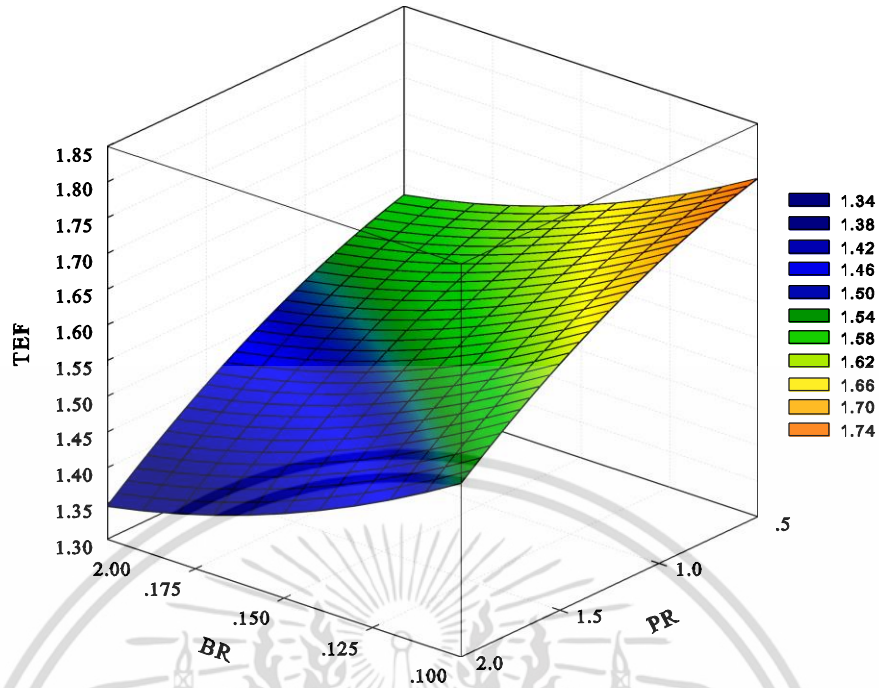


(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

ตารางที่ 6.2 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ส่วนที่ 2 กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30° ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_p	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.19-3.71	8.86-9.98	1.48-1.79
	1.0	2.92-3.39	7.00-7.89	1.47-1.77
	1.5	2.58-2.99	5.38-6.06	1.42-1.71
	2.0	2.15-2.49	3.52-3.57	1.36-1.64
0.15	0.5	3.57-4.14	14.93-16.84	1.39-1.68
	1.0	3.21-3.71	11.34-12.75	1.37-1.65
	1.5	2.82-3.26	8.52-9.56	1.33-1.60
	2.0	2.31-2.68	5.78-6.50	1.24-1.49
0.20	0.5	4.04-4.68	24.58-27.78	1.33-1.61
	1.0	3.56-4.12	18.25-20.39	1.30-1.57
	1.5	3.12-3.62	13.75-15.50	1.25-1.51
	2.0	2.63-3.05	9.24-10.44	1.20-1.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

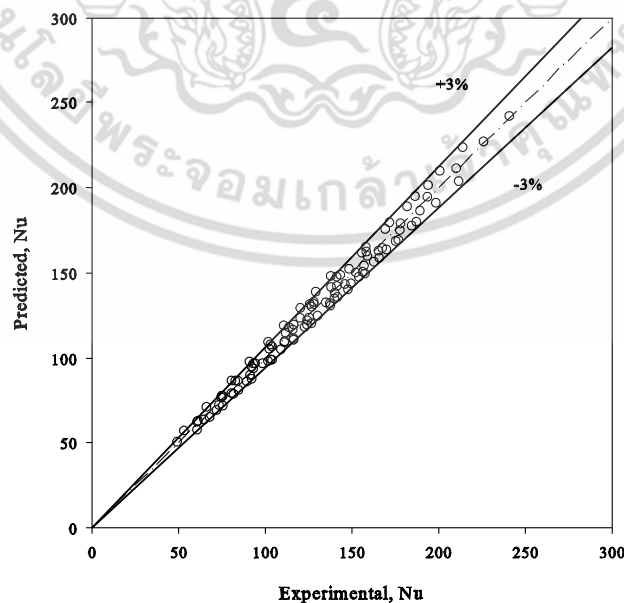
$$Nu = 1.252Re^{0.605}Pr^{0.4}R_B^{0.289}(R_P+1)^{-0.59} \quad (6.3)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.18 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

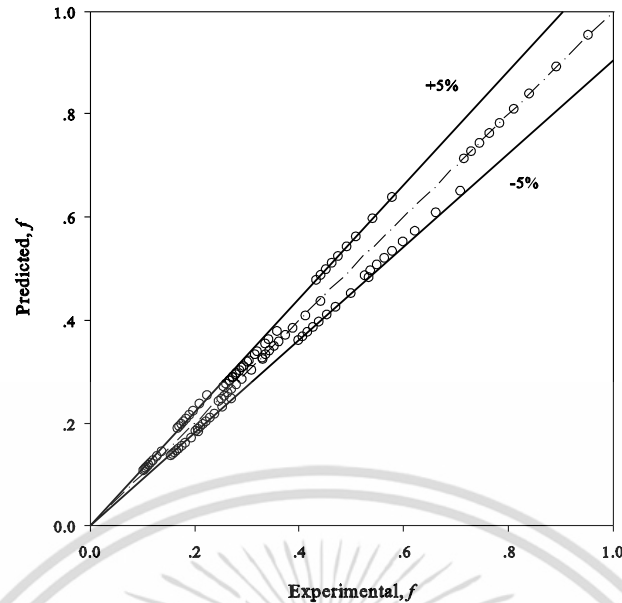
$$f = 74.051Re^{-0.185}R_B^{1.389}(R_P+1)^{-1.332} \quad (6.4)$$



รูปที่ 6.17 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง

กรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



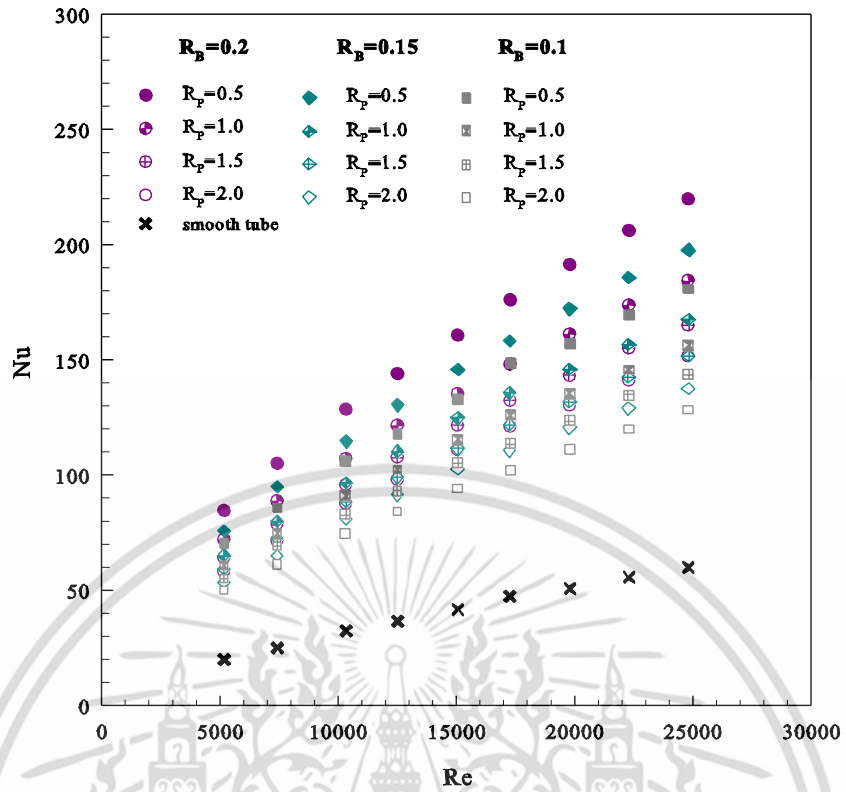
รูปที่ 6.18 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา

6.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา

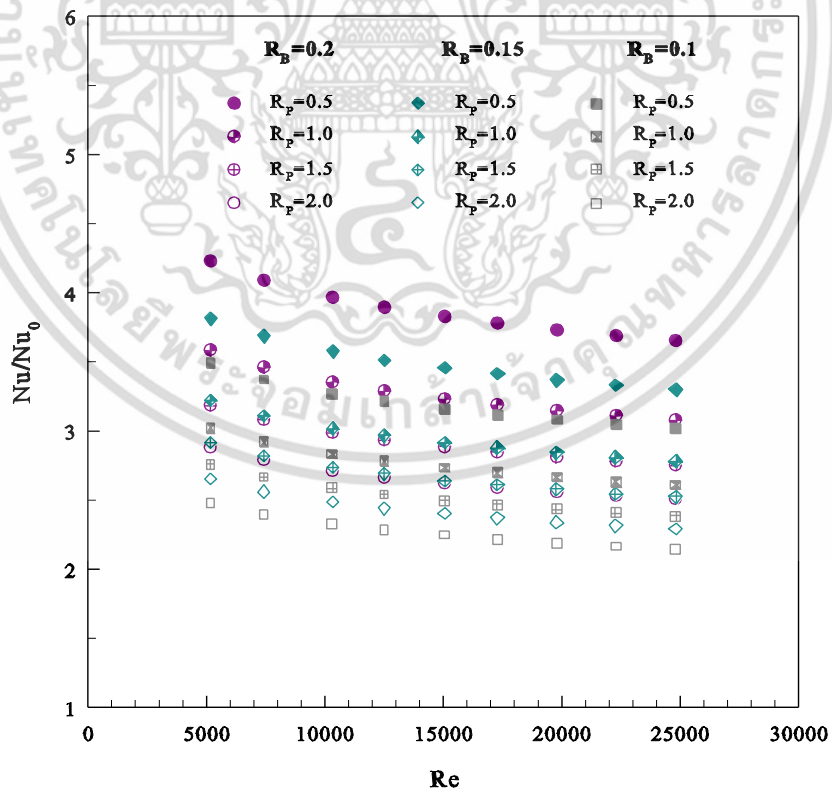
6.5.1 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 6.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.19 (ก) พบว่าค่าเลขนัสเซลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) ดังนั้น สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 14, 21 และ 29% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 23 และ 30% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 16, 25 และ 36% ตามลำดับ

อิทธิพลของค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงจะมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันทุกกรณี และเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_P=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกันจะพบว่าค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 10 และ 17% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 9 และ 15% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 8 และ 13% ตามลำดับ และที่ค่า $R_P=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 8 และ 15% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

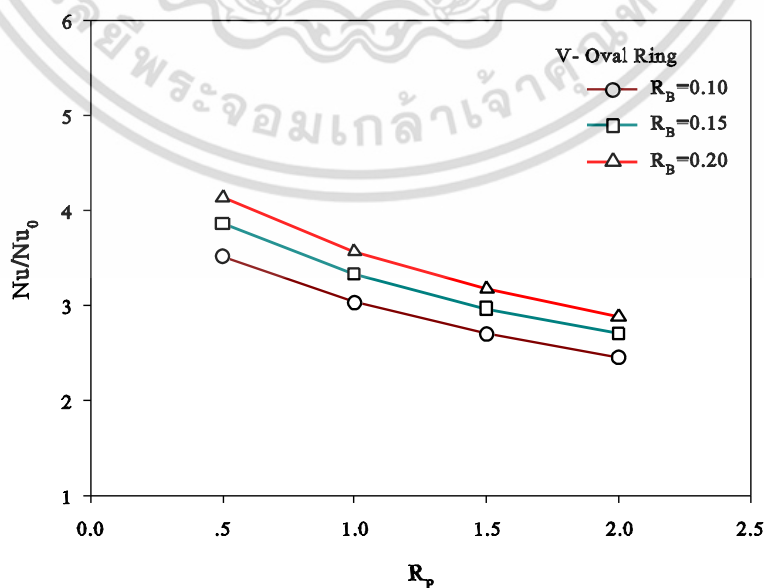


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

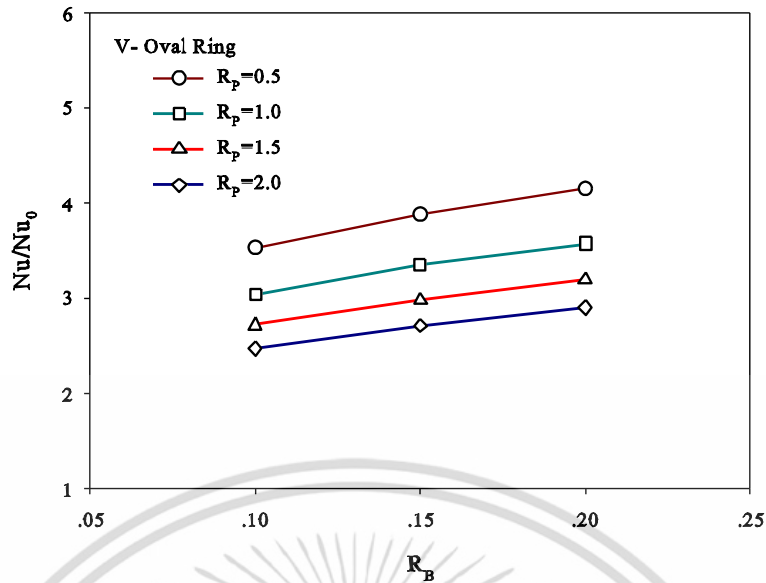
อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์ (Nu/Nu_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.19 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน โดยที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าเลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.01-3.49, 2.61-3.02, 2.38-2.76 และ 2.14-2.48 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าเลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.30-3.81, 2.78-3.22, 2.52-2.91 และ 2.29-2.65 ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าเลขนีสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.65-4.23, 3.08-3.58, 2.75-3.18 และ 2.50-2.88 ตามลำดับ และจากการศึกษาข้างพบว่า การใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบต่ำกว่ากรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา ตามลำดับ

รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.20 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และเมื่อเปรียบเทียบกับแหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 และ 30 องศา พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่างๆ มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามุมปะทะการไหลมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และรูปที่ 6.20 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และมีแนวโน้มในทิศทางตรงข้ามกับอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

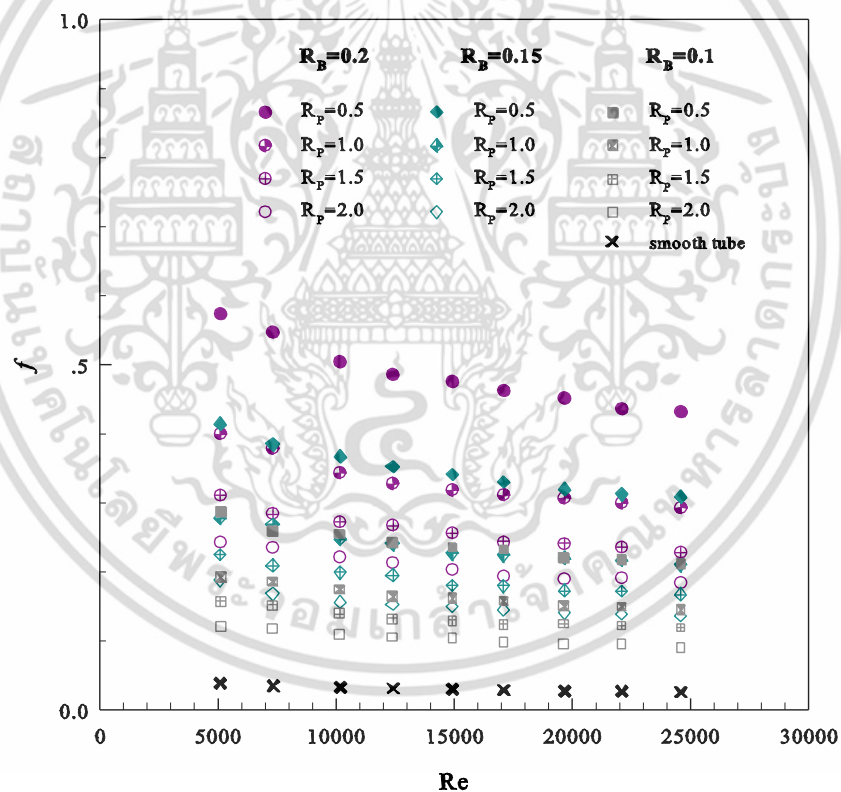
6.5.2 การสูญเสียความดัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในรูปที่ 6.21 (ก) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงสำหรับทุกกรณีศึกษา การใส่แหวนวงรีรูปตัววี ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่า ที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 32, 45 และ 57% ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 32, 46 และ 56% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 32, 47 และ 57% ตามลำดับ

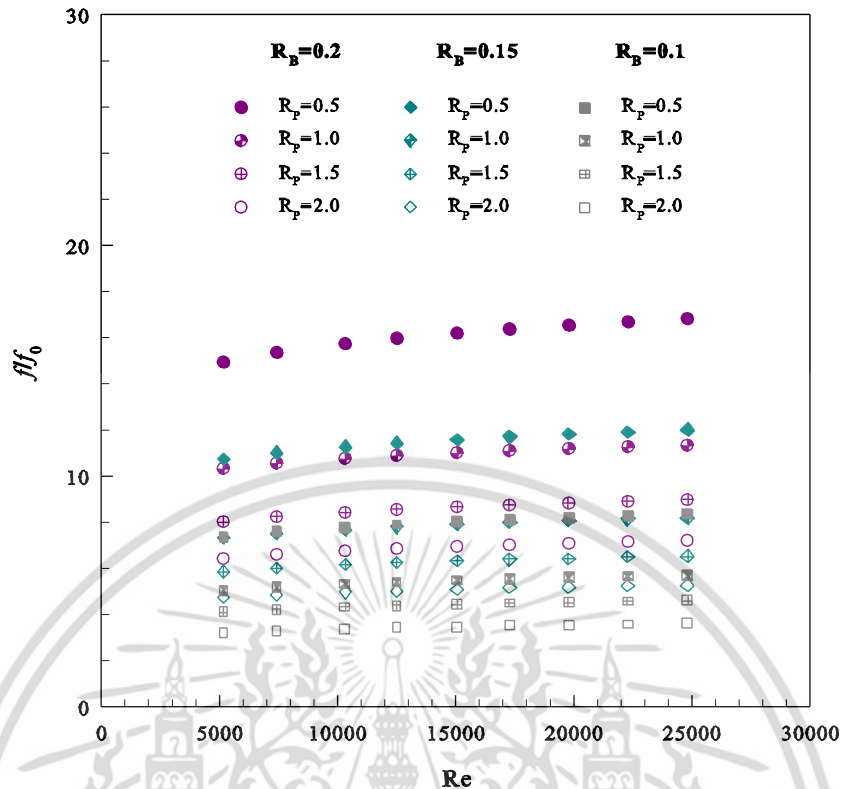
โดยศึกษาอิทธิพลของค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยของค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.20$ มีค่าสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 28 และ 51% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p = 1.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 29 และ 50% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 27 และ 49% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ และ ค่า $R_B=0.2$ ทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 27 และ 50% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 6.21 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะเพิ่มค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.36-8.32, 5.04-5.68, 4.08-4.60 และ 3.19-3.58 ตามลำดับ กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 10.72-12.00, 7.31-8.18, 5.84-6.51 และ 4.72-5.25 ตามลำดับ และกรณีที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 14.92-16.81, 10.32-11.32, 8.00-8.95 และ 6.41-7.18 ตามลำดับ จากการศึกษาข้างพบว่าการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะสามารถลดค่าตัวประกอบเสียดทานจากกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีมุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา ตามลำดับ



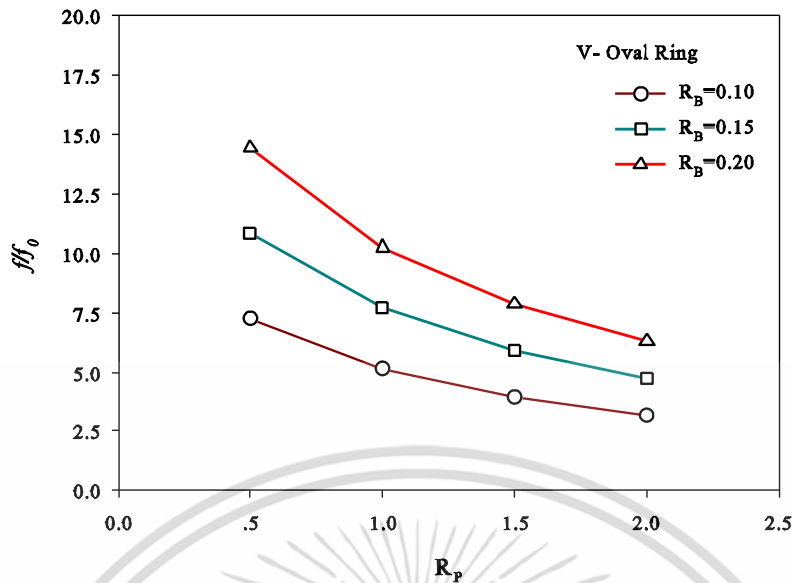
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์



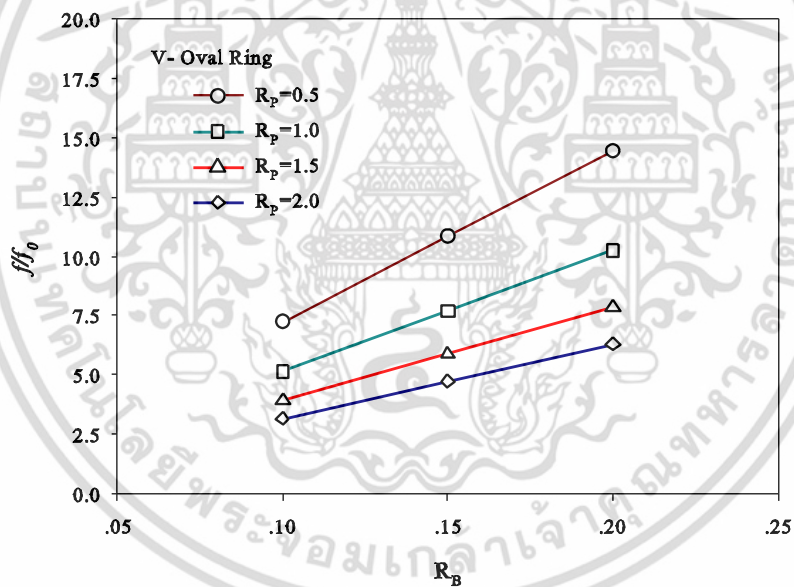
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.22 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกับกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 6.22 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_b=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกับกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



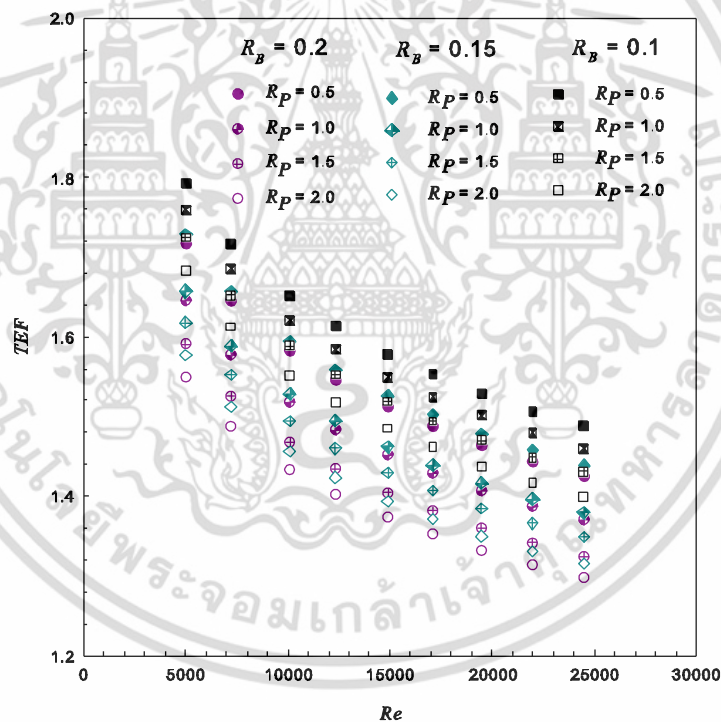
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

6.5.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต์ต่างๆ ทุกกรณีศึกษา แสดงในรูปที่ 6.23 จากการศึกษาอิทธิพลจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_P ต่างๆ ทำให้ทราบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่า R_B และ R_P ลดลง ผลของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.49-1.79, 1.46-1.76, 1.43-1.72 และ 1.40-1.68 กรณีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.44-1.73, 1.38-1.66, 1.35-1.62 และ 1.32-1.58 และค่า $R_B=0.20$ และ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าอยู่ในช่วง 1.43-1.72, 1.37-1.65, 1.32-1.59 และ 1.30-1.55 ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.79 ในกรณีการใช้แหวนวงรีรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=0.5$ เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000 และจากการศึกษาการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา เปรียบเทียบกับกรณีการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมปะทะการไหล 30 และ 45 องศา แต่ค่าของตัวประกอบเสียดทานกลับลดลง ส่งผลให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงกว่ากรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา และมีค่าใกล้เคียงกับกรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ทุกกรณีศึกษา

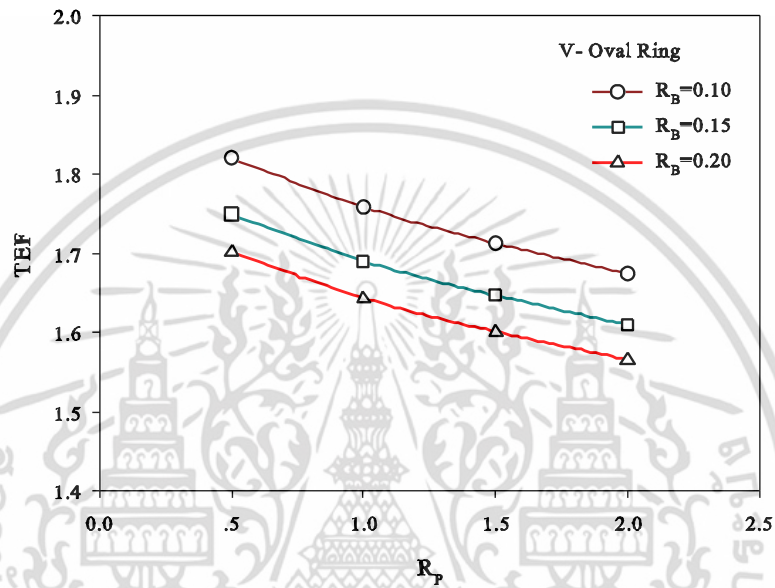


รูปที่ 6.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

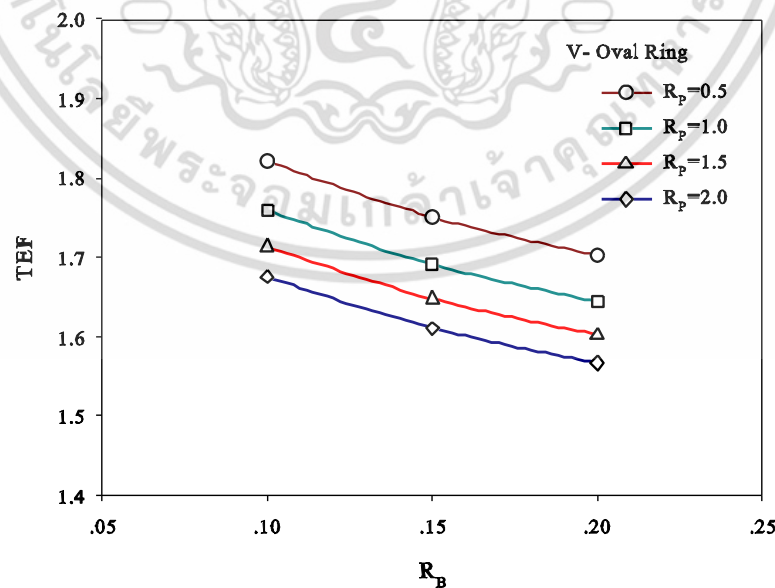
รูปที่ 6.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 6.24 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามแล้วให้บริการแก่เพื่อนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ ค่าการสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลงต่ำสุดทุกกรณีศึกษา เนื่องจากอิทธิพลของตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่อัตราส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 0.5 และ รูปที่ 6.24 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และพบว่าค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากกว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ดังแสดงในรูปที่ 6.24 (ค)

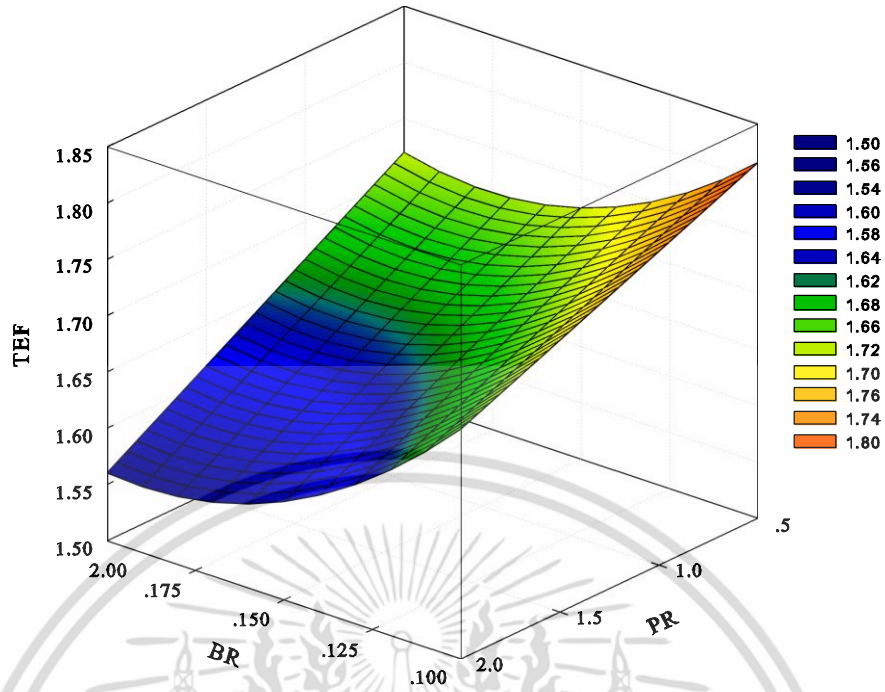


(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 6.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

ตารางที่ 6.3 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ส่วนที่ 3 กรณีสี่เหลี่ยมวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_P	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.01-3.49	7.36-8.32	1.49-1.79
	1.0	2.61-3.02	5.04-5.68	1.46-1.76
	1.5	2.38-2.76	4.08-4.60	1.43-1.72
	2.0	2.14-2.48	3.19-3.58	1.40-1.68
0.15	0.5	3.30-3.81	10.72-12.00	1.44-1.73
	1.0	2.78-3.22	7.31-8.18	1.38-1.66
	1.5	2.52-2.91	5.84-6.51	1.35-1.62
	2.0	2.29-2.65	4.72-5.25	1.32-1.58
0.20	0.5	3.65-4.23	14.92-16.81	1.43-1.72
	1.0	3.08-3.58	10.32-11.32	1.37-1.65
	1.5	2.75-3.18	8.00-8.95	1.32-1.59
	2.0	2.50-2.88	6.41-7.18	1.30-1.55

6.5.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.25 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

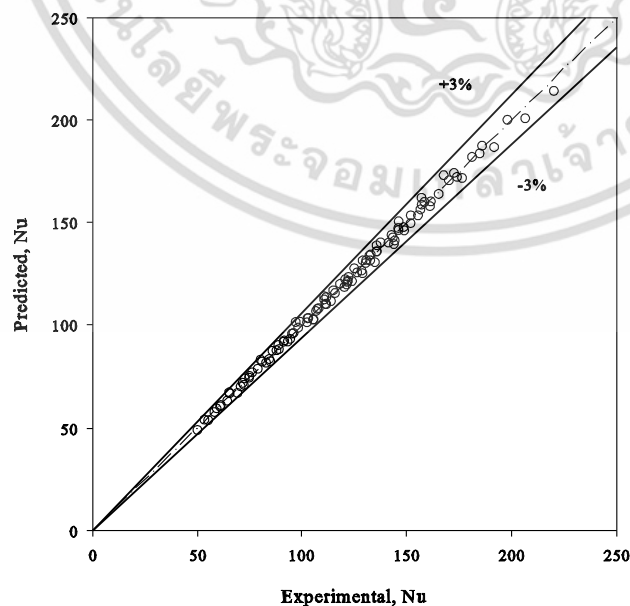
$$Nu = 0.969Re^{0.605}Pr^{0.4}R_B^{0.233}(R_P+1)^{-0.517} \quad (6.5)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 6.26 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$

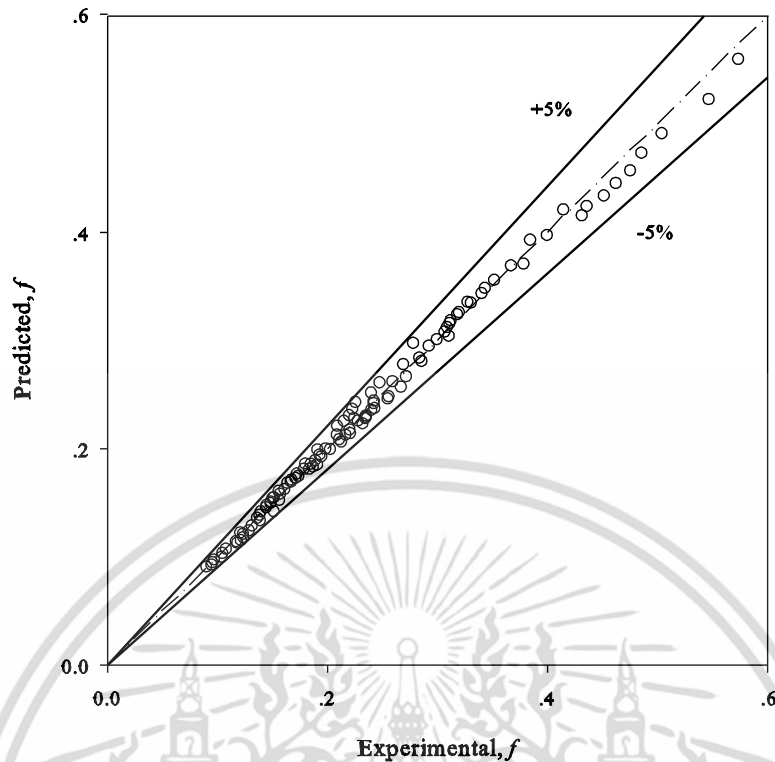
$$f = 22.575Re^{-0.189}R_B^{0.993}(R_P+1)^{-1.193} \quad (6.6)$$



รูปที่ 6.25 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง

กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.26 ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา

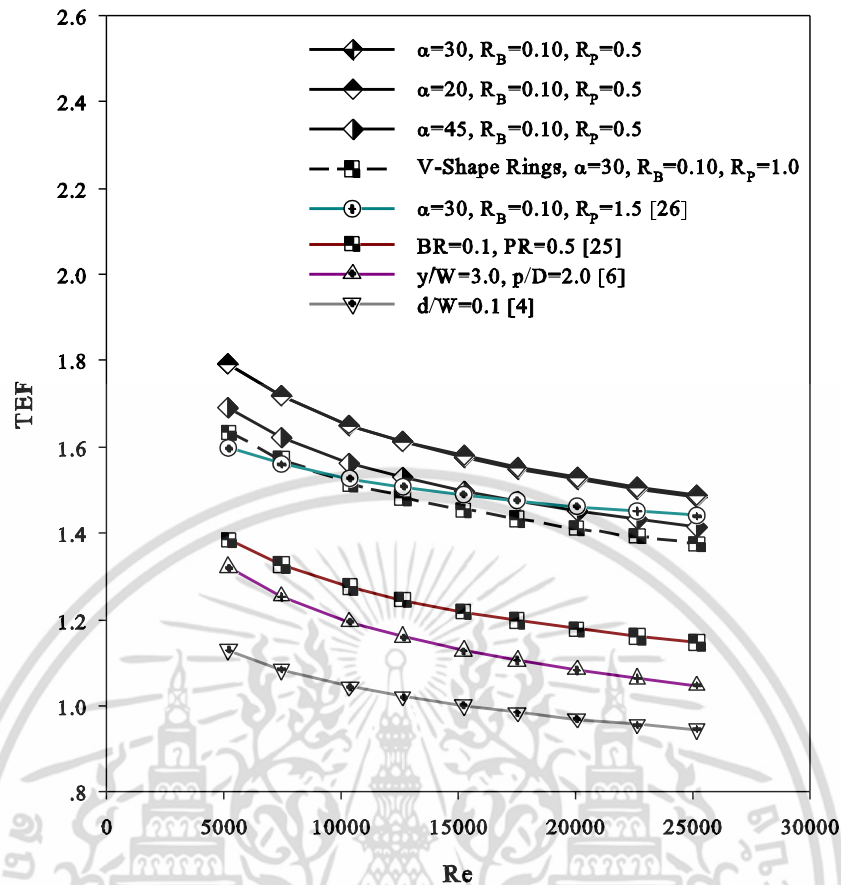
6.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนวงรีรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลลัพธ์ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดที่ได้จากการประยุกต์ใช้ แหวนวงรีรูปตัววีในงานวิจัยฉบับนี้ ถูกนำไปเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 ดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง	กรณีศึกษา	TEF
ส่วนที่ 3: แหวนวงรีรูปตัววี	$\alpha=20$, $R_B=0.1$, $R_p=0.5$	1.49-1.79
ส่วนที่ 2: แหวนวงรีรูปตัววี	$\alpha=30$, $R_B=0.1$, $R_p=0.5$	1.48-1.79
ส่วนที่ 1: แหวนวงรีรูปตัววี	$\alpha=45$, $R_B=0.1$, $R_p=1.0$	1.42-1.69
V-Shaped Rings	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_p=1.0$	1.38-1.63
[26]	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_p=1.5$	0.99-1.41
[25]	$\alpha=30^\circ$, $BR=0.10$, $PR=0.5$	0.98-1.41
[6]	$y/W=3.0$, $p/D=2.0$	1.04-1.40
[4]	$d/W=0.1$	1.03-1.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา

6.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมโดยใช้แหวนวงรีรูปตัววี ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 กรณีศึกษาการใช้แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ส่วนที่ 2 กรณีศึกษาการใช้แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศาและส่วนที่ 3 กรณีศึกษาการใช้แหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่า R_B และ R_P ต่างๆภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ สามารถสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะแปรผันตรงกับความเร็วยของการไหลภายในท่อเนื่องจากความเร็วของการไหลที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนภายในท่อที่รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงถึงปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบของอากาศที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีของไหลทำงานสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น

2. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบทุกกรณี เนื่องจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะช่วยให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex flow) บริเวณด้านข้างของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ของไหลภายในท่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับแหวนรูปตัววีค่าการถ่ายเทความร้อนจะต่ำกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสูงของปีกแหวนวงรีรูปตัววีมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่ค่า R_B มากๆ ช่วยให้เกิดการไหลแบบหมุนวนของของไหลภายในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อนมีความรุนแรงมากตามความสูงของปีกแหวนวงรีรูปตัววี ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น และมุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า $R_B=0.20$ จะสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 450% เทียบกับท่อผนังเรียบ

4. เมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) มีค่าลดลงจะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากค่า R_p ที่ลดลงจะส่งผลต่อพฤติกรรมของการไหลของกระแสไหลวนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากลักษณะการไหลไหลของอากาศผ่านแหวนวงรีรูปตัววีที่มีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

5. การใส่แหวนวงรีรูปตัววีทุกกรณีศึกษาจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีท่อผิวเรียบ เนื่องจากการใส่แหวนวงรีรูปตัววีในท่อจะเข้าไปขวางการไหลภายในท่อ ส่งผลให้ของไหลเดินทางไม่สะดวก ทำให้เกิดแรงเสียดทานและแรงต้านการไหลเพิ่มขึ้นในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน แต่จากการพัฒนาแหวนวงรีรูปตัววี พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเฉลี่ย 50% ทุกกรณีศึกษา

6. ค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความสูงของปีกแหวนวงรีรูปตัววีมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลง เนื่องจากความสูงปีกของ แหวนวงรีรูปตัววี ที่มากขึ้นจะไปขวางการไหลภายในท่อและค่าอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลงทำให้มีจำนวนแหวนวงรีรูปตัววีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงต้านมากขึ้น

7. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบและมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้นตามมา แม้ว่าการใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นก็ตาม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น พบว่าการใส่แหวนวงรีรูปตัววีจะช่วยลดการใช้พลังงานความร้อนเมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากผลของตัวประกอบเสียดทาน โดยผลของการใส่แหวนวงรีรูปตัววีที่ดีที่สุดจะเกิดที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) เท่ากับ 1.79 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาการใส่แหวนรูปตัววีที่ดีที่สุด จะให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) เท่ากับ 1.63 แสดงว่าการพัฒนาแหวนวงรีรูปตัววีสามารถช่วยเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้น

บทที่ 7

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ แหวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings)

7.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาด้านการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แหวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings) ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้พัฒนาจากแหวนวงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings) และแหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณปีกและเพิ่มกระแสการไหลแบบวอร์เทคให้มีความเข้มข้นบริเวณตัววีของแหวนรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากการทดสอบตัวสร้างความปั่นป่วนพบว่าบริเวณที่ช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะเกิดบริเวณด้านข้างของแหวนรูปตัววี โดยบริเวณดังกล่าวจะช่วยสร้างการไหลแบบหมุนวน (Vortex) ที่รุนแรง ซึ่งลักษณะของแหวนแคปซูลรูปตัววีจะออกแบบให้บริเวณด้านข้างมีลักษณะเป็นเส้นตรง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระแสหมุนวน ดังรูปที่ 7.1 สำหรับบทนี้ได้แบ่งเงื่อนไขการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน



รูปที่ 7.1 ลักษณะเชิงกายภาพของตัวสร้างการปั่นป่วนแบบแหวนแคปซูลรูปตัววี

ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของแหวนแคปซูลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ และที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของแหวนแคปซูลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ และที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

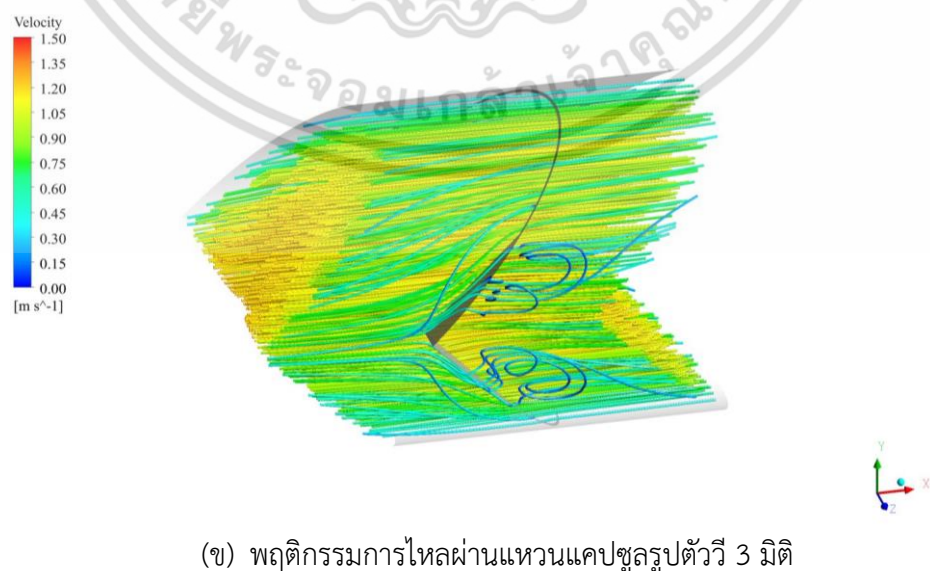
ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของแหวนแคปซูลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ และที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการศึกษาวิจัยจะทำการวิเคราะห์อิทธิพลของแหวนแคปซูลต่อการถ่ายเทความร้อนใน พจน์ของเลขนัยสเกลต์และการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน จากนั้นจะ เปรียบเทียบผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันกับท่อผนังเรียบ และแสดงค่าการ เพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาในแต่ละส่วน ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

7.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 7.2 แสดงพฤติกรรมการไหลผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววีในรูปแบบการไหล 2 และ 3 มิติ จะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลของอากาศผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววีจะมีลักษณะเป็นวงแหวนวอร์เทค 4 วง ดังแสดงในรูปที่ 7.2 (ก) การไหลลักษณะนี้เรียกว่าการไหลหมุนวนหรือการไหลแบบวอร์เทค ซึ่งการไหลในลักษณะนี้ทำส่งผลให้ความดันแตกต่างกันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยบริเวณ ผิวท่อระหว่างวงวอร์เทคจะมีความดันที่ต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการดูดกระแสการไหลจาก บริเวณอื่นๆ มากระแทกกับผิวท่อบริเวณที่เกิดวงแหวนวอร์เทค ทำให้บริเวณดังกล่าวมีค่าการถ่ายเท ความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 7.2 (ข)

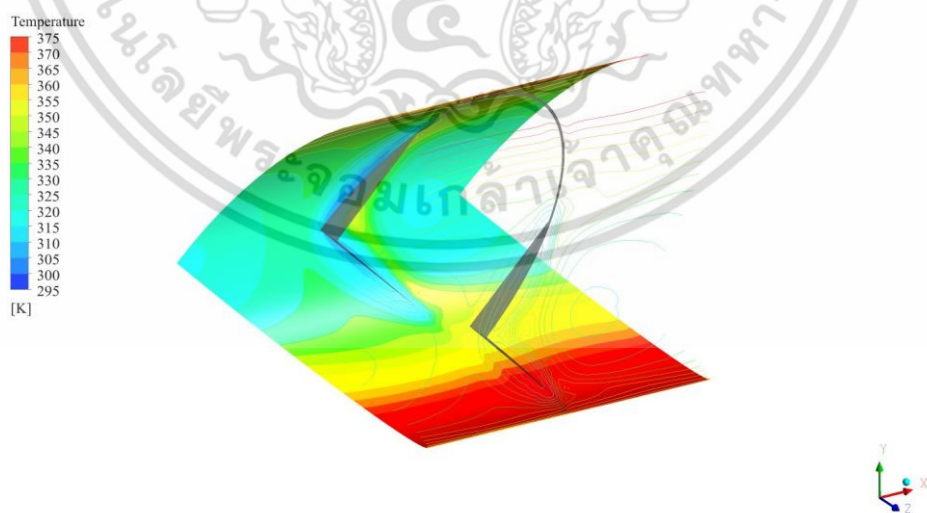


เอกสารรูปที่ 7.2 การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.3 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อน ที่นำเสนอในรูปแบบการไหล 2 และ 3 มิติ พบว่ากรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววี ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนลักษณะการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของแหวน แคปซูลอย่างชัดเจน แสดงในรูปที่ 7.3 (ข) และบริเวณด้านบนและด้านล่างของแหวนการแลกเปลี่ยน ความร้อนจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งตรงกับข้อสมมุติฐานว่าลักษณะการไหลแบบหมุนวนจะช่วยเพิ่มการ ถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น และจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนที่มีลักษณะเป็นตัววีของแหวน ส่วนบริเวณ ด้านบนและด้านล่างจะเป็นส่วนที่ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะ ไปขวางการไหลของอากาศได้มาก ซึ่งลักษณะการออกแบบแหวนแคปซูลได้อาศัยข้อสมมุติฐานและ การจำลองพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ให้สูงขึ้น



(ก) พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววี 2 มิติ



(ข) พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านแหวนแคปซูลรูปตัววี 3 มิติ

รูปที่ 7.3 การจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่มีแหวนแคปซูลรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยน

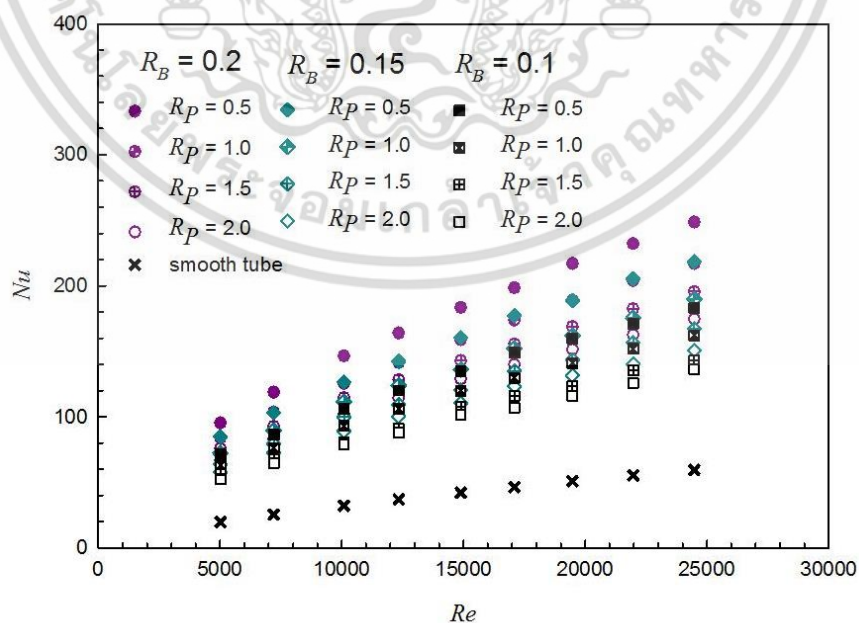
เอกสารนี้เป็นเอกสารความรู้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ส่วนที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 45 องศา

7.3.1 การถ่ายเทความร้อน

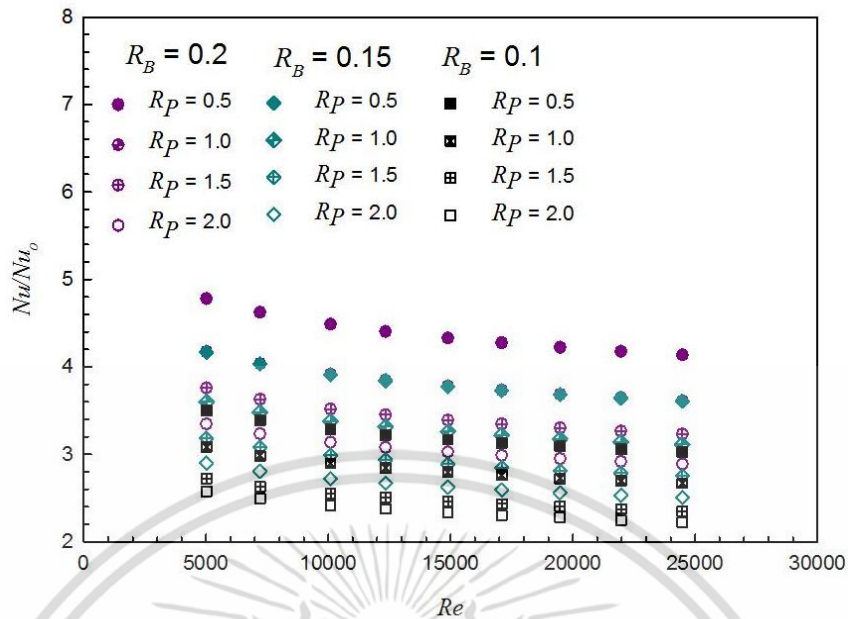
รูปที่ 7.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าค่าเลขนัสเซลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45° ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) จากการทดลองกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 3.2 และมีค่าสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 12, 22 และ 26% ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 3.8 และสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 14, 24 และ 31% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 4.38 และสูงกว่าค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 13, 22 และ 30% ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้นำเสนอจะเห็นได้ว่าการใส่แหวนแคปซูลตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B ต่างๆ สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นจากกรณีไม่มีแหวนแคปซูลรูปตัววี

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_P=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกัน พบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 12 และ 26% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 13 และ 25% ตามลำดับ ที่ค่า $R_P=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 14 และ 27% ตามลำดับ และที่ค่า $R_P=2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.1 ประมาณ 13 และ 23% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

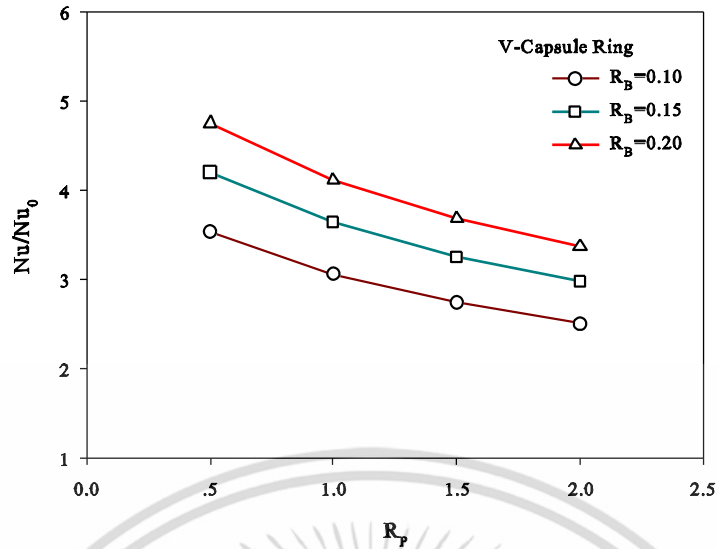
รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกรณีแหวนแคปซูลรูปวงรีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์ แสดงในรูปที่ 7.4 (ข) พบว่า แนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน จากการทดลองค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะแปรเปลี่ยนตามค่า R_B และ R_p และยังพบว่าที่ค่า $R_B=0.2$ และค่า $R_p=0.5$ จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 4.78 ที่เลขเรย์โนลด์ 5000 และเมื่อทำการศึกษาทุกเงื่อนไข การศึกษาทุกกรณีจะได้ผลดังนี้ ที่ค่า $R_B=0.10$ และค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 3.03-3.5, 2.67-3.09, 2.35-2.73 และ 2.23-2.58 ตามลำดับ ที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.61-4.17, 3.11-3.60, 2.76-3.19 และ 2.51-2.90 ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.14-4.78, 3.61-4.17, 3.23-3.76 และ 2.89-3.35 ตามลำดับ

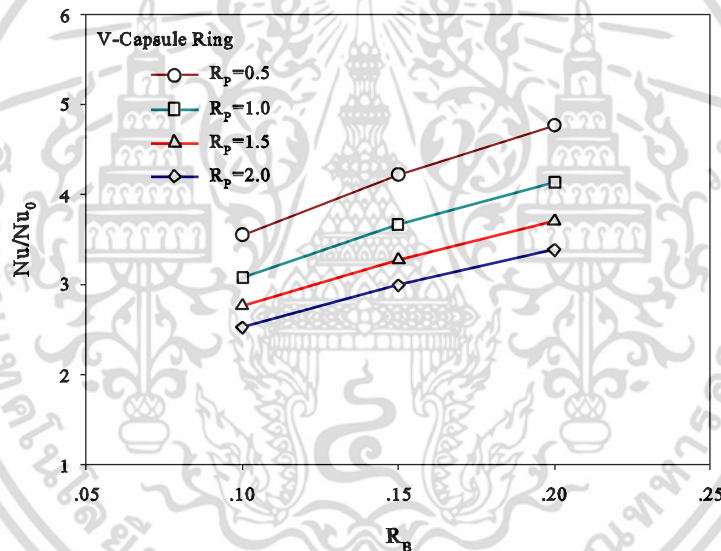
รูปที่ 7.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.5 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 7.5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่า

อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์นั้น ไม่นอญูดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

7.3.2 การสูญเสียความดัน

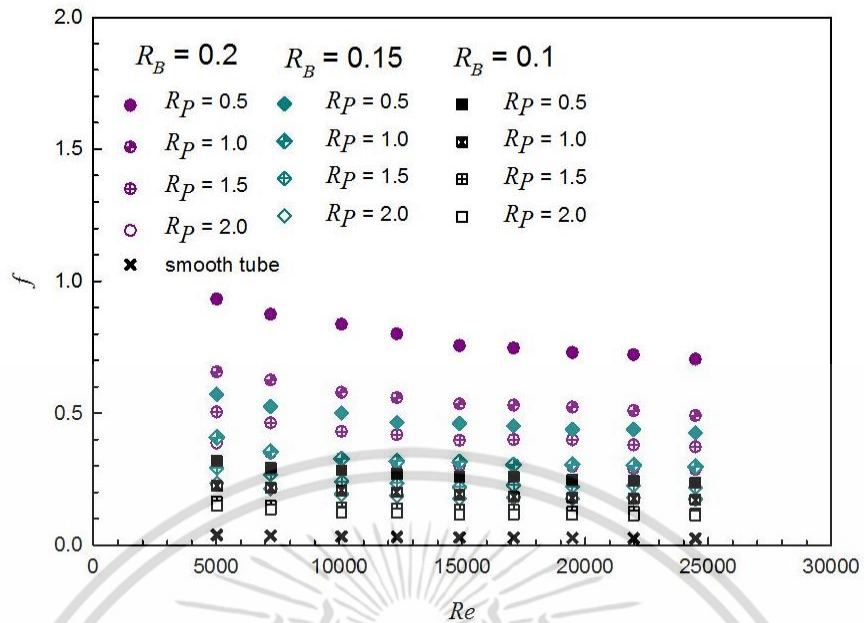
รูปที่ 7.6 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงทุกกรณีศึกษา สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ ในท่อแลกเปลี่ยนความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

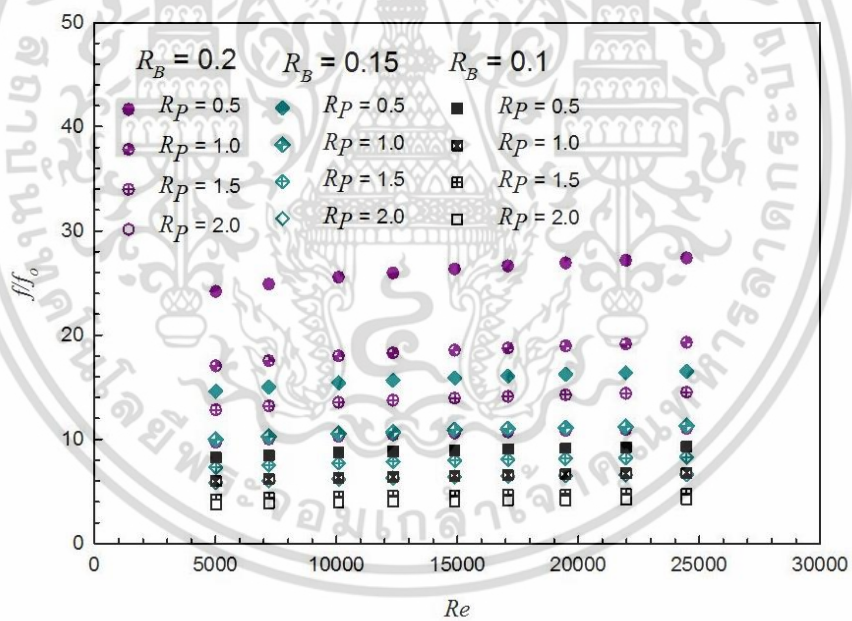
ร้อน พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 27, 48 และ 55% ตามลำดับ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 32, 50 และ 60% ตามลำดับ และกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 30, 47 และ 60% ตามลำดับ

โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ ที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าที่ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ทุกกรณีศึกษาได้ผลดังนี้ กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 40 และ 66% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.0$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 42 และ 65% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 43 และ 67% ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_p=0.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 40 และ 62% ตามลำดับ

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 7.6 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนแคปซูลจะส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 8.23-9.33, 5.98-6.79, 4.25-4.82 และ 3.73-4.22 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 14.6-16.52, 9.98-11.31, 7.32-8.29 และ 5.85-6.63 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 24.18-27.40, 17.04-19.30, 12.83-14.52 และ 9.72-11.02 ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์



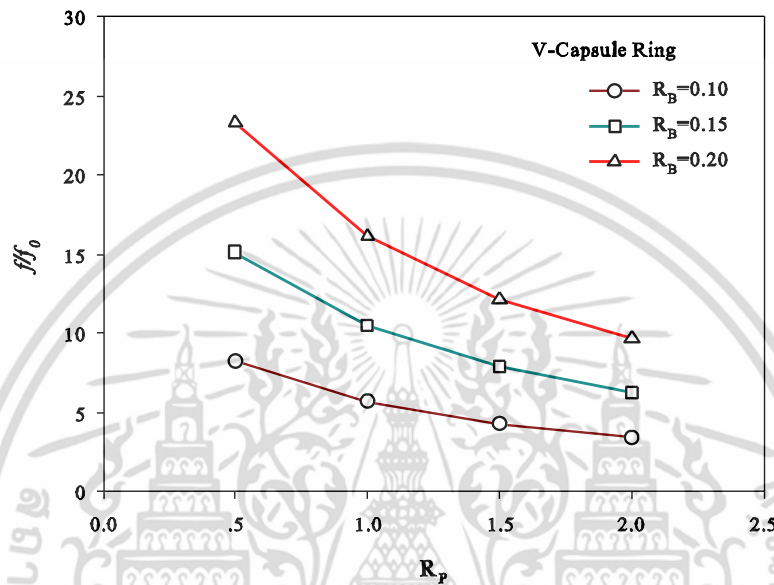
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

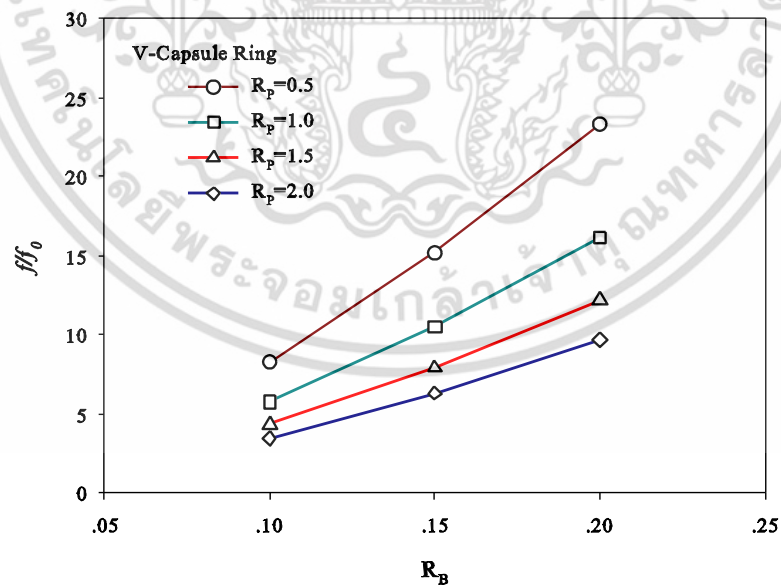
รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นแก่ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล โดยที่ค่า $R_p=0.5$ จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นสูงมาก ทำให้ทราบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ระบบรับภาระมาก เมื่อกับค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 และรูปที่ 7.7 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



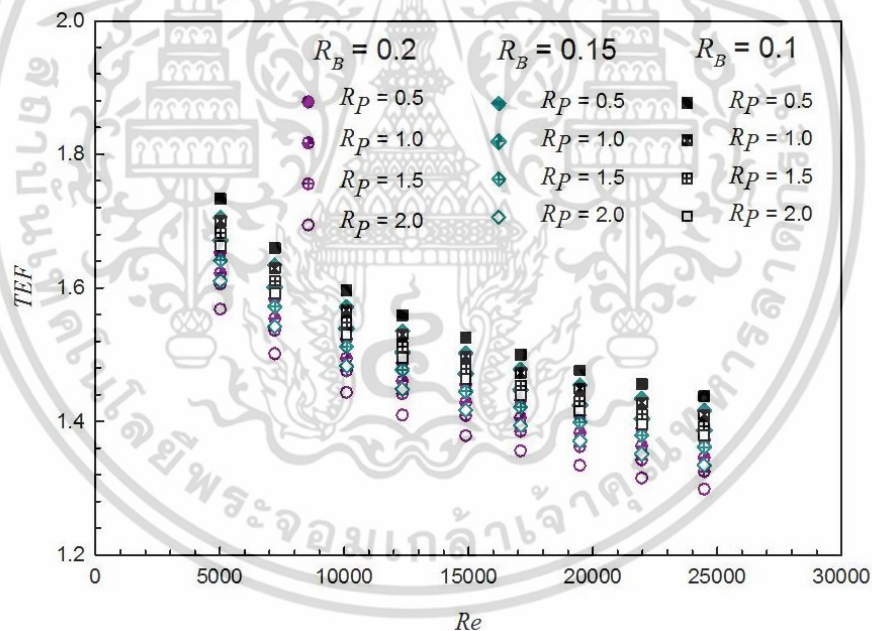
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

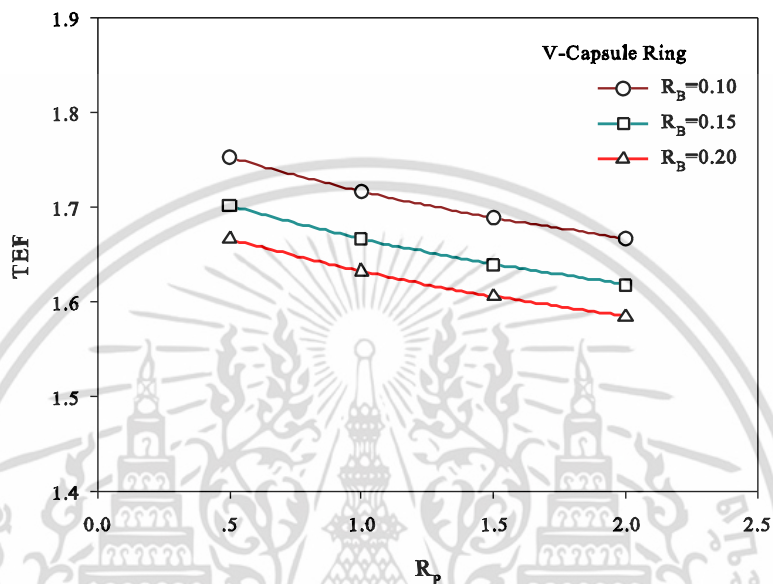
รูปที่ 7.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา และจากอิทธิพลของแหวนแคปซูลรูปตัววีที่ใส่ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_P ต่างๆ จะช่วยเพิ่มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นกว่าที่ผิวเรียบทุกกรณี ซึ่งผลของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 จะส่งผลให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในช่วง 1.44-1.73, 1.41-1.70, 1.39-1.68 และ 1.38-1.66 สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.42-1.71, 1.39-1.67, 1.36-1.64 และ 1.33-1.61 และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.37-1.65, 1.35-1.62, 1.32-1.61 และ 1.30-1.57 ระหว่างค่าเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.73 เกิดขึ้นในกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=0.5$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000



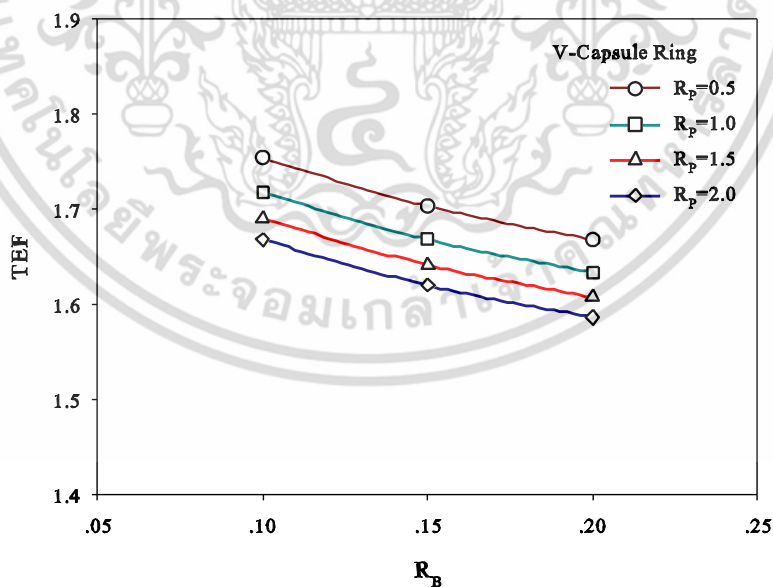
รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 45 องศา

รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_P=1.0, 1.5$ และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 7.9 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10$, 0.15 และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และพบว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและระยะพิตต์ที่ลดลงจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 7.9 (ค)

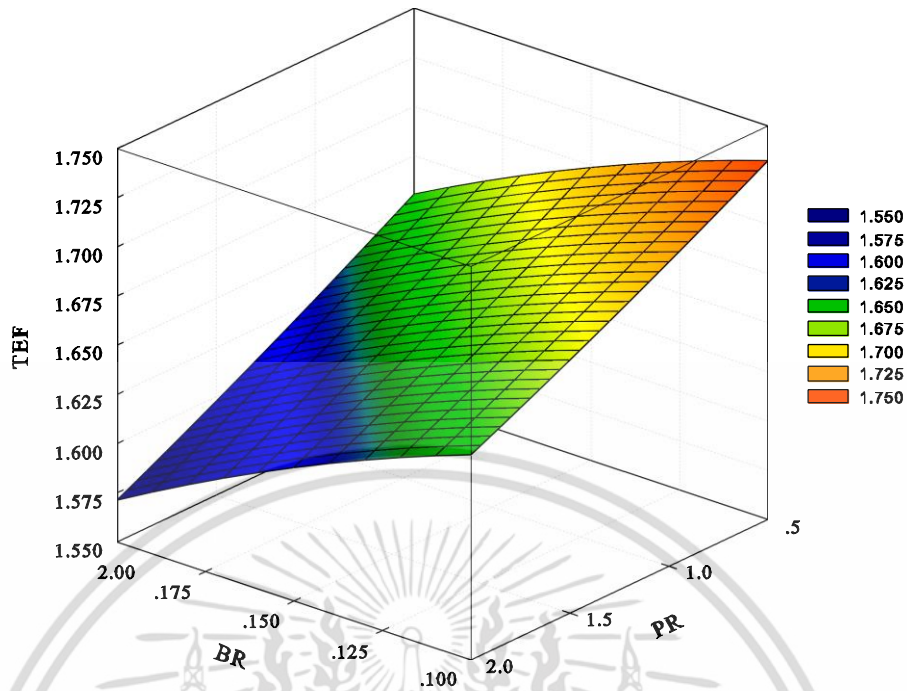


(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ง) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

ตารางที่ 7.1 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ส่วนที่ 1 กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_p	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	3.03-3.53	8.23-9.33	1.44-1.73
	1.0	2.67-3.09	5.98-6.79	1.41-1.70
	1.5	2.35-2.73	4.25-4.82	1.39-1.68
	2.0	2.23-2.58	3.73-4.22	1.38-1.66
0.15	0.5	3.61-4.17	14.6-16.52	1.42-1.71
	1.0	3.11-3.60	9.98-11.31	1.39-1.67
	1.5	2.76-3.19	7.32-8.29	1.36-1.64
	2.0	2.51-2.90	5.85-6.63	1.33-1.61
0.20	0.5	4.14-4.78	24.18-27.40	1.37-1.65
	1.0	3.61-4.17	17.04-19.30	1.35-1.62
	1.5	3.23-3.76	12.83-14.52	1.32-1.61
	2.0	2.89-3.35	9.72-11.02	1.30-1.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลล์ท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 7.10 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลล์ท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

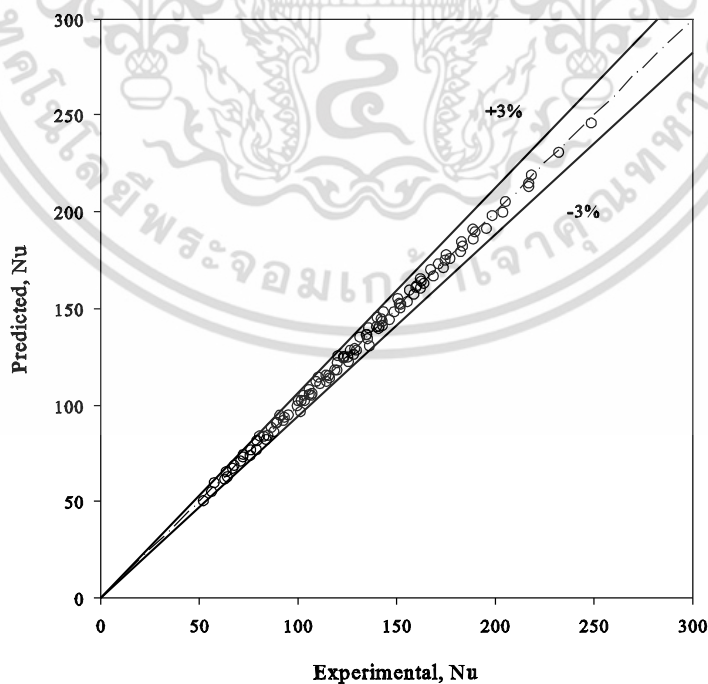
$$Nu = 1.504Re^{0.606} Pr^{0.4} R_B^{0.426} (R_P + 1)^{-0.496} \quad (7.1)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_P$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 7.11 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_P) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$

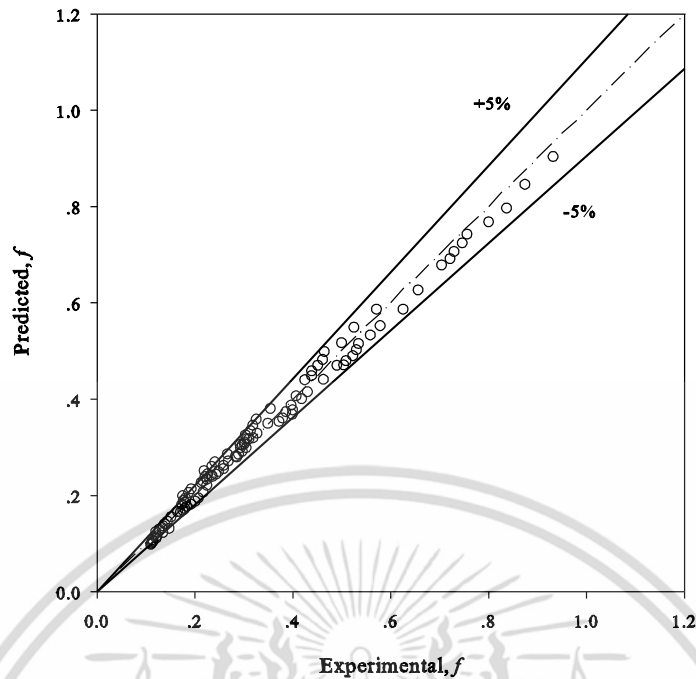
$$f = 79.286Re^{-0.182} R_B^{1.495} (R_P + 1)^{-1.272} \quad (7.2)$$



รูปที่ 7.10 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซลล์ท์จากการทดลอง

กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะ 45 องศา

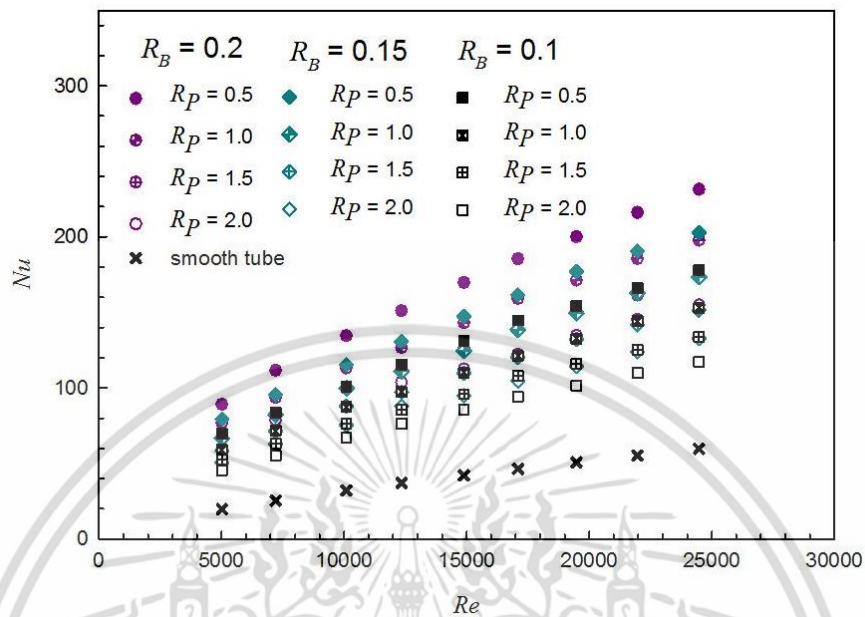
7.4 ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 30 องศา

7.4.1 การถ่ายเทความร้อน

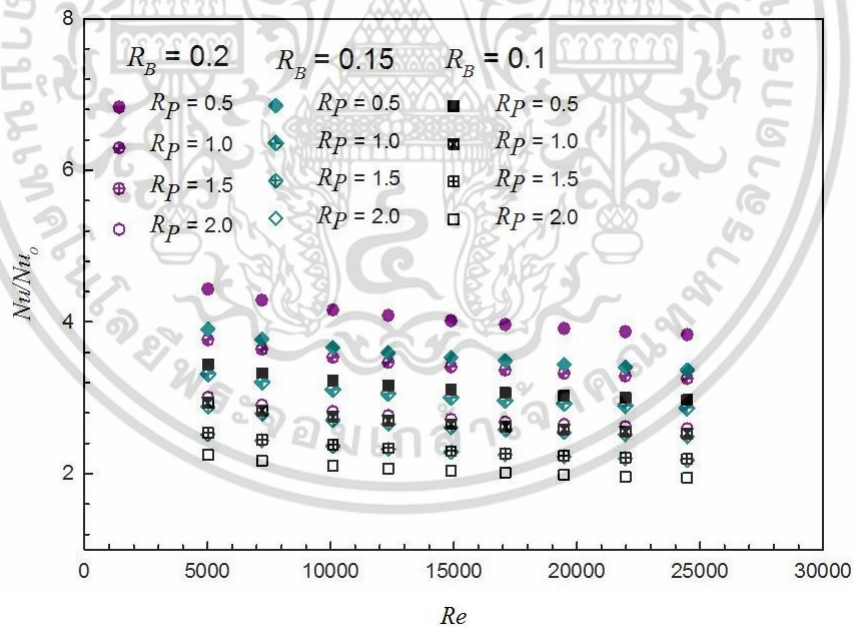
รูปที่ 7.12 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเชิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าค่าเลขนัสเชิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) จากการทดลองกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด และมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 26 และ 34% ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 25 และ 35% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 25 และ 32% ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้นำเสนอจะเห็นได้ว่าการใส่แหวนแคปซูลตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B ต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_p=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกันไป พบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 13 และ 23% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 13 และ 23% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 13 และ 24% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p=2.0$ ที่ค่า

$R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.1 ประมาณ 16 และ 26% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์



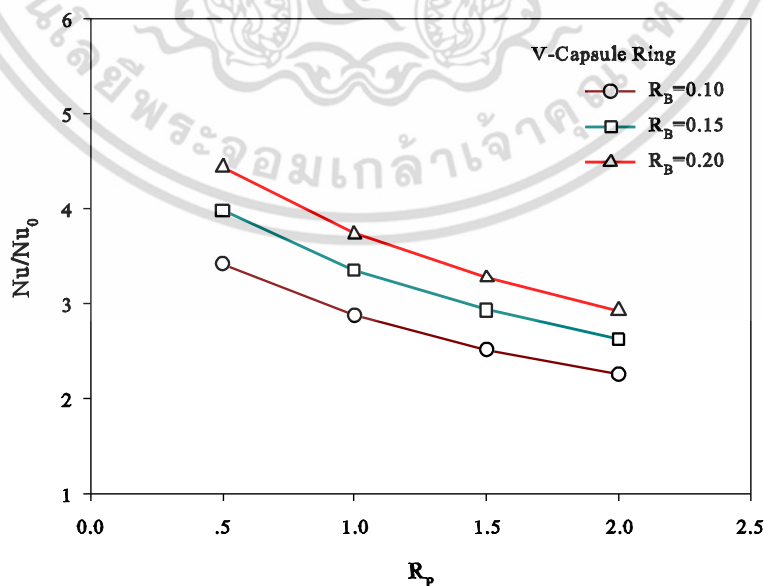
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

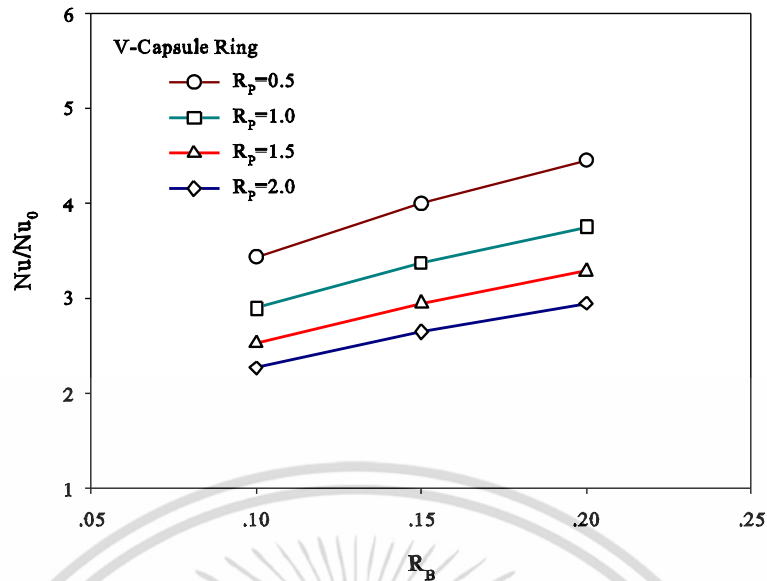
ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกรณีแหวนแคปซูลรูปวงรีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ ถูกนำเสนอในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และเลขเรย์โนลด์ แสดงในรูปที่ 7.12 (ข) พบว่า แนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน จากการทดลองค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะแปรเปลี่ยนตามค่า R_B และ R_P และยังพบว่าที่ค่า $R_B=0.2$ และค่า $R_P=0.5$ จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 4.43 ที่เลขเรย์โนลด์ 5000 และเมื่อทำการศึกษาค่าทุกเงื่อนไขการศึกษา ได้ผลดังนี้ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลล์ท์เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 2.97-3.44, 2.53-2.93, 2.19-2.54 และ 1.94-2.25 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.37-3.90, 2.86-3.32, 2.49-2.88 และ 2.18-2.52 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.83-4.43, 3.25-3.76, 2.87-3.32 และ 2.59-3.00 ตามลำดับ

รูปที่ 7.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.13 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 7.13 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

7.4.2 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 7.14 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงทุกกรณีศึกษา สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการวางกั้นการไหล (R_b) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ดังนี้ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_b=0.10$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 28, 46 และ 58% ตามลำดับ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_b=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 29, 47 และ 59% ตามลำดับ และกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_b=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 31, 45 และ 55% ตามลำดับ

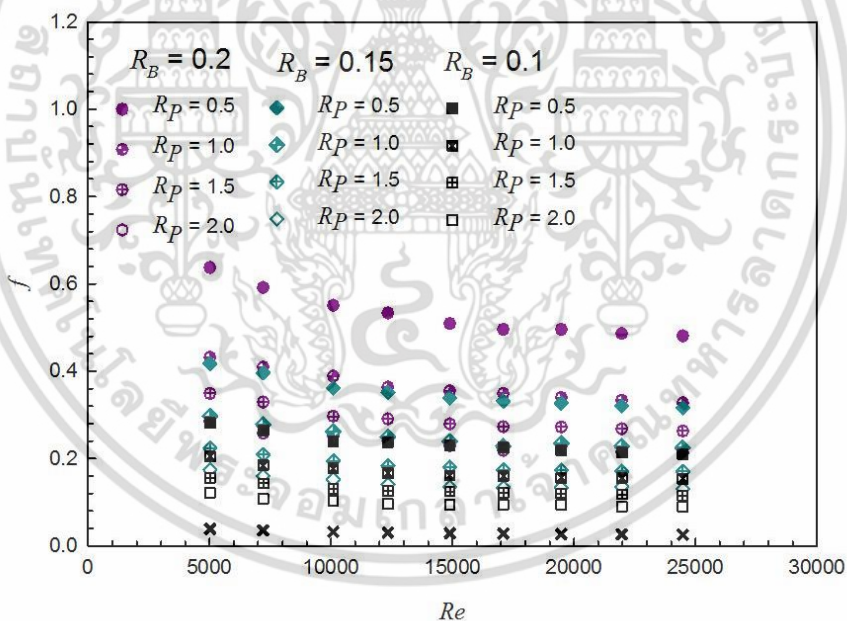
โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_b ต่างๆ ที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าที่ค่า $R_b=0.20$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_b=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ทุกกรณีศึกษาได้ผลดังนี้ กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าค่า $R_b=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_b=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 33 และ 56% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.0$ พบว่าค่า $R_b=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_b=0.15$ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

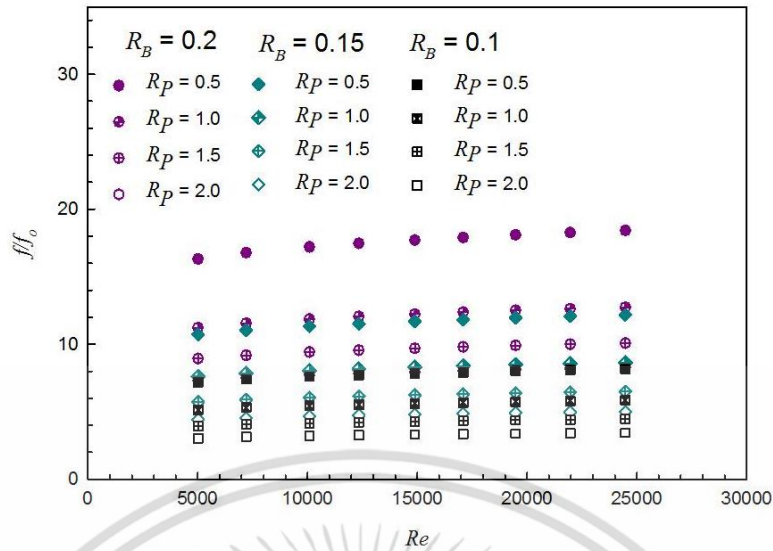
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.10 ประมาณ 32 และ 54% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 36 และ 56% ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_p=0.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 39 และ 58% ตามลำดับ

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 7.14 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนแคปซูลจะส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 7.20-8.15, 5.15-5.85, 3.94-4.45 และ 3.04-3.45 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 10.73-12.18, 7.61-8.65, 5.72-6.50 และ 4.42-5.01 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 16.31-18.42, 11.22-12.74, 8.93-10.08 และ 7.28-8.27 ตามลำดับ



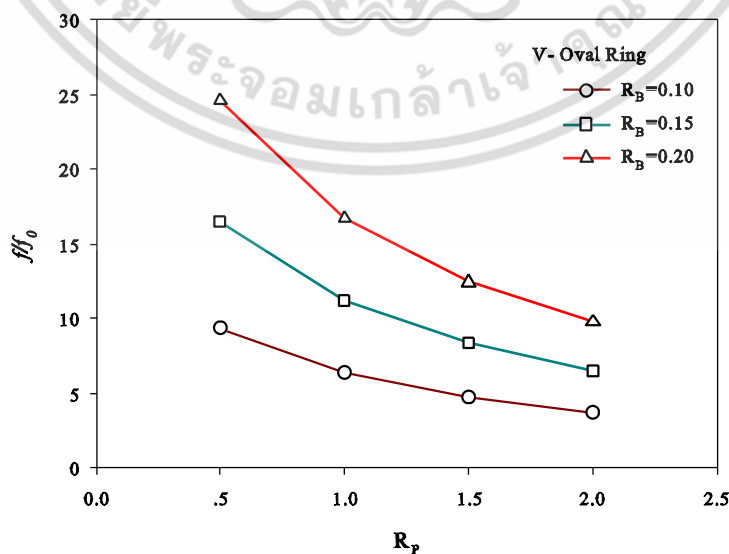
(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

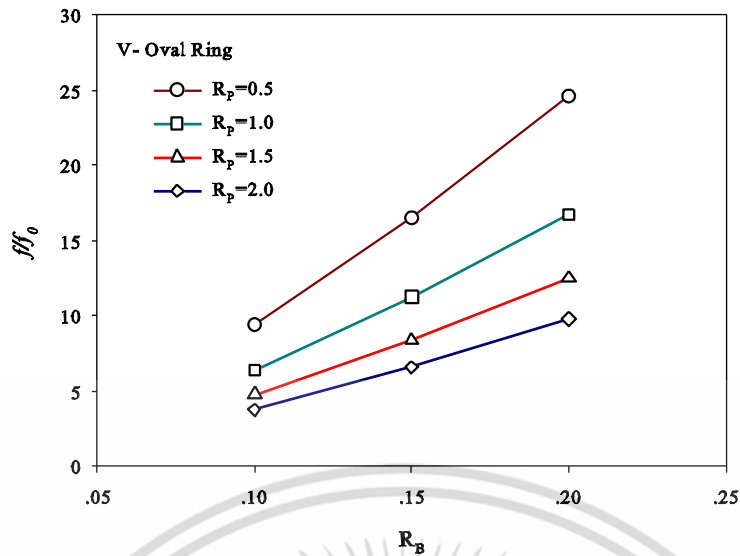
รูปที่ 7.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

รูปที่ 7.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.15 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 7.15 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

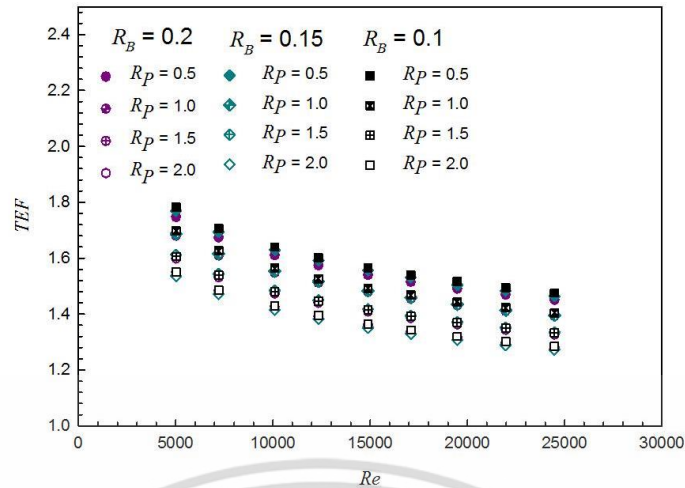


(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

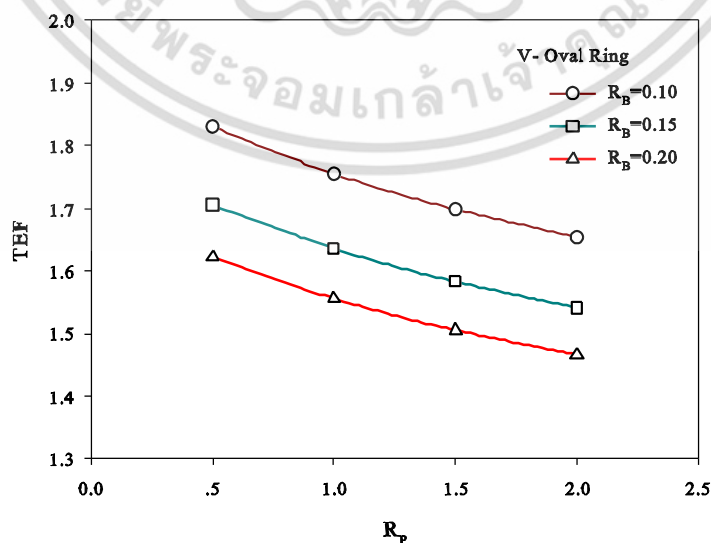
7.4.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 7.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (ff_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา และจากอิทธิพลของแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ใส่ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_p ต่างๆ จะช่วยเพิ่มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นไปกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี ซึ่งผลของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 จะส่งผลให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในช่วง 1.48-1.78, 1.40-1.70, 1.33-1.61 และ 1.29-1.55 สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.46-1.77, 1.40-1.69, 1.33-1.61 และ 1.27-1.54 และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.45-1.75, 1.39-1.68, 1.33-1.60 และ 1.28-1.55 ระหว่างค่าเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.78 เกิดขึ้นในกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000



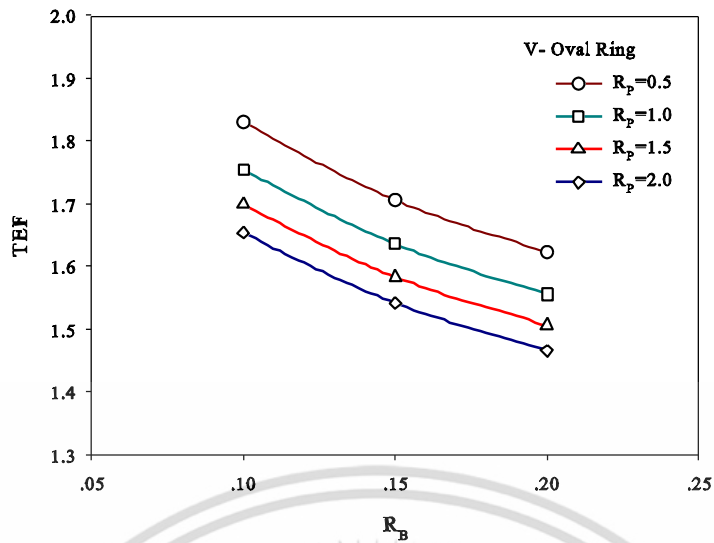
รูปที่ 7.16 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

รูปที่ 7.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.17 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันเชิงเส้นกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 7.17 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และพบว่าค่าอัตราส่วนระยะพิตต์มีอิทธิพลการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมากกว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ดังแสดงในรูปที่ 7.17 (ค)

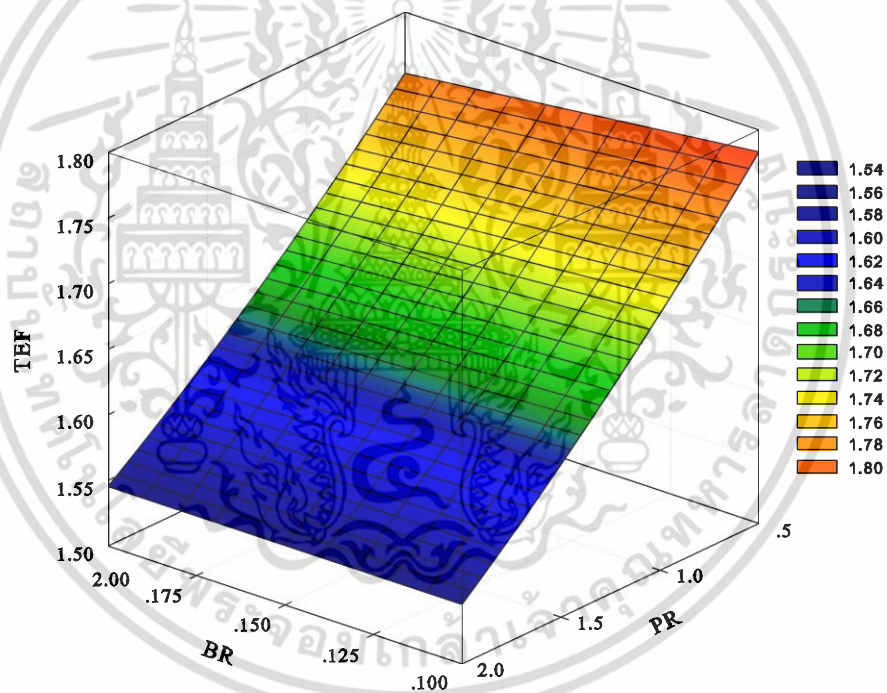


(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 7.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

ส่วนที่ 2 กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_p	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	2.97-3.44	7.20-8.15	1.48-1.78
	1.0	2.53-2.93	5.15-5.85	1.40-1.70
	1.5	2.19-2.54	3.94-4.45	1.33-1.61
	2.0	1.94-2.25	3.04-3.45	1.29-1.55
0.15	0.5	3.37-3.90	10.73-12.18	1.46-1.77
	1.0	2.86-3.32	7.61-8.65	1.40-1.69
	1.5	2.49-2.88	5.72-6.50	1.33-1.61
	2.0	2.18-2.52	4.42-5.01	1.27-1.54
0.20	0.5	3.83-4.43	16.31-18.42	1.45-1.75
	1.0	3.25-3.76	11.22-12.74	1.39-1.68
	1.5	2.87-3.32	8.93-10.08	1.33-1.60
	2.0	2.59-3.00	7.28-8.27	1.28-1.55

7.4.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 7.18 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

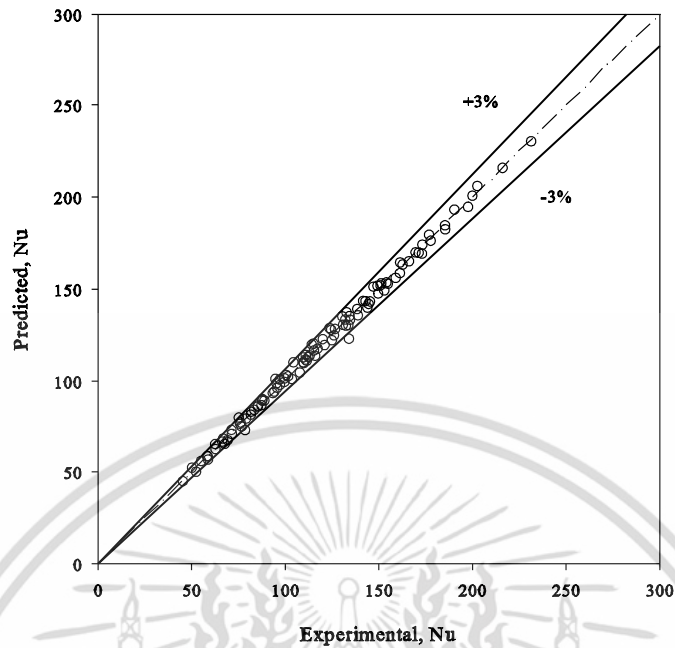
$$Nu = 1.349Re^{0.606} Pr^{0.4} R_B^{0.376} (R_p + 1)^{-0.599} \quad (7.3)$$

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

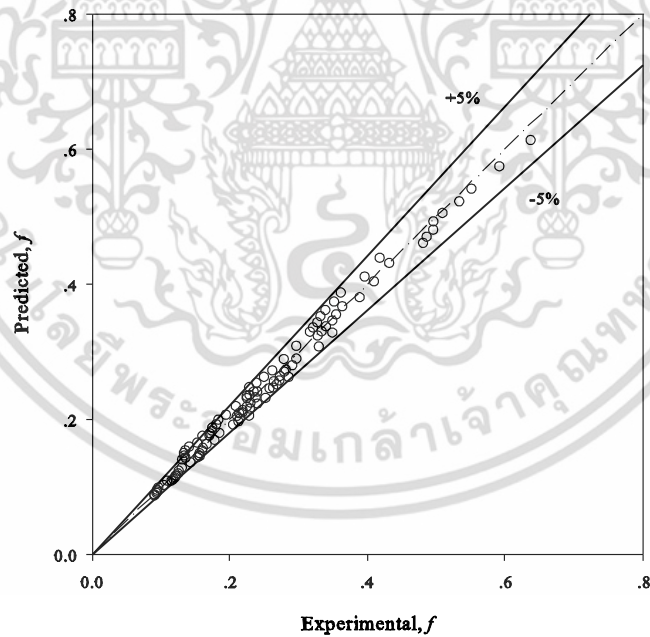
ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 7.19 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

$$f = 31.152Re^{-0.181}R_B^{1.169}(R_p + 1)^{-1.222} \quad (7.4)$$



รูปที่ 7.18 แสดงความสัมพันธ์ของเลขน้สเซลท์สสัมพันธ์กับเลขน้สเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา



รูปที่ 7.19 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 30 องศา

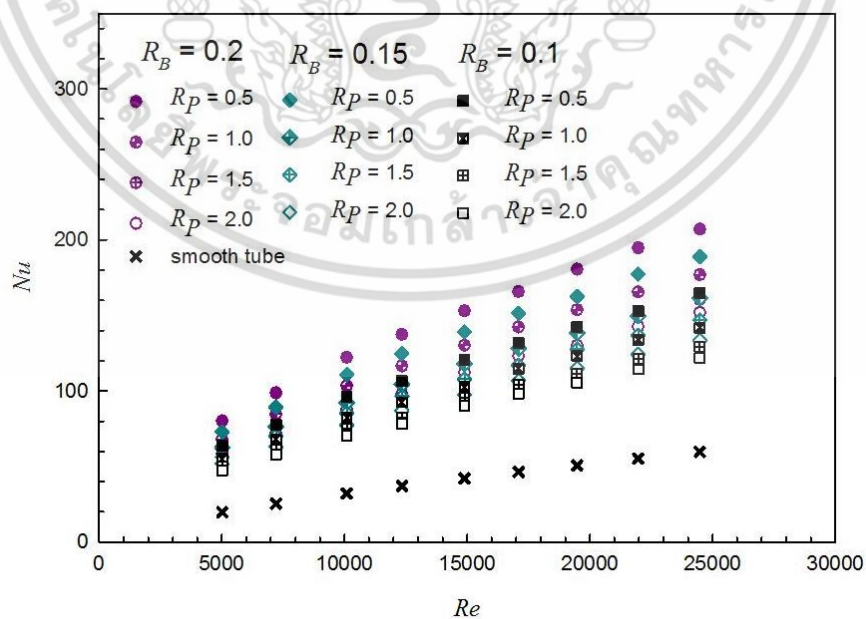
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 ส่วนที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล 20 องศา

7.5.1 การถ่ายเทความร้อน

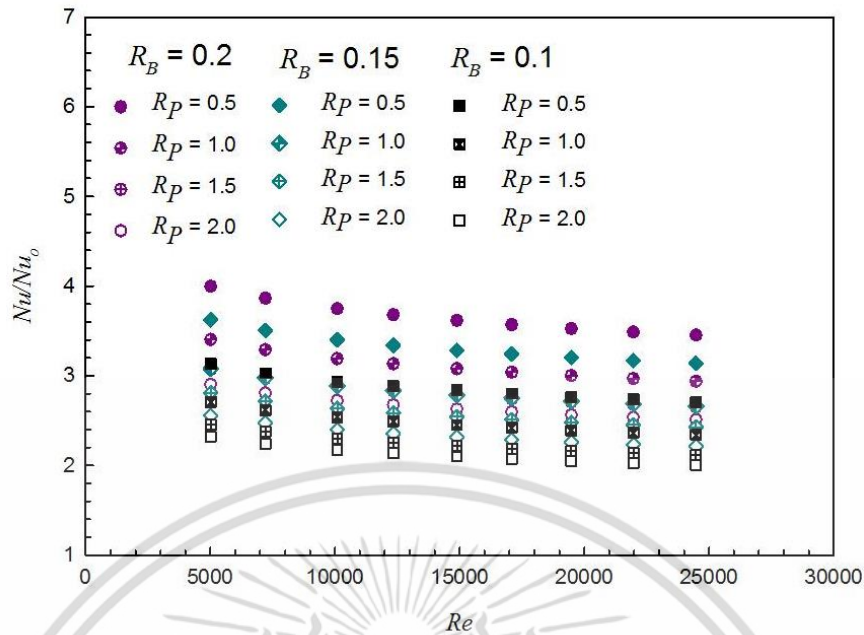
รูปที่ 7.20 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนีสเชิลท์ (Nu) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าค่าเลขนีสเชิลท์จะแปรผันตรงกับค่าเลขเรย์โนลด์ ทุกกรณีศึกษา การใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้น การไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) จากการทดลองกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะช่วยให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด และมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 13, 21 และ 26% ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 22 และ 30% ตามลำดับ และที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 15, 23 และ 27% ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้นำเสนอจะเห็นได้ว่าการใส่แหวนแคปซูลตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B ต่างๆ จะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น

เมื่อทำการศึกษาอิทธิพลของ $R_p=0.5$ ที่ค่า R_B แตกต่างกัน พบว่า ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 9 และ 21% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 10 และ 20% ตามลำดับ ที่ค่า $R_p=1.5$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ ที่ค่า $R_B=0.10$ ประมาณ 9 และ 20% ตามลำดับ และที่ค่า $R_p = 2.0$ ที่ค่า $R_B=0.2$ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.1 ประมาณ 12 และ 20% ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนีสเชิลท์กับเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

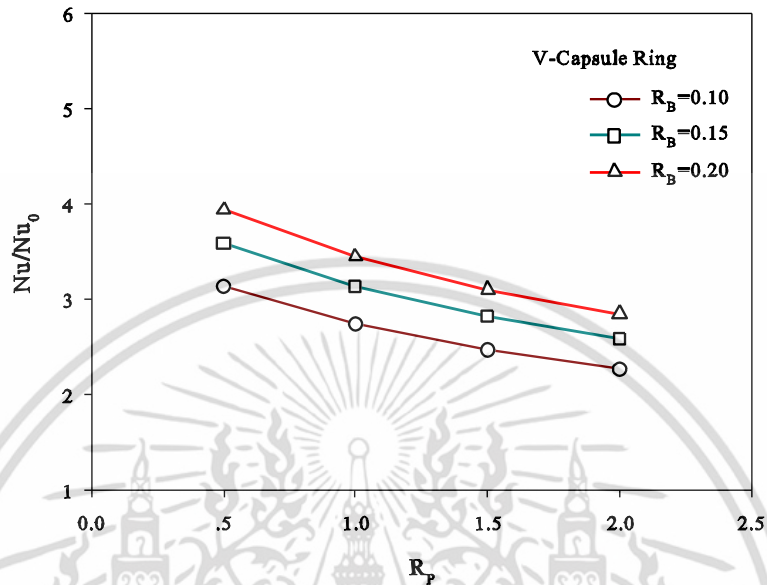
รูปที่ 7.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกรณีแหวนแคปซูลรูปวงรีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ ถูกนำเสนอในพจน์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และเลขเรย์โนลด์ แสดงในรูปที่ 7.20 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากท่อผนังเรียบอย่างชัดเจน จากการทดลองค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะแปรเปลี่ยนตามค่า R_B และ R_p และยังพบว่าที่ค่า $R_B=0.2$ และค่า $R_p=0.5$ จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 4.43 ที่เลขเรย์โนลด์ 5000 และเมื่อทำการศึกษาทุกเงื่อนไขการศึกษา ได้ผลดังนี้ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นจากท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 2.71-3.13, 2.34-2.71, 2.12-2.45 และ 2.00-2.32 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.14-3.62, 2.66-3.08, 2.43-2.81 และ 2.21-2.56 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เลขนัสเซลท์จะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3.45-4.00, 2.94-3.40, 2.65-3.07 และ 2.51-2.90 ตามลำดับ

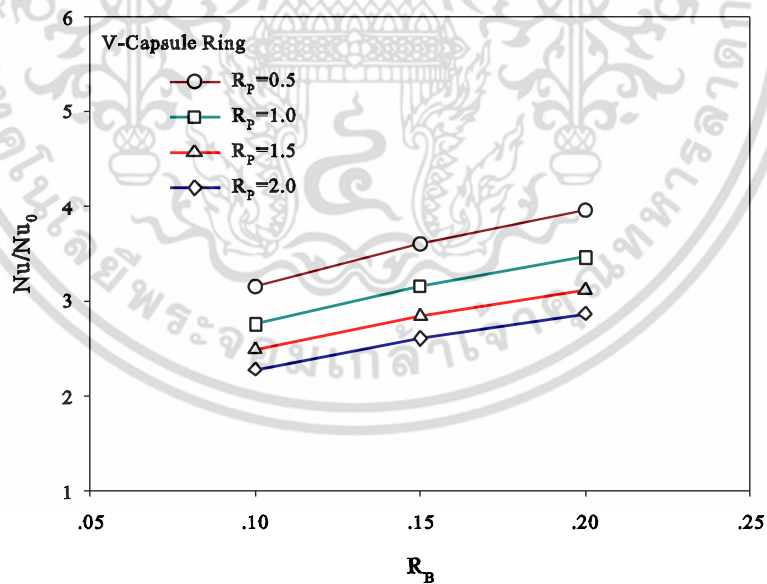
รูปที่ 7.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.21 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกับกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและเมื่อเปรียบเทียบกับแหวนรูปตัววีที่มุมปะทะ 45 และ 30 องศา พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนระยะพิตต์ต่างๆ มีแนวโน้มที่น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่ามุมปะทะการไหลมีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และรูปที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.21 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และมีแนวโน้มในทิศทางตรงข้ามกับอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

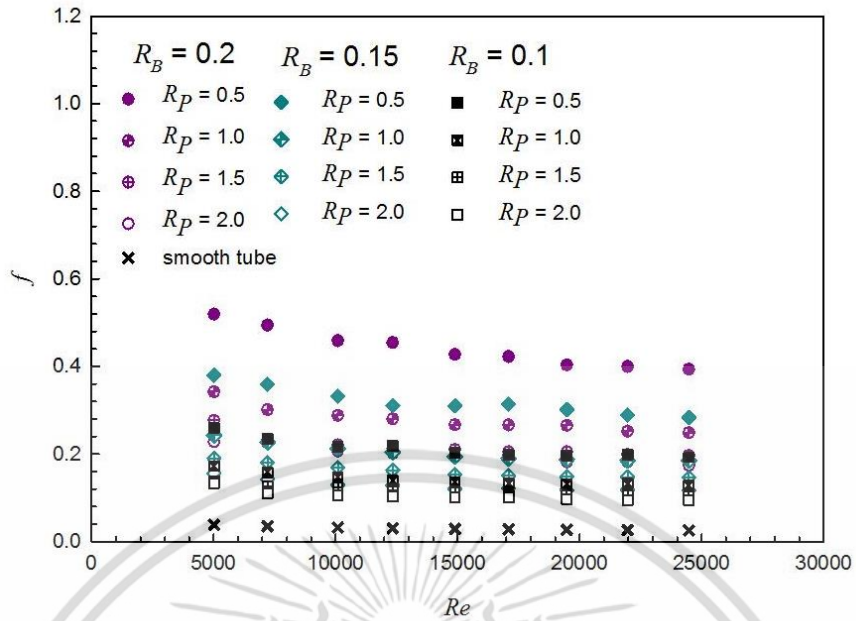
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.2 การสูญเสียความดัน

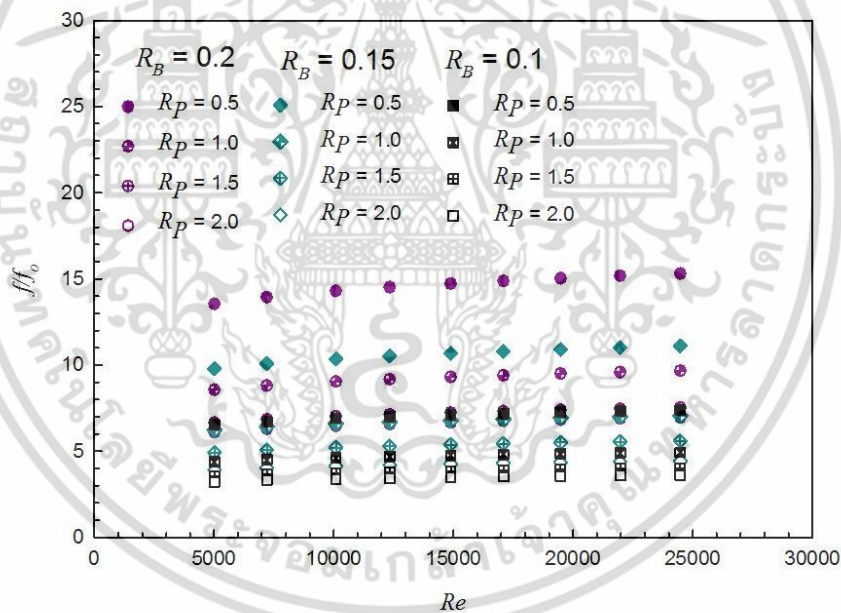
รูปที่ 7.22 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับความเร็วในพจน์เลขเรย์โนลด์ (Re) พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดต่ำลงทุกกรณีศึกษา สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณี โดยมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิชิตต์ (R_p) ดังนี้ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p=1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 33, 46 และ 51% ตามลำดับ กรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ จะส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 36, 50 และ 60% ตามลำดับ และกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5$ ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ประมาณ 37, 51 และ 55% ตามลำดับ

โดยเมื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่ค่า R_B ต่างๆ ที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าที่ค่า $R_B=0.20$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงที่ค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ทุกกรณีศึกษาได้ผลดังนี้ กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_p=0.5$ ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 28 และ 52% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.0$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและมีค่าสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 27 และ 49% ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_p=1.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดและสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 26 และ 47% ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_p=0.5$ พบว่าค่า $R_B=0.2$ จะทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าค่า $R_B=0.15$ และ 0.10 ประมาณ 36 และ 48% ตามลำดับ

อัตราส่วนการตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนต่อกรณีท่อผิวเรียบ แสดงในพจน์ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานและเลขเรย์โนลด์แสดงในรูปที่ 7.22 (ข) พบว่าแนวโน้มของค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น การใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีจะส่งผลทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับกรณีศึกษาการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $R_B=0.1$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 6.55-7.40, 4.38-4.94, 3.54-4.01 และ 3.22-3.61 ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 9.80-11.11, 6.23-7.06, 4.93-5.60 และ 3.92-4.44 ตามลำดับ และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ค่า $R_p=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 13.55-15.30, 8.57-9.67, 6.65-7.53 และ 6.11-6.97 ตามลำดับ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์



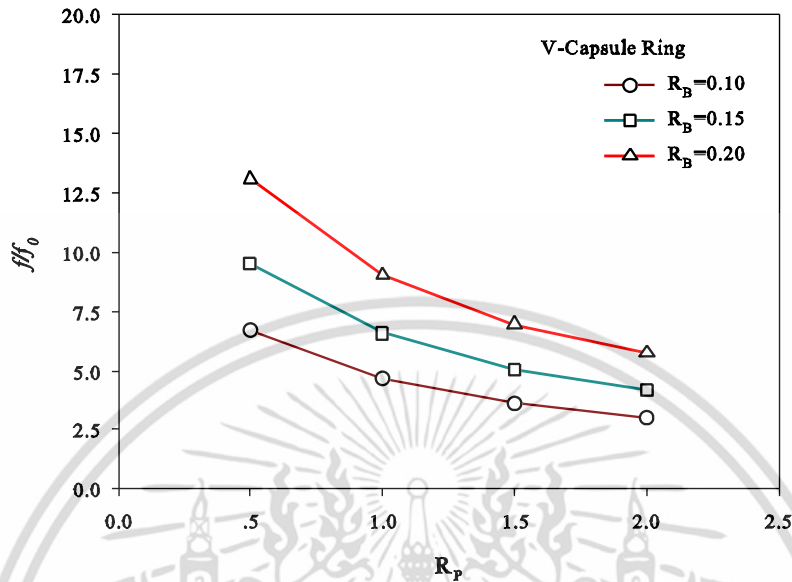
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

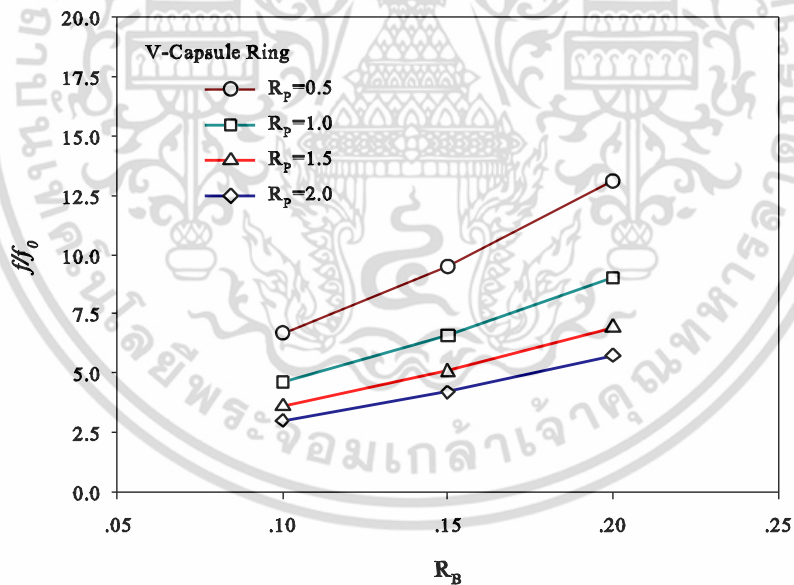
รูปที่ 7.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.23 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_p = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 แปรผัน

กันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและรูปที่ 7.23 (ข) แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในแวดวงวิชาการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังเว็บไซต์อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B=0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนระยะพิตต์



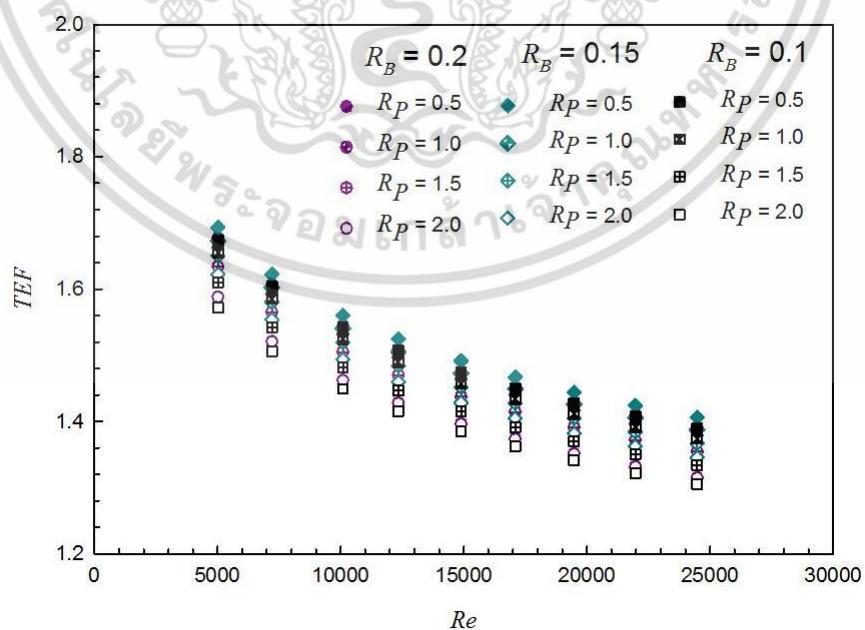
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

รูปที่ 7.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

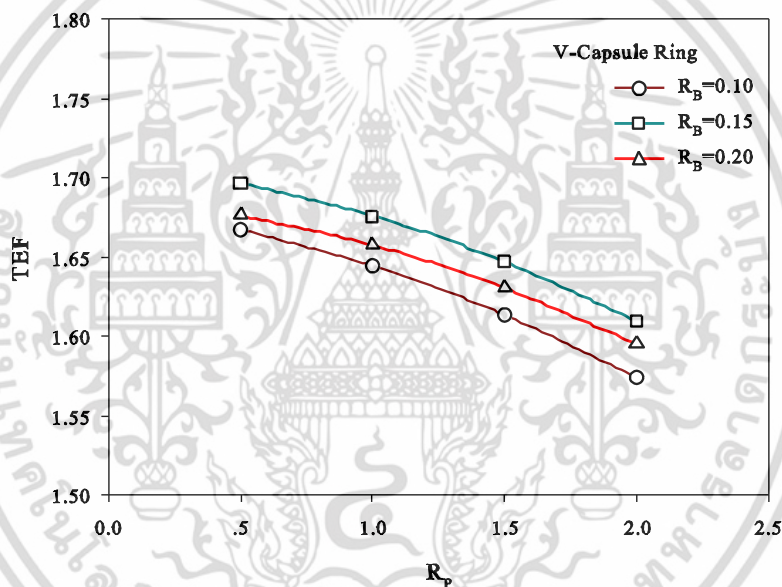
รูปที่ 7.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และอัตราส่วนการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ถูกนำเสนอในรูปแบบของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่เลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ พบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นสำหรับทุกกรณีศึกษา และจากอิทธิพลของแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่ใส่ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า R_B และ R_P ต่างๆ จะช่วยเพิ่มค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี ซึ่งผลของการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.10$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 จะส่งผลให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นในช่วง 1.39-1.67, 1.37-1.65, 1.33-1.61 และ 1.31-1.57 สำหรับกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.15$ พบว่าที่ค่า $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.41-1.69, 1.39-1.67, 1.37-1.65 และ 1.35-1.62 และกรณีศึกษาที่ค่า $R_B=0.20$ พบว่าที่ $R_P=0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.39-1.68, 1.38-1.66, 1.35-1.63 และ 1.32-1.59 ระหว่างค่าเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 และยังพบว่าค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 1.69 เกิดขึ้นในกรณีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_P=0.5$ ที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 5000 และยังพบว่ากรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศาให้ผลการทดลองแตกต่างจากมุมปะทะ 30 และ 45 องศา คือที่มุมดังกล่าวค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงสุดที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_P=0.5$ จากผลการทดลองสิ่งที่น่าสนใจสำคัญ คือแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศาที่ค่า $R_B=0.15$ จะมีมุมเอียงค่อนข้างมากทำให้อิทธิพลของความดันที่กระทำกับแหวนแคปซูลรูปตัววีมีผลไม่มากเมื่อเทียบกับค่า $R_B=0.10$ แต่ในทางกลับกันอิทธิพลของกระแสไหลวนที่เกิดจากตัวสร้างความปั่นป่วนที่ค่า $R_B=0.15$ ส่งผลให้เพื่อค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าตัวสร้างความปั่นป่วนที่ค่า $R_B=0.10$ นั้นเอง



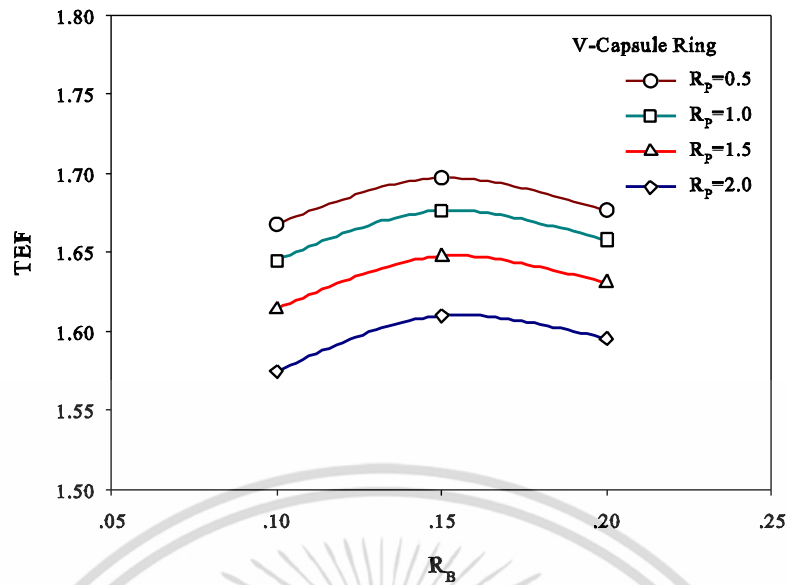
รูปที่ 7.24 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับความเร็วของไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

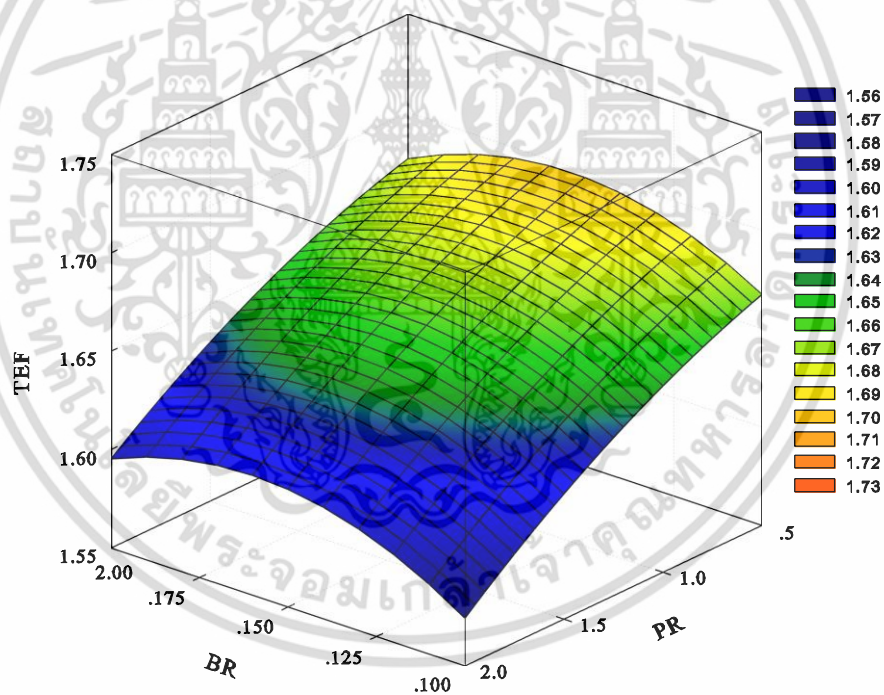
รูปที่ 7.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 สำหรับเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยรูปที่ 7.25 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ พบว่าแนวโน้มการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่า $R_p = 1.0, 1.5$ และ 2.0 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล และรูปที่ 7.25 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่เลขเรย์โนลด์ 5000 จากการทดลองพบว่าแนวโน้มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ค่า $R_B = 0.10, 0.15$ และ 0.2 เพิ่มขึ้นแปรผันกันกับค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลทุกค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ และพบว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลมีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและค่า $R_B = 0.15$ ทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าการเพิ่มสมรรถนะสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 7.25 (ค)



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนระยะพิตต์



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนการวางกั้นการไหล



(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ

รูปที่ 7.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนกับค่าอัตราส่วนระยะพิตต์และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลที่มุมปะทะการไหล 20 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

ส่วนที่ 3 กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

กรณีศึกษา		ผลการศึกษา		
R_B	R_p	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF
0.10	0.5	2.71-3.13	6.55-7.40	1.39-1.67
	1.0	2.34-2.71	4.38-4.94	1.37-1.65
	1.5	2.12-2.45	3.54-4.01	1.33-1.61
	2.0	2.00-2.32	3.22-3.61	1.31-1.57
0.15	0.5	3.14-3.62	9.80-11.11	1.41-1.69
	1.0	2.66-3.08	6.23-7.06	1.39-1.67
	1.5	2.43-2.81	4.93-5.60	1.37-1.65
	2.0	2.21-2.56	3.92-4.44	1.35-1.62
0.20	0.5	3.45-4.00	13.55-15.30	1.39-1.68
	1.0	2.94-3.40	8.57-9.67	1.38-1.66
	1.5	2.65-3.07	6.65-7.53	1.35-1.63
	2.0	2.51-2.90	6.11-6.97	1.32-1.59

7.5.4 สมการสหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

รูปที่ 7.26 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์สหสัมพันธ์กับค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B)=0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p)=0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$

$$Nu = 1.056 Re^{0.606} Pr^{0.4} R_B^{0.329} (R_p + 1)^{-0.467} \quad (7.5)$$

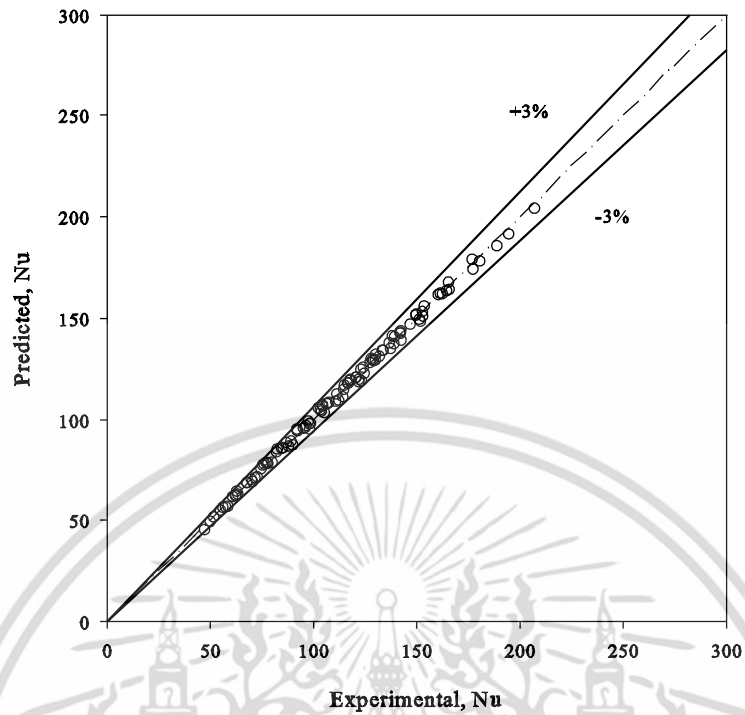
ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ($e/D=R_B$) และอัตราส่วนระยะพิตต์ ($P/D=R_p$) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

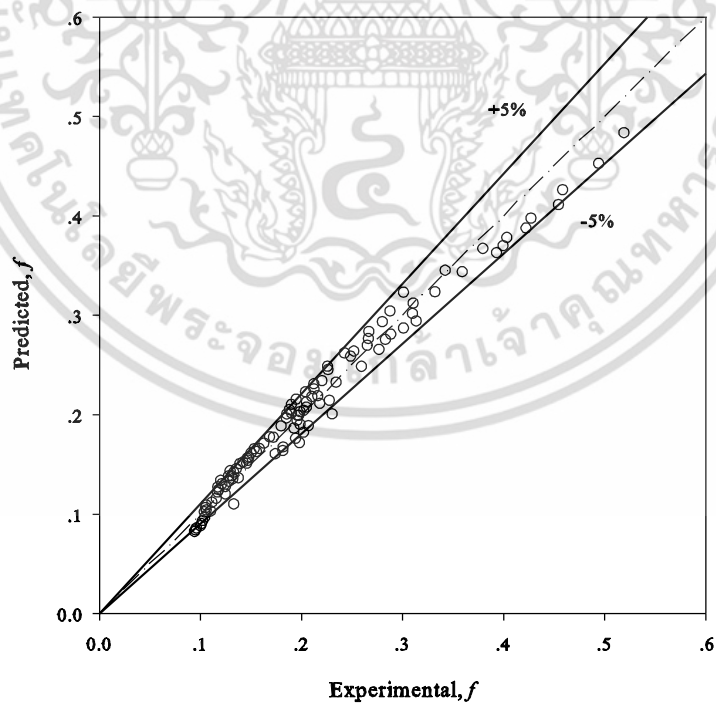
รูปที่ 7.27 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานจากความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะการไหล 20 องศา ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B)= 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p)= 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re=5000-25000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f = 17.136Re^{-0.182}R_B^{0.956}(R_p + 1)^{-1.17} \quad (7.6)$$



รูปที่ 7.26 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์สหสัมพันธ์กับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา



รูปที่ 7.27 ความสัมพันธ์ของค่าตัวประกอบเสียดทานสหสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลอง กรณีใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะ 20 องศา

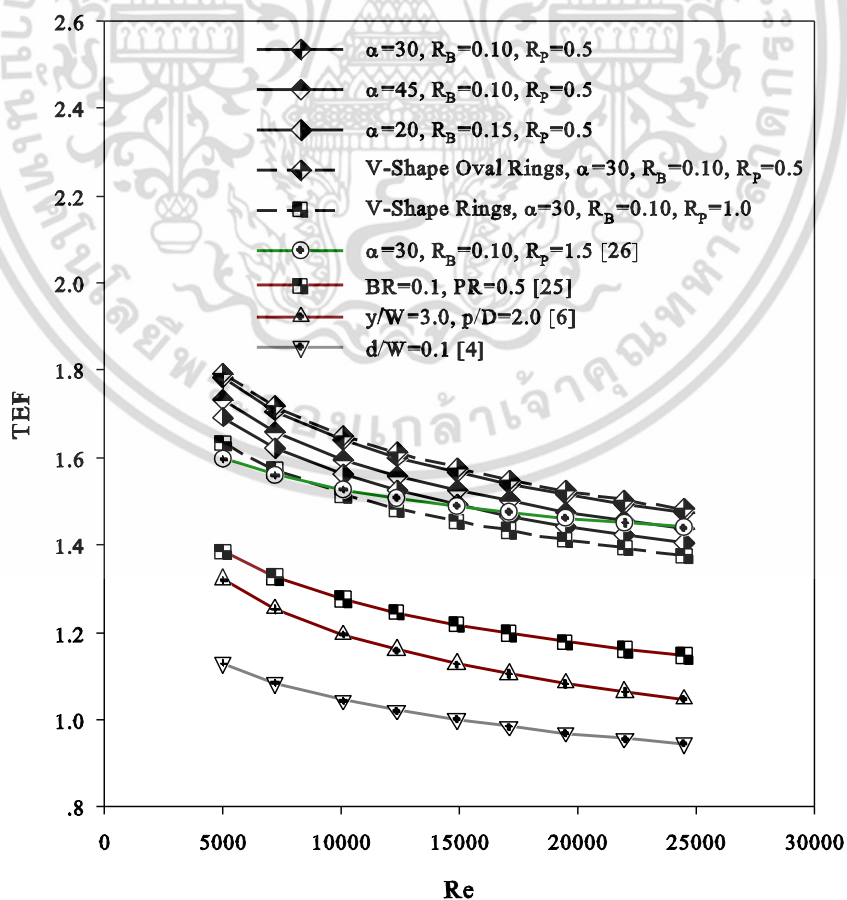
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6 เปรียบเทียบการใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ผลลัพธ์ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดที่ได้จากการประยุกต์ใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีในงานวิจัยฉบับนี้ ถูกนำไปเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดของงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเปรียบเทียบผลัพธ์ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5000-25000 ดังแสดงในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง	กรณีศึกษา	TEF
ส่วนที่ 2: แหวนแคปซูลรูปตัววี	$\alpha=30$, $R_B=0.1$, $R_P=0.5$	1.48-1.78
ส่วนที่ 1: แหวนแคปซูลรูปตัววี	$\alpha=45$, $R_B=0.1$, $R_P=0.5$	1.44-1.73
ส่วนที่ 3: แหวนแคปซูลรูปตัววี	$\alpha=20$, $R_B=0.1$, $R_P=0.5$	1.39-1.67
แหวนวงรีรูปตัววี	$\alpha=20$, $R_B=0.1$, $R_P=0.5$	1.49-1.79
แหวนรูปตัววี	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.0$	1.38-1.63
[26]	$\alpha=30^\circ$, $R_B=0.10$, $R_P=1.5$	0.99-1.41
[25]	$\alpha=30^\circ$, $BR=0.10$, $PR=0.5$	0.98-1.41
[6]	$y/W=3.0$, $p/D=2.0$	1.04-1.40
[4]	$d/W=0.1$	1.03-1.40



รูปที่ 7.28 ผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมโดยใช้แหวนแคปซูลรูปตัววี ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 45 องศา ส่วนที่ 2 แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 30 องศา และส่วนที่ 3 แหวนแคปซูลรูปตัววีที่มุมปะทะการไหล 20 องศา เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) และค่าอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ สามารถสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะแปรผันตรงกับความเร็วยของการไหลภายในท่อเนื่องจากความเร็วของการไหลที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนภายในท่อที่รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงถึงปริมาณการไหลเข้าสู่ระบบของอากาศที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีของไหลทำงานสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น

2. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อผิวเรียบทุกกรณี เนื่องจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีจะช่วยให้เกิดการไหลแบบหมุนวน (Vortex flows) ทั้ง 4 ส่วนของหน้าตัดท่อที่เกิดจากการไหลผ่านบริเวณด้านข้างแหวนแคปซูลรูปตัววี ส่งผลให้ของไหลภายในท่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้นและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแหวนรูปตัววีและแหวนวงรีรูปตัววีค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากท่อผิวเรียบจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย

3. การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความสูงของปีกแหวนแคปซูลรูปตัววี เนื่องจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ค่า R_B มากๆ ช่วยให้เกิดการหมุนวนของของไหลภายในท่อที่มากขึ้นตามความสูงของปีกของแหวนแคปซูลรูปตัววี ส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น และมุมปะทะการไหล 45° ที่ค่า $R_B=0.20$ จะสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 478% เทียบกับท่อผนังเรียบ

4. เมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) มีค่าลดลงจะทำให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากค่า R_p ที่ลดลงจะส่งผลต่อจำนวนกลุ่มของกระแสนวนวนที่เพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนของแหวนแคปซูลรูปตัววีภายในท่อ

5. การใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีทุกกรณีศึกษาจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีท่อผิวเรียบ เนื่องจากการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อจะไปขวางการไหลของอากาศภายในท่อทำให้ของไหลเดินทางไม่สะดวก ส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและแรงต้านการไหลเพิ่มมากขึ้น แต่จากการพัฒนาแหวนแคปซูลรูปตัววี พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแหวนรูปตัววีและแหวนวงรีรูปตัววี

6. ค่าตัวประกอบความเสียดทานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความสูงของปีกแหวนแคปซูลรูปตัววีมีค่าเพิ่มขึ้นและอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลง เนื่องจากความสูงปีกของแหวนแคปซูลรูปตัววีที่เพิ่มขึ้นจะไปขวางการไหลภายในท่อและอัตราส่วนระยะพิตต์ที่มีค่าลดลง ทำให้มีจำนวนแหวนแคปซูลรูปตัววีมากขึ้นทำให้เกิดการขวางการไหลมากขึ้นเท่ากับจำนวนของแหวนแคปซูลรูปตัววี ส่งผลให้เกิดแรงต้านมากขึ้น

7. ทุกกรณีศึกษาที่มีการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววี จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบและมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้น สำหรับการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น พบว่าการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววี จะช่วยลดการใช้พลังงานความร้อนเมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่

เพิ่มขึ้นจากผลของตัวประกอบเสียดทาน โดยผลของการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีที่ดีที่สุดจะเกิดที่มุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ ที่ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) เท่ากับ 1.78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม ภายใต้สภาวะพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ 5000-25000 ด้วยการสอดใส่แหวนรูปตัววีรูปทรงต่างๆ สำหรับสร้างการไหลหมุนวน (vertex flows) สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

8.1.1 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนรูปตัววี

แหวนรูปตัววี (V-Shaped Rings) แบ่งการทดสอบเป็น 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา และกลุ่มที่ 3 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา โดยนำแหวนรูปตัววีมาติดบนโครงลวดครึ่งวงกลมสำหรับใช้เป็นแกนในการใส่เข้าไปในท่อทดสอบเพื่อบังคับให้แหวนรูปตัววีอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 0.1, 0.15 และ 0.2 และอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) จำนวน 4 ค่า ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่ากลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 5.27-6.02 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 95.90-104.52 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.32-158 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 4.99-5.79 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 77.56-82.10 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.38-163 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ และกลุ่มที่ 3 กรณีศึกษาแหวนรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 3.97-4.51 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 33.34-37.44 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.34-162 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=1.0$ สำหรับการใส่แหวนรูปตัววี 3 กลุ่ม จะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียเพิ่มสูงขึ้นจากท่อผิวเรียบเมื่ออัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้น และอัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลง และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจะสามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงสุดโดยไม่สนใจขนาดของพัลลัมที่ต้องเพิ่มขึ้น แหวนรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่มีมุมปะทะ 45 องศา ที่ค่า $R_B=0.2$ และ $R_p=0.5$ จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.12-1.32 ที่ค่า $Re=5000-25000$ ซึ่งถือว่าสมรรถนะเชิงความร้อนยังมีค่ามากกว่า 1.0 ถ้ามีการนำไปพัฒนาต่อยอดระบบแลกเปลี่ยนความร้อนก็จะมีขนาดเล็กถึง 10-30% กรณีที่ 2 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด แหวนรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา ที่ค่า $R_B=0.1$ และ $R_p=1.0$ จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.32-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

158 ที่ค่า Re อยู่ระหว่าง 5000-25000 ถึงเงื่อนไขดังกล่าวจะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ไม่สูงมาก แต่ถ้ระบบที่ต้องการนำไปออกแบบไม่ต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว เงื่อนไขดังกล่าวถือว่าน่าสนใจ เพราะระบบดังกล่าวจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 58% จากระบบเดิม

8.1.2 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนวงรีรูปตัววี

วงรีรูปตัววี (V-Shaped Oval Rings) แบ่งการทดสอบเป็น 3 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหลที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา และที่ 3 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหลที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา จากกลุ่มการศึกษาทั้ง 3 กรณีได้แบ่งการศึกษาอิทธิพลของแหวนวงรีรูปตัววี ดังนี้ ศึกษาอัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 0.1, 0.15 และ 0.2 และอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) จำนวน 4 ค่า ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่า กลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 4.16-4.51 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 29.90-39.81 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.42-1.69 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 4.04-4.68 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 24.58-27.78 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.48-1.79 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ และกลุ่มที่ 3 กรณีศึกษาแหวนวงรีรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 3.30-3.81 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 14.92-16.81 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.49-1.79 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ โดยการใช้แหวนวงรีรูปตัววีทั้ง 3 กลุ่มจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียเพิ่มสูงขึ้นจากท่อผิวเรียบเมื่ออัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนระยะพิตต์มีค่าลดลง และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจะสามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงสุดโดยไม่สนใจขนาดของพิตต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น แหวนวงรีรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่ค่ามุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า $R_B=0.2$ และ $R_p=0.5$ จะได้ค่า $TEF=1.22-1.45$ ที่ค่า $Re=5000-25000$ กรณีที่ 2 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด แหวนวงรีรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่ค่ามุมปะทะการไหล 20 องศา $R_B=0.1$ และ $R_p=1.0$ จะได้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) อยู่ในช่วง 1.49-1.79 ที่ค่า Re ระหว่าง 5000-25000 ถึงเงื่อนไขดังกล่าวจะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำกว่ากรณีแหวนรูปตัววี แต่ถ้ระบบที่ต้องการนำไปออกแบบไม่ต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว เงื่อนไขดังกล่าวถือว่าน่าสนใจ เพราะระบบดังกล่าวจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 79% จากระบบเดิม

8.1.3 การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แหวนแคปซูลรูปตัววี

แหวนแคปซูลรูปตัววี (V-Shaped Capsule Rings) แบ่งการทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหลที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา และที่ 3 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหลที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา จากกลุ่มการศึกษาทั้ง 3 กรณีได้แบ่งการศึกษาอิทธิพลของแหวนแคปซูลรูปตัววี ดังนี้ ศึกษาอัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 0.1, 0.15 และ 0.2 และอัตราส่วนระยะพิคต (R_p) จำนวน 4 ค่า ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่า กลุ่มที่ 1 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 45 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 4.14-4.78 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 24.18-27.40 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.44-1.73 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ กลุ่มที่ 2 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 30 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 3.83-4.43 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 16.31-18.42 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.48-1.78 ที่ค่า $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ และกลุ่มที่ 3 กรณีศึกษาแหวนแคปซูลรูปตัววีที่มีมุมปะทะการไหล 20 องศา สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดระหว่าง 3.45-4.00 เท่าของกรณีท่อผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่ากรณีท่อผิวเรียบสูงสุดระหว่าง 13.55-15.30 เท่า ที่ค่า $R_B=0.20$ และ $R_p=0.5$ และให้ค่าการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดระหว่าง 1.41-1.69 ที่ค่า $R_B=0.15$ และ $R_p=0.5$ โดยการใช้แหวนวงรีรูปตัววีทั้ง 3 กลุ่มจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียเพิ่มสูงขึ้นจากท่อผิวเรียบเมื่ออัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้น และที่อัตราส่วนระยะพิคตมีค่าลดลง และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานจะสามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงสุดโดยไม่สนใจขนาดของพัดลมที่ต้องเพิ่มขึ้น แหวนแคปซูลรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่ค่ามุมปะทะการไหล 45 องศา ที่ค่า $R_B=0.2$ และ $R_p=0.5$ จะได้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.39-1.68 ที่ค่า $Re=5000-25000$ แม้ว่าการใส่แหวนแคปซูลรูปตัววีในท่อจะเพิ่มค่าการถ่ายความร้อนได้ไม่เท่ากับกรณีของแหวนรูปตัววี แต่กลับพบว่าการใช้แหวนแคปซูลรูปตัววีจะไม่กระทบกับระบบมากถ้าเทียบกับกรณีแหวนรูปตัววี เนื่องจากแหวนแคปซูลรูปตัววีจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นไม่มาก กรณีที่ 2 มีความสนใจจะนำไปพัฒนาเพื่อออกแบบระบบที่ต้องการสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด แหวนแคปซูลรูปตัววีที่เหมาะสมจะมีค่าตัวแปรศึกษาที่ค่ามุมปะทะการไหล 30 องศา $R_B=0.10$ และ $R_p=0.5$ จะได้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง 1.48-1.78 ที่ค่า Re ระหว่าง 5000-25000 ถึงเงื่อนไขดังกล่าวจะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ต่ำกว่ากรณีแหวนรูปตัววี แต่ถ้าระบบที่ต้องการนำไปออกแบบไม่ต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว เงื่อนไขดังกล่าวถือว่าเป็นที่น่าพอใจ เพราะระบบดังกล่าวจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 78% จากระบบเดิมและยังพบว่าแหวนแคปซูลรูปตัววีจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยกว่าแหวนวงรีรูปตัววีในขณะที่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน

8.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการใช้แหวนรูปตัววี (V-Rings) ที่พัฒนามาจากวงแหวนเอียง (Vortex Rings) ซึ่งนับเป็นตัวสร้างความปั่นป่วนที่สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดี สำหรับการประยุกต์ใช้สำหรับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลม โดยการศึกษาถึงอิทธิพลของมุมปะทะการไหล (α) อัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) และอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ต่อมาเป็นการพัฒนาเพื่อใช้สำหรับลดค่าตัวประกอบเสียดทานในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และทำการศึกษาถึงอิทธิพลอิทธิพลของมุมปะทะการไหล (α) อัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) และอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ซึ่งมีเงื่อนไขเหมือนกับแบบแรก เพื่อทำการเปรียบเทียบกัน จากผลลัพธ์ของการศึกษาทั้ง 3 รูปทรง พบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาในแต่ละกลุ่มแหวนรูปตัววีสำหรับสร้างการไหลหมุนวนแสดงให้ถึงจุดเด่นและจุดด้อยที่เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการศึกษาวิจัยถึงการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงขอเสนอแนวทางการศึกษาวิจัยจากผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้ไว้ดังต่อไปนี้

- ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงอิทธิพลของแหวนรูปตัววี แหวนวงรีรูปตัววีและแหวนแคปซูลรูปตัววีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่ การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการขวางการไหลที่ละเอียดขึ้น เช่น $R_B=0.025, 0.05$ และ 0.075 และอิทธิพลของมุมปะทะการไหลต่างๆ ให้ละเอียดมากขึ้น
- พัฒนารูปร่างของแหวนรูปตัววีแบบใหม่ที่ทำให้เกิดค่าตัวประกอบแรงต้านน้อยๆ ทั้งที่ยังสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นได้
- ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยฉบับแต่ปรับเปลี่ยนของไหลทำงานจากการใช้อากาศ เป็นการใช้อากาศหรือน้ำที่มีการผสมสารนาโน เนื่องจากงานวิจัยที่ใช้ของไหลทำงานผสมสารนาโนส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในขณะที่การศึกษาเชิงทดลองมีอยู่อย่างจำกัด

บรรณานุกรม

- [1] Smith Eiamsa-ard, Chinaruk Thianpong and Pongjet Promvonge “Experimental investigation of heat transfer and flow friction in a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 33, 2006. pp 1225-1233.
- [2] Shyy Woei Chang, Tsun Lirng Yang and Jin Shuen Liou “Heat transfer and pressure drop in tube with broken twisted tape insert.” **Experimental Thermal and Fluid Science.**, vol. 32, 2007. pp 489-501.
- [3] P. Sivashanmugam and S. Suresh “Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of turbulent flow through a circular tube fitted with regularly spaced helical screw-tape inserts.” **Applied Thermal Engineering**, vol. 27, 2007. pp 1311-1319.
- [4] Smith Eiamsa-ard, Chinaruk Thianpong, Petpices Eiamsa-ard and Pongjet Promvonge “Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol 36, 2009. pp 365-371.
- [5] Masoud Rahimi, Sayed Reza Shabanian and Ammar Abdulaziz Alsairafi “Experimental and CFD studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube equipped with modified twisted tape inserts.” **Chemical Engineering and Processing**, vol. 48, 2009. pp 762-770.
- [6] Smith Eiamsa-ard, Chinaruk Thianpong, Petpices Eiamsa-ard and Pongjet Promvonge “Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol 37, 2010. pp 39-46.
- [7] Smith Eiamsa-ard and Pongjet Promvonge “Thermal characteristics in round tube fitted with serrated twisted tape.” **Applied Thermal Engineering**, vol 30, 2010, pp 1673-1680.
- [8] S. Eiamsa-ard, K. Yongsiri, K. Nanan and C. Thianpong “Heat transfer augmentation by helically twisted tapes as swirl and turbulence promoters.” **Chemical Engineering and Processing**, vol 60, 2010. pp 58-65.
- [9] S. Eiamsa-ard, K. Wongcharee, P. Eiamsa-ard and C. Thianpong “Thermohydraulic investigation of turbulent flow through a round tube equipped with twisted tapes consisting of centre wings and alternate-axes.” **Experimental Thermal and Fluid Science**, vol. 34, 2010. pp 1151-1161.

- [10] Smith Eiamsa-ard and Pongjet Promvonge “Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts.” **International Journal of Heat and Mass Transfer**, vol. 52, 2010. pp 1364-1372.
- [11] P. Murugesan, K. Mayilsamy and S. Suresh “Heat Transfer and Friction Factor Studies in a Circular Tube Fitted with Twisted Tape Consisting of Wire-nails.” **Chinese Journal of Chemical Engineering**, vol. 18(6), 2010. pp 1034-1042.
- [12] P. Murugesan, K. Mayilsamy and S. Suresh “Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in Tube Fitted with Square-cut Twisted Tape.” **Chinese Journal of Chemical Engineering**, vol. 18(4), 2010. pp 609-617.
- [13] S. Eiamsa-ard, K. Wongcharee, P. Eiamsa-ard and C. Thianpong “Heat transfer enhancement in a tube using delta-winglet twisted tape inserts.” **Applied Thermal Engineering**, vol. 30, 2010. pp 310-318.
- [14] Panida Seemawute and Smith Eiamsa-ard “Thermohydraulics of turbulent flow through a round tube by a peripherally-cut twisted tape with an alternate axis.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 37, 2010. pp 652-659.
- [15] Smith Eiamsa-ard, Panida Seemawute and Khwanchit Wongcharee “Influences of peripherally-cut twisted tape insert on heat transfer and thermal performance characteristics in laminar and turbulent tube flows.” **Experimental Thermal and Fluid Science**, vol. 34, 2010. pp 711-719.
- [16] P. Murugesan, K. Mayilsamy, S. Suresh and P.S.S. Srinivasan “Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 38, 2011. pp 329-334.
- [17] Khwanchit Wongcharee and Smith Eiamsa-ard “Heat transfer enhancement by twisted tapes with alternate-axes and triangular, rectangular and trapezoidal wings.” **Chemical Engineering and Processing**, vol. 50, 2011. pp 211-219.
- [18] S. Eiamsa-ard and P. Seemawute “Decaying swirl flow in round tubes with short-length twisted tapes.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 39, 2012. pp 649-656.
- [19] Halit Bas and Veysel Ozceyhan “Heat transfer enhancement in a tube with twisted tape inserts placed separately from the tube wall.” **Experimental Thermal and Fluid Science**, vol 41, 2012. pp 51-58.
- [20] M.M.K. Bhuiya, M.S.U. Chowdhury, M. Saha and M.T. Islam “Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape inserts.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, vol. 43, 2013. pp 49-57.

- [21] S. Eiamsa-ard, P. Somkleang, C. Nuntadusit and C. Thianpong “Heat transfer enhancement in tube by inserting uniform/non-uniform twisted-tapes with alternate axes: Effect of rotated-axis length.” **Applied Thermal Engineering**, vol. 54, 2013. pp 289-309.
- [22] วิฑูรย์ ชิงถ้วทอง. 2551. “การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนเป็น Coiled-wire และใบบิด.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [23] อีร์พัณณ์ ชมพูคำ. “เทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในท่อกลมด้วยแผ่นใบบิด” บทความวิชาการ วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ปีที่ 6. ฉบับที่ 2. 2556. หน้า 85 – 100.
- [24] P. Promvong, N. Koolnapadol, M. Pimsarn and C. Thianpong. “Thermal performance enhancement in a tube fitted with inclined vortex rings.” **Applied Thermal Engineering**, vol. 62, 2014. pp 285-292.
- [25] S. Chokphoephun, M. Pimsarn, C. Thianpong and P. Promvong. “Heat transfer augmentation in a circular tube with winglet vortex generators.” **Chinese Journal of Chemical Engineering**, vol. 23, 2015. pp 605-614.
- [26] S. Skullong, P. Promvong, C. Thianpong and M. Pimsarn. “Heat transfer and turbulent flow friction in a round tube with staggered-winglet perforated-tapes.” **International Journal of Heat and Mass Transfer**, vol. 95, 2016. pp 230–242.
- [27] P. Promvong, W. Changcharoen, S. Kwankaomeng and Chinaruk Thianpong. “Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs.” **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 38, 2016. pp 1392–1399.
- [28] W. Chingtuaythong, C. Prasopsuk and P. Promvong. 2014. “A Study of Heat Transfer Enhancement by using Triangular V-ribs in Round Tube” International Conference on Mechanical Engineering.
- [29] S. Suwannapan, S. Chokphoemphun, P. Hoonpong and P. Promvong. 2015. “Thermal Performance Enhancement in a Heat Exchanger Square-Duct with V-Shaped Fins” International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being. pp. 134 – 140.
- [30] ชโยดม หินธาว์, นรินทร์ กุลนภาค, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ ณัฏวิภา เจียรระโนวชีระ. “คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่ใบบิดที่ติดครีบริบรูปตัววี” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. 2557. หน้า 1472-1479.
- [31] สุริยา โชคเพิ่มพูน, พงษ์เจต พรหมวงศ์, ชินรัชย์ เขียรพงษ์, สมิต์ เอี่ยมสะอาด และ สมพล สกุลหลง. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบริบวงขวาง” งานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14, 2556. หน้า 584 – 590.

- [32] อำนาจ บุญลอย, จเร วงษ์ผึ้ง, วิฑาดา เจษฎารัตนชัย และ พงษ์เจต พรหมวงค์. “การศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งครีบบางเอียงมุม 30° ” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27.
- [33] สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์ และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2555. “การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีแผ่นกั้นตัววีเอียงทำมุม 45° องศา.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26.
- [34] วิฑาดา เจษฎารัตนชัย, อำนาจ บุญลอย, ดำริห์ จันทร์แสงสุก และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2555. “การศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติสำหรับการไหลราบเรียบความดันตกคร่อมและการ ถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มครีบบตัววีที่ระยะพิตต์ต่าง ๆ” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. หน้า 776 – 784.
- [35] สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์ และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2554. “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในช่องขนานที่มีหลายแผ่นกั้นรูปตัววี”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25.
- [36] ประกายดาว เงินวัน, วิฑาดา เจษฎารัตนชัย และ พงษ์เจต พรหมวงค์. “การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อกลมที่สอดใส่แหวนรูปกรวย Conical rings” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. 2557. หน้า 799 – 806.
- [37] ยุทธนา พลอยฉาย. 2554. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยครีบบางทำมุม” วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. ปีที่ 3. ฉบับที่ 2. หน้า 15 – 24.
- [38] สมบัติ ทำนา และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2559. “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียง 20° องศา” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปีที่ 23. ฉบับที่ 1. หน้า 30 – 39.
- [39] วิฑุรีย์ ชิงถ้วยทอง, โชติวุฒิ ประสพสุข และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2557. “การศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมด้วยการใส่ครีบบรูปตัววี” หน้า 1512-1516.
- [40] วีรพัฒน์ ชมพุก้า และ พงเจต พรหมวงค์. “ผลของการจัดวางครีบบต่อการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นติดครีบบตัววีคู่” การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9. หน้า 87 – 96.
- [41] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, อำนาจ คณะรัฐ และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2554. “พฤติกรรมความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนแบบช่องขนานที่มีการติดตั้งครีบบสี่เหลี่ยมรูปตัววี”. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 535 – 540.
- [42] วิษณุ อำไพจิตร, จำลอง ปราบแก้ว และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2551. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมโดยใช้ครีบบและปีก”. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. หน้า 335 – 340.
- [43] ไพฑุรีย์ สุขเต็ม และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2553. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบรูปตัววี” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. หน้า 20 – 27.
- [44] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สมพล สุกุลหลง และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2555. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบบเอียงทำมุม” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. หน้า 366 – 373.

- [45] วิชาดา เจษฎารัตนชัย, ดำริห์ จันทร์แสงสุข และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2552. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อจตุรัสโดยการสอดใส่แผ่นติดครีบบัดบิลลี่” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23.
- [46] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, พงษ์เจต พรหมวงค์ และ สมพล สุกุลหลง. “การเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจตุรัสด้วยการใส่ครีบบาง” การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9. หน้า 150 – 156.
- [47] สิริสวัสดิ์ จีงเจริญนิรชร, นรา บุรีพันธ์, สุรียา โชคเพิ่มพูน และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2557. “ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ใบปิดเกลียวเว้นช่วง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. หน้า 1505 – 1510.
- [48] ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, พงษ์เจต พรหมวงค์, ณรงค์ศักดิ์ อาคมานนท์ และ สมพล สุกุลหลง. 2557. “การศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบจตุรัสด้วยการใส่ครีบบาง” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. หน้า 1535 – 1540.
- [49] ศรีณย์ พิพัฒน์ศาสตร์ และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2549. “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนชนิดการไหลแบบราบเรียบในช่องขนานที่มีครีบบาง” วิศวกรรมลาดกระบัง. ปีที่ 23. ฉบับที่ 4. หน้า 31 – 37.
- [50] สุรียา โชคเพิ่มพูน, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์, โชติวุฒิ ประสพสุข และ พงษ์เจต พรหมวงค์. 2558. “พฤติกรรมทางความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจตุรัสที่ติดตั้งปีกบางขวางแนวการไหล” วารสารเทปสตรี i-tech. ปีที่ 10. ฉบับที่ 13. หน้า 1 – 9.
- [51] Incropera, Frank, P. and David, P.D. 1996. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. John Wiley & Sons, New York, 419-461.
- [52] Cengel, Y.A. 1998. **Heat Transfer: A Practical Approach**. McGraw-Hill, New York, 349-394.
- [53] Webb, R. L. 1992. **Principles of Enhanced Heat Transfer**, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166-194.
- [54] ANSI/ASME, **Measurement uncertainty**, PTC 19, 1-1985. Part I, 1986
- [55] Webb, R. L. 1992. **Principles of Enhanced Heat Transfer**, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166-194.
- [56] พงษ์เจต พรหมวงค์. 2542. **การถ่ายเทความร้อน**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 167-252.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ [52]

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg K)	$\mu \times 10^7$ (N s/ m ³)	ν (m ² /s)	$k \times 10^6$ (W/m K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
100	3.25562	1.032	71.1	2.0	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.59	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	22.5	0.707
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.990	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	67.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728

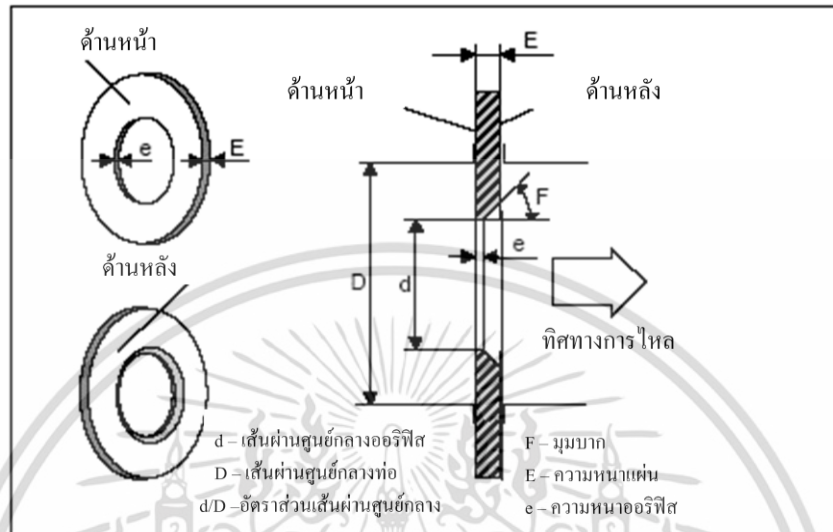
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

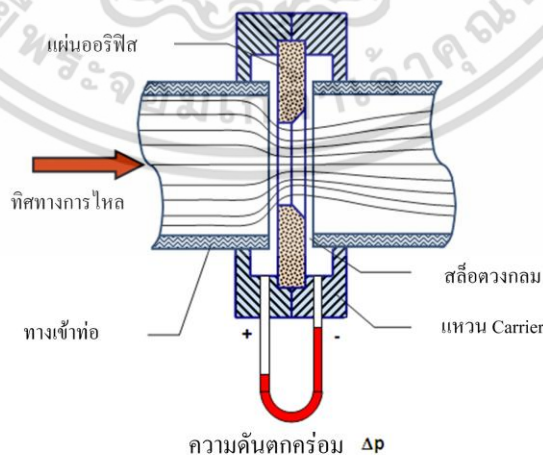
ทฤษฎีการออกแบบออริฟิสชนิดต่างๆ

ออริฟิสชนิดต่าง ๆ คล้ายคลึงกัน สามารถอธิบายด้วยกันได้ แต่ละชนิดแตกต่างกันที่ pressure tapping ซึ่ง orifice มาตรฐานกำหนดดังนี้ รูปร่างลักษณะ (description) ออริฟิส (orifice) ได้ แสดงหน้าตัดต่าง ๆ ดังรูปที่ ข-1



รูปที่ ข-1 Standard orifice plate

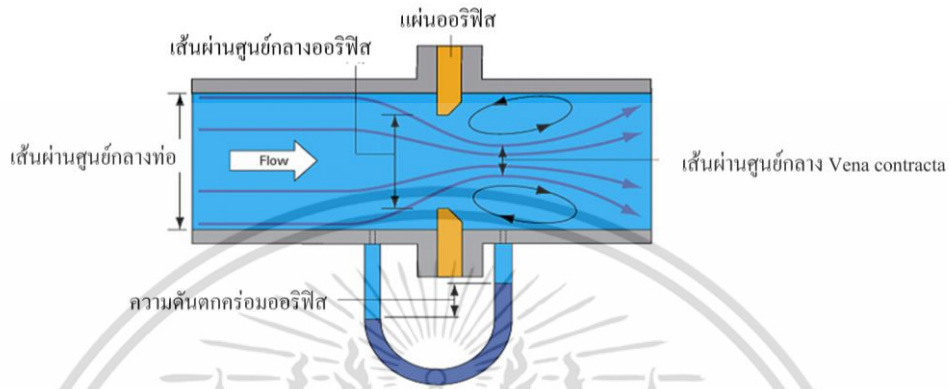
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อ เนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่าย ๆ ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่นอาจจะมีการสึกกร่อนได้ อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็ก ๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการ คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านล่างของกระแส ทำให้มี head loss ถาวรที่สูงมาก จุดวัดความดันสำหรับออริฟิสนั้น สามารถกำหนดตำแหน่งได้หลายตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ ข-2 เนื่องจากตำแหน่งของจุดวัดความดันมีอิทธิพลต่อการหาสัมประสิทธิ์การไหล



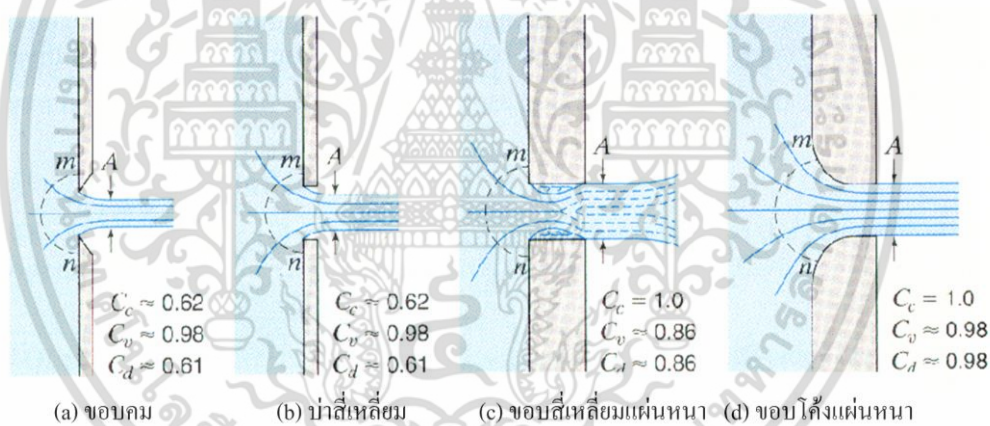
รูปที่ ข-2 โครงสร้างเชิงเรขาคณิตและจุดวัดความดันของออริฟิส [56]

สำหรับการวัดอัตราการไหลของของไหลภายในท่อ และจัดได้ว่าออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่เกิดขวางการไหลของพื้นที่หน้าตัด ให้ของไหลไหลผ่านออริฟิสมีขนาดน้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ที่มากกว่าและไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในรูปที่ ข-3 ดังนั้นเมื่อนำออร์ฟิสไปติดตั้งกับท่อ ซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตกคร่อมออร์ฟิส ซึ่งความดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือ ถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออร์ฟิสก็จะมีค่าสูง และถ้าอัตราการไหลมีค่าต่ำ ความดันตกคร่อมออร์ฟิสก็จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออร์ฟิสจะถูกนำไปใช้ในการหาอัตราการไหลที่สภาวะ Steady state เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)



รูปที่ ข-3 การไหลผ่านแผ่นออร์ฟิส (Orifice) [56]



รูปที่ ข-4 ออร์ฟิสแบบต่างๆ [56]

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออร์ฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ดังนั้นการทดลองชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิสมาใช้ ออร์ฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังแสดงในรูปที่ ข-4 (a) หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ ข-4 (b) นั้นจะสัมพันธ์ลำน้ำที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็นการสัมพันธ์แบบเส้น ส่วนออร์ฟิสดังรูปที่ ข-4 (c) และ ข-4 (d) นั้นไม่ใช่เป็นออร์ฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำน้ำที่ไหลผ่านรูออร์ฟิสนั้น ถูกกระทบจากความหนาของแผ่นวัตถุ กับความหยาบของผิว และรัศมีของความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง

ข้อดีของออร์ฟิส คือ มีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ที่อาศัยหลักการวัดเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมในการวัดของไหล ที่มีเงื่อนไขแตกต่างอย่างมากมาย ของไหลเมื่อไหลผ่าน square-edged orifice ซึ่งเป็นออร์ฟิสที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ จะมีทิศทางการไหลเป็นไปดังรูป สมมุติว่าของไหลก่อนเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปะทะกับออริฟิส มีความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของท่อ (หน้าตัดวงกลม) เท่ากับ V_1 เมตรต่อวินาที ของไหลที่บริเวณด้านหลังของออริฟิส จะมีลักษณะเป็นลำของไหล ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำของไหลลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ $D/2$ เมตร ณ บริเวณจุดวัดความดันที่ 2 ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยที่สุด (Vena Contracta) ของ Jet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Jet จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ 2 ไปแล้ว จุดที่ 2 หรือเรียกว่าจุด Vena Contracta ถือได้ว่าเป็นจุดที่ของไหลที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงสุด หรือมีความดันสถิตยต่ำสุด (จากสมการของ Bernoulli)

สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลด้วยออริฟิสในการทดลองนี้ คือ ของไหลที่อยู่ภายในท่อไม่สามารถอัดตัวได้ ความเร็วของของไหลมีค่าคงที่ตลอดหน้าตัด (โดยไม่คิดบริเวณที่เรียกว่า บริเวณกระแสไหลวน) ของไหลไม่มีความหนืด และการไหลเกิดขึ้นแบบ Steady flow (อัตราการไหลมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับเวลา)

สมการ Bernoulli สามารถนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติในการไหลที่จุดใด ๆ ภายในท่อได้ โดยสมการ Bernoulli สำหรับจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ของการไหล แสดงในรูปที่ ข-3 สามารถคำนวณหาค่าอัตราการไหลเมื่อติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิส แสดงในสมการ (ข.1) [56]

$$Q_{ac} = C_d A_o \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\rho g \left[1 - \left(\frac{d_o}{D} \right)^4 \right]}} \quad (\text{ข.1})$$

- เมื่อ
- C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย (Discharge coefficient)
 - A_o คือ พื้นที่หน้าตัดรูออริฟิส (m^2)
 - P คือ ความดันสถิตยของของไหล (N/m^2)
 - ρ คือ น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, N/m^3)
 - d_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูออริฟิส
 - D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

การออกแบบออริฟิสร่วมกับมาโนมิเตอร์ชนิดท่อเอียงสำหรับวัดความเร็วอากาศ

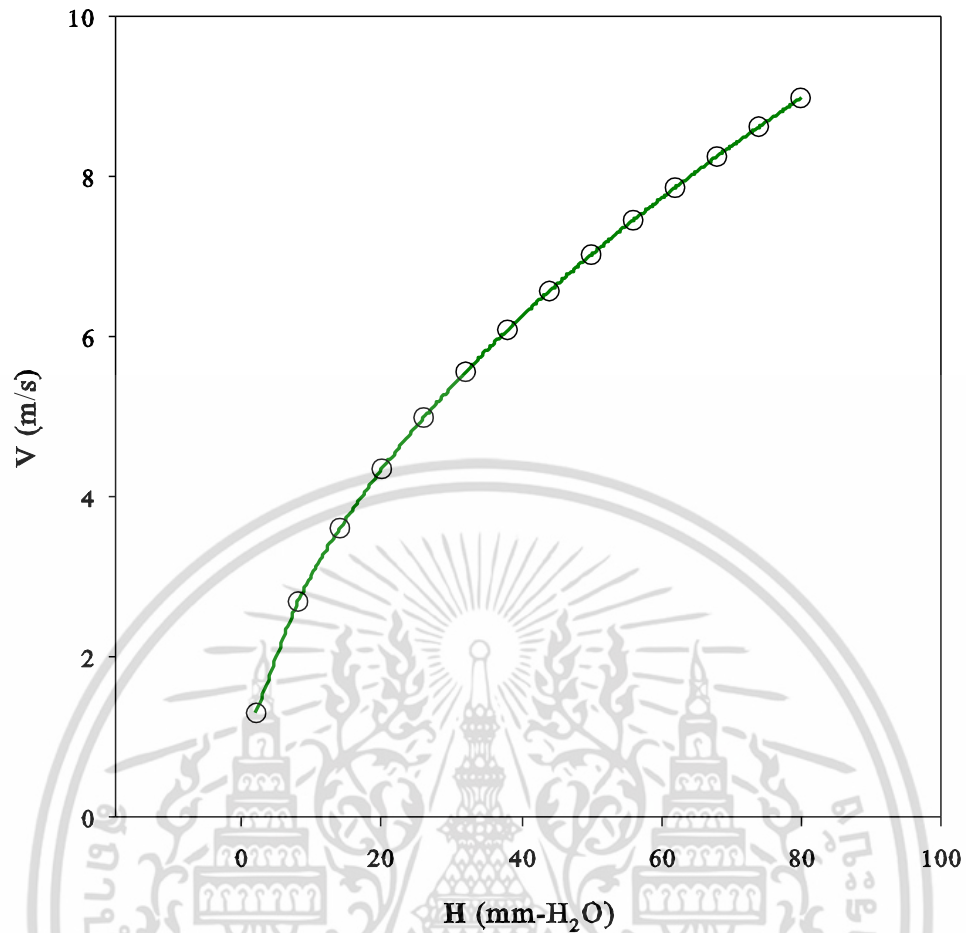
ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด เพื่อสร้างเป็นชุดอุปกรณ์วัดความเร็วอากาศ สำหรับใช้ทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลม โดยประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1. ชุดออริฟิสที่มีการออกแบบโดยทฤษฎีออริฟิส
2. มาโนมิเตอร์ชนิดเอียงขนาด 75 mm-H₂O
3. อุปกรณ์วัดความเร็วอากาศ

จากทดสอบความเร็วอากาศที่ต้องการทดลองที่ค่าเรย์โนลด์ 5000-25000 จากการคำนวณต้องใช้ความเร็วอยู่ในช่วง 1.5-9.0 m/s ดังแสดงในรูปที่ ข-5

$$V = 0.908H^{0.523}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-5 ผลการทดลองความเร็วอากาศกับอุปกรณ์ความเร็วชนิดใบพัดในช่วง 1.3-9.0 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ

1. Witoon Chingtuaythong, Pongjet Promvong, Chinaruk Thianpong and Monsak Pimsarn. 2016. "Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings." **Applied Thermal Engineering**, 110 (2017) : 1164-1171.
2. Narin Koolnapadol, Witoon Chingtuaythong Pongjet Promvong, and Sutapat Kwankaomeng. 2014. "Thermal Characteristics in a Tube Fitted with Inclined Vortex Rings." *Advanced Materials Research*, 931-932 : 1203-1207.
3. Witoon Chingtuaythong, Sompol Sullong, Sirisawat Juengaroennirachon and Pongjet Promvong. 2013. "Heat Transfer Study of Turbulent Flow in a Heat Exchanger Tube with 45° V-baffles." *The Journal of Interdisciplinary Networks: Special Issue on Interdisciplinary Research and Development in ASEAN Universities*, Vol. 2, Number 2, pp. 61-66.

ผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ

1. Witoon Chingtuaythong, Chotiwut Prasopsuk and Pongjet Promvong. 2014. "A Study of Heat Transfer Enhancement by Using Triangular V-ribs in Round Tube." **Thai Society of Mechanical Engineers. (TSME)**, 17-19 December 2014, The Empress, Chingmai, Thailand



Research Paper

Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings



Witoon Chingtuaythong, Pongjet Promvonge*, Chinaruk Thianpong, Monsak Pimsarn

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

HIGHLIGHTS

- A novel V-shaped ring turbulator is offered for augmenting heat transfer.
- Influence of V-ring parameters on thermal performance is experimentally examined.
- Optimum V-rings are reported and compared with published inclined rings.
- Correlations of Nusselt number and friction factor are offered.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 June 2016

Revised 24 August 2016

Accepted 5 September 2016

Available online 6 September 2016

Keywords:

Heat transfer

Friction factor

Thermal performance

V-ring

Vortex generator

ABSTRACT

This article presents the influence of V-shaped rings (or V-ring) placed in a uniform heat-fluxed tube on heat transfer and flow resistance characteristics. In the current experiment, the V-ring elements with attack angle of 30° are inserted into the tube with four relative ring-pitches ($R_p = P/D = 0.5, 1.0, 1.5$ and 2.0) and three ring blockage ratios ($R_b = e/D = 0.1, 0.15$ and 0.2). Air as the test fluid flows through the tube for Reynolds number of about 5000–25,000. The experimental results reveal that the V-ring can considerably enhance the heat transfer rate up to 5.8 times above the plain tube whereas the friction factor is up to 82 times. The increase in R_b leads to higher heat transfer and friction loss while the increment in R_p provides the reversing trend. The thermal enhancement factor of the V-ring is in the range of 1.36–1.63 where its maximum regarded as the optimum point is at $R_b = 0.1$ and $R_p = 1.0$. In comparison with other vortex-flow devices, the V-ring yields much higher thermal performance than the published inclined rings, wire-coils and twisted tapes. Nusselt number and friction factor correlations for the V-ring are also determined.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Heat transfer enhancement techniques have been widely utilized in many heat exchanger systems to make the systems more compact, to reduce overall their sizes and to reduce the pumping power required in such systems for saving of operating costs. For decades, several investigations have been made to examine the application of vortex-generators for augmenting the heat transfer rate in cooled/heated tubes fitted with different insert-types of vortex-generators. Twisted tapes/coiled wires/conical rings/vortex rings that belong to one key group of the vortex generators by inserting them into the tubes have been extensively employed in improvement of thermal systems. Many modified twisted-tapes introduced to improve thermal systems and found in the literature included regularly-spaced twisted tape elements [1]; short-length

twisted tapes [2]; helically twisted tapes [3]; triangular, rectangular and trapezoidal twisted-tapes with alternate-axes [4]; square-cut twisted tape [5]; V-cut twisted tape [6]; and perforated, notched and jagged twisted-tapes [7]. All the modified twisted tapes mentioned above provide higher thermal performance of the tube around 10–35% above the typical twisted tape.

Coiled wires have also been extensively employed in various tubular heat exchanger systems. Promvonge [8] studied the influence of square and circular cross-sections of coiled wires on heat transfer and flow resistance in a tube having a uniform wall heat-flux and Promvonge [9] also examined the effect of a combination of coiled wire and twisted tape. Gunes et al. [10] also investigated the influence of triangular-cross-sectional coiled wire on heat transfer and pressure drop in a tube while Ozceyhan [11] reported the influence of wire coils with different pitches on thermal stress and conjugating heat transfer. Yakut and Sahin [12] examined the heat transfer and friction loss characteristics by inserting coiled-wire turbulators in a circular tube.

* Corresponding author.

E-mail address: kpongjet@gmail.com (P. Promvonge).

Nomenclature

A	surface area of heat transfer, m^{-2}	TEF	thermal enhancement factor
$C_{p,a}$	specific heat capacity of air, $kJ\ kg^{-1}\ K^{-1}$	u	average axial velocity, $m\ s^{-1}$
D	diameter of test tube, m	VR	vortex ring
e	V-ring width, m		
f	friction factor		
h	average heat transfer coefficient, $W\ m^{-2}\ K^{-1}$	<i>Greek letters</i>	
k	thermal conductivity, $W\ m^{-1}\ K^{-1}$	α	half-angle of V-tip or attack angle, $^{\circ}$
L	tube length, m	ρ	density, $kg\ m^{-3}$
M	mass airflow rate, $kg\ s^{-1}$	ν	kinematic viscosity, $N\ s\ m^{-2}$
Nu	average Nusselt number		
P	V-ring pitch length, m	<i>Subscripts</i>	
Pr	Prandtl number	a	air
ΔP	pressure drop across test tube, Pa	b	bulk
q	heat transfer rate, W	0	plain or smooth tube
\dot{Q}	volumetric flow rate, $m^3\ s^{-1}$	conv	convection
Re	Reynolds number	in	inlet
R_B	blockage ratio of V-ring ($=e/D$)	out	outlet
R_P	relative V-ring pitch ($=P/D$)	pp	pumping power
T	temperature, K	r	ring
\bar{T}	average temperature, K	w	wall

For conical rings, Promvonge [13] reported the influence of three conical ring geometries (diverging conical ring, converging/reversed conical ring and converging-diverging conical ring) on augmenting heat transfer in a round tube. Meanwhile, the effect of a combination of conical-ring and twisted tape on thermal performance behaviors was also examined by Promvonge and Eiamsa-ard [14]. Kongkaiatpaiboon et al. [15] presented an effect of perforated conical-rings on thermal behaviors in a tubular heat exchanger. Eiamsa-ard and Promvonge [16] studied heat transfer behaviors in a round tube with diamond-shaped turbulators whereas Promvonge and Eiamsa-ard [17] investigated turbulent flow and heat transfer characteristics in a uniform heat-fluxed tube fitted with conical-nozzle turbulators and snail-type vortex generator placed at the entry.

For circular rings, Kumar et al. [18] studied experimentally the turbulent convection heat transfer in a heat exchanger tube with solid hollow circular disk inserts. Kongkaiatpaiboon et al. [19] reported the heat transfer and flow friction characteristics in a tube with circular-ring turbulators and observed that the transverse or 90° ring insert with higher diameter ratio and smaller pitch ratio provided the highest thermal performance. Promvonge et al. [20] investigated thermal behaviors in a tube fitted with 30° inclined vortex rings and found that the rings provided higher thermal performance than the twisted-tape, coiled wires and 90° rings. Promvonge et al. [21] examined numerically the heat transfer characteristics in a tube fitted with angled rings using Al_2O_3 water nanofluid and found that the performance was increased twice for using both the ring and the nanofluid.

According to the above literature, the twisted tape and the coil wire are found to be widely used for enhancing the heat transfer in tube heat exchangers. Although the twisted tape and the wire coil in modified types are rich in research information, their thermal performance factors are still limited, mostly around 1.0–1.4 at lower Reynolds number. Other insert devices such as circular/conical rings are not popular due to little available information which is not sufficient for design. In general, thermal performance (TEF) of the conical ring/transverse ring is quite low, less than unity due to higher pressure drop penalty while that of the inclined/angled ring is slightly higher than the coiled wire and twisted tape. That is a reason why this work is focused on improvement of the ring. In the open literature, the maximum TEF for V-ribbed/V-baffled square channels generally is about 2.0 or above,

considerably higher than that for inserted tubes. The concept of the current work is originated by the utilization of inline V-baffles placed on two opposite walls in a square channel [22–25] being used as a guide to accommodate the inline V-baffles in a round tube. Therefore, a newly designed ring is developed in order to reduce pumping power and to yield an additional counter-rotating vortices by introducing a streamline-shaped/V-shaped ring (V-ring) and this novel device has never come across in the literature. Therefore, the goal of the present work is to test the novel device for enhancing the heat transfer rate in a circular tube. Air is used as the working fluid and enters the inserted tube for Reynolds number in a range of 5000–25,000.

2. Experimental set-up

2.1. Test section and V-ring geometry

The experimental apparatus as displayed in Fig. 1 is composed of (1) a 1.5 kW high speed blower, (2) a three-phase inverter, (3) an orifice flow-meter and an inclined manometer, (4) the test tube and test section, (5) a variac transformer, (6) the data logger and thermocouples sets and (7) a digital pressure manometer. The copper test tube with 50.8 mm in inner diameter (D) was 2 mm thick and 4000 mm long in which the length of test section (L) was 2000 mm. A flexible electrical wire was applied to wind around the tube in order to obtain a uniform wall heat-flux and then, a ceramic fiber insulation was used to wrap it round the outermost tube to minimize any heat loss to surroundings.

Detail of the test tube with 30° V-ring inserts is depicted in Fig. 2. All the V-ring elements used were made of a 2.0 mm thick acrylic strip. During the experiment, the V-rings with an attack angle (α) of 30° were mounted repeatedly in the test section by using two steel straight rods to connect the rings together. The V-rings were arranged for three ring widths, $e = 5.0, 7.5$ and 10 mm or in terms of ring blockage ratios, $R_B = e/D = 0.1, 0.15$ and 0.2 and four ring pitches, $P = 25, 50, 75$ and 100 mm in terms of ring-pitch ratio, $R_P = P/D = 0.5, 1.0, 1.5$ and 2.0, respectively.

2.2. Experimental procedure

During test run, inlet air produced by a 1.5 kW high pressure blower flowed through an orifice meter before entering the test

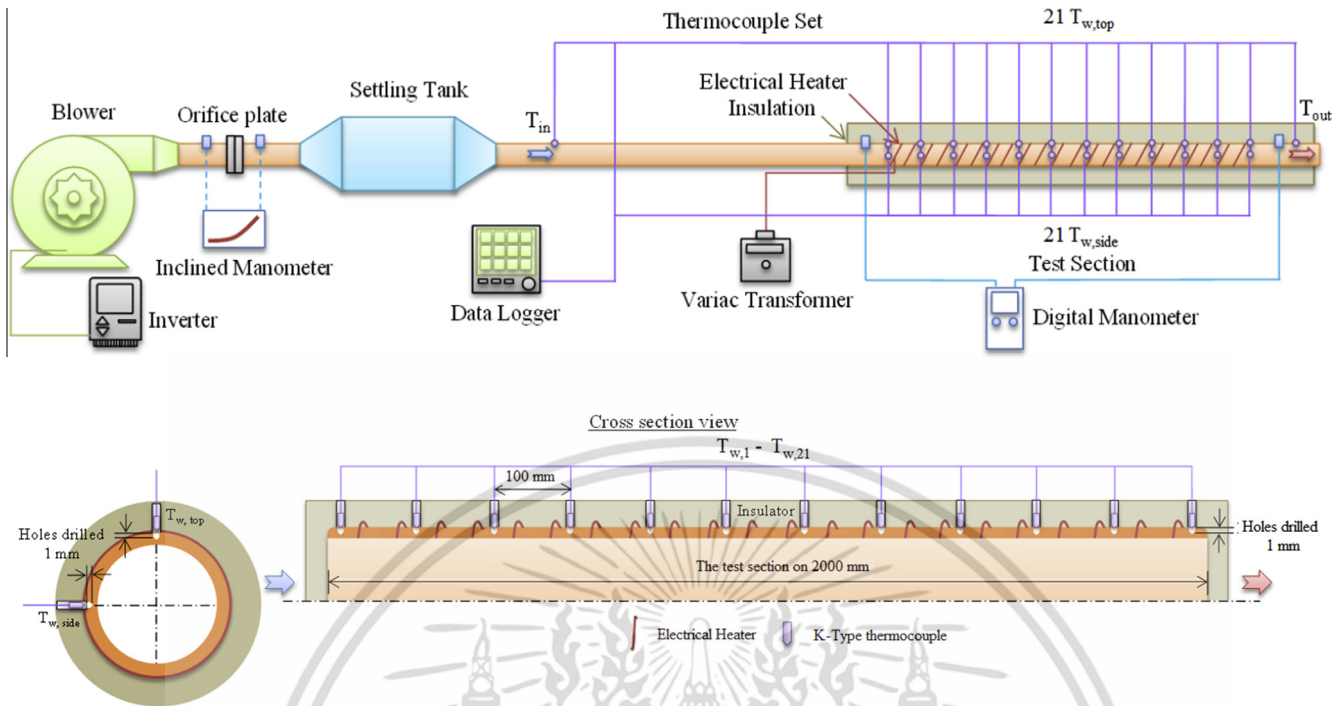


Fig. 1. Schematic diagrams of experimental apparatus.

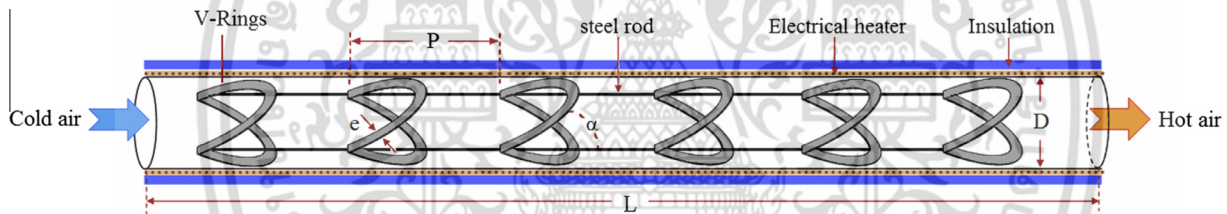


Fig. 2. Test section with V-shaped rings.

tube. The orifice meter was built under ASME standard [26] and was calibrated by a pre-calibrated turbine-type anemometer for measuring the airflow rate and flow velocity in the test tube. An inclined manometer with manometric fluid of specific gravity of 0.826 was employed for pressure drop measurement of the orifice meter while the airflow rates in the pipeline were varied by controlling the motor speed through an inverter. To get a uniform wall heat-flux along the test section, a variac transformer was used to control the output power of the electric heater. RTD pt-100 type thermocouples located around 30 mm upstream and 10 mm downstream of the test tube were used to measure the inlet and outlet air temperatures while 42 thermocouples, type-K positioned equally on the upper and the side walls of the test tube (see Fig. 1) were adopted to measure the surface/wall temperatures. When a steady state condition was reached, a data logger was employed to record all temperature values of the tube. However, the pressure drop measurement across the tube was made at a constant room temperature using a digital manometer. The airflow rate through the test tube was in the range of Reynolds number from 5000 to 25,000 for turbulent regime.

The estimation of the measurement uncertainty in the data was based on Ref. [27]. The highest uncertainties of dimensionless parameters, namely, Reynolds number, Nusselt number and friction factor were $\pm 5\%$, $\pm 7.6\%$ and $\pm 9.5\%$, respectively, where larger values of the uncertainty were found at lower Reynolds number. The measurement uncertainty of axial velocity and pressure was estimated within $\pm 5\%$ each, whereas that in temperature on the tube wall was by $\pm 0.5\%$.

3. Data reduction

The aim of the current experiment is to examine the heat transfer behaviors in a round tube fitted with V-rings. The independent parameters are Reynolds number (Re), blockage ratio (R_b) and pitch ratio (R_p). The Re is defined as

$$Re = uD/\nu \quad (1)$$

The friction factor (f) calculated by pressure drop (ΔP) across the test tube length (L) is written as

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

where u is mean velocity of air in the tube.

In this work, air flows steadily into the uniform heat-fluxed tube and thus, the heat transfer is assumed to be equal to the convection heat loss of the tube which is given as:

$$q_a = q_{conv} \quad (3)$$

in which

$$q_a = MC_{p,a}(T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

The convection heat transfer of the tube is written by

$$q_{conv} = hA(\bar{T}_w - T_b) \quad (5)$$

where

$$T_b = (T_{out} + T_{in})/2 \quad (6)$$

ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and

$$\bar{T}_w = \sum T_w / 42 \tag{7}$$

where T_w is the local wall temperature at the outer wall surface of the copper tube. The average wall temperature, \bar{T}_w is evaluated by averaging the 42 points of local wall temperatures located equally from the inlet to the exit of the tube. The average heat transfer coefficient (h) and Nusselt number (Nu) are estimated as:

$$h = MC_{p,a}(T_{out} - T_{in}) / A(\bar{T}_w - T_b) \tag{8}$$

and

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{9}$$

The overall bulk air temperature (T_b) is used as a reference temperature in determination of all thermo-physical properties of the air. To access the merit of the V-ring, a comparison between the inserted and smooth tubes is performed by comparing the heat transfer rate at equal pumping power. At equal pumping power,

$$(\dot{Q}\Delta P)_r = (\dot{Q}\Delta P)_0 \tag{10}$$

and then, from Eq. (10) the relationship between f and Re can be written as

$$(fRe^3)_r = (fRe^3)_0 \tag{11}$$

The thermal enhancement factor (TEF) is given by

$$TEF = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \tag{12}$$

where h and h_0 are the heat transfer coefficients for the ring-inserted tube and plain tube, respectively.

4. Results and discussion

4.1. Smooth tube verification

In the present study, the heat transfer and pressure loss in a plain tube are confirmed with the published correlations, verified in the form of Nusselt number (Nu) and friction factor (f) respectively. The current plain tube results are compared with data from Nu -correlation of Dittus-Boelter and f -correlation of Blasius as

given in Eqs. (13) and (15), [28] as displayed in Fig. 3. In the figure, a good agreement between the current results and the correlation's data is seen at deviation within $\pm 6\%$ each. The present results of Nu and f for the plain tube are correlated with Re and Pr as shown in Eqs. (14) and (16), respectively.

Nu -correlation for smooth tube:

Dittus and Boelter correlation for heating condition:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \tag{13}$$

Correlation of the present work:

$$Nu = 0.0595 Re^{0.6976} Pr^{0.4} \tag{14}$$

f -correlation for smooth tube:

Correlation of Blasius:

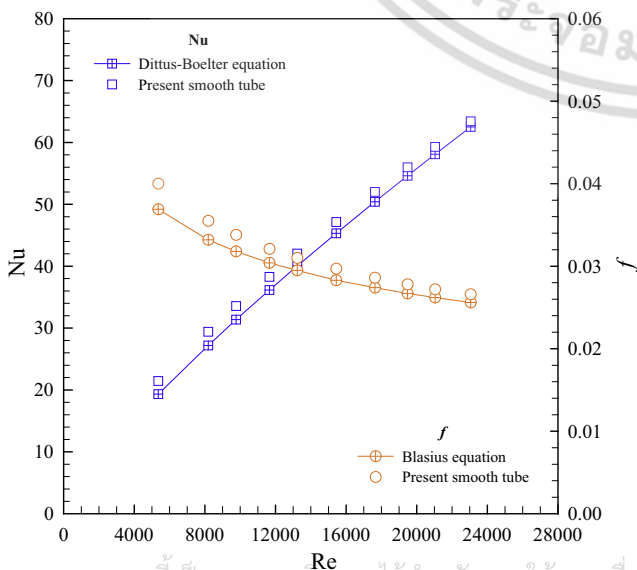
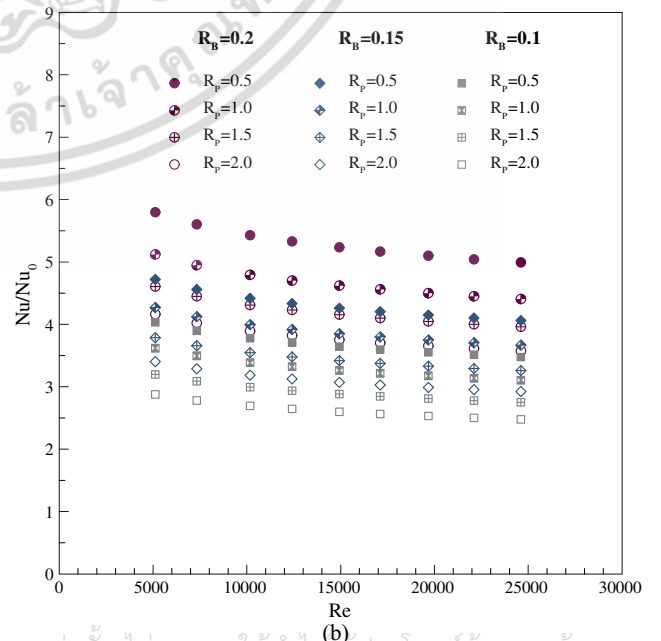
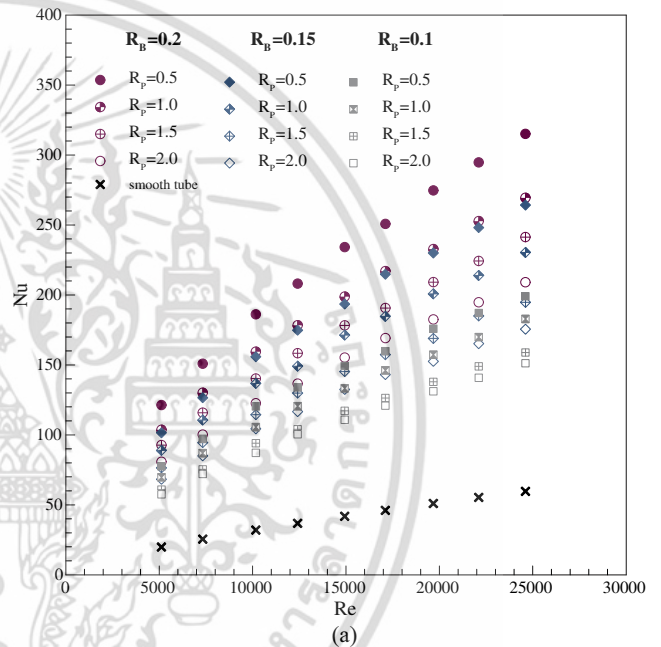


Fig. 3. Verification of Nu and f for smooth tube.

Fig. 4. Relation of (a) Nu and (b) Nu/Nu_0 with Re for V-rings.

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \tag{15}$$

Correlation of the present work:

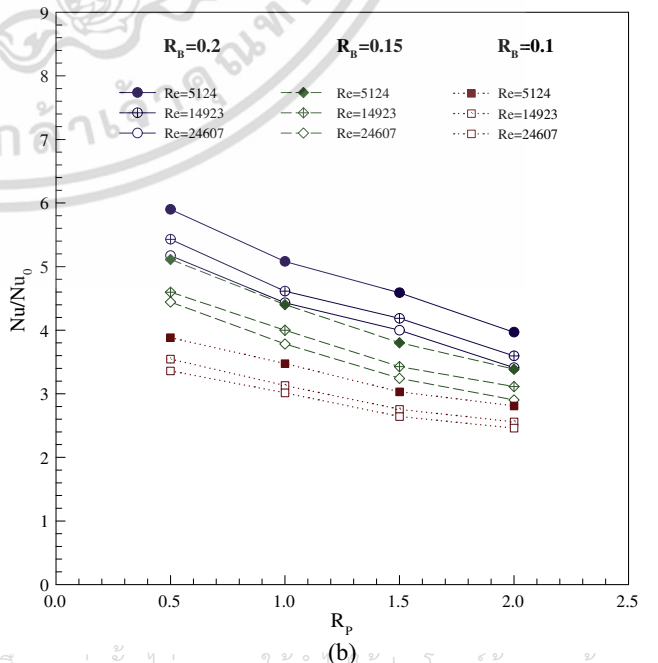
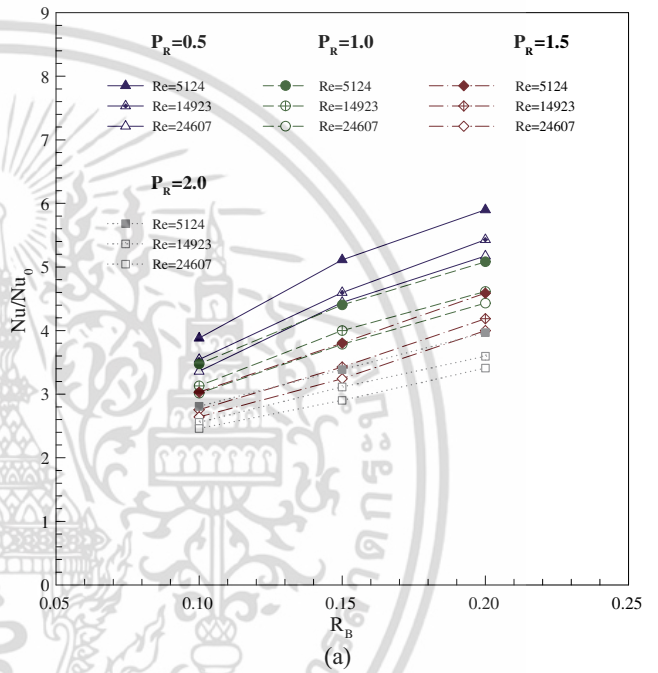
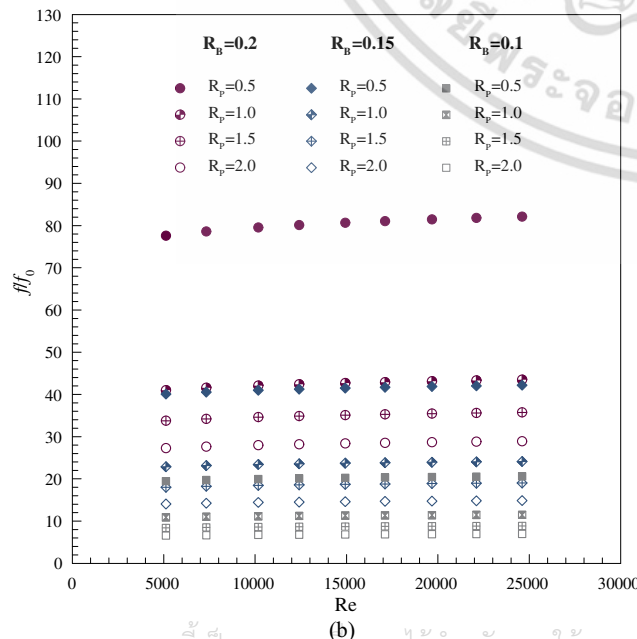
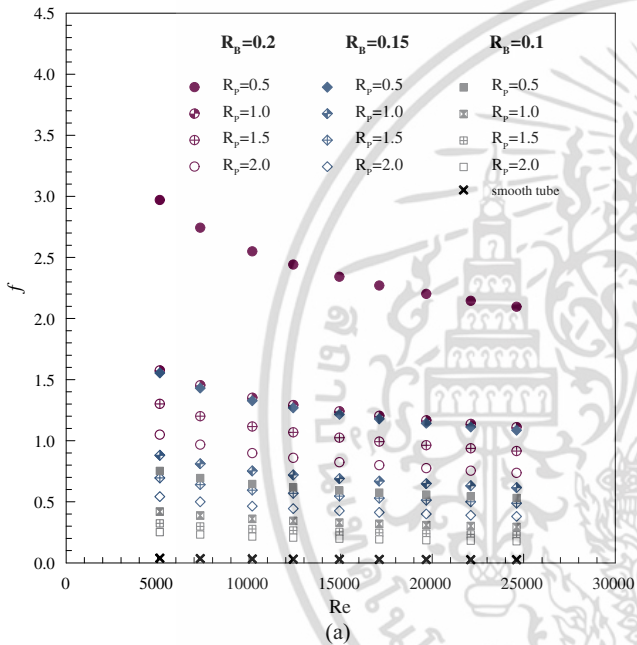
$$f = 0.359 Re^{-0.2608} \tag{16}$$

4.2. Effect of V-ring insert

The influence of the V-ring on heat transfer enhancement in the tube is presented in the form of Nu and Nu/Nu_0 that are plotted against Re as displayed in Fig. 4a and b, respectively. In Fig. 4a, Nu of the V-ring is considerably higher than that of the smooth tube and shows the increasing trend with the increment of Re for all cases. However, Nu/Nu_0 shows the gradual decrease with increasing Re , as observed in Fig. 4b and is increased by a factor

of 2.5–5.8 times, depending on Re , R_b and R_p . This means that the V-ring can yield a superior heat transfer rate above the smooth tube. This is because the presence of V-ring induces stronger flow mixing resulting in destruction of the boundary layer and create vortex-flows to prolong the residence time of flow. Both phenomena of the flow help promote the rise in turbulence intensity, thinning the boundary layer, and thus cause the increase in heat transfer rate.

The isothermal pressure drop of the V-ring presented in terms of friction factor (f) and friction factor ratio, f/f_0 , is plotted against Re as portrayed in Fig. 5a and b, respectively. It is noted in Fig. 5a that f of the V-ring is extremely higher than that of the smooth tube and tends to decrease with increasing Re . In Fig. 5b, f/f_0 is



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Fig. 5. Variation of (a) f and (b) f/f_0 with Re for V-rings. **Fig. 6.** Relation of Nu/Nu_0 with (a) R_b and (b) R_p for V-rings.

found to slightly increase or be nearly free from the rise of Re and is in a range of 6.6–82.1 times, depending on Re , R_B and R_P . It is interesting to note that the mean ff/f_0 (≈ 80) for $R_P = 0.5$ and $R_B = 0.2$ is approximately twice higher than that (≈ 40) for $R_B = 0.15$ and $R_P = 0.5$ or for $R_B = 0.2$ and $R_P = 1$. This can be attributed to higher flow blockage from using larger R_B apart from the dissipation of dynamic pressure of the fluid due to larger surface area. Thus, the V-ring with $R_P = 0.5$ and $R_B = 0.2$ should be avoided.

4.3. Effect of R_B and R_P

The effect of R_B and R_P for the V-ring on heat transfer augmentation is exhibited in Fig. 6a and b, respectively. In the figure, Nu/Nu_0 is found to increase with increasing R_B but with reducing R_P due to stronger turbulence intensity imparted to the flow

among the V-rings. The quantitative results show that the mean Nu/Nu_0 for $R_P = 0.5$ is about 3.8, 4.5 and 5.5 times at $R_B = 0.1, 0.15$ and 0.2 and also, that for $R_B = 0.2$ is around 3.9, 4.3, 4.8 and 5.4 times at $R_P = 2, 1.5, 1$ and 0.5 , respectively. This suggests that the use of larger R_B and smaller R_P results in a substantial increase in the heat transfer. However, at this condition, extremely higher friction loss is also accompanied as mentioned earlier in Section 4.2.

Fig. 7a and b depicts the variation of ff/f_0 with R_B and R_P , respectively. It is observed that in general, the ff/f_0 increases with increasing R_B but shows the opposite trend with the rise of R_P . For example, with increasing R_B , ff/f_0 has the steep increase for $R_P = 0.5$ while it has the gradual increment for $R_P = 2.0$. Also, with increasing R_P , ff/f_0 shows the gradual reduction for $R_B = 0.1$ but the rapid decrease for $R_B = 0.2$. The mean ff/f_0 values for $R_P = 0.5$ are about 20.2, 41.1 and 79.6 times at $R_B = 0.1, 0.15$ and 0.2 while those for $R_B = 0.2$ are around 28.1, 34.9, 42.3 and 79.8 times at $R_P = 2, 1.5, 1$ and 0.5 , respectively. This implies that the use of larger R_B should be avoided for using small R_P and therefore, the V-ring with $R_B = 0.2$ and $R_P = 0.5$ in the present work should not be suggested. It is interesting to note that at $R_B = 0.1$, the change of ff/f_0 with R_P is quite small, indicating that the change of R_P is not much sensitive to friction factor for the case of smaller R_B .

4.4. Performance assessment

The assessment on potential of the V-ring for real applications is made in the form of thermal enhancement factor (TEF) plotted against Re as exhibited in Fig. 8. The TEF is defined by data from the measured Nu and f values of the V-ring divided by data of those from the smooth tube at equal pumping power as per Eq. (12). In the figure, TEF shows the decreasing trend with increasing Re for all cases of V-rings and its maximum value is 1.63 at $R_B = 0.1$ and $R_P = 1.0$. TEF values at $R_P = 1.0$ are approximately 1.38–1.63, 1.27–1.5 and 1.25–1.49 for $R_B = 0.1, 0.15$ and 0.2 , respectively. However, at $R_B = 0.1$, the maximum TEF of 1.63 is found at $R_P = 1.0$, not at $R_P = 0.5$, indicating that larger R_B should be used with larger R_P . Therefore, to obtain higher thermal performance using small value of R_B and R_P is being suggested. The result mentioned above suggests that the V-ring provides considerably higher

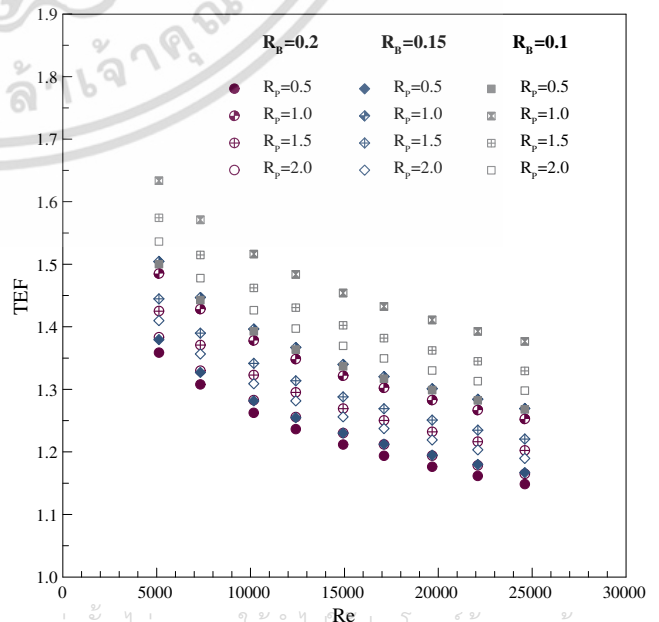
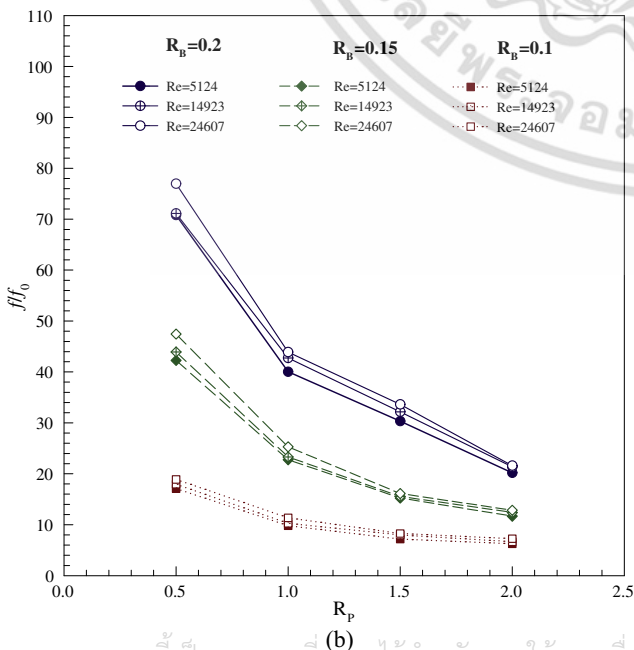
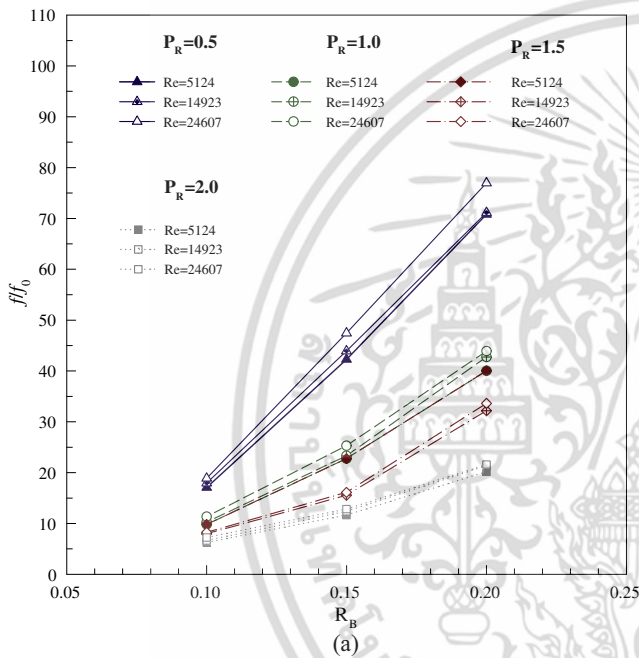


Fig. 7. Variation of ff/f_0 with (a) R_B and (b) R_P for V-rings.

Fig. 8. Relationship of TEF with Re for V-rings.

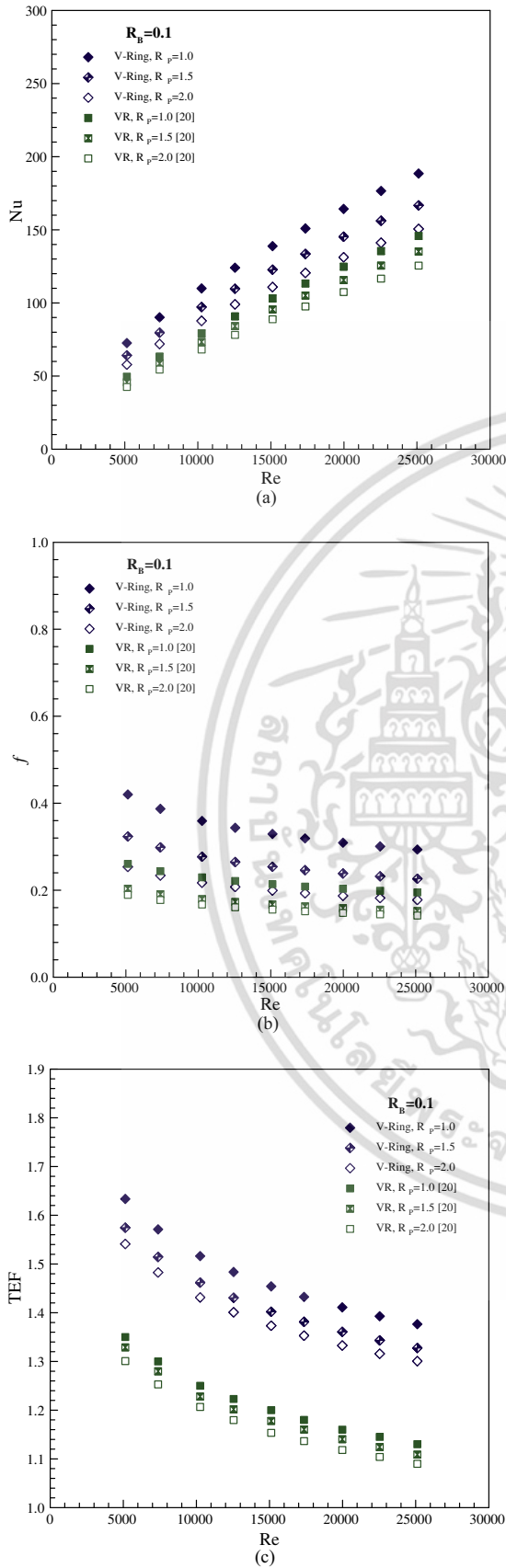


Fig. 9. Comparison of (a) Nu , (b) f and (c) TEF with Re for V-ring and inclined ring [20].

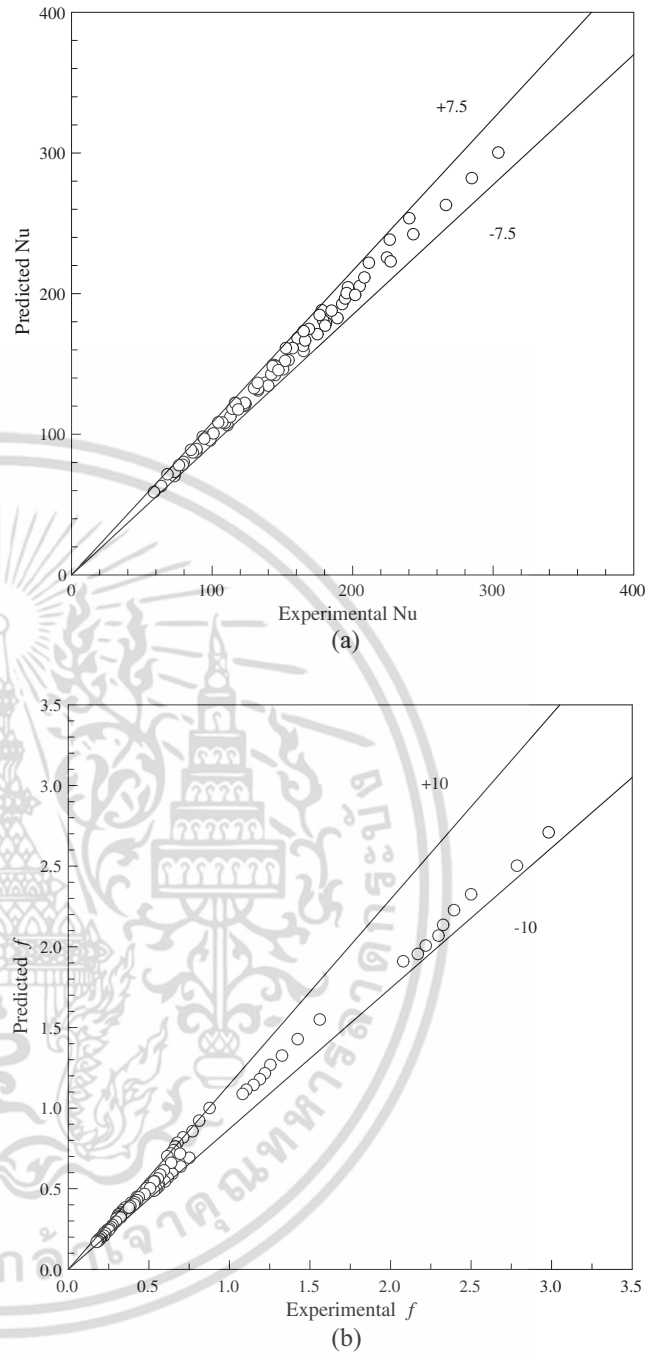


Fig. 10. Comparison of predicted (a) Nu and (b) f with measured data of V-rings.

thermal performance than that of the other rings [19,20], twisted tapes [1–7] or coiled wires [8–12].

4.5. Comparison with 30° inclined rings

For comparison purpose, the results of the 30° inclined vortex ring (VR) was taken from Ref. [20] in which the optimum thermal performance for all R_p was at $B_R = 0.1$. Therefore, thermal performance of both the V-ring and the inclined vortex ring at $B_R = 0.1$ is examined by comparing their results of Nu , f and TEF versus Re , as depicted in Fig. 9a, b and c, respectively. As can be seen in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the figure, Nu and f values from the V-ring are considerably higher than those from the VR and they display the downtrend with the rise of R_p for both the rings. The Nu and f values of the V-ring at $R_p = 1, 1.5$ and 2 are, respectively, about 22.6–31.9%, 18.9–28.6% and 16.6–26.4%; and 1.5–1.61, 1.49–1.59 and 1.25–1.34 times higher than those of the VR.

A TEF comparison between the VR and the V-ring is displayed in Fig. 9c. It is worth noting that TEF values for both the rings are higher than unity and show the decreasing tendency with increasing Re and R_p . TEF values of the V-ring at $R_p = 1, 1.5$ and 2 are, respectively, about 17.3–17.9%, 15.5–16.5% and 15.5–16.2% higher than those of the VR. This means that the V-ring provides the best choice and is the promising enhancement device for real practical use.

The empirical correlations for Nu and f of the 30° V-rings in the current work are correlated as given below. The Nu and f correlations are the function of Re , Prandtl number (Pr), R_B and R_p while f is independent of Pr . These correlations are valid for R_B in a range of 0.1–0.2, R_p ranging from 0.5 to 2.0, $\alpha = 30^\circ$ and Re from 5000 to 25,000.

Nusselt number for 30° V-rings;

$$Nu = 2.132Re^{0.603}Pr^{0.4}(R_B)^{0.515}(R_p + 1)^{-0.477} \quad (17)$$

Friction factor for 30° V-rings;

$$f = 836.54Re^{-0.225}(R_B)^{1.984}(R_p + 1)^{-1.501} \quad (18)$$

The Nu and f plots of the 30° V-Ring, predicted by Eqs. (17) and (18) versus measured data are, respectively, displayed in Fig. 10a and b. In the figure, most of the measured data fall within $\pm 7.5\%$ and $\pm 10\%$ of the predicted Nu and f , respectively.

5. Conclusion

An experimental investigation has been conducted to examine thermal behaviors in a constant heat-flux tube with 30° V-ring insert at various R_B and R_p values for turbulent airflow regime, $Re = 5000$ – $25,000$. The presence of V-ring provides a significant effect on the main flow direction resulting in the considerable increase in heat transfer and flow resistance. From the present results, the findings can be summarized as follows:

- The 30° V-ring at $R_B = 0.2$ and $R_p = 0.5$ gives the highest Nu/Nu_0 and ff/f_0 of about 6.6 and 82.1 times while the one at $R_B = 0.1$ and $R_p = 1$ yields the mean Nu/Nu_0 and ff/f_0 around 3.5 and 10.2 times, respectively.
- The Nu and f values increase with the rise in R_B but with decreasing R_p for the V-ring. At $R_B = 0.1$, the change of R_p is not effective to friction factor.
- The TEF shows the decreasing trend with increasing Re . The increase in R_p and R_B , excluding $R_p = 0.5$ leads to the reduction of TEF. The 30° V-ring with $R_B = 0.1$ and $R_p = 1$ provides the maximum TEF of about 1.63. The V-ring at $R_B = 0.2$ and $R_p = 0.5$ should be avoided.
- Nu and f correlations are developed for the V-rings investigated, for $5000 < Re < 25,000$.

Acknowledgement

The financial support of this research by the Higher Education Research Promotion and National Research University, Office of the Higher Education Commission, Thailand, is gratefully acknowledged.

References

- [1] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong, P. Promvong, Experimental investigation of heat transfer and flow friction in a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 33 (10) (2006) 1225–1233.
- [2] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong, P. Eiamsa-ard, P. Promvong, Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 36 (3) (2009) 365–371.
- [3] S. Eiamsa-ard, K. Yongsiri, K. Nanan, C. Thianpong, Heat transfer augmentation by helically twisted tapes as swirl and turbulence promoters, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 60 (2012) 42–48.
- [4] K. Wongcharee, S. Eiamsa-ard, Heat transfer enhancement by twisted tapes with alternate-axes and triangular, rectangular and trapezoidal wings, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 50 (2011) 211–219.
- [5] P. Murugesan, K. Mayilsamy, S. Suresh, Turbulent heat transfer and pressure drop in tube fitted with square-cut twisted tape, *Chin. J. Chem. Eng.* 18 (2010) 609–617.
- [6] P. Murugesan, K. Mayilsamy, S. Suresh, P.S.S. Srinivasan, Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 38 (2011) 329–334.
- [7] M. Rahimi, S.R. Shabanian, A.A. Alsairafi, Experimental and CFD studies on heat transfer and friction factor characteristics of a tube equipped with modified twisted tape inserts, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 48 (3) (2009) 762–770.
- [8] P. Promvong, Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, *Energy Convers. Manage.* 49 (5) (2008) 980–987.
- [9] P. Promvong, Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators, *Energy Convers. Manage.* 49 (11) (2008) 2949–2955.
- [10] S. Gunes, V. Ozceyhan, O. Buyukalaca, Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 34 (6) (2010) 684–691.
- [11] V. Ozceyhan, Conjugate heat transfer and thermal stress analysis of wire coil inserted tubes that are heated externally with uniform heat flux, *Energy Convers. Manage.* 46 (9–10) (2005) 1543–1559.
- [12] K. Yakut, B. Sahin, The effects of vortex characteristics on performance of coiled wire turbulators used for heat transfer augmentation, *Appl. Therm. Eng.* 24 (16) (2004) 2427–2438.
- [13] P. Promvong, Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts, *Energy Convers. Manage.* 49 (1) (2008) 8–15.
- [14] P. Promvong, S. Eiamsa-ard, Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 34 (7) (2007) 849–859.
- [15] V. Kongkaijai, K. Nanan, S. Eiamsa-ard, Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-rings, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 37 (2010) 560–567.
- [16] S. Eiamsa-ard, P. Promvong, Thermal characterization of turbulent tube flows over diamond-shaped elements in tandem, *Int. J. Therm. Sci.* 49 (6) (2010) 1051–1062.
- [17] P. Promvong, S. Eiamsa-ard, Heat transfer in a circular tube fitted with free-spacing snail entry and conical-nozzle turbulators, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 34 (7) (2007) 838–848.
- [18] A. Kumar, S. Chamoli, M. Kumar, Experimental investigation on thermal performance and fluid flow characteristics in heat exchanger tube with solid hollow circular disk inserts, *Appl. Therm. Eng.* 100 (2016) 227–236.
- [19] V. Kongkaijai, K. Nanan, S. Eiamsa-ard, Experimental investigation of convective heat transfer and pressure loss in a round tube fitted with circular-ring turbulators, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 37 (2010) 568–574.
- [20] P. Promvong, N. Koolnapadol, M. Pimsarn, C. Thianpong, Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings, *Appl. Therm. Eng.* 62 (1) (2014) 285–292.
- [21] P. Promvong, S. Sripattanapit, W. Jedsadaratanachai, Numerical simulation of Al_2O_3 -water nanofluid flow and heat transfer in a tube with angled rings, *Adv. Mater. Res.* 931–932 (2014) 1168–1172.
- [22] P. Promvong, S. Kwankaomeng, Periodic laminar flow and heat transfer in a channel with 45° staggered V-baffles, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 37 (2010) 841–849.
- [23] P. Promvong, W. Changcharoen, S. Kwankaomeng, C. Thianpong, Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 38 (10) (2011) 1392–1399.
- [24] P. Promvong, W. Jedsadaratanachai, S. Kwankaomeng, C. Thianpong, 3D simulation of laminar flow and heat transfer in V-baffled square channel, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 39 (2012) 85–93.
- [25] P. Promvong, Thermal performance in square-duct heat exchanger with quadruple V-finned twisted tapes, *Appl. Therm. Eng.* 91 (2015) 298–307.
- [26] ASME, Standard Measurement of fluid flow in pipes using orifice, nozzle and venturi, ASME MFC-3M-1984, United Engineering Center, 345 East 47th Street, New York, 1984, pp. 1–56.
- [27] ANSI/ASME, Measurement uncertainty, PTC 19, 1-1985, Part I, 1986.
- [28] F.P. Incropera, P.D. Dewitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine, *Foundations of Heat Transfer*, sixth ed., John-Wiley & Sons Inc, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal Characteristics in a Tube Fitted with Inclined Vortex Rings

Narin Koolnapadol¹, Witoon Chingtuaythong², Pongjet Promvonge^{2*}
and Sutapat Kwankaomeng²

¹Faculty of Industrial Technology, RajabhatRajanagarindraUniversity,
Chachoengsao, Thailand 24000

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

* Corresponding author, E-mail address: kppongje@kmitl.ac.th

Keywords: Vortex Ring, Vortex flow, Friction loss, Turbulent flow

Abstract. The paper presents an experimental study on the heat transfer, pressure loss and thermal performance characteristics in a round tube fitted repeatedly with inclined vortex ring (VR) under a uniform wall heat flux. Periodically VRs are inserted into the tube with a view to generating vortex flows that assist to increase the heat transfer rate of the tube. The airflow rate in terms of Reynolds number is ranging from 5000 to 25,000. Measurements are carried out for the VR with a single blockage ratio, $BR = e/D = 0.1$ and an attack angle, $\alpha = 20^\circ$, at four VR pitch ratios, $PR = P/D = 0.5, 1.0, 1.5$ and 2.0 . The variations of heat transfer and pressure loss are presented in the form of mean Nusselt number and friction factor respectively. The experimental results show that the use of the VRs leads to the considerable increase in heat transfer and friction factor values in comparison with the smooth tube. The VRs at $PR = 0.5$ provides the highest heat transfer and friction factor.

Introduction

A high performance heat transfer system is of great importance in many industrial applications. Therefore, the heat transfer enhancement techniques have been widely applied in heat exchanger systems, in order to improve the heat transfer coefficient [1–4]. Passive heat transfer augmentation is a method to enhance heat transfer without external power. Among the techniques used, insertion of twisted tape in a circular tube is one of the most effective approaches. The inserted twisted tape generates swirling flow and increases turbulence intensity which is a major influencing factor for heat transfer enhancement. In fact, using twisted tape increases both desirable heat transfer rate and undesirable friction loss (pressure drop). Promvonge [5] presents experimental study of the influence of conical-nozzle turbulator inserts on heat transfer and friction characteristics in a tube by placing the turbulators in the tube with two different types: diverging- and converging-nozzle arrangement with various pitch ratios, $PR = 2.0, 4.0,$ and 7.0 . Promvonge [6] also investigated the effects of wires with square cross section forming a coil used as a turbulator on the heat transfer and turbulent flow friction characteristics and compared the experimental results with the results obtained from circular cross sectioned wire. Promvonge [7] again reported the employ of wire coil in conjunction with twisted tape for heat transfer augmentation in a tube. Bharadwaj et al. [8] examined the heat transfer and pressure drop in a spirally grooved tube with twisted tapes for laminar to turbulent regions.

Apart from the above, there are other turbulator devices, such as baffles, ribs and vortex rings that have been applied in heat exchanger tubes. However, in these groups, there are very few compared to twisted-tapes and wire coils. Therefore, the main aim of the present work is to investigate the influence of the VR insert on heat transfer and flow friction in the tube heat exchangers to provide more additional information on VRs. The VR is a newly enhancement device invented and proposed for thermal performance improvement in a tube by a combination of the twisted-tape and the wire-coil merits.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Setup and Procedure

A general schematic diagram of the experimental apparatus is shown in Fig. 1. In the apparatus setting below, the copper test tube having inner diameter (D) of 50 mm and thickness of 2 mm was 4000 mm long included the test section length (L) of 2000 mm. The test tube was heated by continually winding flexible electrical wires providing a uniform heat-flux boundary condition. The outer surface of the test tube was well insulated to reduce convective heat loss to surroundings. The inlet bulk air from a 1.5 kW blower was directed through the orifice flow-meter and passed to the heat transfer test section in the turbulent region, Reynolds number from 5000 to 25,000. The airflow rate was measured by the orifice flow-meter, built according to ASME standard [9] and calibrated by using a hot-wire anemometer to measure flow velocities across the tube section. Manometric fluid was used in an inclined manometer with specific gravity of 0.826 to ensure reasonably accurate measurement of pressure drop. The volumetric airflow rates from the blower were adjusted by varying the motor speed through an inverter. The electrical output power of electric heater was controlled by a variac transformer. The inlet and outlet fluid temperatures in the tube were measured by RTD-type thermocouples while the surface temperatures (T_w) were measured by 56 K-type thermocouples located along the test section. All of the temperatures getting from the system were consistently recorded using a data logger. The pressure drop across the test section was measured using a digital manometer.

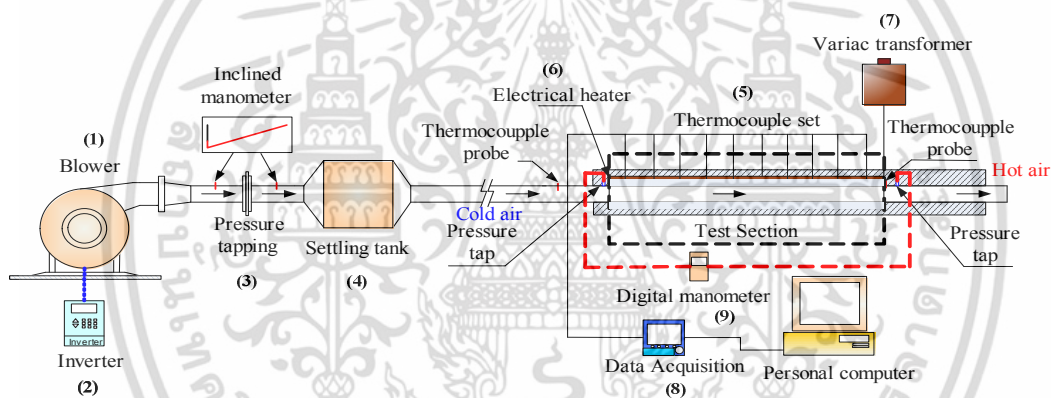


Figure 1. Schematic diagram of experimental setup.

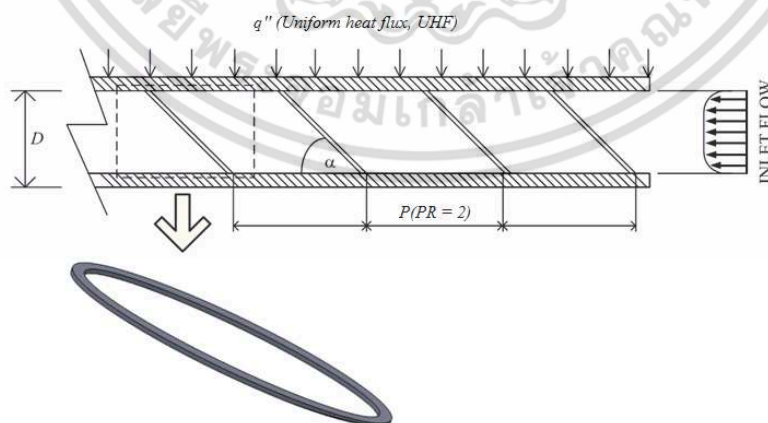


Figure 2. Test section with Vortex Ring.

Fig. 2 presents a detail of the Vortex Rings inserted repeatedly in a tube. The VR was made of 0.3 mm acrylic sheet with the attack angle of 20° . In the experiment, the VRs placed repeatedly at a single ring size ($BR=b/D = 0.1$) with four pitch ratios ($PR=P/D = 0.5, 1, 1.5$ and 2) as can be seen in Fig. 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Reduction

The Reynolds number (Re) based on tube diameter is given by

$$Re = UD/\nu \tag{1}$$

The friction factor (f) computed by pressure drop across the test section length (L) is

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

In the experiment, the steady state of the convective heat transfer rate is assumed to be equal to the heat loss from the test section. The average heat transfer coefficient (h) is estimated as

$$h = mC_{p,a}(T_o - T_i) / A(\tilde{T}_w - T_b) \tag{3}$$

The heat transfer is calculated from Nusselt number which can be obtained by

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{4}$$

From equal pumping power and the relationship between friction and Reynolds number, the thermal enhancement factor (TEF) can be written by

$$TEF = \frac{h_s}{h_p} \Big|_{pp} = \frac{Nu_s}{Nu_p} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu_s}{Nu_p} \right) \left(\frac{f_s}{f_p} \right)^{-1/3} \tag{5}$$

where h_p and h_s are the heat transfer coefficients for the plain tube and the inserted tube.

Results and Discussion

Effect on heat transfer

The relationship between the Nusselt number (Nu) and Reynolds number (Re) of the tube fitted with the VR is demonstrated in Figure 3(a). In the figure, the Nu increases with the increment of Re but with the decrease in the PR. The heat transfer of the tube with the VR is found to be much better than that of the smooth tube, because the VR insert can help to induce an interruption of velocity/thermal boundary layer development, to increase the fast fluid mixing between the central core and the near-wall flows and to cause the heat transfer enhancement by increasing turbulence intensity.

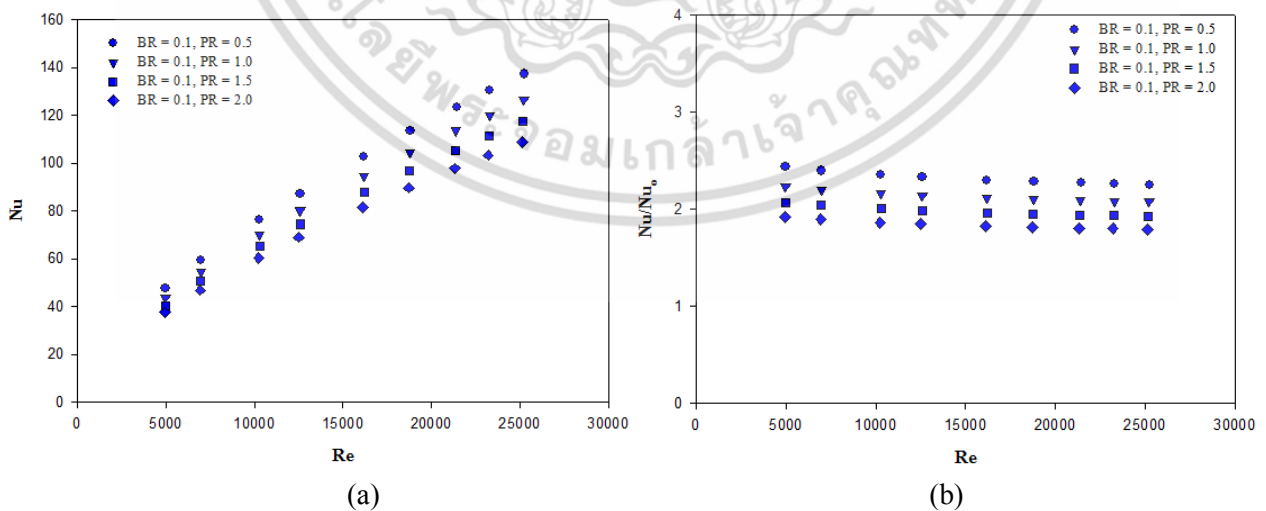


Figure 3. Variation of (a) Nu and (b) Nu/Nu_0 with Re for 20° VRs.

The Nusselt number ratio (Nu/Nu_0) defined as a ratio of augmented Nusselt number to Nusselt number of smooth tube plotted against the Re is displayed in Figure 3(b). In the figure, the Nu/Nu_0 tends to slightly decrease with the rise of Re for all cases studied. Under the present experimental

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

conditions, the increase in heat transfer for using the 20° VR is about 1.8-2.43 times higher than the smooth tube. The Nu/Nu_0 is reduced with the increase in PR value.

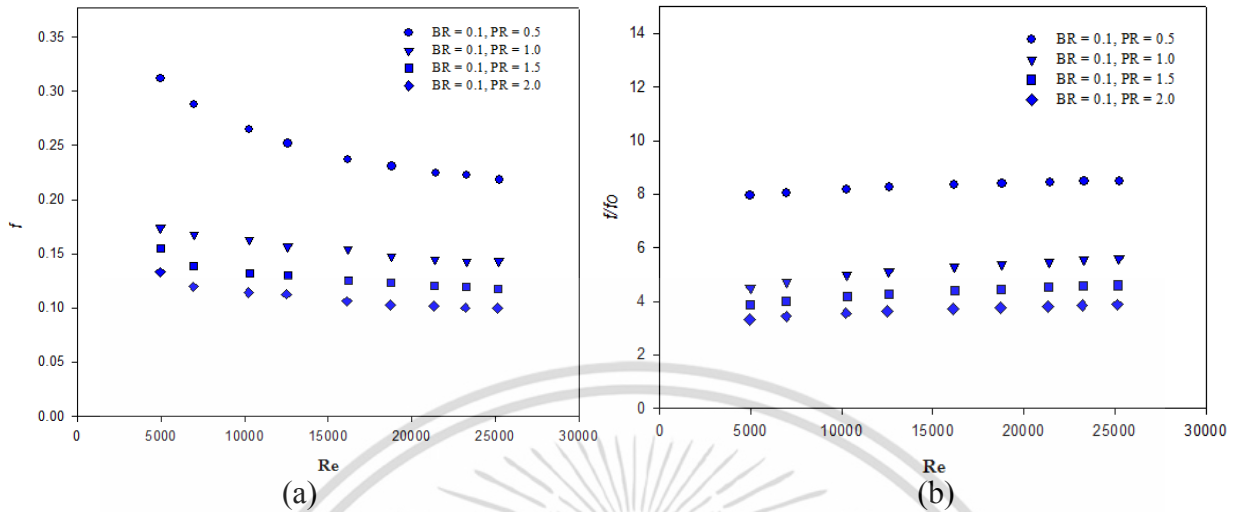


Figure 4. Variation of (a) f and (b) f/f_0 with Re for 20° VRs.

Effect on friction factor

Figure 4(a) shows the variation of the friction factor (f) with Re values obtained from the VR inserts. It is observed that the f shows a decrease trend with the rise in the Re and the PR. The VR gives rise to the f values higher than the smooth tube alone. This can be attributed to the flow blockage, higher surface area and the act caused by the reverse flow.

The variation of the friction factor ratio, f/f_0 with Re is presented in Fig. 4(b). It is seen that the f/f_0 tends to increase with the increment of Re values. The VR provides the higher f/f_0 at about 3.32-8.49 depending on Re and PR values.

Effect on thermal enhancement factor

Figure 5 shows the variation of the thermal enhancement factor (TEF) with Re values. It can be seen in the figure that the TEF values generally are above unity, indicating that the use of the VR is advantageous over the smooth tube. The TEF tends to decrease with the increment of Re and PR values. The maximum TEF for the 20° VR is found to be about 1.35 at PR = 1 and lower Re.

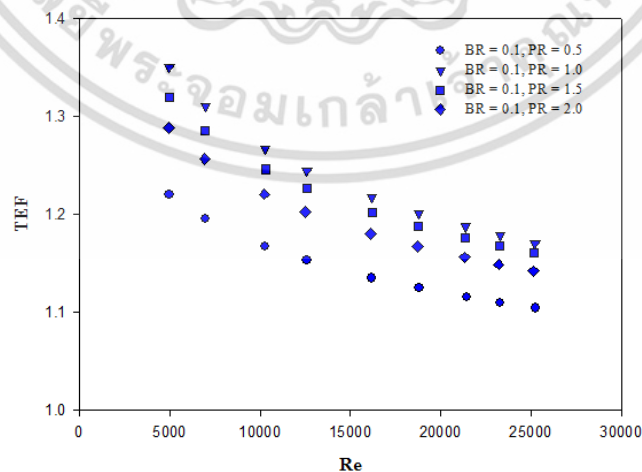


Figure 5. Variation of TEF with Re for 20° VR inserts.

Conclusion

An experimental study has been conducted to examine an influence of the 20° Vortex Ring inserted into a heating tube at several pitch ratios (PR = 0.5, 1, 1.5 and 2) on the Nu/Nu_0 , f/f_0 and TEF characteristics. The following conclusions can be drawn in the present investigation.

- The VR insert yields higher Nu rate up to 4.63, 4.10, 3.48 and 3.11 times above the plain tube, while gives ff_0 up to 8.49, 5.60, 4.60 and 3.87 times at PR = 0.5, 1, 1.5 and 2, respectively.
- The TEF is found to be higher than unity for all the VR inserts. The maximum TEF values for each the VR case are around 1.35, 1.31, 1.28 and 1.22 at PR= 1, 1.5, 2 and 0.5, respectively. The optimal VR at PR=1 is suggested for using BR =0.1.

Acknowledgment

The funding of this research is supported by the Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, Thailand.

References

- [1] R.L. Webb, Performance evaluation criteria for use of enhanced heat transfer surfaces in heat exchanger design, *Int. J. Heat Mass Transfer*. 24 (1981) 715-726
- [2] L. Wang, B. Sunden, Performance comparison of some tube inserts, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. 29 (2002) 45-56.
- [3] S.W. Chang, K.W. Yu, M.H. Lu, Heat transfer in tube fitted with single, twin and triple twisted tapes, *J. Exp. Heat Transfer*. 18 (2005) 279-294.
- [4] S.W. Chang, Y. Zheng, Enhanced heat transfer with swirl duct under rolling and pitching environment, *J. Ship Res*. 46 (2002) 149-166.
- [5] P. Promvong, S. Eiamsa-ard, Heat transfer and turbulent flow friction in a circular tube fitted with conical-nozzle turbulators, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. 34 (2007) 72-82.
- [6] P. Promvong, Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, *Energy Convers. Manage*. 49 (2008) 980-987.
- [7] P. Promvong, Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators, *Energy Conversion and Management*. 49 (2008) 2949-2955.
- [8] P. Bharadwaj, A.D. Khondge, A.W. Date, Heat transfer and pressure drop in a spirally grooved tube with twisted tape insert. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 52 (2009) 1938-1944.
- [9] ASME, Standard Measurement of fluid flow in pipes using orifice, nozzle and venturi. ASME MFC-3M-1984; United Engineering Center 345 East 47th Street, New York. (1984)1-56.

KKU International Engineering

10.4028/www.scientific.net/AMR.931-932

Thermal Characteristics in a Tube Fitted with Inclined Vortex Rings

10.4028/www.scientific.net/AMR.931-932.1203



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง
วัน เดือน ปีเกิด 29 พฤศจิกายน 2523
ที่อยู่ 13/32 ถนนคลองเทียน ตำบลชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี 76120
โทรศัพท์ 089-170-9912
ประวัติการศึกษา 2544 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
2550 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. การเผยแพร่ผลงานวิจัยระหว่างศึกษาปริญญาเอก

การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

1. Witoon Chingtuaythong, Pongjet Promvong, Chinaruk Thianpong and Monsak Pimsarn. 2016. "Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings." **Applied Thermal Engineering**, 110 (2017) : 1164-1171.
2. Narin Koolnapadol, Witoon Chingtuaythong Pongjet Promvong, and Sutapat Kwankaomeng. 2014. "Thermal Characteristics in a Tube Fitted with Inclined Vortex Rings." **Advanced Materials Research**, 931-932 : 1203-1207.
3. Witoon Chingtuaythong, Sompol Sullong, Sirisawat Juengaroennirachon and Pongjet Promvong. 2013. "Heat Transfer Study of Turbulent Flow in a Heat Exchanger Tube with 45° V-baffles." **The Journal of Interdisciplinary Networks: Special Issue on Interdisciplinary Research and Development in ASEAN Universities**, Vol. 2, Number 2, pp. 61-66.

การเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมระดับนานาชาติ

1. Witoon Chingtuaythong, Chotiwut Prasopsuk and Pongjet Promvong. 2014. "A Study of Heat Transfer Enhancement by Using Triangular V-ribs in Round Tube." **Thai Society of Mechanical Engineers. (TSME)**, 17-19 December 2014, The Empress, Chingmai, Thailand

2. ประสบการณ์การทำงาน

2548-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี
---------------	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้