

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานโดยใช้
แผ่นกั้นรูปตัววี

HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN A CHANNEL HEAT EXCHANGER WITH
V-BAFFLES

ประวัติน์ สูดแก้ว

PRAWAT SOODKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-030-011

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานโดยใช้
แผ่นกั้นรูปตัววี

HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN A CHANNEL HEAT EXCHANGER WITH
V-BAFFLES



T138743

ประวัตติ สูดแก้ว
PRAWAT SOODKAEW

เลขทะเบียน 138743
วันที่เดือนปี 16 ต.ค. 2558

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-030-011

HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN A CHANNEL HEAT EXCHANGER WITH
V-BAFFLES

PRAWAT SOODKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-EN-M-030-011






COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานโดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววี
Thesis Title Heat Transfer Enhancement in a Channel Heat Exchanger with V-Baffles
นักศึกษา นายประวัตติ สุดแก้ว
รหัสประจำตัว 53610602
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงค์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-030-011

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชินรัชช์	เจียรพงษ์	
ดร.วิฑาดา	เกษมรัตน์ชัย	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
ดร.เสริมศักดิ์	อยู่เย็น	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงค์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 เวลา 13.00-15.00 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 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานโดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววี
นักศึกษา	นายประวัติน สุคแก้ว
รหัสนักศึกษา	53610602
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นขนานด้วยการติดครีบริบรูปตัววีขวางทิศทางการไหลตลอดแนวยาวในช่วงทดสอบ การทดลองใช้ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ที่ทางเข้าส่วนทดสอบอยู่ในช่วง 4100 ถึง 22,000 ที่แผ่นด้านบนของช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (absorber plate) ให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ (constant heat flux) ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (W/H , AR) = 10, ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร ศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อน โดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) การทดลองนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 กรณีศึกษาดังต่อไปนี้

กรณีแรก ทำการศึกษากอิทธิพลของระยะพิทซ์และการจัดวาง ครีบบางรูปตัววีแยกตัว ซี่ตามทิศทางการไหล โดยมีมุมปะทะการไหล (α) = 45° มีอัตราส่วนระยะพิทซ์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=P/H=1.0, 1.5$ และ 2.0) ที่อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.15 เท่านั้น โดยวางครีบบางรูปตัววีแยกตัว 2 แบบ คือ วางครีบบที่ผิวบนด้านเดียว และวางที่ผิวบนและผิวล่างในช่องขนานทดสอบ โดยจัดวางแนวครีบบบน-ล่างตรงกัน การศึกษาพบว่า การติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียวและท่อนังเรียบ ตามลำดับ ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ของการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0$ ให้ค่าสูงสุด เท่ากับ 1.51 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุด

กรณีที่สอง ทำการศึกษากอิทธิพลของครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี 3 แบบคือแบบตัดปลายวีหน้า, ตัดปลายวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง โดยมีมุมปะทะการไหล 2 ค่า ($\alpha=45^\circ$ และ 30°) ทุกกรณีใช้ครีบบที่อัตราส่วนระยะพิทซ์ต่อความสูงช่องขนาน ($P/H=PR=1.0$) อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน ($e/H=0.15$) และวางครีบบที่ผิวบนด้านเดียวเท่านั้น การศึกษาพบว่า ครีบบางรูปตัววีตัดปลายมุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการติดครีบบรูปตัววีตัดปลายมุม 30° โดยครีบบแบบตัดปลายวีหน้าให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด ตามมาด้วยครีบบแบบตัดปลายวีหลัง และ ครีบบตัดปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ การติดครีบบตัดปลายวีหน้ามุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.49

กรณีที่สาม ทำการศึกษากอิทธิพลระยะพิทซ์ อิทธิพลความสูงครีบบ อิทธิพลมุมปะทะ และอิทธิพลการจัดวาง ของครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี โดยการจัดวางครีบบ 2 แบบ คือวางที่ผิวบนด้านเดียว และ วางที่ผิวบนและล่างให้แนวครีบบตรงกัน โดยมีมุมปะทะ 2 ค่า คือมุม 30° และมุม 45° ที่

อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน ($P/H=PR$) = 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 และอัตราส่วนความสูงครีบอกต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า (e/H) = 0.05, 0.10 และ 0.15 การศึกษาพบว่า การติดครีบอกที่ค่า PR น้อยให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าค่า PR มาก และครีบอกที่มีค่า e/H มากให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบอกที่มีค่า e/H น้อย การติดครีบอกที่ $PR=0.5$, $e/H=0.05$ และ $\alpha=30^\circ$ วางที่ผิวบนด้านเดียว ให้ค่า TEF สูงสุดของกรณีศึกษาี้เท่ากับ 1.85

กรณีสุดท้าย เป็นการศึกษาอิทธิพลระยะพิตช์ตามแนวขวางทิศทางการไหล ด้วยการติดครีบอกบางรูปตัววีที่มุมปะทะ $\alpha = 30^\circ$ โดยปรับอัตราส่วนระยะพิตช์ตามขวาง 3 ค่า ($PR_T=P_T/H=0.50$, 0.67 และ 1.0) ที่อัตราส่วนระยะพิตช์ตามแกนการไหลต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.5$ และ $e/H=0.05$ โดยวางครีบอกที่ผิวบนด้านเดียว ผลการศึกษาพบว่า ครีบอกที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่า TEF สูงสุดของกรณีศึกษาี้ เท่ากับ 1.98 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

Thesis Title	Heat Transfer Enhancement in a Channel Heat Exchanger with V-Baffles
Student	Mr. Prawat Soodkaew
Student ID.	53610602
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents an experimental study on heat transfer enhancement in a channel fitted with multiple V-shaped baffles. The experiments were conducted by varying the airflow rate for Reynolds number in the range of 4100 to 22,000 in the test section having a constant surface heat-flux only on the upper channel wall. The tested channel has an aspect ratio, $AR=10$ and height, $H=30\text{mm}$ in the present work. The effect of using V-baffles on heat transfer and pressure loss in terms of respective Nusselt number (Nu) and friction factor (f) is examined. The outlines of the present work are divided into four sections as follows:

Firstly, effects of pitch-ratios and arrangements of using discrete V-baffles at a single attack angle ($\alpha = 45^\circ$) on thermal characteristics in the test channel were studied. Three longitudinal pitch ratios ($PR=P/H=1.0, 1.5$ and 2.0) at a single relative height ratio ($e/H=0.15$) and two V-baffle arrangements: V-baffles mounted on the upper channel wall only and on the upper and lower walls with in-line arrays, were introduced. The experimental results showed that the use of in-line V-baffles provides the higher heat transfer and friction factor than that of the upper V-baffles and smooth channel. However, the discrete V-baffles mounted only on the upper wall with $PR=1.0$ yields the highest thermal enhancement factor (TEF) of about 1.51.

Secondly, influences of cutting V-tip of 45° and 30° V-baffles on thermal performance of the channel were examined. Three types of cutting V-tip of the baffles were offered: cutting upstream V-crest, downstream V-crest and both upstream and downstream V-crests. In the present case, the V-cut baffles with $PR=1.0$ and $e/H=0.15$ mounted only on the upper wall were investigated. The experimental results showed that the 45° V-trimmed baffles yield higher heat transfer and friction factor than the 30° V-trimmed baffles. The upstream V-cut baffles provides the highest heat transfer and friction factor while the downstream V-cut baffles give higher heat transfer and friction factor than the upstream and downstream V-cut baffles. The 30° upstream V-cut baffles yield the highest TEF around 1.49.

Thirdly, effects of V-baffle pitch ratios, height ratios, attack angles and arrangements on thermal behaviors in a channel heat exchanger were studied. In the present case, there were two V-baffle arrangements similar to the first case; two attack angles, $\alpha=45^\circ$ and 30° ; four pitch ratios (PR=0.3, 0.5, 1.0 and 1.5); and three height ratios ($e/H= 0.05, 0.10$ and 0.15). The experimental results indicated that the reduction of PR yields a considerable increase in heat transfer and friction factor while the decrease in e/H provides the reversing trend. The 30° V-baffles at PR=0.5 and $e/H=0.05$, mounted only on the upper wall give the highest TEF of about 1.85.

Finally, the influence of transverse pitch of the 30° V-baffles placed only on the upper wall on thermal performance enhancement of the test channel was investigated. Three transverse pitch ratios, ($PR_T=P_T/H=0.50, 0.67$ and 1.0) were experimentally optimized for the V-baffles at PR=0.5 and $e/H=0.05$. The experimental results showed that the optimal PR_T is 0.67 that provides the highest TEF of about 1.98.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือและการดูแลเอาใจใส่ที่ดีในระหว่างศึกษาในหลักสูตร ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในด้านต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อชี้แนะในงานวิจัยนี้ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ ประจำปี 2557 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ยิ่งไปกว่านั้น ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ห้องปฏิบัติการ Thermo & Fluid & CFD โดยเฉพาะอย่างยิ่งทีมงานวิจัยสายการประยุกต์ถ่ายเทความร้อน ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมา

ท้ายที่สุด สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา และครอบครัว อันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ประวัติ สุดแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XVI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 การเผยแพร่งานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์.....	4
1.6.1 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ.....	4
1.6.2 ผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 แนวทางการศึกษาวิจัย.....	17
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	19
3.1 บทนำ.....	19
3.2 กลศาสตร์ของไหล.....	19
3.2.1 สภาวะการไหล.....	20
3.2.2 ความเร็วเฉลี่ย.....	21
3.2.3 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทานในการไหลแบบปรับตัวเต็มที่.....	21
3.3 การถ่ายเทความร้อน.....	23
3.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย.....	23
3.3.2 สภาวะการปรับตัวเต็มที่.....	24
3.3.3 การสมดุลของพลังงาน.....	24
3.3.4 สหสัมพันธ์การพาความร้อน การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม.....	26
3.3.5 สหสัมพันธ์การพาความร้อน สำหรับท่อที่ไม่กลม.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.6 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	28
3.4 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ด้วยรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร	29
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	30
4.1 บทนำ	30
4.2 การออกแบบอุปกรณ์และชุดทดลอง	30
4.2.1 พัดลม	30
4.2.2 ท่อทางเข้าชุดทดลอง.....	31
4.3 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง.....	31
4.3.1 ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	32
4.3.2 แหล่งจ่ายอากาศ.....	32
4.3.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ.....	33
4.3.4 ถังพักลม	34
4.3.5 อุปกรณ์ควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์	35
4.3.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	35
4.3.7 เครื่องวัดความดันตกคร่อม	36
4.3.8 อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ	36
4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	37
4.4.1 อุปกรณ์ชุดทดลอง	37
4.4.2 ครีบ	38
4.5 วิธีการทดลอง	42
4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	45
5.1 บทนำ	45
5.2 ผลการทวนสอบท่อผนังเรียบ.....	45
5.2.1 เลขนัสเซิลท์	45
5.2.2 ตัวประกอบเสียดทาน.....	46
5.3 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และ ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน.....	47
5.3.1 อิทธิพลระยะพิตช์และการจัดวาง.....	47
5.4 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	51
5.4.1 อิทธิพลของครีบและมุมปะทะการไหล.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องมุม 45° และมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	55
5.5.1 อิทธิพลของครีบบางและอิทธิพลมุมปะทะการไหล	55
5.6 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบางตรงกัน	59
5.6.1 อิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบบาง.....	59
5.7 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	63
5.7.1 อิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบบาง.....	63
5.8 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว	67
5.8.1 อิทธิพลระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล.....	67
5.9 การสร้างสมการด้วยวิธีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร	71
5.9.1 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบางตรงกัน.....	71
5.9.1.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์	71
5.9.1.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน.....	72
5.9.2 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	73
5.9.2.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์	73
5.9.2.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน.....	73
5.9.3 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องมุม 45° และมุม 30° ติดตั้งที่ผิวบนด้านเดียว.....	75
5.9.3.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์	75
5.9.3.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน.....	75
5.9.4 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบางตรงกัน.....	76
5.9.4.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์	76
5.9.4.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน.....	77
5.9.5 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว	78
5.9.5.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์.....	78
5.9.5.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน	79
5.9.6 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	80
5.9.6.1 ความสัมพันธ์เลขนัยสเกลต์	80
5.9.6.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน.....	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	82
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
6.1.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางรูปตัววีแยกตัว มุม 45°	82
6.1.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	82
6.1.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° และ ครีบบางต่อเนื่องมุม 45° และ 30° ที่ผิวบนด้านเดียว	83
6.1.4 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน	83
6.1.5 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว	84
6.1.6 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางทิศทางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว.....	85
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	85
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก.....	92
ภาคผนวก ข.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดง Correlations for heat transfer coefficient and friction factor	14
3.1 ค่า Nu_D สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มทีในท่อพื้นที่หน้าตัดต่าง ๆ กัน	27
ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างครีบริบ : (a) cross rib-roughened (b) parallel rib-roughened (c) cross V-rib-roughened (d) parallel V-rib-roughened (e) Swirl Flow Tube ของ Olsson and Sunden [7].....	6
2.2	รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Karwa [11].....	7
2.3	รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Tanda [12].....	8
2.4	แผ่นทดสอบที่ติดครีบริบบางทำมุม 60° ของ สกุหลหลง [18].....	9
2.5	แผ่นทดสอบของ มะลิกุล [19].....	10
2.6	ครีบริบหักรูปตัววีมุม 45° ของ อำไพจิตร [21].....	10
2.7	รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Lee and Rhee [22].....	11
2.8	ครีบริบบางตัววีของ กนกนัยการ [26].....	12
2.9	โครงสร้างช่องขนานและโดเมนการคำนวณเชิงตัวเลขของ Sripattanapipat [27].....	13
2.10	ครีบริบบางรูปตัว Z ของ Sriomreun et al. [29].....	13
2.11	แผ่นกั้นรูปตัววีของ Tamna et al. [30].....	14
3.1	การก่อตัวของชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม.....	20
3.2	ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลม.....	22
3.3	การก่อตัวของชั้นขอบเขตทางความร้อนในท่อกลม.....	23
3.4	ปริมาตรควบคุมสำหรับการไหลภายในท่อ.....	25
4.1	ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	32
4.2	พัดลมแรงดันสูง (High-pressure blower).....	32
4.3	มอเตอร์.....	33
4.4	Inverter.....	33
4.5	Orifice meter.....	34
4.6	เครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียง (Inclined manometer).....	34
4.7	ถังพักลม (Settling tank).....	34
4.8	แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply).....	35
4.9	เครื่องเก็บข้อมูล.....	35
4.10	เซนต์เซอร์วัดอุณหภูมิ.....	36
4.11	เครื่องวัดความดันตกคร่อม, Dwyer 475 Mark III Digital Manometer.....	36
4.12	เครื่องวัดความเร็วของอากาศ (Vane-type Anemometer), TESTO 445.....	37
4.13	แผ่นผึ่งของชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	37
4.14	ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล.....	38
4.15	ส่วนทดสอบกรณีติดครีบริบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวบนด้านเดียว.....	39
4.16	ส่วนทดสอบกรณีติดครีบริบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวด้านบนและล่างจัดวางแนวครีบริบตรงกัน.....	39
4.17	แสดงแผ่นทดสอบติดครีบริบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45°.....	40
4.18	ส่วนทดสอบติดครีบริบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหน้า.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหลัง	41
4.20 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหน้า-หลัง.....	41
4.21 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว และ ที่ผิวบนและล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน.....	41
4.22 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และ ที่ผิวบนและล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน.....	42
4.23 แสดงแผ่นทดสอบแบบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ปรับระยะพิชิตตามแนวขวางการไหล (ก) ครีบ 10 ยอด (PR _T =1.0), (ข) ครีบ 15 ยอด (PR _T =0.67) และ (ค) ครีบ 20 ยอด (PR _T =0.50).....	42
5.1 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีท่อผนังเรียบ.....	46
5.2 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีท่อผนังเรียบ	46
5.3 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน	48
5.4 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน.....	48
5.5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน	49
5.6 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน.....	49
5.7 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน	50
5.8 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	52
5.9 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว	52
5.10 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว	53
5.11 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว	54
5.12 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว.....	54
5.13 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45°, ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.30 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว	69
5.31 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว	70
5.32 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว	70
5.33 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลล์กับเลขนัสเซลล์จากการทดลอง กรณีติดครีบแยกตัวรูปตัววีมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบตรงกัน $PR=1.0, 1.5$ และ $2.0, e/H=0.15$	72
5.34 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบแยกตัวรูปตัววีมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบตรงกัน $PR=1.0, 1.5$ และ $2.0, e/H=0.15$	72
5.35 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลล์กับเลขนัสเซลล์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี แบบปลายมุมวีหน้า, ตัดปลายมุมวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0, e/H=0.15$	74
5.36 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี แบบปลายมุมวีหน้า, ตัดปลายมุมวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0, e/H=0.15$	74
5.37 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลล์กับเลขนัสเซลล์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0, e/H=0.15$	75
5.38 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0, e/H=0.15$	76
5.39 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลล์กับเลขนัสเซลล์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05, \text{ และ } 0.10$	77
5.40 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05, \text{ และ } 0.10$	78
5.41 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลล์กับเลขนัสเซลล์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15	79
5.43 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเชิลท์กับเลขนัสเชิลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $e/H=0.05, PR_T=0.50, 0.67$ และ $1.0, PR= 0.5$	81
5.44 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $e/H=0.05, PR_T=0.50, 0.67$ และ $1.0, PR= 0.5$	81
ข-1 Standard orifice plate	95
ข-2 โครงสร้างเชิงเรขาคณิตและจุดวัดความดันของออริฟิส	95
ข-3 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	96
ข-4 ออริฟิสแบบต่าง ๆ.....	96

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ตัวอักษรลาติน

A	พื้นที่การพาความร้อนของช่องขนาน, m^2
A_c	พื้นที่หน้าตัด, m^2
A_s	พื้นที่ผิว, m^2
AR	อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (W/H)
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	ความสูงแผ่นกั้น (Baffle), m
f	ตัวประกอบเสียดทาน
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย, W/m^2K
H	ความสูงช่องขนาน
I	กระแสไฟฟ้า, A
j	ตัวประกอบการถ่ายเทความร้อนของคูลเบริน
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, W/m^2K
L	ความยาวของส่วนทดสอบ, m
m	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
Nu	เลขนัสเซลท์
P	ระยะพิตช์ตามยาว, m
P_e	ความยาวเส้นรอบรูป, m

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

P_T	ระยะพิตซ์ตามขวาง, m
Pr	เลขพรานส์
PR	อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (P/H)
PR_T	อัตราส่วนระยะพิตซ์ตามขวางต่อความสูงช่องขนาน (P_T/H)
PU	ชี้ทวนทิศทางการไหล
p	ความดันของไหล, N/m^2
Δp	ความดันตกคร่อม, N/m^2
Q	ค่าการถ่ายเทความร้อน, W
q_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งหมด, W
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิว, W/m^2
R	ค่าคงที่ของก๊าซ, $J/kg \cdot K$
Re	เลขเรย์โนลด์ส์ (UD/ν)
r	รัศมีที่ตำแหน่งใด ๆ, m
r_0	รัศมีท่อกลม, m
St	เลขสแตนต์ัน
T	อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งใด ๆ, °C
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล, °C
T_m	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ, °C
$T_{m,i}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทางเข้า, °C
$T_{m,o}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ทางออก, °C
T_s	อุณหภูมิเฉลี่ยผิวครีบ, °C
TEF	ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

U	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
u	ความเร็วตามแนวแกน x, m/s
u_m	ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, m/s
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V
\dot{V}	อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m ³ /s
\bar{V}	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s
v	ปริมาตรจำเพาะ, m ² /s
v_r	ความเร็วตามแนวแกน r, m/s
W	ความกว้างช่องขนาน, m
\dot{W}_{in}	การจ่ายกำลังให้พัดลม, J/s
x	ความยาวที่ตำแหน่งใด ๆ, m
x_{fd}	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัวเต็มที่, m
$x_{fd,h}$	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัว, m
x_{fdt}	ความยาวของทางเข้าสำหรับการปรับตัวเต็มที่ของความร้อน, m

สัญลักษณ์ตัวอักษรกรีก

ρ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m ³
ν	ความหนืดเชิงจลน์, m ² /s
α	มุมปะทะของครีป (°, degree)
μ	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล, N.s/m ²
μ_s	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหลที่ผิว, N.s/m ²

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

τ_r ความเค้นเฉือนในแนวรัศมี, N/m^2

τ_s ความเค้นเฉือนบนผิว, N/m^2

สัญลักษณ์ตัวห้อย

0 ผนังเรียบ

b ผนังติดแผ่นกั้น

i เข้า

o ออก

pp กำลั้งซั้บ

T แนวขวาง

s พื้นผิวชองขนาน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลกปัจจุบันมีการพัฒนา เทคโนโลยีและเจริญก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ทำให้มีความต้องการพลังงานเพื่อใช้งานในปริมาณมากขึ้น ในภาคอุตสาหกรรมได้พัฒนาศักยภาพทั้งในด้านเทคโนโลยีการผลิต วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ไปอย่างรวดเร็ว หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนทั่วโลกตระหนักถึงความสำคัญในการประหยัดและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามความต้องการในการใช้พลังงานยังมีมากขึ้นตามกาลเวลา อันเนื่องจากการแข่งขันทางธุรกิจ และจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อและปัญหาต่าง ๆ ที่ตามมาทั้งทางตรงและทางอ้อมได้แก่ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มลพิษ ภาวะโลกร้อน วิกฤตราคาเชื้อเพลิงและวิกฤตเศรษฐกิจ เป็นต้น ฉะนั้นหากขาดการใช้องค์ความรู้พื้นฐานอย่างเหมาะสมสู่การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ อย่างจริงจัง ปัญหาดังกล่าวก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นและยากที่จะเยียวยาได้

ปัจจุบันการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นในอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขนาดเล็กจนกระทั่งจนถึงขนาดใหญ่ ด้านอุตสาหกรรมได้นำเอาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาประยุกต์ใช้ในระบบมากมายทั้งมีการแข่งขันและพัฒนาสินค้าหรือผลิตภัณฑ์มากขึ้น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงต้องมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย เทคโนโลยีในการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจึงสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบและประยุกต์ใช้งานได้อย่างมากมาย อาทิ เช่น เครื่องอบแห้ง เตาดำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แผงระบายความร้อน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องทำความเย็น เครื่องกลั่น เครื่องควบแน่น เครื่องยนต์ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เป็นต้น หลักการออกแบบอุปกรณ์หรือระบบที่มีการถ่ายเทหรือแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดี ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น สามารถทำงานได้ตามความต้องการ ราคาถูก สมรรถนะในการถ่ายเทและแลกเปลี่ยนความร้อนสูง การเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูง โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ขนาดกะทัดรัด อายุการใช้งานที่ยืนยาว ต้องการบำรุงการรักษาค่อนข้างน้อย รวมทั้งมีความน่าเชื่อถือและปลอดภัยสูง เพื่อให้บรรลุคุณลักษณะที่ต้องการเหล่านี้ พื้นฐานสำคัญ คือ การพัฒนาขีดความสามารถและศักยภาพของระบบถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อลดการใช้พลังงาน มีขนาดที่เหมาะสมกะทัดรัด ทำให้ลดการใช้วัสดุและพื้นที่ติดตั้งใช้งาน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน เพราะทำให้การจัดสรรและใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงและวัสดุอย่างคุ้มค่า รวมทั้งลดภาวะโลกร้อน

การเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้แบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ แบบ Active Techniques เป็นการเอาพลังงานภายนอกเข้ามาช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการทำให้เกิดการสั่นของผิวทำให้ของไหลเกิดการสั่นสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น เช่น อุปกรณ์ทางกล อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและ แบบ Passive Techniques เป็นการออกแบบลักษณะพื้นผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้ต่างไปจากพื้นผิวเรียบและ ปรับปรุงของไหล เพื่อให้มีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากขึ้นเช่น การใส่สารแขวนลอยเข้าไปเพิ่มค่าการนำความร้อน โดยไม่มีพลังงานภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนวิธีที่นิยมกันส่วนมาก เรียกว่า Passive Method โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อผิวเรียบวิธีที่ได้ผลดีมากที่สุดอย่างหนึ่ง คือ การติดครีบบางขวางการไหลบนผนังภายในท่อ ทำให้ส่งผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน แม้การเพิ่มพื้นที่ผิวภายในท่อสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน แต่ทำให้ความเสียดทานภายในท่อเพิ่มขึ้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในท่อด้วยเช่นกัน

แนวคิดในการเอาครีบบางขวางการไหลภายในท่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน จึงต้องพิจารณารูปร่าง, ขนาด, มุม, ตำแหน่งการวาง และระยะพิทซ์ของแผ่นครีบ ที่มีผลต่อลักษณะการไหลของของไหล การสูญเสียความดันและแรงเสียดทาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคัดลอกเกี่ยวกับการหาลักษณะที่ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของครีบบางรูปตัววีวางขวางทิศทางการไหล โดยมีอากาศเป็นของไหลที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่และแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ และออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลหลักต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีครีบบางวางเป็นรูปตัววี โดยการวิเคราะห์ผลทางการทดลองจาก อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H), อัตราส่วนระยะพิทซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR), มุมปะทะการไหล (α), รูปทรงของครีบ และลักษณะการวางครีบ เป็นต้น

1.2.2 ศึกษาการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันผ่านช่องขนานที่มีครีบบางรูปตัววีแบบแยกตัวและแบบต่อเนื่อง

1.2.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของท่อแผ่นขนานมีครีบบางรูปตัววีกับท่อผนังเรียบ

1.2.4 สร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลหลักต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีครีบบางรูปตัววี

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาเชิงการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ตัวประกอบเสียดทาน (f) และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF)

1.3.2 ช่องไหลในการทดสอบ คือ อากาศ

1.3.3 ความเร็วอากาศ อยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4100 ถึง 22,000

1.3.4 การให้ความร้อนที่ผิวเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ (constant heat flux) โดยให้ความร้อนที่ผิวบนของท่อแผ่นขนานเพียงด้านเดียว

1.3.5 การติดครีบบมี 2 แบบ คือ ติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียว และติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่างโดยจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน

1.3.6 หาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเพิ่มสมรรถนะความร้อนภายในท่อ อาทิเช่น รูปทรง การจัดวาง ความสูงครีบ ระยะห่างระหว่างครีบ ความดันตกคร่อมในช่องขนานและการถ่ายเทความร้อน

1.3.7 ท่อในช่วงทดสอบที่ทำการติดครีบบัง และให้ความร้อนเป็นท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง (W) 300 มม. สูง (H) 30 มม. ยาว (L) 600 มม.

1.3.8 ครีบบังทดสอบเป็นครีบบังบางอะลูมิเนียมพับเป็นรูปตัววี วางขวางทิศทางการไหล มี 2 แบบ คือ ครีบบังแยกตัว และ ครีบบังต่อเนื่อง ตัวครีบบังมีมุมปะทะการไหล (α) 2 ค่าคือมุม 30° และ 45°

1.3.9 ครีบบังที่ใช้ทำการทดลองมีอัตราส่วนความสูงครีบบังต่อความสูงช่องขนาน (e/H) เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) เท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะความร้อนภายในท่อด้วยการติดครีบบังแยกตัวและครีบบังต่อเนื่อง รูปตัววี ภายในท่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1.4.2 ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่และหลักการเพิ่มสมรรถนะความร้อนการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในท่อ

1.4.3 เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานในภาคเกษตรกรรม

1.4.4 ประหยัดพลังงาน ลดขนาดและการใช้วัสดุในการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เกิดประโยชน์ทั้งในแง่พื้นที่การติดตั้ง ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและราคาต่ำลง

1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานโดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววีแยกตัว” เล่มนี้ ได้แบ่งรายละเอียดของการนำเสนอออกเป็นทั้งหมด 6 บทด้วยกัน คือ บทที่ 1 บทนำ ประกอบไปด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์, ขอบเขตงานวิจัย, ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และโครงร่างวิทยานิพนธ์ ในบทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์ ประกอบไปด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำเสนอการศึกษาวิจัยที่เคยศึกษาผ่านมาและ แนวทางการศึกษาวิจัย ในหัวข้อการเพิ่มสมรรถนะความร้อนภายในช่องขนานด้วยการติดครีบบัง บทที่ 3 ทฤษฎี กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษา และทำความเข้าใจในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย กลศาสตร์ของไหล, การถ่ายเทความร้อน และการสร้างสมการสหสัมพันธ์ด้วยรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์และวิธีการทดลอง จะเป็น การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบภายในช่องขนานที่มีการติดตั้งครีบบังที่ใช้ในการทดลอง จะประกอบไปด้วย การออกแบบอุปกรณ์ และชุดทดลอง, การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง, การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง, วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง นำเสนอการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบังติดบนแผ่นทดสอบ ประกอบไปด้วย ผลการทวนสอบผนังเรียบ, ครีบบังแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete V-baffles) แบบติดครีบบังที่ผิวบนด้านเดียวและแบบติดครีบบังที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบังตรงกัน, ครีบบังต่อเนื่องรูปตัววีตัดปลายมุม 30° และ 45° , ครีบบังต่อเนื่องมุม 30° และ 45° , ครีบบังแบบต่อเนื่อง (V-

baffles) มุม 30° แบบติดครีบบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน และแบบติดที่ผิวบนด้านเดียว, ครีบบางแบบต่อเนื่อง มุม 30° ปรับอัตราส่วนระยะพิทช์ตามแนวขวางทิศทางการไหล (PR_T) ติดครีบบนที่ผิวด้านเดียว, การสร้างสมการสหสัมพันธ์ บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ จะเป็นส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

1.6 การเผยแพร่งานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์

1.6.1 ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ

1. Soodkaew, P., Skullong, S., Promvong, P. and Pairok, W. "Heat Transfer Enhancement in a Solar Air Heater Channel with Discrete V-Baffles" *Advanced Materials Research*. 931-932, May 2014. pp.1193-1197.

1.6.2 ผลงานวิจัยนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ

1. ประวีติ สุดแก้ว, พงษ์เจต พรหมวงศ์, วทัญญู ไพโรจน์ และ สมพล สกุลหลง, "การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แผ่นกั้นแยกตัวรูปตัววี" การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ, ครั้งที่ 12, มีนาคม 2556. หน้า 195-201.

2. ประวีติ สุดแก้ว, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ สมพล สกุลหลง, "การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นกั้นรูปตัววี" การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ, ครั้งที่ 14, มีนาคม 2558. หน้า 167-172.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลแบบขนาน ที่มีการติดครีบบนผนังเพื่อปรับปรุงลักษณะการไหลให้การไหลของของไหลส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน เพื่อที่จะนำข้อมูลในอดีตมาทำการวิจัยหาแนวทางในการปรับปรุงลักษณะครีบบนผนังเพื่อที่จะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแลกเปลี่ยนความร้อนมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน และในส่วนของอุตสาหกรรม อาทิเช่น ระบบระบายความร้อนในรถยนต์ ระบบปรับอากาศ ขบวนการผลิตอาหารในอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งทำให้มีการวิจัยในการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในระบบการระบายความร้อนในช่องการไหลแบบขนานก็เป็นอีกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการพัฒนามาตลอดดังนี้

Han et al. [1] ทำการทดลองหาผลของรูปร่าง, มุมครีบบนผนัง และอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงของช่องการไหล ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานในท่อที่ติดครีบบนผนังและด้านล่างของผิวท่อ โดยทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=3000-30,000$ โดยพบว่า การจัดวางครีบบนผนังแบบสมมาตรมีผลการทดลองไม่ต่างกับการจัดวางครีบบนผนังแบบเอียงกัน แต่รูปร่างของครีบบนผนังมีผลอย่างมากต่อค่าความเสียดทาน แต่มีผลน้อยต่อการถ่ายเทความร้อน ซึ่งสรุปได้ว่าครีบบนผนังที่มีมุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

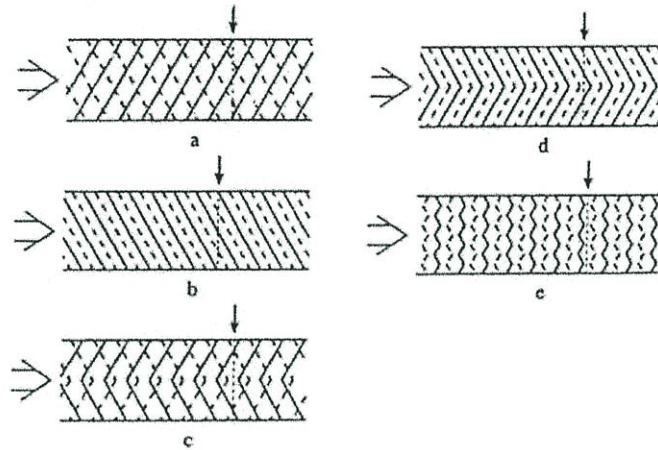
Liou et al. [2, 3] ทำการทดลองหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทานที่เกิดขึ้นของช่องการไหลสี่เหลี่ยมที่ติดครีบบนผนังลักษณะต่างๆ จากการศึกษาพบว่า ครีบบนผนังสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนดีที่สุด และยังศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการปิดกั้นของครีบบนผนังและมุมปะทะ ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมรรถนะความร้อน

Zhang et al. [4] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบอิทธิพลของร่องระหว่างครีบบนผนังกับผนังครีบบนผนังที่มี Aspect Ratio, $AR=1-10$ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=10,000-50,000$ พบว่า ร่องระหว่างครีบบนผนังให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าผนังครีบบนผนัง แต่มีค่าความดันตกคร่อมใกล้เคียงกัน

Taslim et al. [5] แสดงค่าเลขนัสเซลท์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบบนผนัง รูปร่างวีเรียงต่อกันตลอดความกว้างช่องทดสอบ และไม่เรียงต่อเนื่อง โดยที่แนวครีบบนผนังมีการวางทิศทางเดียวกับการไหลและมีทิศทางตรงข้ามกับการไหลสลับกันตลอดหน้าตัด บนผิวท่อทดสอบทั้งสองด้านตรงกันข้าม โดยให้ผิวท่อด้านหนึ่งถูกให้ความร้อนด้วยฟลักซ์ความร้อนคงที่ ในขณะที่ผิวท่อด้านอื่น ๆ ไม่มีการให้ความร้อนพบว่า ค่าเลขนัสเซลท์มากที่สุดเมื่อแนวครีบบนผนังมีทิศทางตรงข้ามกับการไหล

Gentry and Jacobi [6] ทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนบนแผ่นทดสอบเรียบโดยมีการออกแบบครีบบนผิวเป็นลักษณะปีกไปติดบนแผ่นทดสอบ เพื่อทำให้เกิดการหมุนวนของของไหล เป็นการเพิ่มระดับการปั่นป่วนของการไหลของของไหล ช่วยให้การพาความร้อนดีขึ้นทำให้เพิ่มสมรรถนะทางความร้อน

Olsson and Sunden [7] ทำการทดสอบผลของครีบบนผนังท่อสองด้านที่วางบนผนังตรงข้ามกัน โดยทำการศึกษารูปแบบการไหล ความดันตกคร่อม และการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ ลักษณะการวางครีบบนผนังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=500-15,000$ การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม พบว่า ครีบบนผนังแบบต่อเนื่องสลับทิศทางการไหลให้ค่ามากกว่าครีบบนผนังอื่น ๆ



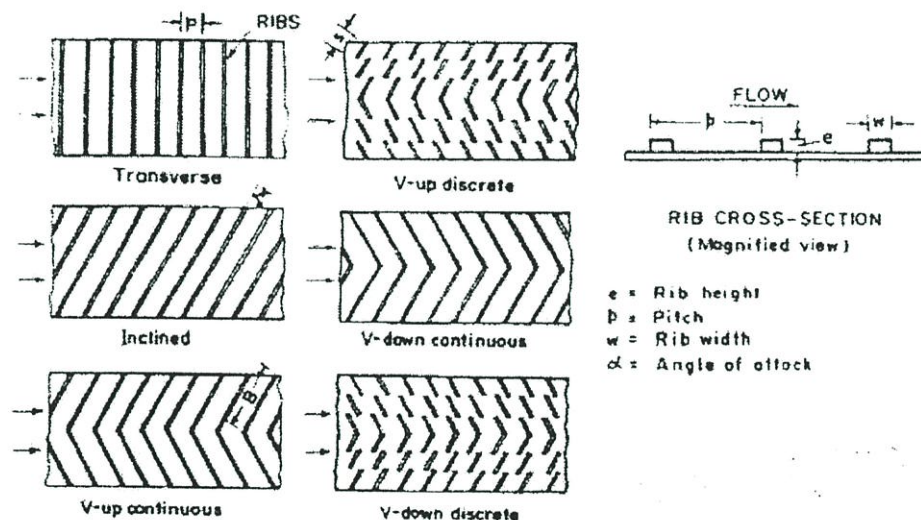
รูปที่ 2.1 โครงสร้างครีบบนผนังท่อ: (a) cross rib-roughened (b) parallel rib-roughened (c) cross V-rib-roughened (d) parallel V-rib-roughened (e) Swirl Flow Tube ของ Olsson and Sunden [7]

Ahn [8] ทำการทดลองหาผลกระทบของครีบบนผนังท่อแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยม โดยทำการศึกษารูปทรงครีบบนผนัง 5 ชนิด ได้แก่ ครีบบนผนังสี่เหลี่ยม ครีบบนผนังสามเหลี่ยม ครีบบนผนังวงกลม ครีบบนผนังวงกลมทรงต่ำ และครีบบนผนังวงกลมทรงสูง รวมถึงผนังเรียบ โดยทำการศึกษาที่ความสูงครีบบนผนังต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.0476 อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงครีบบนผนัง (P/e) เท่ากับ 8 และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง (AR) เท่ากับ 2.33 จากการทดลองพบว่า ผนังครีบบนผนังสามเหลี่ยมมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด ตามด้วยครีบบนผนังสี่เหลี่ยม ส่วนครีบบนผนังวงกลมและครีบบนผนังวงกลมมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน โดยที่ช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=10,000$ ผนังครีบบนผนังสามเหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าผนังเรียบ 3 เท่า

Gao and Sunden [9, 10] ได้ใช้เครื่องมือ laser doppler velocimetry และ smoke visualization ทำการหาผลของการไหลในช่องขนานที่ติดครีบบนผนังที่มีทิศทางเดียวกับการไหลและตรงข้ามกับการไหล และทำการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อน และความดันตกคร่อม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ครีบบนผนังที่มีทิศทางตรงข้ามกับการไหลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนตัวประกอบเสียดทาน และการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมากกว่าครีบบนผนังที่มีทิศทางเดียวกับการไหล

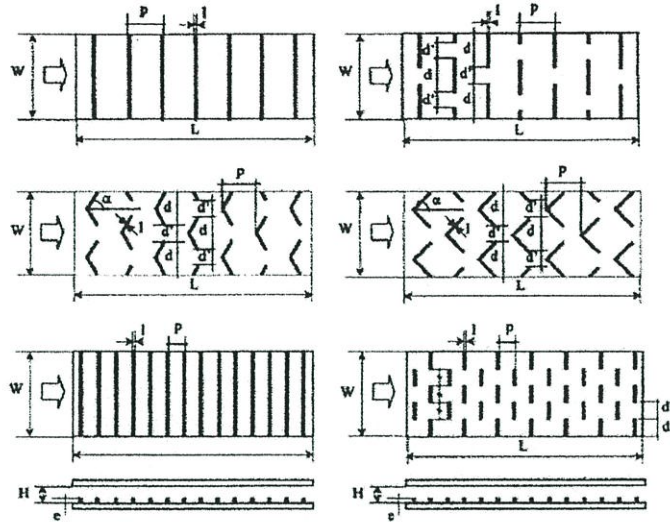
Karwa [11] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่อสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งครีبد้านเดียว โดยครีบที่ทดสอบมีลักษณะเป็นครีบตรง ครีบเอียง ครีบริบตัววี ทั้งในลักษณะยาวต่อเนื่อง และแบบแยกส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยอุปกรณ์ที่ทดสอบมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงท่อสี่เหลี่ยม (AR) เท่ากับ 7.19 ถึง 7.75 อัตราส่วนความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.0476 และ 0.050 และอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงครีบ (P/e) เท่ากับ 10 โดยครีบริบตัววีที่ทดสอบเป็นครีบริบตัววีทำมุม 60° และครีบริบแยกมุม โดยทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=2800-15,000$ และความร้อนที่ให้กับท่อสี่เหลี่ยมเป็นอิทธิพลหลักของความร้อนคงที่

จากผลการทดลองพบว่า แผ่นครีบริบตัววียาวต่อเนื่อง ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากที่สุด และมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบประมาณ 3.40 ถึง 3.92 เท่า ส่วนแผ่นครีบริบตัววีชนิดยาวไม่ต่อเนื่องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นครีบริบลักษณะต่าง ๆ และมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบประมาณ 2.35 ถึง 2.47 เท่า ในขณะที่ค่าเลขสแตนตัน (Stanton number, St) สำหรับแผ่นครีบริบตัววีมีทิศทางการชนข้ามกับการไหลจะมีแนวโน้มมากที่สุดคือ 2.10 ถึง 2.47 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นเรียบ และครีบริบตรงมีค่าเลขสแตนตันน้อยที่สุด



รูปที่ 2.2 รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Karwa [11]

Tanda [12] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบริบยาวต่อเนื่องและครีบริบยาวไม่ต่อเนื่องบนแผ่นทดสอบ โดยทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re = 8900-28,500$ อัตราส่วนความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.09 และ 0.15 อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงครีบ (P/e) เท่ากับ 8 และ 13.3 และอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) เท่ากับ 0.15 และ 0.25 รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมแสดงในรูปที่ 2.3 โดยครีบริบมีความหนา (t) 3 มม. ความสูง (e) 3 และ 5 มม. และระยะพิตช์ (P) 40 มม. แผ่นครีบริบตัววีมีมุม 45° และ 60° และครีบริบยาวไม่ต่อเนื่องมีระยะห่างระหว่างแต่ละครีบ (d') 20 มม. จากผลการทดลองพบว่า เมื่อครีบริบมีความสูงเพิ่มขึ้น ระยะพิตช์มีระยะกว้างขึ้น ค่าการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ส่วนค่าตัวสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงครีบริบมีค่าลดลง



รูปที่ 2.3 รูปแบบครีบบนภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Tanda [12]

Jaurker et al. [13] ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยมชนิดผิวครีบ-ร่อง โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=3000-21,000$ ลักษณะครีบ มีรายละเอียดดังนี้ ความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ $0.0181-0.0363$ อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงครีบ (P/e) เท่ากับ $4.5-10.0$ และระยะร่องต่อระยะพิทช์เท่ากับ $0.3-0.7$ จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์ และ e/D_h เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่ P/e และระยะร่องต่อระยะพิทช์มีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลง โดยที่แผ่นครีบ-ร่องจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่าแผ่นครีบอย่างเดียว ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะร่องต่อระยะพิทช์ ความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก และอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงครีบ มีค่าเพิ่มขึ้น

Lu and Jiang [14] ทำการศึกษาครีบเอียงทำมุม $0^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90° กับทิศทางไหล ครีบมีความสูง 0.8 มม. มีความกว้าง 1 มม. และมีระยะพิทช์ 4 มม. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ศึกษาในช่วงอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $0.0010-0.0018$ kg/s จากการศึกษาพบว่า ครีบมุม 60° ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากที่สุด ครีบมุม 0° ให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยที่สุด ที่ระยะพิทช์ 6 มม. ให้ความดันตกคร่อมน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับครีบมุมเดียวกัน

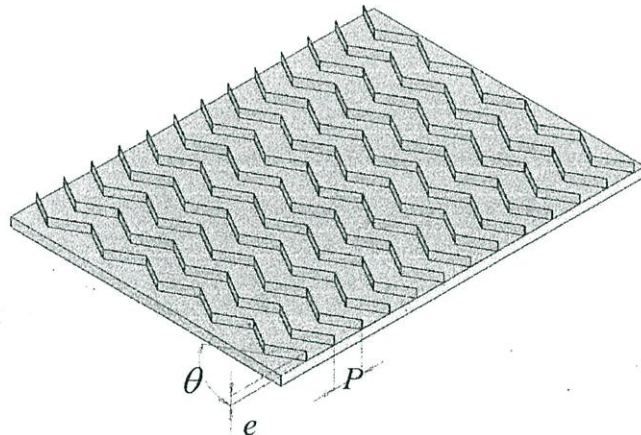
บุรณโชคไพศาล [15] ทำการศึกษาผลของการเจาะผิวบนพื้นผิวภายในช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปแบบครีบและการจัดวางครีบ ต่อการเพิ่มสมรรถนะความร้อนผ่าน เปรียบเทียบผลระหว่างช่องขนานผิวเรียบ กับช่องขนานเจาะร่องสี่เหลี่ยม, เจาะร่องสี่เหลี่ยมจัดวางรูปตัววี และเจาะร่องสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบสี่เหลี่ยม จัดวางแบบตรงกันและเยื้องกัน ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ $500-20,000$ จากผลการทดลองพบว่า ช่องขนานที่มีการเจาะร่อง ทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน และช่องขนานที่มีการเจาะร่องจัดวางแบบเยื้องกัน ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการจัดวางแบบตรงกัน แต่จะให้ผลตรงกันข้ามในกรณี

ติดตั้งครีบบนเพิ่มเข้าไป โดยที่ช่องขนานเซาะร่องจัดวางรูปตัววีที่ $e/D_n=0.33$ ให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด

Varun et al. [16] วิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน และความเสียดทาน รวมถึงได้ทำการเรียบเรียง และสรุปเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่ออากาศร้อน ด้วยการจำลองความขรุขระบนผิวท่อเป็นฟังก์ชันกับความสูงของผิวขรุขระของ Varun et al. [16]

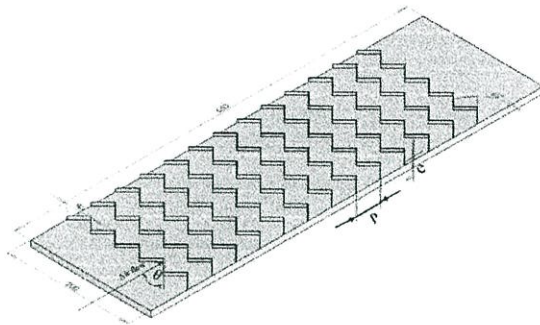
Promvong and Thianpong [17] ทำการศึกษาหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของครีบบนหน้าตัดสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และสามเหลี่ยมมุมฉาก ใช้อากาศในการทดสอบ โดยการไหลเป็นแบบปั่นป่วนในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ในตั้งแต่ 5000 ถึง 16,000

สกุลหลง [18] ได้ใช้แผ่นอลูมิเนียมบางพับเป็นครีบบน ติดในช่องขนาดแล้วทำการศึกษการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยช่องขนานที่มีครีบบน และครีบบนสามเหลี่ยมที่สภาวะการให้ความร้อนที่ผิวแบบคงที่ ใช้อากาศในการทดลองไหลอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=5000-25,000$ และทำการเปรียบเทียบผลของช่องขนานที่มีผนังเรียบ ช่องขนานที่มีครีบบนสามเหลี่ยมแบบต่าง ๆ ช่องขนานที่มีครีบบน ทำมุม 45° , 30° , 60° และครีบบนตรง (90°) อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $P/H=1, 2$ และ 3 อัตราส่วนความสูงครีบบนต่อความสูงช่องขนาน $e/H = 0.1, 0.2$ และ 0.3 แผ่นทดสอบแสดงในรูปที่ 2.4 ผลการทดลองพบว่าครีบบนให้สัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนมากกว่า ครีบบนสามเหลี่ยม และผนังเรียบ โดยที่ครีบบน 30° มีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนเฉลี่ยมากที่สุดคือ 1.97

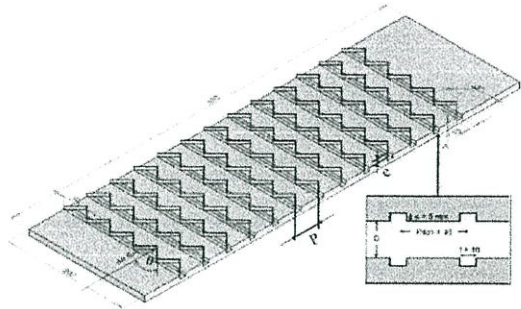


รูปที่ 2.4 แผ่นทดสอบที่ติดครีบบนทำมุม 60° ของ สกุลหลง [18]

มะลิกุล [19] ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในท่อช่องขนานสี่เหลี่ยมเช่นเดียวกับ สกุลหลง [18] มีข้อแตกต่างตรงที่มีการเพิ่มร่องบนแผ่นทดสอบ แล้วทำการติดครีบบนเพื่อเปรียบเทียบกับกรณีเป็นแผ่นเรียบที่มีการติดครีบบน ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ในช่วงของค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=3000-20,000$ อีกทั้งยังมีการพิจารณาถึง กรณีการติดครีบบนที่ผิวบนด้านเดียวเท่านั้น และกรณีติดครีบบนทั้งผิวบนและผิวล่าง ซึ่งมีการจัดวางครีบบนเป็น 2 แบบ คือ แบบตรงกันและเยื้องกัน แสดงในรูปที่ 2.5 ผลการทดลองพบว่า ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำ ๆ สำหรับกรณีท่อที่มีครีบบนทั้งที่มีค่าอัตราส่วนระยะพิชต์ $P/H = 1.0$ ติดตั้งด้านเดียวบนแผ่นเรียบ และบนแผ่นทดสอบที่มีร่อง จะมีค่าสมรรถนะความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.84 และ 1.71 ตามลำดับ มีค่ามากกว่ากรณีติดครีบบนทั้งผิวบนและผิวล่าง



(ก) ครีบบนมุม 45°

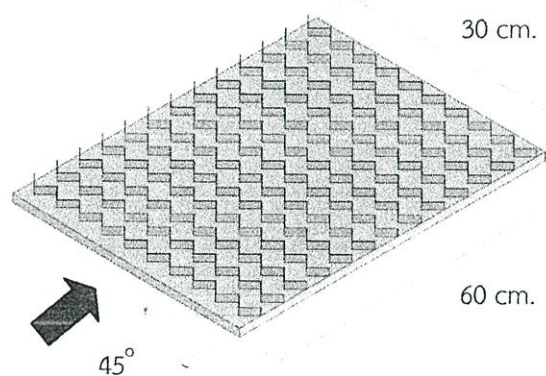


(ข) ครีบบนมุม 45° กับร่องตรงแนวตรง

รูปที่ 2.5 แผ่นทดสอบของ มะลิกุล [19]

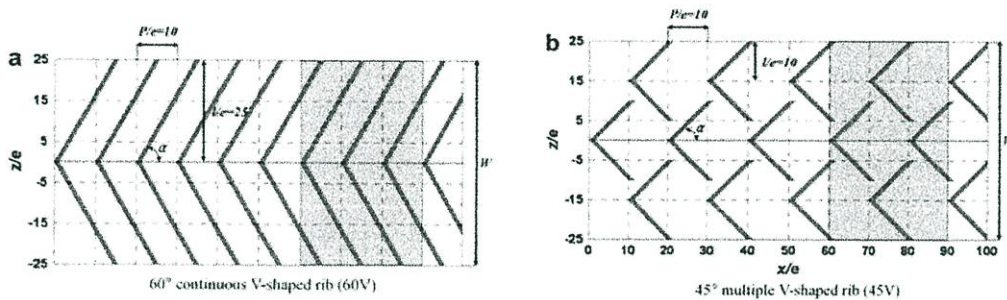
Sripattanapipat and Promvongse [20] แสดงการวิเคราะห์เชิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไหลแบบราบเรียบในลักษณะ 2 มิติ ในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแนวเอียงมีมุมยอดเพชร 0° (แผ่นกั้นแบน), 5° , 10° , 15° , 25° และ 35° ในการคำนวณคิดลักษณะการไหลเป็นคาบ ใช้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังคงที่ เลขเรย์โนลด์ส์ที่ใช้ในการคำนวณอยู่ในช่วง 100-600 พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่าเลขนัสเซิลท์และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น และมุมยอดเพชรที่ 5° และ 10° ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชรที่ 0° (แผ่นกั้นแบน), 15° , 25° และ 35°

อำไพจิตร [21] ทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อแผ่นขนานที่มีครีบบนมุม 45° กำหนดให้อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05$, 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $P/H = 1, 2$ และ 3 โดยติดตั้งครีบที่ผิวบนด้านเดียว และทั้งผิวบนและผิวล่าง มีการจัดวางครีบแบบเอียงกันและตรงกัน ทำการทดลองที่สภาวะให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ที่ผนังด้านบนของแผ่นทดสอบ และใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 5000 ถึง 23,000 แผ่นทดสอบแสดงในรูปที่ 2.6 ผลการทดลองพบว่า ชุดท่อแผ่นขนานที่ติดตั้งครีบบนมุม 45° โดยติดตั้งที่ผิวบนและผิวล่างแบบวางครีบตรงกัน ที่ $e/H = 0.10$, $P/H = 1$ มีการเพิ่มสมรรถนะความร้อนเฉลี่ยมากกว่าท่อแผ่นขนานผนังเรียบ 2.91 เท่า



รูปที่ 2.6 ครีบบนมุม 45° ของ อำไพจิตร [21]

Lee and Rhee [22] ทำการศึกษาลักษณะการไหล และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งครีบริบรูปตัววีที่ผิว ทำมุม 60° แบบครีบริบเดี่ยวต่อเนื่อง และครีบริบรูปตัววีมุม 45° หลายครีบริบวางสลับแถว ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=10,000-30,000$ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) เท่ากับ 75, 50, 38.4 ค่า Aspect Ratio เท่ากับ 3, 5, 6.8 อัตราส่วนความสูงครีบริบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.04, 0.06, 0.078 และอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครีบริบ (P/e) เท่ากับ 10 รูปแบบครีบริบ แสดงในรูปที่ 2.7 ผลการทดลองพบว่า ครีบริบรูปตัววีมุม 60° แบบครีบริบเดี่ยวต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนมากกว่าครีบริบรูปตัววีมุม 45° หลายครีบริบวางสลับแถว และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของครีบริบรูปตัววีมุม 45° หลายครีบริบวางสลับแถวจะน้อยกว่าครีบริบรูปตัววีมุม 60° แบบครีบริบเดี่ยวต่อเนื่อง

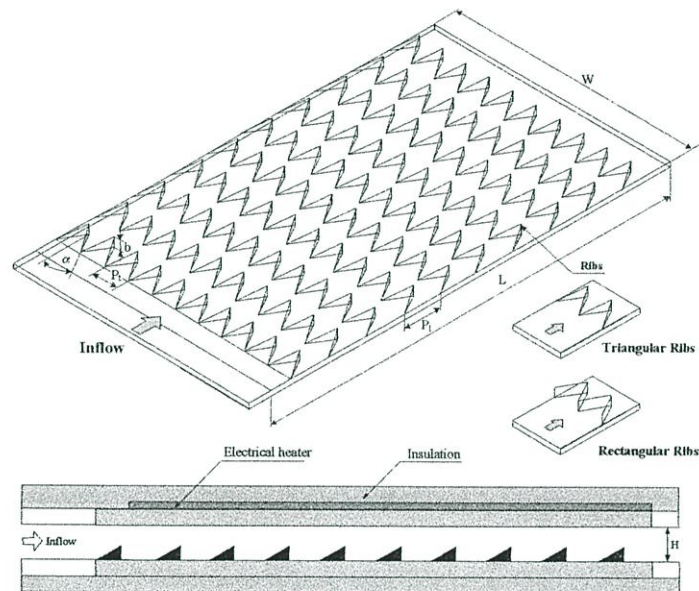


รูปที่ 2.7 รูปแบบครีบริบภายในท่อสี่เหลี่ยมของ Lee and Rhee [22]

ทำนา [23] นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ ไหลในแบบราบเรียบช่วงจาก $Re=100$ ถึง 1000 โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นวางขวาง แผ่นกั้นวางเอียง และแผ่นกั้นวางเอียงรูปตัววีที่ผนังทั้งสองด้านของท่อ ซึ่งมีการวางแผ่นกั้นแบบตรงกัน ในส่วนแผ่นกั้นวางเอียงมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะกับทิศทางการไหลดังนี้ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° และมีค่าอัตราส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงช่องการไหล (e/H) เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนแผ่นกั้นวางเอียงรูปตัววีมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะที่ $\alpha = 30^\circ$ การไหลผ่านแผ่นกั้นรูปตัววีพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีปลายวีชี้ตามทิศทางการไหล และกรณีปลายวีชี้ทวนทิศทางการไหล ผลลัพธ์ที่ได้จากท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดแผ่นกั้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ พบว่ามีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการปิดกั้นทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น จากลักษณะการจัดวางแผ่นกั้นพบว่า แผ่นกั้นวางเอียงรูปตัววีจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นกั้นวางเอียงและแผ่นกั้นวางขวาง โดยแผ่นกั้นวางเอียงรูปตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ แบบปลายวีชี้ทวนทิศทางการไหลให้การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบปลายวีชี้ตามทิศทางการไหล และยังพบว่าแผ่นกั้นรูปตัววีแบบปลายวีชี้ทวนทิศทางการไหลที่ $e/H = 0.125$ มีสัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 3.33

Promvong et al. [24] และ Chompookham et al. [25] ทำการทดลองหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของครีบริบ และ ปีกช่วยให้เกิดการหมุนวน (winglet vortex generators) ที่มีการปรับเปลี่ยนมุม ผลพบว่าถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยให้การไหลปั่นป่วน (turbulators) ก่อนถึงบริเวณทดสอบจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าติดตั้งครีบริบ หรือปีกช่วยให้เกิดการหมุนวน เพียงอย่างเดียว

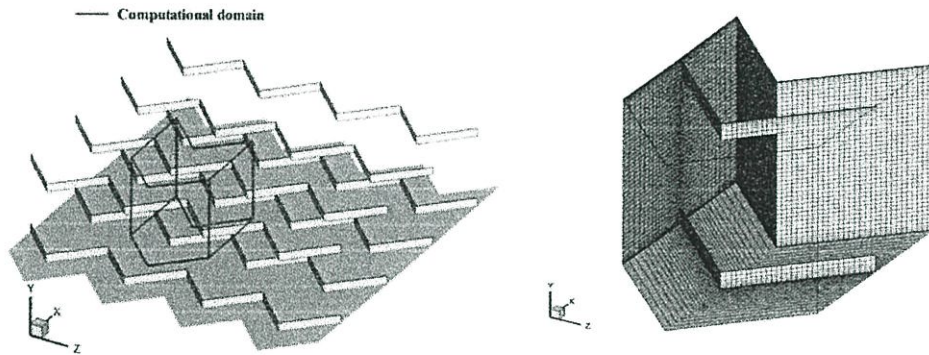
กนกนัยการ [26] ได้ศึกษาคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในช่องแผ่นขนานที่ติดครีบบางตัววีรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำมุม 30° ซี่ตามทิศทางการไหล ที่อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $P/H = 1, 2, 3$ และ 4 อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H = 0.2, 0.3$ และ 0.4 แสดงในรูปที่ 2.8 ที่สภาวะพลักซ์ความร้อนแบบคงที่ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=5000-25,000$ โดยทำการเปรียบเทียบกับผลของช่องขนานผนังเรียบ จากผลการทดลองพบว่า กรณีครีบบางตัววีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ค่า $e/H = 0.4, P/H = 1$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุด ให้ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยมากกว่า ท่อผนังเรียบ 6.15 เท่า มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบ 67.68 เท่า เมื่อพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนพบว่า ครีบบางตัววีรูปสามเหลี่ยม ที่ค่า $e/H = 0.4, P/H = 1$ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มสมรรถนะความร้อนเฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบ 1.84 เท่าซึ่งเป็นค่าสูงสุด



รูปที่ 2.8 ครีบบางตัววีของ กนกนัยการ [26]

Sripattanapipat [27] ทำการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อหาหลักขณการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบของช่องการไหลที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นแบบสามเหลี่ยมที่ผนังผิวบน และผิวล่างตรงกันที่มีมุมทงุมิผิวคองที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ในส่วนของครีบบมีมุมปะทะ (α) เท่ากับ $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90° ตามลำดับ และอัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องการไหล (e/H) ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.30 สำหรับอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (P/H) จะให้เป็น 1.0 สำหรับกรณี มุมปะทะ $45^\circ, 60^\circ$ และ 90° ส่วนมุมปะทะ 30° จะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 ในการศึกษาที่อัตราการไหลที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 100 จนถึง 1000 ผลที่ได้พบว่าช่องการไหลที่มีการติดแผ่นกั้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าช่องการไหลผิวเรียบ โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องการไหล ทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการวิเคราะห์สนามการไหลพบว่า เมื่อมุมปะทะของแผ่นกั้นมีขนาดเล็กลง จะทำให้เกิดการหมุน

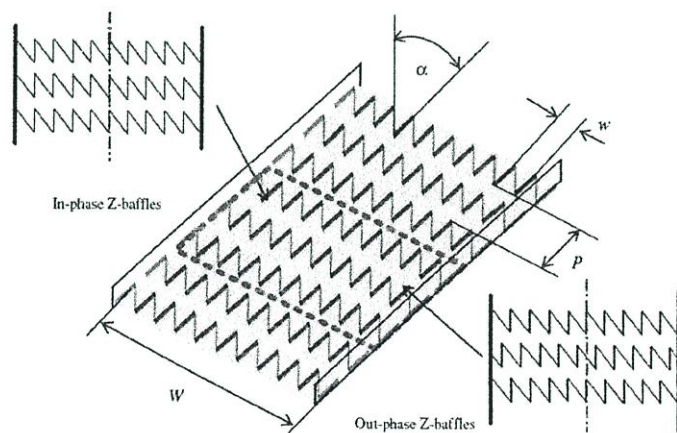
วนตามทิศทางการไหลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การถ่ายความร้อน ในขณะเดียวกัน การสูญเสีย ความดันก็จะลดลงอีกด้วย ทำให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ของแผ่นกั้น รูปคลื่นสูงกว่าแผ่นกั้นขวางที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยมีค่า TEF สูงสุด เท่ากับ 2.33 ที่ $e/H = 0.075$, $P/H = 1.00$ ที่ $Re=1000$ ของแผ่นกั้นรูปคลื่นมุมปะทะ 30°



รูปที่ 2.9 โครงสร้างช่องขนานและโดเมนการคำนวณเชิงตัวเลขของ Sripattanapipat [27]

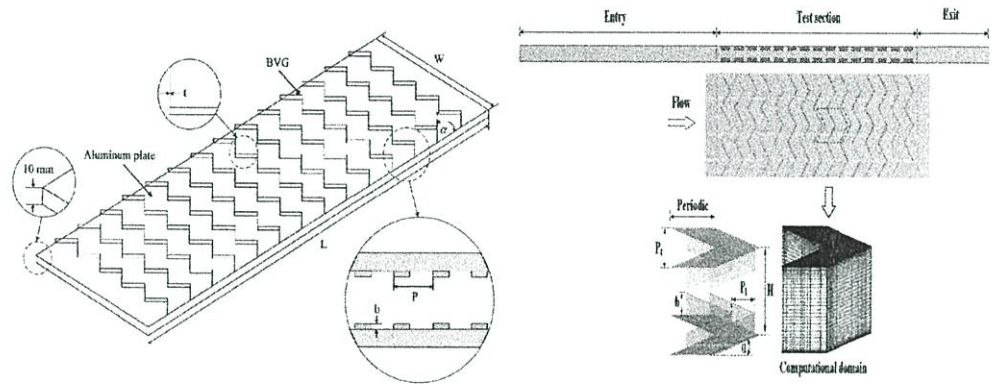
Promvong et al. [28] แสดงผลที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์หาค่าประสิทธิภาพ ทางความร้อนของการไหลแบบราบเรียบผ่านช่องการไหลที่มีครีบบางเอียงทำมุม 45° บนผนังด้าน เดียว ซึ่งพบว่าที่มุมครีบ 45° ที่ครีบบางที่มีค่า $P/H=0.4$ จะมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนมากกว่าครีบ ที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (90°) 2-3 เท่า

Sriromreun et al. [29] ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขและทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปตัว Z ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ได้ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4400-20,400 มีอัตราส่วนระยะพิทซ์ต่อความสูงช่องขนาน (P/H) 3 ค่าคือ 1.5, 2.0 และ 3.0 และมี ค่าอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงช่องขนาน (e/H) 3 ค่าคือ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ มุมปะทะการไหล 45° จัดวางลักษณะแผ่นกั้น 2 แบบคือ ติดตั้งแผ่นกั้นที่ผนังด้านบนและด้านล่างใน แนวตรงกัน และติดที่ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวเอียงกัน ผลการทดลองพบว่าการติดแผ่นกั้นที่ ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวตรงกัน ให้การถ่ายเทความร้อนดีกว่าจัดวางในแนวเอียงกัน โดยที่ $e/H=0.1$, $P/H=1.5$ แบบจัดวางแนวแผ่นกั้นตรงกัน ให้ค่าสมรรถนะทางความร้อน (TEF) สูงสุด เท่ากับ 2.2 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุด



รูปที่ 2.10 ครีบบางรูปตัว Z ของ Sriromreun et al. [29]

Tamna et al. [30] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ โดยใช้ตัวสร้างการไหลหมุนวนชนิดแผ่นกั้นรูปตัววีหลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ได้ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4000-21,000 มีอัตราส่วนการกั้นการไหล 1 ค่าคือ $BR=0.25$ และค่าอัตราส่วนระยะพิทช์ 3 ค่าคือ $PR \equiv P/H \equiv 0.5, 1$ และ 2 ตามลำดับ มุมปะทะการไหล 45° โดยจัดวางลักษณะแผ่นกั้น 3 แบบคือ ติดตั้งแผ่นกั้นที่ผนังด้านบน 1 ด้าน ติดที่ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวตรงกัน และติดที่ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวเอียงกัน ผลการทดลองพบว่าที่ $PR=0.5$ ติดแผ่นกั้นที่ผนังด้านบนด้านเดียวให้ค่าสมรรถนะทางความร้อน (TEF) สูงสุดเท่ากับ 1.83 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุด



รูปที่ 2.11 แผ่นกั้นรูปตัววีของ Tamna et al. [30]

ตารางที่ 2.1 แสดง Correlations for heat transfer coefficient and friction factor

Author	Roughness geometry / Parameters	TEF	Correlation	Error
Jaurker et al. [13]	Rib-grooved $e/D=0.0181-0.0363$ $p/e=4.5-10$ $Re= 3000-21,000$ $g/p=0.3-0.7$	$Nu = 0.002062Re^{0.936}(e/D)^{0.349}(p/e)^3 \times \exp[-0.868\{\ln(p/e)\}^2(g/p)^{1.108} \times \exp[-2.486\{\ln(g/p)\}^2+1.406\{\ln(g/p)\}^3]$	$Nu = 0.001227(Re)^{0.199}(e/D)^{0.585}(p/e)^{7.19}(g/p)^{0.645} \times \exp(-1.854\{\ln(p/e)\}^2) \times \exp(1.513\{\ln(g/p)\}^2+0.8662\{\ln(g/p)\}^3)$	$\pm 10\%$ $f = \pm 8\%$

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Author	Roughness geometry / Parameters	TEF	Correlation	Error
Lu and Jiang [14]		None		
บูรณโชคไพศาล [15]	Re=500-20,000 e/D _h =0.33	None		
Varun et al. [16]		None		
Promvonge and Thianpong [17]		None		
สกุลหลง [18]	Re=5000-25,000 PR=1, 2, 3 e/H=0.1, 0.2, 0.3 θ=30, 45, 60	1.97	$Nu = 0.284Re^{0.7725} Pr^{0.4} (1+\tan\theta)^{0.2936} (e/H)^{0.3769} (PR+1)^{0.424}$ $f = 1.5972Re^{-0.0068} (1+\tan\theta) (e/H)(PR+1)^{-0.689}$	Nu = ±5% f = ±10%
มะลิกุล [19]	Re=3000-20,000 ครีบนานา θ =90° และ V-baffles θ =45° PR=0.5, 1.0, 2.0 ครีบบสูง = 5 mm	1.84	upper plate และ in-line $Nu = 0.0978Re^{0.7573} Pr^{0.4} N^{0.2284} (PR+1)^{-0.1871}$ $f = 0.0047Re^{-0.0632} N^{1.1854} (PR+1)^{1.4825}$ ครีบบสมรื่อง $Nu = 0.1193Re^{0.784} Pr^{0.4} N^{0.1907} (PR+1)^{-0.2366}$ $f = 0.0083Re^{-0.0595} N^{1.3713} (PR+1)^{1.3217}$	Nu = ±2% f = ±15%
Sripattanapipat and Promvonge [20]		None		

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Author	Roughness geometry / Parameters	TEF	Correlation	Error
อำไพจิตร [21]	Re=5000-23,000 e/H=0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 P/H=1, 2, 3 $\alpha=45^\circ$	2.91	upper $Nu = 0.80725Re^{0.7461} Pr^{0.4} (e/H)^{0.3916} ((P/H)+1)^{-0.6559}$ $f = 27.0833Re^{-0.0520} (e/H)^{1.4273} ((P/H)+1)^{-0.9480}$ In-line $Nu = 1.0885Re^{0.7508} Pr^{0.4} (e/H)^{0.3842} ((P/H)+1)^{-0.6450}$ $f = 30.55896Re^{-0.04682} (e/H)^{1.33982} ((P/H)+1)^{-0.7974}$	Nu = $\pm 10\%$ f = $\pm 10\%$
กนกนัยการ [26]	V-shaped triangular and rectangular ribs Re=5000-25,000 e/H=0.2, 0.3, 0.4 P/H=1, 2, 3, 4 $\alpha=30^\circ$	1.84	triangular $Nu = 0.1006Re^{0.7987} Pr^{0.4} ((e/H)+1)^{1.731} ((P/H)+1)^{-0.568}$ $f = 0.3125Re^{-0.015} ((e/H)+1)^{4.576} ((P/H)+1)^{-0.9101}$ rectangular $Nu = 0.0879Re^{0.819} Pr^{0.4} ((e/H)+1)^{2.314} ((P/H)+1)^{-0.626}$ $f = 0.26Re^{-0.021} ((e/H)+1)^{8.707} ((P/H)+1)^{-1}$	Nu = $\pm 10\%$ f = $\pm 10\%$
Sriromreun et al. [29]	Z-baffles Re=4400-20,400 P/H=1.5, 2.0, 3.0 e/H=0.1, 0.2, 0.3 $\alpha=45^\circ$	2.2	$Nu = 0.290236Re^{0.669891} Pr^{0.4} (e/H+1)^{4.854282} (P/H+1)^{-0.47904}$ $f = 0.2377223Re^{-0.0726} (e/H+1)^{9.859262} (P/H+1)^{-0.86932}$	Nu = $\pm 10\%$ f = $\pm 10\%$

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Author	Roughness geometry / Parameters	TEF	Correlation	Error
Tamna et al. [30]	V-baffles Re=4000-21,000 P/H=0.5, 1, 2 BR=0.25 $\alpha=45^\circ$	1.83	single plate $Nu = 0.28Re^{0.761} Pr^{0.4} (PR+1)^{-0.658}$ $f = 8.28Re^{-0.066} (PR+1)^{-2.07}$ in-line $Nu = 0.343Re^{0.753} Pr^{0.4} (PR+1)^{-0.621}$ $f = 8.9Re^{-0.06} (PR+1)^{-0.85}$	Nu = $\pm 7\%$ f = $\pm 10\%$

2.3 แนวทางการศึกษาวิจัย

จากงานวิจัยที่ได้ยกตัวอย่างมาโดยส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งสนใจศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันภายในช่องขนานแบบสี่เหลี่ยม ที่ใช้ครีบบางแผ่นบางวางขวางการไหล โดยมีการปรับระยะพิตต์ และความสูงครีบบาง ครีบบางจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมวางตรง และเอียงขวางทิศทางการไหล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำแนวคิดในการประยุกต์ใช้ครีบบางมาทำการติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมขนานเช่นเดียวกัน โดยพิจารณารูปทรง, ขนาด, มุม, ระยะพิตต์ และตำแหน่งการติดตั้งครีบบาง ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหล การสูญเสียความดันและแรงเสียดทานภายในท่อทดสอบ โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีครีบบางแยกตัวและครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ซึ่งจะเป็นการหาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่ และแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ และออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด และเพื่อการขยายข้อมูลการศึกษาครีบบางในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนลักษณะการติดตั้ง การจัดวาง และทิศทางของมุมครีบบาง เป็นทางเลือกให้กับผู้ใช้งานตัดสินใจเลือกใช้ตามความเหมาะสมของระบบของผู้ใช้งานต่อไป อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีของผู้ที่สนใจ นักออกแบบ นักศึกษาและนักวิจัย อาทิเช่น ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่มีการติดตั้งครีบบาง และยังเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น นำไปสู่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถลดการเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสามารถลดขนาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสม นำไปสู่การลดการใช้วัสดุ และพื้นที่ทำงาน อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อระบบ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหลาย โดยเฉพาะระบบทำความเย็น ที่จะมีขนาดที่เล็กลง นำไปสู่การลดใช้ปริมาณสารทำความเย็นให้น้อยลง ทำให้ลดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่นำไปสู่ภาวะโลกร้อนลงได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า งานวิจัยนี้จึงมีผลดีทำให้มีการใช้พลังงาน และทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และมีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการพัฒนาในเชิงเศรษฐกิจ องค์ความรู้ที่ได้ก็เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืนเพื่อความเป็นอยู่ที่ดีของสังคม ลดภาวะโลกร้อน ลดมลพิษ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3 ทฤษฎี

3.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่อ ที่ไหลผ่านครีบบาง รูปตัววีวางขวางการไหลตลอดช่วงทดสอบที่มีการให้ความร้อน โดยลักษณะของไหลที่ไหลจะเป็นการไหลในลักษณะปั่นป่วน (ลักษณะการไหลในการทดลองจะอธิบายในบทที่ 4) ซึ่งทฤษฎี [31-38] ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะประกอบไปด้วยหลักๆ อยู่สองหัวข้อคือ กลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อน ในส่วนของกลศาสตร์ของไหลจะเน้นในส่วนของการไหลภายในท่อ และการถ่ายเทความร้อนซึ่งประกอบไปด้วย สมดุลพลังงาน สหสัมพันธ์การพาความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดัน และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (Thermal performance enhancement factor, TEF)

3.2 กลศาสตร์ของไหล

ลักษณะการไหลภายในท่อมี่ลักษณะตามรูปที่ 3.1 คือชั้นของขอบเขตของการไหลที่ได้รับผลกระทบจากความหนืดของของไหลเรียกว่า ช่วงชั้นขอบเขตการไหล (Boundary Layer) จะค่อยๆ ขยายบริเวณจากผนังท่อไปสู่กึ่งกลางท่อ โดยในส่วนนี้ความเร็วของของไหลที่หน้าตัดเดียวกันนั้นจะมีค่าไม่เท่ากันจากผลของความหนืดของของไหลกระทำกับผนัง แต่ที่นอกบริเวณดังกล่าวความหนืดจะไม่มีผลกระทบต่อลักษณะการไหล ในส่วนช่วงแรกที่ผลของความหนืดยังไม่มีผลต่อของไหลตลอดทั้งหน้าตัดนั้นจะเรียกว่า การไหลที่กำลังปรับตัว (Developing flow) และเรียกช่วงระยะของการไหลแบบนี้ว่า Hydrodynamic entrance region และหลังจากที่ความหนืดมีผลต่อการไหลทั้งหน้าตัดรูปร่างของความเร็วจะมีลักษณะชัดเจนแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก ซึ่งการไหลลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การไหลที่ปรับตัวเต็มที่ (Fully developed flow)

ตัวพารามิเตอร์ความดันตกคร่อมเกี่ยวข้องกับกำลังงานของพัคลมโดยตรง ยิ่งความดันตกคร่อมมากจำเป็นต้องใช้กำลังขับเคลื่อนของไหลมากขึ้น

การจ่ายกำลังให้พัคลม, \dot{W}_m

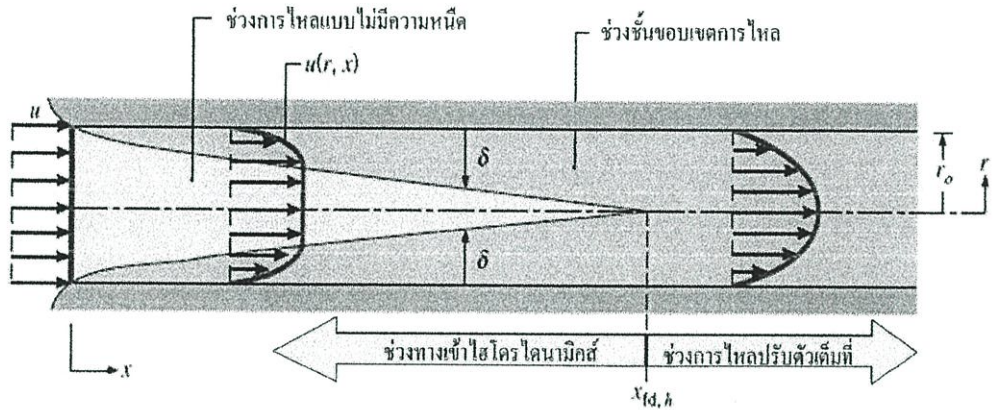
$$\dot{W}_m = \dot{V} \Delta p \quad (3.1)$$

ความดันตกคร่อมของของไหล, ΔP

$$\Delta P = f \frac{\rho L \bar{V}^2}{2D} \quad (3.2)$$

3.2.1 สภาวะการไหล

พิจารณาการไหลแบบราบเรียบในท่อกลมที่มีรัศมี r_0 ตามรูปที่ 3.1 สำหรับการไหลภายในท่อนั้นต้องคำนึงถึงการขยายตัวของช่วงบริเวณทางเข้า (Entry region) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบใดระหว่างการไหลแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน เลขเรย์โนลด์ส์สำหรับการไหลภายในท่อกลมกำหนดเป็น



รูปที่ 3.1 การก่อตัวของชั้นขอบเขตการไหลของการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม [36]

$$Re_D = \frac{\rho u_m D}{\mu} \quad (3.3)$$

เมื่อ

u_m คือ ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

เลขเรย์โนลด์ส์วิกฤติ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของการไหล จากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วน เริ่มต้นจาก $Re_{D,c} \approx 2,300$ และการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มที่ที่ $Re_D \geq 4,000$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ($Re_D \leq 2,300$) ความยาวของช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัว หาได้จากสมการ

$$(x_{fd,h} / D)_{lam} \approx 0.05 Re_D \quad (3.4)$$

ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วน ($Re_D \geq 4,000$) ไม่มีสมการที่แน่นอนสำหรับหาระยะทางสำหรับการปรับตัว แต่รู้เพียงว่าไม่เกี่ยวข้องกับเลขเรย์โนลด์ส์ และมีค่าประมาณดังนี้

$$10 \leq (x_{fd,h} / D)_{turbo} \leq 60 \quad (3.5)$$

สำหรับค่าที่ใช้ในที่นี้ เราจะสมมุติว่า $x_{fd} > 10D$ สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

3.2.2 ความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วภายในท่อจะแปรเปลี่ยนทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังนั้นจึงใช้ความเร็วเฉลี่ย u_m แทน โดยนิยามว่า ความเร็วเฉลี่ย คือ ความเร็วคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อและความหนาแน่นของของไหล จะเท่ากับอัตราการไหลของมวล

$$\dot{m} = \rho u_m A_c \quad (3.6)$$

ถ้าเป็นการไหลสถานะคงที่ ที่อัดตัวไม่ได้ภายในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ค่า \dot{m} และ u_m ย่อมมีค่าคงที่ตลอดความยาวท่อ

สำหรับท่อกลม ($A_c = \pi D^2/4$) ค่าของเลขเรย์โนลด์ส์ลดรูปเป็น

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad (3.7)$$

เพราะว่าค่า \dot{m} อาจหาได้จากการอินทิเกรตของฟลักซ์มวล (ρu) ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c \quad (3.8)$$

ดังนั้น สำหรับท่อกลม กรณีของไหลอัดตัวไม่ได้ จะได้

$$u_m = \frac{\int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c}{\rho A_c} = \frac{2\pi\rho}{\rho\pi r_o^2} \int_{r_o}^0 u(r, x) dr = \frac{2}{r_o^2} \int_{r_o}^0 u(r, x) dr \quad (3.9)$$

ซึ่งจะหาค่า u_m ได้ทันที เมื่อรู้ velocity profile, $u(r)$ ที่ตำแหน่งนั้น

3.2.3 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทานในการไหลแบบปรับตัวเต็มที่

ในงานด้านวิศวกรรมทั่วไป จะให้สนใจเกี่ยวกับการเกิดความดันตกคร่อมในการไหลภายในท่อ เนื่องจากตัวพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับการหาขนาดกำลังงานของปั๊มหรือพัดลมโดยตรง ในการหาความดันตกคร่อม หาได้โดยใช้ตัวประกอบเสียดทานของ Moody ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ไร้มิติ โดยนิยามว่า

$$f = \frac{-(dp/dx)D}{\rho u_m^2/2} \quad (3.10)$$

ค่านี้ต่างกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน C_f ซึ่งบางครั้ง เรียกว่า ตัวประกอบเสียดทานพैनิง ซึ่งนิยามว่า

$$C_f = \frac{\tau_s}{\rho u_m^2/2} \quad (3.11)$$

เพราะว่าแรงเฉือนบนผิวของของไหลเท่ากับทิศทางตรงกันข้ามแรงบนผิวของของไหล ดังนั้นความเค้นเฉือนบนผิวกำหนดเป็น $\tau_s = -\mu(du/dr)_{r=r_o}$ ได้

$$C_f = \frac{f}{4} \tag{3.12}$$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่

$$f = \frac{64}{Re_D} \tag{3.13}$$

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มที่ การวิเคราะห์ยุ่งยากมากกว่าต้องใช้ผลจากการทดลองตัวประกอบเสียดทานสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่าง ๆ ได้แสดงในไดอะแกรมของ Moody ในรูปที่ 3.2 ตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าขึ้นอยู่กับเลขเรย์โนลด์ส์และสภาวะผิวของท่อ ซึ่งจะมีค่าน้อยสำหรับผิวเรียบและเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหยาบของผิวเพิ่มขึ้นโดยประมาณดังนี้

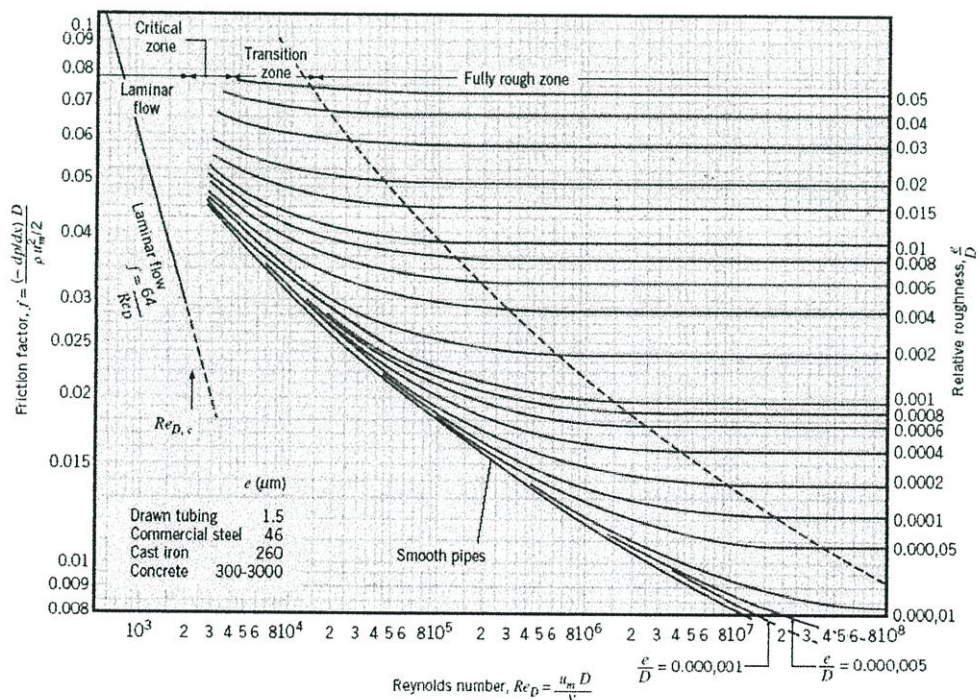
$$f = 0.316 Re_D^{-1/4} \quad Re_D < 2 \times 10^4 \tag{3.14}$$

$$f = 0.184 Re_D^{1/5} \quad Re_D > 2 \times 10^4 \tag{3.15}$$

นอกจากนี้เรารู้ว่าความดันตกคร่อม (ΔP) ระหว่างระยะ x_1 ถึง x_2 เป็น

$$\Delta p = -\int_{p_1}^{p_2} dp = f \frac{\rho u_m^2}{2D} \int_{x_1}^{x_2} dx = f \frac{\rho u_m^2}{2D} (x_2 - x_1) \tag{3.16}$$

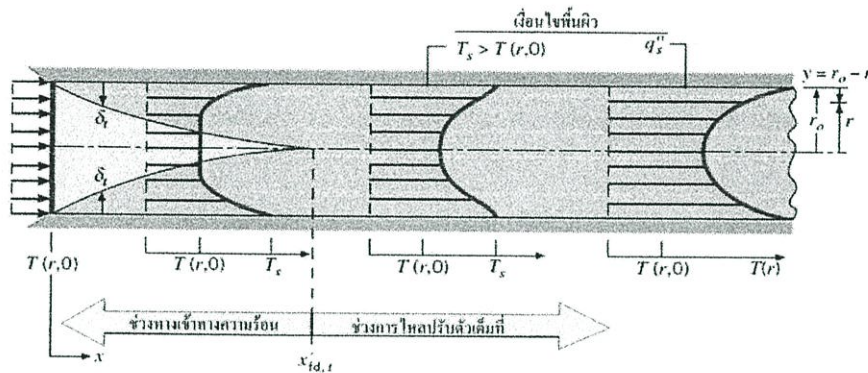
ซึ่งค่า f หาจากรูปที่ 3.2 หรือจากสมการ (3.13) สำหรับการไหลแบบราบเรียบ และจากสมการ (3.14) และ (3.15) สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลมผิวเรียบ



รูปที่ 3.2 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลม [36]

3.3 การถ่ายเทความร้อน

การก่อตัวของชั้นขอบเขตทางความร้อนในท่อกลม แสดงในรูปที่ 3.3 ที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ $T(r,0)$ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและชั้นขอบเขตการไหลของความร้อนจะเริ่มต้นก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสถานะที่ผิวของท่อคงที่ โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิวสม่ำเสมอคงที่ ($T_s = \text{คงที่}$) หรือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวสม่ำเสมอ ($q_s'' = \text{คงที่}$) สถานะที่ปรับตัวคงที่ของความร้อน (Thermally fully developed condition) ก็เกิดขึ้น ในที่สุดรูปร่างของอุณหภูมิที่ปรับตัวเต็มที่จะแตกต่างกันตามเงื่อนไขไม่ว่าอุณหภูมิผิวคงที่หรือฟลักซ์ความร้อนคงที่



รูปที่ 3.3 การก่อตัวของชั้นขอบเขตทางความร้อนในท่อกลม [36]

การไหลแบบปั่นป่วน ระยะความยาวของทางเข้าสำหรับปรับตัวหาได้จากสมการ

$$\frac{x_{fd,l}}{D} = 10 \tag{3.17}$$

3.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย

ในเรื่องอุณหภูมิ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ย (T_m) โดยให้ความหมายได้ดังสมการ (3.18)

$$T_m = \frac{\int_{A_c} \rho u c_v T dA_c}{\dot{m} c_v} \tag{3.18}$$

สำหรับท่อกลม และเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้

$$T_m = \frac{2}{u_m r_o^2} \int_0^{r_o} u T r dr \tag{3.19}$$

ค่าของ T_m จะเปลี่ยนแปลงตามแนว x ถ้ามีความร้อนเข้าหรือออกจากของไหล ซึ่งต่างจาก u_m มีค่าคงที่ สำหรับท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

ฟลักซ์ความร้อน (q_s'') ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใด ๆ หาได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \quad (3.20)$$

ซึ่ง h เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ตำแหน่งใด ๆ T_m เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง นั่นคือ dT_m / dx จะไม่เป็นศูนย์ ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น

3.3.2 สภาวะการปรับตัวเต็มที่

เนื่องจากการพาความร้อนเกิดขึ้นจริงระหว่างผิวและของไหล นั่นคืออุณหภูมิของไหลยังคงเปลี่ยนแปลงตามระยะ x สิ่งหนึ่งที่ยากรู้คือเกิดภาวะ Thermal fully developed หรือยัง สถานการณ์นี้จะแตกต่างไปจากกรณีการไหลของของไหลที่ $(\partial u / \partial x) = 0$ ในช่วงบริเวณปรับตัวเต็มที่ ในทางกลับกัน ถ้ามีการพาความร้อน (dT_m / dx) เช่นเดียวกับ $(\partial T / \partial x)$ ที่รัศมี r ใด ๆ จะไม่เป็นศูนย์ ผลที่ตามมา คือ รูปร่างของอุณหภูมิ $T(r)$ จะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x ซึ่งเปรียบเสมือนว่า สภาวะการปรับตัวเต็มที่ของอุณหภูมิไม่เคยเกิดขึ้นเลย ปรากฏการณ์นี้จะต้องจัดใหม่ให้อยู่ในรูปไร้มิติของอุณหภูมิเพื่อให้ได้เงื่อนไข

ความแตกต่างอุณหภูมิไร้มิติในรูป $(T_s - T) / (T_s - T_m)$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีอยู่จริง ซึ่งอัตราส่วนนี้จะ เป็นอิสระกับ x นั่นคือถึงแม้ว่า $T(r)$ ยังคงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x แต่รูปร่างสัมพัทธ์ของ profile นี้จะไม่เปลี่ยนแปลงเลย และการไหลแบบนี้เรียกว่า การไหลปรับตัวเต็มที่ทางความร้อน (Thermally fully developed) และจะได้ว่า

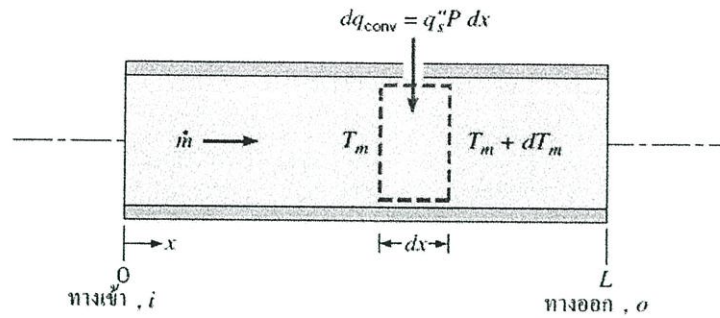
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s(x) - T(r, x)}{T_s(x) - T_m(x)} \right]_{fd,t} = 0 \quad (3.21)$$

- เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิผิวท่อ
 T คือ อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งใด ๆ
 T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ

เงื่อนไขที่กำหนดให้สำหรับสมการ (3.21) ซึ่งจะเกิดขึ้นในท่อ อาจจะเป็นกรณี q_s'' คงที่ หรือ T_s คงที่ได้ เงื่อนไขที่ผิวแบบนี้เกิดขึ้นมากในทางวิศวกรรม เช่น ในผนังท่อที่ได้รับความร้อนจากไฟฟ้าหรือผิวภายนอกที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอ จะเป็นกรณีของ q_s'' คงที่ ส่วนกรณี T_s คงที่ จะเกิดขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนสภาวะ (เนื่องจากการเดือดหรือการควบแน่น) เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก

3.3.3 การสมดุลของพลังงาน

พิจารณาการไหลในท่อตามรูปที่ 3.4 ของไหลไหลด้วยอัตรามวลคงที่ \dot{m} และมีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวภายใน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของของไหล รวมทั้งการนำความร้อนในทิศทางตามแนวแกนจะไม่นำมาคิด ดังนั้นถ้าไม่มีงานเพลลาซึ่งกระทำโดยของไหล ขณะไหลผ่านท่อ จะมีเพียงอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนและงานจากการไหลเท่านั้น



รูปที่ 3.4 ปริมาตรควบคุมสำหรับการไหลภายในท่อ [36]

งานของการไหลเป็นงานที่ใช้เคลื่อนของไหลผ่านปริมาตรควบคุม คิดต่อหน่วยมวลของไหล และจะอยู่ในรูปของผลคูณของความดัน p และปริมาตรจำเพาะ v (ซึ่ง $v = 1/\rho$)

โดยการประยุกต์การอนุรักษ์พลังงานต่อปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 3.4 และจากนิยามของ T_m จะได้

$$dq_{conv} + \dot{m}(c_v T_m + pv) - \left[\dot{m}(c_v T_m + pv) + \dot{m} \frac{d(c_v T_m + pv)}{dx} dx \right] = 0 \quad (3.22)$$

$$\text{หรือ } dq_{conv} = \dot{m} d(c_v T_m + pv) \quad (3.23)$$

ถ้าของไหลเป็นแก๊สสมบูรณ์ ($pv = RT_m$ และ $c_p = c_v + R$) จะได้

$$dq_{conv} = \dot{m} c_p dT_m \quad (3.24)$$

สมการนี้ใช้ได้สำหรับของเหลวที่อัดตัวไม่ได้เช่นกัน ในกรณีนี้ $c_v = c_p$ เพราะ v น้อยมาก ๆ $d(pv)$ โดยทั่วไปจะน้อยกว่า $d(c_v T_m)$ มากจนตัดทิ้งได้

รูปของสมการ (3.24) เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขสำหรับท่อทั้งหมด โดยการอินทิเกรตจากทางเข้าถึงทางออกของท่อ จะได้

$$q_{conv} = \dot{m} c_p (T_{m,o} - T_{m,i}) \quad (3.25)$$

โดยที่ q_{conv} เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งหมด
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, h

$$h = \frac{\dot{m} c_p (T_{m,o} - T_{m,i})}{A_s (T_s - T_b)} \quad (3.26)$$

อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล, T_b

$$T_b = \frac{T_{m,j} + T_{m,o}}{2} \quad (3.27)$$

เลขนัสเซิลท์, Nu_D

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \quad (3.28)$$

เงื่อนไขความร้อนที่ผิว คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยติดแผ่นฮีตเตอร์ที่ผิวครีบ

3.3.4 สหสัมพันธ์การพาความร้อน การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม

สมการหา Nu_x สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลมเรียบ เสนอโดย Colburn ซึ่งได้มาจาก Chilton-Colburn analogy [36]

$$\frac{C_f}{2} = \frac{f}{8} = St Pr^{2/3} = \frac{Nu_D}{Re_D Pr} \quad (3.29)$$

แทน f จากสมการ (3.15) สมการของ Colburn เป็น

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \quad (3.30)$$

Dittus-Boelter [46] ได้เสนอสมการเป็น

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad (3.31)$$

โดยที่ $n=0.4$ สำหรับการทำให้ร้อน ($T_w > T_m$)

และ $n=0.3$ สำหรับการทำให้เย็น ($T_w < T_m$)

สมการนี้ได้รับการยืนยันจากผลการทดลองสำหรับช่วงของเงื่อนไขดังนี้

$$\left[\begin{array}{l} 6,000 \leq Re_D \leq 10^7 \\ 0.5 \leq Pr \leq 120 \\ L/D \geq 60 \end{array} \right]$$

สมการต่าง ๆ นี้จะใช้เพียงเฉพาะกรณีย่อย ๆ ที่ความแตกต่างอุณหภูมิ ($T_s - T_m$) ไม่มากนัก โดยคุณสมบัติต่าง ๆ คัดที่ T_m สำหรับการไหลที่แสดงลักษณะการแปรเปลี่ยนคุณสมบัติมาก ๆ Seider และ Tate [46] ได้แนะนำให้ใช้สมการต่อไปนี้

$$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (3.32)$$

สำหรับ
$$\left[\begin{array}{l} 6,000 \leq Re_D \leq 10^7 \\ 0.7 \leq Pr \leq 10,000 \\ L/D \geq 60 \end{array} \right]$$

โดยที่คุณสมบัติต่าง ๆ ยกเว้นค่า μ_s หาที่ T_m โดยที่ μ หาที่ T_w

3.3.5 สหสัมพันธ์การพาความร้อน สำหรับท่อที่ไม่กลม

ถึงแม้ว่ามีข้อจำกัดมากเกี่ยวกับการพิจารณาต่อการไหลภายในท่อกลม การประยุกต์ทางวิศวกรรมส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนในท่อที่ไม่กลม โดยการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางประสิทธิภาพเป็นความยาวเฉพาะ (Characteristic length) ซึ่งเรียกว่า เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter), D_h











$$D_h = \frac{4A_c}{P_e} \quad (3.33)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัด
 P_e คือ เส้นรอบรูปของหน้าตัดการไหล

เส้นผ่านศูนย์กลางนี้จะใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น Re_D และ Nu_D สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ค่า Nu_D ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขปรับตัวเต็มที่หาได้จากตารางที่

3.1

ตารางที่ 3.1 ค่า Nu_D สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อพื้นที่หน้าตัดต่าง ๆ กัน [36]

หน้าตัดขวาง	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$		$f Re_{D_h}$
		(Uniform q_s')	(Uniform T_s)	
	—	4.36	3.66	64
	1.0	3.61	2.98	57
	1.43	3.73	3.08	59
	2.0	4.12	3.39	62
	3.0	4.79	3.96	69
	4.0	5.33	4.44	73
	8.0	6.49	5.60	82
	∞	8.23	7.54	96
	∞	5.39	4.86	96
	—	3.11	2.49	53

3.3.6 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนของของไหลเราสามารถหาสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้จากการนำเอาส่วนของกำลังที่ใช้ในการป้อนให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาคำนวณรวมกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยสมการหามาจากกำลังที่ใช้ในการจ่ายของไหลผ่านท่อที่มีผนังเรียบ ($Power_o$) เท่ากับกำลังที่ใช้ในการจ่ายของไหลผ่านท่อที่มีการติดตั้งครีบลักษณะต่างๆ ($Power_b$)

$$Power_o = Power_b$$

$$(\Delta PQ)_o = (\Delta PQ)_b$$

$$\left[\left(\frac{f \rho L V^2}{2D_h} \right) (VA) \right]_o = \left[\left(\frac{f \rho L V^2}{2D_h} \right) (VA) \right]_b$$

$$(f v^{-3})_o = (f v^{-3})_b$$

$$(f Re^3)_o = (f Re^3)_b$$

$$\frac{f_o}{f_b} = \frac{Re_b^3}{Re_o^3}$$

$$\frac{Re_b}{Re_o} = \left(\frac{f_o}{f_b} \right)^{1/3}$$

$$\frac{Re_b}{Re_o} = \frac{1}{(f_b / f_o)^{1/3}}$$

$$Re_b = \frac{Re_o}{(f_b / f_o)^{1/3}} \quad (3.34)$$

ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนพิจารณาที่กำลังของพัดลมที่ใช้ในการจ่ายอากาศผ่านท่อที่มีผนังเรียบและท่อที่มีการติดตั้งครีบลักษณะต่างๆ เท่ากัน ดังนั้นค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้ดังนี้

$$TEF = \frac{h_b}{h_o} \Big|_{pp} = \frac{Nu_b}{Nu_o} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu_b}{Nu_o} \right) \left(\frac{f_b}{f_o} \right)^{-1/3} \quad (3.35)$$

เมื่อตัวห้อย	b คือ ครีป
	0 คือ ท่อผนังเรียบ
	pp คือ ที่กำลังขับเดียวกัน (pumping power)

ซึ่งค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะเป็นตัวชี้วัดที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อให้ค่ามากกว่า 1 แสดงว่าให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อผนังเรียบ เมื่อใช้กำลังขับพัคลมของระบบค่าเดียวกัน โดยการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและประหยัดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับระบบ นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เกิดประโยชน์ทั้งในแง่การลดพื้นที่การติดตั้ง ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ด้วยราคาขายที่ต่ำลง ลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยเยียวยาและแก้ปัญหาวิกฤตทรัพยากรพลังงาน

3.4 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ด้วยรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร

โดยทั่วไป ตัวแปรตามแต่ละตัวหรือผลตอบสนอง (Response; Y) จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ n (Independent หรือ Regressor variables) เช่น x_1, x_2, \dots, x_n เป็นต้น ความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ สามารถอธิบายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า “สมการรีเกรสชัน” (สมการถดถอย; Regression equation) แบบจำลองรีเกรสชันจะสอดคล้องกับกลุ่มของข้อมูลของตัวอย่าง บางกรณีผู้ทดสอบทราบถึงฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปร เช่น $Y = \phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่จะไม่ทราบฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปร ดังนั้นจึงต้องมีการประมาณค่าของฟังก์ชันเพื่อประมาณค่า ϕ โดยในการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นเครื่องมือในการหาฟังก์ชันดังกล่าว

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อน ในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ มีตัวแปรอิสระที่สนใจศึกษา มากกว่า 1 ตัวแปร เช่น เลขเรย์โนลด์ส์ (Re), เลขพรานท์ (Pr), อัตราส่วนความสูงครีปต่อความสูงท่อ (e/H), อัตราส่วนระยะพิตช์ครีปต่อความสูงท่อ (P/H), มุมปะทะ (α) และพารามิเตอร์ที่ศึกษาอื่น ๆ เป็นต้น แบบจำลองทั่วไปที่ใช้จะอยู่ในรูปแบบของ Multiple Exponential Regression Model ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$Y = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \dots x_n^{b_n} \quad (3.36)$$

ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูป Multiple Linear Regress in Logarithmic Scale คือ

$$\ln(Y) = \ln b_0 + b_1 \ln(x_1) + b_2 \ln(x_2) + b_3 \ln(x_3) \dots + b_n \ln(x_n) \quad (3.37)$$

เมื่อ b_0 = ค่าคงที่
 b_i = ค่าสัมประสิทธิ์หรือพารามิเตอร์ของเส้นตรงของตัวแปร x_i

บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบอุปกรณ์ และชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดครีบบางรูปตัววีตลอดช่วงทดสอบ รายละเอียดในส่วนเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในชุดทดลอง ตลอดจนวิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอน และขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากนั้นกล่าวถึง สมการในการวิเคราะห์ข้อมูลการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนาน โดยการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากนั้นเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันกับท่อผนังเรียบ (Nu_0, f_0) และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณที่กำลังซับซ้อนเดียวกัน

4.2 การออกแบบอุปกรณ์และชุดทดลอง

4.2.1 พัดลม

การหาขนาดพัดลมที่จะใช้ในการทดลอง โดยพิจารณาที่เลขเรย์โนลด์ส์มากที่สุดที่จะทำการทดสอบ $Re=22,000$ ซึ่งจะเป็นการทำงานของพัดลมที่รับภาระสูงสุด

จากสมการเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter)

$$\begin{aligned} D_h &= \frac{4A_c}{P_e} \\ &= \frac{4(3 \times 30 \times 10^{-4})}{(2(3 + 30)) \times 10^{-2}} \\ &= 0.0545 \text{ m.} \end{aligned}$$

จากตารางคุณสมบัติอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 318 K (อุณหภูมิเฉลี่ยของทางเข้า และทางออกของอากาศที่ใช้ในการทดลอง) จะได้ $\rho = 1.099712 \text{ kg/m}^3$

และ $\mu = 191.3993 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$

จากสมการเลขเรย์โนลด์ส์

$$Re_D = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หาความเร็วเฉลี่ย} \quad \bar{v} &= \frac{Re_D \mu}{\rho D_h} \\
 &= \frac{22,000 \times 191.3993 \times 10^{-7}}{1.099712 \times 0.0546} \\
 &= 7.01 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad \dot{V} &= \bar{v} A_c \\
 &= 7.01 \times 3 \times 30 \times 10^{-4} \\
 &= 0.063115 \text{ m}^3/\text{s} = 3786.9 \text{ LPM}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ในการทดลองกำหนดให้ใช้พัดลม ที่สามารถให้ค่าอัตราการไหลมากกว่า 3786.9 ลิตรต่อนาที

4.2.2 ท่อทางเข้าสู่ชุดทดลอง

ในการทดลองจำเป็นต้องให้อากาศที่ไหลเข้าบริเวณช่วงทดสอบต้องมีลักษณะการไหลเป็นแบบปรับตัวเต็มที่ (fully developed flow) ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องหาระยะความยาวท่อที่ทำให้ของมีลักษณะดังกล่าวก่อนเข้าช่วงทดสอบ เลขเรย์โนลด์ส์วิกฤติ สำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลงของการไหลจากแบบราบเรียบเป็นแบบปั่นป่วน เริ่มต้นจาก $Re_{D,c} \approx 2300$ และการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มที่ เมื่อ $Re_D \geq 4000$

ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วน $Re_D \geq 4000$ ไม่มีสมการที่แน่นอนสำหรับหาระยะทางสำหรับการปรับตัว แต่รู้เพียงว่าไม่เกี่ยวข้องกับเลขเรย์โนลด์ส์ และมีค่าประมาณดังนี้

$$10 \leq \left(\frac{x_{fd,h}}{D} \right)_{turb} \leq 60$$

สำหรับค่าที่ใช้ในที่นี้ เราจะสมมุติว่า $x_{fd} = 30D_h$ สำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ (fully developed flow)

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad x_{fd} &= 30D_h \\
 &= 30 \times 0.05455 \\
 &= 1.64 \text{ m}
 \end{aligned}$$

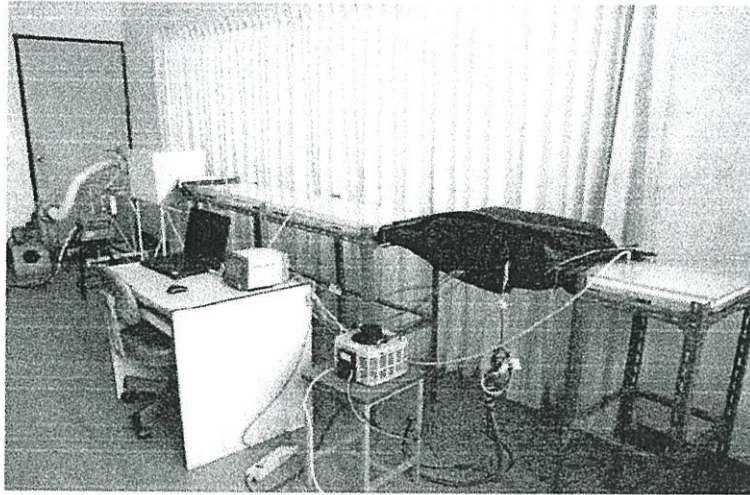
ดังนั้น ในการทดลองจึงกำหนดท่อทางเข้าสู่ชุดทดลองให้มีความยาว 1.8 เมตร

4.3 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง

ในการศึกษาผลของครีบบางรูปตัววี เพื่อหาผลของค่าต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะในการถ่ายเทความร้อน เป็นการทำการทดลอง และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาหลักการถ่ายเทความร้อน แล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาลักษณะของครีบที่ให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจัดเตรียม และสร้างอุปกรณ์ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

4.3.1 ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีครีบบางรูปตัววีทำมุมปะทะการไหล 30° และ 45° ในช่องทดสอบ แสดงในรูปที่ 4.1 โดยติดครีบบางที่ผิวด้านในตามการออกแบบการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลองกับท่อผนังเรียบ

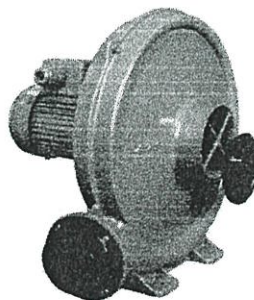


รูปที่ 4.1 ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ท่อทดสอบมีความกว้าง 300 มิลลิเมตร ความยาว 600 มิลลิเมตร และมีระยะห่างระหว่างผิวบน และผิวล่างภายในชุดทดลองเท่ากับ 30 มิลลิเมตร ซึ่งผนังของชุดทดลองจะประกอบไปด้วยฉนวน 4 ชั้น ฉนวนชั้นแรกใช้วัสดุเป็นฉนวนใยแก้ว ฉนวนชั้นที่สองเป็นแผ่นกระเบื้อง ฉนวนชั้นที่สามเป็นฉนวนใยแก้ว และชั้นที่สี่หุ้มด้วยฉนวนพองน้ำที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ

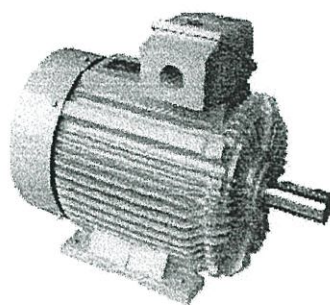
4.3.2 แหล่งจ่ายอากาศ

แหล่งจ่ายอากาศ ใช้พัดลม (High-pressure blower) MODEL TB-150 เป็นแบบพัดลมหอยโข่งแรงดันสูง 12 ใบพัด ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ หรือ 2 HP ใช้กระแสไฟฟ้า 380 V ความดัน 700 mm.Aq แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 พัดลมแรงดันสูง (High-pressure blower)

มอเตอร์ (Motor) เป็นต้นกำลังในการขับพัดลม ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 380 V 50 Hz 2900 rpm 14.8 A แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 มอเตอร์

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) Omron Inverter, 3G3JX-A4037, 380-480V 3PHASE 3.7kw 5HP เป็นอินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่ (Frequency Inverter) ถูกนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้ได้ตามที่กำหนด แสดงในรูปที่ 4.4

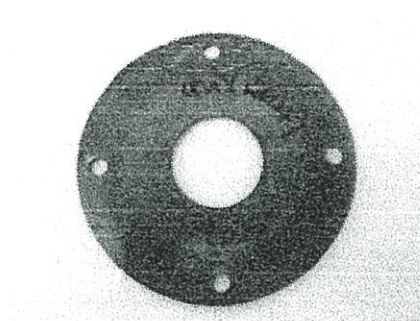


รูปที่ 4.4 Inverter

4.3.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

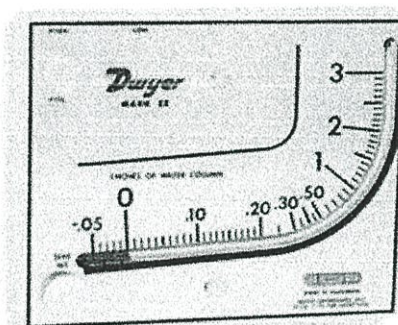
ในการทดลองจะใช้ Orifice meter เป็นอุปกรณ์ในการวัดอัตราการไหลของอากาศ ติดตั้งที่ทางเข้าชุดทดลองระหว่างพัดลม และถังพักลม ดังแสดงในรูปที่ 4.13 เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลจากผลต่างความดันของของไหลที่ผ่าน โดยทำการวัดผลต่างความดันก่อนและหลังของไหลที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์โดยมีระยะติดตั้งที่ใช้ในการวัดผลต่างความดันจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.4.1

อุปกรณ์ชุดทดลอง โดยในการสร้างอุปกรณ์ Orifice meter ได้สร้างตามมาตรฐานของ JIS (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD) Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes JIS Z 8762 ทำจากแผ่นเหล็ก ความหนา 5 มิลลิเมตร โดยออริฟิสออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหน้า 47 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหลัง 51 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 4.5 และรายละเอียดเพิ่มเติมของออริฟิส แสดงในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.5 Orifice meter

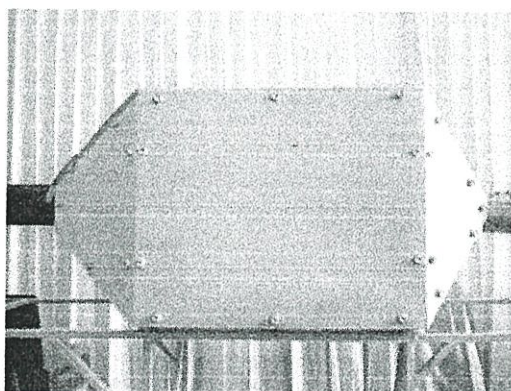
เครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียง (Inclined manometer) รุ่น Mark II Model No.25 ใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้า และด้านหลัง Orifice meter เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากความแตกต่างของระดับ red gage oil (specific gravity = 0.826) แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องวัดความดันแบบระนาบเอียง (Inclined manometer)

4.3.4 ถังพักลม (Settling tank)

ถังพักลม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับสภาพการไหลของอากาศ จากท่อกลมมาเป็นท่อสี่เหลี่ยม เพื่อให้จัดเรียง และปรับสภาพการไหลอากาศ ให้เกิดการปั่นป่วนน้อยสุดก่อนเข้าสู่ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 380 มิลลิเมตร ความยาว 450 มิลลิเมตร และความสูง 380 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ถังพักลม (Settling tank)

4.3.5 อุปกรณ์ควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์

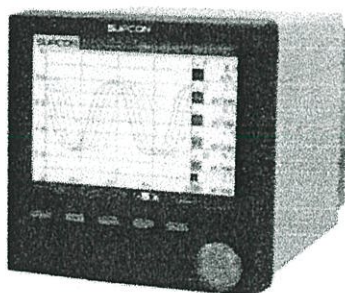
แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply) ใช้เครื่องปรับความต่างศักย์ไฟฟ้า รุ่น TDGC 2-3 kVA CAPACITY: 3,000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับแผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply)

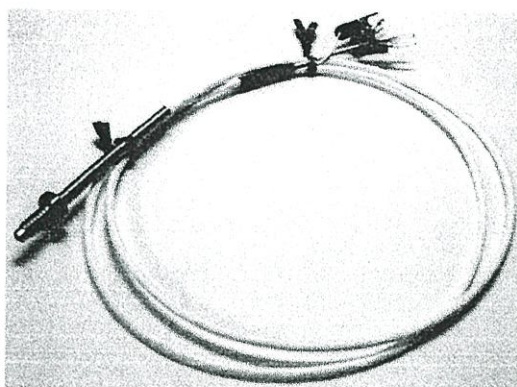
4.3.6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

R3000 series Color Paperless Recorder, SUPCON เป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Recorder) และแสดงผลอุณหภูมิ สามารถแสดงค่าอุณหภูมิได้ทั้งหมด 12 ค่า การใช้งานโดยเชื่อมต่อเครื่องเข้ากับเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมด 12 ตัว เพื่อแสดงผล และเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิว 10 ตำแหน่ง อุณหภูมิทางเข้า และทางออกส่วนทดสอบ 2 ตำแหน่ง แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เครื่องเก็บข้อมูล

คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวส่วนทดสอบ อุณหภูมิทางเข้าและออกของส่วนทดสอบ



RTD Pt100



เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

รูปที่ 4.10 เซนตเซอร์วัดอุณหภูมิ

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิผิวครีบ อุณหภูมิที่ทางเข้าครีบ และอุณหภูมิที่ทางออกครีบ แสดงในรูปที่ 4.10 โดยเทอร์โมคัปเปิลแบบชนิด K จำนวน 10 ตัว เพื่อวัดอุณหภูมิผิวทั้งหมด 10 ตำแหน่ง

RTD Pt100 จำนวน 2 ตัว เพื่อวัดอุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกส่วนทดสอบ RTD จะเป็นเซนเซอร์ที่ให้ความละเอียดในการวัดสูงกว่า เทอร์โมคัปเปิล โดยสามารถให้ค่าเป็นทศนิยมได้ในการวัดอุณหภูมิ ในส่วนของทางเข้า และทางออกของชุดทดสอบจำเป็นที่จะต้องได้ค่าที่แม่นยำมากจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เซนเซอร์ดังกล่าว

4.3.7 เครื่องวัดความดันตกคร่อม

เครื่องวัดความดันตกคร่อม (Differential pressure gages) รุ่น Dwyer 475 Mark III ช่วงการใช้งาน 0-10.00 IN W.C. (0-2.49 kPa) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างส่วนทดสอบ แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เครื่องวัดความดันตกคร่อม, Dwyer 475 Mark III Digital Manometer

4.3.8 อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ

เครื่องวัดความเร็วของอากาศ (Vane-type Anemometer) รุ่น 445 ยี่ห้อ TESTO เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งทางออกของชุดออริฟิส ใช้ในการสอบเทียบ (calibration) ความเร็วลมในการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.12

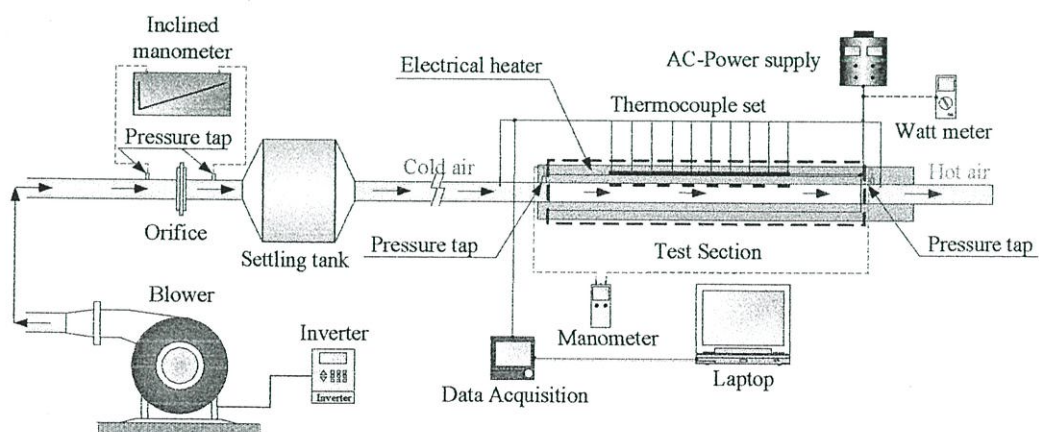


รูปที่ 4.12 เครื่องวัดความเร็วของอากาศ (Vane-type Anemometer), TESTO 445

4.4 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

4.4.1 อุปกรณ์ชุดทดลอง

ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งครบวงจร และอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.13 อากาศเป็นของไหลทดสอบ ถูกส่งตรงเข้าสู่ระบบโดยพัดลมความดันสูง (high-pressure blower) ขนาด 1.5 kW โดยท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 70 มิลลิเมตร ใช้เชื่อมต่อระหว่างพัดลมกับถังพักลม (Settling tank) โดยมีอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบการทำงานของพัดลมเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศในระบบถูกวัดโดยใช้แผ่นออริฟิสถูกสอบเทียบค่ามาก่อนโดยใช้ Hot wire และ Vane-type Anemometers (Testo 445) ความดันตกคร่อมออริฟิส วัดโดยใช้ Inclined manometer



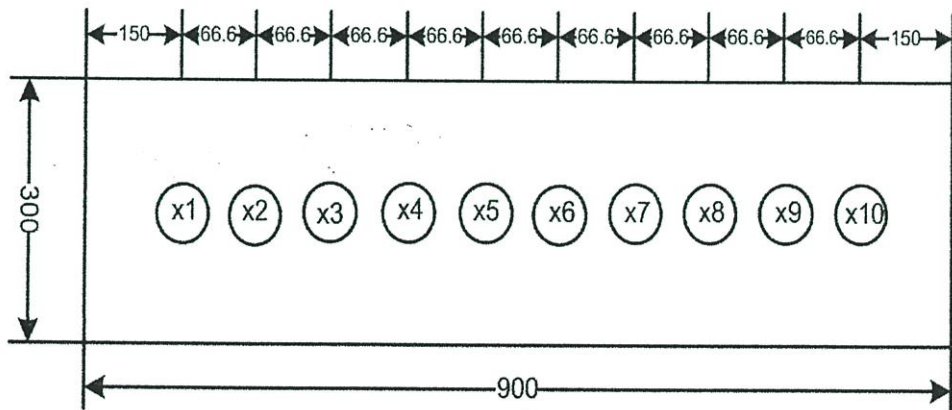
รูปที่ 4.13 แผนผังของชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

โครงสร้างของช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาว 1,800 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน ($AR, W/H$) = 10, ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ

ความยาว (L) = 600 มิลลิเมตร ความกว้าง (W) = 300 มิลลิเมตร แผ่นกันทำจากแผ่นอะลูมิเนียมพับเป็นรูปตัววีติดบนแผ่นทดสอบด้วยกาวร้อนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งไม่เกิดการนำความร้อนที่แผ่นกันนี้ การวัดอุณหภูมิผิวส่วนทดสอบด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสาย 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 10 ตัว ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของผนังทดสอบด้านบน โดยเทอร์โมคัปเปิลถูกติดตั้งที่รูจากด้านหลัง และตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่น ตำแหน่งหัวต่อไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากผนังด้านใน และระยะห่างกันตามแนวแกน 60 มิลลิเมตร และ RTD แบบ Pt 100 จำนวน 2 ตัว ติดตั้งที่ก่อนและหลังส่วนทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิทางเข้า และทางออก ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลถูกส่งเข้าสู่เครื่องเก็บข้อมูล และบันทึกลงในคอมพิวเตอร์

จุดวัดความดันสถิตย์ 2 จุด อยู่ที่ด้านบนของช่องขนานเพื่อวัดความดันตกคร่อมตลอดช่วงของส่วนทดสอบ เพื่อใช้หาค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งจุดที่วัดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องขนาน จุดแรกตำแหน่ง 50 มิลลิเมตรจากขอบทางเข้าส่วนทดสอบ และจุดที่สองอยู่ที่ตำแหน่ง 50 มิลลิเมตรจากขอบทางออกส่วนทดสอบ ความดันตกคร่อมวัดโดยใช้เครื่องวัดผลต่างความดันแบบดิจิตอลเชื่อมต่อจุดวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตร

แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply) เป็นแหล่งพลังงานของฮีตเตอร์แผ่น ขนาด 1000 วัตต์ มีรูปทรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 600 มิลลิเมตร ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่ส่วนทดสอบแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ สารประกอบนำความร้อนถูกใช้เชื่อมต่อระหว่างแผ่นฮีตเตอร์ และผนังทดสอบเพื่อที่จะลดความต้านทานผิวสัมผัส ที่ผิวภายนอกชุดทดสอบถูกหุ้มด้วยฉนวน ในส่วนของแผ่นไม้ซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าผนังโลหะถูกออกแบบมาเพื่อรองรับแผ่นทดสอบ และเป็นฉนวน ที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของผิวบน-ล่าง เพื่อเป็นตัวกั้นขวางทางความร้อนที่ทางเข้าและออกของส่วนทดสอบ



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

4.4.2 ครีบบ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในช่องขนานที่มีครีบบางอลูมิเนียมพับเป็นรูปตัววีและติดบนแผ่นทดสอบด้วยกาวร้อนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนและไม่ได้การนำความร้อนระหว่างครีบบกับแผ่นทดสอบ โดยทำการติดครีบบตามแนวยาวในส่วนทดสอบของช่องขนาน แบ่งส่วนการศึกษาอิทธิพลของครีบบตามแนวยาว ออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

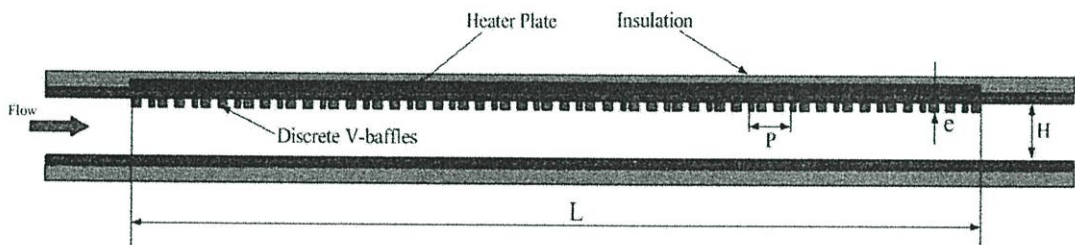
(1) ครีบบางรูปตัววีแยกตัว (Discrete V-Baffles) บนผนังด้านเดียว และบนผนังด้านบนและล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน ศึกษาอิทธิพลของรูปทรง ความสูง ระยะพิตช์ ลักษณะการ

จัดวาง และมุมของครีบบ

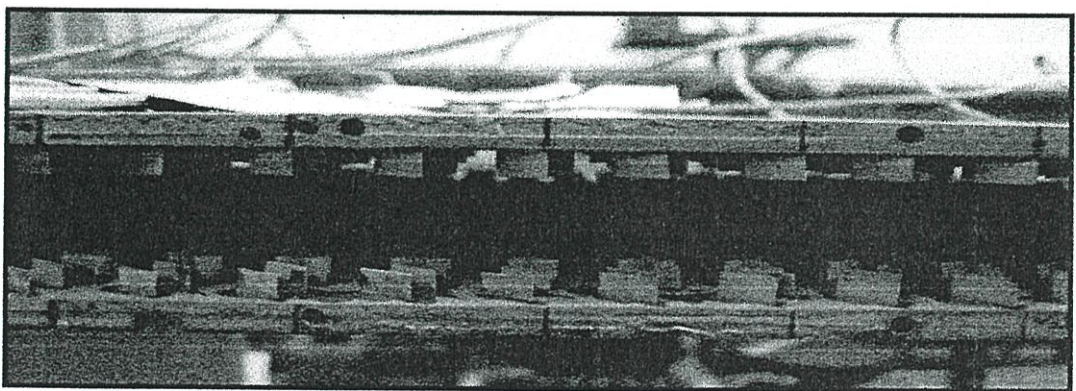
(2) ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี (V-Baffles) บนผนังด้านเดียว และผนังด้านบนและล่าง จัดวางแนวครีบบตรงกัน ศึกษาอิทธิพลรูปทรง ระยะพิทช์ ความสูง มุมของครีบบ และการจัดวาง

ส่วนที่ 1 ครีบบางรูปตัววีแยกตัว (Discrete V-Baffles) บนผนังด้านเดียว และบนผนังด้านบนและล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน ทำการศึกษาในส่วนนี้ดังนี้

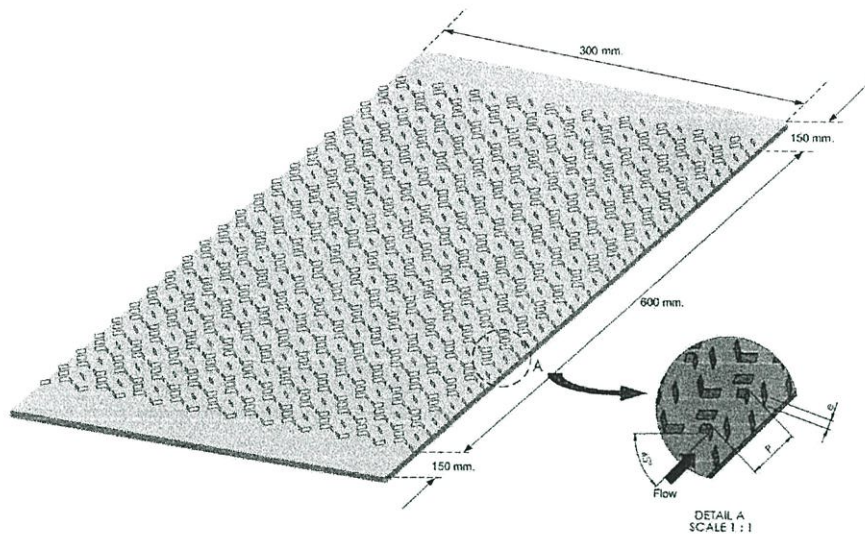
ลักษณะของครีบบและการติดตั้ง ส่วนนี้จะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของครีบบางรูปตัววีแยกตัว มุม 45° วางในแนวขวางการไหลตลอดช่วงทดสอบ ติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียว และติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบบน-ล่างตรงกัน ดังแสดงลักษณะของครีบบในรูปที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16 ตัวครีบบทำจากอะลูมิเนียมบาง โดยทำการศึกษาอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวด้านบนด้านเดียว และ แบบติดครีบบทั้งสองด้านจัดวางแนวครีบบตรงกัน ตัวแปรที่ทำการศึกษา ประกอบด้วยตัวครีบบทำมุม (α) 45° กับทิศทางการไหล, อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=1.0, 1.5$ และ 2.0) ที่อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) $=0.15$ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.15 ส่วนทดสอบกรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวบนด้านเดียว



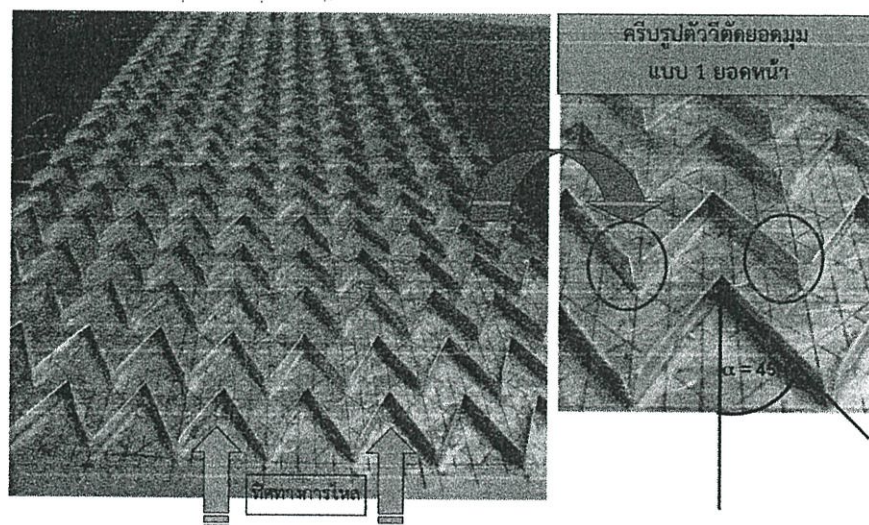
รูปที่ 4.16 ส่วนทดสอบกรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัว ที่ผิวด้านบนและล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน



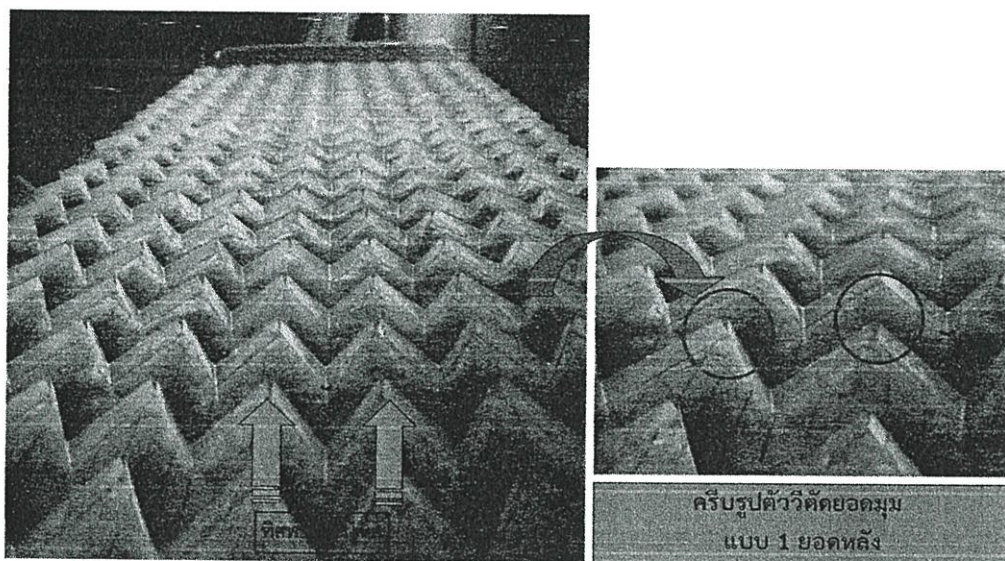
รูปที่ 4.17 แสดงแผ่นทดสอบติดครีบบางรูปวีตัวแยกตัวมุม 45°

ส่วนที่ 2 ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี (V-Baffles) บนผนังด้านเดียว และบนผนังบนและล่างจัดวางแนวครีบบางตรงกัน ทำการศึกษาในส่วนนี้ดังนี้

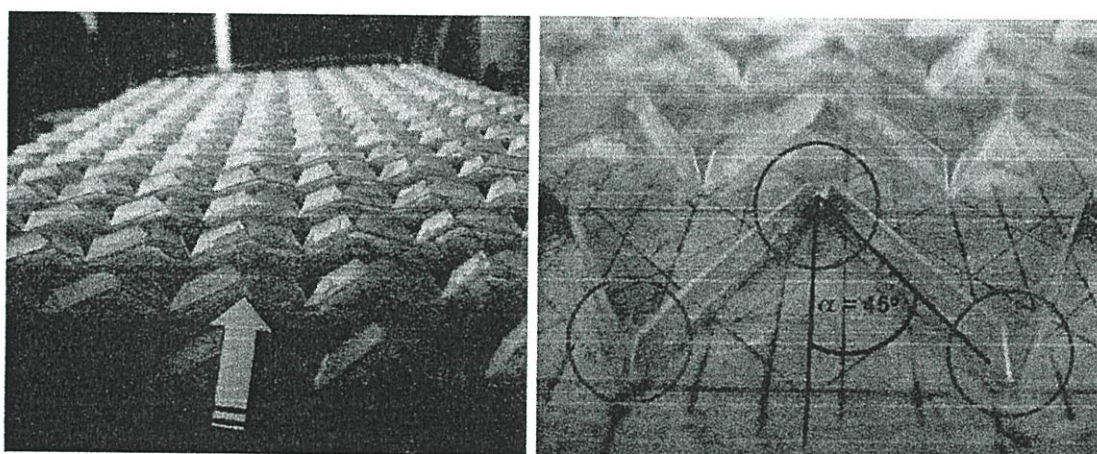
ลักษณะของครีบบางและการติดตั้ง ส่วนนี้จะศึกษาต่อจากการทดลองในส่วนที่ 1 ทำการศึกษาครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี, ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และมุม 30° วางในแนวขวางการไหลตลอดช่วงทดสอบ การติดครีบบางมี 2 แบบคือ ติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียว และ ติดครีบบางที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบางตรงกัน ดังแสดงลักษณะของครีบบางในรูปที่ 4.18-4.23 ตัวครีบบางทำจากอะลูมิเนียมบาง โดยทำการศึกษาอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ศึกษาอิทธิพลลักษณะครีบบาง, อิทธิพลความสูงครีบบาง, อิทธิพลระยะพิตช์ และอิทธิพลมุมปะทะการไหล เปรียบเทียบลักษณะการติดตั้งครีบบางแบบด้านบนด้านเดียว และ แบบติดครีบบางทั้งสองด้าน ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ตัวครีบบางมุมปะทะการไหล (α) = 45° และ 30° กับทิศทางการไหล, อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5, อัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.05, 0.10 และ 0.15



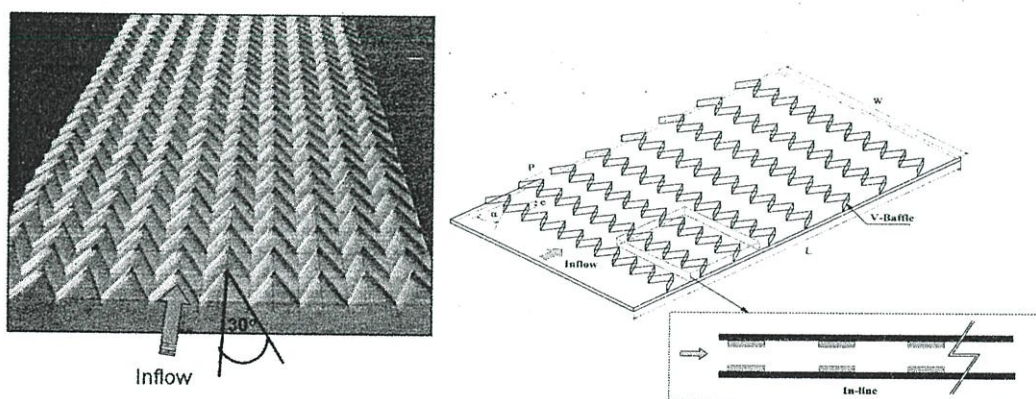
รูปที่ 4.18 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหน้า



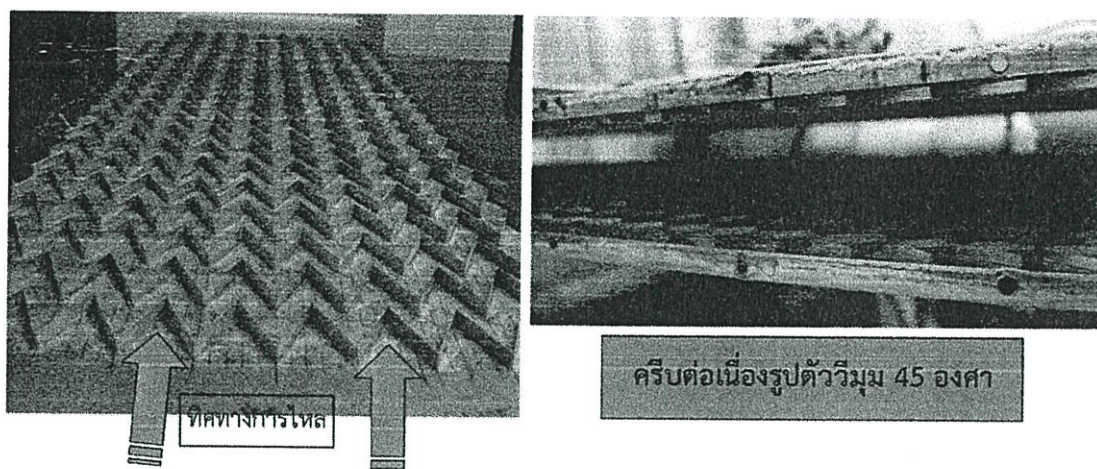
รูปที่ 4.19 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหลัง



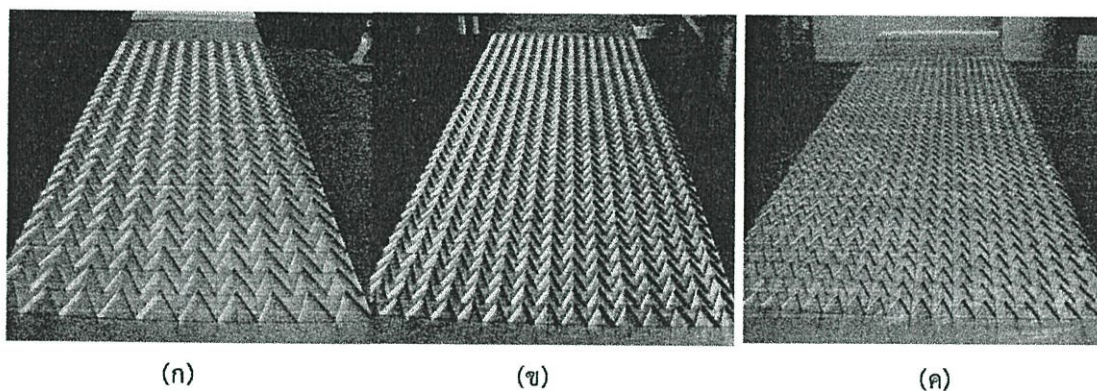
รูปที่ 4.20 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี แบบตัดปลายวีหน้า-หลัง



รูปที่ 4.21 ส่วนทดสอบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว และ ที่ผิวบนและล่าง จัดวางแนวครีบริปูตรงกัน



รูปที่ 4.22 ส่วนทดสอบติดตั้งครีบบังต่อน้ำรูปตัววี มุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และ ที่ผิวบนและล่าง จัดวางแนวครีบบังตรงกัน



รูปที่ 4.23 แสดงแผ่นทดสอบแบบติดตั้งครีบบังต่อน้ำรูปตัววี มุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวาง การไหล (ก) ครีบบัง 10 ยอด ($PR_T=1.0$), (ข) ครีบบัง 15 ยอด ($PR_T=0.67$) และ (ค) ครีบบัง 20 ยอด ($PR_T=0.50$)

4.5 วิธีการทดลอง

1. ติดครีบบังทดสอบในส่วนแผ่นทดสอบ แล้วทำการติดตั้งไปในชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
2. เปิดสวิทช์พัดลม ให้อากาศไหลผ่านชุดทดลอง และปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความเร็วรอบการทำงานของพัดลมเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ออกแบบไว้ โดยดูอัตราการไหลของอากาศในระบบจากค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิส
3. วัดค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบ ที่ความเร็วลมทั้ง 11 ระดับตามที่ออกแบบไว้ คือค่าเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ $Re=4100$ ถึง $22,000$ แล้วปรับความเร็วลมที่ค่าความเร็วลมค่าแรกของการทดสอบ
4. เปิดสะพานไฟจ่ายไฟให้กับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ปรับค่าความต่างศักย์แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับจ่ายไฟให้กับแผ่นฮีตเตอร์ เพื่อให้ความร้อนกับผิวท่อด้วยเงื่อนไขพลั๊กความร้อนคงที่
5. สังเกตอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 12 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิผิวทดสอบ 10 ตำแหน่ง

และอุณหภูมิทางเข้าและทางออก 2 ตำแหน่ง ให้อุณหภูมิคงที่ แล้วทำการบันทึกผลอุณหภูมิผิวทดสอบ อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกส่วนทดสอบ

6. ปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มความเร็วลมตามค่าที่ออกแบบไว้ค่าต่อไปจนครบทั้ง 11 ระดับ ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ตั้งแต่ $Re=4100$ ถึง 22,000 แล้วดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอน 4-5

7. เปลี่ยนครีบทดสอบในส่วนทดสอบของชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วดำเนินการทดลองตามขั้นตอน 2 ถึง 6 ตามลำดับ เพื่อเก็บค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบ อุณหภูมิผิวทดสอบ อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกส่วนทดสอบ ตามค่าความเร็วลมที่ออกแบบไว้ทั้ง 11 ระดับ

8. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซิลท์ ค่าการสูญเสียความดันซึ่งอยู่ในรูปของตัวประกอบเสียดทาน และค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน ซึ่งจะกล่าวถึงสมการการคำนวณในหัวข้อ 4.6 ต่อไป

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ส์ในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h/\nu \quad (4.1)$$

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ ตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังท่อกับอุณหภูมิกอากาศ ($T_w - T_b$), สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลอง ดังสมการ

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \leq VI \quad (4.2)$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\bar{T}_s - T_b)} \quad (4.3)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \quad (4.4)$$

และ

$$\bar{T}_s = \sum T_s / 10 \quad (4.5)$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \bar{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวท่อในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน T_i และ T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยพจน์ \dot{m} , C_p , V และ I คือ มวลการไหลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (4.6)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \left(\frac{2}{L/D_h} \right) \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (4.7)$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม, ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ และ k คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการ (4.4)

ที่สถานะกำลังขับ (Pumping power) เดียวกัน

$$(\dot{V} \Delta P)_0 = (\dot{V} \Delta P)_b \quad (4.8)$$

เมื่อ \dot{V} อัตราการไหลของอากาศ และเขียนในพจน์ตัวประกอบเสียดทาน และเลขเรย์โนลด์ส์ ได้เป็น

$$(f Re^3)_0 = (f Re^3)_b \text{ และ } Re = Re(f/f_0)^{1/3} \quad (4.9)$$

ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (thermal performance enhancement factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h_b) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนท่อผนังเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

$$TEF = \left. \frac{h_b}{h_0} \right|_{pp} = \left. \frac{Nu_b}{Nu_0} \right|_{pp} = \left(\frac{Nu_b}{Nu_0} \right) \left(\frac{f_b}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (4.10)$$

ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อให้ค่ามากกว่า 1 แสดงว่าให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อผนังเรียบ เมื่อใช้กำลังขับพัฒนาของระบบค่าเดียวกัน โดยการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงสุด ซึ่งจะเป็นผลให้สามารถลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ประหยัดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับระบบ นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เกิดประโยชน์ทั้งในแง่การลดพื้นที่การติดตั้ง ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ด้วยราคาขายที่ต่ำลง ลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาวิกฤตพลังงาน

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

5.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงผลการทดลอง ซึ่งจำแนกการวิเคราะห์ที่ได้เป็น 2 ส่วน แสดงในเทอมของตัวแปรไร้มิติ คือ การวิเคราะห์ผลของการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number) และการวิเคราะห์ผลของการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor) ดังต่อไปนี้

5.2 ผลการทวนสอบท่อผนังเรียบ

ก่อนทำการทดลองท่อที่ใส่อุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อนนั้น ต้องทำการทวนสอบความถูกต้องของอุปกรณ์การทดลอง โดยทำการทดลองท่อผนังเรียบเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อผนังเรียบในเทอมของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และสหสัมพันธ์ของ Blasius [36, 37] ในช่วงการไหลปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter, ดังสมการ

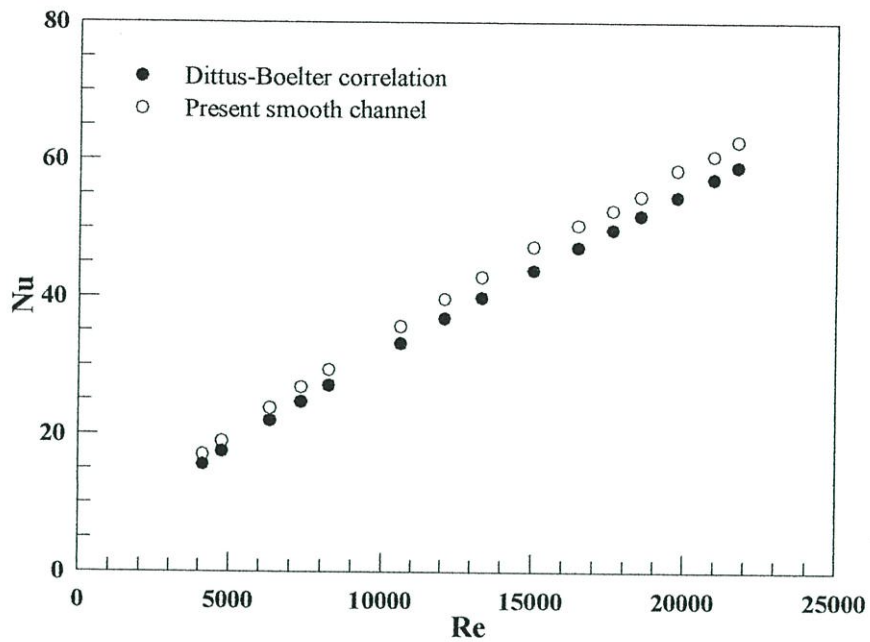
$$Nu = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad \text{สำหรับการให้ความร้อน} \quad (5.1)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius, หาได้จากสมการ

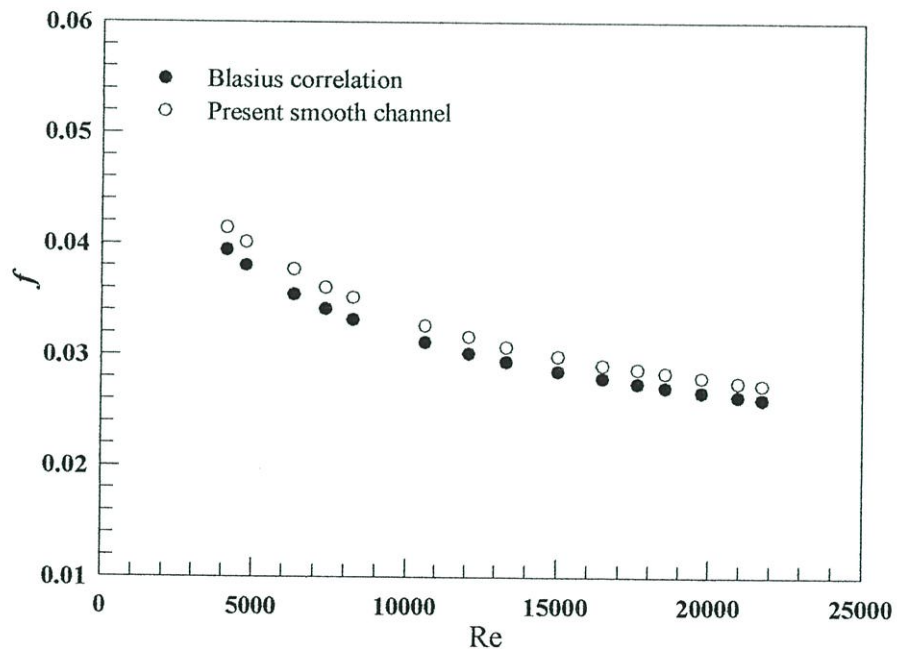
$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad 3,000 \leq Re \leq 20,000 \quad (5.2)$$

5.2.1 เลขนัสเซลท์

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ จากการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลองกับค่าเลขนัสเซลท์จากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่าเลขนัสเซลท์จากผลการทดลอง มีค่ามากกว่าค่าเลขนัสเซลท์จากสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter โดยค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6.8% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ที่ใช้หาค่าเลขนัสเซลท์สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลมผนังเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์, $Re_D \geq 10,000$



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ

5.2.2 ตัวประกอบเสียดทาน

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ จากการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองและค่าตัวประกอบเสียดทานจากสหสัมพันธ์ของ Blasius พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนค่าตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองมีค่ามากกว่าค่าตัวประกอบเสียดทานจากสหสัมพันธ์ของ Blasius โดยค่าตัวประกอบเสียด

ทานจากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.8% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius ที่ใช้หา ค่าตัวประกอบเสียดทาน สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มทีในท่อกลมผิวเรียบ ในช่วงเลขเรย์ โนลด์ส์, $Re_D \leq 20,000$

ผลการทดลองท่อผนังเรียบ ทำการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ที่น่าเชื่อถือและได้รับความนิยม โดยเลขนัสเซลท์จะเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ 6.8% และตัวประกอบเสียดทานจะเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius ซึ่งมีความ คลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.8% ซึ่งถือว่าผลการทดลองมีความเชื่อถือได้ โดยทั่วไปผลการทดลอง สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่ควรเกิน 10% ซึ่งถือว่าผลการ ทดลองในครั้งนี้มีมีความเชื่อถือได้

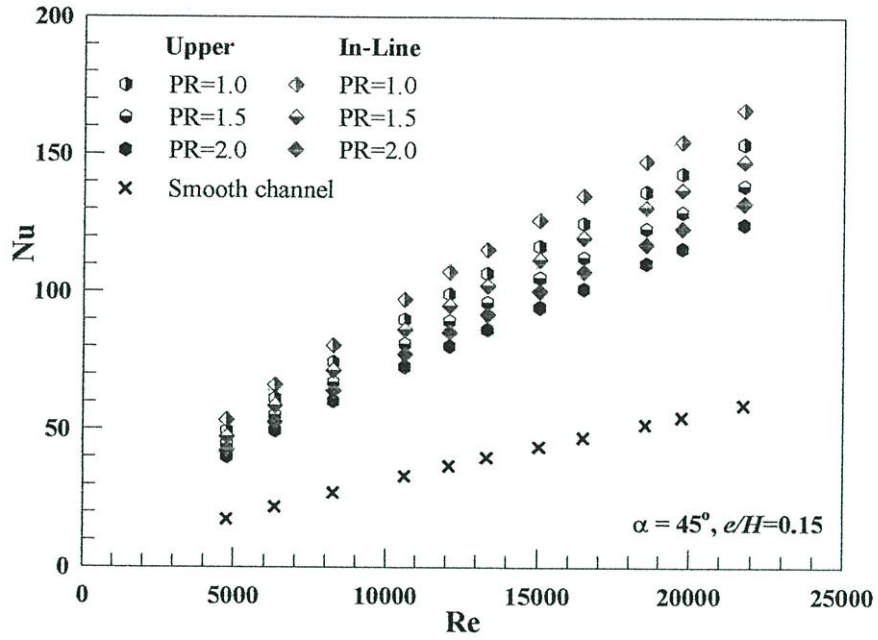
5.3 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบน ด้านเดียว และ ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุมปะทะการไหล 45° ซ้ำตามทิศ ทิศทางการไหล มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า (PR=1.0, 1.5 และ 2.0) ที่อัตราส่วน ความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.15 เท่านั้น โดยติดตั้งที่ผิวบนด้านเดียว และติดที่ผิว บนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนานจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน เพื่อศึกษาอิทธิพล ระยะพิชต์และอิทธิพลการจัดวางที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

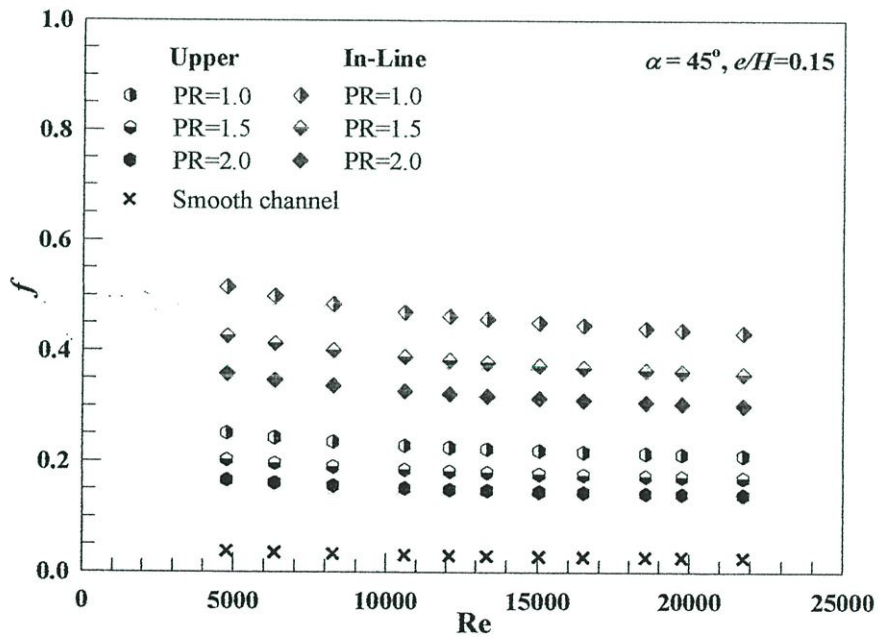
5.3.1 อิทธิพลระยะพิชต์และการจัดวาง

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ใน สภาวะผิวแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัว มุม 45° ซ้ำตามทิศ ทิศทางการไหล มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า (PR=1.0, 1.5 และ 2.0) และมี อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.15 โดยติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่ผิวบนด้าน เดียวและที่ทั้งผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน เพื่อศึกษา อิทธิพลของระยะพิชต์และการจัดวางเมื่อติดตั้งครีบบางที่ผิวบนด้านเดียวและติดตั้งที่ผิวบนและล่าง ช่องขนานจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ แสดงใน รูปที่ 5.3 พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่ เพิ่มขึ้น ครีบที่มี PR=1.0 มีค่าเลขนัสเซลท์มากที่สุด ตามด้วย PR=1.5 และ PR=2.0 ตามลำดับ ทั้ง แบบติดตั้งที่ผิวบนด้านเดียวและติดที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดตั้งครีบบางรูป ตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนว ครีบบน-ล่างตรงกัน จากผลการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมี แนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่อัตราส่วน ระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน PR=1.0 ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าที่ PR=1.5 และ PR=2.0 ตามลำดับ ทั้งแบบติดตั้งที่ผิวบนด้านเดียวและติดตั้งที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครี บตรงกัน



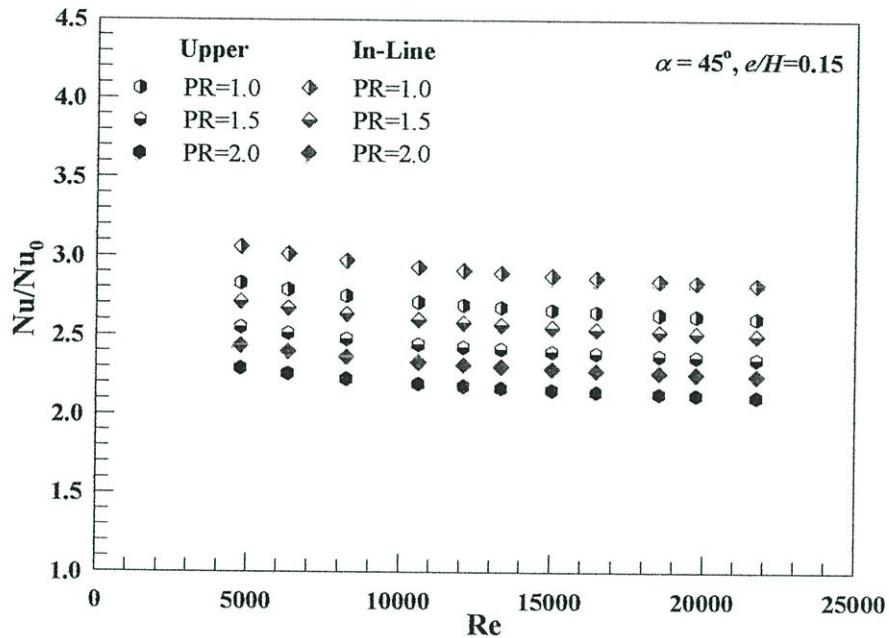
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน



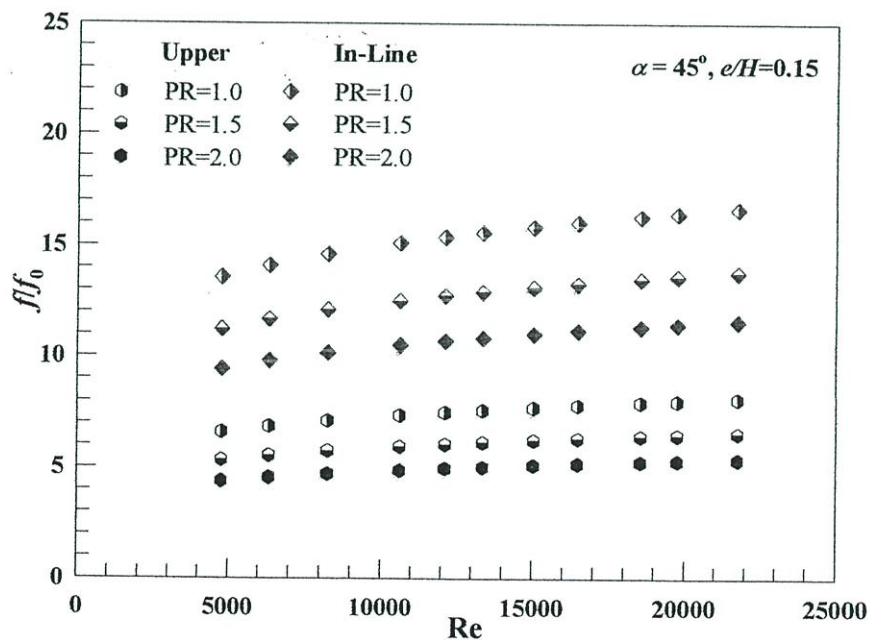
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียวและที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน PR=1.0 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มากกว่าที่ PR=1.5 และ PR=2.0 ตามลำดับ ทั้งแบบติดครีบบนด้าน

เดี่ยวและติดครีบบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน โดยพบว่าที่ $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง $2.61-2.83, 2.35-2.55$ และ $2.11-2.29$ เท่า ตามลำดับ สำหรับการติดครีบบนด้านเดี่ยว, และในช่วง $2.82-3.06, 2.50-2.71$ และ $2.24-2.43$ เท่า ตามลำดับ สำหรับการติดครีบบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน

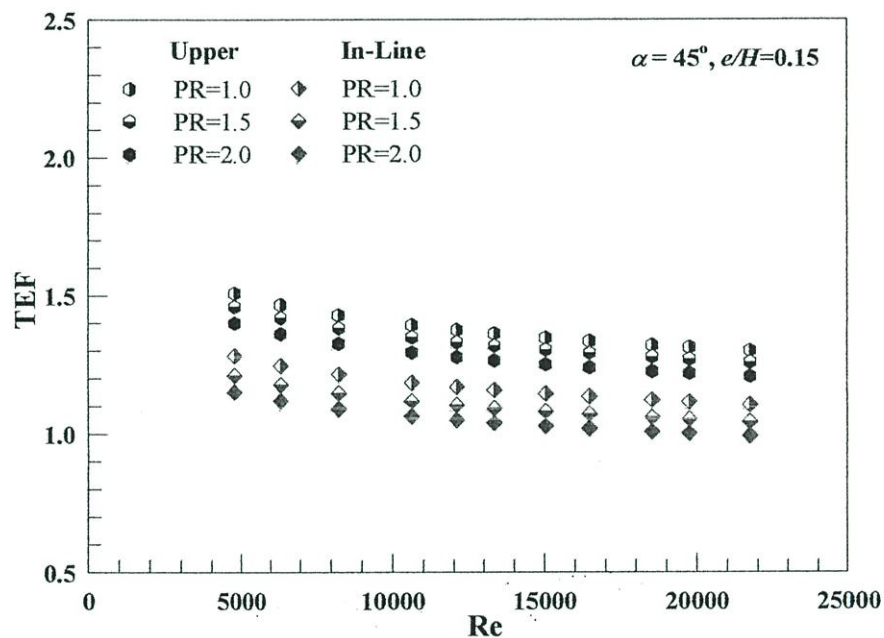


รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดี่ยว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดี่ยว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียวและที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกันตรงกัน จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น โดยการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่ $PR=1.0$ ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่าที่ $PR=1.5$ และ $PR=2.0$ ตามลำดับ ทั้งแบบติดครีบที่ผิวบนด้านเดียวและติดครีบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน โดยพบว่าที่ $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง $6.60-8.10, 5.33-6.54$ และ $4.38-5.37$ เท่า ตามลำดับ สำหรับการติดครีบที่ผิวบนด้านเดียว, ในช่วง $13.56-16.64, 11.22-13.77$ และ $9.43-11.58$ เท่า ตามลำดับ สำหรับการติดครีบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียวและที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน จากการทดลองพบว่า ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น โดยการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่ $PR=1.0$ ให้ค่า TEF สูงกว่าที่ $PR=1.5$ และ $PR=2.0$ ตามลำดับ ทั้งแบบติดครีบที่ผิวบนด้านเดียวและติดครีบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน ที่ $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน ในช่วง $1.30-1.51, 1.26-1.46$ และ $1.21-1.40$ ตามลำดับ สำหรับการติดครีบที่แผ่นบนด้านเดียว, ในช่วง $1.11-1.28, 1.04-1.21$ และ $0.99-1.15$ ตามลำดับ สำหรับการติดครีบที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่ $PR=1.0$ ให้ค่า TEF

สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.51 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

ผลการทดลองในส่วนนี้ ศึกษาผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ซี่ตามทิศทางการไหล มีอัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า (PR=1.0, 1.5 และ 2.0), อัตราส่วนความสูงครีบบางรูปตัววีต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.15 โดยติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานในช่วงทดสอบจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิตซ์และการจัดวางเมื่อติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียวและติดครีบบางที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบบน-ล่างตรงกัน พบว่าการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ PR=1.0 ให้ค่า TEF สูงกว่า PR=1.5 และ PR=2.0 ตามลำดับ โดยการติดครีบบางที่ PR=1.0 ที่ผิวบนด้านเดียว ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.51 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียวให้สมรรถนะทางความร้อนดีกว่าการติดครีบบางที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบบางตรงกัน โดยที่ PR ที่น้อยกว่าช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า PR ที่มากกว่า และจะได้นำไปศึกษาต่อในหัวข้อต่อไป

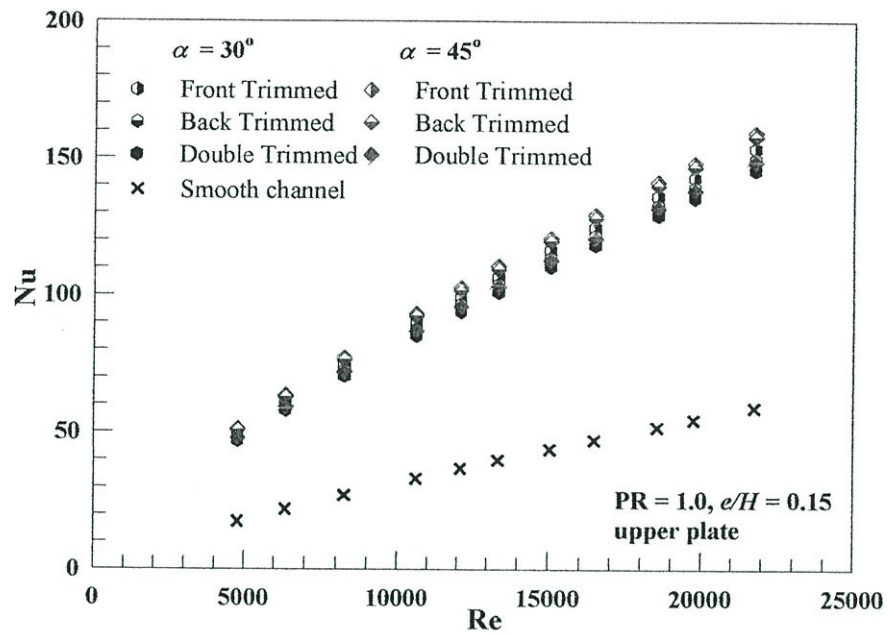
5.4 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวีมุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี (Trimmed) 3 แบบ คือ แบบตัดปลายวีหน้า, ตัดปลายวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง มีมุมปะทะการไหล 2 ค่า คือมุม 30° และ 45° เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน เพื่อหา ลักษณะครีบบางและมุมปะทะการไหลที่ให้ค่า TEF สูงสุด

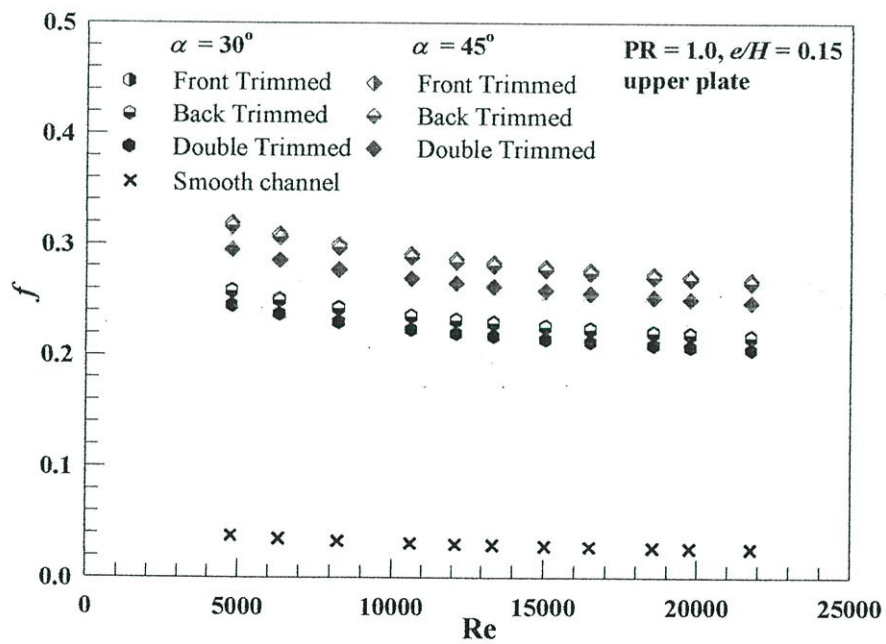
5.4.1 อิทธิพลของครีบบางและมุมปะทะการไหล

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีตัดปลายมุมวี 3 แบบคือ แบบตัดปลายวีหน้า, ตัดปลายวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง มีมุมปะทะการไหล 2 ค่า $\alpha=30^\circ$ และ 45° ซี่ตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) =1.0 และมีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.15 โดยติดครีบบางในช่องขนานช่วงทดสอบที่ผิวบนด้านเดียว เพื่อศึกษาอิทธิพลของครีบบางแบบตัดปลายมุมวีและอิทธิพลมุมปะทะการไหล ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ แสดงในรูปที่ 5.8 พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซิลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มขึ้น ครีบบาง 45° ให้ค่าเลขนัสเซิลท์สูงกว่า ครีบบาง 30° ครีบบางตัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้ค่าเลขนัสเซิลท์สูงสุด ตามด้วยครีบบางตัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหลัง และครีบบางตัดปลายมุมวีแบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ

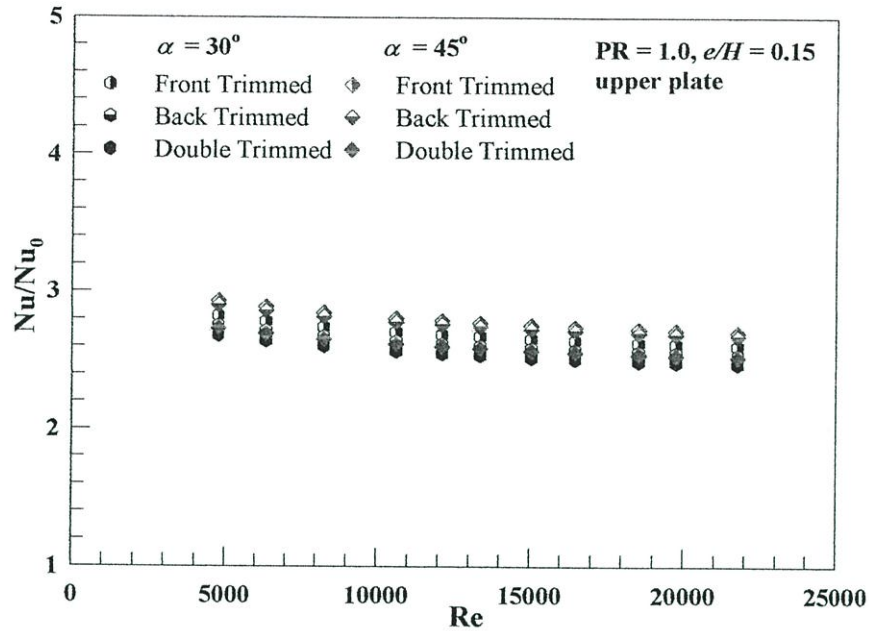
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบบาง 45° ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบบาง 30° ครีบบางตัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด ตามด้วยครีบบางตัดปลายวีหลัง และครีบบางตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว



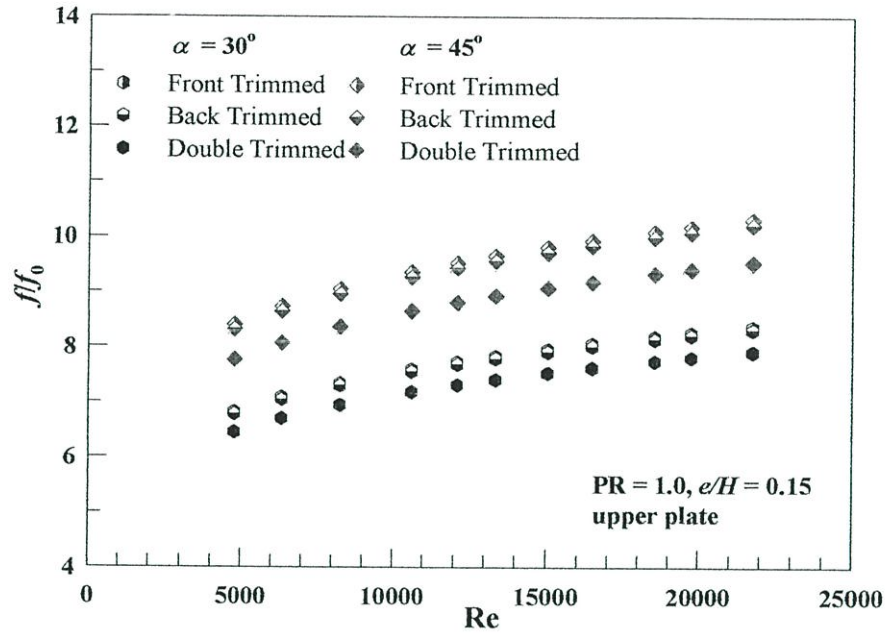
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว



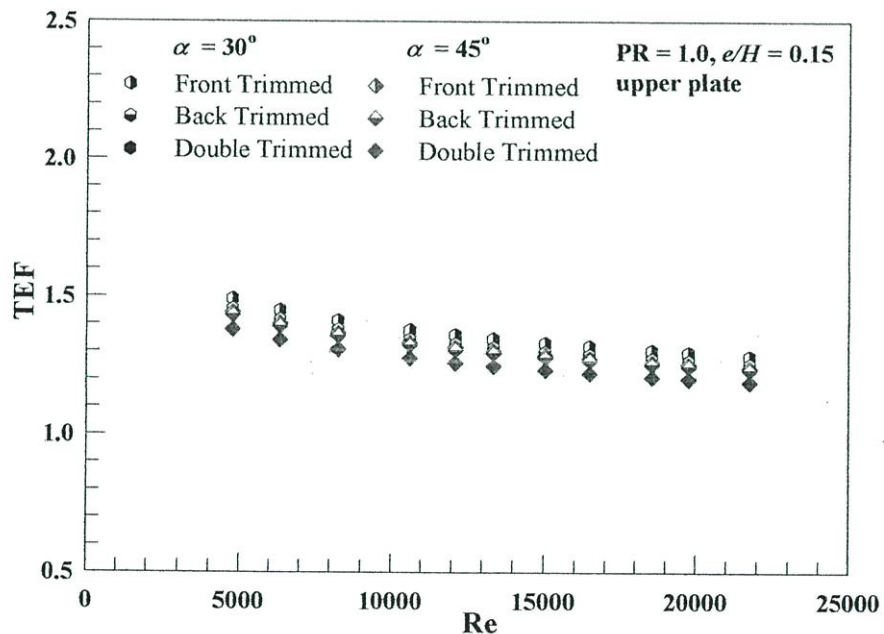
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี แบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบบุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงกว่าครีบบุม 30° โดยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้อัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงสุด ตามด้วยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหลัง และครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ โดยพบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง $2.71-2.93$, $2.68-2.90$ และ $2.52-2.73$ เท่า ตามลำดับ สำหรับครีบบัดปลายมุมวี มุม 45° , ในช่วง $2.61-2.82$, $2.54-2.75$ และ $2.47-2.68$ เท่า ตามลำดับ สำหรับครีบบัดปลายมุมวี มุม 30°

รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบบุม 45° มีอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบบุม 30° โดยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหลัง และครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ โดยพบว่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง $8.40-10.31$, $8.32-10.21$ และ $7.76-9.53$ เท่า ตามลำดับ สำหรับครีบบัดปลายมุมวีมุม 45° , ในช่วง $6.81-8.36$, $6.77-8.32$ และ $6.45-7.91$ เท่า ตามลำดับ สำหรับครีบบัดปลายมุมวีมุม 30°



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว จากการทดลองพบว่า ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบบุม 30° ให้ค่า TEF สูงกว่าครีบบุม 45° โดยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้ค่า TEF สูงสุด ตามด้วยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหลัง และครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง

ตามลำดับ โดยให้ค่า TEF ในช่วง 1.49-1.28, 1.45-1.25 และ 1.43-1.24 ตามลำดับ สำหรับ ครีบบัดปลายมุมวีมุม 30° ในช่วง 1.44-1.224, 1.43-1.23 และ 1.38-1.19 ตามลำดับ สำหรับ ครีบบัดปลายมุมวีมุม 45° ซึ่งจะเห็นได้ว่า การติดครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้ามุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.49 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

ผลการทดลองในส่วนนี้ ศึกษาผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่อง ขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีตัดปลายมุมวี 3 แบบคือ แบบตัดปลายวีหน้า, ตัดปลายวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง มีมุมปะทะการไหล 2 ค่า $\alpha=30^\circ$ และ 45° ซึ่งตามทิศทางการไหล, $PR=1.0$, $e/H=0.15$, โดยติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีตัดปลายมุมวี 3 แบบที่ผิวบนด้านเดียว เพื่อศึกษาอิทธิพลของครีบบางตัดปลายมุมวีและอิทธิพลมุมปะทะการไหล พบว่า ครีบบาง 30° ให้ค่า TEF สูงกว่ามุม 45° ครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า ให้ค่า TEF สูงสุด ตาม ด้วยครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหลัง และครีบบัดปลายมุมวีแบบตัดปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ โดยการติดครีบบางตัดปลายวีหน้ามุม 30° ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงสุดใน กลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.49 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

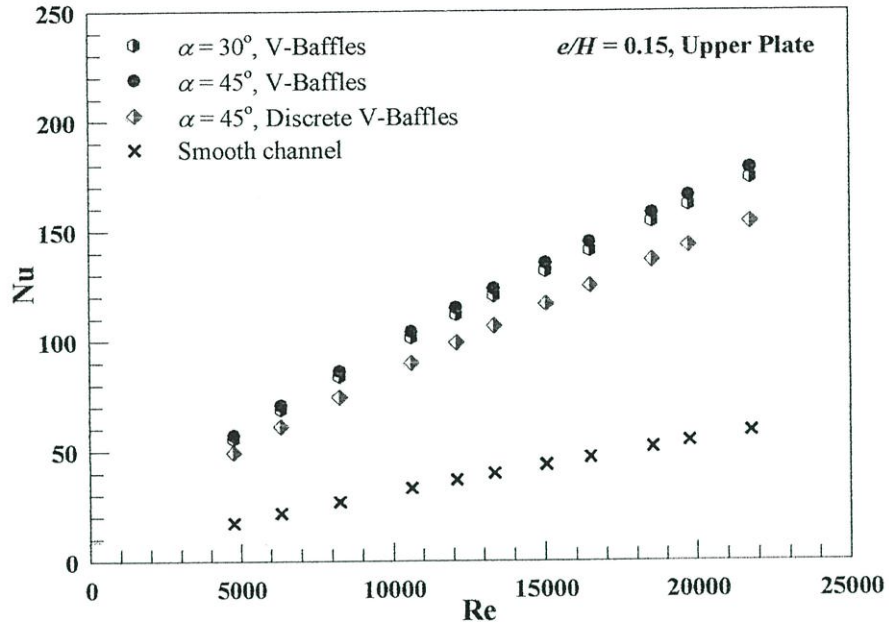
5.5 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบาง ต่อเนื่องมุม 45° และมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาต่อจากหัวข้อที่ 5.3 โดยการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° เปรียบเทียบการถ่ายเท ความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน เพื่อหาลักษณะครีบบางและมุมปะทะการไหลที่ให้ค่า TEF สูงสุด

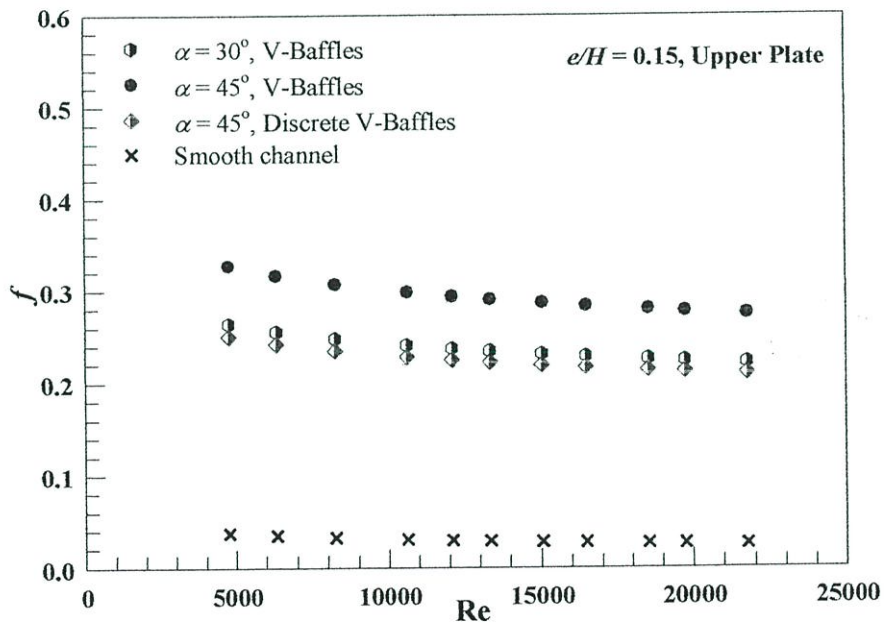
5.5.1 อิทธิพลของครีบบางและอิทธิพลมุมปะทะการไหล

ผลการทดลองแสดงผลการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลใน ช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ซึ่งตามทิศทางการไหล มี อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 1.0 และมีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่อง ขนาน (e/H) = 0.15 โดยติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียวทั้ง 3 กรณี เพื่อศึกษาอิทธิพลของครีบบางแบบ ครีบบางต่อเนื่องและครีบบางแยกตัวมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องมุม 30° ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ กับเลขเรย์โนลด์ส์แสดงในรูปที่ 5.13 พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าเลขนัสเซลท์มากที่สุด ตามด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ

ในรูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมี แนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าตัว ประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ



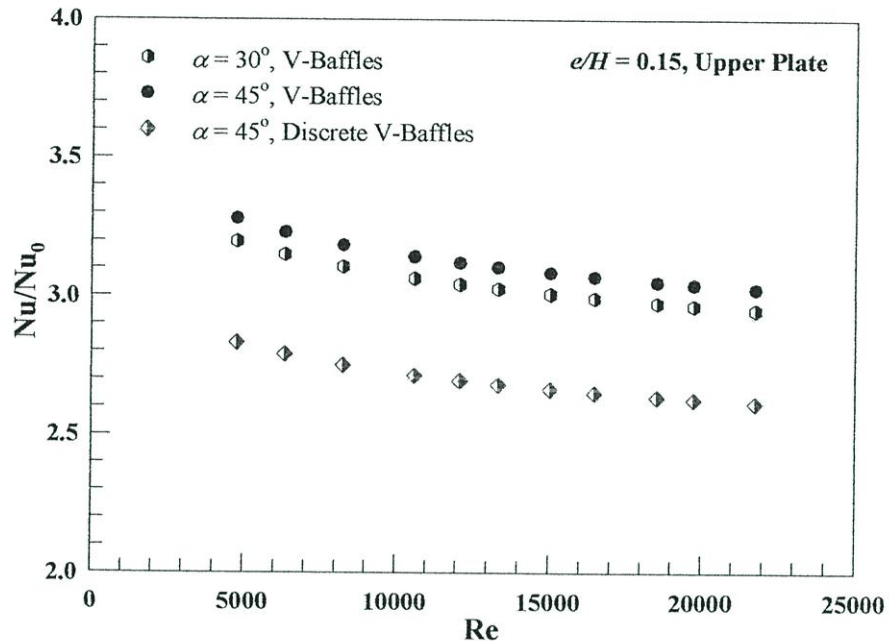
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°



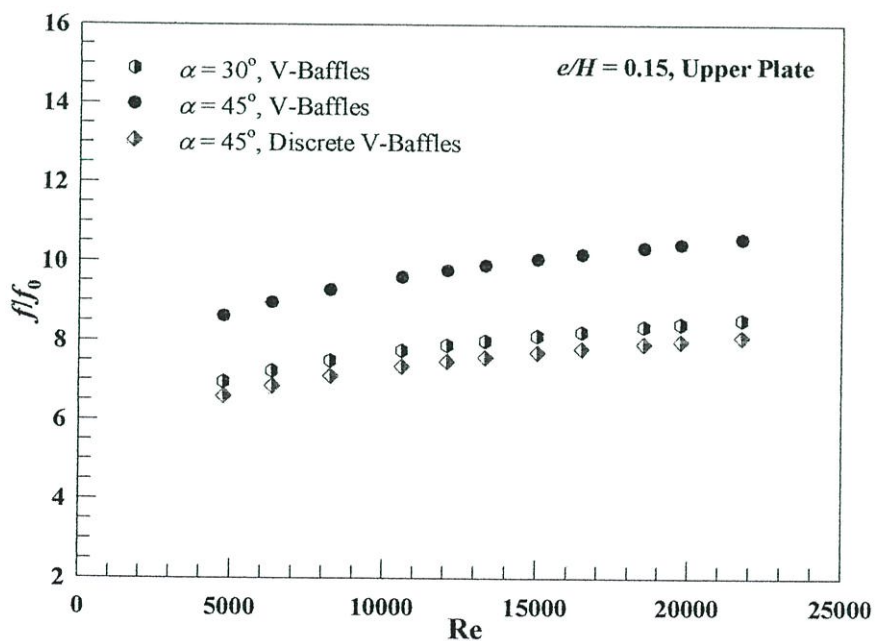
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°

รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดตั้งครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น โดยการติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มากกว่าการติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ โดยพบว่าค่าอัตราส่วน

เลขนัสเซลท์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 3.02-3.28 เท่า สำหรับการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° , ในช่วง 2.95-3.19 เท่า สำหรับการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และ ในช่วง 2.35-2.55 สำหรับการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ

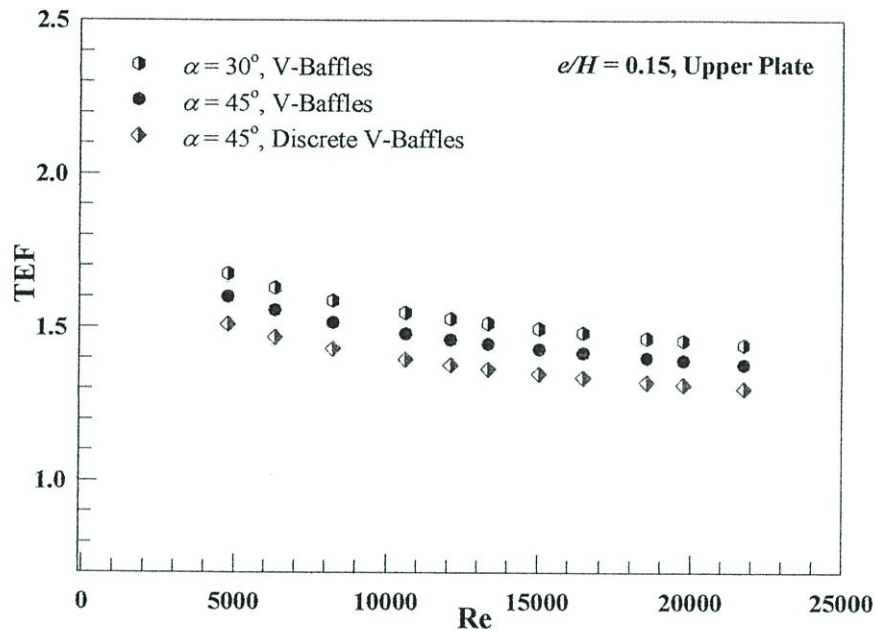


รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°

รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ โดยให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 8.62-10.57 เท่า สำหรับครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° , ในช่วง 6.96-8.54 เท่า สำหรับครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° และในช่วง 5.33-6.54 เท่า สำหรับครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30°

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ให้ค่า TEF สูงกว่าการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ โดยให้ค่า TEF ในช่วง 1.44-1.67 สำหรับการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° , ในช่วง 1.38-1.60 สำหรับการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และ ในช่วง 1.26-1.46 ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่เท่ากับ 1.67 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

ผลการทดลองในส่วนนี้ ศึกษาผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการครีบบางรูปตัววีแยกตัว

มุม 45° , ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ซึ่งตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 1.0 มีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.15 โดยติดครีบบางในช่วงทดสอบที่ผิวบนด้านเดียวทั้ง 3 กรณี เพื่อศึกษาอิทธิพลของครีบบางต่อเนื้อและครีบบางแยกตัวมุม 45° และครีบบางต่อเนื้อมุม 30° พบว่า การติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ให้ค่า TEF สูงกว่าการติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° โดยครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษานี้ เท่ากับ 1.67 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด และจะได้นำไปศึกษาต่อในหัวข้อต่อไป

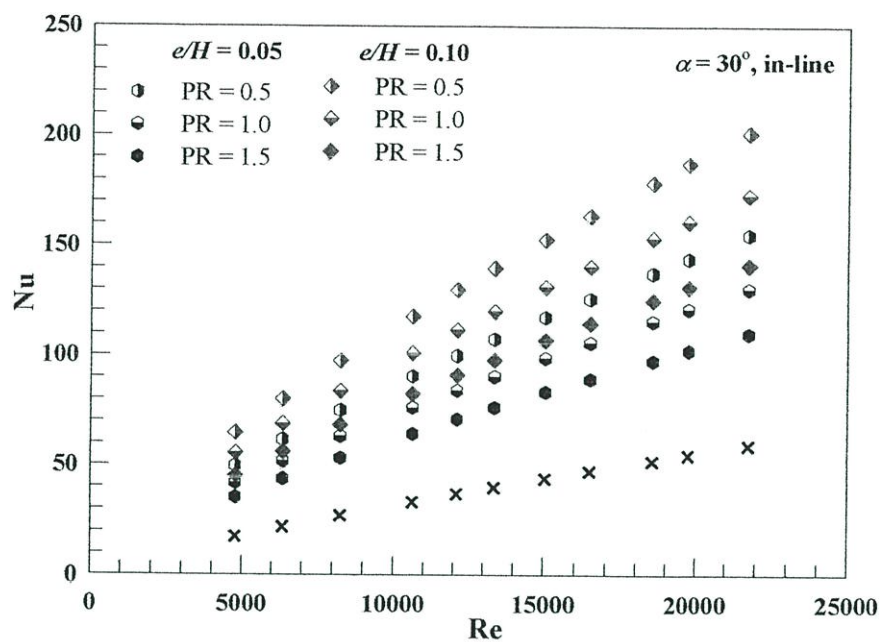
5.6 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบางตรงกัน

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาต่อจากหัวข้อที่ 5.5 โดยการติดครีบบางรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนาน จัดวางแนวครีบบางบน-ล่างตรงกัน มีอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5) มีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน 2 ค่า ($e/H=0.05$ และ 0.10) เก็บข้อมูลเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิทช์และความสูงครีบบางที่ค่า TEF สูงสุด

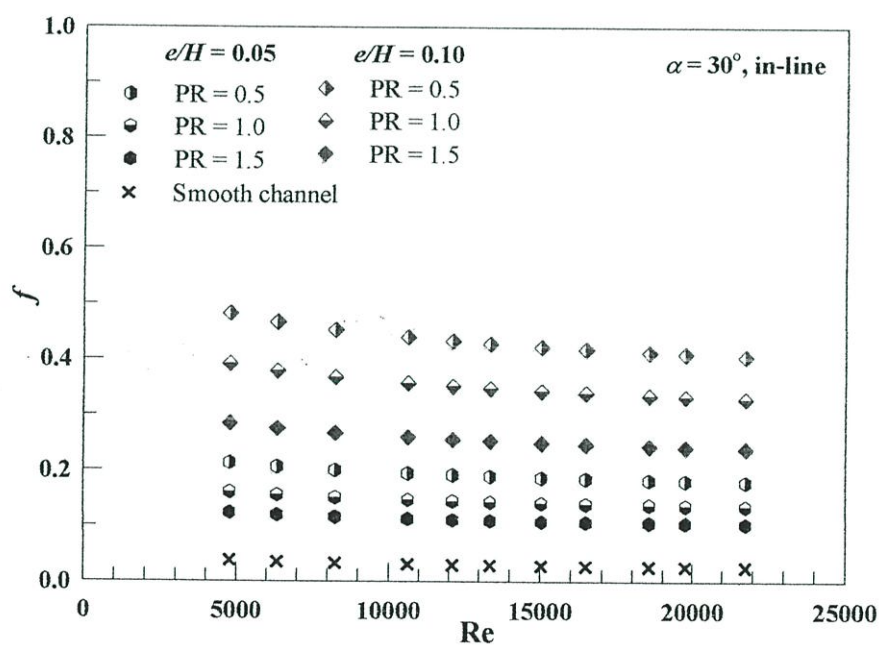
5.6.1 อิทธิพลระยะพิทช์และความสูงครีบบาง

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางรูปตัววีในช่องขนาน มุมปะทะการไหล 30° ซึ่งตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5) มีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน 2 ค่า ($e/H=0.05$, และ 0.10) โดยติดครีบบางในช่วงทดสอบช่องขนานที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบางตรงกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิทช์และความสูงครีบบาง กราฟความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์แสดงในรูปที่ 5.18 พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มขึ้น ครีบบางรูปตัววีที่ PR น้อยกว่าให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่า PR ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดยที่ $PR=0.5$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงที่สุด ตามด้วย $PR=1.0$ และ $PR=1.5$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลความสูงครีบบาง พบว่าครีบบางที่มี e/H มากกว่าให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าครีบบางที่มี e/H น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดย $e/H=0.10$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่า $e/H=0.05$

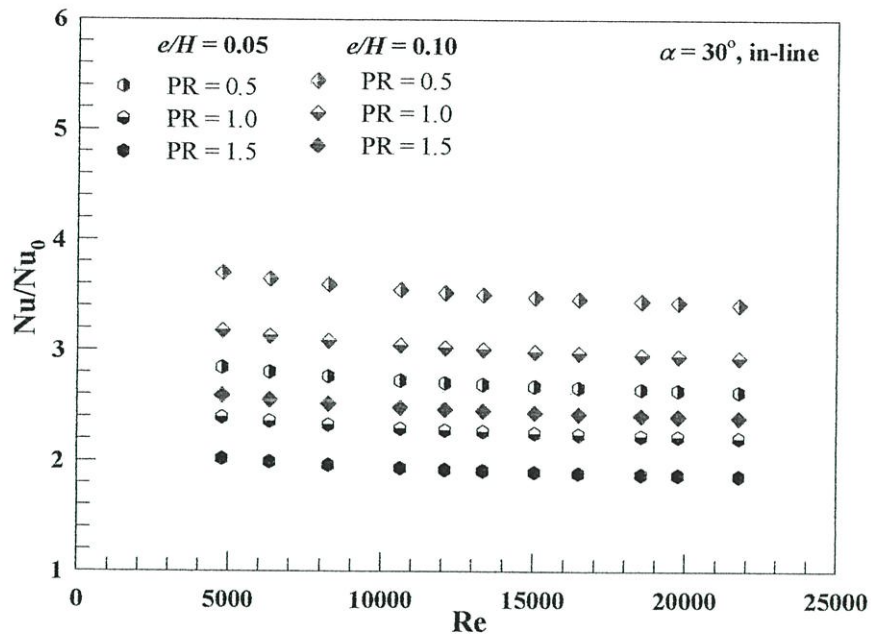
ในรูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนานจัดวางแนวครีบบางตรงกัน จากผลการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ครีบบางที่มี PR น้อยกว่าให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบบางที่มี PR มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดย $PR=0.5$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด ตามด้วย $PR=1.0$ และ $PR=1.5$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลความสูงครีบบางพบว่าครีบบางที่มี e/H มากกว่าให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบบางที่มี e/H น้อยกว่า โดยที่ $e/H=0.10$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $e/H=0.05$



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน



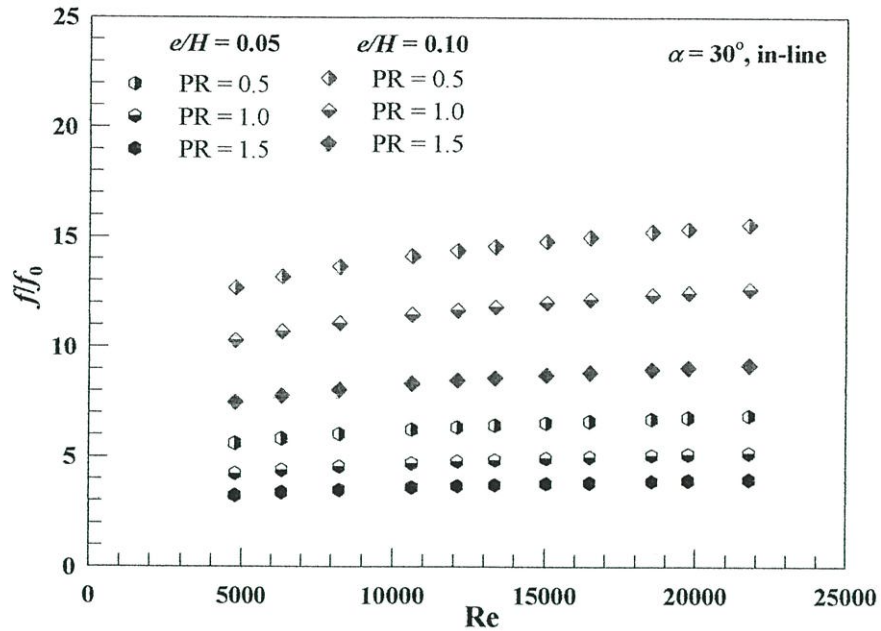
รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบบตรงกัน



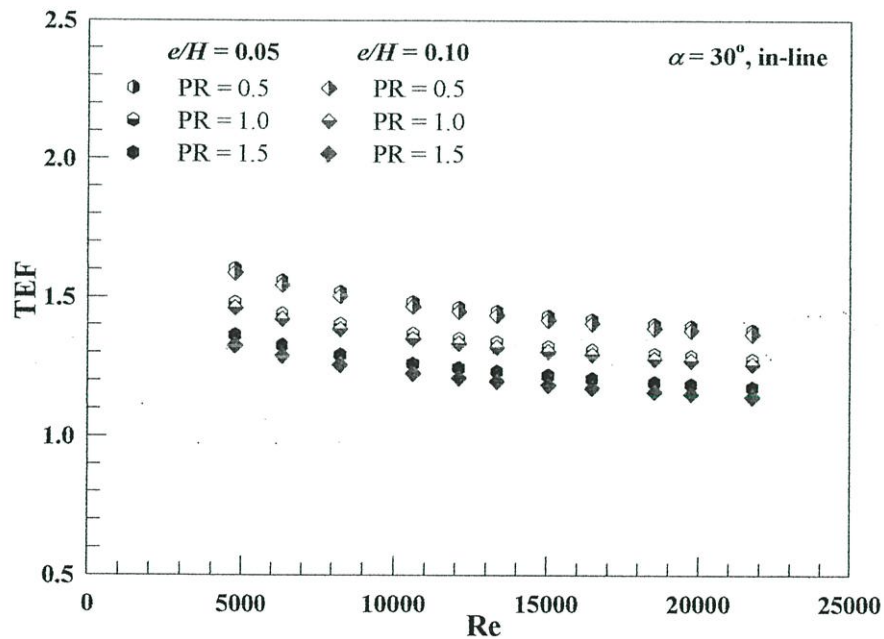
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางต่อเนื่อง รูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง รูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนาน จัดวางแนวครีบตรงกัน จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ครีบที่มี PR น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงกว่าครีบที่มี PR มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดย PR=0.5 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงสุด ตามด้วย PR=1.0 และ PR=1.5 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลความสูงครีบพบว่าครีบที่มี e/H ที่มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงกว่า ครีบที่มี e/H ที่น้อยกว่า โดยที่ $e/H=0.10$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงกว่า $e/H=0.05$ เมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดยพบว่าที่ PR=0.5, 1.0 และ 1.5 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 2.63-2.85, 2.21-2.39 และ 1.86-2.02 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.05$, ในช่วง 3.41-3.70, 2.93-3.18 และ 2.39-2.59 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.10$

รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนาน จัดวางแนวครีบตรงกัน พบว่าการติดครีบที่ PR น้อยกว่ามีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบที่ PR มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดย PR=0.5 ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย PR=1.0 และ PR=1.5 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอิทธิพลความสูงครีบ พบว่าครีบที่มี e/H มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบที่มี e/H น้อยกว่า โดยที่ $e/H=0.10$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $e/H=0.05$ เมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดยที่ PR=0.5, 1.0 และ 1.5 ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 5.61-6.88, 4.23-5.19 และ 3.25-3.99 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.05$, และในช่วง 12.68-15.57, 10.29-12.63 และ 7.48-9.18 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.10$



รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียตากับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน



รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน

รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบางรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างในช่วงทดสอบช่องขนาน จัดวางแนวครีบตรงกัน พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดครีบที่ $e/H=0.05$ ให้ค่า TEF สูงกว่าการติดครีบที่ $e/H=0.10$ เมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน และเมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะพิตช์พบว่า การติดครีบที่ PR น้อยกว่าให้ค่า TEF สูงกว่า PR

ที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดยพบว่าที่ $PR=0.5$ ให้ค่า TEF สูงสุด ตามด้วย $PR=1.0$ และ $PR=1.5$ ตามลำดับ ในช่วง 1.38-1.60, 1.27-1.48 และ 1.17-1.36 สำหรับ $e/H=0.05$, และ ในช่วง 1.37-1.59, 1.26-1.46 และ 1.14-1.33 สำหรับ $e/H=0.10$ ซึ่งจะเห็นว่าการติดครีบบางที่ $PR=0.5$, $e/H=0.05$ ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่เท่ากับ 1.60 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

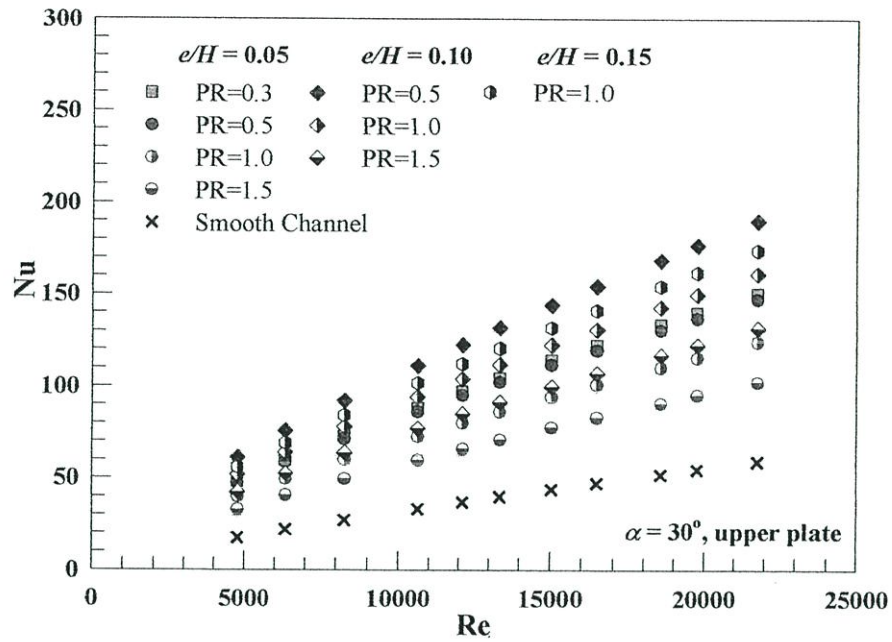
ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางรูปตัววีในช่องขนานมุม 30° ซี่ตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) 3 ค่าคือ 0.5, 1.0 และ 1.5 อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) 2 ค่าคือ 0.05, และ 0.10 โดยติดครีบในช่วงทดสอบช่องขนานที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบตรงกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบ พบว่าครีบที่ $PR=0.5$, $e/H=0.05$ ให้ค่า TEF ในกลุ่มกรณีศึกษาที่เท่ากับ 1.60 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด และจะได้นำไปศึกษาต่อไปในหัวข้อต่อไป

5.7 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

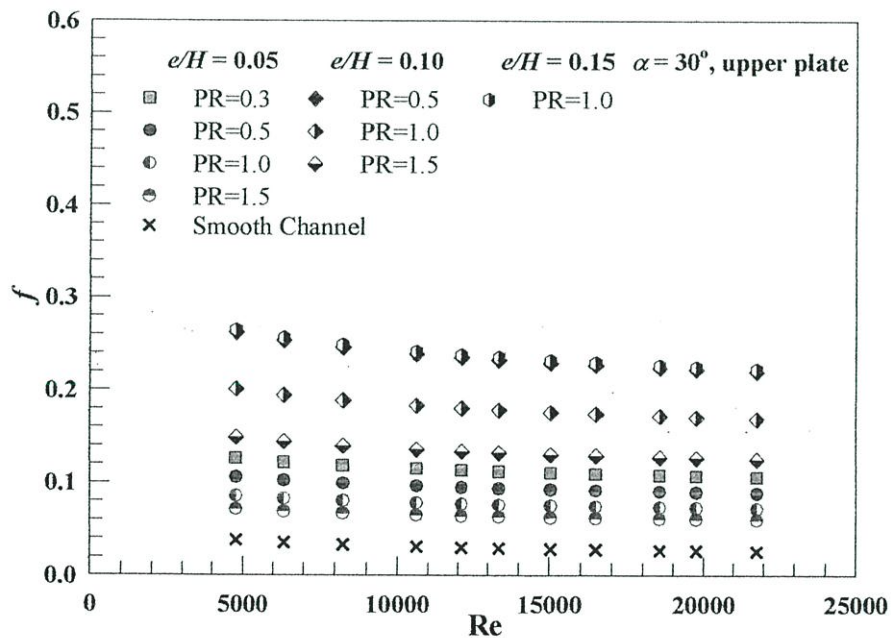
การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาต่อจากหัวข้อที่ 5.6 โดยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ในช่วงทดสอบช่องขนานที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 4 ค่า ($PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.05, มีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.10 และมีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 1 ค่า ($PR=1.0$) สำหรับอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.15 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบที่ให้ค่า TEF สูงสุด

5.7.1 อิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบ

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีในช่วงทดสอบช่องขนานมุม 30° ซี่ตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 4 ค่า ($PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.05, มีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.10 และมีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 1 ค่า ($PR=1.0$) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H)=0.15 โดยติดครีบบางในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิตช์และความสูงครีบ กราฟความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์แสดงในรูปที่ 5.23 พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มขึ้น ครีบที่มี e/H มากกว่าให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าครีบที่มี e/H น้อยกว่าที่ PR เดียวกัน โดยพบว่าครีบที่ $e/H=0.15$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่า ครีบที่ $e/H=0.1$ และ $e/H=0.05$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะพิตช์พบว่า การติดครีบที่ PR น้อยกว่าให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าที่ PR มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

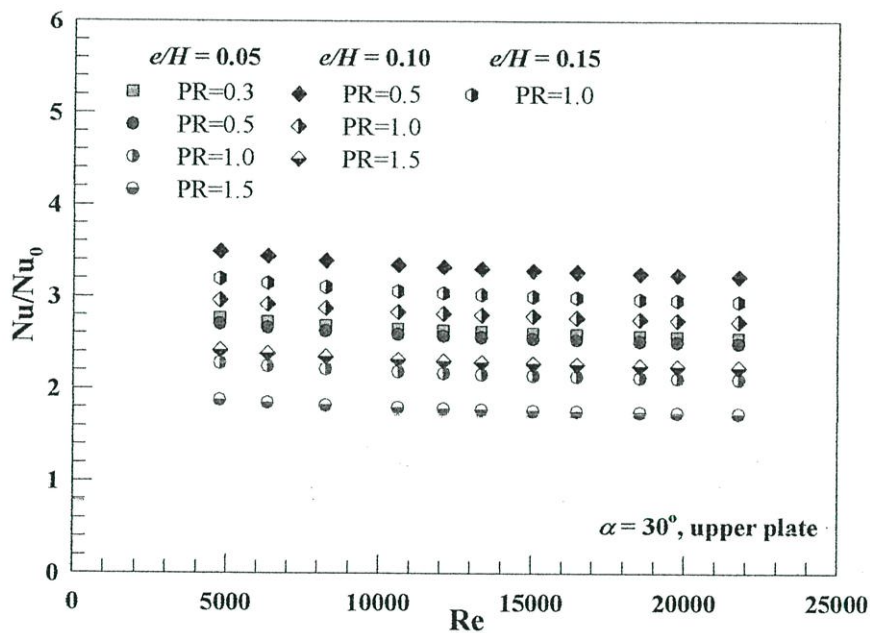


รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

ในรูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบที่ e/H มากกว่าให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบที่ e/H น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดยพบว่าที่ $e/H=0.15$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $e/H=0.10$ และ $e/H=0.05$ ตามลำดับ และเมื่อ

พิจารณาอิทธิพลระยะพิทซ์ พบว่าการติดครีบบที่มี PR น้อยกว่าให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบบที่มี PR มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน

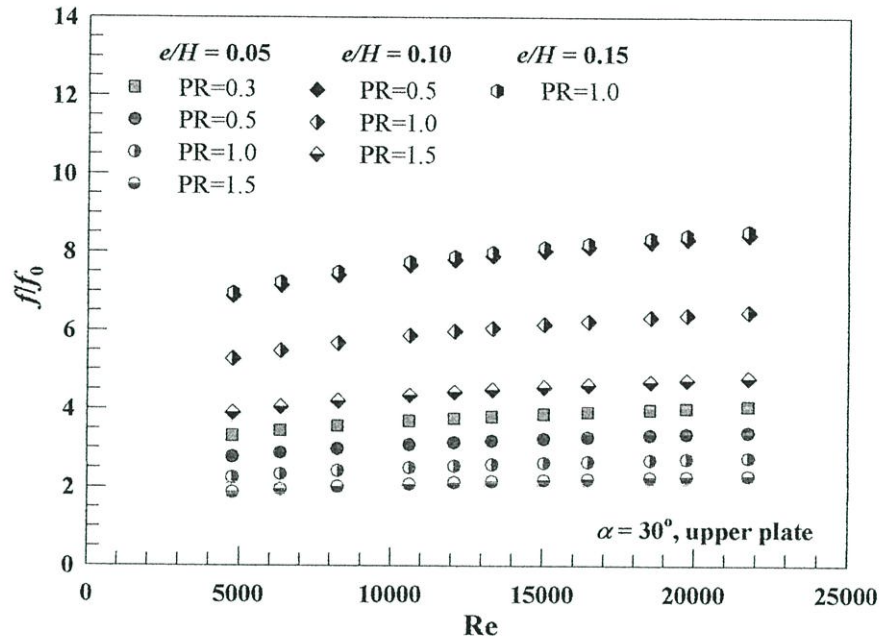
รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบที่ e/H มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์สูงกว่าครีบบที่ e/H น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดยพบว่าที่ $e/H=0.05$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์สูงกว่าที่ $e/H=0.10$ และ $e/H=0.15$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะพิทซ์ พบว่าการติดครีบบที่มี PR น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์สูงกว่าที่ PR มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดยที่ $e/H=0.05$, PR=0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 2.55-2.77, 2.49-2.71, 2.10-2.28 และ 1.73-1.88 เท่า ตามลำดับ, ที่ $e/H=0.10$, PR=0.5, 1.0 และ 1.5 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 3.22-3.49, 2.73-2.96 และ 2.23-2.42 เท่า ตามลำดับ และที่ $e/H=0.15$, PR=1.0 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 2.95-3.19 เท่า



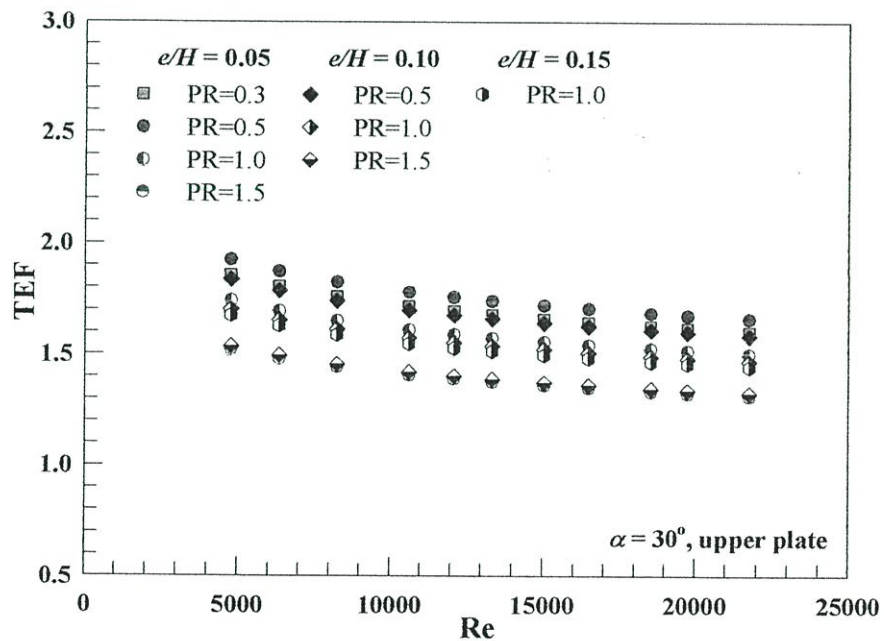
รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบที่ e/H มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า e/H ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน โดยพบว่าที่ $e/H=0.15$ ให้ค่าอัตราส่วนประกอบเสียดทานสูงกว่าที่ $e/H=0.10$ และ $e/H=0.05$ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะพิทซ์ พบว่าการติดครีบบที่มี PR น้อยกว่ามีอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าครีบบที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดยที่ $e/H=0.05$, PR= 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 3.32-4.07, 2.77-3.41, 2.25-

2.76 และ 1.87-2.29 เท่า ตามลำดับ, ที่ $e/H=0.10$, $PR=0.5$, 1.0 และ 1.5 ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 6.88-8.45, 5.28-6.48 และ 3.91-4.79 เท่า ตามลำดับ และที่ $e/H=0.15$, $PR=1.0$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 6.96-8.54 เท่า



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว



รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สกรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดครีบที่ $e/H=0.05$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงกว่า $e/H=0.10$ และ $e/H=0.15$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน และเมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะพิตช์พบว่าการติดครีบที่ PR น้อยกว่าให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงกว่า PR ที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน โดยให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่วง 1.59-1.85, 1.66-1.92, 1.50-1.74 และ 1.31-1.52 สำหรับ PR=0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 ที่ $e/H=0.05$, ในช่วง 1.58-1.84, 1.46-1.70 และ 1.32-1.53 ตามลำดับ สำหรับ PR=0.5, 1.0 และ 1.5 ที่ $e/H=0.10$ และในช่วง 1.44-1.67 สำหรับ PR=1.0 ที่ $e/H=0.15$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าครีบบางที่ PR=0.5 และ $e/H=0.05$ ให้ TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.85 ที่เลขเรย์โนลด์สค่าต่ำสุด

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบปลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ขึ้นตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 4 ค่า (PR=0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.05, และอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า (PR=0.5, 1.0 และ 1.5) ที่อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.10 และอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) 1 ค่าคือ 1.0 สำหรับอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.15 โดยติดครีบในช่วงทดสอบช่องขนานที่ผิวบนด้านเดียว เพื่อศึกษาอิทธิพลความสูงครีบและอิทธิพลระยะพิตช์ พบว่า ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ $e/H=0.05$, PR=0.5 ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.85 ที่เลขเรย์โนลด์สค่าต่ำสุด และ เมื่อทำการทดลองต่อโดยติดครีบบางที่ PR=0.3, $e/H=0.05$ พบว่าค่า TEF มีค่าน้อยกว่าการติดครีบที่ PR=0.5, $e/H=0.05$ ดังนั้นที่ PR=0.5, $e/H=0.05$, เห็นควรนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด เพื่อให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพที่สูงกว่าและเพื่อลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

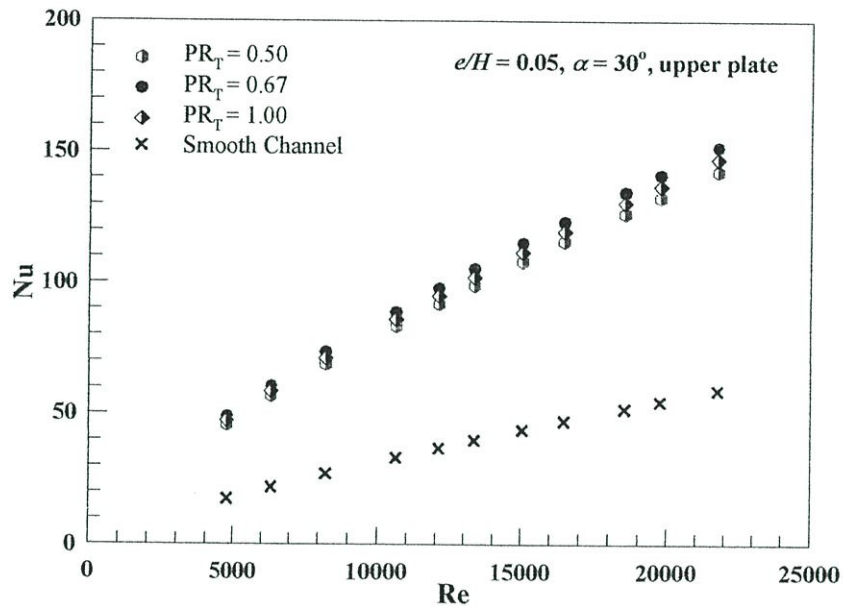
5.8 ผลการทดลองท่อแผ่นขนานแบบติดตั้งครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาต่อจากหัวข้อที่ 5.7 โดยติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว มีระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล 3 ค่า ($P_T/H=PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0) มีอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนานตามแนวยาวตามทิศทางการไหล (PR) =0.5 และมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =0.05 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายการไหลในช่องขนาน เพื่อศึกษาอิทธิพลระยะพิตช์ตามแนวขวางทิศทางการไหลที่ให้ค่า TEF สูงที่สุด

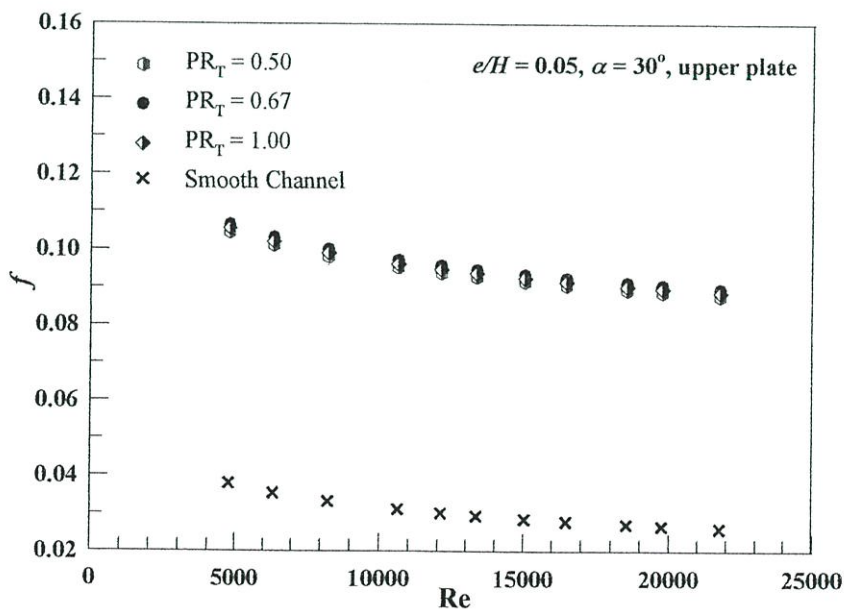
5.8.1 อิทธิพลระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล

ผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบปลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ขึ้นตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตช์ตามแนวขวางทิศทางการไหล 3 ค่า ($P_T/H=PR_T=0.50, 0.67$

และ 1.0) มีระยะพิตซ์ในแนวตามทิศทางการไหลหรืออัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 0.5 และมีอัตราส่วนความสูงครีบอกต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.05 โดยติดครีบอกในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว ทำการศึกษาอิทธิพลระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหล (PR_T) ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์แสดงในรูปที่ 5.28 พบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน เลขนัสเซิลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มขึ้น ครีบอกที่ $PR_T=0.67$ (ครีบอก 15 ยอด) มีค่าเลขนัสเซิลท์มากที่สุด ตามด้วยครีบอกที่ $PR_T=1.0$ (ครีบอก 10 ยอด) และ $PR_T=0.50$ (ครีบอก 20 ยอด) ตามลำดับ

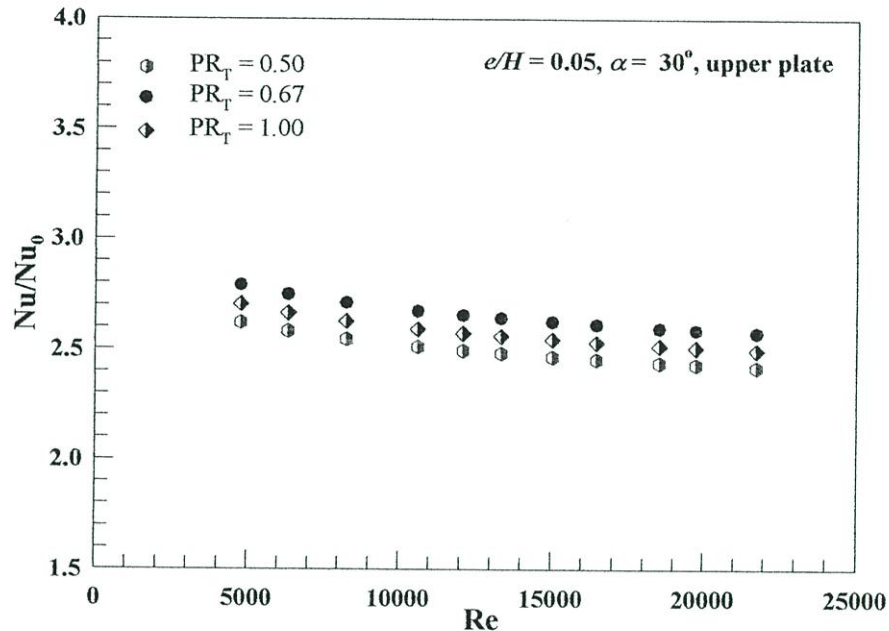


รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบอกด้านหนึ่งบนรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว



รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบอกด้านหนึ่งบนรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว

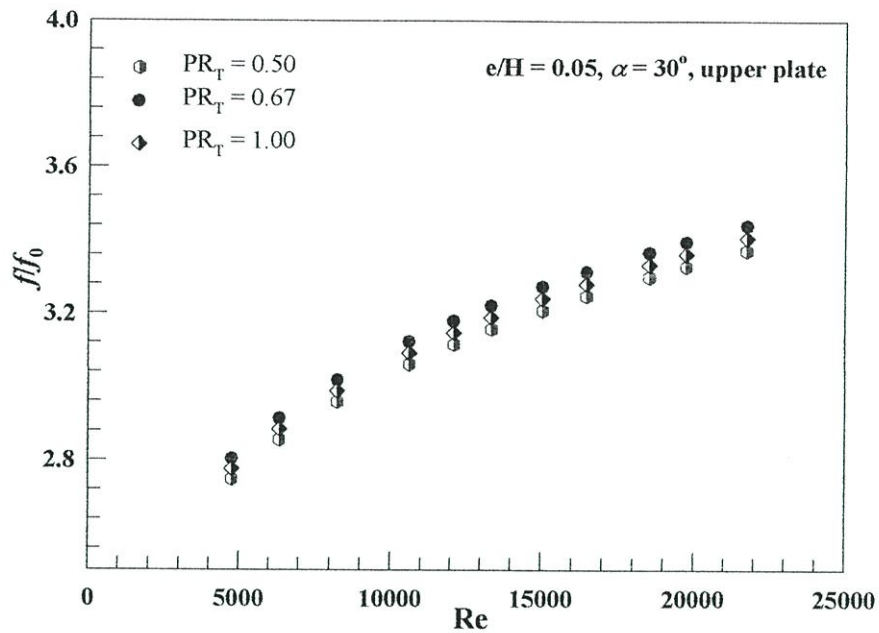
รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววี ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล (PR_T) มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบที่ $PR_T=0.67$ (ครีบบ15ยอด) ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดตามด้วยครีบบที่ $PR_T=1.0$ (ครีบบ10ยอด) และ $PR_T=0.50$ (ครีบบ20ยอด) ตามลำดับ



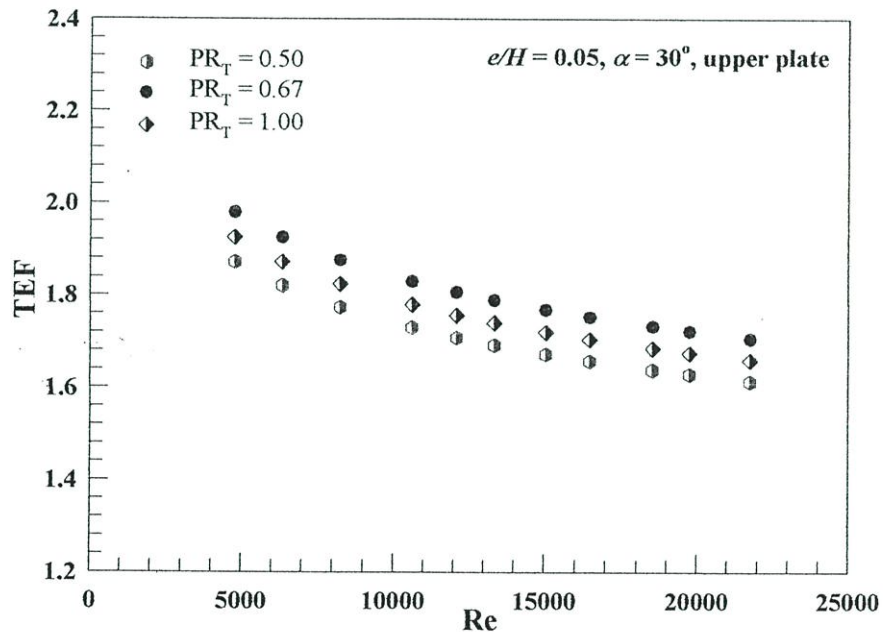
รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววี ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล (PR_T) มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น โดยการติดครีบบที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มากกว่า $PR_T=1.0$ และ $PR_T=0.50$ ตามลำดับ โดยพบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 2.57-2.79 เท่า สำหรับ $PR_T=0.67$, ในช่วง 2.49-2.71 เท่า สำหรับ $PR_T=1.0$ และในช่วง 2.41-2.62 เท่า สำหรับ $PR_T=0.50$ ตามลำดับ

รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์ กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววี ปรับระยะพิตช์ตามแนวขวางการไหล (PR_T) มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น โดยการติดครีบบที่ $PR_T=0.67$ ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่า $PR_T=1.0$ และ $PR_T=0.5$ ตามลำดับ โดยพบว่าที่ $PR_T=0.67$, 1.0 และ 0.5 ให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในช่วง 2.80-3.44, 2.77-3.41 และ 2.75-3.37 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว



รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว

รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีติดครีบบาง ต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่า ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น โดยการติดครีบบางที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) สูงที่สุด ตามด้วย $PR_T=1.0$ และ $PR_T=0.5$ ตามลำดับ โดยพบว่าที่ $PR_T=0.67, 1.0$ และ 0.5 ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่วง 1.70-1.98, 1.66-1.92 และ 1.61-1.87 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ครีบบาง

บางต่อเนื้องรูปตัววีที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่า TEF สูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.98 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

ผลการทดลองในส่วนนี้ ศึกษาผลการทดลองแสดงผลการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานการไหลในช่องขนาน ในสภาวะผิวแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดครีบบางต่อเนื้องรูปตัววี มุม 30° ซึ่งตามทิศทางการไหล โดยมีอัตราส่วนระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหล 3 ค่า ($P_T/H=PR_T=0.5, 0.67$ และ 1.0) มีระยะพิตซ์ในแนวตามทิศทางการไหลหรืออัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 0.5 และมีอัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.05 โดยติดครีบบในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว ทำการศึกษาอิทธิพลระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหล (PR_T) พบว่า การติดครีบบที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงสุดในกลุ่มกรณีศึกษาที่ เท่ากับ 1.98 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

5.9 การสร้างสมการด้วยรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร (Multiple Linear Regressions)

ในส่วนนี้เป็นการนำเอาค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ f กับค่า Re วิธีการทำสมการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4 ในบทที่ 3

5.9.1 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบตรงกัน

5.9.1.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

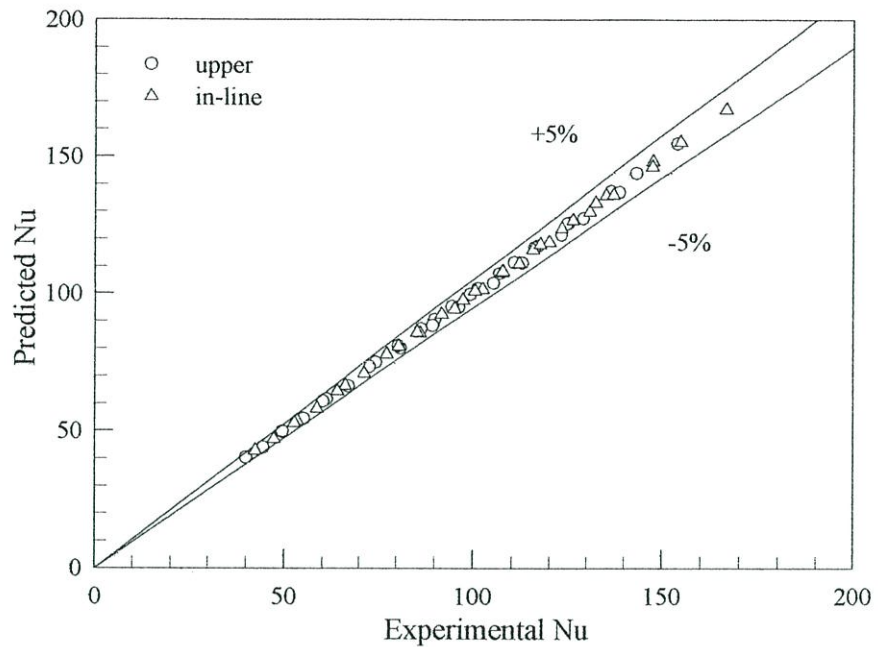
ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) และ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้ สำหรับกรณีติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียว

$$Nu = 0.101159Re^{0.7485} Pr^{0.4} (PR)^{-0.30178} \quad (5.1)$$

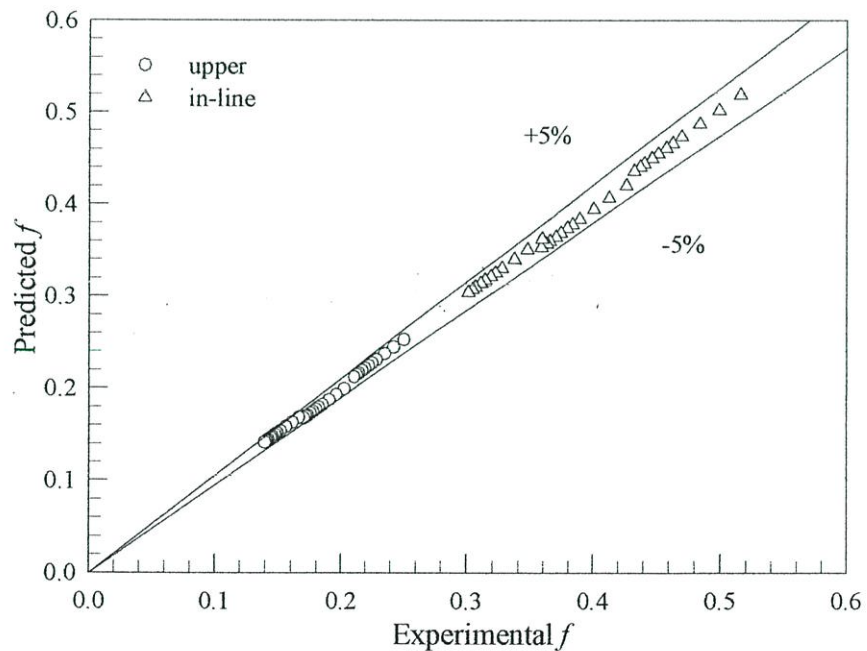
สำหรับกรณีติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวตรงกัน

$$Nu = 0.10918Re^{0.7485} Pr^{0.4} (PR)^{-0.32823} \quad (5.2)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.33



รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบแยกตัวรูปตัววีมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบตรงกัน PR=1.0, 1.5 และ 2.0, $e/H=0.15$



รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบแยกตัวรูปตัววีมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว และที่ผิวบนและผิวล่างช่องขนานจัดวางแนวครีบตรงกัน PR=1.0, 1.5 และ 2.0, $e/H=0.15$

5.9.1.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

สำหรับกรณีติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียว

$$f = 0.670035Re^{-0.1151} (PR)^{-0.58836} \quad (5.3)$$

สำหรับกรณีติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวตรงกัน

$$f = 1.375372Re^{-0.1151} (PR)^{-0.5197} \quad (5.4)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.34

5.9.2 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และมุม 45° ที่ผิวบนด้านเดียว

5.9.2.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี และมุมปะทะการไหล (α) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.101445Re^{0.7485} Pr^{0.4} (\tan \alpha)^{0.066518} \quad (5.5)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวีหน้า, แบบตัดปลายมุมวีหลัง และตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ในช่องขนานช่วงทดสอบที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ 45° อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=1.0$ อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 7\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.35

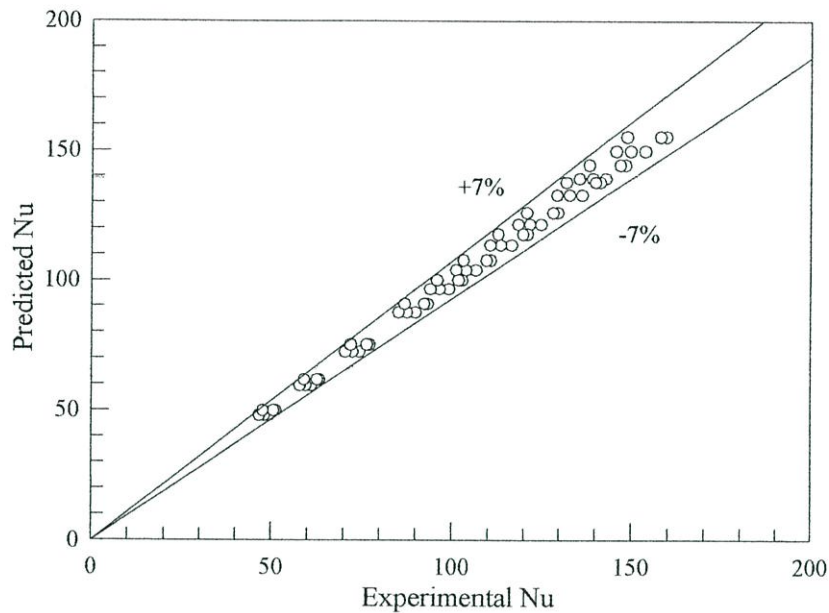
5.9.2.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี และมุมปะทะการไหล (α) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

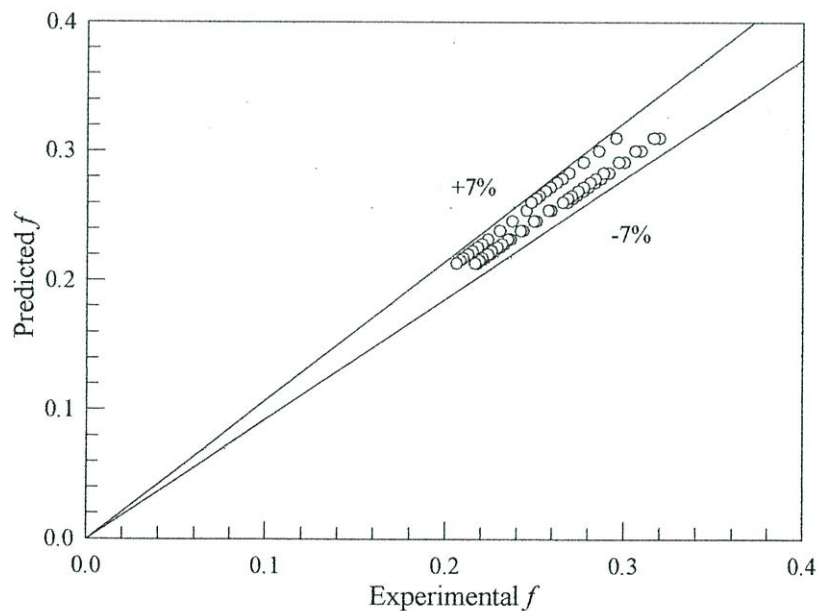
$$f = 0.822433Re^{-0.1151} (\tan \alpha)^{0.3643} \quad (5.6)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวีหน้า, แบบตัดปลายมุมวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ในช่องขนานช่วงทดสอบที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ

45° มีอัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=1.0$ และมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 7\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.36



รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี แบบปลายมุมวีหน้า, ตัดปลายมุมวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0$, $e/H=0.15$



รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องตัดปลายมุมวี แบบปลายมุมวีหน้า, ตัดปลายมุมวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ที่ผิวบนด้านเดียว มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0$, $e/H=0.15$

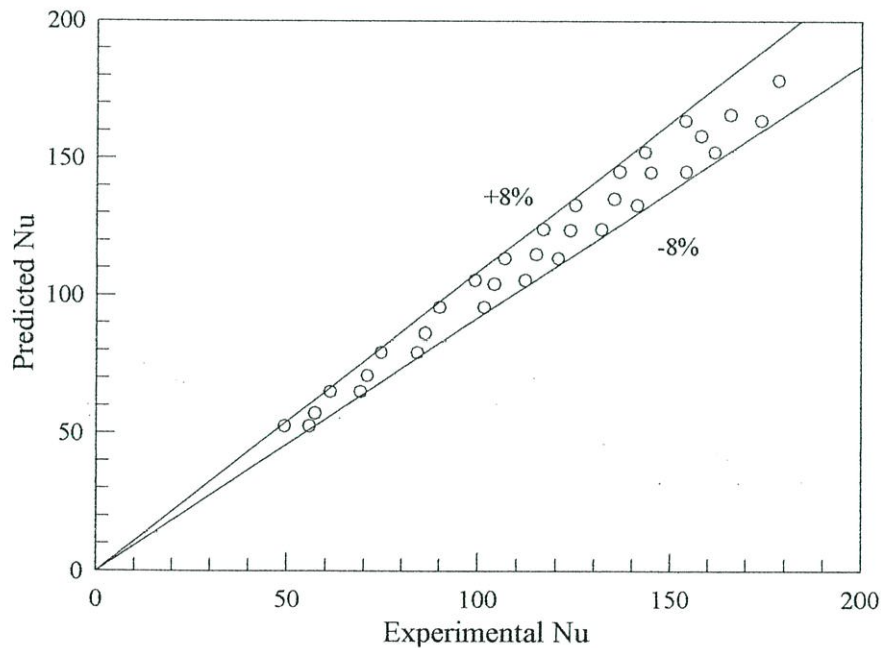
5.9.3 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องมุม 45° และมุม 30° ติดตั้งที่ผิวบนด้านเดียว

5.9.3.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) และมุมปะทะการไหล (α) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.11651Re^{0.7485} Pr^{0.4} (\tan \alpha)^{0.156053} \quad (5.6)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน PR=1.0 อัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ Re=4100-22,000 จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.37



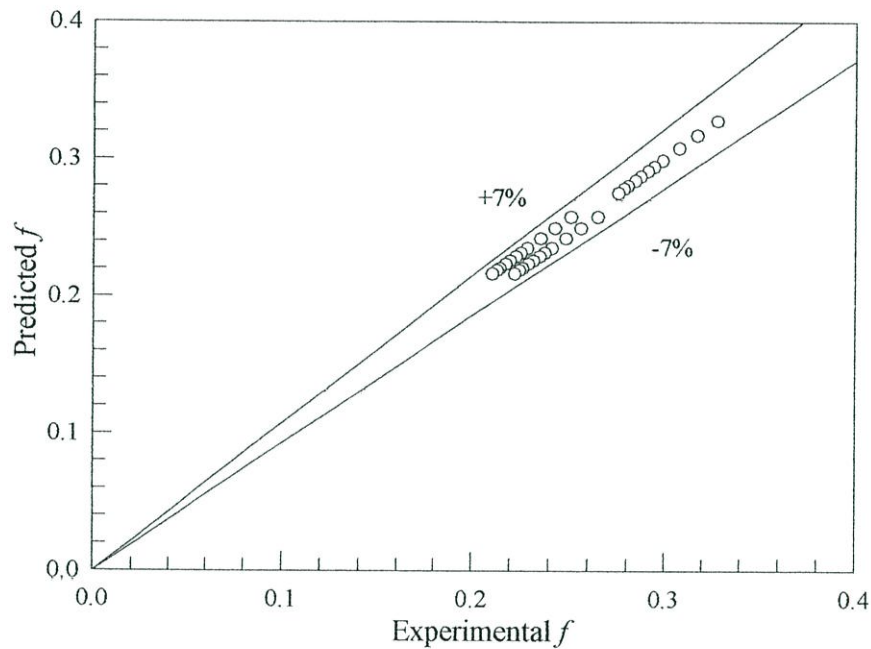
รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว PR=1.0, $e/H=0.15$

5.9.3.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) และมุมปะทะการไหล (α) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = 0.868614Re^{-0.1151} (\tan \alpha)^{0.436808} \quad (5.7)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=1.0$ อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.15$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 7\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.38



รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° , ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 45° และครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=1.0$, $e/H=0.15$

5.9.4 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัควางแนวครีบตรงกัน

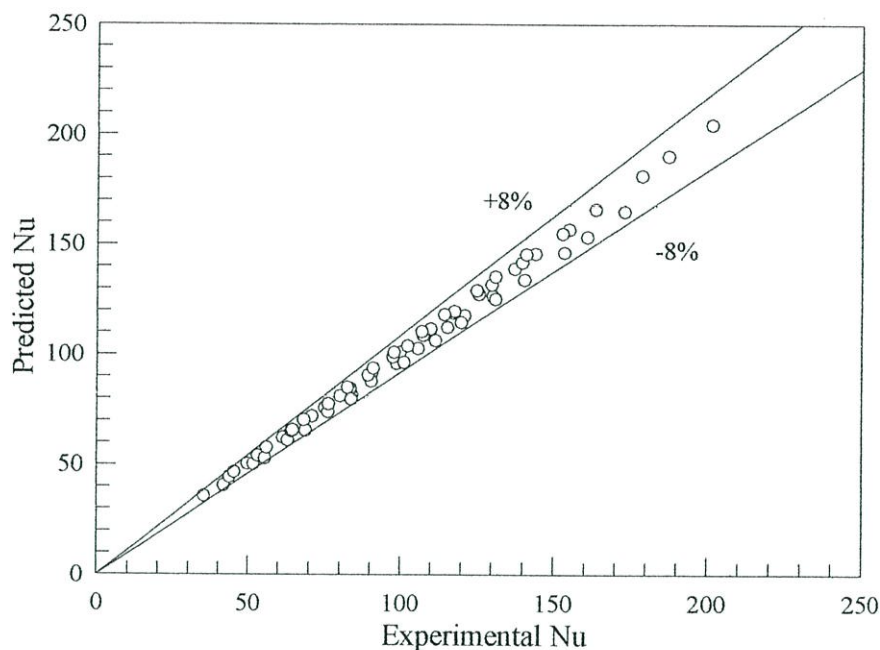
5.9.4.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.260204Re^{0.7485} Pr^{0.4} (e/H)^{0.382655} PR^{-0.30928} \quad (5.8)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัควางแนวครีบตรงกัน อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.5$, 1.0 และ 1.5 อัตราความสูงครีบต่อความสูงช่อง

ขนาน $e/H=0.05$, และ 0.10 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.39



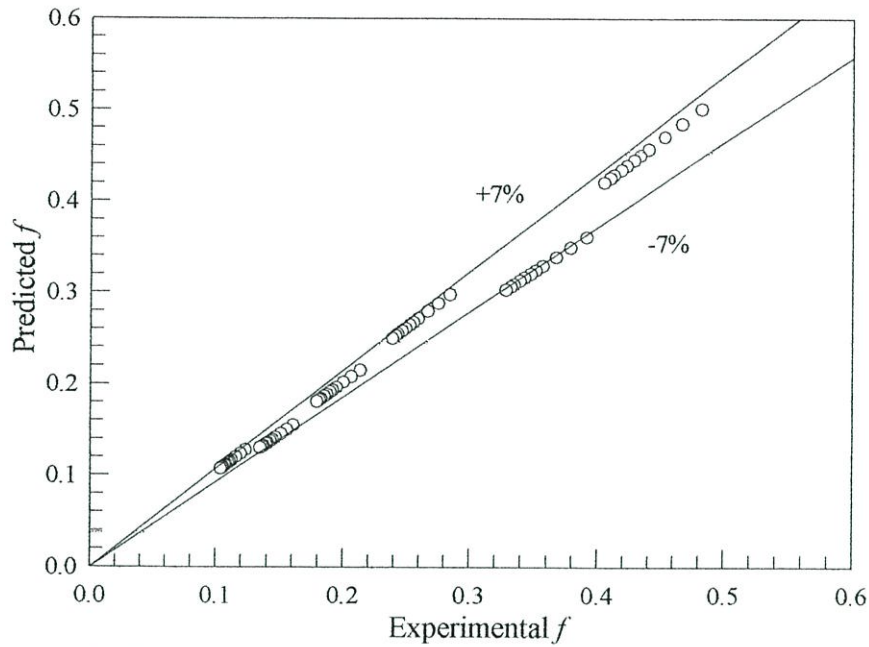
รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ของสมการสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์กับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน $PR=0.5, 1.0$ และ 1.5 , $e/H=0.05$, และ 0.10

5.9.4.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = 15.8778Re^{-0.1151} (e/H)^{1.220508} PR^{-0.47411} \quad (5.9)$$

จากสมการสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.5, 1.0$ และ 1.5 อัตราความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05$, และ 0.10 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 7\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบริบตรงกัน $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$, และ 0.10

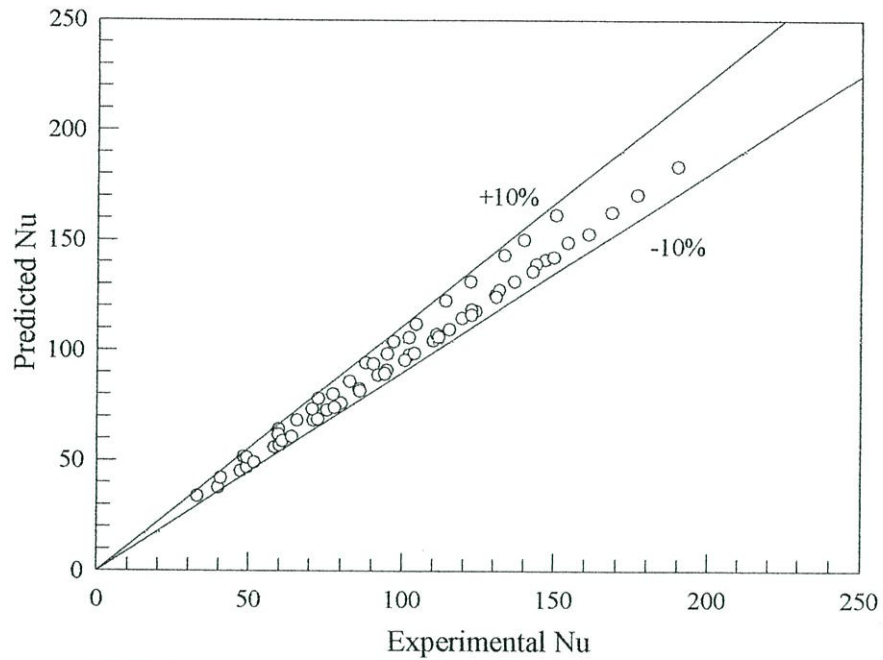
5.9.5 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

5.9.5.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

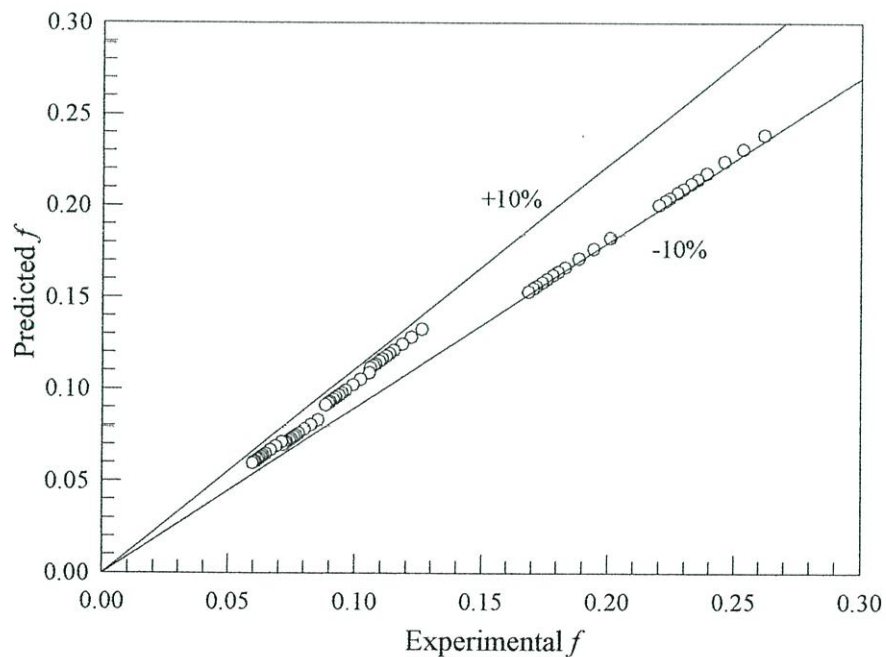
ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.238716 Re^{0.748532} Pr^{0.4} (e/H)^{0.377949} PR^{-0.26232} \quad (5.10)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5 อัตราความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์กับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5 , $e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ของสมการสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5 , $e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15

5.9.5.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนความสูงครีบ

ต่อความสูงช่องขนาน (e/H) อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$f = 6.579639Re^{-0.1151} (e/H)^{1.133549} PR^{-0.3881} \quad (5.11)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5 อัตราความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05, 0.10$ และ 0.15 โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.42

5.9.6 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ปรับระยะพิตซ์ตามแนวขวาง การไหล มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

5.9.6.1 ความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหลต่อความสูงช่องขนาน (PR_T) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.097472Re^{0.7485} Pr^{0.4} (PR_T)^{0.037897} \quad (5.12)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์เป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับเลขนัสเซลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหล $PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0 ระยะพิตซ์ในแนวตามทิศทางการไหลหรืออัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.5$ และมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จากการทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.43

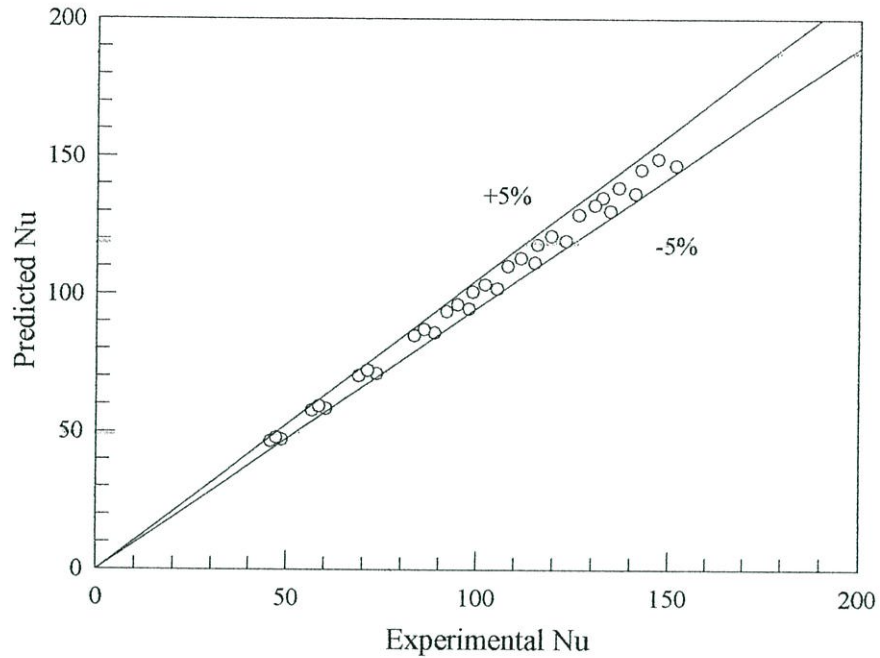
5.9.6.2 ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

ความสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อัตราส่วนระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหลต่อความสูงช่องขนาน (PR_T) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

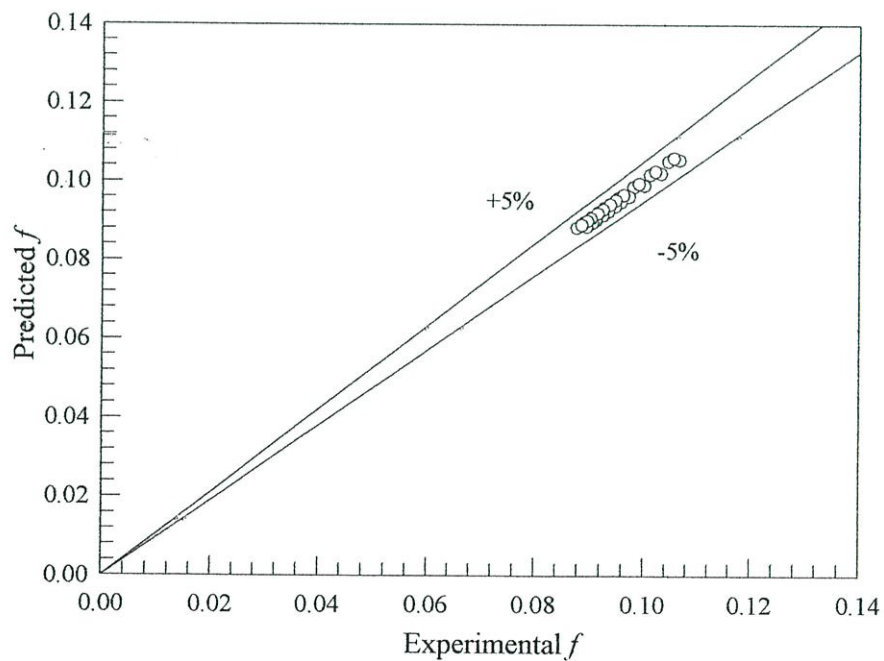
$$f = 0.281025Re^{-0.1151} (PR_T)^{0.012158} \quad (5.13)$$

จากสมการสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานเป็นการหาค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว อัตราส่วนระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหล $PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0 ระยะพิตซ์ในแนวตามทิศทางการไหลหรืออัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=0.5$ และมีอัตราส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน $e/H=0.05$ โดยมีขอบเขตในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4100-22,000$ จาก

การทดลองพบว่าสมการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ดังแสดงในรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ของสมการสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์กับเลขนัสเซิลท์จากการทดลอง กรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $e/H=0.05$, $PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0 , $PR=0.5$



รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ของสมการสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานกับตัวประกอบเสียดทานจากการทดลองกรณีติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีมุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว $e/H=0.05$, $PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0 , $PR=0.5$

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาวิธีการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดครีบบางแนวยาวขวางทิศทางการไหล สามารถสรุปได้ ดังต่อไปนี้

6.1.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางรูปตัววีแยกตัว มุม 45°

6.1.1.1 การศึกษาและออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดครีบบางรูปตัววีแยกตัว อัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน, $e/H=0.15$ มุม 45° ซึ่งตามทิศทางการไหล พบว่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในการไหลภายในช่องขนานโดยการติดครีบบที่ผิวภายในส่วนทดสอบ สามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรณีการไหลในช่องขนานผิวเรียบมาก

6.1.1.2 การศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน (PR) = 1.0, 1.5 และ 2.0 จากการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนพบว่า เมื่ออัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนานเพิ่มขึ้น จะทำให้เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานลดลง โดย PR=1.0 มีค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วย PR=1.5 และ 2.0 ตามลำดับ

6.1.1.3 การศึกษาอิทธิพลของการติดครีบบและการจัดวางครีบบ จากการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนพบว่า การติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่างในช่องแผ่นขนาน ให้เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานมากกว่าการติดตั้งที่ผิวบนเพียงอย่างเดียว

6.1.1.4 การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของครีบบางรูปตัววีแยกตัว พบว่า ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ให้ค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดของช่วงทดสอบและมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มของเลขเรย์โนลด์ส์ การติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียวให้ค่า TEF สูงกว่าการติดครีบบที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบบน-ล่างตรงกันทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส์ โดยการติดครีบบที่ผิวบนด้านเดียวที่มี PR=1.0 ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้เท่ากับ 1.51 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุดของช่วงทดสอบ

6.1.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนืองรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี มุม 30° และ 45° ที่ผิวบนด้านเดียว

6.1.2.1 การศึกษาอิทธิพลการติดครีบบางต่อเนืองรูปตัววีแบบตัดปลายมุมวี 3 แบบคือ แบบตัดปลายวีหน้า, ตัดปลายวีหลัง และ ตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ในช่องขนานที่ผิวบนด้านเดียว มีอัตราส่วนความสูงครีบบต่อความสูงช่องขนาน, $e/H=0.15$ อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน, PR=1.0 มุมปะทะการไหล 30° และ 45° ซึ่งตามทิศทางการไหล จากการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน พบว่าการติดครีบบางต่อเนืองรูปตัววีแบบตัดปลายวีหน้า แบบตัดปลายวีหลัง และ แบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ และพบว่ามุม 45° ให้เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ามุม 30° ทุกกรณีศึกษา

6.1.2.2 การศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีแบบตัดปลายวี พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนให้ค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดของช่วงทดสอบและมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มของเลขเรย์โนลด์ส์ ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีแบบตัดปลายวีมุม 30° ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะความร้อน (TEF) สูงกว่ามุม 45° ทุกกรณีศึกษา โดยครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีแบบตัดปลายวีหน้า ให้ค่า TEF สูงกว่า แบบตัดปลายวีหลัง, และแบบตัดทั้งปลายวีหน้า-หลัง ตามลำดับ ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีแบบตัดปลายวีหน้า มุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้เท่ากับ 1.49 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุดของช่วงทดสอบ

6.1.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° และ ครีบบางต่อเนื้อมุม 45° และ 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

6.1.3.1 การศึกษาอิทธิพลการติดครีบบางรูปตัววีภายในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว มีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน, $e/H=0.15$ อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน, $PR=1.0$ มุม 30° และ 45° ซึ่งตามทิศทางการไหล จากการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน พบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° ให้อัตราส่วนเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 3.02-3.28 เท่า ตามด้วยมุม 30° ในช่วง 2.95-3.19 เท่า และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ในช่วง 2.35-2.55 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน พบว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ ในช่วง 8.62-10.57 เท่า ตามด้วยครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ในช่วง 6.96-8.54 เท่า และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ในช่วง 5.33-6.54 เท่า ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบที่สูงกว่าครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เดียวกัน

6.1.3.2 การศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล จากการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน พบว่าการติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° ให้เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงสุดตามด้วยครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ

6.1.3.3 การศึกษาผลของการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของครีบบางรูปตัววี พบว่า ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ให้ค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดของช่วงทดสอบและแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มของเลขเรย์โนลด์ส์ ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ให้ TEF สูงกว่าครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 45° และครีบบางรูปตัววีแยกตัวมุม 45° ตามลำดับ โดยครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีมุม 30° ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้เท่ากับ 1.67 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

6.1.4 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื้อรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่าง จัดวางแนวครีบบางตรงกัน

6.1.4.1 การศึกษาอิทธิพลระยะพิชต์และอิทธิพลความสูงครีบบาง ทำการติดครีบบางต่อเนื้อรูปตัววีในช่วงทดสอบช่องขนานที่ผิวด้านบนและผิวล่างโดยจัดวางแนวครีบบาง-ล่างตรงกัน มีอัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน 2 ค่า ($e/H=0.05$ และ 0.10), อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5), มุม (α) $=30^\circ$, ซึ่งตามทิศทางการไหล พบว่าเมื่อ

PR เพิ่มขึ้น จะทำให้เลขนัสเซลล์และตัวประกอบเสียดทานลดลง โดยที่ $PR=0.5$ มีค่าเลขนัสเซลล์และตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วย $PR=1.0$ และ $PR=1.5$ ตามลำดับ โดยที่ค่า $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังเรียบในช่วง 2.63-2.85, 2.21-2.39 และ 1.86-2.02 เท่า ตามลำดับ และในช่วง 3.41-3.70, 2.93-3.18 และ 2.39-2.59 เท่า ตามลำดับ สำหรับค่า $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.10$ ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนความเสียดทานลดลงตามอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนานที่เพิ่มขึ้น โดยให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังเรียบในช่วง 5.61-6.88, 4.23-5.19 และ 3.25-3.99 เท่า ตามลำดับ สำหรับค่า $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$ และในช่วง 12.68-15.57, 10.29-12.63 และ 7.48-9.18 เท่า ตามลำดับ สำหรับค่า $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.10$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ PR น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าที่ PR มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ e/H เดียวกัน ขณะเดียวกัน e/H ที่มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่าครีที่มี e/H ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน

6.1.4.2 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนและผิวล่างจัดวางแนวครีบตรงกัน พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ให้ค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดและลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ส์ ที่ $PR=0.5, 1.0$ และ 1.5 ให้ค่า TEF ในช่วง 1.38-1.60, 1.27-1.48 และ 1.17-1.36 ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.05$, และในช่วง 1.37-1.59, 1.26-1.46 และ 1.14-1.33 ตามลำดับ สำหรับ $e/H=0.10$ โดยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ที่ $e/H=0.05, PR=0.5$ ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้ เท่ากับ 1.60 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

6.1.5 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว

6.1.5.1 การศึกษาอิทธิพลระยะพิชต์และอิทธิพลความสูงครีบ ทำการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีในช่วงทดสอบช่องขนาน มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 4 ค่า ($PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5) ที่ $e/H=0.05$, ที่ $e/H=0.10$ มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($PR=0.5, 1.0$ และ 1.5) และ $e/H=0.15$ มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน 1 ค่า ($PR=1.0$), ติดครีบบางที่ผิวบนด้านเดียว, มุม 30° , ซึ่งตามทิศทางการไหล, พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มขึ้น ค่าเลขนัสเซลล์และตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลง ที่ PR น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์สูงกว่า PR ที่มากกว่า โดยที่ $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ, ในช่วง 2.55-2.77, 2.49-2.71, 2.10-2.28 และ 1.73-1.88 เท่า ตามลำดับ, ในช่วง 3.22-3.49, 2.73-2.96 และ 2.23-2.42 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.10$ และในช่วง 2.95-3.19 เท่า สำหรับ $PR=1.0, e/H=0.15$ ส่วนค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงตาม PR ที่เพิ่มขึ้น ค่า PR ที่น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า PR ที่มากกว่า โดยที่ $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังเรียบในช่วง 3.32-4.07, 2.77-3.41, 2.25-2.76 และ 1.87-2.29 เท่า ตามลำดับ, ในช่วง 6.88-8.45, 5.28-6.48 และ 3.91-4.79 เท่า ตามลำดับ สำหรับ $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.10$ และในช่วง 6.96-8.54 เท่า สำหรับ $PR=1.0, e/H=0.15$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่

PR น้อยกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าที่ PR ค่ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ e/H เดียวกัน ในขณะที่เดียวกันครีบบางที่มี e/H ที่มากกว่าให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่าครีบบางที่มี e/H ที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ PR เดียวกัน

6.1.5.2 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) ให้ค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดและมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ส์ โดยที่ $PR=0.3, 0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.05$, ให้ค่า TEF ในช่วง $1.59-1.85, 1.66-1.92, 1.50-1.74$ และ $1.31-1.52$ ตามลำดับ, ในช่วง $1.58-1.84, 1.46-1.70$ และ $1.32-1.53$ ตามลำดับ สำหรับ $PR=0.5, 1.0$ และ $1.5, e/H=0.10$ และ ในช่วง $1.44-1.67$ สำหรับ $PR=1.0, e/H=0.15$ โดยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี ที่ $e/H=0.05, PR=0.5$ ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้ เท่ากับ 1.85 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุด

6.1.6 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ปรับระยะพิชต์ตามแนวขวางทิศทางการไหล ที่ผิวบนด้านเดียว

6.1.6.1 การศึกษาอิทธิพลการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีในช่วงทดสอบช่องขนาน ที่ผิวบนด้านเดียว มีอัตราส่วนระยะพิชต์ตามแนวขวางการไหลต่อความสูงช่องขนาน 3 ค่า ($P_T/H=PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0), อัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.05 เท่านั้น, มุมปะทะการไหล 30° , ชี้ตามทิศทางการไหล พบว่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์เพิ่มขึ้นสูงที่สุด ตามด้วย $PR_T=1.0$ และ 0.50 ตามลำดับ โดยให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังเรียบ ในช่วง $2.57-2.79$ เท่า สำหรับ $PR_T=0.67$, ในช่วง $2.49-2.71$ เท่า สำหรับ $PR_T=1.0$ และ ในช่วง $2.41-2.62$ เท่า สำหรับ $PR_T=0.50$ ตามลำดับ อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าที่ $PR_T=1.0$ และ 0.50 ตามลำดับ โดยให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังเรียบในช่วง $2.80-3.44$ เท่า สำหรับ $PR_T=0.67$, ในช่วง $2.77-3.41$ เท่า สำหรับ $PR_T=1.0$ และในช่วง $2.75-3.37$ เท่า สำหรับ $PR_T=0.50$ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการลดระยะพิชต์ตามแนวขวางการไหล (PR_T) ให้แคบลงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนเพียงเล็กน้อย และพบว่าอัตราส่วนเลขนัยสเกลต์มีค่าลดลงเมื่อศึกษาทดลองที่ค่า $PR_T=0.50$

6.1.6.2 การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะความร้อนของการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววี มุม 30° ที่ผิวบนด้านเดียว พบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) มีค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่ำสุดและลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ส์ ที่ $PR_T=0.50, 0.67$ และ 1.0 ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่วง $1.66-1.92, 1.70-1.98$ และ $1.61-1.87$ ตามลำดับ โดยการติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีที่ $PR_T=0.67$ ให้ค่า TEF สูงสุดของการศึกษาในส่วนนี้เท่ากับ 1.98 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ค่าต่ำสุดของช่วงทดสอบ

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบติดครีบบางต่อเนื่องรูปตัววีเป็นงานวิจัยซึ่งได้ทำการศึกษา อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน, อัตราส่วนความสูงครีบบางต่อความสูงช่องขนาน

การติดตั้งและการจัดวางครีบ โดยการศึกษและพัฒนาต่อไปควรจะศึกษาถึงตัวแปรอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบให้ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมากขึ้น เช่น

1. ศึกษาอิทธิพลรูปทรงครีบ ความสูงครีบและครีบที่มีมุมปะทะค่าอื่นๆ
2. ศึกษาอิทธิพลของระยะพิตซ์ตามแนวยาวตามทิศทางการไหลค่าต่างๆ, ครีบในรูปแบบอื่นๆ
3. ศึกษาอิทธิพลของระยะพิตซ์ตามแนวขวางทิศทางการไหลที่ค่าต่างๆ, ครีบในรูปแบบอื่นๆ
4. ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนรูปทรง (Aspect ratio, AR) ค่าอื่นๆ ของท่อทดสอบ
5. ศึกษาอิทธิพลของการใช้ครีบบางรูปทรงอื่น ๆ เช่น รูปคลื่นไซน์ รูปครึ่งวงรี รูปครึ่ง วงกลม และรูปทรงกลมวางขวางทิศทางการไหล เป็นต้น
6. ศึกษาอิทธิพลของการติดครีบในช่องขนานที่มีร่อง (Rib-grooved) แบบต่างๆ
7. ศึกษาถึงขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Han, Glicksman, L.R. and Rohsenow, W.M. "An investigation of heat transfer and friction for rib-roughened surfaces." *Int. J. Heat Mass Transfer*. vol. 21, Aug. 1978. pp. 1143-1156.
- [2] Liou, T.M. and Hwang, J.J. "Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows." *ASME, J. Heat Transfer*. vol. 114, Mar. 1992. pp. 56-64.
- [3] Liou, T.M. and Hwang, J.J. "Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel." *Int. J. Heat Mass Transfer*. vol. 36, Mar. 1993. pp. 931-940.
- [4] Zhang, Y.M., Gu, W.Z. and Han, J.C. "Heat transfer and friction in rectangular channels with ribbed or ribbed-grooved walls." *ASME J. Heat Transfer*. vol. 116, Jun. 1994. pp. 58-65.
- [5] Taslim, M.E., Li, T. and Kercher, D.M. "Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls." *ASME J. Turbomachinery*. vol. 118, Apr. 1996. pp. 20-28.
- [6] Gentry, M.C. and Jacobi, A.M. "Heat transfer enhancement by delta-wing vortex generators on a flat plate: vortex interactions with the boundary layer." *Exp. Thermal Fluid Science*. vol. 14, Apr. 1997. pp. 231-242.
- [7] Olsson, C.O. and Sunden, B. "Experimental study of flow and heat transfer in rib-roughened rectangular channels." *Exp. Thermal Fluid Science*. vol. 16, Apr. 1998. pp. 349-365.
- [8] Ahn, S.W. "The effects of roughness types on friction factors and heat transfer in roughened rectangular duct." *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. vol. 28, Oct. 2001. pp. 933-942.
- [9] Gao, X. and Sunden, B. "Heat transfer and pressure drop measurements in rib-roughened rectangular ducts." *Int. J. Heat Thermal Fluid*. vol. 24, Mar. 2001. pp. 25-34.
- [10] Gao, X. and Sunden, B. "PIV measurement of the flow field in rectangular ducts with 60° parallel, cross and V-shaped ribs." *Exp. Thermal Fluid Science*. vol. 28, Jun. 2004. pp. 639-653.
- [11] Karwa, R. "Studies of Augmented Heat Transfer and Friction in Asymmetrically Heated Rectangular Ducts with Ribs on The heated wall in Transverse, Inclined, V-Continuous and V-Discrete Pattern." *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. vol. 30, Mar. 2003. pp. 241-250.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] Tanda, G. "Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs." *Int. J. Heat Mass Transfer*. vol. 47, Jan. 2004. pp. 229-243.
- [13] Jaurker, A.R., Saini, J.S. and Gandhi, B.K. "Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness." *Solar Energy*. vol. 80, Aug. 2005. pp. 895-907.
- [14] Lu, B. and Jiang, P.X. "Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs." *Exp. Thermal Fluid Science*. vol. 30, Jun. 2005. pp. 513-521.
- [15] ดุสิต บูรณโชคไพศาล. "การถ่ายความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อที่มีการเซาะร่อง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [16] Varun, Saini, R.P. and Singal, S.K. "A review on roughness geometry used in solar air heaters." *Solar Energy*. vol. 81, Nov. 2007. pp. 1340-1350.
- [17] Promvong, P. and Thianpong, C. "Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs." *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. vol. 35, Dec. 2008. pp. 1327-1334.
- [18] สมพล สกุลหลง. "การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องแผ่นขนานโดยใช้ครีบริบตัววี." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.
- [19] ชานนท์ มะลิกุล. "การถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนภายในช่องแผ่นขนานที่มีครีบริบ-ร่อง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.
- [20] Sripattanapipat, S. and Promvong, P. "Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles." *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. vol. 36, Jan. 2009. pp. 32-38.
- [21] วิษณุ อำไพจิตร. "การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแผ่นขนานโดยใช้ครีบริบหยัก." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
- [22] Lee, D.H., Rhee, D.H., Kim, K.M., Cho, H.H. and Moon, H.K. "Detailed measurement of heat/mass transfer with continuous and multiple V-shaped ribs in rectangular channel." *Energy*. vol. 34, Nov. 2009. pp. 1770-1778.
- [23] สมบัติ ทำนา. "การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นกั้นวางเอียง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 2552.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [24] Promvonge, P., Chompookham, T., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. "Enhanced heat transfer in a triangular ribbed channel with longitudinal vortex generators." *Energy Conversion and Management*. vol. 51, Jun. 2010. pp. 1242–1249.
- [25] Chompookham, T., Thianpong, C., Kwankaomeng, S. and Promvonge, P. "Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channel using winglet vortex generators." *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. vol. 37, Feb. 2010. pp. 163-169.
- [26] จิตกร กนกนัยการ. "การศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนแบบช่องแผ่นขนานที่มีการติดตั้งครีบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมผืนผ้ารูปตัววี." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2553.
- [27] Sripattanapipat, S. "Laminar flow and heat transfer characteristics in a channel with triangular wavy baffle" Doctor of Engineering thesis in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2010.
- [28] Promvonge, P., Sripattanapipat, S., Tamna S., Kwankaomeng S. and Thianpong C. "Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45° inclined baffles." *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. vol. 37, Feb. 2010. pp. 170-177.
- [29] Sriomreun, P., Thianpong, C. and Promvonge, P. "Experimental and numerical study on heat transfer enhancement in a channel with Z-shaped baffles." *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. vol. 39, Aug. 2012. pp. 945-952.
- [30] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C. and Promvonge, P. "Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators." *Solar Energy*. vol. 110, Dec. 2014. pp. 720-735.
- [31] พงษ์เจต พรหมวงศ์. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร : วีเจ พรีนติ้ง. 2542.
- [32] Ozisik, M.N. *Heat Transfer: A Basic Approach*. New York : McGraw-Hill. 1985.
- [33] Holman, J.P. *Heat Transfer*. New York : McGraw-Hill. 1990.
- [34] Munson, B.R., Young, D.F. and Okiishi, T. H. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. New York : John Wiley & Sons. 1990.
- [35] Webb, R. L. *Principles of Enhanced Heat Transfer*. New York, USA : John-Wiley & Sons. 1992.
- [36] Incropera, Frank, P. and David, P.D. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York : John Wiley & Sons. 1996.

- [37] Cengel, Y.A. *Heat Transfer: A Practical Approach*. New York : McGraw-Hill. 1998.
- [38] Fox, R.W. and Alan, T.M. *Introduction to Fluid Mechanics*. New York : Wiley. 1998.

ภาคผนวก

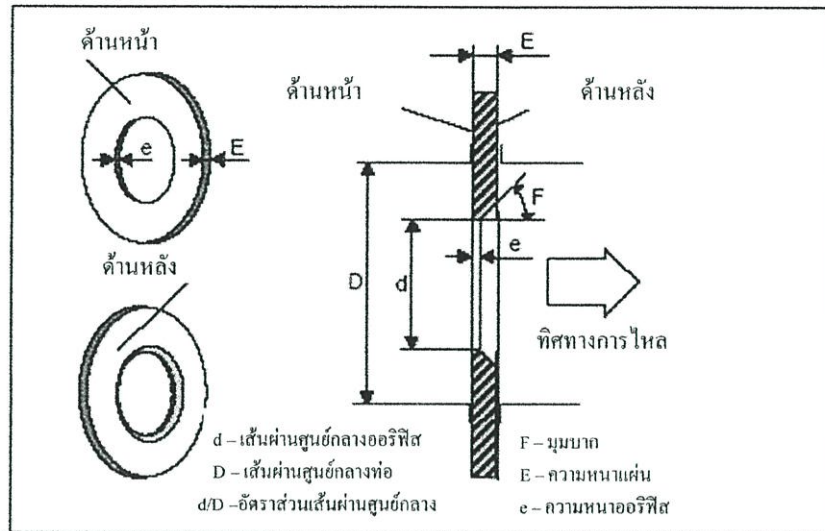
ภาคผนวก ก.
คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ
ที่ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

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

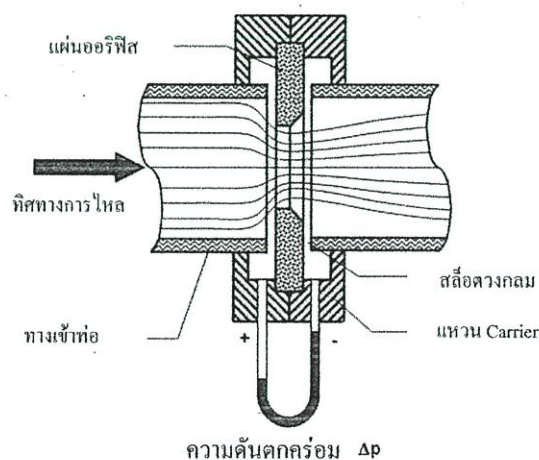
ภาคผนวก ข.
ออริฟิส

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

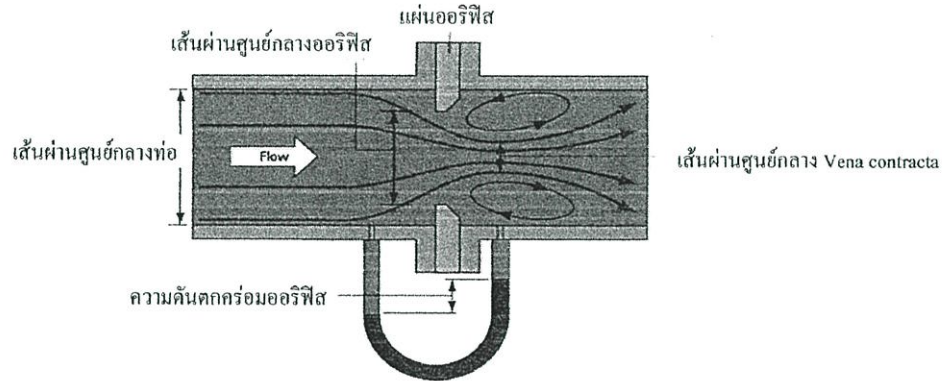
แผ่นออริฟิสเป็นแผ่นบางๆ ที่ถูกจับยึดระหว่างขอบของท่อ เนื่องจากมีรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่าย ๆ ดังนั้นจึงมีราคาถูก และง่ายในการติดตั้ง หรือการย้ายตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามขอบของแผ่นอาจจะมีการสึกกร่อนได้ อันเนื่องจากการชนของอนุภาคเล็ก ๆ ที่กระจายอยู่ในของไหล ข้อเสียอีกประการ คือ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการขยายของด้านล่างของกระแส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



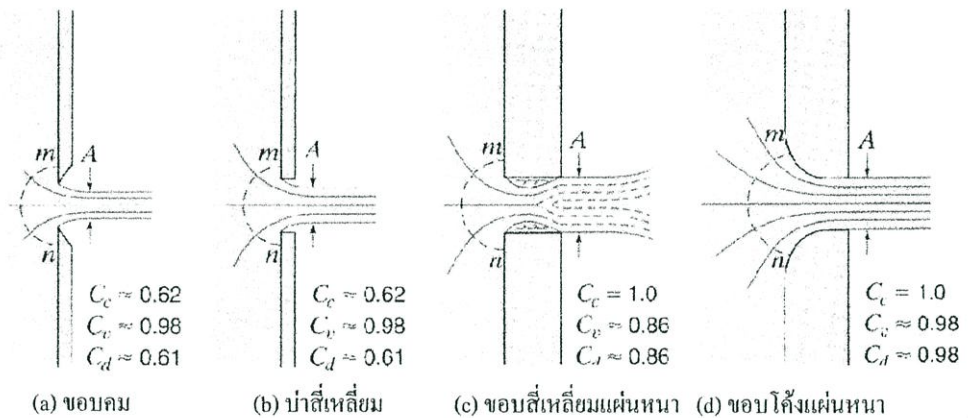
รูปที่ ข-2 โครงสร้างเชิงเรขาคณิตและจุดวัดความดันของออริฟิส

สำหรับการวัดอัตราการไหลของของไหลภายในท่อ และจัดได้ว่าออริฟิสเป็นเครื่องมือวัดที่เกิดขบวนการไหลของพื้นที่หน้าตัด ให้ของไหลไหลผ่านออริฟิสมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังแสดงในรูปที่ ข-3 ดังนั้นเมื่อนำออริฟิสไปติดตั้งกับท่อ ซึ่งมีของไหลไหลผ่านจะทำให้เกิดความดันตก

คร่อมออริฟิส ซึ่งความดันตกคร่อมนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการไหล กล่าวคือ ถ้าอัตราการไหลมีค่าสูง ความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าสูง และถ้าอัตราการไหลมีค่าต่ำ ความดันตกคร่อมออริฟิสก็จะมีค่าต่ำ โดยทั่วไปออริฟิสจะถูกนำไปใช้ในการหาอัตราการไหลที่สถานะ Steady state เท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้วัดอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Dynamic Response)



รูปที่ ข-3 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice)



รูปที่ ข-4 ออริฟิสแบบต่าง ๆ [36]

ในบรรดาเครื่องมือวัดอัตราการไหลทั้งหลาย ออริฟิสถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ดังนั้นการทดลองชุดนี้จึงได้มีการนำเอาการวัดอัตราการไหลแบบออริฟิสมาใช้ออริฟิสมาตรฐานที่มีขอบคม ดังแสดงในรูปที่ ข-4 (a) หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมดังรูปที่ ข-4 (b) นั้นจะสัมพันธ์ลำน้ำที่ไหลผ่านในลักษณะที่เป็นการสัมพันธ์แบบเส้น ส่วนออริฟิสดังรูปที่ ข-4 (c) และ ข-4 (d) นั้นไม่ใช่เป็นออริฟิสมาตรฐาน ทั้งนี้เพราะลำน้ำที่ไหลผ่านรูออริฟิสนั้น ถูกกระทบจากความหนาของแผ่นวัสดุ กับความหยาบของผิว และรัศมีของความโค้ง ดังนั้นจึงต้องมีการสอบเทียบเพื่อความถูกต้อง

ข้อดีของออริฟิส คือ มีราคาต่ำกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ที่อาศัยหลักการวัดเดียวกัน และสะดวกในการสร้างเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งมีข้อมูลของการทำวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมในการวัดของไหล ที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันอย่างมากมาย ของไหลเมื่อไหลผ่าน square-edged orifice ซึ่งเป็นออริฟิสที่นำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ จะมีทิศทางการไหลเป็นไปดังรูป สมมุติว่าของไหลก่อนเข้าปะทะกับออริฟิส มีความเร็วคงที่ตลอดหน้าตัดของท่อ (หน้าตัดวงกลม) เท่ากับ V_1 เมตรต่อวินาที ของไหลที่บริเวณด้านหลังของออริฟิส จะมีลักษณะเป็นลำของไหล ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำของไหล

ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ $D/2$ เมตร ณ บริเวณจุดวัดความดันที่ 2 ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดของการไหลน้อยที่สุด (Vena Contracta) ของ Jet ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Jet จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ 2 ไปแล้ว จุดที่ 2 หรือเรียกว่าจุด Vena Contracta ถือได้ว่าเป็นจุดที่ของไหลที่มีความเร็วเฉลี่ยสูงสุด หรือมีความดันสถิตย์ต่ำสุด (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)

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

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายประวัติ สุดแก้ว
 วัน เดือน ปีเกิด 15 มิถุนายน 2520
 ที่อยู่ 24 หมู่ 10 ตำบลคอโค อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 32000
 ประวัติการศึกษา 2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์วิจัย/สาขาที่ชำนาญ : Applied Heat Transfer, Thermo-fluid
 หัวข้อปริญญาโท (ปริญญาตรี)

ชื่อไทย : การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ชื่ออังกฤษ : Performance enhancement of a heat exchanger with ribs

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์

ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

งานตีพิมพ์ผลงานวิจัย

1. Soodkaew, P., Skullong, S., Promvong, P. and Pairok, W. "Heat Transfer Enhancement in a Solar Air Heater Channel with Discrete V-Baffles" Advanced Materials Research. 931-932, May 2014. pp.1193-1197.

งานประชุมวิชาการระดับชาติ

1. ประวัติ สุดแก้ว, พงษ์เจต พรหมวงศ์, วทีญญ ไพโรจน์ และ สมพล สกุลหลง, "การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แผ่นกั้นแยกตัวรูปตัววี" การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ, ครั้งที่ 12, มีนาคม 2556. หน้า 195-201.

2. ประวัติ สุดแก้ว, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ สมพล สกุลหลง, "การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นกั้นรูปตัววี" การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ, ครั้งที่ 14, มีนาคม 2558. หน้า 167-172.

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2546-ปัจจุบัน วิศวกร ระบบรถไฟฟ้าและรถซ่อมบำรุง บริษัทรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

ความรับผิดชอบ

- งานวิศวกรรมและซ่อมบำรุงระบบรถไฟฟ้า โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน (หัวลำโพง-บางซื่อ) ฝ่ายวิศวกรรมและซ่อมบำรุงระบบรถไฟฟ้า
- งานควบคุมผู้รับเหมา ออกแบบ จัดหา ติดตั้ง ทดสอบ และซ่อมบำรุง ระบบรถไฟฟ้าและรถซ่อมบำรุง โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (บางใหญ่-บางซื่อ)