

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมใน
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบและท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

NUMERICAL ANALYSIS ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN FIN-
AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH V-WINGLETS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-030-030

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมใน
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบและท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

NUMERICAL ANALYSIS ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN FIN-
AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH V-WINGLETS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-030-030
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL ANALYSIS ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN FIN-
AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH V-WINGLETS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE MASTER DEGREE OF ENGINEERING
IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-030-030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม
ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบและท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

Thesis Title Numerical Analysis on Heat Transfer and Pressure Drop in Fin-and-tube Heat
Exchanger with V-winglets

นักศึกษา นายเกียรติวัชรศ จันทราวिकास






รหัสประจำตัว 56601152

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

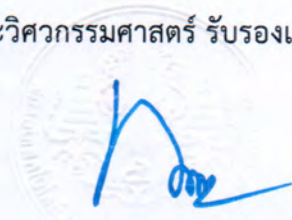
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-030-030

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สมชาย	ศรีพัฒนะพิพัฒน์	
ผศ.ดร.วิฑาดา	เจษฎารัตนชัย	
ดร.มธุรส	สุชาติวัฒน์	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2561 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 5 ชั้น 3 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 24 เมษายน พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบบและท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

นักศึกษา

นายเกียรติวีชริศ จันทราวิภาส

รหัสประจำตัว

56601152

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2561

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมประเภท fin-and-oval-tube และ fin-and-flat-tube ที่มีการติดตั้งปีกสำหรับสร้างการไหลแบบปั่นป่วน (winglet vortex generator, WVG) ซึ่งสำหรับ fin oval-tube มีทั้งหมด 2 รูปแบบหลัก ได้แก่ การติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA V-winglet) และติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA V-winglet) โดยแต่ละรูปแบบหลักประกอบด้วยรูปแบบย่อยจำนวน 3 รูปแบบ ปีกรูปตัววี (V-winglet), ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย (extended V-winglet) และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ (extended discrete V-winglet) ส่วนกรณี fin flat-tube ทำการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว และติดตั้งแบบ 9 แถว โดยประกอบด้วยรูปแบบย่อยจำนวน 3 รูปแบบ (ปีกรูปตัววี, ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และปีกรูปตัววีติดตั้งบนผิวท่อ, V-winglet on tube surface) ซึ่งทำการวิเคราะห์ที่ค่ามุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา (หรือมุมระหว่างปีกมีค่า 60 องศา) และความสูงปีกเป็น 25, 50, 75 และ 100% ของความสูงระหว่างครีบบ (channel height, H) (หรือคิดค่าความสูงปีกเป็น 0.25H, 0.5H, 0.75H และ H) ในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) 500 ถึง 2,000 โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล (computation fluid dynamics, CFD) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่าปีกรูปตัววีส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น ซึ่งสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท fin oval-tube ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการติดตั้งชุดปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่ความสูงเท่ากับ 0.5H ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดโดยค่าอยู่ในช่วง 1.28 ถึง 1.39 ส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท fin flat-tube กรณีติดตั้งปีกรูปตัววีบนผิวท่อ ที่ความสูง 0.5H จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดอยู่ในช่วง 1.27 ถึง 1.49 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Re

Thesis Title	NUMERICAL ANALYSIS ON HEAT TRASFER AND PRESSURE DROP IN FIN-AND-TUBE HEAT EXCHANGER WITH V-WINGLETS
Student	Mr. Kietwatcharit Jantravipas
Student ID.	56601152
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The purpose of the research is to analyze flow behaviors and parameters that yield a significant effect on heat transfer and pressure drop in a fin-and-oval/flat-tube heat exchanger. The traditional compact heat exchanger is modified by attaching V-winglet vortex generator. The scope of this work is focused on winglet arrangements (3, 6 rows of V-winglet arrays for the fin oval-tube and 6, 9 rows of V-winglet arrays for the fin-and-flat-tube heat exchangers). The attack angle of V-winglet is kept constant at 30-degree with its height in a range from 25, 50, 75 and 100% of channel height, H (or = 0.25H, 0.5H, 0.75H and H) while Reynolds number, Re, is ranging from 500 to 2,000. The numerical results using a CFD simulation method showed that the V-winglet provides a significant effect on heat transfer improvement and pressure drop penalty. The maximum thermal enhancement factor of the fin and oval-tube type is found for the case of V-winglet arrays with 6 rows and height of 0.5H and is in the range of 1.28 - 1.39. In addition, for the fin flat-tube case the V-winglet array at 9 rows and 0.5H placed on the tube surface gives the maximum thermal enhancement factor in the range of 1.27 – 1.49 depending on Re values.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญาานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ดร. วิฑาดา เจษฎวารัตนชัย, คุณพิทักษ์ พร้อมไธสง และคุณกฤษณา แซ่ตัน ช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้วิจัยเสมอมา

และสุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เกียรติวัชรวิศ จันทราวิภาส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ III อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XVII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	3
1.6 คำโครงการวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
2.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วิธีการติดตั้งแผ่นกัน.....	4
2.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบริบบแบบต่างๆ.....	5
2.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบริบตัววี.....	14
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
3.1 สมการควบคุมของการไหลและการถ่ายเทความร้อน.....	17
3.1.1 การอนุรักษ์มวลในปัญหา 3 มิติ.....	19
3.1.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอนุภาคของไหลในเทอมชิ้นส่วนย่อยของไหล.....	21
3.1.3 สมการโมเมนตัมแบบ 3 มิติ.....	22
3.1.4 สมการพลังงานในระบบ 3 มิติ.....	25
3.2 การไหลของของไหล.....	25
3.2.1 สภาวะการไหล.....	25
3.2.2 ความเร็วเฉลี่ย (mean velocity).....	26
3.2.3 รูปร่างของความเร็วของของไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว.....	27
3.2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทานในการไหล แบบปรับตัวเต็มที่แล้ว.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การถ่ายเทความร้อน.....	30
3.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย.....	31
3.3.2 สภาพการปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed conditions).....	32
3.4 สหพันธ์การพาความร้อนสำหรับท่อที่ไม่กลม.....	34
3.5 สมรรถนะเชิงความร้อน (thermal performance).....	35
บทที่ 4 การกำหนดปัญหาและตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง.....	36
4.1 สมมติฐานและสมการที่เกี่ยวข้อง.....	36
4.2 โครงสร้างแบบจำลองและเงื่อนไขที่ขอบ.....	37
4.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	39
บทที่ 5 โครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี.....	41
5.1 อิทธิพลของปีกรูปแบบต่างๆ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Oval fin tube.....	41
5.1.1 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA V-Winglet).....	41
5.1.1.1 ปีกเล็กรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA V-Winglet).....	41
5.1.1.2 ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA Extended V-Winglet).....	47
5.1.1.3 ครีบริบรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA Extended discrete V-Winglet).....	52
5.1.2 ชุดครีบริบรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA V-Winglet).....	58
5.1.2.1 ชุดครีบริบรูปตัววีต่อตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA V-Winglet).....	58
5.1.2.2 ครีบริบรูปตัววีติดแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA Extended V-Winglet).....	63
5.1.2.3 ครีบริบรูปตัววีติดแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ ต่อเนื่อง 6 แถว (6EA Extended discrete V-Winglet).....	69
5.2 อิทธิพลของปีกรูปแบบต่างๆ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Flat fin tube.....	74
5.2.1 ปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA Rectangular Winglet).....	74
5.2.1.1 ปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA Rectangular Winglet).....	74
5.2.2 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA V-Winglet).....	81
5.2.2.1 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA V-Winglet).....	81
5.2.2.2 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว แบบกึ่งกลาง (6EA Centered V-Winglet).....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ Vong อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2.3 ปีกูรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว แบบกึ่งกลาง (9EA Centered V-Winglet).....	90
5.2.2.4 ปีกูรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ต่อขยาย (9EA Centered Extended V-Winglet).....	95
5.2.2.5 ปีกูรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวติดตั้งบนผิวท่อ (Tube surfaced V-Winglet).....	100
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	105
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	105
6.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube.....	105
6.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Flat fin tube.....	109
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบชิ้นงานและพัฒนางานวิจัย.....	114
บรรณานุกรม.....	115
ภาคผนวก.....	119
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	120
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	122
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่า Nu_D และ f สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อพื้นที่ หน้าตัดต่างๆ กัน Incropera et al. (1996).....	35
ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VII อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ครีบริบรูปตัววี สำหรับงานของ Momin et al. (2002).....	7
2.2 ครีบริบรูปลิ้ม สำหรับงานของ Bhagoria et al. (2002).....	7
2.3 รูปแบบครีบริบ จากงานวิจัยของ Karwa (2003).....	8
2.4 รูปแบบครีบริบที่มีร่อง จากงานวิจัยของ Jaurker et al. (2006).....	10
2.5 รูปแบบการจัดวางครีบริบ งานวิจัยของ Karmare and Tikekar (2007).....	10
2.6 รูปแบบการจัดวางครีบริบ งานวิจัยของ Aharwal et al. (2008).....	11
2.7 รูปร่างและลักษณะการจัดเรียงครีบริบที่ใช้ในงานของ Gupta et al. (2008).....	12
2.8 รูปแบบการจัดวางครีบริบ งานวิจัยของ Bopche and Tandale (2009).....	13
2.9 รูปทรงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้ง (ก) แผ่นกั้นตัววีซี่ตามกระแสการไหลและ (ข) แผ่นกั้นวางเอียง และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิตการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ.....	16
3.1 ชิ้นส่วนของของไหลสำหรับกฎการอนุรักษ์.....	18
3.2 การไหลของมวลเข้าและออกชิ้นส่วนของไหล.....	20
3.3 องค์ประกอบของความเค้นบนผิวหน้าทั้งสามทิศทาง ของชิ้นส่วนของไหล.....	23
3.4 องค์ประกอบของความเค้นในทิศทาง x	23
3.5 การก่อตัวของบาวนด์ดาเลียเรเยอร์ของการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม.....	25
3.6 สมดุลแรงบนอิลิเมนต์ dx สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ก่อตัวเต็มทีในท่อกลม.....	27
3.7 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มทีแล้วในท่อกลม.....	30
3.8 การก่อตัวของบาวนด์ดาเลียเรเยอร์ทางความร้อนในท่อกลม.....	30
3.9 การเปลี่ยนแปลง h ตามแนวแกน สำหรับการไหลภายในท่อ.....	33
4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube	37
4.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Flat fin tube	38
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของเลขนัสเซล	39
4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าความดันตกคร่อม.....	40
5.1 แบบจำลองทางกายภาพและกริดของการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	41
5.2 พฤติกรรมการไหลของอากาศ สำหรับ (ก) ครีบริบเรียบและครีบริบที่มีการติดปีกรูปตัววีความสูง (ข) 50% และ (ค) 100% ของความสูงระหว่างครีบริบ.....	42
5.3 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบริบชิ้นล่างของ (ก) ครีบริบเรียบ ครีบริบที่มีการติดปีก รูปตัววีที่มีความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบริบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 การกระจายตัวของเลขนับเซลล์บนผนังท่อของ (ก) ครีบเรียบ ครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มี ความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500.....	44
5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดทางออกของครีบเรียบ (ก) ครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี ที่มีความสูง 25% (ข) 50% (ค) 75% (ง) และ 100% (จ) ของความสูงระหว่างครีบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500.....	44
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนับเซลล์และเลขเรย์โนลด์.....	45
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์.....	46
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์.....	46
5.9 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	47
5.10 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อ ขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	49
5.11 ภาพตัดกระแสหมุนวน ของครีบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีและ(ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	48
5.12 การกระจายตัวของเลขนับเซลล์บนผิวครีบชั้นล่างของครีบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	49
5.13 การกระจายตัวของเลขนับเซลล์บนผิวครีบชั้นล่างของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีก รูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	49
5.14 การกระจายตัวของเลขนับเซลล์บนผิวท่อ ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววี แบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	50
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนับเซลล์กับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี และปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	50
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติด ปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	51
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี และปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	52
5.18 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	53
5.19 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 ภาพตัดกระแสมุมวน ของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	54
5.21 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวครีบชั้นล่างของครีบบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววี แบบต่อขยาย และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	55
5.22 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวครีบชั้นล่างของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ ต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	55
5.23 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวท่อ ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว.....	56
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูป ตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูง ปีกต่างๆ.....	56
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วน ความสูงปีกต่างๆ.....	57
5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตรา ส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	58
5.27 พฤติกรรมการไหลของอากาศของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถว และ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	59
5.28 ภาพตัดกระแสมุมวนของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	59
5.29 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวครีบชั้นล่างของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	60
5.30 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวครีบชั้นล่างของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้ง แบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	61
5.31 การกระจายตัวของเลขน้สเซลบนผิวท่อ ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถว และปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	61
5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติด ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีก ต่างๆ.....	62
5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีก รูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูง ปีกต่างๆ.....	63
5.35 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีปที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	64
5.36 ภาพตัดกระแสมุมวน ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (ก) และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (ข).....	65
5.37 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีปชั้นล่างของครีปที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	65
5.38 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีปชั้นล่างของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้ง แบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	66
5.39 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท่อ ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ ต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	66
5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีก รูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	67
5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	68
5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีก รูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่ อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	69
5.43 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีปที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีต่อขยายติดตั้งแบบ ต่อเนื่อง และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	70
5.44 ภาพตัดกระแสมุมวน ของครีปที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.45 การกระจายตัวของเลขน้สเชิลบนผิวครีบบนขั้วกลางของครีบบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่องและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	71
5.46 การกระจายตัวของเลขน้สเชิลบนผิวครีบบนขั้วกลางของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	71
5.47 การกระจายตัวของเลขน้สเชิลบนผิวท่อบนขั้วกลางของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	71
5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเชิลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	72
5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว.....	73
5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	74
5.51 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว.....	75
5.52 รูปแบบการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม (ก) ปีกติดตั้งบนครีบบนขั้วกลางทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนขั้วกลาง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบ.....	75
5.53 พฤติกรรมการไหลของอากาศ สำหรับครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม (ก) ปีกติดตั้งบนครีบบนขั้วกลางทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนขั้วกลาง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบ.....	76
5.54 ภาพตัดกระแสหมุนวน (ก) ปีกติดตั้งบนครีบบนขั้วกลางทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนขั้วกลาง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบ.....	77
5.55 กระแสหมุนวนในแต่ละหน้าตัดของครีบบที่มีการติดตั้งปีกแบบ inline ที่ความสูงปีก (ก) 25% (ข) 50% และ (ค) 75%.....	77
5.56 การกระจายตัวของเลขน้สเชิล บนผิวครีบบนขั้วกลางความสูงปีก 50% (ก) ปีกติดตั้งบนครีบบนขั้วกลางทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนขั้วกลาง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบ.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.57 การกระจายตัวของเลขน้สเซล บนผิวครึ่งซึ้นบนความสูงปีก 50% (ก) ปีกติดตั้งบนครึ่งล่างทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครึ่ง.....	79
5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	79
5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	80
5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	81
5.61 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว.....	82
5.62 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสมุมนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว.....	82
5.63 การกระจายตัวของเลขน้สเซล บนผิวครึ่งซึ้นล่างและผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว.....	83
5.64 การกระจายตัวของเลขน้สเซล บนผิวครึ่ง (ก) ซึ้นล่าง (ข) ซึ้นบน และ (ค) ผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว.....	83
5.65 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี ด้านล่างผิวครึ่ง แบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	84
5.66 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี แบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	85
5.67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครึ่งที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	85
5.68 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว แบบกึ่งกลาง.....	86
5.69 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสมุมนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง.....	87
5.70 การกระจายตัวของเลขน้สเซล บนผิวครึ่งซึ้นล่างและผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง.....	87
5.71 การกระจายตัวของเลขน้สเซล บนผิวครึ่ง (ก) ซึ้นล่าง (ข) ซึ้นบน และ (ค) ผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง.....	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.72 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีก รูปตัววีแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	88
5.73 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปตัววี แบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	89
5.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	90
5.75 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว.....	90
5.76 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบกึ่งกลาง.....	91
5.77 การกระจายตัวของเลขนัยสเซล บนผิวครีปชิ้นล่างและผิวท่อนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบกึ่งกลาง.....	92
5.78 การกระจายตัวของเลขนัยสเซล บนผิวครีป (ก) ชิ้นล่าง (ข) ชิ้นบน และ (ค) ผิวท่อน ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบกึ่งกลาง.....	92
5.79 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	93
5.80 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	94
5.81 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติด ปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	95
5.82 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ต่อขยาย.....	95
5.83 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	96
5.84 การกระจายตัวของเลขนัยสเซล บนผิวครีปชิ้นล่างและผิวท่อนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	97
5.85 การกระจายตัวของเลขนัยสเซล บนผิวครีป (ก) ชิ้นล่าง (ข) ชิ้นบน และ (ค) ผิวท่อน ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	97
5.86 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัยสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	98
5.87 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้ง ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XIV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.88 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้ง ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย.....	100
5.89 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ติดตั้งบนผิวท่อ.....	100
5.90 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนผิวท่อ.....	101
5.91 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบนชิ้นล่างและผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนผิวท่อ.....	101
5.92 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบน (ก) ชิ้นล่าง (ข) ชิ้นบน และ (ค) ผิวท่อ ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนผิวท่อ.....	102
5.93 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบนที่มีการติดปีกรูป ตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบบน และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	102
5.94 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบนที่มี การติดปีกรูปตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบบน และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	103
5.95 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบนที่มีการติด ปีกรูปตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบบน และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ.....	104
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	106
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	106
6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	107
6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	108
6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	109
6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	109
6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบบน Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	111
6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	112
6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	112
6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	113
6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ.....	114



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_c	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
A_s	พื้นที่ผิวท่อทั้งหมด, m^2
BR	อัตราส่วนการบล็อกการไหล
b	ความสูงแผ่นกั้น, m
C	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, $J/kg \cdot K$
C_f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, $J/kg \cdot K$
C_v	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่, $J/kg \cdot K$
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์, m
E	พลังงาน, W
f	ตัวประกอบเสียดทาน
f_o	ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2
H	ความสูงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m
h	เอนทาลปี, J/kg ; สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
i	พลังงานความร้อนภายใน, J/kg
k	ค่าการนำความร้อน, $W/m \cdot K$
L	ความยาวของท่อ, m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Nu	เลขนัสเซลท์
Nu_o	เลขนัสเซลท์ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
P	เส้นรอบรูป, m
Pr	เลขพรานด์เทิล
p	ความดัน, N/m^2
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ, W/m^2
R	ค่าคงที่ของแก๊ส, $J/kg \cdot K$
Re	เลขเรย์โนลด์ส์
r	รัศมีท่อ, m
S	เทอมของการสร้างหรือสูญหาย
s	อัตราการเสียวรูปร่างเชิงเส้นของชิ้นส่วนของไหล

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

T	อุณหภูมิ, K
T_m	อุณหภูมิเฉลี่ย, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
t	เวลา, s
\mathbf{u}	เวกเตอร์ความเร็ว, m/s
u	ความเร็วในแนวแกน x , m/s
u_m	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
v	ความเร็วในแนวแกน y , m/s ; ปริมาตรจำเพาะ, m^3/kg
w	ความเร็วในแนวแกน z , m/s
$X_{fd,h}$	ความยาวช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวของการไหล, m
$X_{fd,t}$	ความยาวช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวของความร้อน, m
Φ	ฟังก์ชันการสลายตัว
α	ค่าการฟุ้งกระจายของความร้อน, m^2/s ; มุมปะทะของแผ่นกั้นกับกระแสการไหล, degree
ϕ	ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อ หน่วยมวล
η	สมรรถนะเชิงความร้อน
λ	ความหนืดที่สอง
μ	ความหนืดสัมบูรณ์, $N \cdot s/m^2$
Γ	การแพร่ทางความร้อน
ρ	ความหนาแน่น, kg/m^3
τ	ความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืด, N/m^2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ทำให้ความต้องการด้านพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น กลับสวนทางกับปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ที่มีนับวันจะยังมีแต่ลดลง นอกจากนี้จะใช้วิธีการหาพลังงานทดแทนแล้ว การประยุกต์และพัฒนาอุปกรณ์รวมถึงวิธีใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นทางเลือกที่พึงกระทำ อุตสาหกรรมขนาดใหญ่รวมถึงขนาดย่อม การพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถใช้อุปกรณ์ดังกล่าวได้อย่างเต็มความสามารถจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างมาก สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายประเภท ซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปในเชิงวิศวกรรมตัวอย่างเช่น หม้อน้ำรถยนต์ คอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศ ระบบหล่อเย็นน้ำมันเครื่องในรถยนต์ ฯลฯ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปส่วนใหญ่ใช้หลักการพาโดยที่เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการพา แบ่งออกเป็นสองกลุ่มซึ่งประกอบด้วย 1) Passive technique เป็นวิธีที่ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และ 2) Active technique เป็นวิธีที่ต้องการพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน สำหรับวิธี Passive technique นั้นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม อาศัยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่มีการเพิ่มขึ้นงานเข้าไปหรือมีการปรับปรุงพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ เช่น ติดตั้งแผ่นกั้น (baffle) ครีบริบทรงต่างๆ (ribs) และใช้ปีกเล็ก (winglet) เป็นต้น สำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการเพิ่มขึ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน อีกทั้งยังเป็นตัวสร้างการไหลให้มีลักษณะแบบปั่นป่วน แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นงานหรือการปรับปรุงพื้นผิวนั้น ยังมีส่วนเพิ่มค่าความดันตกคร่อมให้กับระบบอีกด้วย ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับการสูญเสียพลังงานมาก

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่าน มุ่งให้ความสนใจเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการไหลภายในท่อเมื่อทำการติดตั้งครีบริบ, แผ่นกั้น เป็นจำนวนมาก แต่สำหรับพฤติกรรมการไหลของกระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านครีบริบตัววีในการวิจัยฉบับนี้ เป็นการวิเคราะห์อิทธิพลเมื่อครีบริบตัววีถูกติดตั้งในรูปแบบต่างๆ บนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมประเภท Oval fin tube และ Flat fin tube ซึ่งมีความซับซ้อนและเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากการเพิ่มความดันตกคร่อมจะมีผลให้ของไหลเกิดการปั่นป่วนซึ่งสามารถช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับปรับปรุงพื้นผิวยุติแบบอื่นๆ

งานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาและพัฒนาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลที่มีการติดตั้งครีบริบบนพื้นผิวให้ความร้อน โดยมีทั้งการตรวจสอบด้วยผลการทดลอง การคำนวณเชิงตัวเลขหรือใช้ทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งต่างก็มีจุดมุ่งหมายคล้ายกันคือการทำทำความเข้าใจถึงกลไกการไหลจากสนามการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน และความดันตกคร่อมซึ่งได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาศึกษาปัญหาการไหลและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อนดังกล่าว วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนี้มีข้อดีอยู่หลายประการ ได้แก่ สามารถเห็นกลไกที่ซับซ้อนของการไหลซึ่งวิธีการทดลองนั้นอาจจะศึกษาได้ยากนอกจากนี้ในการทดลองยังมีข้อจำกัดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง หากค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามีมากมายหลายค่าซึ่งถ้ามีความจำเป็นต้องศึกษาให้ครอบคลุมรอบด้านด้วยแล้ว การใช้วิธีการทดลองจากชุดอุปกรณ์จริงจะส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ค่าอุปกรณ์ ค่าวัสดุ และค่าเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งถ้าหากต้องการความละเอียดมาก เครื่องมือที่ใช้ก็อาจมีราคาแพง และรวมทั้งมีการสิ้นเปลืองพลังงานและแรงงานที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาศึกษาปัญหาการไหลดังกล่าว ก็จะเป็นการช่วยแก้ปัญหที่เกิดขึ้นจากการทดลองได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาพฤติกรรมการไหลและตัวแปรที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Oval fin tube และ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีในลักษณะต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม FLUENT 6.3.26 สำหรับจำลองและวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงกลไกของการไหลและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักประกอบด้วย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อมและพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมประเภท Oval fin tube และ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลรูปแบบปีกรูปตัววี และการติดตั้งในลักษณะต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหล, การถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม ที่ถูกติดตั้งด้วยปีกรูปตัววี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method)
- 1.3.2 ทำการคำนวณในแบบจำลองการไหล 3 มิติ ที่มีการไหลแบบราบเรียบ เป็นการไหลแบบคงตัวและไม่อัดตัว ในช่วงเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 500 ถึง 2,000 และมีอากาศเป็นของไหลสำหรับการทดสอบ
- 1.3.3 พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)
- 1.3.4 การคำนวณของความเร็วและความดันใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE
- 1.3.5 ทำการวิจัยเฉพาะส่วนหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยกำหนดผิวครีبد้านบนและล่าง รวมถึงผนังท่อ เป็นผิวที่มีสภาวะอุณหภูมิผิวคงที่เท่ากับ 340 K
- 1.3.6 ปีกรูปตัววีที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นกั้นแบบบาง ไม่สามารถนำความร้อนได้ ถูกติดตั้งที่ด้านบน และล่างของครีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.7 หาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายในท่อเกี่ยวข้องซึ่งนำไปสู่การใช้งานจริง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 รวบรวมข้อมูล ศึกษาคณะกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของการไหลผ่านครีบริบบแบบต่างๆ
- 1.4.2 กำหนดสมมติฐานและลักษณะรูปร่าง ตำแหน่งการติดตั้งของปีกและสร้างแบบจำลองพร้อมกับเลือกขนาดและจำนวนกริดที่เหมาะสม
- 1.4.3 ตรวจสอบผลที่ได้กับการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อยืนยันความถูกต้อง
- 1.4.4 ทำการคำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลสามมิติ ที่ต้องการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสมมติฐานและขอบเขตของการทดลอง
- 1.4.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ นำข้อมูลจากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ผลและแสดงค่าในรูปพารามิเตอร์ไร้หน่วย
- 1.4.6 สรุปผลการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อน
- 1.5.2 เพื่อการพัฒนาและออกแบบการติดตั้งปีกรูปตัววี ให้เกิดประสิทธิภาพและมีความเหมาะสม ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม
- 1.5.3 เป็นองค์ความรู้สำหรับต่อยอดและเป็นแนวทางเพื่อการวิจัยด้านการเพิ่มสมรรถนะสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Oval fin tube และ Flat fin tube ต่อไป อีกทั้งช่วยลดพลังงานและการใช้วัสดุในการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเสมือนจริง

1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท โดยที่ในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงที่มาของงานวิจัย รวมถึงความสำคัญ วัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงวรรณกรรมปริทรรศน์ ซึ่งนำเสนอเกี่ยวกับผลงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาและเผยแพร่มาแล้ว ในส่วนถัดมา บทที่ 3 และ 4 ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง, การกำหนดปัญหาและการตรวจสอบความถูกต้อง บทที่ 5 จะนำเสนอการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อน รวมถึงค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ถูกติดตั้งปีกรูปตัววีลักษณะต่างๆ

และท้ายที่สุดในบทที่ 6 จะทำการสรุปผลการศึกษา ซึ่งจะกล่าวสรุปถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ไปประยุกต์ใช้กับงานทางอุตสาหกรรมและงานวิจัยอื่นๆต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

บทนี้ทำการกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นผิวให้ความร้อน โดยมีการปรับปรุงพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจากผลงานของนักวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาทั้งการทดลอง การคำนวณเชิงตัวเลข หรือการใช้ทั้งสองวิธีวิเคราะห์ร่วมกัน โดยเนื้อหาจะเน้นถึงงานวิจัยที่มีการศึกษามาแล้วและการวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานของการไหลผ่านแผ่นกั้นและการไหลผ่านครีบบรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปวิเคราะห์และพัฒนาต่อไป

2.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วิธีการติดตั้งแผ่นกั้น

Patankar et al. (1977) เป็นผู้ริเริ่มศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์การไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อ โดยจากการศึกษาพบว่า การไหลในช่วงพัฒนาอย่างสมบูรณ์มีพฤติกรรมการไหลแบบข้ำเป็นช่วง ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันและข้ำกันทุกๆ ไมครอล

Webb and Ramadhyani (1985) ได้นำแนวคิดการไหลแบบข้ำเป็นช่วงของ Patankar et al. (1977) มาศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลขนาน ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นโดยมีการจัดวางแบบเอียง

Cheng and Huang (1989) ทำการศึกษาในช่วงการไหลแบบราบเรียบของของไหลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้าของท่อโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข สำหรับท่อแบบกึ่งไม่จำกัด (semi-infinite) ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นทั้งแบบวางด้านเดียวและสองด้าน

Cheng and Huang (1991) ศึกษากรณีของการติดตั้งแผ่นกั้นตามขวางที่มีการจัดวางแบบไม่สมมาตร จากผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งในการจัดวางแผ่นกั้นมีอิทธิพลต่อลักษณะการไหล โดยเฉพาะแผ่นกั้นที่มีความสูงมาก

งานวิจัยด้วยระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขในช่วงแรก จะศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยจำกัดวิธีการศึกษาเป็นแบบการไหล 2 มิติ อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ศึกษาและความซับซ้อนของการไหล แต่ต่อมาเมื่อคอมพิวเตอร์มีการพัฒนามากขึ้น จึงมีงานวิจัยที่ขยายการไหลไปสู่สนามการไหล 3 มิติ ซึ่งได้แก่

Lopez et al. (1996) ได้พยายามศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้น โดยมีการศึกษาแบบ 3 มิติ ด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข ศึกษาในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยกำหนดให้ผิวท่อด้านบนและด้านล่างมีการให้ความร้อนแบบพลิกซ์ความร้อนคงที่ ส่วนด้านข้างของท่อเป็นฉนวนความร้อน จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนบ่งลักษณะท่อ (aspect ratio) มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยสำหรับค่าความดันตกคร่อม แต่ค่าความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความสูงของแผ่นกั้นและเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น

Guo and Anand (1997) ศึกษาพฤติกรรมในช่วงการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้าของการถ่ายเทความร้อนแบบ 3 มิติ ในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bazdid-Tehrani and Naderi-Abadi (2004) ได้นำเสนอผลจากการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขของพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นโดยมีการจัดวางแผ่นกั้นแบบตรงกัน จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนการวางการไหลหรือความสูงของแผ่นกั้นจะส่งผลถึงพฤติกรรมการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและส่งผลให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวถึงแผ่นกั้นที่มีการจัดวางแบบเอียง

Mousavi and Hooman (2006) ศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นแบบเอียง ทั้งด้านบนและด้านล่างของช่องทางไหลขนาน โดยศึกษาอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ ค่าอัตราส่วนการวางการไหลและเลขพราวน์ด โดยอัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นกำหนดให้มีค่าคงที่ จากผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขของการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์และเป็นการไหลแบบชั่วเป็นช่วง ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการวางการไหล โดยตัวแปรทั้งสองนี้จะส่งผลต่อค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้ค่าเลขพราวน์ดที่มีค่ามากจะส่งผลให้มีความยาวทางเข้ามากขึ้นด้วย จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการวางการไหลจะส่งผลให้เลขนัสเซลที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยค่าอัตราส่วนการวางการไหลระหว่าง 0.25-0.50 จะส่งผลอย่างมากถึงการเปลี่ยนแปลงค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น

นอกจากนี้ Promvong and Kwankaomeng (2010), Promvong et al. (2010a), และ Promvong et al. (2010b) ได้ศึกษาด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลแบบราบเรียบ โดยวิเคราะห์ถึงการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลที่เกิดจากอิทธิพลของมุมปะทะของแผ่นกั้นยาวต่อเนื่อง ซึ่งติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่างของช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และได้ศึกษาถึงกระแสวนตามยาวที่เกิดจากการไหลปะทะแผ่นกั้น และเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลพุ่งกระแทกพื้นผิวให้ความร้อน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนอย่างมากในบริเวณการไหลตกกระแทกพื้นผิว

2.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบบูแบบต่างๆ

นอกจากการใช้แผ่นกั้นแล้วมีผู้วิจัยจำนวนมากให้ความสนใจกับการใช้ครีบบู ที่มีรูปร่างของหน้าตัดหลากหลายรูปแบบ และมีความสูงไม่มากนักเมื่อเทียบกับความสูงของแผ่นกั้น มาช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการใช้ครีบบูที่ติดตั้งตลอดแนวพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น จะสร้างการไหลรบกวนชั้นขีดผิวในบริเวณระหว่างครีบบูใกล้พื้นผิวถ่ายเทความร้อน ซึ่งเหมาะสำหรับการถ่ายเทความร้อนที่มีการไหลแบบปั่นป่วน โดยครีบบูที่ยาวต่อเนื่องและวางตั้งฉากกับทิศทางการไหลจะสร้างการไหลวนที่มีแกนการไหลตั้งฉากกับทิศทางการไหลและรบกวนบริเวณการไหลหลักน้อย ส่วนการไหลผ่านครีบบูที่ทำมุมปะทะต่างๆ กับทิศทางการไหลนั้นจะสร้างการไหลวนตามยาวไปทางด้านท้ายการไหลและก่อให้เกิดการรบกวนบริเวณการไหลหลัก ซึ่งพฤติกรรมการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณใกล้กับผิวความร้อน ข้อดีของครีบบูคือมีการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยที่ค่าความดันตกคร่อมไม่สูงมากนัก ซึ่งจะส่งผลให้ได้ค่าตัวประกอบทางความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Olsson and Sunden (1997) ได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลในท่อที่มีการติดตั้งครีบบู ในลักษณะต่าง ๆ ด้วยการใช้ควัน (smoke-wire visualization) และ laser doppler anemometry (LDA) โดยทำการศึกษารูปร่างของครีบบูที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่งประกอบด้วยครีบบูแบบขนาน ครีบบูแบบเอียง ครีบบูตัววีแบบขนาน ครีบบูตัววีแบบเอียงและครีบบูตัววีแบบผสม (multiple) ที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2000 พบว่าการเกิดการไหลหมุนวนชั้นที่สอง (secondary flow) ในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเหลืองจัตุรัสจะให้ค่าที่เสถียรมากกว่าการเกิดในท่อขนานหรือท่อสีเหลี่ยมผืนผ้า

Olsson and Sunden (1998) ทำการศึกษารูปแบบการไหล ความดันตกคร่อม และการถ่ายเทความร้อนในท่อสีเหลี่ยมที่มีครีบอก ค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 500-15,000 ค่าอัตราส่วนบ่งลักษณะของท่อสีเหลี่ยม คือ 1:8 และครีบอกติดตั้งกับผิวท่อที่อยู่ตรงข้ามกัน พวกเขาทดสอบครีบอกแบบต่างๆ ดังนี้คือ ครีบอกเอียงวางสลับกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม ครีบอกเอียงวางขนานกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม ครีบอกรูปตัววีวางสลับกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม ครีบอกรูปตัววีวางขนานกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม และครีบอกรูปตัววีแบบต่อสลับทิศทางการไหลกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมถูกแสดงด้วยตัวประกอบของการถ่ายเทความร้อนโคลเบิร์น (Colburn) และตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิง (fanning) จากการทดลองพบว่าครีบอกรูปตัววีวางสลับกันให้ค่าตัวประกอบของการถ่ายเทความร้อนโคลเบิร์น และค่าตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิงมากกว่าครีบอกอื่นๆ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 1000-2000

Liou and Chen (1998) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลในช่วงการไหลปั่นป่วนสำหรับท่อสีเหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งครีบอกแบบเจาะรู พวกเขาได้ทำการศึกษาทั้งครีบอกที่มีการติดตั้งที่พื้นและแบบไม่แนบกับพื้น โดยครีบอกทำจากอลูมิเนียม จากผลการทดลองพบว่าค่าเลขนัสเซลท์ที่เพิ่มมากขึ้นมีค่าเท่ากับ 3 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่มีการเพิ่มครีบอก

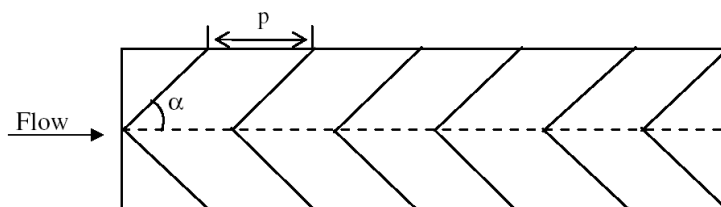
Karwa et al. (1999) ศึกษาด้วยการทดลองเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของมุมตัดที่ยอดของครีบอกและอัตราส่วนบ่งลักษณะของท่อต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานในท่อนำตัดสีเหลี่ยมผืนผ้าที่มีครีบอกตามขวางตัดยอดซึ่งติดตั้งที่ผนังด้านล่าง โดยเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ จากการทดลองพบว่าในช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ครีบอกตัดยอดให้ค่าการเพิ่มของเลขแอสแตนต์และตัวประกอบความเสียดทาน เท่ากับ 2 เท่า และ 3 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบตามลำดับ โดยการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมตัดเท่ากับ 15°

Ahn (2001) ทำการศึกษาลักษณะของครีบอกแบบต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานในท่อสีเหลี่ยม โดยทำการศึกษารูปทรงครีบอก 5 ชนิด ได้แก่ ครีบอกสี่เหลี่ยม ครีบอกสามเหลี่ยม ครีบอกวงกลม ครีบอกครึ่งวงกลมทรงต่ำ และครีบอกครึ่งวงกลมทรงสูง โดยทำการศึกษาที่ความสูงครีบอกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก เท่ากับ 0.0476 อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครีบอก เท่ากับ 8 และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงเท่ากับ 2.33 จากการทดลองพบว่า แผ่นครีบอกสามเหลี่ยมมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด ตามด้วยครีบอกสี่เหลี่ยม ส่วนครีบอกวงกลมและครึ่งวงกลมมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 10,000 แผ่นครีบอกสามเหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นเรียบ 3 เท่าในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ 20,000 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมพบว่าแผ่นครีบอกสามเหลี่ยมมีสมรรถนะเชิงความร้อนโดยรวมมากที่สุด ตามด้วยแผ่นครีบอกสี่เหลี่ยม

Momin et al. (2002) ตรวจสอบด้วยผลการทดลองของการไหลผ่านครีบอกรูปตัววี ต่อการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลในท่อนำตัดสีเหลี่ยมผืนผ้าของ เครื่องอุ่นอากาศด้วยแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2.1 ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 2500 ถึง 18,000 ค่า e/D อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.034 มุมปะทะอยู่ในช่วง 30° ถึง 90° และค่า $p/e = 10$ จากผลการทดลองพบว่าค่าสูงสุดของอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.3 และ 2.83 เท่าของท่อผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียบตามลำดับ และเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 60° และพวกเขาสรุปว่าครีบริบรูปตัววีให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าครีบริบเอียงที่มีเงื่อนไขการไหลเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ครีบริบรูปตัววี สำหรับงานของ Momin et al. (2002)

Bhagoria et al. (2002) ศึกษาด้วยการทดลองหาความสัมพันธ์ของค่าระยะห่างระหว่างครีบริบสัมพันธ์ (p/e) ความสูงครีบริบสัมพันธ์ และมุมลิ้ม ต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบของความเสียดทานในเครื่องอุณหอากาศด้วยแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งครีบริบลิ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากผลการทดลองพบว่าในช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบความเสียดทานมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.4 และ 5.3 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบตามลำดับค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดได้มาจากค่ามุมลิ้มประมาณ 10° และ $p/e = 7.57$ ซึ่งค่าตัวประกอบความเสียดทานมีค่าลดลงตามระยะห่างระหว่างครีบริบที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.2 ครีบริบลิ่ม สำหรับงานของ Bhagoria et al. (2002)

Cavallero and Tanda (2002) ตรวจสอบด้วยการทดลองผลของการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้างเท่ากับ 5 ซึ่งมีการติดตั้งครีบริบต่อเนื่องและครีบริบแยกตัวบนพื้นผิวด้านล่าง โดยวางตั้งฉากกับทิศทางไหลและให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 8000 ถึง 35,000 วัดค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวให้ความร้อนโดยใช้ ลิควิด คริสตอล (liquid crystal thermography) พวกเขาสรุปว่าที่ค่า $p/e=8$ ให้ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดในบริเวณการไหลตกกระทบบนพื้นผิว และในกรณีของครีบริบต่อเนื่องและครีบริบแยกตัวนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมีค่าเป็น 2 เท่าและ 3 เท่าของกรณีไม่มีการติดตั้งครีบริบตามลำดับ

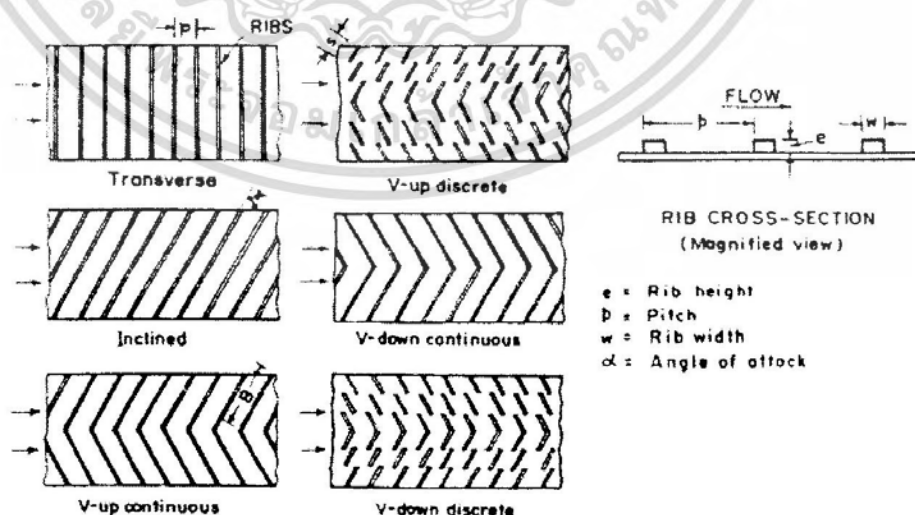
Ebrahim Momin et al. (2002) ได้ศึกษาด้วยผลการทดลองของการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการติดตั้งครีบริบต่อเนื่องรูปตัววีบนผนังด้านล่างซึ่งมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ พวกเขาทำการทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ 2500-18,000 ซึ่งสอดคล้องกับช่วงทำงานของเครื่องอุณหอากาศด้วยแสงอาทิตย์ ค่า e/D อยู่ในช่วง 0.02-0.034 ค่า $p/e = 10$ และมีมุมปะทะของครีบริบอยู่ในช่วง $30^\circ-90^\circ$ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouples) สำหรับวัดอุณหภูมิบนพื้นผิวให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนซึ่งมีทั้งหมด 10 ตำแหน่ง จากการทดลองพวกเขาสรุปว่า ค่าสูงสุดของอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 60° ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.30 และ 2.83 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ และค่า TEF สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.8 ซึ่งเกิดขึ้นที่ค่า $e/D = 0.034$ และมีมุมปะทะ 60°

Chandra et al.(2003) ศึกษาด้วยการทดลองของการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งติดตั้งครีบบาวต่อเนื่องและวางตั้งฉากกับทิศทางการไหลบนผนังให้ความร้อน โดยมุ่งศึกษากรณีการติดตั้งครีบที่ผนัง 4 กรณีคือ ติดตั้ง 1 ด้าน, 2 ด้านที่ตรงข้ามกัน, 3 ด้าน และ 4 ด้าน โดยกำหนดค่า $p/e=8$ และ $e/D=0.0625$ คงที่ตลอดการทดลอง วิเคราะห์ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 10,000 ถึง 80,000 พวกเขาสรุปว่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มจำนวนด้านที่ติดครีบ และค่า TEF สูงที่สุดเกิดขึ้นกับกรณีการติดตั้งครีบ 2 ด้านที่ตรงข้ามกัน ซึ่งให้ค่า TEF อยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.7

Karwa (2003) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่อสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งครีبد้านเดียว โดยครีบที่ทดสอบมีลักษณะเป็นครีบตรง ครีบเอียง ครีบรูปตัววีทั้งในลักษณะยาวต่อเนื่อง และแบบแยกตัว โดยท่อที่ทดสอบมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงเท่ากับ 7.19 ถึง 7.75 อัตราส่วนความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก เท่ากับ 0.0476 และ 0.050 และอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงครีบเท่ากับ 10 โดยครีบรูปตัววีที่ทดสอบเป็นครีบรูปตัววีทามุม 60° และครีบเอียง โดยทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 2800-15,000$ และความร้อนที่ให้กับท่อสี่เหลี่ยมเป็นแบบพลั๊กความร้อนคงที่ รูปแบบครีบภายในท่อสี่เหลี่ยมแสดงในรูปที่ 2.3 จากผลการทดลองพบว่า แผ่นครีบรูปตัววียาวต่อเนื่องทำให้เกิดค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดและมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบประมาณ 3.40 ถึง 3.92 เท่า ส่วนแผ่นครีบรูปตัววีชนิดยาวไม่ต่อเนื่องมีค่าตัวประกอบความเสียดทานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นครีบลักษณะต่างๆ และมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบประมาณ 2.35 ถึง 2.47 เท่า ในขณะที่ค่าเลขสแตนตัน (Stanton number, St) สำหรับแผ่นครีบรูปตัววีมีทิศทางตรงข้ามกับการไหล จะมีแนวโน้มมากที่สุดคือ 2.10 ถึง 2.47 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นเรียบ และครีบตรงตั้งฉากกับการไหลมีค่า St น้อยที่สุด



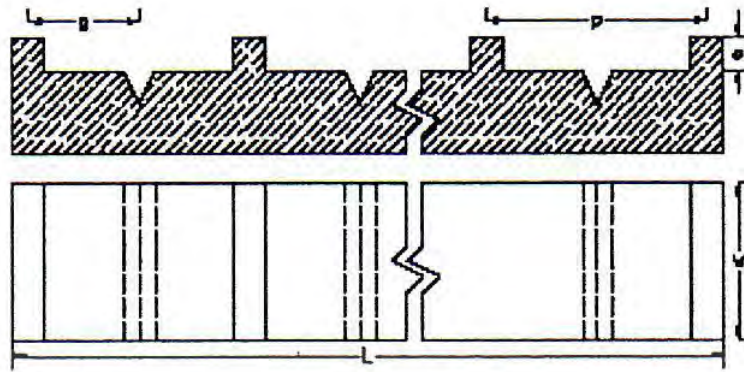
รูปที่ 2.3 รูปแบบครีบ จากงานวิจัยของ Karwa (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Won and Ligrani (2004) ได้ศึกษาด้วยการทดลองโดยใช้ภาพรังสีอินฟราเรด ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อน ของการไหลในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างเท่ากับ 4 ซึ่งติดตั้งครีบนำหน้าตัดสี่เหลี่ยมยาวต่อเนื่อง ทำมุมปะทะ 45° กับทิศทางการไหล วางที่ผนังด้านบนและด้านล่างโดยที่การเรียงครีบที่ผิวบนและล่างมีลักษณะการเรียงที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะคือเรียงแบบขนานกัน และเรียงแบบไขว้กัน โดย $e/D = 0.078$, $p/e = 10$ วิเคราะห์ที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 480 ถึง 18,300 พวกเขาสรุปว่าที่บริเวณการไหลพัฒนาอย่างสมบูรณ์ ครีบที่เรียงแบบขนานกันให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เฉพาะที่สูงกว่าครีบที่เรียงแบบไขว้กัน

Tanda (2004) ได้ตรวจสอบด้วยการทดลองผลของการถ่ายเทความร้อน ในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้างเท่ากับ 5 ซึ่งมีการติดตั้งครีบที่มีลักษณะการวางที่แตกต่างกันคือ ครีบต่อเนื่องและครีบแบบแยกตัวที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหล ครีบรูปตัววีแบบแยกตัวที่ทำมุมปะทะ 45° และ 60° บนพื้นผิวด้านล่างและให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่โดยมีค่า $p/e = 8$ และ 13 ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 8,900 ถึง 36,000 วัดค่าการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้ลิควิด คริสตอล ซึ่งเป็นการแสดงค่าด้วยแผนภาพการกระจายเลขนัสเซลท์บนพื้นผิวให้ความร้อนที่ค่อนข้างละเอียด เขาสรุปว่าการกระจายตัวของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างครีบ สัมพันธ์กันอย่างมากกับรูปร่าง และเรขาคณิตของครีบ ค่าสูงสุดสัมพัทธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ที่ด้านท้ายกระแสน้ำของแต่ละครีบ ในบริเวณการไหลตกกลับสู่พื้นผิว โดยภาพรวมแล้วรูปแบบครีบที่ใช้ศึกษาให้ค่าสมรรถนะทางความร้อน (TEF) อยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.6 และครีบรูปตัววีแบบแยกตัวให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าครีบแบบต่อเนื่อง

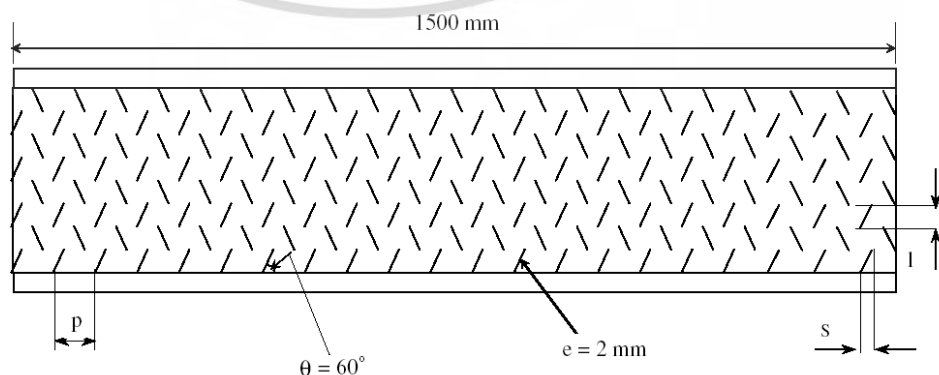
Jaurker et al. (2006) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานของแผ่นสี่เหลี่ยมในเครื่องอุณหอากาศด้วยแสงอาทิตย์ชนิดผิวครีบ-ร่อง (rib-grooved) อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อน ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 3000 - 21,000$ ความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D) เท่ากับ 0.0181 - 0.0363 อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงครีบ เท่ากับ 4.5 - 10.0 และระยะร่องต่อระยะห่างระหว่างครีบ เท่ากับ 0.3 - 0.7 โดยครีบต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.4 จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีบ-ร่อง จะมีค่ามากกว่าแผ่นครีบอย่างเดียว และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงครีบมีค่าลดลง และมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงครีบเท่ากับ 6 เมื่อระยะร่องต่อระยะห่างระหว่างครีบ มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าเลขนัสเซลท์มีค่าสูงสุดเมื่อระยะร่องต่อระยะห่างระหว่างครีบเท่ากับ 0.4 ส่วนค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าสูงสุดเมื่อระยะร่องต่อระยะพิทซ์เท่ากับ 0.4 และค่า TEF สูงที่สุดเท่ากับ 1.8 ที่เลขเรย์โนลด์ 20,000



รูปที่ 2.4 รูปแบบครีบบที่มีร่อง จากงานวิจัยของ Jaurker et al. (2006)

Amro et al. (2007) ศึกษาด้วยการทดลองของการไหลในช่องทางไหลหน้าตัดคล้ายสามเหลี่ยมที่มีปลายมน โดยจำลองการไหลที่ช่องหล่อเป็นด้านซ้ายหน้าของใบกังหันก๊าซ ซึ่งติดตั้งครีบบต่อเนื่องทำมุมปะทะ 45° และ 60° กับทิศทางการไหล ครีบบวางเรียงสลับกันที่ผนังด้านบนและด้านล่างของพื้นผิวให้ความร้อนโดยใช้ลวด คริสตอล สำหรับวัดค่าการถ่ายเทความร้อน ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 50,000 ถึง 200,000 จากผลการทดลองพบว่า ครีบบที่ทำมุมปะทะ 60° ให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานสูงที่สุด โดยให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงที่สุดมีค่าประมาณ 3 เท่าของท่อผิวเรียบ และครีบบที่ทำมุมปะทะ 45° เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้เพิ่มการถ่ายเทความร้อน ที่เลขเรย์โนลด์ 50,000 ให้ค่า TEF สูงที่สุดซึ่งมีค่าประมาณ 1.1 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น

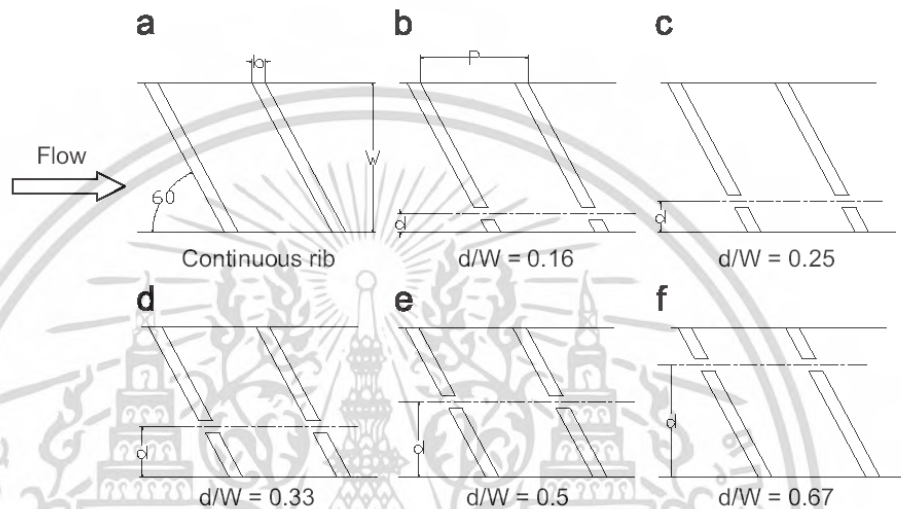
Wang et al. (2007) ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมของการไหลในช่องทางไหลหน้าตัดแคบขนาด $40 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm}$ และยาว 940 mm ซึ่งมีตัวสร้างการไหลหมุนวนตามยาวมีลักษณะเป็นครีบบขนาด $10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm}$ วางเป็นรูปตัววีแยกตัวและทำมุมปะทะ 50° กับทิศทางการไหล ซึ่งศึกษาอิทธิพลของการจัดวางครีบบบนผนังให้ความร้อนเพียงด้านเดียว และ 2 ด้าน ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 ถึง 20,000 จากการทดลองพวกเขาสรุปว่าการวางครีบบบนผนังให้ความร้อนทั้ง 2 ด้าน ให้ค่าสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการจัดวางครีบบเพียงด้านเดียว



รูปที่ 2.5 รูปแบบการจัดวางครีบบ งานวิจัยของ Karmare and Tikekar (2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Karmare and Tikekar (2007) ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานของแผ่นสี่เหลี่ยมในเครื่องอุณหอากาศด้วยแสงอาทิตย์ ที่มีครีบนำตัดวงกลมติดตั้งบนแผ่นให้ความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยใช้เรอร์โมคัปเปิล วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อน ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 4,000 - 17,000$ ความสูงครีบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D) เท่ากับ $0.035 - 0.044$ อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบต่อความสูงครีบ (p/e) เท่ากับ $12.5 - 36$ และค่า l/s อยู่ในช่วง $1 - 1.72$ จากการทดลองสรุปพบว่า พารามิเตอร์ที่ศึกษาที่มีค่า $e/D = 0.044$, $p/e = 17.5$ และ $l/s = 1.72$ ให้ค่าสมรรถนะดีที่สุด

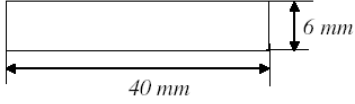
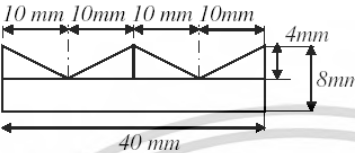
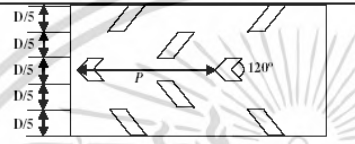


รูปที่ 2.6 รูปแบบการจัดวางครีบ งานวิจัยของ Aharwal et al. (2008)

Aharwal et al. (2008) ศึกษาด้วยการทดลองโดยใช้เรอร์โมคัปเปิลจำนวน 16 ตัว วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อนหนึ่งด้านแบบพลักซ์ความร้อนคงที่ ซึ่งมีครีบนำตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งอยู่ในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 5.84 ค่า $p/e = 10$ ค่า $e/D = 0.0377$ ครีบที่ใช้ศึกษามีมุมปะทะ 60° กับทิศทางการไหลซึ่งพวกเขาศึกษาอิทธิพลของความกว้างช่องเปิดครีบสัมพันธ์ (g/e) และตำแหน่งของช่องเปิด (d/W) ในช่วง $0.25 - 2$ และ $0.1667 - 0.667$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ $3,000 - 18,000$ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียดทานอยู่ในช่วง 2.59 และ 2.87 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ และพบว่าค่า TEF มีค่าสูงที่สุดที่ $g/e = 1.0$ และ $d/W = 0.25$

Gupta et al. (2008) ได้ศึกษาเชิงทดลองของการวัดการกระจายค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ ที่มีการไหลในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งติดตั้งครีบที่ทำจากแผ่นกระจกทนความร้อน (Plexiglas) หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่าง มีการให้ความร้อนแบบพลักซ์ความร้อนคงที่ ซึ่งจำลองเป็นช่องหล่อเย็นของใบกังหันก๊าซ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ $10,000 - 30,000$ ลักษณะครีบที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย ครีบยาวต่อเนื่องและรูปฟันเลื่อยทำมุมปะทะ 90° กับทิศทางการไหล และครีบรูปตัววีแบบแยกตัวทำมุมปะทะ 60° กับทิศทางการไหล ซึ่งมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยใช้วิธีการถ่ายภาพรังสีอินฟราเรด (infrared thermography technique) วัดค่าการกระจายอุณหภูมิมบนพื้นผิวให้ความร้อนและแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบเส้นชั้น (contour plots) ซึ่งให้ค่าที่ค่อนข้างละเอียด จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากครีบริบรูปตัววีแบบแยกตัวให้ค่าสูงกว่าครีบริบยาวต่อเนื่องและรูปฟันเลื่อย

Case	Configuration	P/e	e/D	Description
A, B		7, 10	0.15	90° continuous rib
C			0.15	90° saw tooth profiled ribs with one peak and two valleys
D		7.5, 10, 12	0.0625	60° V broken rib

รูปที่ 2.7 รูปร่างและลักษณะการจัดเรียงครีบริบที่ใช้ในงานของ Gupta et al. (2008)

Varun et al. (2008) ศึกษาด้วยการทดลองโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล จำนวน 15 ตัว วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อนหนึ่งด้านแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ของแผ่นในเครื่องให้ความร้อนสู่อากาศด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งมีครีบริบเอียงสั้นซึ่งวางในลักษณะขนานกันไปและทำมุมปะทะ 60° ติดตั้งอยู่ในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 10 ค่า p/e อยู่ในช่วง 3 - 8 ค่า $e/D = 0.030$ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 2,000 - 14,000 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า $p/e = 8$ ให้ค่า TEF สูงที่สุด

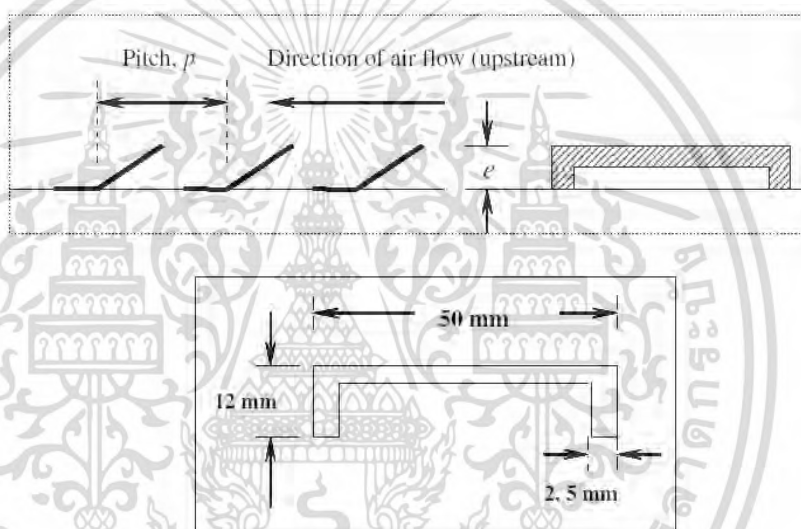
Promvong and Thianpong (2008) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบริบที่มีหน้าตัดรูปทรงต่างๆ ที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลในช่องทางไหลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน โดยครีบริบที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเยื้องกันซึ่งประกอบไปด้วยครีบริบสามเหลี่ยมด้านเท่า ครีบริบรูปลิ้นที่หันไปทางด้านท้ายการไหล และครีบริบสี่เหลี่ยม ซึ่งถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบนและด้านล่างช่องทางไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 15 ค่า $p/H = 2$ และค่า $e/H = 0.15$ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000 - 16,000 จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่เงื่อนไขการไหลเดียวกันการจัดวางครีบริบแบบตรงกัน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานสูงกว่าการจัดวางครีบริบแบบเยื้องกัน และครีบริบรูปลิ้นที่หันไปทางด้านท้ายการไหลให้ค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงที่สุด ในขณะที่ครีบริบสามเหลี่ยมวางเยื้องกันให้ค่า TEF สูงที่สุด

Aharwal et al. (2009) ศึกษาด้วยการทดลองต่อเนื่องจากงานเก่าโดยศึกษาให้ละเอียดยิ่งขึ้น สำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 5.83 ค่า p/e อยู่ในช่วง 4-10 ค่า e/D อยู่ในช่วง 0.018 - 0.037 ครีบริบที่ใช้ศึกษาทำมุมปะทะในช่วง 30° - 90° กับทิศทางการไหลซึ่งพวกเขาศึกษาอิทธิพลของความกว้างช่องเปิดครีบริบสัมพัทธ์ (g/e) และตำแหน่งของช่องเปิด (d/W) ในช่วง 0.5 - 2 และ 0.16 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.5 ตามลำดับ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 - 18,000 จากผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียหายสูงสุดอยู่ในช่วง 2.83 และ 3.60 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ และพบว่าค่า TEF มีค่าสูงที่สุดที่ $g/e = 1.0$, $d/W = 0.25$, $p/e = 8.0$ ที่มุมปะทะ 60° และ $e/D = 0.037$

Bopche and Tandale (2009) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียหายของแผ่นสี่เหลี่ยมในเครื่องอุณหอากาศด้วยแสงอาทิตย์ ที่มีครีบบริเวณความปั่นป่วนติดตั้งบนแผ่นให้ความร้อนตั้งรูปที่ 2.8 โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อน ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 3,000 - 18,000$ ความสูงครีบบริเวณผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D) เท่ากับ $0.0186 - 0.03986$ อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงครีบบริเวณ (p/e) เท่ากับ $6.67 - 57.14$ และค่ามุมปะทะครีบบริเวณเท่ากับ 90° จากการทดลองพวกเขาสรุปว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียหายอยู่ในช่วง 2.82 และ 3.72 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ



รูปที่ 2.8 รูปแบบการจัดวางครีบบริเวณงานวิจัยของ Bopche and Tandale (2009)

Kumar et al. (2009) ทำการศึกษาด้วยการทดลองโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลจำนวน 17 ตัว วัดการกระจายของอุณหภูมิที่ผิวให้ความร้อนหนึ่งด้านแบบพลิกซ์ความร้อนคงที่ของแผ่นให้ความร้อนสู่อากาศด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งมีครีบบริเวณรูปตัว W ติดตั้งอยู่ในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 8 ค่า $p/e = 10$ ค่า e/D อยู่ในช่วง $0.0168 - 0.0338$ ครีบบริเวณที่ใช้ศึกษาทำมุมปะทะในช่วง $30^\circ - 75^\circ$ กับทิศทางการไหล ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 - 15,000 จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่า ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียหายสูงสุดอยู่ในช่วง 2.16 และ 2.75 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ ซึ่งเกิดที่มุมปะทะ 60°

SriHarsha et al. (2009) ได้ศึกษาเชิงทดลองซึ่งเป็นงานที่ต่อเนื่องจากงานของ Gupta et al. (2008) โดยศึกษาอิทธิพลของ e/D ที่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ซึ่งลักษณะครีบบริเวณที่ใช้ทดลองประกอบด้วย ครีบบริเวณต่อเนื่องทำมุมปะทะ 90° กับทิศทางการไหลและครีบบริเวณตัววีแบบแยกตัวทำมุมปะทะ 60° กับทิศทางการไหลที่มีการยกตัวและติดกับผนัง ที่ค่า $p/e = 10$ จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่า สำหรับครีบบริเวณต่อเนื่องทำมุมปะทะ 90° กับทิศทางการไหล การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่า e/D และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากครีบบริเวณตัววีแบบแยกตัวให้ค่าสูงกว่าครีบบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวต่อเนื่อง ในขณะที่ครีบริปูตัววีแบบแยกตัวและมีการยกตัว ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งสังเกตได้ว่าไม่แตกต่างกันกับกรณีไม่ยกตัว

Eiamsa-ard and Promvong (2009) ได้ศึกษาเชิงทดลองของตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีบริร่อง ยาวต่อเนื่องวางตั้งฉากกับทิศทางการไหล ซึ่งติดตั้งบนพื้นผิวให้ความร้อนในช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 10 ค่า p/e อยู่ในช่วง 6.6 - 13.3 ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 - 10,000 ซึ่งครีบริร่อง ที่ใช้ศึกษามี 3 กรณีคือ ครีบริสี่เหลี่ยม-ร่องสามเหลี่ยม ครีบริสามเหลี่ยม-ร่องสี่เหลี่ยม และครีบริสามเหลี่ยม-ร่องสามเหลี่ยม จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่า ครีบริสามเหลี่ยม-ร่องสามเหลี่ยมที่ $p/e = 6.6$ ให้ค่า TEF สูงที่สุดซึ่งที่เลขเรย์โนลด์ 3,000 ให้ค่า TEF สูงที่สุดที่ค่าประมาณ 1.1

Thianpong et al. (2009) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบริรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลในช่องทางไหลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน ซึ่งเป็นงานที่พัฒนามาจากงานของ Promvong and Thianpong (2008) โดยครีบริที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเยื้องกัน และถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบพลักซ์ความร้อนคงที่ ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 10 ค่า $p/H = 1.33$ และค่า e/H อยู่ในช่วง 0.13 - 0.26 ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 5,000 - 22,000 จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่า ครีบริที่ศึกษาให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่อยู่ในช่วง 1.8 - 4.0 เท่าของท่อผิวเรียบ แต่การจัดวางครีบริแบบเยื้องกันที่ค่า $e/H = 0.13$ ให้ค่า TEF สูงที่สุด ซึ่งค่าสูงสุดของ TEF เกิดที่เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.34

2.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบริตัววี

Olsson and Sunden (1997ก) ศึกษาพฤติกรรมการไหลในท่อที่มีการติดตั้งครีบริในลักษณะต่าง ๆ ด้วยการใช้เทคนิคการใช้ควัน (smoke-wire visualization) และ laser doppler anemometry (LDA) โดยทำการศึกษารูปร่างของครีบริที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่งประกอบด้วยครีบริแบบขนาน, ครีบริแบบเยื้อง, ครีบริตัววีแบบขนาน, ครีบริตัววีแบบเยื้องและครีบริตัววีแบบแบบผสม (multiple) ที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 พบว่าการเกิดการไหลหมุนวนในทิศทางที่สอง (secondary flow) ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะให้ค่าที่เสถียรมากกว่าการเกิดในท่อขนานหรือท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า Olsson and Sunden (1997ข) ได้นำเสนอค่าแฟคเตอร์ j และ f ในท่อที่มีการติดตั้งครีบริที่มีความสูง, ระยะพิตต์และมุมปะทะเดียวกัน โดยศึกษาเฉพาะรูปร่างของครีบริที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าเกิดการไหลแบบหมุนวนในท่อซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของแฟคเตอร์ j ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการไหลแบบหมุนวนในท่อจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 ส่วนค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นก็อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ในช่วยค่าเลขเรย์โนลด์สูง ๆ

Taslim et al. (1996) ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนจากชุดทดลองจริงโดยอาศัยเทคนิค liquid crystal thermography เพื่อวิเคราะห์ค่าเลขนัสเซลในแต่ละจุดในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบริตัววีและครีบริแบบไม่ต่อเนื่องที่มีการติดตั้งที่ผนังทั้งสองด้านในทิศทางตรงกันข้าม ค่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 15,500 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากการเกิด secondary flow ขณะที่ของไหลกระทบกับผนังความร้อนและค่าการถ่ายเทจะลดลงเมื่อเกิดการสลายของ secondary flow ที่ผนังของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

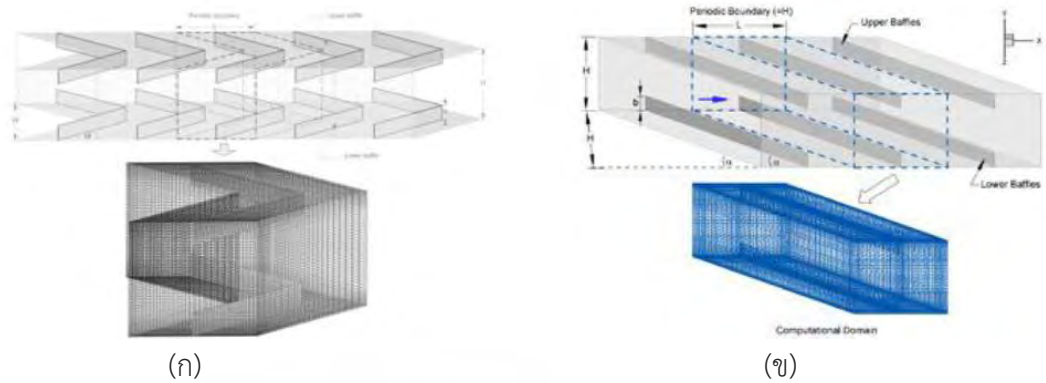
Han et al. (1978) ศึกษาพื้นผิวที่มีการเพิ่มครีบ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของครีบ, มุมปะทะและอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของแผ่นครีบต่อความสูงของท่อและแสดงในรูปของค่าความดันตกคร่อมและอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อนาน ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 ถึง 30,000 จากผลการศึกษาพบว่าครีบทำมุมปะทะ 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบตรงมุม 90° โดยที่ให้ค่าความดันตกคร่อมที่น้อยกว่า

Han et al. (1991) ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบวางตรง, ครีบวางเอียงและครีบตัววี โดยทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 15,000 ถึง 90,000 จากผลการศึกษาวินิจฉัยพบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดจะได้จากกรณีการเพิ่มครีบตัววีที่มีการไหลแบบทวนกระแสการไหล

Olsson and Sunden (1998) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อนานที่มีค่า aspect ratio เท่ากับ 1 : 8 โดยมีการเพิ่มครีบตัววี ทำการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 500 ถึง 15,000 จากผลการศึกษา พวกเขาได้นำเสนอสมการสหสัมพันธ์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์, ค่าความสูงของครีบหรืออัตราส่วนการบล็อกการไหลในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ($0.1 < e/H < 0.2$), อัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นหรือระยะพิตต์ในช่วง 3 ถึง 7 ($3 < p/H < 7$) และมุมปะทะการไหล ($15^\circ < \alpha < 45^\circ$) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

- การเพิ่มขึ้นของความสูงของครีบหรือการลดลงของระยะพิตต์ส่งผลให้ค่าแฟคเตอร์ j และ f มีค่าเพิ่มมากขึ้นขณะที่ค่าอัตราส่วน j/f กลับมีค่าลดลง
- ครีบทำมุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าครีบที่ทำมุมน้อยกว่า
- ที่ค่า $500 < Re < 1,500$ พบว่าอัตราส่วน j/f มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้นและในช่วง $Re > 2,000$ พบว่าอัตราส่วน j/f มีค่าลดลงเมื่อค่าเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าแฟคเตอร์ f จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และค่าแฟคเตอร์ j จะไม่ขึ้นอยู่กับมุมปะทะของครีบ

พงษ์เจตและวิฑาดา (2553) ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีซี่ตามกระแสการไหลและแผ่นกั้นวางเอียงที่ผนังของท่อ ที่ค่า PR คงที่เท่ากับ 1.00 โดยแผ่นกั้นที่ติดตั้งนั้นมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะที่ $= 30^\circ$ ช่วงจาก $Re = 100$ ถึง 1,000 และค่า BR เท่ากับ 0.10, 0.20, และ 0.30 โดยผลที่ได้พบว่าแผ่นกั้นตัววีซี่ตามกระแสการไหลจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากกว่าแผ่นกั้นวางเอียง ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการไหลและเกิดการกระแทกของกระแสการไหลในลักษณะที่แตกต่าง



รูปที่ 2.9 รูปทรงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้ง (ก) แผ่นกั้นตัววีซีตามกระแสการไหล และ (ข) แผ่นกั้นวางเอียง และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเพื่อวิเคราะห์ปัญหาของการไหล โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมหรือไฟไนต์วอลุ่ม โดยสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์สำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วย กฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนของของไหลและสมรรถนะเชิงความร้อน (thermal performance)

3.1 สมการควบคุมของการไหลและการถ่ายเทความร้อน

สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อน ที่มีการติดตั้งครีบบนพื้นผิวให้ความร้อนในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีสมมติฐานของการไหลดังนี้

- (1) เป็นการไหลแบบปั่นป่วนและอัดตัวไม่ได้
- (2) การไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- (3) เป็นการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์และเข้าเป็นช่วง
- (4) สมบัติต่างๆ ของของไหลมีค่าคงที่
- (5) ไม่พิจารณาแรงโน้มถ่วง

สมการควบคุมการไหลประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง, สมการโมเมนตัม (หรือเรียกว่าสมการนาเวียร์-สโตกส์) และสมการพลังงาน เมื่อพิจารณาภายใต้สมมติฐานข้างต้น สมการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i) = 0 \quad (3.1)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3.2)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ Γ คือสัมประสิทธิ์การแพร่เชิงความร้อน ซึ่งกำหนดโดย $\Gamma = \mu/Pr$ โดยที่การไหลสามารถอธิบายด้วยกฎการอนุรักษ์ทางฟิสิกส์ ดังนี้

- มวลของไหลไม่สูญหายสลาย
- อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานเท่ากับผลรวมของอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนกับอัตราของงานที่กระทำในอนุภาคของไหล (กฎข้อหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์) ของไหลจะถูกพิจารณาว่ามีความต่อเนื่องสำหรับการวิเคราะห์การไหล

ของไหลจะถูกพิจารณาว่ามีความต่อเนื่องสำหรับการวิเคราะห์การไหลของของไหลที่ระดับมหภาค คือพิจารณาที่ขนาดระดับ $1 \mu\text{m}$ ขึ้นไป โครงสร้างและการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลสามารถไม่นำมาพิจารณาได้ เราสนใจที่จะอธิบายพฤติกรรมของไหลในเทอมของคุณสมบัติในระดับมหภาค เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ รวมทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเหล่านี้ เป็นต้น สิ่งนี้อาจจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มโมเลกุลจำนวนมาก ดังนั้นจุดใดๆ ในของไหลนั้นจะมีคุณสมบัติของของไหลในระดับมหภาค ไม่ขึ้นกับอิทธิพลจากอนุภาคในระดับโมเลกุล เราพิจารณาชิ้นส่วนของไหลขนาดเล็กที่มีความยาวด้านเท่ากับ δx , δy และ δz ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนของของไหลสำหรับกฎการอนุรักษ์

ผิวหน้าทั้งหกด้านจะถูกแทนด้วย N, S, E, W, T, B ซึ่งแทนถึงทิศทางในแนว เหนือ ใต้ ตะวันออก ตะวันตก บน และล่าง ตามลำดับ ศูนย์กลางของชิ้นส่วนอยู่ที่ตำแหน่ง (x, y, z) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นระบบของ มวล โมเมนตัม และพลังงานของชิ้นส่วนของไหล จะสามารถสร้างสมการการไหลของของไหลได้

คุณสมบัติของของไหลทั้งหมดจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา ดังนั้นเราจำเป็นต้องเขียน $\rho(x, y, z, t)$, $p(x, y, z, t)$, $T(x, y, z, t)$ และ $u(x, y, z, t)$ สำหรับความหนาแน่น, ความดัน, อุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็ว ตามลำดับ เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนในการเขียนค่าสัญลักษณ์แสดงคุณสมบัติดังกล่าว เราจะไม่ระบุตำแหน่งและเวลา เช่น ความดันที่ศูนย์กลาง (x, y, z) ของชิ้นส่วนของไหลที่เวลา t จะถูกแทนโดย p หรือการเปลี่ยนแปลงในทิศทาง x ของความดันที่ศูนย์กลาง (x, y, z) ที่เวลา t หนึ่งๆ จะถูกแทนโดย dp/dx หลักการนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับคุณสมบัติของไหลทั้งหมด

ชิ้นส่วนของไหลที่พิจารณานั้นมีขนาดเล็กมาก จนกระทั่งคุณสมบัติของไหลที่ผิวหน้าสามารถอธิบายได้อย่างแม่นยำด้วยสองพจน์แรกของสมการ Taylor ดังนั้น สำหรับตัวอย่างความดันที่ผิวหน้า

W และ E ซึ่งทั้งคู่มีระยะห่างจากศูนย์กลางของชิ้นส่วนของไหลเท่ากับ $\frac{1}{2} \cdot \delta x$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta x \quad \text{และ} \quad p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta x$$

3.1.1 การอนุรักษ์มวลในปัญหา 3 มิติ

ขั้นตอนแรกของการหาสมการอนุรักษ์มวลคือการพิจารณาถึงสมดุลมวลของชิ้นส่วนของไหล ดังนี้

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวล	=	อัตราการไหลสุทธิของมวล
ในชิ้นส่วนของไหล		ที่เข้าไปในชิ้นส่วนของไหล

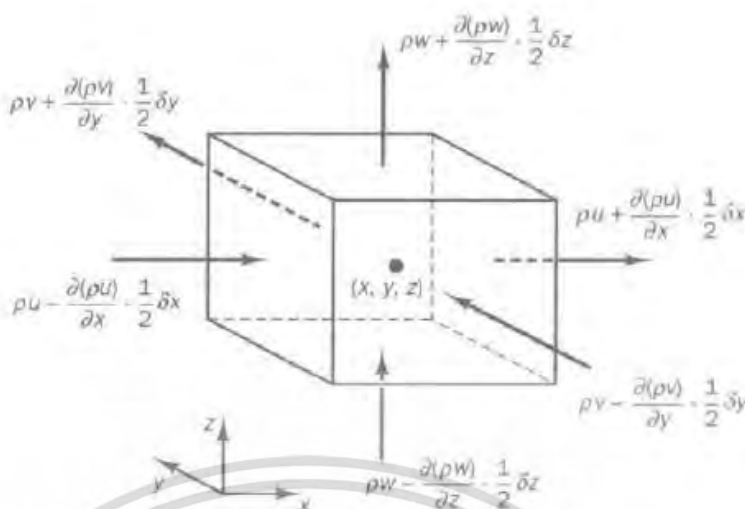
อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในชิ้นส่วนย่อยของของไหลคือ

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (3.1)$$

อัตราการไหลเชิงมวลผ่านพื้นผิวและชิ้นส่วนย่อย ซึ่งนิยามโดยผลคูณของความหนาแน่นพื้นที่ผิว และความเร็วในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น จากรูปที่ 3.2 จะพบว่าการไหลสุทธิของมวลเข้าสู่ชิ้นส่วนย่อยผ่านพื้นผิวสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (3.2)$$

โดยการไหลเข้าสู่ชิ้นส่วนที่ทำให้มวลของชิ้นส่วนย่อยเพิ่มขึ้นถูกกำหนดให้เป็นบวก และมีค่าเป็นลบเมื่อมีการไหลออกจากชิ้นส่วนย่อย



รูปที่ 3.2 การไหลของมวลเข้าและออกชิ้นส่วนของไหล

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลภายในชิ้นส่วนย่อยนั้น เท่ากับอัตราของมวลสุทธิจากการไหลออกผ่านพื้นผิวของชิ้นส่วนย่อย ซึ่งเมื่อย้ายข้างให้อยู่ในฝั่งเดียวกันเมื่อรวมกันแล้วจะหักล้างกันหมด เทอมทั้งหมดได้ถูกเรียบเรียงทางซ้ายของสมการและถูกหารด้วยปริมาตรของชิ้นส่วนย่อย $\delta x \delta y \delta z$ ซึ่งจะได้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.3)$$

หรือในรูปแบบของเวกเตอร์

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (3.4)$$

สมการ (3.4) นี้ คือสมการอนุรักษ์มวล หรือสมการความต่อเนื่อง 3 มิติ แบบการไหลไม่คงตัวและอัดตัวได้ เทอมแรกทางซ้ายมือคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น (มวลต่อปริมาตร) ต่อเวลา เทอมที่สองอธิบายถึงการไหลสุทธิของมวลข้ามผ่านขอบเขตของปริมาตรเล็ก ๆ นั้น เรียกว่า เทอมของการพา สำหรับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (เช่น ของเหลว) ความหนาแน่นมีค่าคงที่และสมการ (3.4) จะกลายเป็น

$$\text{div}(\mathbf{u}) = 0 \quad (3.5)$$

หรือในรูปแบบเต็ม

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.6)$$

3.1.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอนุภาคของไหล ในเทอมขึ้นส่วนย่อยของไหล

ในกฎของการอนุรักษ์โมเมนตัมและพลังงานนั้น จะมีการกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอนุภาคของไหล คุณสมบัติแต่ละอย่างของอนุภาคจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง (x, y, z) ของอนุภาคและเวลา (t) ในการศึกษานี้เรากำหนดให้ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อหน่วยมวล ด้วยสัญลักษณ์ ϕ โดยการเปลี่ยนแปลงของ ϕ เทียบกับเวลาของอนุภาคของไหล $D\phi/Dt$ คือ

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{\partial\phi}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial\phi}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial\phi}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

และโดยที่ $dx/dt = u$, $dy/dt = v$ และ $dz/dt = w$ หากแทนค่าดังกล่าวไปในสมการข้างบน จะได้ว่า

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + u \frac{\partial\phi}{\partial x} + v \frac{\partial\phi}{\partial y} + w \frac{\partial\phi}{\partial z} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \quad (3.7)$$

$D\phi/Dt$ เป็นนิยามของอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ϕ ต่อหน่วยมวล ในกรณีของสมการอนุรักษ์มวล เราสนใจที่จะพัฒนาสมการสำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยปริมาตร อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ϕ สามารถถูกแปลงให้เป็นคุณสมบัติเชิงปริมาตรได้โดยการคูณความหนาแน่น ρ เข้าไปกับเทอม $D\phi/Dt$ ดังนั้น

$$\rho \frac{D\phi}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \right) \quad (3.8)$$

รูปแบบนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอธิบายความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของของไหล ในปริมาตรเล็กๆ ที่หยุดนิ่งหนึ่งๆ เป็นการนิยามความสัมพันธ์ระหว่าง 1) อนุพันธ์ของคุณสมบัติ ϕ ของอนุภาคของไหล กับ 2) อัตราเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในชิ้นส่วน หรือปริมาตรย่อยๆ ของของไหลนั้น

ต่อไปนี้หากเราหันมาพิจารณากฎการอนุรักษ์ของมวล ค่าของมวลต่อหน่วยปริมาตร (ในที่นี้คือ ความหนาแน่น ρ) คือพารามิเตอร์ที่เรากำลังศึกษา เมื่อพิจารณาผลรวมของ 1) อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นในปริมาตรเล็กๆ และ 2) ผลของการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการพาในสมการอนุรักษ์มวล (3.4) ก็คือ

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = \text{div}(\rho\mathbf{u})$$

ดังนั้นรูปทั่วไปของ เทอมทั้งสองเทอมนี้ สำหรับคุณสมบัติใดๆ ของของไหล ϕ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} = \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (3.9) เทอมแรก คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ ϕ ต่อหน่วยปริมาตรบวกกับเทอมที่สอง คือการไหลสุทธิของ ϕ ต่อปริมาตรที่ออกจากชิ้นส่วนย่อยของไหล ซึ่งเราสามารถนำมาเขียนใหม่เพื่อให้ได้ภาพความสัมพันธ์ ระหว่างผลรวมของทั้งสองเทอมนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในอนุภาคของไหล ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \rho \left[\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \right] + \phi \left[\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\mathbf{u}) \right] = \rho \frac{D\phi}{Dt} \quad (3.10)$$

เทอม $\phi[\partial\rho/\partial t + \text{div}(\rho\mathbf{u})]$ เท่ากับศูนย์เนื่องจากสมการอนุรักษ์มวล (3.4) จากความสัมพันธ์ดังแสดงใน (3.10) จะได้ว่า

อัตราการเพิ่มของ ϕ สำหรับ	+	อัตราการไหลสุทธิของ ϕ ที่	=	อัตราการเพิ่มของ ϕ
ชิ้นส่วนย่อยของไหล		ออกจากชิ้นส่วนย่อยของไหล		สำหรับอนุภาคของไหล

3.1.3 สมการโมเมนตัมแบบ 3 มิติ

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่า “อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอนุภาคของไหลเท่ากับผลรวมของแรง ที่กระทำต่ออนุภาค”

อัตราการเพิ่มโมเมนตัม	=	ผลรวมแรงที่กระทำ
ของอนุภาคของไหล		ต่ออนุภาคของไหล

อัตราการเพิ่มโมเมนตัมต่อหน่วยปริมาตรของอนุภาคของไหลในทิศ x, y และ z กำหนดได้โดย

$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (3.11)$$

เราแบ่งประเภทของแรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหลเป็นสองแบบ คือ

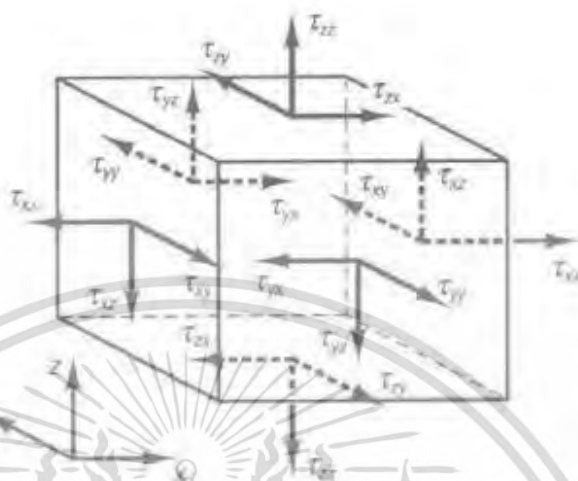
- แรงกระทำที่ผิว (surface forces) ได้แก่ แรงเนื่องจากความดัน แรงเนื่องจากความหนืดแรงโน้มถ่วง
- แรงกระทำในปริมาตร (body forces) ของชิ้นส่วนย่อยของของไหล ได้แก่ แรงหมุนหนีศูนย์แรงแม่เหล็กไฟฟ้า coriolis force

โดยทั่วไปเทอมของแรงกระทำที่ผิวจะถูกจัดกลุ่มแยกออกต่างหาก และเทอมของแรงกระทำภายในปริมาตรจะถูกพิจารณาเป็นเทอมของการเพิ่มและลดโมเมนตัมแยกออกมาอีกเทอมหนึ่ง

ความเค้นที่กระทำต่อชิ้นส่วนย่อยของของไหล สามารถนิยามได้ด้วยเทอมของความดัน และเทอมความเค้นย่อยเนื่องจากความหนืด μ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ความดันซึ่งมองว่าเป็นความเค้นตั้ง

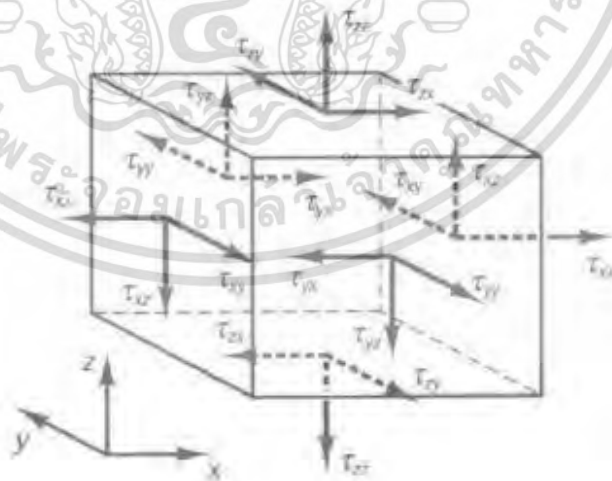
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉาก ถูกแทนด้วย p ส่วนความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืดแทนโดย τ สัญลักษณ์ τ_{ij} ถูกประยุกต์ใช้เพื่อชี้ให้เห็นถึงทิศทางของความเค้นเนื่องจากความหนืด ตัวห้อย i และ j ใน τ_{ij} ชี้ให้เห็นถึงความเค้นย่อย ที่กระทำในทิศทาง j บนพื้นที่ที่มีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทาง i นั้นเอง



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของความเค้นบนผิวหน้าทั้งสามทิศทาง ของชิ้นส่วนของไหล

เริ่มแรกเราพิจารณาแรงกระทำในทิศทาง x เนื่องจากความดันและความเค้นย่อย τ_{xy} , τ_{yz} และ τ_{xx} ดังในรูปที่ 3.4 ขนาดของแรงที่กระทำบนพื้นผิวเกิดจากผลคูณของความเค้นและพื้นที่ และที่มีทิศทางเดียวกับแกนอ้างอิงโดยมีเครื่องหมายบวก และมีค่าเป็นเครื่องหมายลบเมื่อทิศทางตรงข้ามแรงสุทธิในทิศทาง x คือผลรวมของแรงย่อยที่กระทำบนชิ้นส่วนย่อยของไหล ในทิศทางดังกล่าว



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบของความเค้นในทิศทาง x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผิวหน้าที่ E, W เราได้ว่า

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z +$$

$$\left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left(- \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \quad (3.12ก)$$

แรงสุทธิในทิศทาง x บนผิวหน้า N, S ได้ว่า

$$- \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (3.12ข)$$

แรงสุทธิในทิศทาง x บนผิวหน้า T, B ได้ว่า

$$- \left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.12ค)$$

ผลรวมแรงต่อหน่วยปริมาตรทั้งหมดเนื่องจากความเค้นที่ผิวหน้าจะเท่ากับผลรวมของ (3.12ก), (3.12ข) และ (3.12ค) ที่หารด้วยปริมาตรสุทธิ

$$\frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (3.13)$$

เทอมที่ปรากฏใน (3.13) นี้ ยังไม่รวมการพิจารณาแรงกระทำภายในชิ้นส่วนของของไหล ซึ่งสามารถถูกรวมได้โดยการพิจารณาเป็นแหล่งสร้างหรือทำลายโมเมนตัม เป็นหน่วยของโมเมนตัมต่อปริมาตรต่อเวลาในทิศทาง x

ในขั้นตอนนี้สมการโมเมนตัมในทิศทาง x หาได้โดยการกำหนดให้อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมในทิศทาง x และอนุภาคการไหล (3.11) เท่ากับผลรวมของแรงในทิศทาง x ที่กระทำต่อชิ้นส่วนของไหลโดยความเค้นที่ผิว บวกกับอัตราการสร้างหรือสูญสลายของโมเมนตัมในทิศทาง x เนื่องจากแรงภายในชิ้นส่วนของของไหลนั้นตามแนวแกน x

$$\rho \frac{Du}{Dt} = - \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (3.14ก)$$

ในทำนองเดียวกันโมเมนตัมในทิศทาง y จะเขียนได้ว่า

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p+\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (3.14ข)$$

และโมเมนตัมในทิศทาง z คือ

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p+\tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (3.14ค)$$

ความดันมีลักษณะเป็นความเค้นอัดตั้งฉาก (compressive normal stress) ซึ่งโดยทั่วไปมีเครื่องหมายเป็นลบ ในกรณีที่มีความเค้นตั้งฉากเนื่องจากความหนืดมีลักษณะเป็นความเค้นดึง (tensile normal stress) จะมีเครื่องหมายบวก

เทอมของการสร้างหรือสูญหายของโมเมนตัม $S_{Mx} = 0$, $S_{My} = 0$ และ S_{Mz} (3.14 ก-ค) คือแรงกระทำภายในของแต่ละทิศทาง ตัวอย่างเช่นแรงกระทำภายในเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะถูกกำหนดให้มีค่า

$$S_{Mx} = 0, \quad S_{My} = 0 \quad \text{และ} \quad S_{Mz} = -\rho g$$

3.1.4 สมการพลังงานในระบบ 3 มิติ

สมการพลังงานถูกหาได้จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวไว้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของอนุภาคของไหล เท่ากับอัตราการเพิ่มความต้านแก่นุภาคบวกกับอัตราการทำงานของอนุภาคการไหล

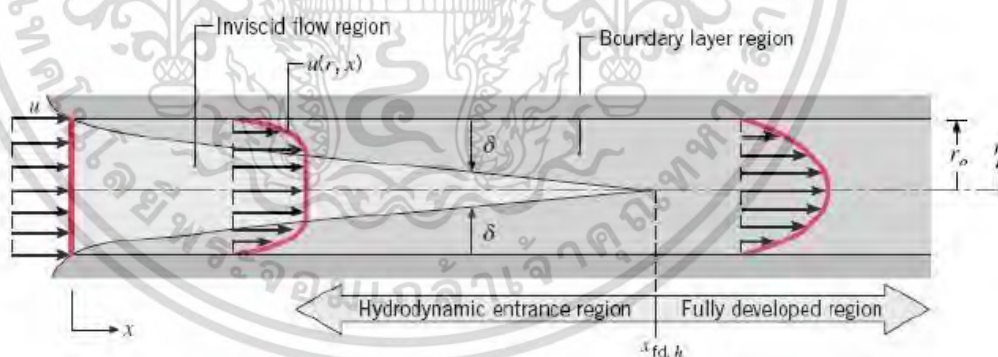
อัตราการเพิ่มขึ้นของพลังงานของอนุภาคของไหลต่อหน่วยปริมาตร คือ

$$\rho \frac{DE}{Dt} \quad (3.15)$$

3.2 การไหลของของไหล

3.2.1 สถานะการไหล

พิจารณาการไหลแบบราบเรียบ ในท่อกลมที่มีรัศมี r_0 ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การก่อตัวของบาวนด์ลีเรเยอร์ของการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม

สำหรับการไหลภายในท่อนั้น ต้องคำนึงถึงการขยายตัวของช่วงบริเวณทางเข้า (entry region) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นเป็นอย่างไร แบบราบเรียบหรือปั่นป่วน เลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลภายในท่อกลมกำหนดเป็น

$$Re_D = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \quad (3.16)$$

ซึ่ง u_m เป็นความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ

D_h เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) ของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขเรย์โนลด์ส์วิกฤติ สำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลงของการไหล จากราบเรียบเป็นปั่นป่วนเริ่มต้นจาก

$$Re_{D,c} \approx 2300$$

และการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มที่ ที่ $Re_D \geq 4000$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (คือ $Re_D \leq 2300$) ความยาวของช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวหาได้จากสมการ

$$\left(\frac{x_{fd,h}}{D_h}\right)_{lam} \approx 0.05 Re_D \quad (3.17)$$

3.2.2 ความเร็วเฉลี่ย (mean velocity)

ข้อแตกต่างของการไหลภายในและการไหลภายนอกก็คือ เราไม่สามารถใช้ความเร็วของกระแสอิสระ u_∞ ของของไหลได้ เนื่องจากความเร็วภายในท่อจะแปรเปลี่ยนทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังนั้นจึงใช้ความเร็วเฉลี่ย u_m (Mean velocity) แทน โดยนิยามว่าความเร็วเฉลี่ยนี้คือ ความเร็วที่เมื่อคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อและความหนาแน่นของของไหลแล้วจะเท่ากับอัตราการไหลของมวลซึ่งได้

$$\dot{m} = \rho u_m A_c \quad (3.18)$$

ถ้าเป็นการไหลสถานะคงที่ ที่อัดตัวไม่ได้แล้ว ภายในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ค่า \dot{m} และ u_m ย่อมมีค่าคงที่ตลอดความยาวท่อ

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

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad (3.19)$$

เพราะว่า ค่า \dot{m} อาจหาได้จากการอินทิเกรตของฟลักซ์มวล (ρu) ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c \quad (3.20)$$

ดังนั้นสำหรับท่อกลม กรณีของไหลอัดตัวไม่ได้ แล้วจะได้

$$u_m = \frac{\int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c}{\rho A_c} = \frac{2\pi\rho}{\rho\pi r_0^2} \int_0^{r_0} u(r, x) r dr = \frac{2}{r_0^2} \int_0^{r_0} u(r, x) r dr \quad (3.21)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 รูปร่างของความเร็วของของไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว

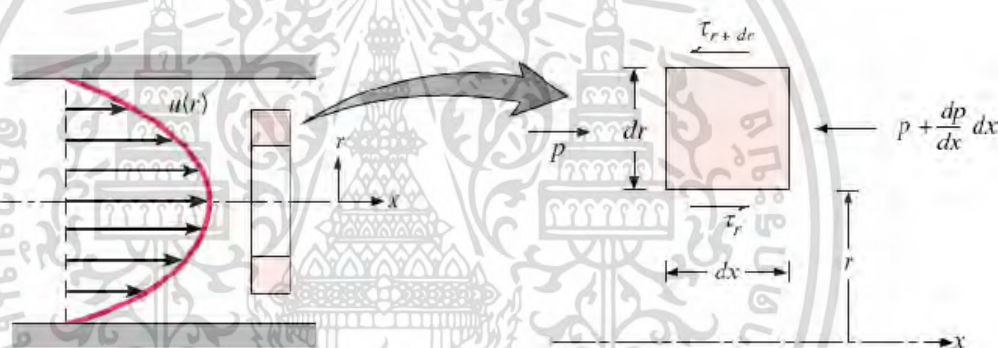
รูปทรงของความเร็วสามารถหาได้ สำหรับการไหลแบบราบเรียบของของไหลที่คุณสมบัติคงที่อัดตัวไม่ได้ ในช่วงที่ปรับตัวเต็มที่แล้วของท่อกลม (สำหรับปั่นป่วน ส่วนใหญ่ต้องอาศัยผลจากการทดลองเป็นหลัก) โดยทั่วไปจะเป็นฟังก์ชันของรัศมี

สิ่งสำคัญสำหรับเงื่อนไขข้างต้นก็คือ ค่าความเร็วในแนวรัศมีและการเปลี่ยนแปลงของความเร็วตามแนวแกนทุกๆ แห่งมีค่าเป็นศูนย์

$$v = 0 \quad \text{และ} \quad \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) = 0$$

ดังนั้น ความเร็วตามแนวแกนจะมีค่าขึ้นอยู่กับ r เท่านั้น [$u(x, r) = u(r)$]

ความเร็วตามแนวแกนหาได้ จากการแก้สมการที่เหมาะสมของสมการโมเมนตัม ตามแนว x หรืออาจจะหาโดยคิดสมดุลของการอนุรักษ์โมเมนตัมก็ได้ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สมดุลแรงบนอิลิเมนต์ dx สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ก่อตัวเต็มที่ในท่อกลม

สำหรับอิลิเมนต์ดัดฟเฟอเรนเชียลรูปวงแหวนของรูปที่ 3.6 สามารถเขียนสมดุลของแรงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \tau_r(2\pi r dx) - \left\{ \tau_r(2\pi r dx) + \frac{d}{dr} [\tau_r(2\pi r dx)] dr \right\} \\ & + p(2\pi r dr) - \left\{ p(2\pi r dr) + \frac{d}{dx} [p(2\pi r dr)] dx \right\} = 0 \end{aligned}$$

ซึ่งลดรูปเป็น
$$-\frac{d}{dr} (r\tau_r) = r \frac{dp}{dx} \quad (3.22)$$

จากกฎความหนืดของนิวตัน เราทราบว่า $\tau_r = \mu \frac{du}{dr}$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น (3.22) จะเป็น
$$\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dp}{dx} \quad (3.23)$$

เพราะว่า $\frac{dp}{dx}$ นั้นไม่ขึ้นกับ r ดังนั้น เราสามารถอินทิเกรต (3.23) ได้

$$r \frac{du}{dr} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \frac{r^2}{2} + C_1$$

และ
$$u(r) = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \frac{r^2}{4} + C_1 \ln r + C_2$$

จากเงื่อนไขที่ขอบได้ว่า $u(r_0) = 0$ และ $\frac{\partial u}{\partial r}|_{r=0} = 0$ จะได้

$$u(r) = -\frac{1}{4\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) r_0^2 \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (3.24)$$

ดังนั้น รูปทรงของความเร็วสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้วจะเป็น พาราโบลาและจะสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงความดัน $\left(\frac{dp}{dx} \right)$ ต้องเป็นลบเสมอ

ผลลัพธ์ที่กล่าวมานี้อาจใช้หาความเร็วเฉลี่ยได้ (u_m) โดยแทนสมการ (3.23) ใน (3.24) แล้วทำการอินทิเกรตจะได้

$$u_m = -\frac{r_0^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \quad (3.25)$$

แทนสมการ (3.24) ใน (3.25) จะได้รูปร่างของความเร็วเป็น

$$\frac{u(r)}{u_m} = 2 \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (3.26)$$

เพราะว่า u_m สามารถหาได้จากการรู้อัตราการไหลของมวล ดังนั้นสมการ (3.26) สามารถหาความสัมพันธ์ของความดันได้ $\left(\frac{dp}{dx} \right)$

3.2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทานในการไหลแบบปรับตัวเต็มที่แล้ว

วิศวกรส่วนใหญ่ให้ความสนใจเกี่ยวกับความดันตกคร่อมในการไหลของของไหลภายในท่อ เนื่องจากตัวพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับการหาขนาดกำลังงานของปั๊มหรือพัดลมโดยตรง ในการหาความดันตกคร่อม เราจะใช้ ตัวประกอบเสียดทานของ Moody (หรือ Darcy) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ไร้มิติ โดยนิยามว่า

$$f = \frac{-(dp/dx)D}{\rho u_m^2/2} \quad (3.27)$$

ค่านี้ต่างกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน C_f ซึ่งบางครั้งเรียกว่า “ตัวประกอบเสียดทานเฟอนิ่ง” ซึ่งนิยามว่า

$$C_f = \frac{\tau_s}{\rho u_m^2/2} \quad (3.28)$$

เพราะว่าแรงเฉือนบนผิวของของไหลเท่ากับ (ทิศทางตรงกันข้าม) แรงบนผิวของของไหล ดังนั้นความเค้นเฉือนบนผิวกำหนดเป็น $\tau_s = -\mu(du/dr)_{r=r_0}$ จากสมการ (3.28) ได้

$$C_f = \frac{f}{4} \quad (3.29)$$

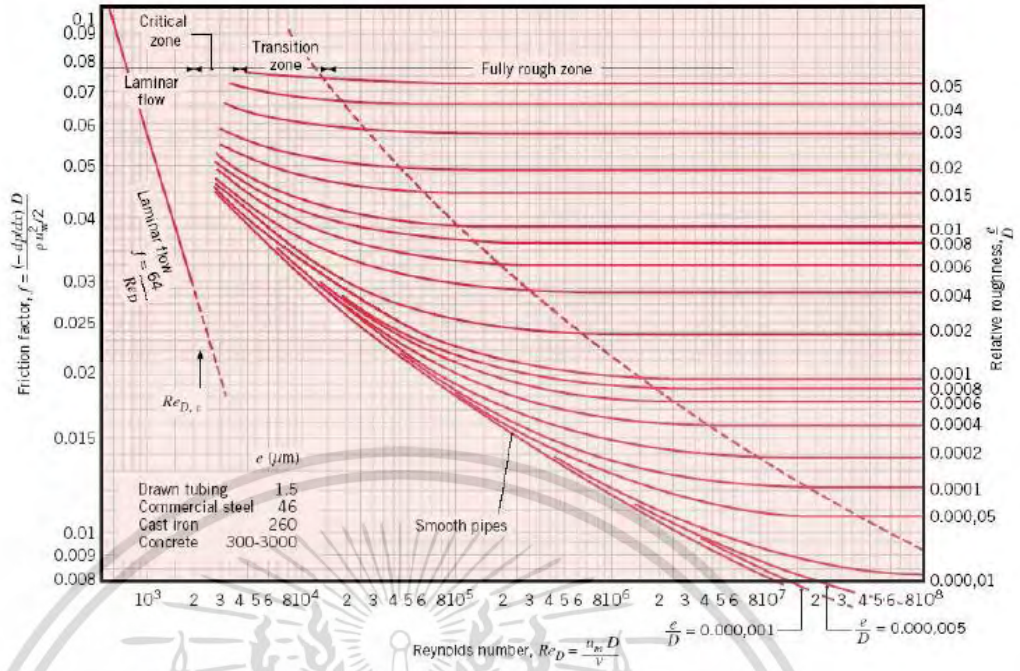
แทนสมการ (3.28) และ (3.29) ลงใน (3.27) สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ได้

$$f = \frac{64}{Re_D} \quad (3.30)$$

นอกจากนี้ เรารู้ว่า ความดันตกคร่อม (Δp) ระหว่างระยะ x_1 ถึง x_2 เป็น

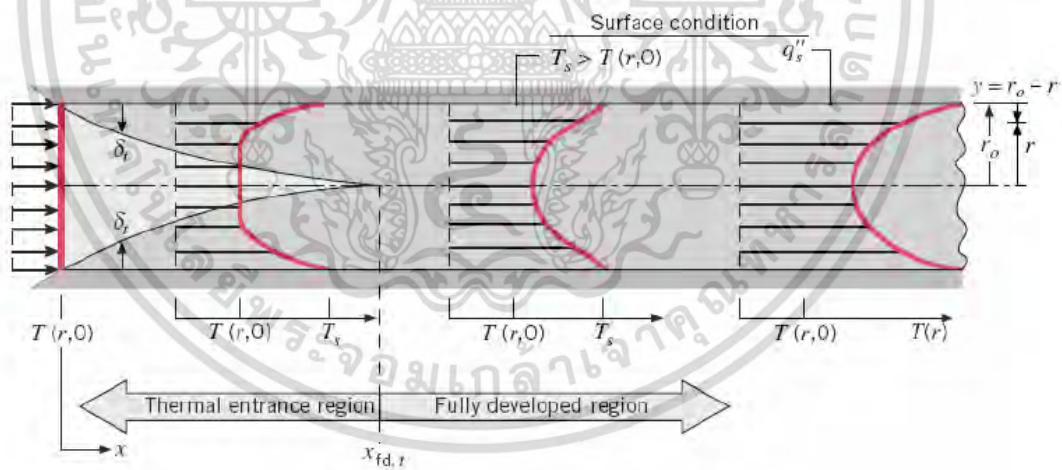
$$\Delta p = - \int_{p_1}^{p_2} dp = f \frac{\rho u_m^2}{2D} \int_{x_1}^{x_2} dx = f \frac{\rho u_m^2}{2D} (x_2 - x_1) \quad (3.31)$$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบซึ่งค่า f หาได้จากรูปที่ 3.7 หรือจากสมการ (3.31)



รูปที่ 3.7 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อกลม

3.3 การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.8 การก่อตัวของบาวนด์รีเลเยอร์ทางความร้อนในท่อกลม

เรามาศึกษาอิทธิพลของความร้อนข้างล่างของไหลเข้าไปในท่อตามรูปที่ 3.8 ที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ $T(r,0)$ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิวแล้ว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและบาวนด์รีเลเยอร์ของความร้อนจะเริ่มก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสถานะที่ผิวของท่อคงที่โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิวสม่ำเสมอคงที่ ($T_s = \text{คงที่}$) หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิวสม่ำเสมอ ($q''_s = \text{คงที่}$) สถานะที่ปรับตัวคงที่แล้วของความร้อน (thermally fully developed condition) ก็เกิดขึ้น ในที่สุดรูปร่างของอุณหภูมิที่ปรับตัวเต็มที่แล้วจะแตกต่างกันตามเงื่อนไข ไม่ว่าจะกรณีอุณหภูมิผิวคงที่หรือฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไหลแบบราบเรียบระยะความยาวของทางเข้าสำหรับปรับตัว จะเป็น

$$\left(\frac{x_{fd,t}}{D}\right)_{lam} \approx 0.05 Re_D Pr \quad (3.32)$$

โดยการเปรียบเทียบบริเวณทางเข้า (entrance region) ของอุณหภูมิตามสมการ (3.32) กับสมการของความเร็ว (3.2) จะพบว่าต่างกันที่ค่า Pr เท่านั้น จึงพอสรุปได้ว่า ถ้า $Pr > 1$ แล้ว ไฮโดรไดนามิคบาวนด์รีเลเยอร์ ขยายเร็วกว่า บาวนด์รีเลเยอร์ของความร้อนมาก ($x_{fd} > x_{fat}$) และจะกลับกันถ้า $Pr < 1$ สำหรับค่า Pr สูงๆเช่น น้ำมัน ($Pr \geq 100$) x_{fd} จะน้อยกว่า x_{fat} มากมายและอาจสมมติได้ว่ารูปทรงของความเร็วที่ปรับตัวเต็มที่แล้วมีตลอดช่วงบริเวณทางเข้าของความร้อนในทางกลับกันของไหลที่มีค่า Pr ต่างมากๆเช่น โลหะเหลว ($Pr \leq 0.05$) รูปร่างอุณหภูมิมักจะเป็นแบบอัดตัวเต็มที่แล้วได้เร็วมากในขณะที่รูปร่างของความเร็วยังอยู่ในช่วงกึ่งก่อดำอยู่ ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วนเงื่อนไขทั้งสองเกือบจะเป็นอิสระไม่ขึ้นกับ Pr และโดยการประมาณคร่าวๆก่อนได้ว่า $x_{fat}/D = 10$

3.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย

ในเรื่องอุณหภูมินี้ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ย (T_m) ในลักษณะที่เหมือนกัน u_m โดยให้ความหมาย

$$T_m = \frac{\int_{A_c} \rho u c_v T dA_c}{m c_v} \quad (3.33)$$

สำหรับท่อกลม และเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ จะได้ว่า

$$T_m = \frac{2}{u_m r_0^2} \int_0^{r_0} u T r dr \quad (3.34)$$

ค่าของ T_m จะเปลี่ยนตามแนว x ถ้ามีความร้อนเข้าหรือออกจากของไหล ซึ่งต่างจาก u_m ที่มีค่าคงที่ สำหรับท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

ฟลักซ์ความร้อน (q''_s) ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ หาได้จากกฎเย็นตัวของนิวตัน

$$q''_s = h(T_s - T_m) \quad (3.35)$$

ซึ่ง h เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ตำแหน่งใดๆ อย่างไรก็ตามมีความแตกต่างกันระหว่าง T_m และ T_∞ เนื่องจาก T_∞ คงที่ในทิศทางของการไหล ส่วน T_m ต้องเปลี่ยนแปลงตามทิศทางนั้นคือ dT_m/dx จะไม่เป็นศูนย์ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ค่าของ T_m เพิ่มตามระยะ x ถ้าการถ่ายเทความร้อนเป็นไปจากผิวสู่ของไหล ($T_s > T_m$) และ T_m จะลดลงกับระยะ x ถ้า ($T_s < T_m$)

3.3.2 สภาวะการปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed conditions)

เนื่องจากการพาความร้อนเกิดขึ้นจริงระหว่างผิวและของไหลคืออุณหภูมิของไหลต้องยังคงเปลี่ยนแปลงตามระยะ x สิ่งที่ยากู้คือเกิดภาวะ thermal fully developed หรือยัง สถานการณ์นี้จะแตกต่างกันไปจากกรณีการไหลของของไหลที่ซึ่ง $(\partial u/\partial x) = 0$ ในช่วงบริเวณปรับตัวเต็มที่แล้ว ในทางกลับกันถ้ามีการพาความร้อนแล้ว (dT_m/dx) เช่นเดียวกับ $(\partial T/\partial x)$ ที่รัศมี r ใดๆ จะไม่เป็นศูนย์ ผลที่ตามมารูปร่างของอุณหภูมิ $T(r)$ จะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x ซึ่งเปรียบเสมือนว่า สภาวะการปรับตัวเต็มที่แล้วของอุณหภูมิไม่เคยเกิดขึ้นเลย ปรากฏการณ์นี้จะต้องจัดใหม่ให้อยู่ในรูปไร้มิติของอุณหภูมิเพื่อให้ได้เงื่อนไข

จากสำหรับการนำแบบทรานเซียนท์และสมการอนุรักษ์พลังงาน ได้ความแตกต่างอุณหภูมิไร้มิติในรูป $(T_s - T)/(T_s - T_m)$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีอยู่จริงซึ่งอัตราส่วนนี้จะเป็นอิสระกับ x นั่นคือถึงแม้ว่า $T(r)$ ยังคงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x แต่รูปร่างสัมพันธ์ของ profile นี้จะไม่เปลี่ยนแปลง และการไหลแบบนี้เรียกว่า “การไหลปรับตัวเต็มที่แล้วทางความร้อน” (thermally fully developed) และจะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s(x) - T(r,x)}{T_s(x) - T_m(x)} \right]_{f,d,t} = 0 \quad (3.36)$$

โดยที่ T_s เป็นอุณหภูมิผิวต่อ T เป็นอุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใดๆ
 T_m เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ

เงื่อนไขที่กำหนดให้สำหรับสมการ (3.36) ซึ่งจะเกิดขึ้นในท่ออาจจะเป็นกรณี q''_s คงที่หรือ T_s คงที่ก็ได้ เงื่อนไขที่ผิวแบบนี้เกิดขึ้นมากในทางวิศวกรรม เช่น ผนังท่อที่ซึ่งได้รับความร้อนจากไฟฟ้าหรือ ผิวภายนอกที่ได้รับจากการแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอจะเป็นกรณีของ q''_s คงที่ ส่วนกรณี T_s คงที่จะเกิดขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนสภาวะ (เนื่องจากการเดือดหรือการควบแน่น) เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก

สังเกตว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะเกิดเงื่อนไขทั้งสองอย่างนี้พร้อมกัน (เกิดกรณี T_s และ q''_s คงที่พร้อมกัน) ถ้า q''_s คงที่ T_s ต้องแปรเปลี่ยนกับระยะ x

รูปแบบที่สำคัญจำนวนมากของการไหลที่ปรับตัวแล้วทางความร้อน (thermally developed flow) มักอ้างถึงสมการ (3.36) เพราะว่าอัตราส่วนอุณหภูมินี้เป็นอิสระกับ x ค่าอนุพันธ์ของอัตราส่วนนี้เทียบกับ r ต้องไม่ขึ้นกับ x การหาค่าอนุพันธ์นี้ที่ผิวท่อ (สังเกตว่า T_s และ T_m คงที่) เราจะได้

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right) \Big|_{r=r_0} = \frac{-\partial T/\partial r|_{r=r_0}}{T_s - T_m} \neq f(x)$$

แทน $\partial T/\partial r$ จากกฎของฟูเรียร์ ซึ่ง จากรูป 3.8 อยู่ในรูป

$$q''_s = -k \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_0}$$

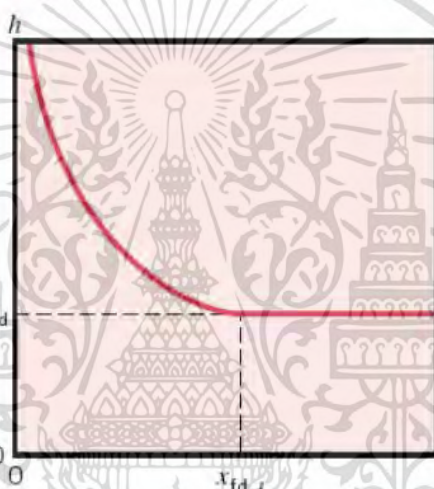
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับ q''_s จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน จะได้

$$\frac{h}{k} \neq f(x) \quad (3.37)$$

ดังนั้นการไหลแบบปรับตัวเต็มที่แล้วของอุณหภูมิของของไหล โดยมีคุณสมบัติต่างๆที่ ค่า h ที่ตำแหน่งใดๆจะคงที่ไม่ขึ้นกับระยะ x

สมการ (3.37) ใช้ไม่ได้กับช่วงระยะทางเข้า (entrance region) ที่ซึ่ง h แปรตาม x ตามที่แสดงในรูปที่ 3.9 เพราะว่า $\delta_t = 0$ ที่ทางเข้าของท่อ ดังนั้น h จะมีค่าสูงมากที่ $x = 0$ อย่างไรก็ตามค่า h จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดขบวนการไหลเยอร์ของอุณหภูมิขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ค่าคงที่ซึ่งก็คือเข้าสู่ช่วงปรับตัวเต็มที่แล้วนั่นเอง



รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลง h ตามแนวแกน สำหรับการไหลภายในท่อ

กรณีพิเศษ สำหรับฟลักซ์ความร้อน (q''_s) คงที่ เพราะว่าทั้งค่า h และ q''_s คงที่ ในช่วงปรับตัวเต็มที่แล้ว จากสมการ (3.37) ได้ว่า

$$\frac{dT_s}{dx} \Big|_{fd,t} = \frac{dT_m}{dx} \Big|_{fd,t} \quad q''_s = \text{constant} \quad (3.38)$$

ถ้ากระจาย (3.38) และหาคาตอบสำหรับ $\partial T/\partial x$ จะได้

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{fd,t} = \frac{dT_s}{dx} \Big|_{fd,t} - \frac{(T_s - T)dT_s}{(T_s - T_m)dx} \Big|_{fd,t} + \frac{(T_s - T)dT_m}{(T_s - T_m)dx} \Big|_{fd,t} \quad (3.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจากสมการ (3.39) ได้

$$\frac{\partial T}{\partial x} |_{f,d,t} = \frac{dT_m}{dx} |_{f,d,t} \quad q''_s = \text{constant} \quad (3.40)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวแกนจะเป็นอิสระกับตำแหน่งในแนวรัศมี

สำหรับกรณีของ T_s คงที่ $(dT_s/dx) = 0$ จากสมการ (3.40) ได้ว่า

$$\frac{\partial T}{\partial x} |_{f,d,t} = \frac{(T_s - T) dT_m}{(T_s - T_m) dx} |_{f,d,t} \quad T_s = \text{constant} \quad (3.41)$$

โดยที่ค่า $\partial T/\partial x$ จะขึ้นอยู่กับแนวรัศมี

จากที่กล่าวมาพอเชื่อถือได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นตัวแปรที่สำคัญมากสำหรับการไหลภายในท่อ เพื่อที่จะอธิบายการไหลนั้นๆ จำเป็นต้องรู้การแปรเปลี่ยนของมันเป็นกับค่า x ซึ่งการแปรเปลี่ยนหาได้โดยการประยุกต์การสมดุลพลังงานทั้งหมดกับการไหล

3.4 สหพันธ์การพาความร้อนสำหรับท่อที่ไม่กลม











ถึงแม้ว่าเรามีข้อจำกัดมากเกี่ยวกับการพิจารณาต่อการไหลภายในท่อกลม การประยุกต์ทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จำนวนมากเกี่ยวข้องกับการพาความร้อนในท่อที่ไม่กลม สมการที่กล่าวมาแล้วใช้ได้ดีพอประมาณกับท่อที่ไม่มีพื้นที่หน้าตัดกลม โดยการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางสิทธิผลเป็นความยาวเฉพาะ (characteristic length) ซึ่งเรียกว่า “เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก” (hydraulic diameter) และนิยามเป็น

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (3.42)$$

ที่ซึ่ง A_c และ P เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของการไหลตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางนี้จะใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น Re_D และ Nu_D

ตารางที่ 3.1 ค่า Nu_D และ f สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อพื้นที่หน้าตัดต่างๆ กัน Incropera et al. (1996)

$$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$$

Cross Section	$\frac{b}{a}$	(Uniform q_s'')	(Uniform T_s)	$f Re_{D_h}$
	—	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

Used with permission from W. M. Kays and M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1993.

สำหรับกรณีเช่นนั้น ค่า Nu_D สอดคล้องกับเงื่อนไขปรับตัวเต็มที่สามารถหาได้จากตารางที่ 3.1 สำหรับการไหลแบบราบเรียบ เนื่องจากท่อมีหลายรูปร่างลักษณะ หากนำค่าสหพันธ์ที่ใช้ในทอกลมมาใช้กรณีนี้อาจให้ความแม่นยำน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพื้นที่หน้าตัดที่มีมุมคมหลายมุม

3.5 สมรรถนะเชิงความร้อน (thermal performance)

Sripattanapit and Promvonge (2009) นำเสนอสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{(Nu/Nu_0)}{(f/f_0)^{1/3}} \quad (3.43)$$

- เมื่อ η คือ สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
 Nu คือ เลขนัสเซลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกัน
 Nu_0 คือ เลขนัสเซลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
 f คือ ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกัน
 f_0 คือ ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การกำหนดปัญหาและตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

4.1 สมมติฐานและสมการที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองในงานวิจัยที่ศึกษาได้อาศัยสมมติฐานดังต่อไปนี้

- พฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) และเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible)
- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คำนึงแรงวัตถุและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด
- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานของงานวิจัยในข้างต้น สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน โดยเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (4.1)$$

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_k) = -\frac{\partial P}{\partial x_k} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \right] \quad (4.2)$$

สมการพลังงาน:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k}{C_p} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (4.3)$$

สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมจะถูกดิสครีทไทซ์ (Discretized) โดยแบบแผน Power-law scheme ขณะที่สมการพลังงานจะถูกดิสครีทไทซ์ด้วย QUICK scheme แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมโดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) ในการหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า $10e-6$ สำหรับสมการความต่อเนื่องและ $10e-9$ สำหรับสมการพลังงาน

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ ค่าความดันตกคร่อม เลขนัสเซิลและสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งเลขเรย์โนลด์นิยามโดย

$$Re = \rho U_c D_c / \mu \quad (4.4)$$

เมื่อ U_c และ D_c คือความเร็วเฉลี่ยของอากาศบริเวณหน้าตัดที่น้อยที่สุดและเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อตามลำดับ

ค่าความดันตกคร่อม

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (4.5)$$

ค่าการถ่ายเทความร้อน ซึ่งถูกแสดงในรูปของเลขนัสเซิล

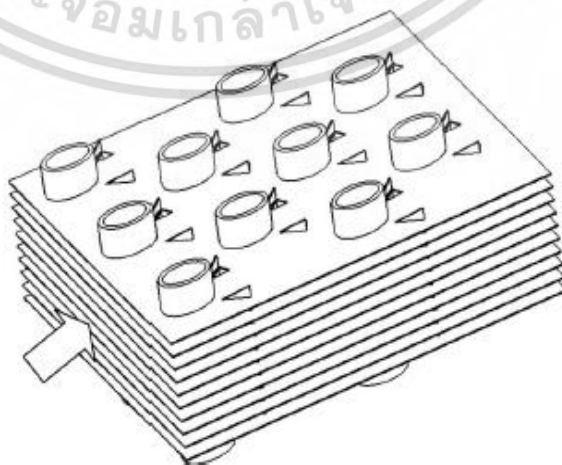
$$Nu_x = \frac{h_x D_c}{k} \quad (4.6)$$

สมรรถนะเชิงความร้อน

$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{1/3} \quad (4.7)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซิลและตัวประกอบเสียดทานของครีบริบเรียบซึ่งไม่ได้มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

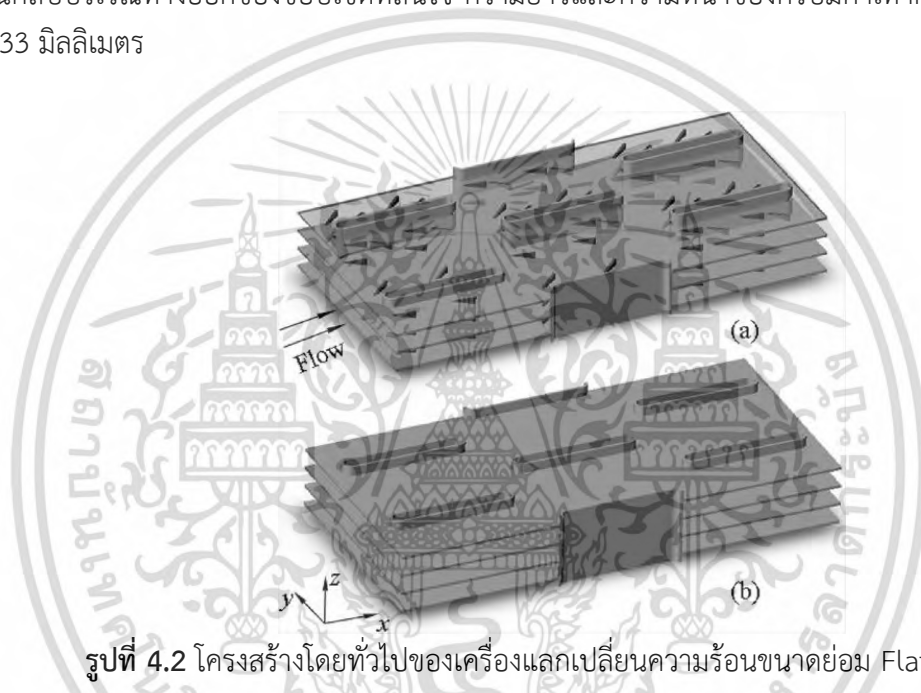
4.2 โครงสร้างแบบจำลองและเงื่อนไขที่ขอบ



รูปที่ 4.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นจำเป็นต้องแจ้งเจ้าหน้าที่การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube ซึ่งมีท่อจัดเรียงแบบเยื้อง (Staggered) ขอบเขตแบบจำลองที่ศึกษาจะพิจารณาเฉพาะส่วนหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กล่าวคือพิจารณาเฉพาะบริเวณที่อากาศไหลผ่านระหว่างครีบ โดยความสูงระหว่างครีบ (H) ความกว้าง (B) ความยาว (L) ของขอบเขตแบบจำลองมีค่าเป็น 3.2, 12.7 และ 64.4 มิลลิเมตรตามลำดับ รัศมีหลัก (Semi-major diameter) และรัศมีรอง (Semi-minor diameter) ของท่อมีค่าเท่ากับ 6.28 และ 3.77 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างท่อในแนวยาว (Longitudinal tube pitch) มีค่า 22 มิลลิเมตร ขอบเขตบริเวณก่อนทางเข้าและบริเวณทางออกแบบจำลองที่ศึกษามีการขยายเป็นจำนวน 10 เท่าและ 30 เท่าของความสูงระหว่างครีบเพื่อเป็นการยืนยันว่าพฤติกรรมการไหลก่อนเข้าสู่ขอบเขตแบบจำลองมีความสม่ำเสมอและไม่เกิดกระแสไหลวนย้อนกลับบริเวณทางออกของขอบเขตที่สนใจ ความยาวและความหนาของครีบมีค่าเท่ากับ 5.00 และ 0.133 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Flat fin tube

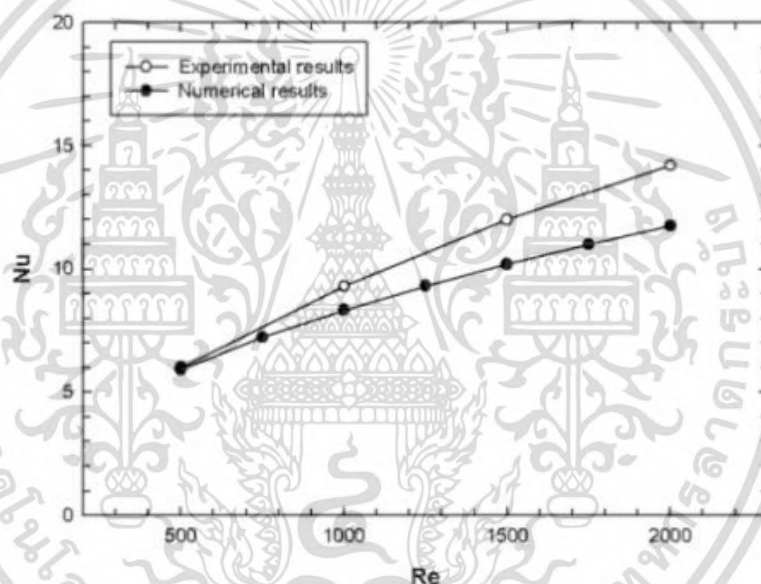
โครงสร้างทั่วไปสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมประเภท Flat fin tube ที่มีการจัดเรียงท่อแบบเยื้อง จะแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งขอบเขตที่ทำการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะบริเวณที่อากาศไหลผ่านระหว่างครีบ เช่นเดียวกับ Oval fin tube ความสูงระหว่างครีบ (H) ความกว้าง ความยาว ของขอบเขตแบบจำลองมีค่าเป็น 2, 8 และ 66 mm ตามลำดับ รัศมีหลัก (semi-major diameter) และรัศมีรอง (semi-minor diameter) ของท่อแบนมีค่าเท่ากับ 9.26 และ 1.26 mm ระยะห่างระหว่างท่อในแนวยาว (longitudinal tube pitch) มีค่า 22 mm ขอบเขตบริเวณก่อนทางเข้าและบริเวณทางออกของแบบจำลองที่ถูกขยายยาวออกไปเป็นระยะ 6H ขนาดความหนาและความยาวของปีกที่ใช้มีค่าคงที่เท่ากับ 0.3 และ 3.2 mm โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการจัดวางและความสูงของปีกรูปในทั้ง 2 แบบจำลองจะพิจารณาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

เงื่อนไขที่ขอบจะพิจารณาที่ทางเข้าของขอบเขตเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิ 340 K ไหลเข้าด้วยความเร็วในช่วง 1.70 ถึง 6.83 เมตรต่อวินาทีสำหรับ Oval fin tube และ ความเร็วในช่วง 2.13 ถึง 8.53 เมตรต่อวินาทีสำหรับ Flat fin tube สมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ กำหนดให้ผนังท่อมีอุณหภูมิที่ผิวคงที่ 300 K ไม่มีการลื่นไถล (No-slip conditions) และเป็นผนังที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่กับที่ (Stationary wall) นอกจากนั้นปีกรูปตัววีจะถูกกำหนดเป็นแผ่นกั้นที่มีความหนาซึ่งความร้อนไม่สามารถผ่านได้

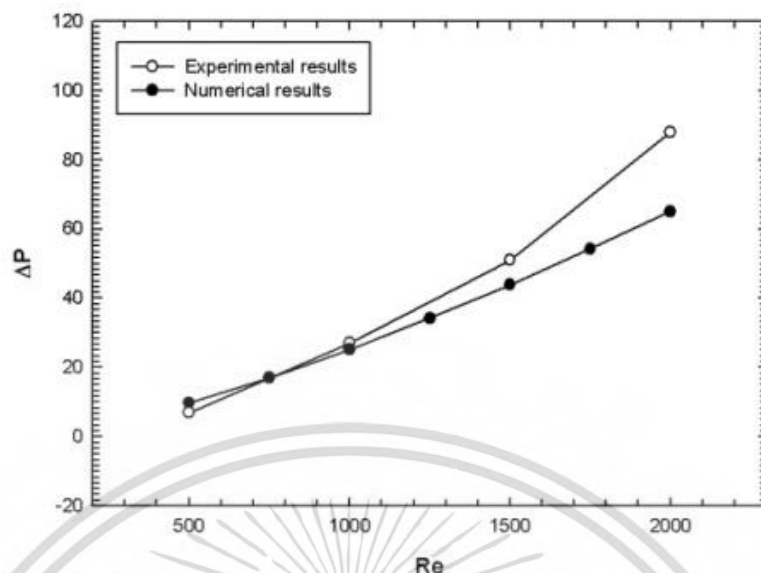
4.3 ผลการทดลองและการวิจารณ์

เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในแง่ของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณได้จากวิธีเชิงตัวเลขและค่าที่ได้จากการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้สามารถศึกษาได้จาก Chu et. al. (2009) โดยพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองเฉลี่ยไม่เกิน 10% ทั้งในส่วนของคุณสมบัติและค่าความดันตกคร่อม ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้โดยการคำนวณเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลการทดลองอย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของเลขนัสเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าความดันตกคร่อม

สำหรับกริดในแบบจำลองที่สนใจนั้น รูปแบบของกริดจะเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากมีเหมาะสมในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและมีการแบ่งแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) การหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือที่ 190,000 และ 590,000 พบว่าเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 360,000 เลขนีสเชิลและค่าตัวประกอบเสียดทานเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 2.5% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 360,000 ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าตัวแปรต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น

บทที่ 5

โครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดัน ตกคร่อมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี

5.1 อิทธิพลของปีกรูปแบบต่างๆ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Oval fin tube

5.1.1 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA V-Winglet)

5.1.1.1 ปีกเล็กรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA V-Winglet)

5.1.1.1.1 แบบจำลองทางกายภาพ

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมที่มีท่อจัดเรียงแบบเอียง โดยที่มีการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววีบนครีบ (V-Winglet) ในทิศทางสวนกระแสการไหล มุมปะทะ 30 องศา (มุมระหว่างปีกรูปตัววีมีค่าเท่ากับ 60 องศา) ปีกถูกติดตั้งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อรูปวงรี มีการพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ ซึ่งความสูงระหว่างครีบมีค่าเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร ความหนาและความกว้างของปีกมีค่าเท่ากับ 5.00 และ 0.133 มิลลิเมตร ตามลำดับ และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ



รูปที่ 5.1 แบบจำลองทางกายภาพและกริดของการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถว

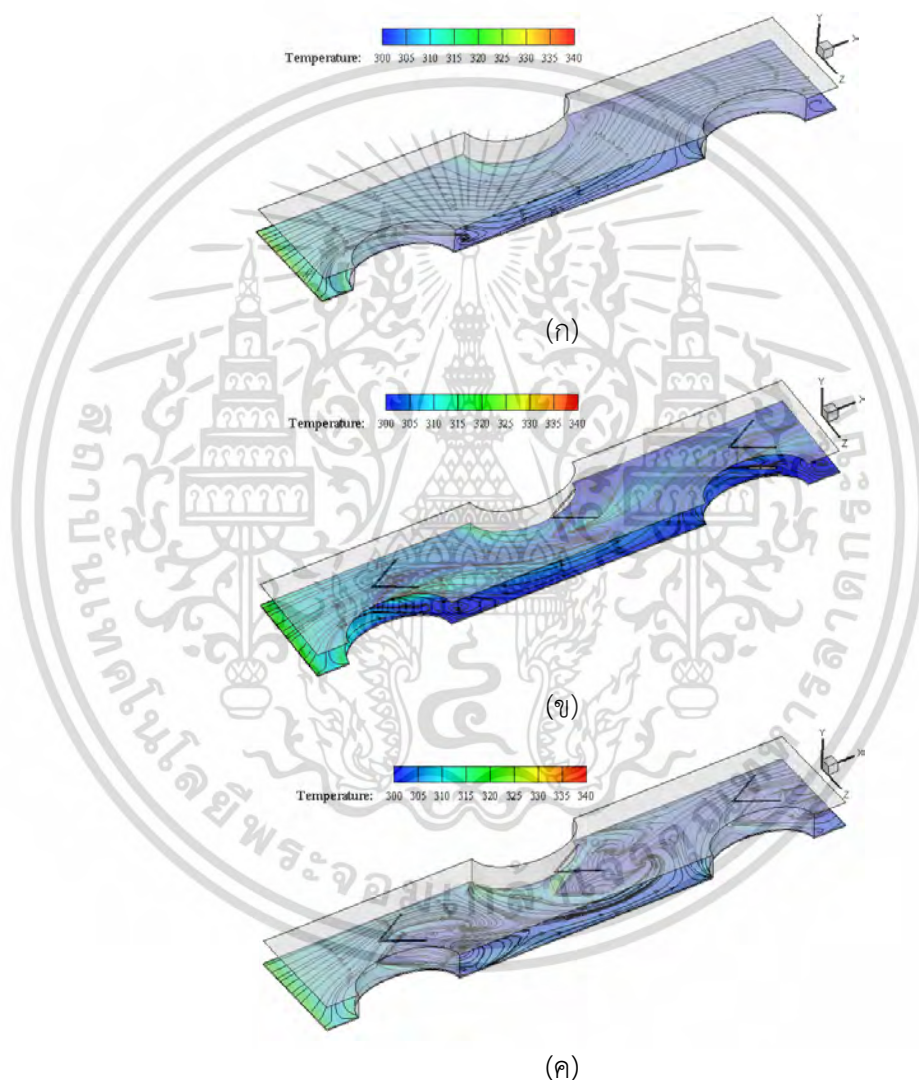
5.1.1.1.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.2 (ก) (ข) และ (ค) แสดงการเปรียบเทียบเส้นกระแสการไหลของอากาศสำหรับครีบเรียบ และครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีความสูง 50% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ซึ่งพบว่าพฤติกรรมการไหลของทั้งสามกรณีแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โครงสร้างการไหลของอากาศผ่านครีบเรียบในรูปที่ 5.2 (ก) จะเกิดกระแสหมุนวนเฉพาะด้านหลังของกลุ่มท่อ (Wake zone) อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่ความสูง 50% ของความสูงระหว่างครีบบนรูปที่ 5.2 (ข) จะพบว่าเกิดกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีจำนวน 2 คู่ นอกเหนือจากกระแสม้วนแบบปกติที่เกิดขึ้นด้านหลังท่อ ซึ่งกระแสหมุนวนดังกล่าวจะไหลกระแทกผนังด้านบนและด้านล่างของครีบบ ซึ่งในกรณีที่มีความสูงของปีกเป็น 25% และ 75% ของความสูงระหว่างครีบบจะสามารถพบกระแสม้วนแบบดังกล่าวเช่นกัน

ส่วนครีบบที่มีการติดปีกที่ความสูง 100% ของความสูงระหว่างครีบบจะไม่พบกระแสม้วนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีเหมือนกับกรณี 25%, 50% และ 75% ที่กล่าวในข้างต้น แต่จะพบเพียงกระแสม้วนตามแนวยาวจำนวน 1 คู่เกิดขึ้นแทน

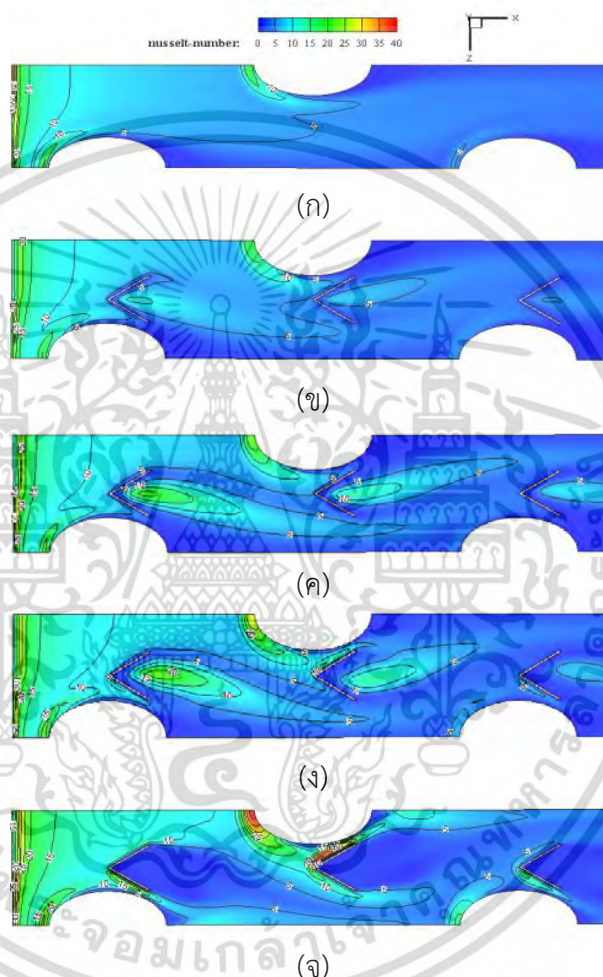


รูปที่ 5.2 พฤติกรรมการไหลของอากาศ สำหรับ (ก) ครีบบเรียบและครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววี ความสูง (ข) 50% และ (ค) 100% ของความสูงระหว่างครีบบ

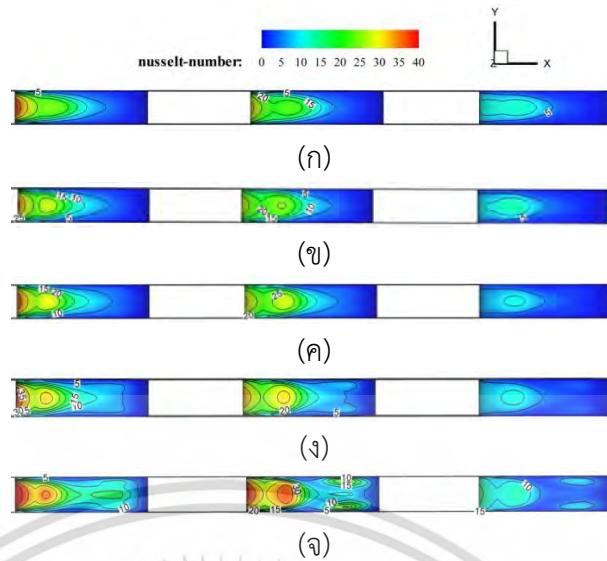
5.1.1.1.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

สำหรับการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน พบว่ากระแสม้วนที่เกิดขึ้นด้านหลังปีกรูปตัววี ที่ความสูง 25% 50% และ 75% จะทำให้กระแสการไหลมีการไหลไปกระแทกบริเวณผนังด้านบน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

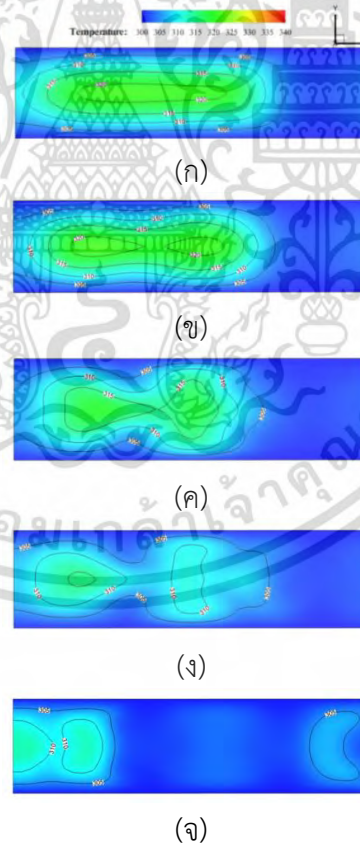
และด้านล่างของครีบบ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไปยังผนังได้มากขึ้น โดยสังเกตได้จากการกระจายตัวของเลขนัสเซิล รูปที่ 5.3 (ข) (ค) และ (ง) ที่มีการกระจายตัวสูงกว่าครีบริียบ ขณะที่ปีกรูปตัววีที่มีความสูง 100% การถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังด้านบนและล่างจะทำได้ไม่ดีเนื่องจากมีเฉพาะกระแสหมุนวนตามแนวยาวเท่านั้นแต่หากพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลกับผนังท่อจะพบว่าปีกรูปตัววีที่มีความสูง 100% จะมีค่าการกระจายตัวของเลขนัสเซิลที่มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่ว่า ที่ความสูงของปีกมีค่ามาก จะเป็นการบังคับทิศของกระแสการไหลให้มีการเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อได้มากขึ้น ตามภาพการกระจายตัวของเลขนัสเซิลในรูปที่ 5.4 (จ)



รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลบนผิวครีบบนผนังครีบบนข้างของ (ก) ครีบริียบ ครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500



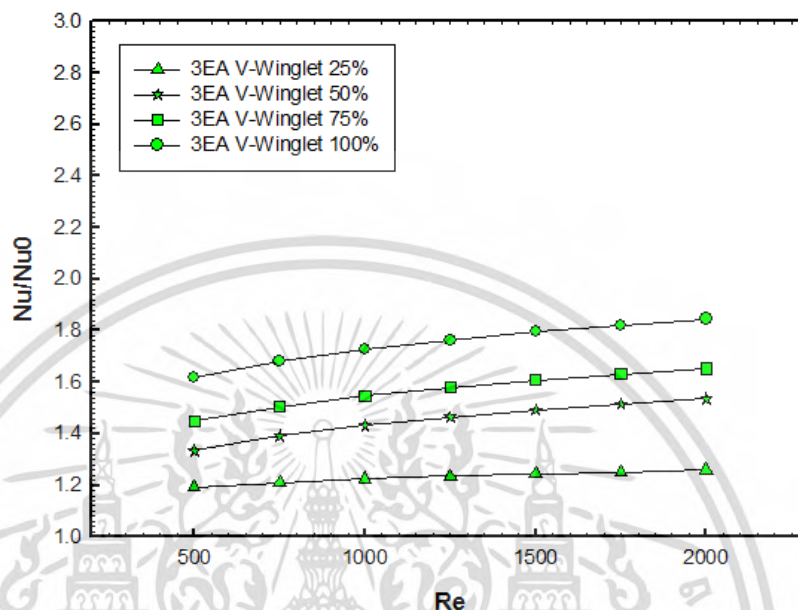
รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผนังท่อของ (ก) ครีบริียบ ครีบริที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบริ ที่เลขเรย์โนลด์ 500



รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดทางออกของครีบริเรียบ (ก) ครีบริที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง 25% (ข) 50% (ค) 75% (ง) และ 100% (จ) ของความสูงระหว่างครีบริ ที่เลขเรย์โนลด์ 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

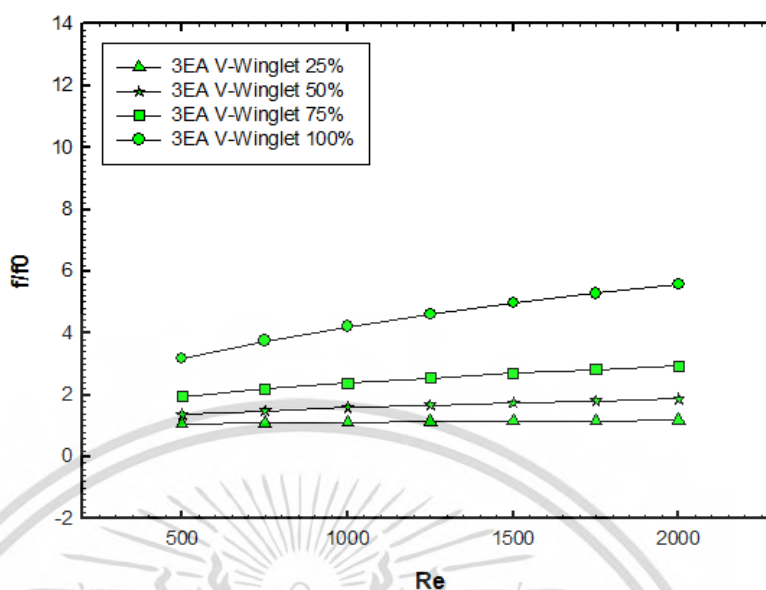
รูปที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณหน้าตัดทางออกของขอบเขตที่ศึกษา พบว่าที่ความสูง 100% ของความสูงระหว่างครีบ อุณหภูมิทางออกมีค่าต่ำกว่าในทุกกรณี และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอกว่านั่นคือมีการผสมผสานระหว่างอากาศบริเวณกึ่งกลางท่อและผิวท่อได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววีที่อัตราส่วนความสูงต่างๆ พบว่าเมื่ออัตราส่วนความสูงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นเช่นกัน สำหรับเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 500 ที่อัตราส่วนความสูง 25% ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลน้อยที่สุดคือ 1.19 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ขณะที่อัตราส่วนความสูง 100% เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000 ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลจะมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 1.84 เท่า เมื่อเทียบกับครีบเรียบ (plain fin)

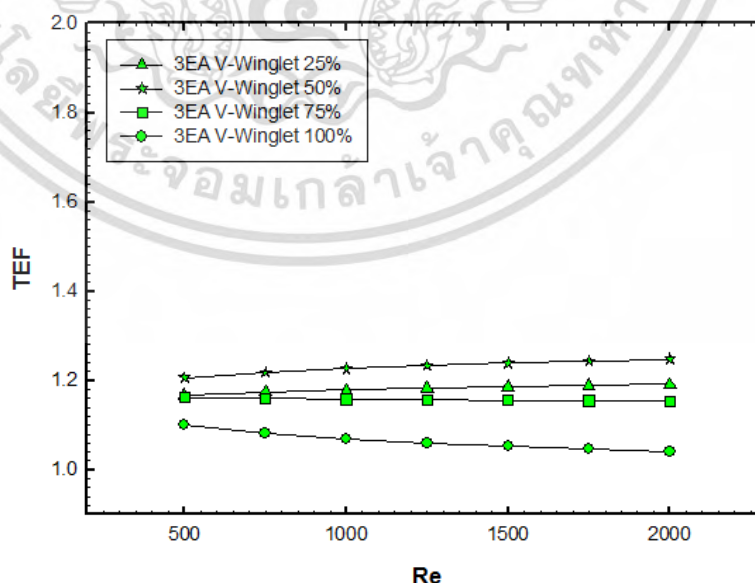
5.1.1.1.4 การสูญเสียความดัน



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ สำหรับรูปแบบการจัดวางของครีบอกที่มีการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววีที่อัตราส่วนความสูงต่างๆ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าความสูงของปีกเป็น 100% จะให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูงที่สุดคิดเป็น 5.57 เท่าเมื่อเทียบกับครีบอกเรียบ ที่เลขเรย์โนลด์ 2,000

5.1.1.1.5 สมรรถนะเชิงความร้อน



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.8 แสดงความแปรเปลี่ยนค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เลขเรย์โนลด์ต่างๆ สำหรับครีบบนที่มีการติดตั้งปีกเล็กรูปตัววีที่อัตราส่วนความสูงต่างๆ พบว่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะเชิงความร้อนเพียงเล็กน้อย ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ที่พิจารณา โดยที่ค่าความสูงของปีกรูปตัววีเท่ากับ 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.2 ถึง 1.24

5.1.1.2 ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA Extended V-Winglet)

5.1.1.2.1 แบบจำลองทางกายภาพ

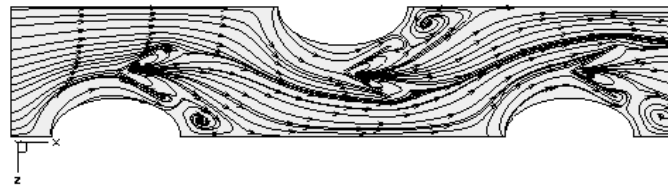
สำหรับในหัวข้อนี้จะพิจารณาระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย (Extended V-Winglet) โดยความยาวของปีกเป็น 2 เท่าของปีกเล็กรูปตัววีในหัวข้อที่ผ่านมา กำหนดให้มุมระหว่างปีกรูปตัววีมีค่าเท่ากับ 60 องศา ปีกถูกติดตั้งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อรูปวงรี มีการพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบบนความสูงระหว่างครีบบนมีค่าเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ



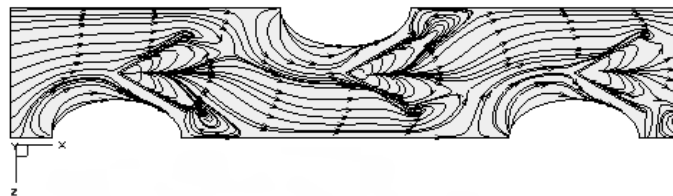
รูปที่ 5.9 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว

5.1.1.2.2 พฤติกรรมการไหล

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลระหว่างปีกรูปตัววี และปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว



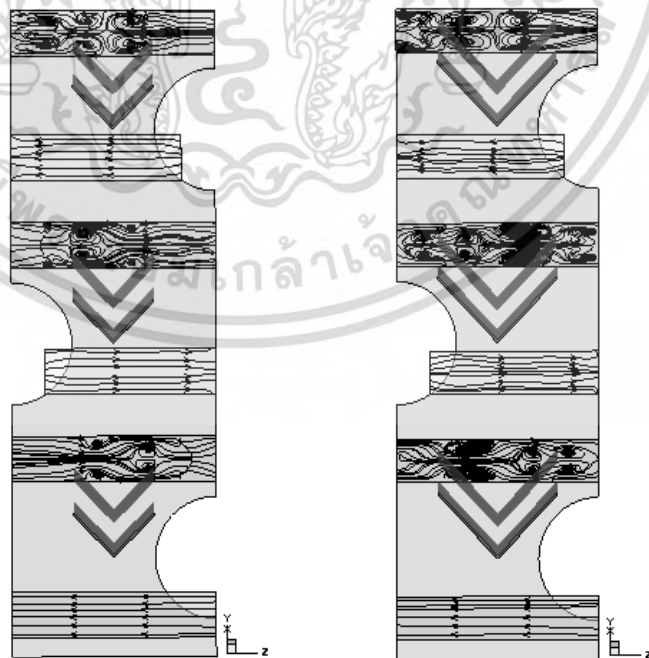
(ก)



(ข)

รูปที่ 5.10 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว

รูปที่ 5.10 (ก) และ (ข) และ รูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบเส้นกระแสการไหลของอากาศ และภาพตัดกระแสหมุนวน สำหรับครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ซึ่งพบว่าครีบบที่ถูกติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะสร้างกระแสหมุนวนหลัก 2 คู่ ที่ด้านหลังปีก เช่นเดียวกัน แต่จะมีขนาดใหญ่กว่าปีกรูปตัววีแบบธรรมดา ซึ่งกระแสหมุนวนหลักที่เกิดด้านหลังปีก ชุดแรกจะส่งผลกระทบต่อปีกชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ หากพิจารณาเส้นกระแสด้านหลังของท่อ จะพบว่าปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะทำให้เกิดกระแสหมุนวนด้านหลังท่อมากกว่าปีกรูปตัววีแบบธรรมดา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น



(ก)

(ข)

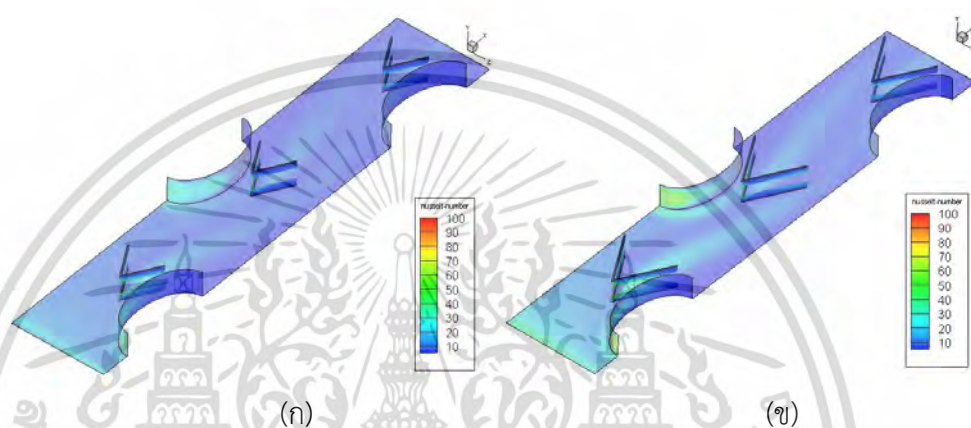
รูปที่ 5.11 ภาพตัดกระแสหมุนวน ของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีและ(ข) ปีกรูปตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2.3 พลวัตกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 แสดงการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท่อและครีบบนชิ้นล่าง ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี และปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย โดยติดตั้งแบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูง 50% ของความสูงระหว่างครีบบ เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 500 พบว่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลบริเวณผิวท่อ ด้านหน้า ของรูปแบบปีกต่อขยายจะมีค่าที่สูงกว่าแบบปีกรูปตัววีธรรมดา อันเนื่องมาจากกระแสการไหลถูกบังคับให้เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อได้มากกว่า อีกทั้งกระแสหมุนวนด้านหลังปีกรูปตัววีแบบต่อขยายที่มีขนาดรุนแรงกว่า จะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสอากาศกับผิวครีบบนและด้านล่างเพิ่มขึ้นอีกด้วย



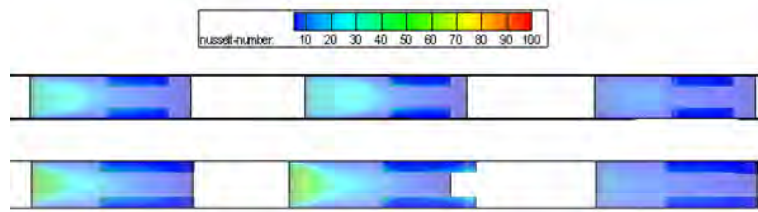
รูปที่ 5.12 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบนชิ้นล่างของครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว



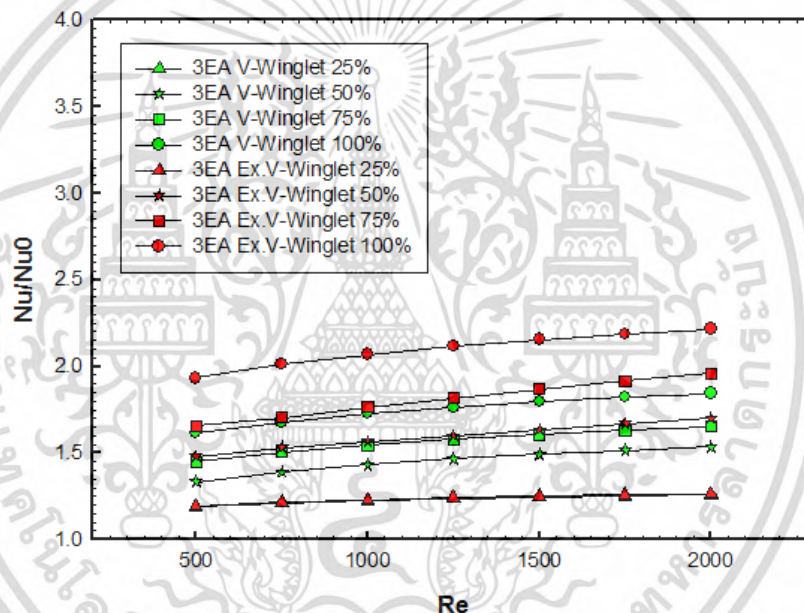
รูปที่ 5.13 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบนชิ้นล่างของครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.14 แสดงการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท่อ ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี และปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย โดยติดตั้งแบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูง 50% ของความสูงระหว่างครีบ เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 500



รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท่อ ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบ 3 แถว



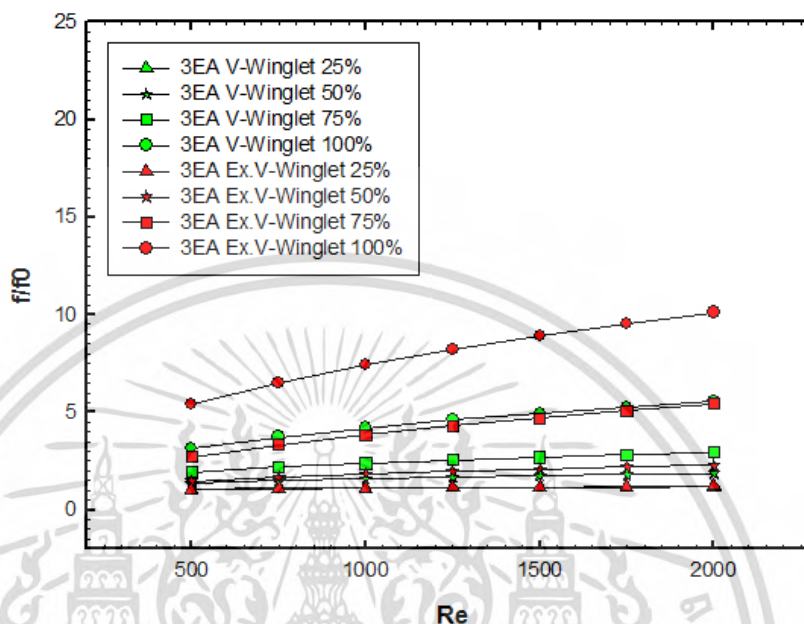
รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.15 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อค่าอัตราส่วนความสูงของปีกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขณะที่เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทั้งใน 2 รูปแบบ สำหรับรูปแบบปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่อัตราส่วนความสูง 25% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเท่าๆกันตลอดทั้งช่วงเลขเรย์โนลด์ ซึ่งอัตราส่วนความสูง 25% เลขเรย์โนลด์ 500 จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลน้อยที่สุดคือ 1.19 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่รูปแบบครีบบที่ติดตั้งปีกแบบต่อขยาย อัตราส่วนความสูง 100% ที่เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.21 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

5.1.1.2.4 การสูญเสียความดัน



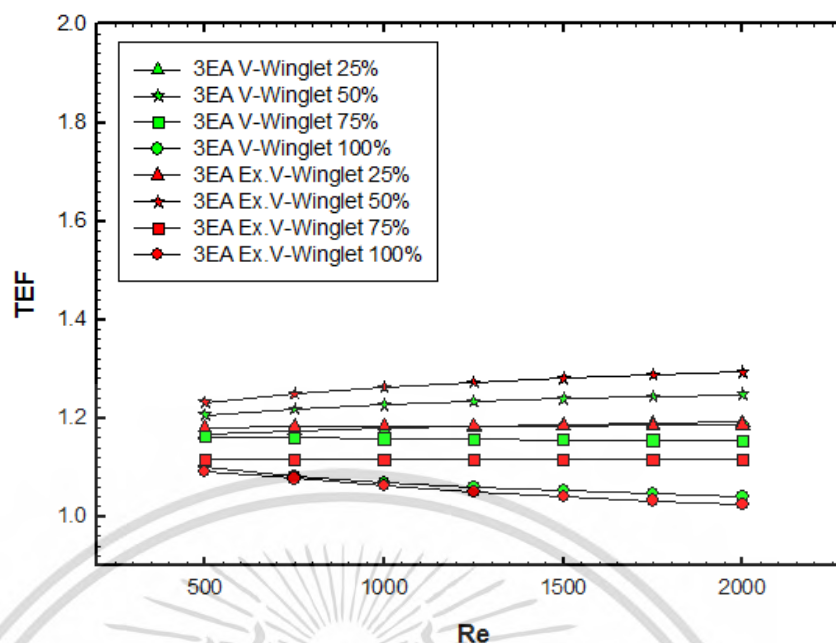
รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แฉก ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แฉก ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

พบว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนความสูงของปีกและเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย จะมีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่ารูปแบบปีกรูปตัววีแบบธรรมดาในทุกๆช่วงเลขเรย์โนลด์ ซึ่งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายที่อัตราส่วนความสูง 100% เลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 10.12 เท่าเมื่อเทียบกับท่อครีบบเรียบ

5.1.1.2.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แฉก ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75, และ 100% พบว่ารูปแบบปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่อัตราส่วนความสูง 100% ค่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการลดลงของสมรรถนะเชิงความร้อนแต่สำหรับอัตราส่วนความสูงอื่นๆ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยปีกรูปตัววีแบบต่อขยายที่อัตราส่วนความสูง 50% เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ช่วง 1.23 ถึง 1.28

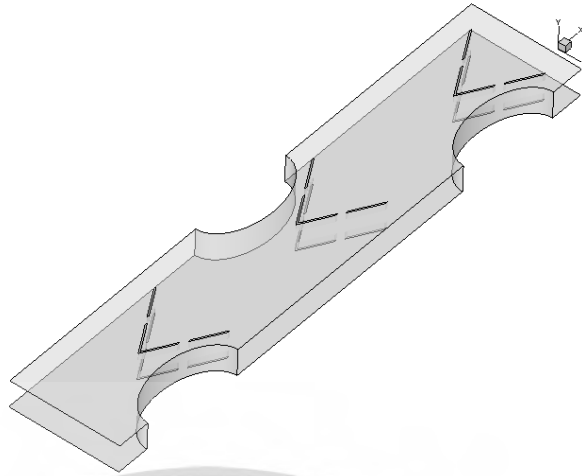


รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีและปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.1.1.3 ครีบริบรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว (3EA Extended discrete V-Winglet)

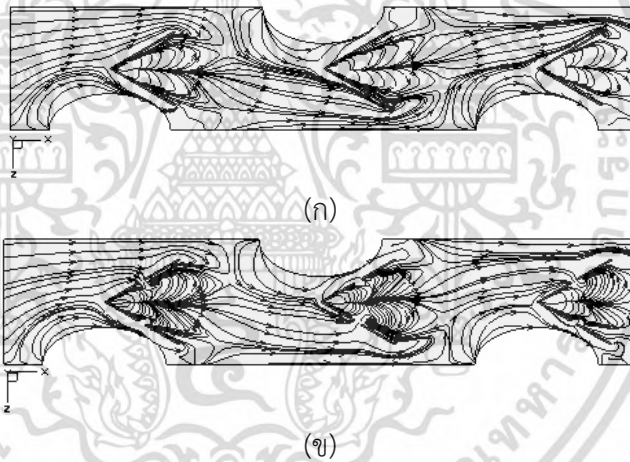
5.1.1.3.1 แบบจำลองทางกายภาพ

สำหรับหัวข้อนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าต่อรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย โดยทำการเปลี่ยนรูปแบบจากปีกรูปตัววีต่อขยายเป็นปีกรูปตัววีต่อขยายแบบเจาะทะลุ (Extended discrete V-Winglet) ซึ่งกำหนดความยาวของปีกมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ช่องว่างของการเจาะทะลุเท่ากับ 2 มิลลิเมตร กำหนดให้มุมระหว่างปีกรูปตัววีมีค่าเท่ากับ 60 องศา ปีกถูกติดตั้งในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อรูปวงรี มีการพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ



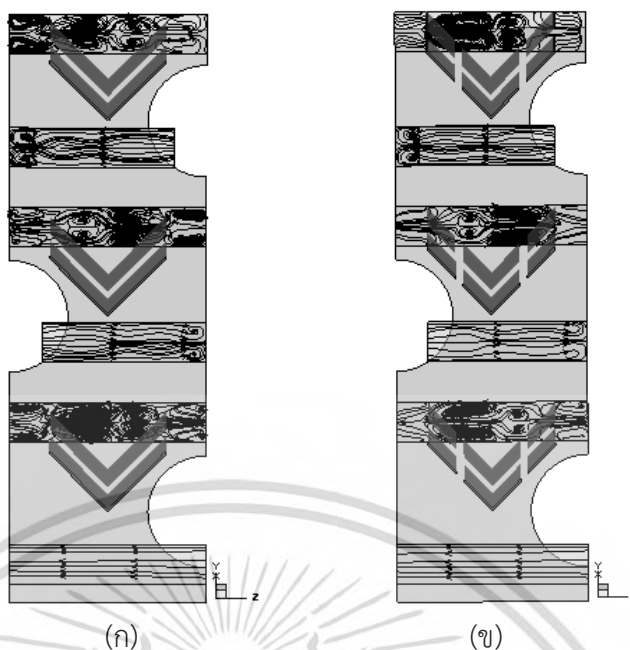
รูปที่ 5.18 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว

5.1.1.3.2 พฤติกรรมการไหล



รูปที่ 5.19 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



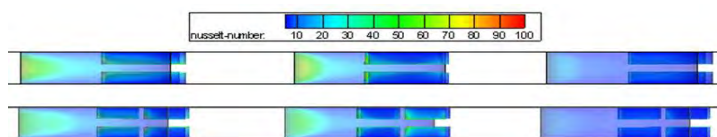
รูปที่ 5.20 ภาพตัดกระแสหมุนวน ของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว

รูปที่ 5.19 และ รูปที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ที่เลขเรย์โนลด์ 500 อัตราส่วนความสูงของปีกเป็น 75% ของความสูงระหว่างครีบบ โดยติดตั้งแบบ 3 แถว พบว่าการไหลของอากาศเมื่อไหลผ่านปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ จะทำให้เกิดกระแสหมุนวนตามแนวการไหลหลักจำนวน 2 วง ซึ่งเกิดบริเวณปลายของปีกแต่ละด้าน แต่จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสหมุนวนด้านหลังของปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย นอกจากนี้ยังเกิดกระแสมุมรองบริเวณด้านหลังส่วนยอดของปีกอีก 2 วง โดยผลของปีกที่ถูกเจาะทะลุจึงทำให้กระแสการไหลของอากาศไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อน้อยลง

5.1.1.3.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.21 รูปที่ 5.22 และรูปที่ 5.23 แสดงการกระจายตัวของเลขนัสเซิลบนผิวท่อนและครีบบชั้นล่าง ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ โดยติดตั้งแบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูง 75% ของความสูงระหว่างครีบบ เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 500 พบว่าการกระจายตัวของเลขนัสเซิลบริเวณผิวท่อนด้านหน้า ของรูปแบบปีกตัววีแบบต่อขยายจะมีค่าสูงกว่าแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ สืบเนื่องมาจากกระแสการไหลของอากาศถูกควบคุมทิศทางให้เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับผนังท่อน แตกต่างจากปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ที่กระแสอากาศสามารถไหลทะลุผ่านช่องว่างที่ถูกเจาะไปได้ กระแสหมุนวนหลักด้านหลังของปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะมีความรุนแรงกว่าทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าซึ่งจะสังเกตได้จากกระจายตัวของเลขนัสเซิลบนครีบบบริเวณด้านหลังปีก

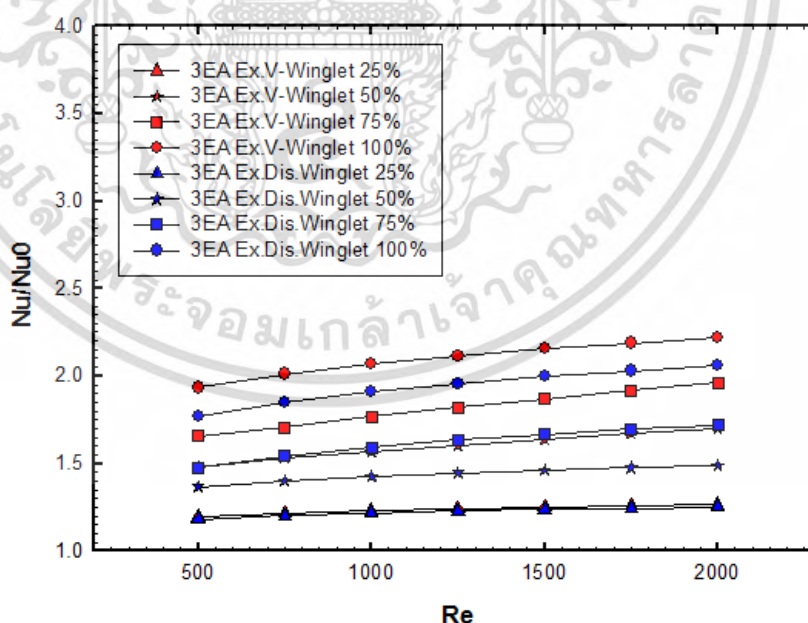
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวทอ ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 3 แถว

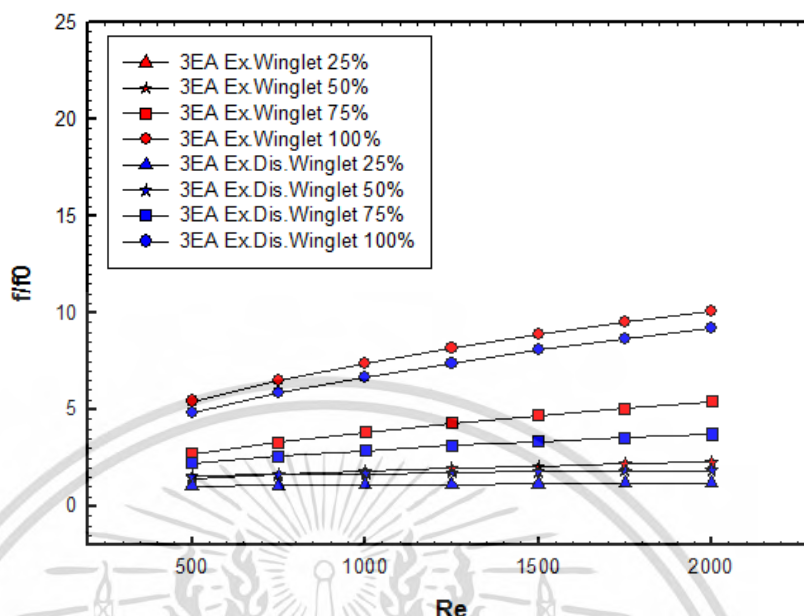
รูปที่ 5.24 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อค่าอัตราส่วนความสูงของปีกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทั้ง 2 รูปแบบ สำหรับรูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ที่อัตราส่วนความสูง 25% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเท่าๆกันตลอดทั้งช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ซึ่งอัตราส่วนความสูง 50%, 75% และ 100% ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะให้ค่าเลขนัสเซลมากกว่าปีกรูปแบบตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ตลอดทุกเลขเรย์โนลด์

ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลน้อยที่สุดคือ 1.16 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่อัตราส่วนความสูง 25% เลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 500 และให้ค่าที่มากที่สุดที่อัตราส่วนความสูง 100% ที่เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.0 เท่า เมื่อเทียบกับครีบเรียบ



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.1.1.3.4 การสูญเสียความดัน

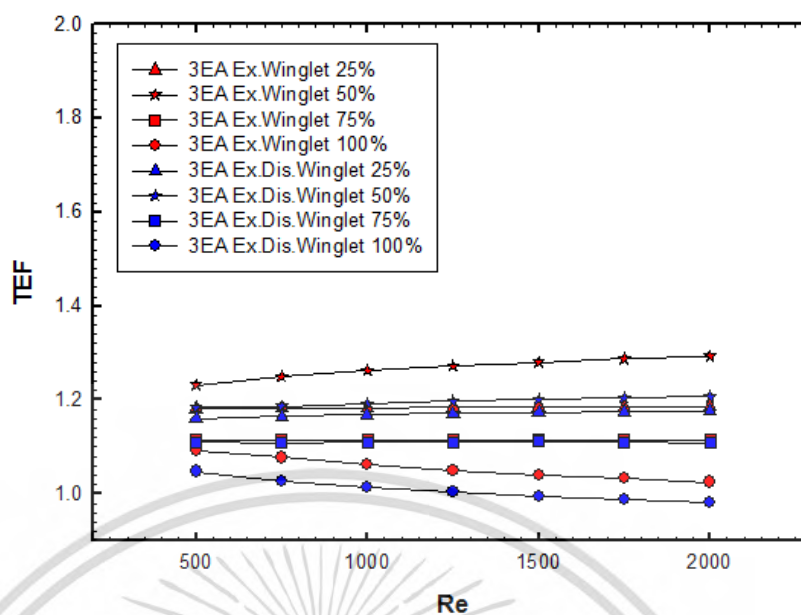


รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.25 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของปีกรูปแบบตัววีต่อขยายจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่ากรณีของปีกรูปแบบต่อขยายเจาะทะลุ เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงของปีกที่เท่ากัน

5.1.1.3.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75, และ 100% พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการติดตั้งปีกในทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเลขเรย์โนลด์ ซึ่งหากเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงปีกตัววีที่เท่ากัน และเลขเรย์โนลด์เดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายจะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ซึ่งรูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดจะอยู่ในช่วง 1.18 ถึง 1.20 ที่ความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ แบบ 3 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

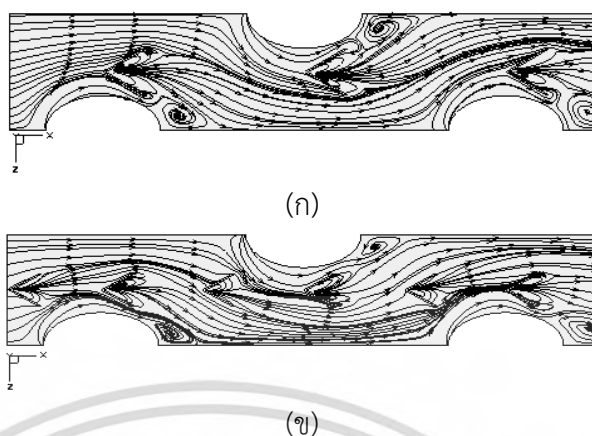
5.1.2 ชุดครีบรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA V-Winglet)

5.1.2.1 ชุดครีบรูปตัววีต่อติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA V-Winglet)

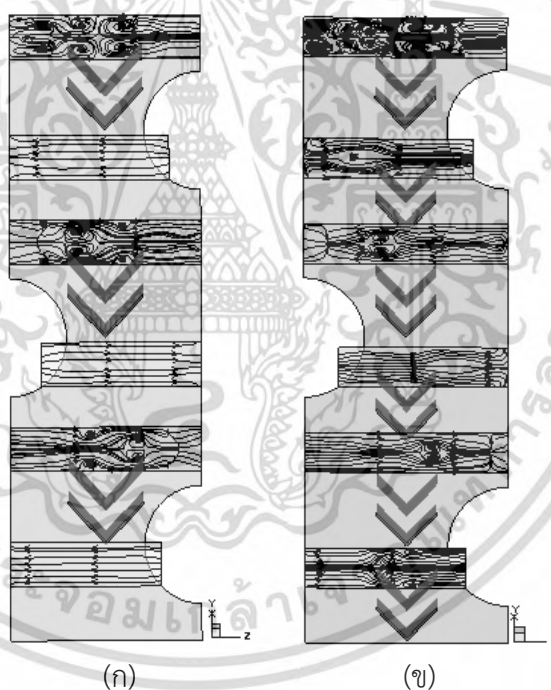
5.1.2.1.1 แบบจำลองทางกายภาพ

ส่วนถัดมาในหัวข้อนี้จะอธิบายถึง การพัฒนารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววี โดยเพิ่มจำนวนปีกขึ้นเป็น 2 เท่า ติดตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างปีกเดิม (6EA V-Winglet) ในทิศทางสวนกระแสการไหล มุมระหว่างปีกมีค่าเท่ากับ 60 องศา เปรียบเทียบกับปีกรูปตัววีที่ติดตั้งในรูปแบบ 3 แถว พิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ ซึ่งความสูงระหว่างครีบมีค่าเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ

5.1.2.1.2 พฤติกรรมการไหล



รูปที่ 5.27 พฤติกรรมการไหลของอากาศของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

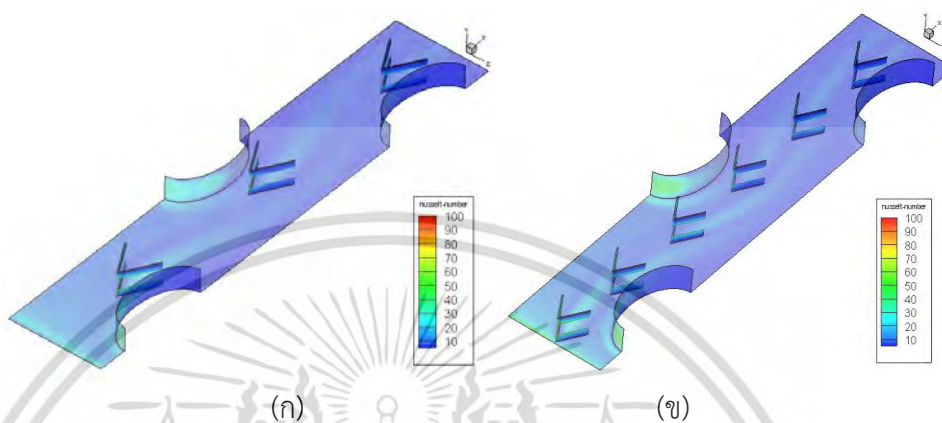


รูปที่ 5.28 ภาพตัดกระแสมุมของครีบบที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถว และ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

รูปที่ 5.27 และรูปที่ 5.28 (ก) และ (ข) แสดงการเปรียบเทียบเส้นกระแสการไหลอากาศของแบบจำลอง ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีบนครีบบ ซึ่งทำการติดตั้งแบบ 3 แถว และติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว สำหรับอัตราส่วนความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500 พบว่าปีกรูปตัววีชุดแรก ในรูปแบบการติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวจะทำให้เกิดกระแสการไหลวนเริ่มตั้งแต่เข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งกระแสการไหลวนจำนวน 2 คู่ที่เกิดขึ้นนั้นทำให้มวลกระแสการไหลหลักเกิดการคลุกเคล้ากันกันสมบูรณ์มากขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

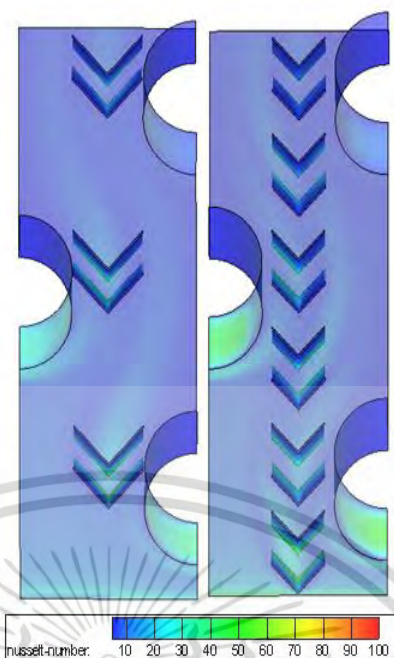
อีกทั้งหากพิจารณาช่วง ทางเข้าของแบบจำลองจะพบว่าปีกรูปตัววีในรูปแบบที่ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว จะช่วยบังคับกระแสการไหลให้มีการเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อในแถวแรกมากกว่ารูปแบบที่ติดตั้งแบบ 3 แถว

5.1.2.1.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

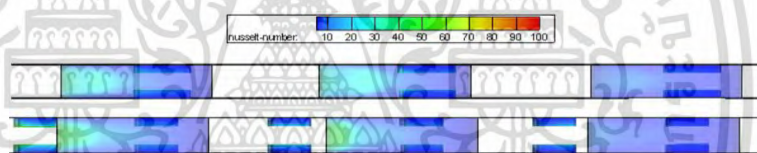


รูปที่ 5.29 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบนชิ้นล่างของครีบบนที่มีการติดตั้ง (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

หากพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของการติดตั้งในรูปแบบตัววีแบบ 3 แถวและรูปแบบติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวนั้นสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 5.29 และ 5.30 โดยทั้งสองรูปพิจารณาที่อัตราส่วนความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500 พบว่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลบริเวณผนังท่อด้านหน้าสัมผัสโดยตรงกับกระแสการไหล ของการติดตั้งแบบต่อเนื่องจะให้ค่าที่สูงกว่ารูปแบบติดตั้งแบบ 6 แถว ซึ่งจะสอดคล้องกับพฤติกรรมการไหลที่ถูกบังคับทิศทางการไหลให้เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อ ของปีกรูปตัววีที่ติดตั้งเพิ่ม อีกทั้งปีกรูปตัววีที่ถูกติดตั้งเพิ่มเข้าไบนั้นยังทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความที่ผนังครีบบนด้านล่างอีกด้วย โดยเป็นผลสืบเนื่องมาจากกระแสหมุนวนหลักจำนวนสองคู่ที่เกิดด้านหลังของปีกรูปตัววี

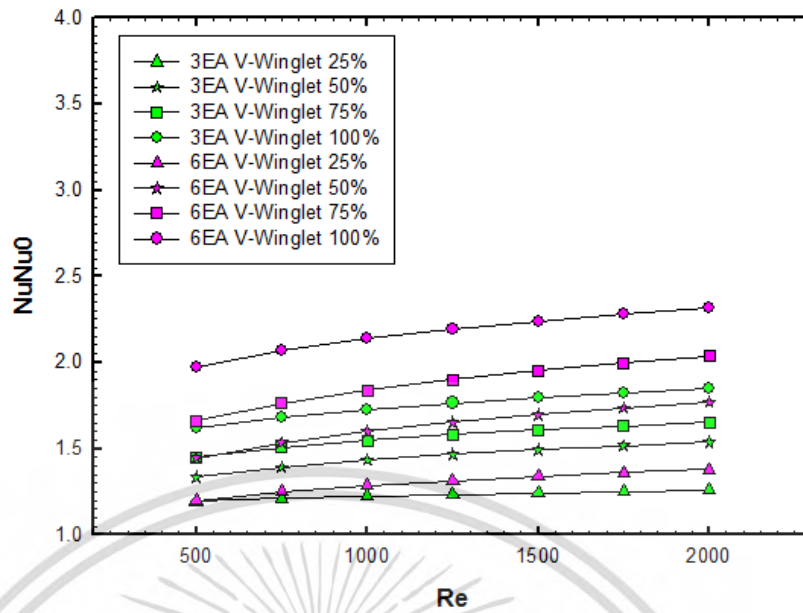


รูปที่ 5.30 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบชั้นล่างของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว



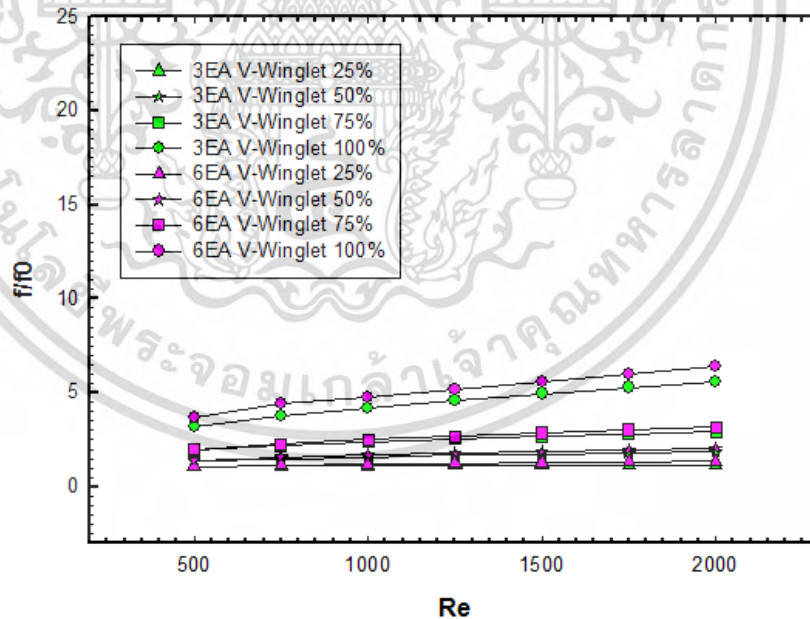
รูปที่ 5.31 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท่อ ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

รูปที่ 5.32 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 6 แถวจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบ 3 แถวตลอดทุกเลขเรย์โนลด์ ซึ่งรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 6 แถวจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลน้อยที่สุดคือ 1.20 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 25% เลขเรย์โนลด์ 500 และให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมากที่สุดคือ 2.31 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 100% เลขเรย์โนลด์ 2,000



รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีก รูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.1.2.1.4 การสูญเสียความดัน



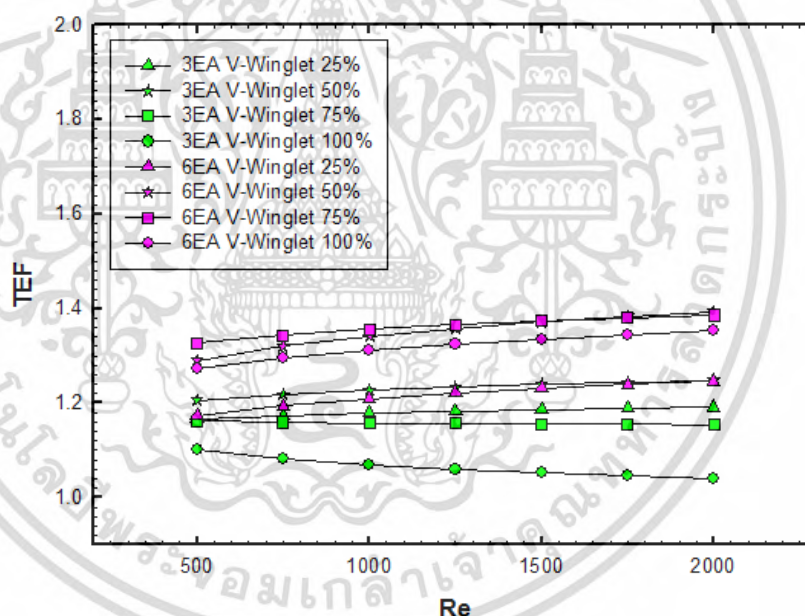
รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.33 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนเอกซารันเป็นเอกซารันที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพื่อการศึกษา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 6 แถวจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบ 3 แถวตลอดทุกเลขเรย์โนลด์ โดยจะมีอิทธิพลอย่างมากที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 100% ซึ่งปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนความสูง 100% เลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.4 เท่าเมื่อเทียบกับท่อครีบเรียบ

5.1.2.1.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75, และ 100% พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการติดตั้งปีกในทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ โดยกรณีศึกษาที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดคือ รูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่ความสูงปีก 50% ซึ่งให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในช่วง 1.28 ถึง 1.39 ระหว่างเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบ 3 แถวและปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.1.2.2 ครีบรูปตัววีติดแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA Extended V-Winglet)

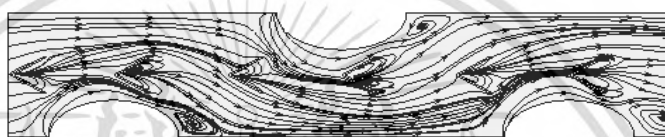
5.1.2.2.1 แบบจำลองทางกายภาพ

สำหรับในหัวข้อถัดมานี้จะทำการพิจารณาการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่องและรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ซึ่งติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA Extended V-Winglet) เพื่อพิจารณาอิทธิพลของการไหลที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น โดยแบบจำลองของปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องนั้น มีการเอ็กซารนี้เป็นเอ็กซารทสวงไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

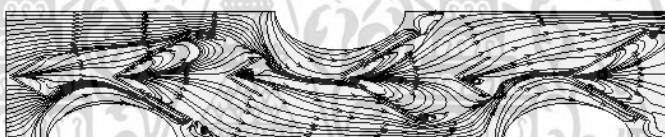
เพิ่มความยาวของปีกในแถวที่ 2, 4 และ 6 เป็นเท่ากับ 2 เท่าของความยาวปีกเดิม (ติดตั้งในตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อรูปวงรี) มุมของปีกมีค่าเท่ากับคือ 60 องศา เปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงของปีกเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ

รูปที่ 5.35 และ รูปที่ 5.36 (ก) และ (ข) แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอากาศของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500 พบว่ากระแสการไหลของอากาศในรูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวจะเกิดกระแสหมุนวนที่มีขนาดขนาดใหญ่กว่าบริเวณปีกที่ต่อขยาย และกระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นนั้นจะ จะมีการส่งผลต่อปีกในชั้นถัดไป อีกทั้งยังเป็นการบังคับทิศกระแสการไหลให้เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณด้านหลังท่ออีกด้วย

5.1.2.2.2 พฤติกรรมการไหล

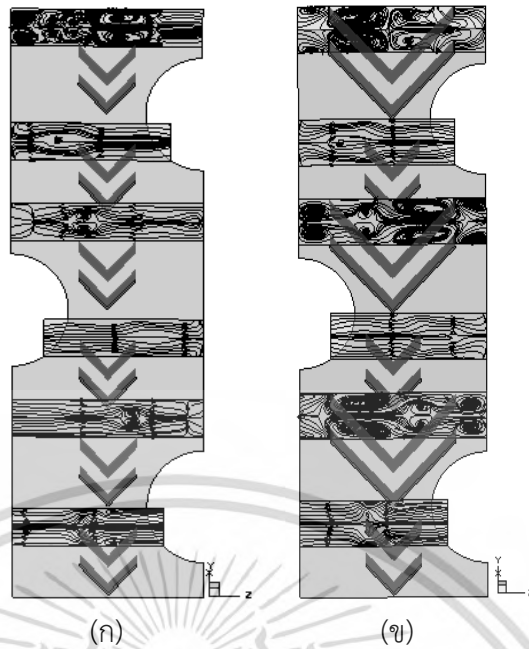


(ก)



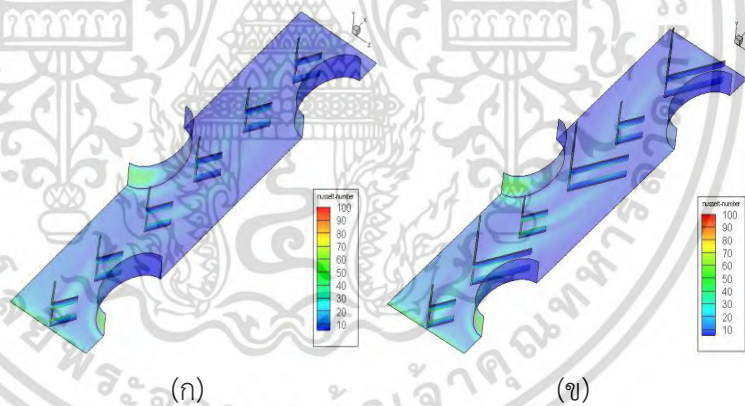
(ข)

รูปที่ 5.35 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว



รูปที่ 5.36 ภาพตัดกระแสมุมนอน ของครีบบีที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (ก) และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (ข)

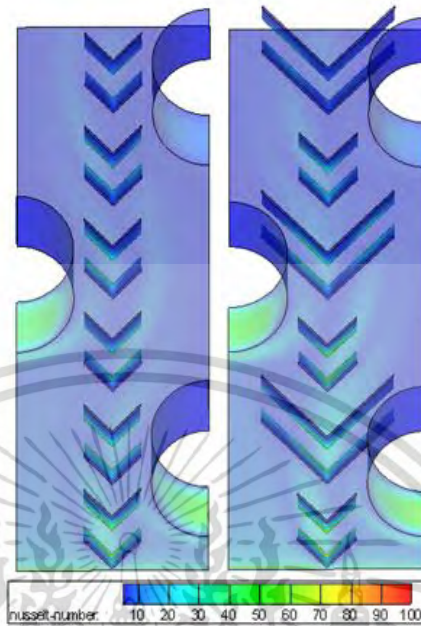
5.1.2.2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน



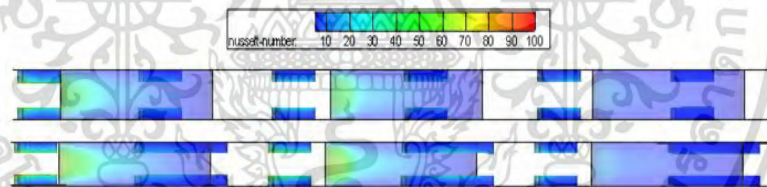
รูปที่ 5.37 การกระจายตัวของเลขนีสเซลบนผิวครีบบีชั้นล่างของครีบบีที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวและ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

รูปที่ 5.37 และ 5.38 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการกระจายตัวของเลขนีสเซล ของครีบบีที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500 พบว่าการกระจายตัวของเลขนีสเซลบนผนังท่อรูปวงรีในบริเวณด้านหน้าท่อทั้ง 3 ท่อนั้นมีค่าการกระจายตัวที่สูงกว่า อีกทั้งปีกตัววีที่ถูกต้องขยายยังส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนบนผนังครีบบีด้านล่างมีค่าที่สูงกว่าอีกด้วย ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมการไหลของอากาศ ที่ถูกบังคับโดยปีกตัววีแบบต่อขยาย ซึ่งควบคุมกระแสการไหลให้เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับท่อมากขึ้น ส่วนการถ่ายเทความร้อนบริเวณด้านล่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครีบบสามารถอธิบายได้จากกระแสหมุนวนที่เกิดจากปีกตัววีแบบต่อขยายจะมีขนาดและความรุนแรงมากกว่าปีกตัววีแบบเดิม ทำให้เกิดการคลุกเคล้าของกระแสอากาศได้สมบูรณ์มากขึ้น

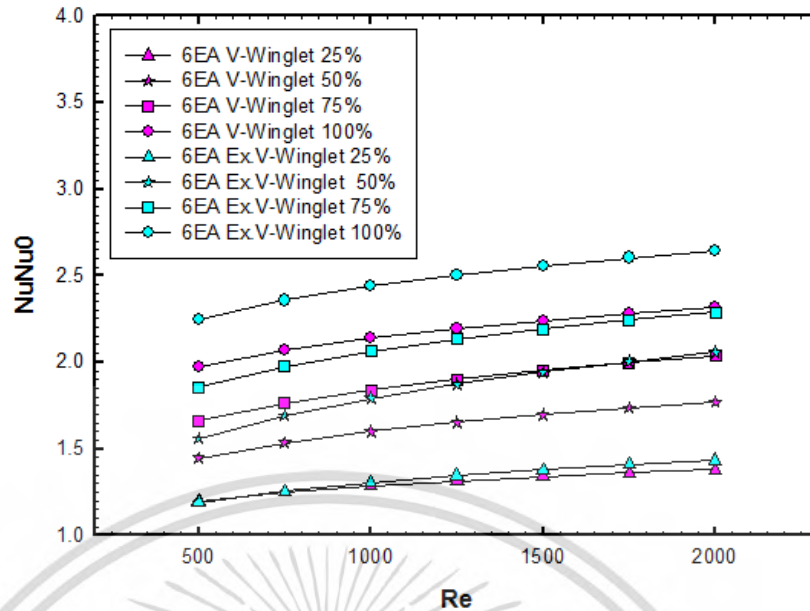


รูปที่ 5.38 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบขึ้นล่างของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว



รูปที่ 5.39 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวท้อ ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

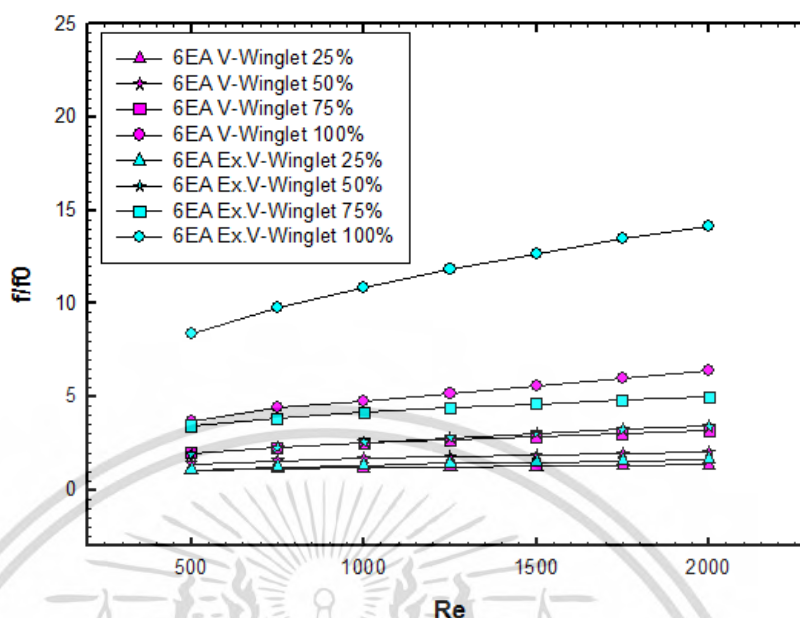
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีก รูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วน ความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.40 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่อง ตลอดทุกเลขเรย์โนลด์ ซึ่งรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว จะให้ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซลน้อยที่สุดคือ 1.18 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 25% เลขเรย์โนลด์ 500 และให้ค่า อัตราส่วนเลขนัสเซลมากที่สุดคือ 2.64 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 100% เลขเรย์โนลด์ 2,000

5.1.2.2.4 การสูญเสียความดัน



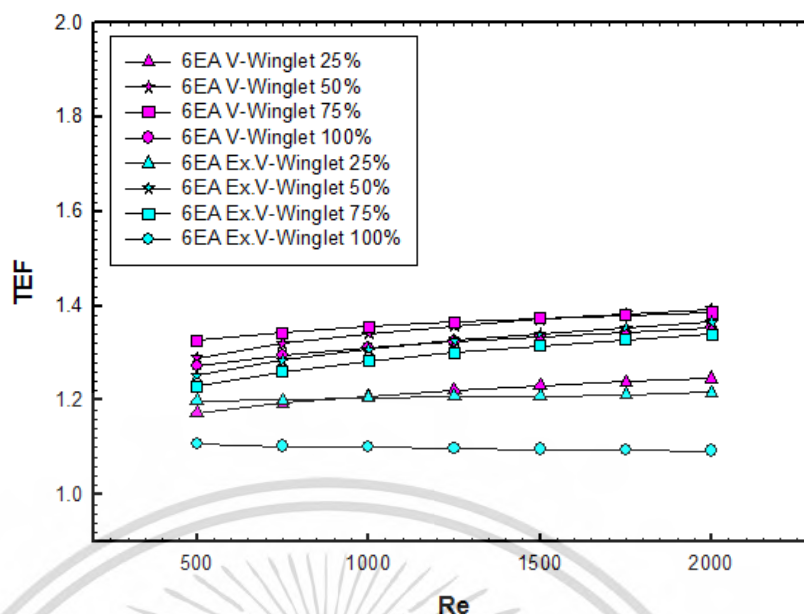
รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.41 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่องจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อเนื่องในทุกเลขเรย์โนลด์ ซึ่งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนความสูง 100% เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 14.15 เท่าเมื่อเทียบกับท่อครีปเรียบ

5.1.2.2.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75, และ 100% พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการติดตั้งปีกในทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ ซึ่งหากเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงปีกตัววีที่เท่ากัน และเลขเรย์โนลด์เดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อเนื่องจะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง อันเป็นผลสืบเนื่องจากอิทธิพลของตัวประกอบเสียดทานที่มากกว่านั่นเอง รูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยาย แบบต่อเนื่องที่ความสูงปีก 50% ซึ่งให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.25 ถึง 1.36 ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.1.2.3 ครีปรูปตัววีติดแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว (6EA Extended discrete V-Winglet)

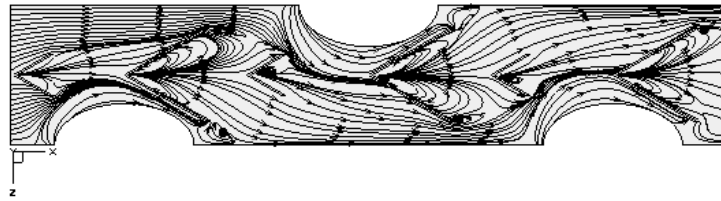
5.1.2.3.1 แบบจำลองทางกายภาพ

การศึกษาในหัวข้อถัดมานี้จะทำการพิจารณาการเปรียบเทียบรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และแบบต่อขยายเจาะทะลุ (6EA Extended discrete V-Winglet) ซึ่งติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวเพื่อพิจารณาอิทธิพลของการไหลที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น โดยแบบจำลองของปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ จะกำหนดให้ความยาวของปีกมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ช่องว่างของการเจาะทะลุเท่ากับ 2 มิลลิเมตร คล้ายกับในหัวข้อที่ 5.1.2.2 ที่กล่าวผ่านมาแล้ว ปีกที่เจาะทะลุนั้นจะติดตั้งในตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อรูปวงรี มุมของปีกมีค่าเท่ากับคือ 60 องศา เปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงของปีกเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบ

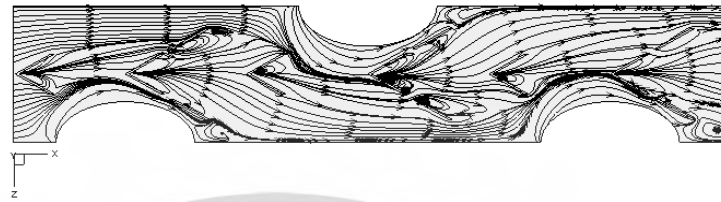
5.1.2.3.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.43 (ก) (ข) และรูปที่ 5.44 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีปที่มีการติดตั้งปีกแบบต่อเนื่องในรูปแบบตัววีแบบต่อขยาย และแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบ 6 แถวที่เลขเรย์โนลด์ 500 อัตราส่วนความสูงของปีกเป็น 50% ของความสูงระหว่างครีป พบว่า กระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นด้านหลังปีกชั้นที่ 2 (นับจากทางเข้าแบบจำลอง) ของรูปแบบต่อขยายเจาะทะลุจะมีขนาดเล็กกว่า อันเป็นผลจากช่องว่างระหว่างปีกทำให้กระแสอากาศเข้าไปรบกวนกระแสหมุนวนหลักด้านหลังปีก อีกทั้งช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นยังส่งผลให้มวลอากาศสามารถไหลผ่านไปยังปีกชั้นที่ 3 ได้สะดวกขึ้น ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความดันของปีกชั้นที่ 3 น้อยเป็นผลที่ทำให้กระแสหมุนวนด้านหลังปีกชั้นที่ 3 มีความรุนแรงที่ลดลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

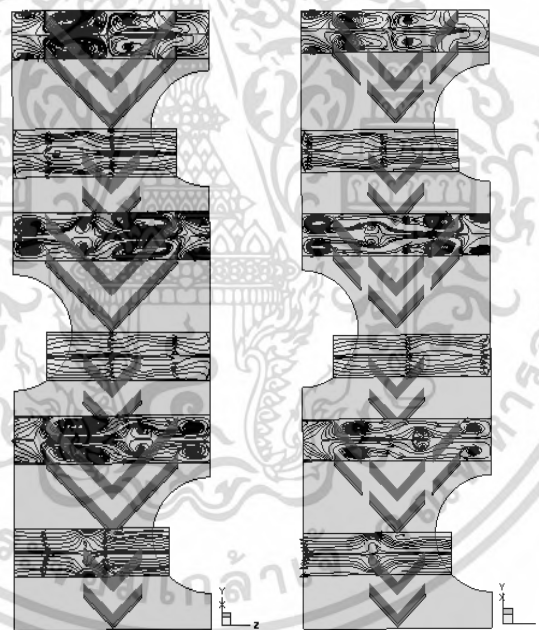


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.43 พฤติกรรมการไหลของอากาศ ของครีบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว



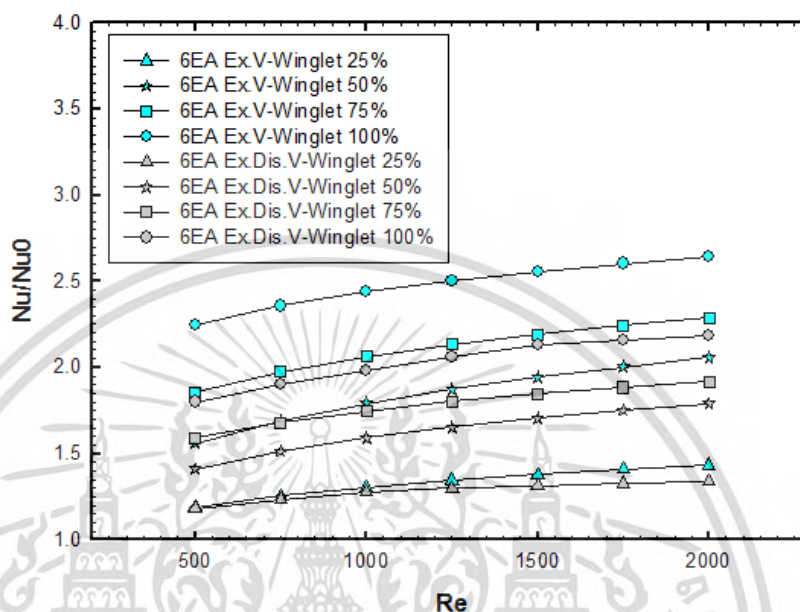
(ก)

(ข)

รูปที่ 5.44 ภาพตัดกระแสหมุนวน ของครีบที่มีการติด (ก) ปีกรูปตัววีต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง และ (ข) ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

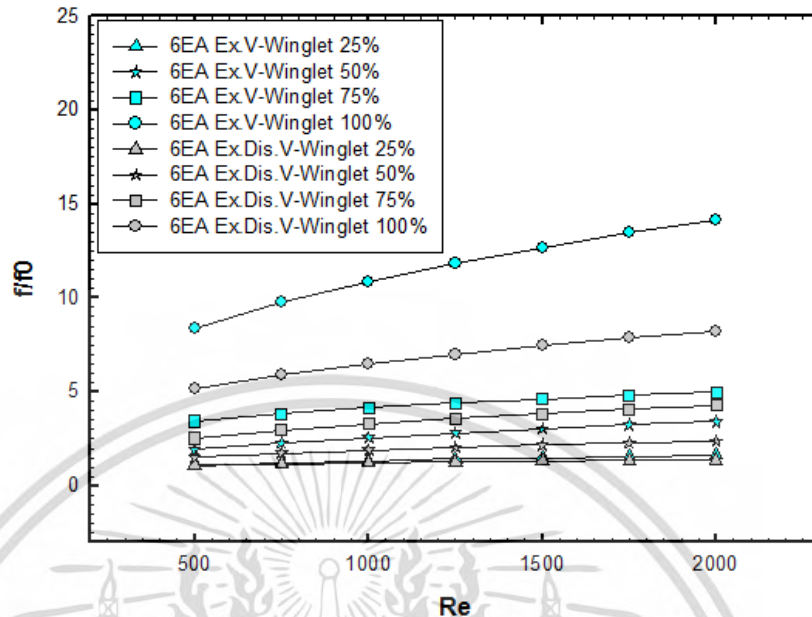
รูปที่ 5.45 (ก) (ข) รูปที่ 5.46 และรูปที่ 5.47 แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูง 50% ที่เลขเรย์โนลด์ 500



รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

รูปที่ 5.48 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์กับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุทำการติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่อง จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์มากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ตลอดทุกเลขเรย์โนลด์ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลอันเนื่องมาจากขนาดและความรุนแรงของกระแสหมุนวนด้านหลังปีกทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยลง อีกทั้งกระบวนบางส่วนยังถูกผ่านออกไปทางช่องว่างทำให้การเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อลดลง ซึ่งรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบต่อเนื่อง จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์น้อยที่สุดคือ 1.17 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 25% เลขเรย์โนลด์ 500 และให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์มากที่สุดคือ 2.17 เท่า ที่อัตราส่วนความสูงปีกเป็น 100% เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000

5.1.2.3.4 การสูญเสียความดัน



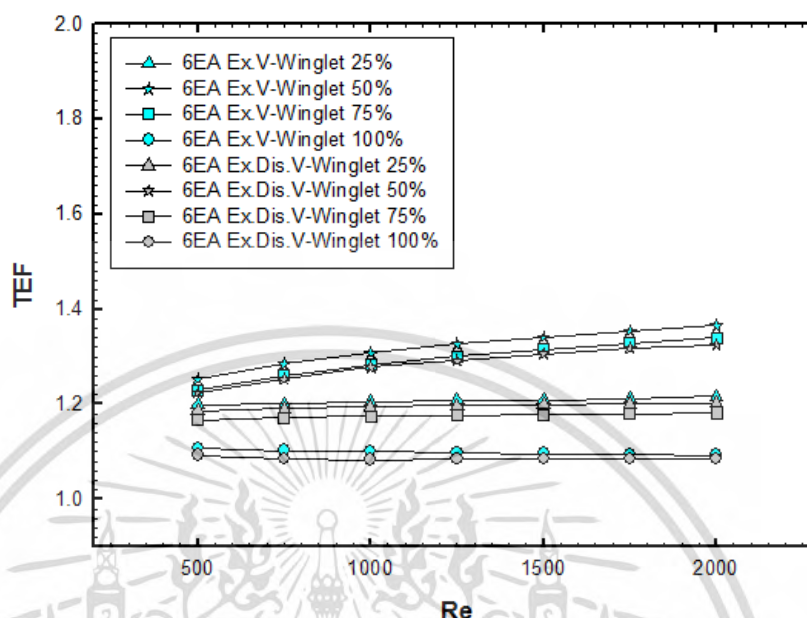
รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อขยาย ติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว

รูปที่ 5.49 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย และปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุทำการติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75% และ 100% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุในทุกเลขเรย์โนลด์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ มวลของกระแสอากาศบางส่วนสามารถไหลผ่านปีกไปได้ ทำให้เกิดการความดันตกคร่อมภายในแบบจำลองที่น้อยกว่า ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าน้อยกว่า ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้งแบบต่อเนื่องที่อัตราส่วนความสูง 100% เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2,000 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 8.22 เท่าเมื่อเทียบกับท่อครีบเรียบ

5.1.2.3.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50%, 75, และ 100% พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของการติดตั้งปีกในทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ ซึ่งหากเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงปีกตัววีที่เท่ากัน และเลขเรย์โนลด์เดียวกัน รูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายจะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่ารูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ ติดตั้ง

แบบต่อเนื่อง ซึ่งรูปแบบการติดตั้งปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 1.22 ถึง 1.3 ในกรณี ความสูงปีกเท่ากับ 50% ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบีที่มีการติดปีกรูปตัววีติดตั้งแบบต่อเนื่องและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2 อิทธิพลของปีกรูปแบบต่างๆ สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Flat fin tube

รายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้จะแสดงถึงอิทธิพลของพฤติกรรมการไหล ความดันตกคร่อมและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี

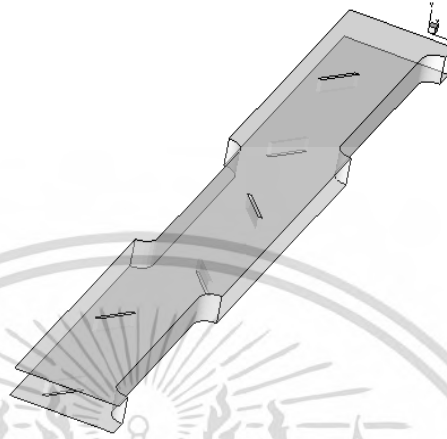
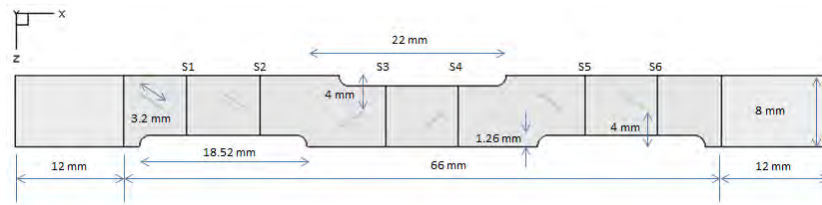
5.2.1 ปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA Rectangular Winglet)

5.2.1.1 ปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA Rectangular Winglet)

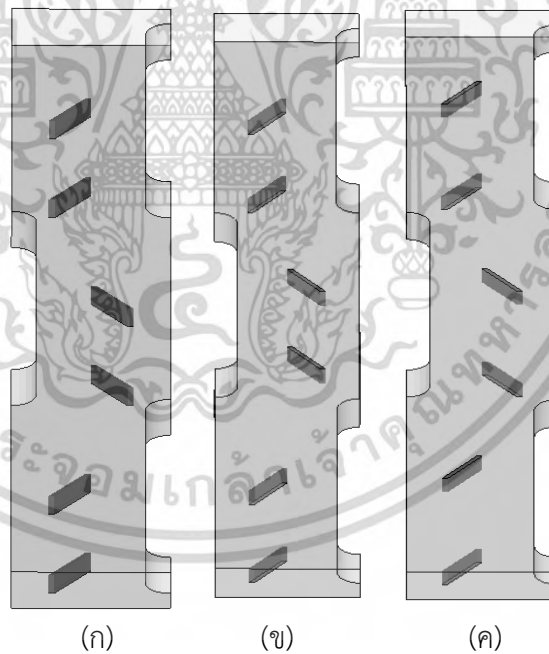
5.2.1.1.1 แบบจำลองทางกายภาพ

หัวข้อนี้ให้ความสนใจอิทธิพลของปีกรูปสี่เหลี่ยม ที่ติดตั้งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมประเภท Flat fin tube ถูกติดตั้งในแนวเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางหลักของท่อ โดยห่างจากศูนย์กลางของท่อเป็นระยะ 4 มิลลิเมตร ซึ่งมีการติดตั้งใน 3 รูปแบบ คือ 1. ปีกติดตั้งบนครีบล่างทั้งหมด (Inline) 2. ปีกติดตั้งแบบสลับบนล่าง (Staggered) และ 3. ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบ ส่วนปีกที่ตรงกับท่อแถวที่หนึ่งและสาม ปีกจะติดตั้งที่ผิวครีบล่าง (2nd Shift) ซึ่งรูปแบบทั้งหมดปีกจะอยู่ในทิศสวนกระแสการไหล มุมประทะมีค่าเท่ากับ 60 องศา พิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50% และ 75% ของความสูงระหว่างครีบ ซึ่งความสูงระหว่างครีบบีมีค่าเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ความหนาและความยาวของปีกมีค่าเท่ากับ 0.3 และ 3.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และพิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียงดังแสดงในรูปที่ 5.51 และ 5.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.51 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม ติดตั้งแบบ 6 แถว

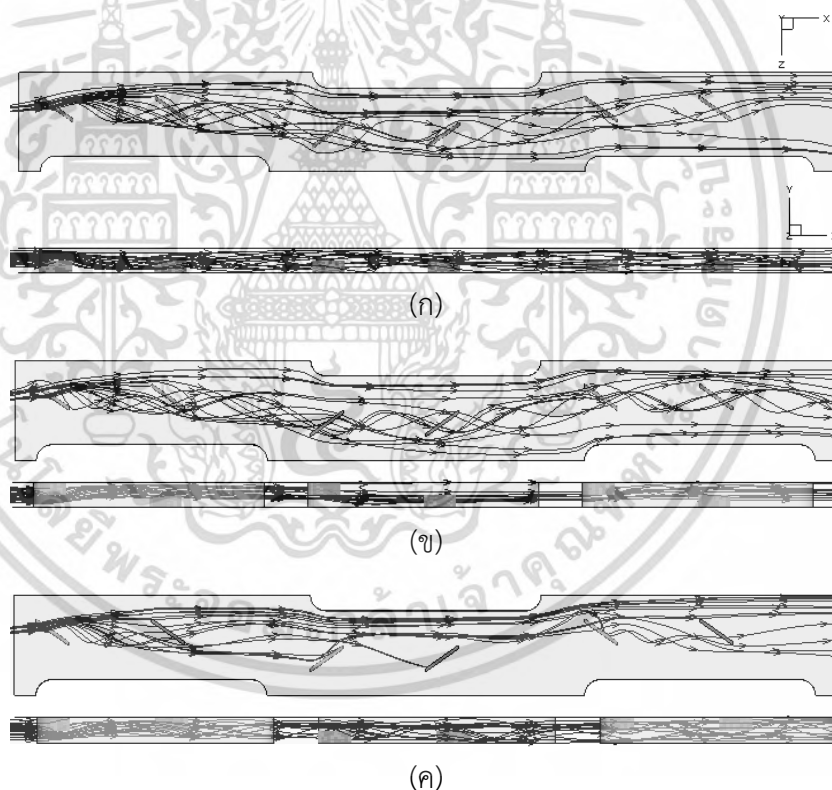


รูปที่ 5.52 รูปแบบการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม (ก) ปีกติดตั้งบนครีบล่างทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบล่าง

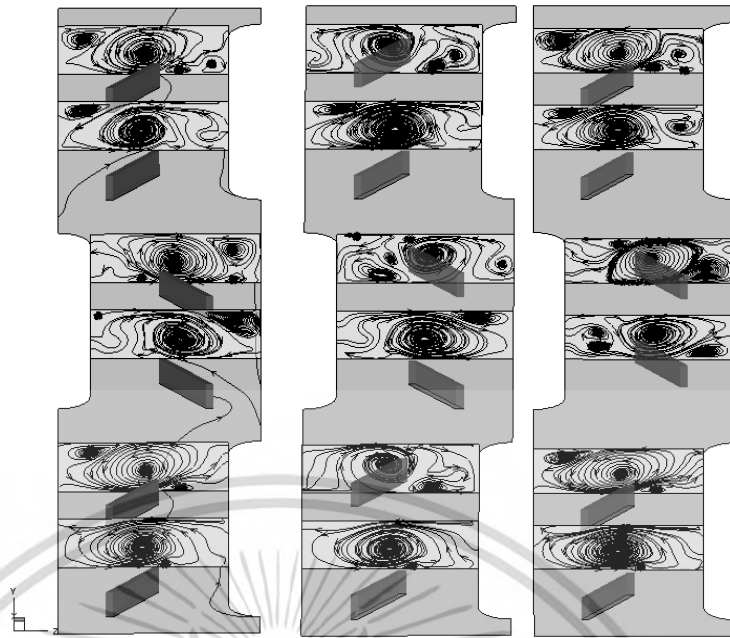
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.1.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.53 (ก) (ข) และ (ค) แสดงภาพตัดกึ่งกลางระหว่างผิวครีบบนและล่าง ของอากาศที่ไหลผ่านปีกรูปแบบ Inline, Staggered และ 2nd Shift ที่ความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าพฤติกรรมการไหลในสามรูปแบบค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน กล่าวคือจะเกิดกระแสหมุนควงหลักในแนวยาวด้านหลังปีกจำนวน 1 วง สำหรับปีกในแถวที่ 1 นอกจากนี้ปีกในแถวถัดไปจะพบกระแสหมุนควงรองอันเป็นผลสืบเนื่องจากการเหนี่ยวนำของกระแสหมุนควงหลัก กระแสหมุนควงด้านหลังปีกชุดที่ 2 ของรูปแบบ Inline และ 2nd Shift จะมีความรุนแรงและขนาดที่ใหญ่กว่ารูปแบบ Staggered ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการไม่ถูกรบกวนของปีกชุดที่ 2 ที่ติดอยู่ผิวด้านบนของครีบบน ศูนย์กลางของกระแสหมุนวนจะเปลี่ยนตามตำแหน่งการติดตั้งของปีก ซึ่งในรูป 5.53 (ข) พบว่าศูนย์กลางของกระแสหลักด้านหลังปีกชุดที่ 2, 4 และ 6 จะใกล้ผิวครีบบน ซึ่งตรงกับตำแหน่งการติดตั้งปีก โดยจะส่งผลโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่ผิวครีบบนที่เพิ่มขึ้นเส้นกระแสการไหลในครีบบนที่มีการติดตั้งปีกแบบ Staggered นั้นจะถูกบังคับการไหลกระแทกไปยังด้านบนและด้านล่างสลับกันตามรูปแบบการติดตั้งปีก กระแสหมุนวน ที่เกิดการปั่นป่วนตั้งแต่ในปีกในชุดที่ 1 จะส่งผลทำให้เกิดการปั่นป่วนในปีกชุดถัดๆ ไป ให้มีความปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้น ตามที่แสดงในรูปที่ 5.54 (ก) (ข) และ (ค)

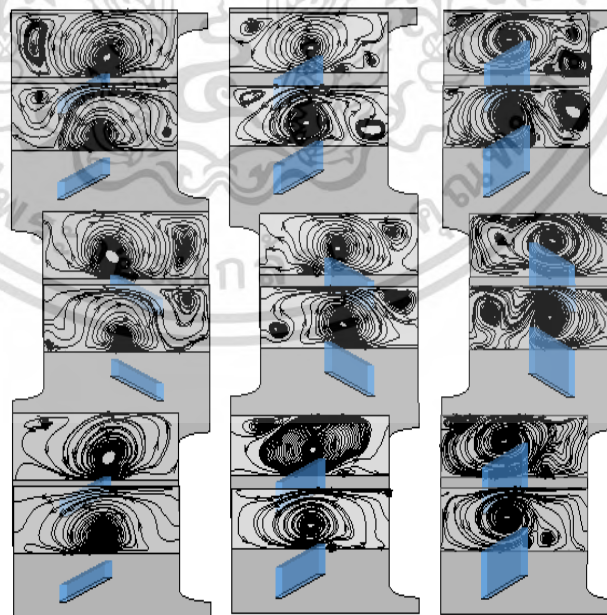


รูปที่ 5.53 พฤติกรรมการไหลของอากาศ สำหรับครีบบนที่มีติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยม (ก) ปีกติดตั้งบนครีบล่างทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบน



รูปที่ 5.54 ภาพตัดกระแสหมุนวน (ก) ปีกติดตั้งบนครีบล่างทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบ

รูปที่ 5.55 เป็นภาพแสดงกระแสหมุนวนแต่ละหน้าตัดของครีบที่มีการติดตั้งปีกในรูปแบบ inline ที่ความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ซึ่งหากพิจารณาอิทธิพลของความสูงปีกที่ส่งผลต่อพฤติกรรมไหลจะพบว่าขนาดของกระแสหมุนวนในแนวยาวจะเพิ่มสูงขึ้นตามความสูงของปีกที่เพิ่มขึ้น



(ก)

(ข)

(ค)

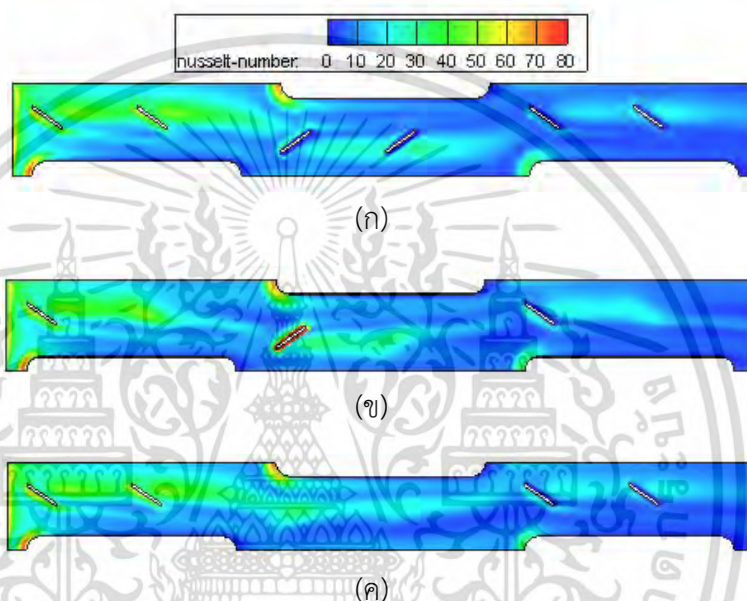
รูปที่ 5.55 กระแสหมุนวนแต่ละหน้าตัดของครีบที่มีการติดตั้งปีกแบบ inline ที่ความสูงปีก

(ก) 25% (ข) 50% และ (ค) 75%

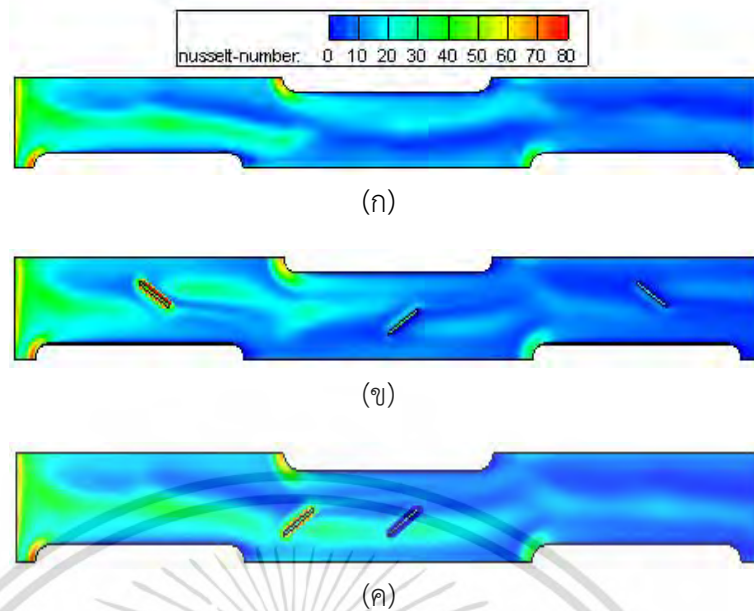
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.1.3 พลวัตกรรมการถ่ายเทความร้อน

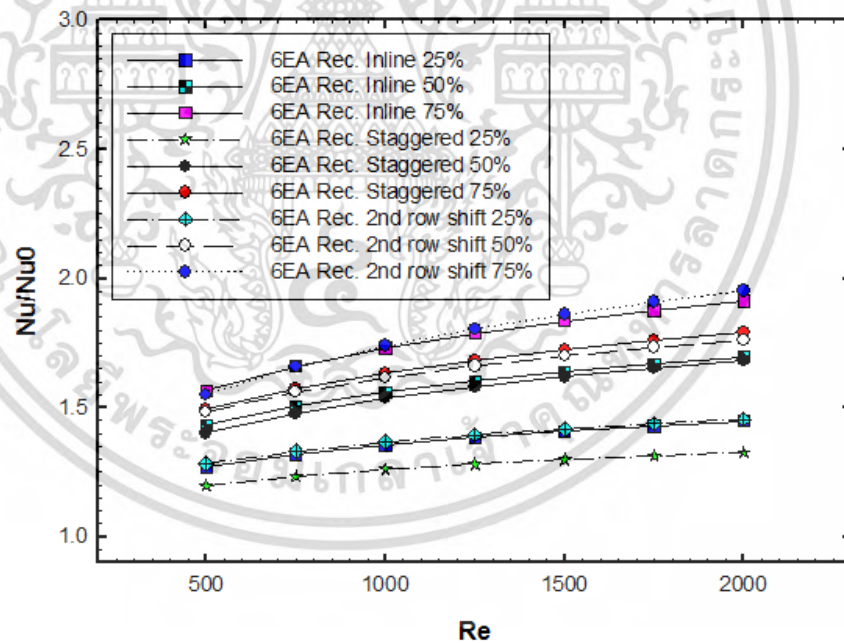
สำหรับพลวัตกรรมการถ่ายเทความร้อน สามารถอธิบายด้วยการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนพื้นผิว รูปที่ 5.56 และรูปที่ 5.57 แสดงการเปรียบเทียบถึงการกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบนที่ความสูงปีก 50% เลขเรย์โนลด์ 800 สำหรับการติดตั้งแบบ Inline, Staggered และ 2nd Shift พบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นมากบริเวณด้านหลังปีก อันเนื่องมาจากกระแสหมุนวน รูปแบบ Inline และ 2nd Shift มีการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบนของท่อในแถวที่ 2 และ 3 ในจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีการกระจายตัวค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน ซึ่งมีการกระจายตัวมากกว่ารูปแบบ Staggered



รูปที่ 5.56 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบนชั้นล่างความสูงปีก 50% (ก) ปีกติดตั้งบนครีบบนทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบน



รูปที่ 5.57 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบนความสูงปีก 50% (ก) ปีกติดตั้งบนครีบล่างทั้งหมด (ข) ปีกติดตั้งแบบสลับบนล่าง (ค) ปีกในท่อแถวที่สองถูกติดตั้งที่ด้านบนของครีบบน

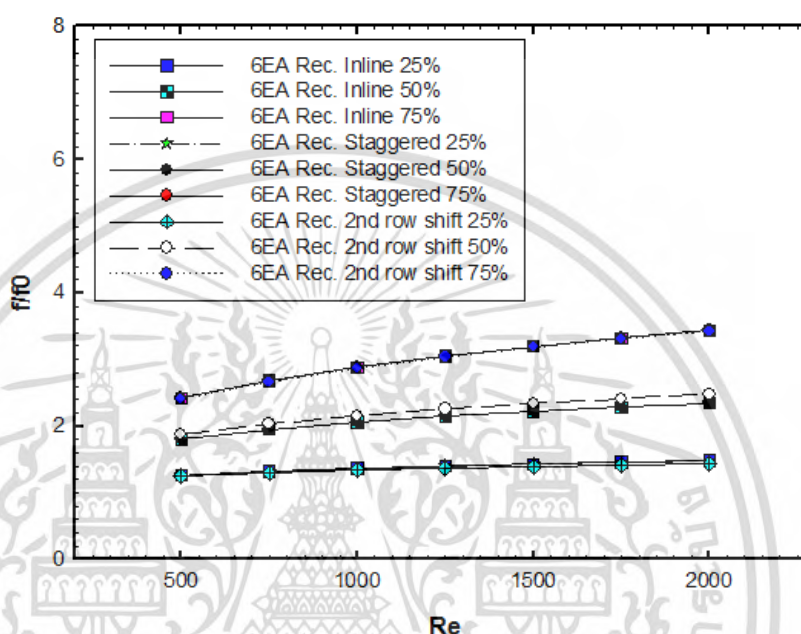


รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบนที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.58 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบนที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมแบบ Inline, Staggered และ 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าพบว่าเมื่อค่าอัตราส่วนความสูงของปีกเพิ่มขึ้นจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลเพิ่มขึ้นเช่นกัน รูปแบบ 2nd Shift จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลมากกว่าอีกสองรูปแบบในทุกอัตราส่วนความสูง ซึ่งที่อัตราส่วนความสูง 75% รูปแบบ 2nd Shift จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัยสเซลมากที่สุดอยู่ในช่วงระหว่าง 1.54 ถึง 1.95 ตลอดเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

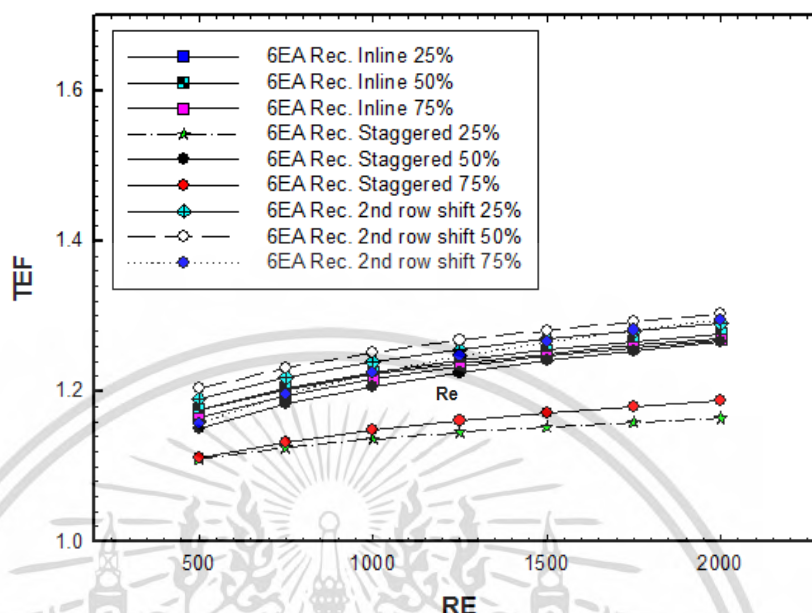
5.2.1.1.4 การสูญเสียความดัน



รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.59 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมแบบ Inline, Staggered และ 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของทั้งสามรูปแบบมีค่าที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน อัตราส่วนความสูง 75% ของรูปแบบ Inline จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด อยู่ระหว่าง 2.42 ถึง 3.43 ตลอดเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

5.2.1.1.5 สมรรถนะเชิงความร้อน



รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีที่มีการติดปีกรูปสี่เหลี่ยมแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.60 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมแบบ Inline, Staggered และ 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้น ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของรูปแบบ 2nd Shift จะให้ค่าที่มากกว่าอีก 2 รูปแบบที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน

หากพิจารณารูปแบบการติดตั้งรูปแบบเดียวกันจะพบว่าที่อัตราส่วนความสูง 50% จะให้ค่าสมรรถนะมากกว่ากรณี 25% และ 75% เนื่องจากที่อัตราส่วนความสูงๆ จะเกิดค่าความดันตกคร่อมที่มากส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนรวมมีค่าที่น้อย

รูปแบบ 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูง 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดสำหรับ 3 กรณีที่เปรียบเทียบ โดยให้ค่า 1.20 ถึง 1.30 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

5.2.2 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA V-Winglet)

5.2.2.1 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว (6EA V-Winglet)

5.2.2.1.1 แบบจำลองทางกายภาพ

สำหรับในหัวข้อถัดมานี้จะทำการประยุกต์ใช้ปีกรูปตัววีเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Flat fin tube ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา

ปีกรูปตัววีจะทำการติดตั้งบนครีชั้นล่าง ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแบบจำลอง ซึ่งห่างจากศูนย์กลางของท่อเป็นระยะ 4 มิลลิเมตร ขนาดความหนาและความยาวของปีกที่ใช้มีค่าคงที่เท่ากับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

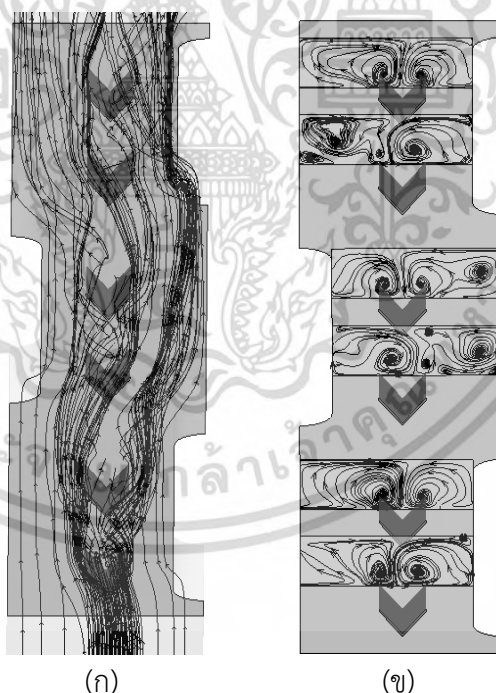
0.3 และ 3.2 มิลลิเมตร ติดตั้งจำนวน 2 ชั้นต่อหนึ่งแถวท่อ ทำมุมปะทะ 60 องศา สวนทิศการไหล พิจารณาที่อัตราส่วนความสูงของปีกรูปตัววีเป็น 25%, 50% และ 75%



รูปที่ 5.61 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว

5.2.2.1.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.62 (ก) และ (ข) แสดงพฤติกรรมการไหลและภาพตัดกระแสหมุนวน ของกระแสอากาศที่ไหลผ่านครีที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว บนผิวด้านล่างของครีที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านปีกชุดแรกจะเกิดกระแสหมุนวนด้านหลังปีกจำนวน 1 คู่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้าและหลังปีก ซึ่งจำนวนและพฤติกรรมการไหลจะแตกต่างจากปีกรูปสี่เหลี่ยมที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ จุดศูนย์กลางของกระแสจะอยู่ใกล้ผิวครีด้านล่าง สำหรับปีกที่อยู่ตรงกับท่อในแถวที่ 2 จะพบกระแสหมุนวนเหนียวนำเพิ่มขึ้นอีก อันเกิดจากอิทธิพลของท่อในแถวที่ 3

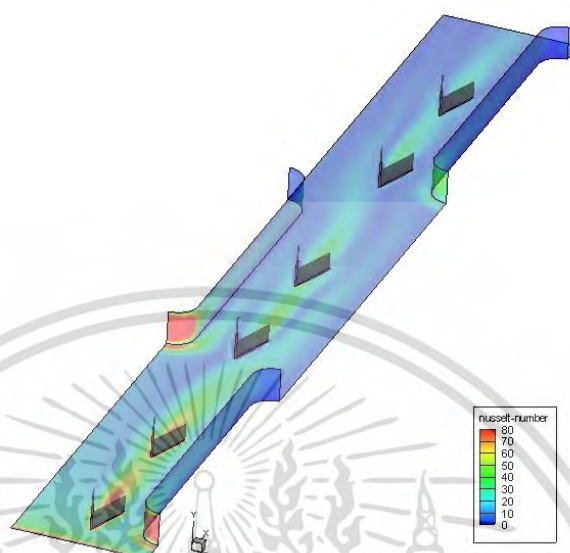


รูปที่ 5.62 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว

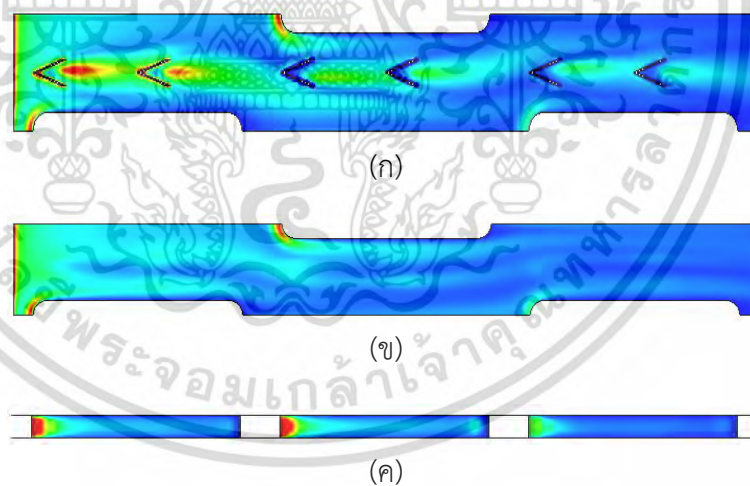
5.2.2.1.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.63 แสดงภาพการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีชั้นล่างและผิวท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว บนผิวด้านล่างของครีที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าเมื่อกระแสไหลผ่านปีกชุดแรกจะเกิดกระแสหมุนวนด้านหลังปีกจำนวน 1 คู่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้าและหลังปีก ซึ่งจำนวนและพฤติกรรมการไหลจะแตกต่างจากปีกรูปสี่เหลี่ยมที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ จุดศูนย์กลางของกระแสจะอยู่ใกล้ผิวครีด้านล่าง สำหรับปีกที่อยู่ตรงกับท่อในแถวที่ 2 จะพบกระแสหมุนวนเหนียวนำเพิ่มขึ้นอีก อันเกิดจากอิทธิพลของท่อในแถวที่ 3

โนลด์ 800 พบว่าการกระจายตัวเลขนัสเซลบนผิวท่อและผิวครีbsd้านหลังปีกในท่อแถวที่ 1 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อแถว 2 และ 3 เนื่องจากมวลกระแสอากาศมีค่าโมเมนตัมที่สูงกว่า ซึ่งยังไม่ได้รับอิทธิพลของความดันตกคร่อม



รูปที่ 5.63 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีbsd้านล่างและผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว

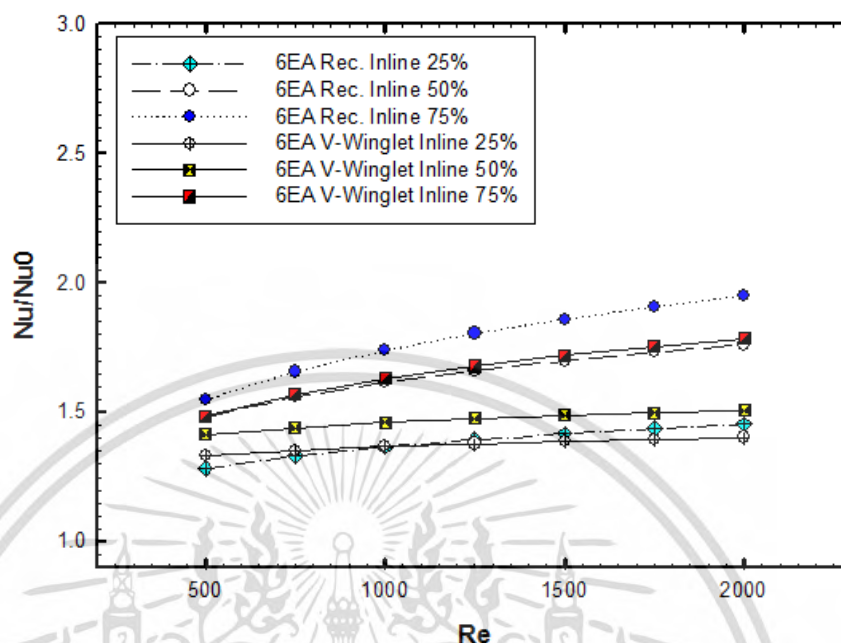


รูปที่ 5.64 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีbsd้านล่าง (ก) ด้านล่าง (ข) ด้านบน และ (ค) ด้านบนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว

รูปที่ 5.64 (ก) (ข) และ (ค) แสดงภาพการเปรียบเทียบการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีbsd้านบน ด้านล่างและผิวท่อ ของครีbsd้านล่างที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว บนผิวด้านล่างของครีbsd้านล่างที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าการกระจายตัวเลขนัสเซลบนผิวครีbsd้านล่างจะให้ค่าที่มากกว่าผิวครีbsd้านบน เนื่องจากกระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นด้านหลังปีก เกิดขึ้นในลักษณะหมุนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแทกกลางด้านล่าง อีกทั้งศูนย์กลางของกระแสนวนเกิดขึ้นใกล้กับผิวด้านล่างมากกว่า ซึ่งเป็นการทำลายชั้นขีดผิว ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า



รูปที่ 5.65 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบัที่มีการติดปีก รูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี ด้านล่างผิวครีบ แบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบัที่มี การติดปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี ที่ผิวด้านล่างของครีบ ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

พบว่าอัตราส่วนความสูงปีก 25% ทั้งสองรูปแบบจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออัตราส่วนความสูงปีกเพิ่มขึ้นมากกว่า 50% การติดปีกรูปสี่เหลี่ยมจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซล ที่สูงกว่าปีกรูปตัววี ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยอิทธิพลของ ตำแหน่งการติดตั้ง เนื่องจากตำแหน่งโดยเฉลี่ยของปีกรูปสี่เหลี่ยมถูกติดตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างขอบ ของครีบบักับผิวท่อ ทำให้ได้รับอิทธิพลความแตกต่างของความดันที่เกิดจากรูปทรงของผนังท่อน้อยกว่า กล่าวคือกระแสนวนที่เกิดขึ้นด้านหลังปีกรูปสี่เหลี่ยมจะสามารถกระจาย สร้างความปั่นป่วนได้กินวง กว้างมากกว่า ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวเลขนัสเซลบนผิวครีบชั้นล่าง

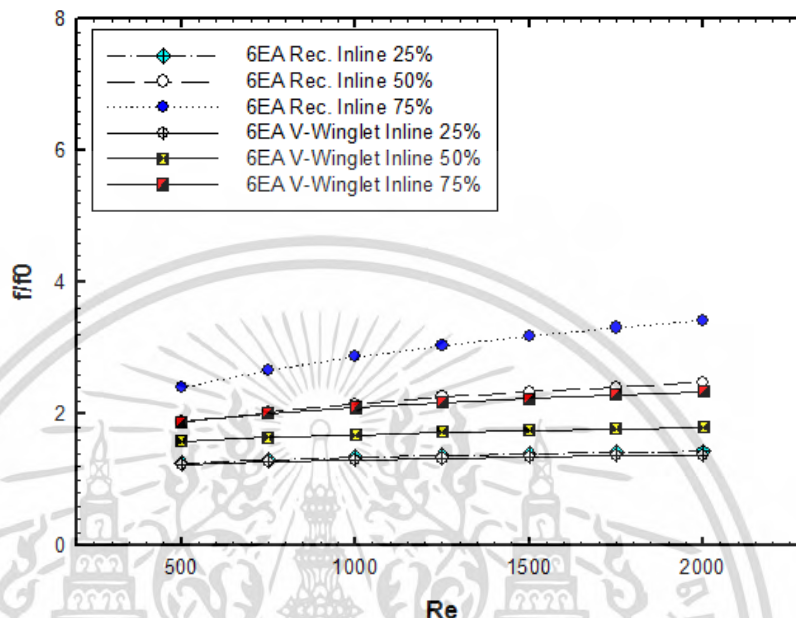
ซึ่งกรณีรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมากที่สุดอยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 1.78 ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

5.2.2.1.4 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 5.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของ ครีบบัที่มีการติดปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี ที่ผิวด้านล่างของครีบ ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าด้วยอิทธิพลของตำแหน่งการจัดวางและ รูปทรงของปีกที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ทำให้รูปแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

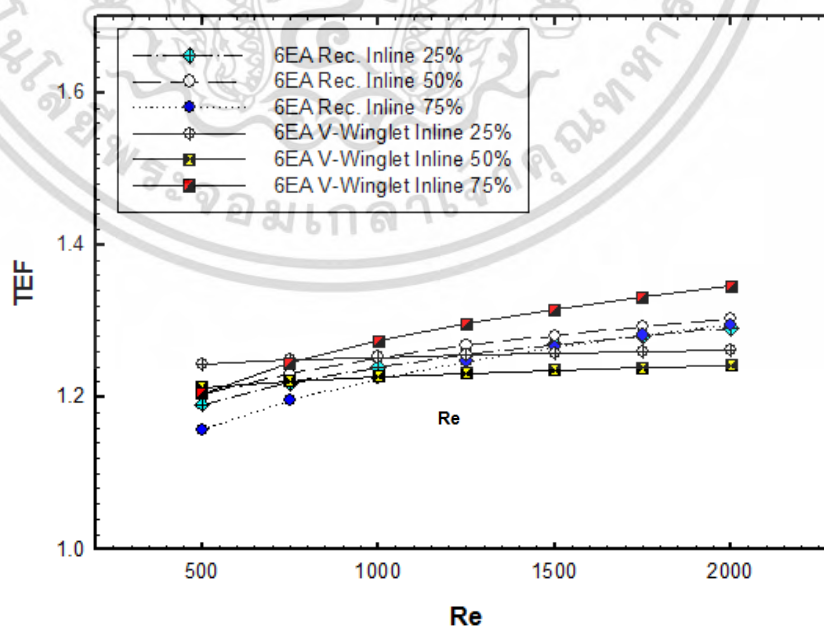
มากกว่าค่าปีกรูปตัววี เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงปีกเดียวกัน ซึ่งที่อัตราส่วนความสูงปีกมีค่า 25% ทั้งสองรูปแบบจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ใกล้เคียงกัน

กรณีรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดอยู่ระหว่าง 1.88 ถึง 1.34 ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.66 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.1.5 สมรรถนะเชิงความร้อน



รูปที่ 5.67 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มีการ ติดปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

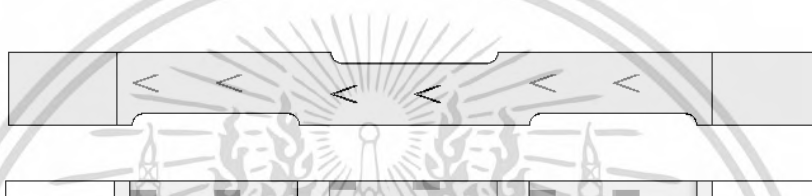
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววีที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์ โนลด์ 500 ถึง 2,000 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ที่สูงขึ้น สำหรับ กรณีสี่เหลี่ยมปีกที่อัตราส่วนความสูงปีก 75% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดคิดเป็น 1.20 ถึง 1.34 ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

5.2.2.2 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว แบบกึ่งกลาง (6EA Centered V-Winglet)

5.2.2.2.1 แบบจำลองทางกายภาพ

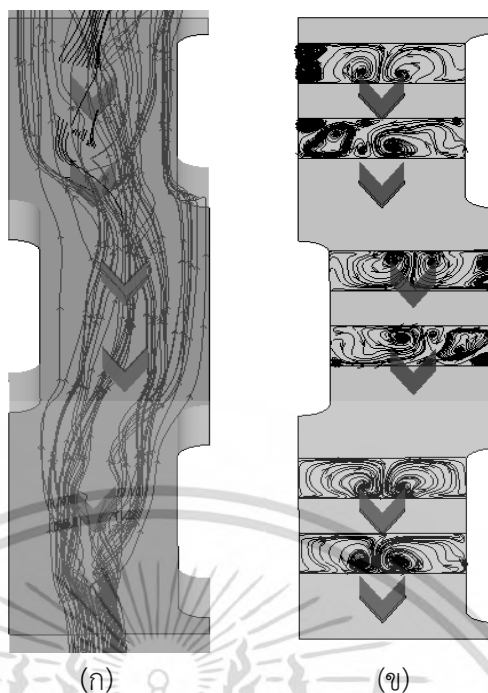
สำหรับในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการปรับปรุงรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีจากหัวข้อที่ 5.2.1.1 และ 5.2.2.1 โดยทำการปรับตำแหน่งปีกให้อยู่กึ่งกลางระหว่างขอบครีปและผิวท่อ อีกทั้งยังประยุกต์ ร่วมกับการติดตั้งปีกแบบ 2nd Shift ดังแสดงในรูปที่ 5.68



รูปที่ 5.68 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถว แบบกึ่งกลาง

5.2.2.2.2 พฤติกรรมการไหล

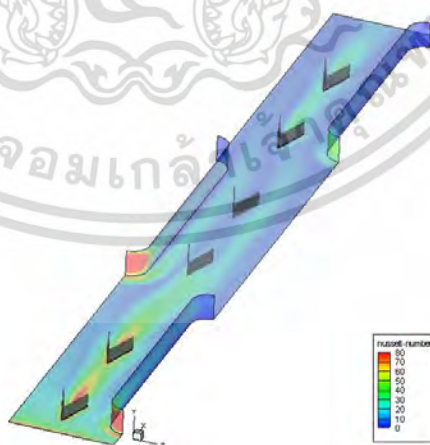
รูปที่ 5.69 แสดงพฤติกรรมการไหลและภาพตัดกระแสหมุนวนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขอบครีปกับผิวท่อ และปีกในตำแหน่งท่อแถวที่ 2 ถูก ติดตั้งไว้ที่ผิวด้านบน ที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าปีกรูปตัววีจะเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดกระแสหมุนวนหลักด้านหลังปีกจำนวน 1 คู่ และการจัดจ้วางแบบ 2nd Shift จะบังคับ กระแสการไหลให้เกิดการกระแทกผิวด้านบนและด้านล่างของครีปโดยสลับกัน ตำแหน่งของกระแส หมุนวนหลักจะเกิดขึ้นกึ่งกลางระหว่างขอบและผิวท่อ ซึ่งศูนย์กลางของกระแสหมุนวนจะเกิดขึ้นที่ ด้านหลังตามตำแหน่งที่ปีกถูกติดตั้ง



รูปที่ 5.69 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสมุมวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง

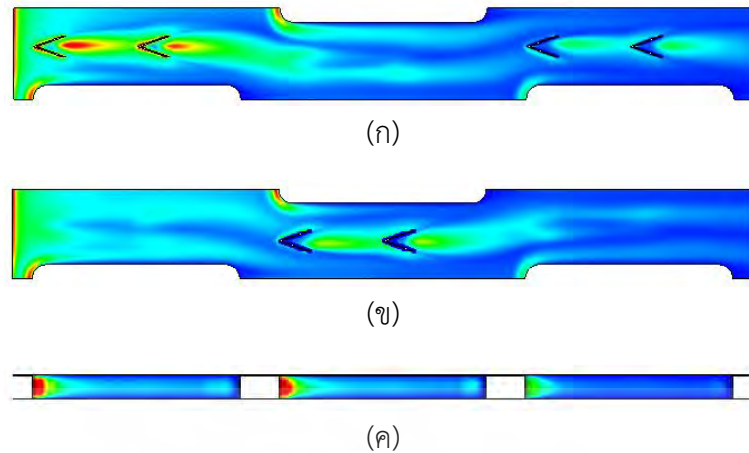
5.2.2.2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.70 แสดงภาพการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบบนและผิวท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลที่สม่ำเสมอมากกว่าติดตั้งในรูปแบบหัวข้อ 5.2.2.1 นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังผนังครีบบนบนสูงขึ้น ซึ่งสังเกตจากคอนทัวร์ในรูปที่ 5.71 (ข)

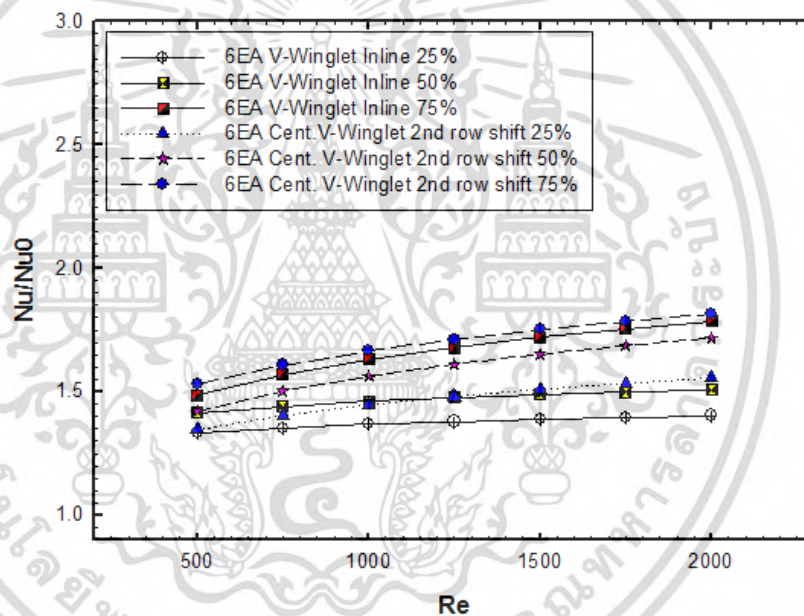


รูปที่ 5.70 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบบนและผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.71 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบ (ก) ชั้นล่าง (ข) ชั้นบน และ (ค) ผิวทอของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 6 แถวแบบกึ่งกลาง



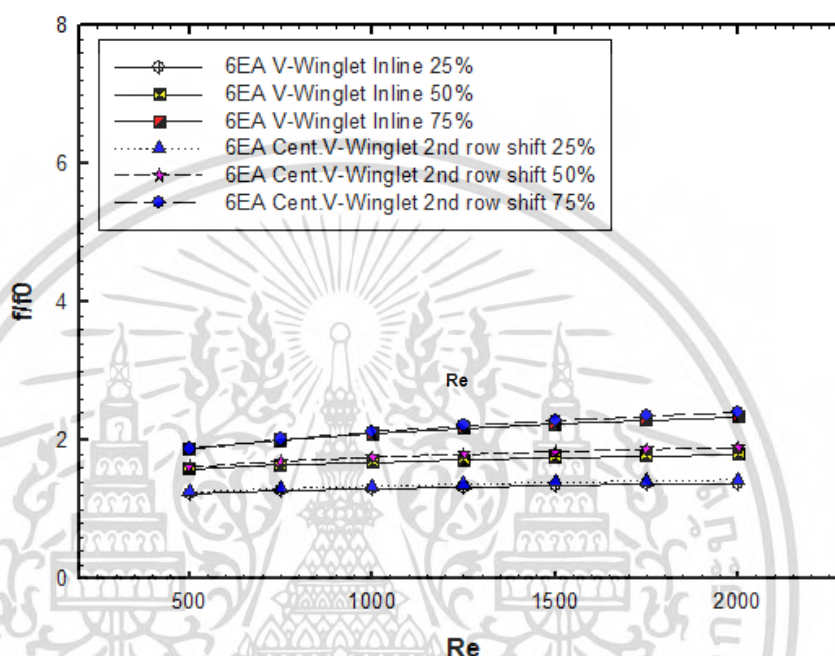
รูปที่ 5.72 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

รูปที่ 5.72 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี แบบกึ่งกลาง ซึ่งปีกในท่อแถวที่ 2 ถูกติดตั้งที่ผิวครีบด้านบน (2nd Shift) กับรูปแบบที่ปีกทั้งหมดติดตั้งอยู่ที่ผิวครีบด้านล่าง ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 จะพบว่ารูปแบบที่ปีกติดตั้งแบบกึ่งกลางนั้นจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมากกว่าอีกรูปแบบทุกค่าอัตราส่วนความสูง ซึ่งค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ซึ่งกรณีติดตั้งปีกรูปตัววีแบบกึ่งกลาง 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลสูงที่สุด 1.52 ถึง 1.84 ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2.4 การสูญเสียความดัน

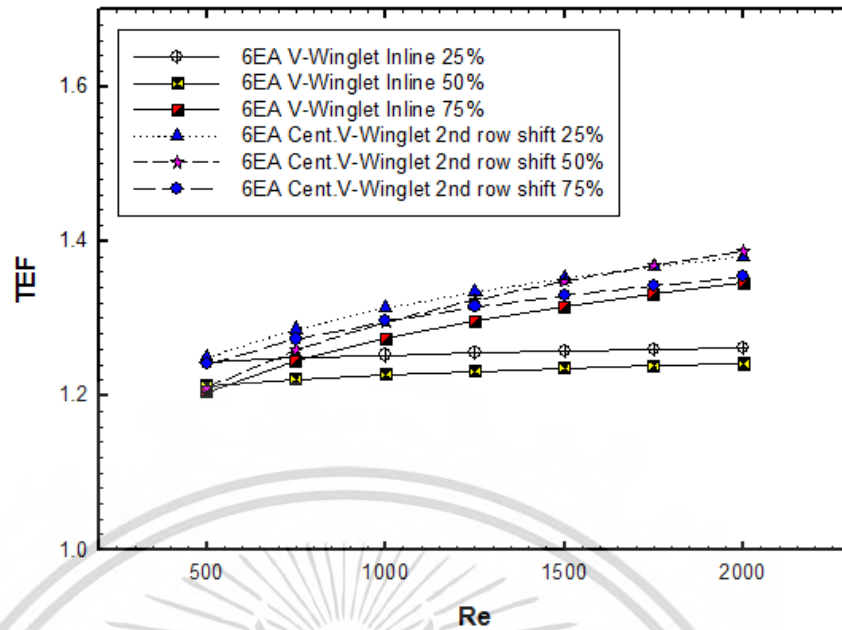
หากพิจารณาการสูญเสียความดัน สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.73 ซึ่งจะพบว่าในทั้ง 2 กรณีให้ค่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ที่สนใจ กรณีรูปแบบปีกรูปตัววีที่ติดตั้งแบบกึ่งกลาง 2nd Shift ที่อัตราส่วนความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด 1.87 ถึง 2.40 ระหว่างเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.73 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววี แบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.2.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.74 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ที่สูงขึ้น สำหรับกรณีรูปแบบปีกรูปตัววี ที่ความสูงปีก 25% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดคิดเป็น 1.24 ถึง 1.38 ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

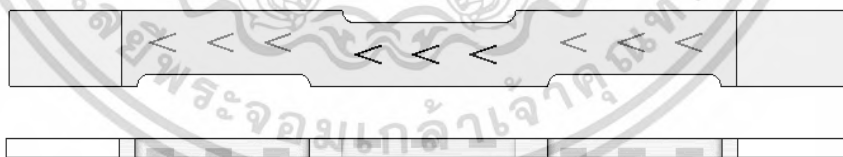


รูปที่ 5.74 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.3 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว แบบกึ่งกลาง (9EA Centered V-Winglet)

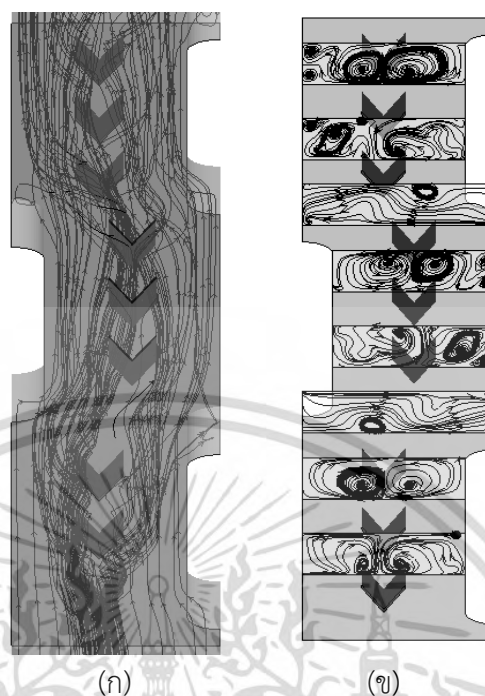
5.2.2.3.1 แบบจำลองทางกายภาพ

สำหรับหัวข้อนี้ทำการประยุกต์การติดตั้งปีกรูปตัววี จากหัวข้อ 5.2.2.2 โดยทำการเพิ่มจำนวนปีกเป็น 3 ชั้นต่อ 1 แถวต่อ ระยะห่างระหว่างปีกถูกกำหนดให้คงที่เท่ากับ 6.7 มิลลิเมตร ติดตั้งอยู่กึ่งกลางระหว่างขอบครีบและผิวท่อ ซึ่งปีกที่ตรงกับท่อแถวที่ 2 จะถูกติดอยู่ผิวครีบด้านบน ทั้งนี้เนื่องด้วยสมมุติฐานว่าการเพิ่มจำนวนปีกจะส่งผลต่อการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของแบบจำลองจึงได้ทำการพัฒนาและออกแบบจำลองนี้ขึ้น ดังแสดงในรูป 5.75



รูปที่ 5.75 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว

5.2.2.3.2 พฤติกรรมการไหล

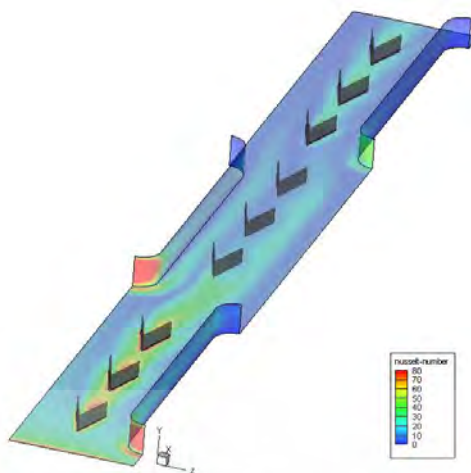


รูปที่ 5.76 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แฉวแบบกึ่งกลาง

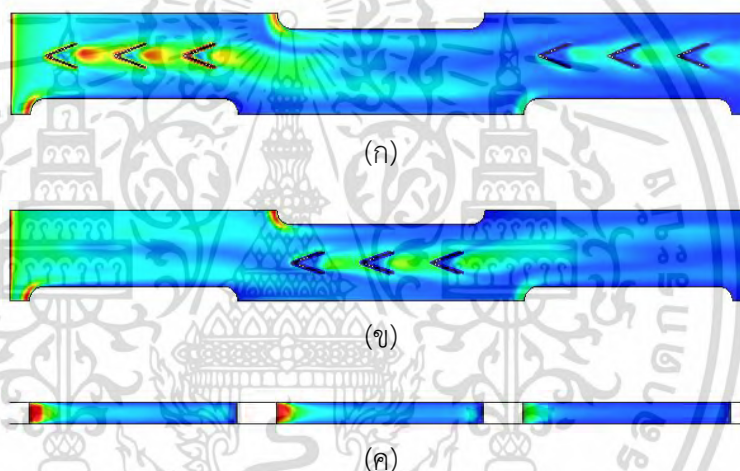
รูปที่ 5.76 (ก) และ (ข) แสดงพฤติกรรมการไหลและภาพตัดกระแสหมุนวนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แฉวตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขอบคิบบกับผิวท่อที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 ซึ่งจากรูปจะพบว่ากระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นด้านหลังปีกชั้นที่ 3 ในท่อแฉวที่ 1 และ 2 จะทำให้เกิดกระแสหมุนวนเพิ่มขึ้น 1 วง จากรูปแบบในหัวข้อ 5.2.2.2 และเมื่อพิจารณาภาพตัดสุดท้ายของแบบจำลองจะพบว่าขนาดของกระแสหมุนวนจะมีขนาดใหญ่กว่ารูปแบบที่แล้ว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2.2.3.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.77 แสดงภาพการกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวคิบบและผิวท่อที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แฉว ติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าการกระจายของเลขนัสเซลมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากอิทธิพลของปีกรูปวีที่ติดตั้งเพิ่ม



รูปที่ 5.77 การกระจายตัวของเลขน้สเชิล บนผิวครีบบนชั้นล่างและผิวท่ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แฉวแบบกึ่งกลาง

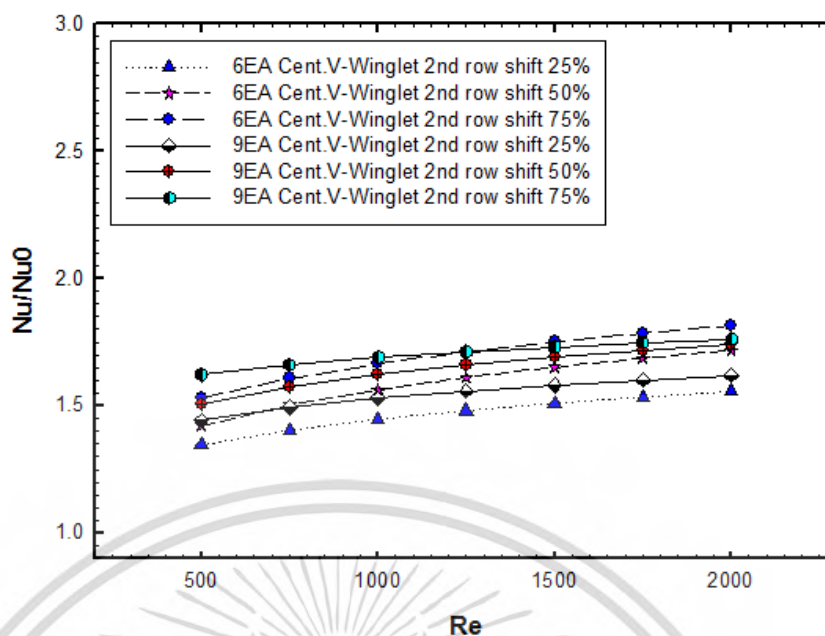


รูปที่ 5.78 การกระจายตัวของเลขน้สเชิล บนผิวครีบบ (ก) ชั้นล่าง (ข) ชั้นบน และ (ค) ผิวท่ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แฉวแบบกึ่งกลาง

รูปที่ 5.78 (ก) (ข) และ (ค) แสดงภาพการเปรียบเทียบกระจายตัวของเลขน้สเชิลบนผิวครีบบนชั้นบน ชั้นล่างและผิวท่ ของครีบบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แฉว บนผิวด้านล่างของครีบบที่ความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขน้สเชิลกับเลขเรย์โนลด์ในรูปที่ 5.79 ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววี จำนวน 2 และ 9 แฉวที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าอัตราส่วนเลขน้สเชิลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนความสูงของปีกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนความสูงเดียวกันปีกรูปตัววีที่ติดตั้งแบบ 9 แฉว จะให้ค่าอัตราส่วนเลขน้สเชิลที่สูงกว่าปีกรูปตัววีแบบ 6 แฉว เนื่องด้วยจำนวนของกระแสหมุนที่เกิดขึ้น กรณีติดตั้งปีกรูปตัววีแบบ 9 แฉว อัตราส่วนความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขน้สเชิลคิดเป็น 1.62 ถึง 1.76 ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

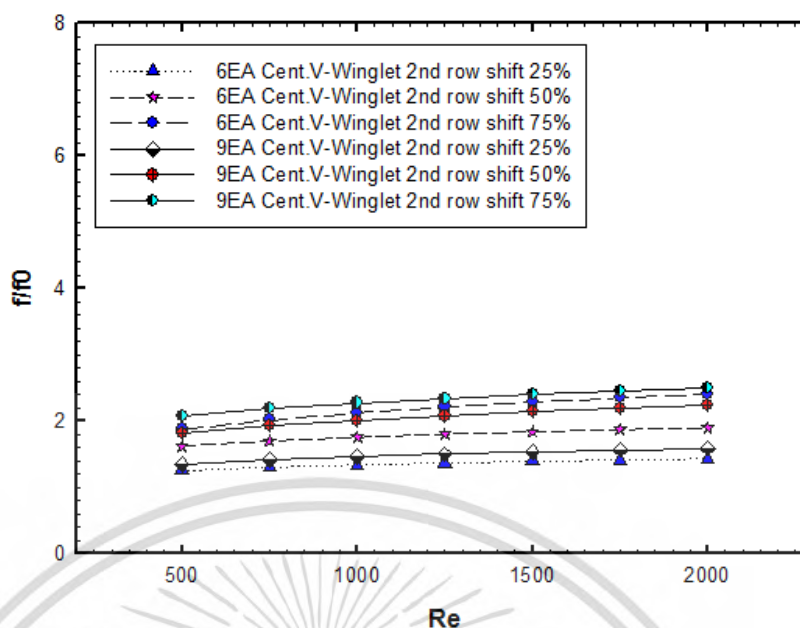
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.79 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีก รูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.3.4 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 5.80 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าแนวโน้มการเกิดความดันตกคร่อมของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบ 9 แถว จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่มากกว่ารูปแบบการติดตั้งแบบ 6 แถว ในทุกกรณีเปรียบเทียบค่าความสูงปีกเดียวกัน โดยรูปแบบการติดตั้งแบบ 9 แถว อัตราส่วนความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดคิดเป็น 1.27 ถึง 1.35 เท่า เมื่อเทียบกับครีบเปล่า ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

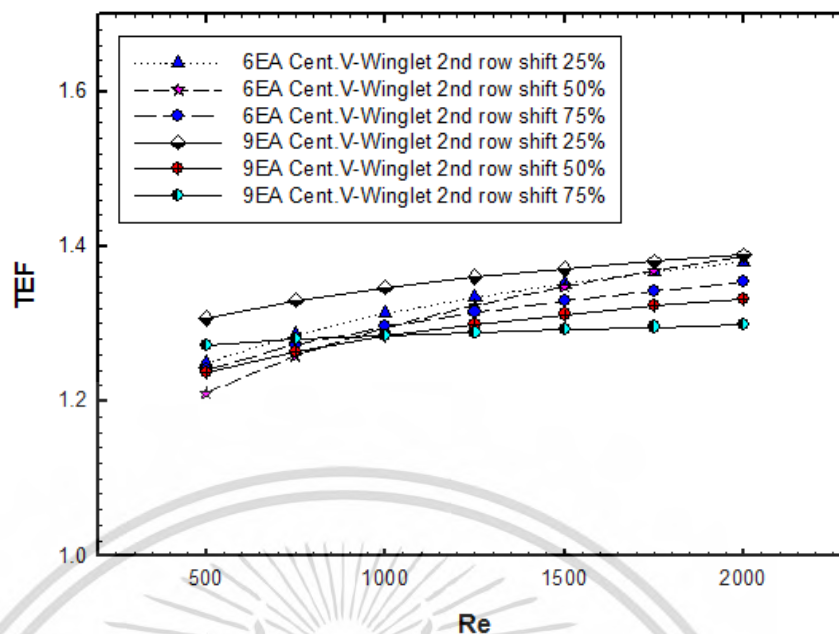


รูปที่ 5.80 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.3.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีปที่มี การติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลข เรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 จะพบว่าที่อัตราส่วนความสูงปีกมีค่า 25% ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของ การติดแบบ 9 แถว จะมีค่ามากกว่ารูปแบบ 6 แถว ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ที่พิจารณา แต่เมื่อ พิจารณาที่อัตราส่วนความสูงปีก 50% และ 75% ตั้งแต่เลขเรย์โนลด์ 1,000 ถึง 2,000 รูปแบบการ ติดตั้งปีกแบบ 6 แถว จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่า

สำหรับกรณีที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด คือ รูปแบบการติดตั้งปีกแบบ 9 แถว ที่ อัตราส่วนความสูงปีก 25% โดยให้ค่าเท่ากับ 1.30 ถึง 1.38 ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



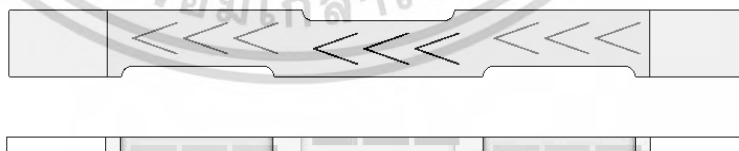
รูปที่ 5.81 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีแบบ 6 แถว และ 9 แถวที่อัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.4 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ต่อขยาย (9EA Centered Extended V-Winglet)

5.2.2.4.1 แบบจำลองทางกายภาพ

สำหรับในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว แบบต่อขยาย เป็นรูปแบบที่พัฒนาต่อยอดจากหัวข้อที่ผ่านมา ปีกรูปตัววีทั้งหมดจะถูกเพิ่มความยาวออกเป็น 2 เท่าจาก ความยาวปีกเดิม ซึ่งความหนาและความยาวของปีกมีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และ 6.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความสูงปีกมีค่าเท่ากับ 25%, 50% และ 75% พิจารณาช่วงของเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 และเป็นการไหลเป็นแบบราบเรียบ

รูปที่ 5.82 แสดงแบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว แบบต่อขยาย โดยปีกในส่วนของท่อแถวที่ 2 จะถูกติดตั้งทำนบนของผิวครีบ (2nd Shift)



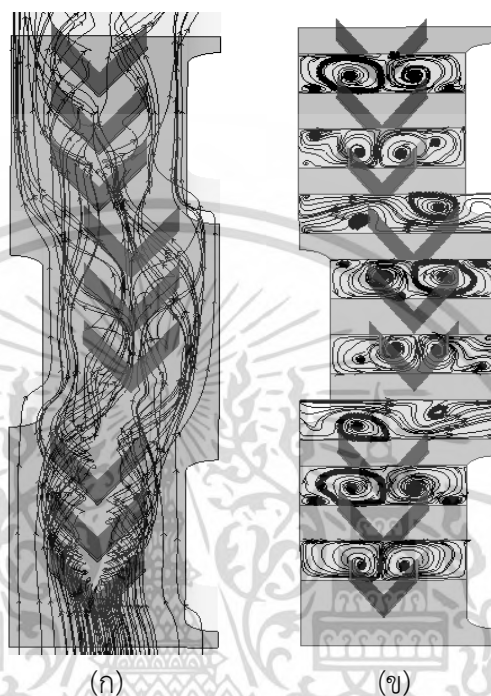
รูปที่ 5.82 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ต่อขยาย

5.2.2.4.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.83 แสดงพฤติกรรมการไหลและภาพตัดกระแสหมุนวนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย ที่อัตราส่วนความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 จะพบว่าความยาวปีกที่ยาวขึ้นนั้นส่งผลให้กระแสหมุนวนด้านหลังปีกมีขนาดใหญ่กว่าในรูปแบบเดิม กระแสหมุนวนหลักจำนวน 1 คู่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน รวมถึงกระแสหมุนวนรองที่เกิดจากการอิทธิพลของกลุ่มของท่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาตใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมกรไหลก็เกิดขึ้นอย่างชัดเจนมากขึ้น ซึ่งด้วยพฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ผิวมีค่าเพิ่มมากขึ้น

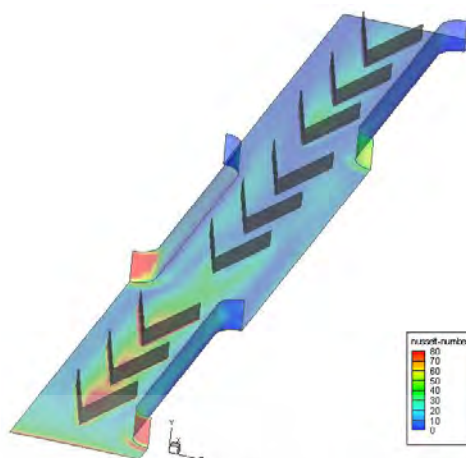
ความยาวของปีกที่ยาวขึ้นนั้นยังส่งผลต่อพฤติกรรมกรไหลหลัก กล่าวคือ กระแสการไหลหลักจะถูกบังคับให้เข้าไปปะทะผนังท่อมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผนังท่อให้มีค่าสูงขึ้น



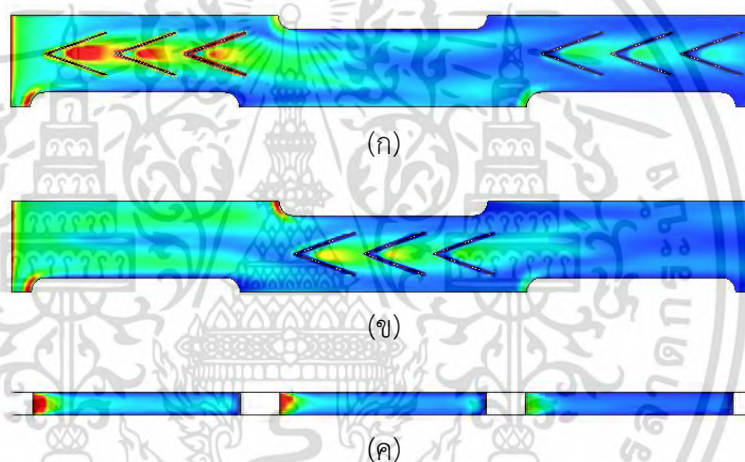
รูปที่ 5.83 พฤติกรรมกรไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย

5.2.2.4.3 พฤติกรรมกรถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.84 และ 5.85 (ก) (ข) และ (ค) แสดงภาพการเปรียบเทียบกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวครีบและผิวท่อ ของครีบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่ากระแสหมุนวนตามแนวยาวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น ซึ่งพิจารณาจากคอนทัวร์การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผิวที่มีสีเด่นชัดและเกิดเป็นวงกว้างมากขึ้น

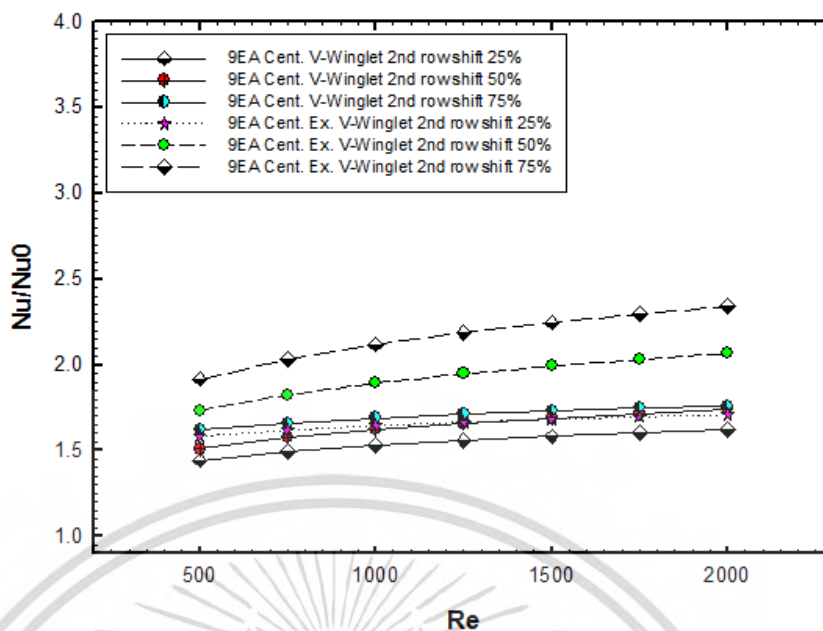


รูปที่ 5.84 การกระจายตัวของเลขนัสเซิล บนผิวครีบขึ้นล่างและผิวท่อนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย



รูปที่ 5.85 การกระจายตัวของเลขนัสเซิล บนผิวครีบ (ก) ขึ้นล่าง (ข) ขึ้นบน และ (ค) ผิวท่อนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวแบบต่อขยาย

รูปที่ 5.86 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบธรรมดา และแบบต่อขยาย แบบ 9 แถว พิจารณาที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าการต่อขยายความยาวของปีกส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วนความสูงเดียวกัน ซึ่งกรณีรูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายที่อัตราส่วนความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลสูงที่สุดเท่ากับ 1.91 ถึง 2.34 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่า ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

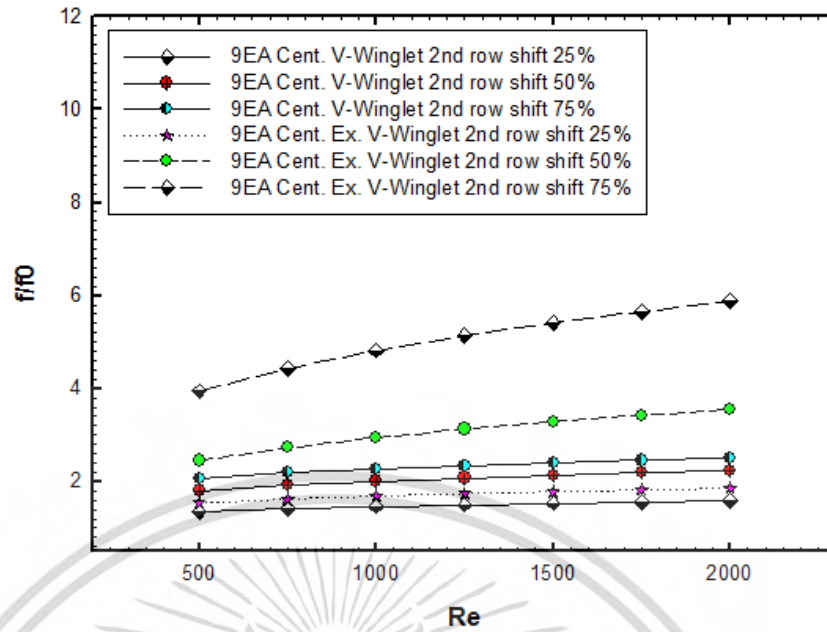


รูปที่ 5.86 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย

5.2.2.4.4 การสูญเสียความดัน

ในส่วนนี้จะพิจารณาความดันตกคร่อมของการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบธรรมดาและแบบต่อขยาย ซึ่งพบว่าปีกรูปตัววีแบบต่อขยายจะก่อให้เกิดความดันตกคร่อมที่มากกว่าเนื่องด้วยพื้นที่หน้าตัดของการปะทะที่มากกว่า ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนความสูงปีกมีค่าเพิ่มขึ้น กรณีรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยายที่อัตราส่วนความสูงปีกเท่า 75% จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุดเท่ากับ 3.94 ถึง 5.87 ที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ดังแสดงในรูปที่ 5.87

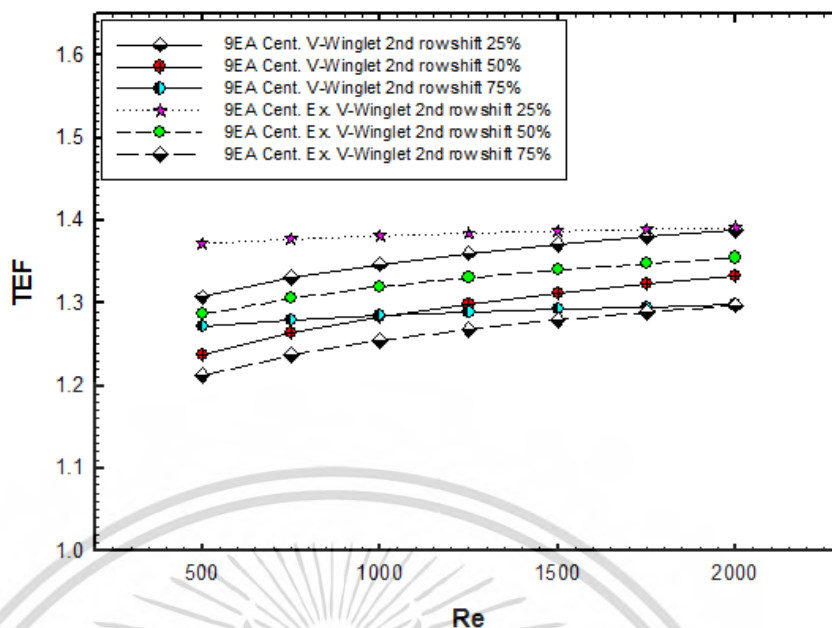
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานในรูปแบบปีกรูปตัววีแบบธรรมดาจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในทุกอัตราส่วนความสูงตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ ซึ่งจะแตกต่างกับปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่มีอิทธิพลของความแตกต่างของความดันค่อนข้างมาก เมื่อความเร็วของของไหลมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่ามาก



รูปที่ 5.87 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย

5.2.2.4.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.88 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย ที่อัตราส่วนความสูงปีก 25%, 50% และ 75% ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าแนวโน้มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกกรณีศึกษา ยกเว้นรูปแบบการติดตั้งปีกรูปแบบต่อขยาย ที่อัตราส่วนความสูง 25% ที่สมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ ซึ่งให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 1.37 ถึง 1.39



รูปที่ 5.88 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของการติดตั้งปีก
รูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวและ 9 แถวแบบต่อขยาย

5.2.2.5 ปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวติดตั้งบนผิวท่อ (Tube surfaced V-Winglet)

5.2.2.5.1 แบบจำลองทางกายภาพ

หัวข้อนี้ทำการเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววี โดยทำการติดตั้งที่ผิวท่อในลักษณะสวนกระแสการไหล ทำมุมปะทะ 60 องศา ขนาดความหนาและความยาวของปีกที่ใช้มีค่าคงที่เท่ากับ 0.3 และ 3.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ระยะห่างระหว่างปีกถูกกำหนดให้คงที่เท่ากับ 6.7 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 5.89 ทำการศึกษาที่อัตราส่วนความสูงปีก 10% 30% และ 50% พิจารณาการไหลเป็นแบบราบเรียบตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

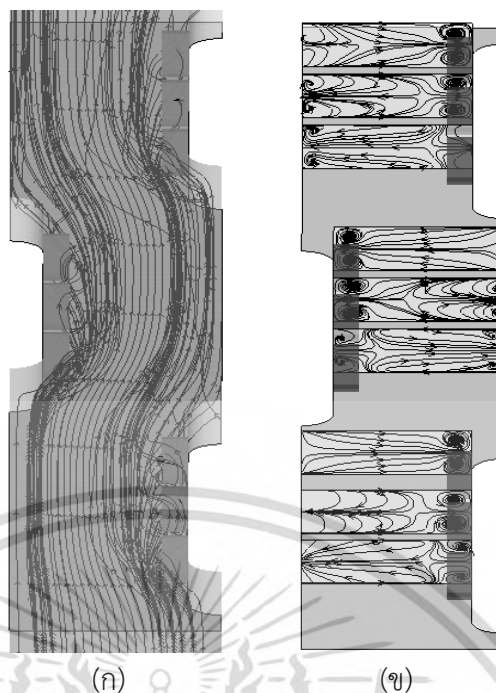


รูปที่ 5.89 แบบจำลองทางกายภาพของการติดตั้งปีกตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถว ติดตั้งบนผิวท่อ

5.2.2.5.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 5.90 แสดงพฤติกรรมการไหลและภาพตัดกระแสมุมวนของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งแบบ 9 แถวบนผิวท่อ ที่อัตราความสูงปีกเท่ากับ 50% ของระยะห่างระหว่างครีที่เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าเมื่อกระแสการไหลหลักไหลผ่านปีกรูปตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อ จะก่อให้เกิดกระแสหมุนวนด้านหลังปีกจำนวน 1 คู่ ซึ่งเกิดขึ้นใกล้กับผิวท่อด้านบนและด้านล่าง นอกจากกระแสหมุนวนด้านหลังปีกยังส่งผลกระทบต่อกระแสการไหลหลักทำให้เกิดการคลุกเคล้าของกระแสด้านแนวตัดขวาง ซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ผิวด้านบนและด้านล่างของครีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

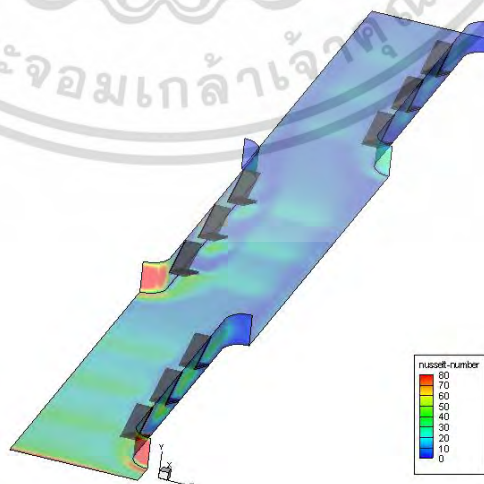
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.90 พฤติกรรมการไหล (ก) และ ภาพตัดกระแสหมุนวน (ข) ของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนฝิวท่อ

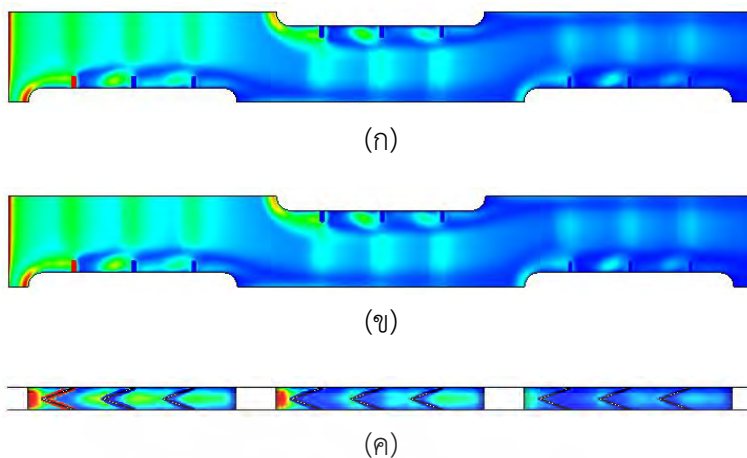
5.2.2.5.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5.91 และ รูปที่ 5.92 (ก) (ข) และ (ค) แสดงการกระจายตัวของเลขนัสเซล บนฝิวคريب และฝิวท่อ ของการติดตั้งปีกรูปตัววีบนฝิวท่อ ที่อัตราส่วนความสูงปีก 50% เลขเรย์โนลด์ 800 พบว่าการกระจายตัวเลขนัสเซลมีลักษณะที่แตกต่างจากรูปแบบก่อนหน้า อิทธิพลของกระแสหมุนวน ด้านหลังปีกส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ผนังท่อมากขึ้น สังเกตได้จากคอนทัวร์การกระจายตัวบนฝิวท่อ นอกจากนั้นบนฝิวคريبด้านบนและล่างเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างสมมาตร โดยมีลักษณะเป็นคาบเกิดขึ้นตรงกับตำแหน่งของปีก



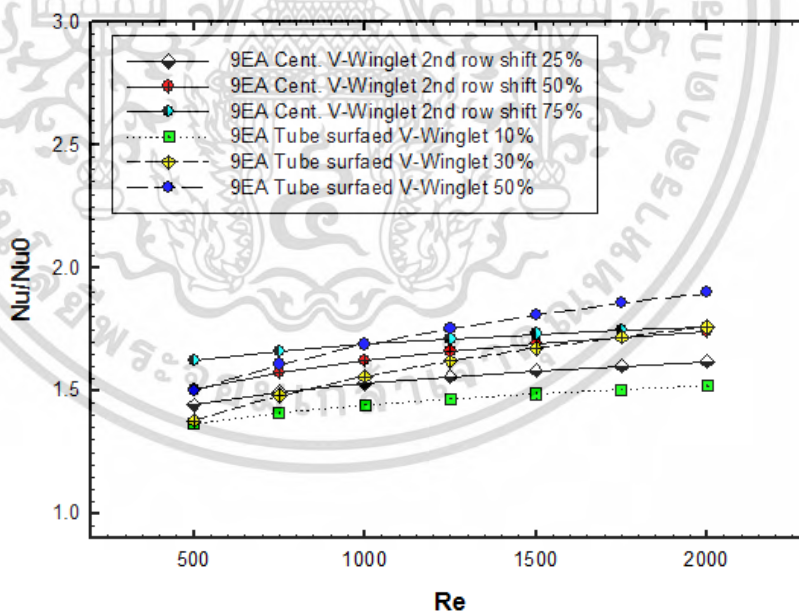
รูปที่ 5.91 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนฝิวคريبชั้นล่างและฝิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนฝิวท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.92 การกระจายตัวของเลขนัสเซล บนผิวครีบ (ก) ชั้นล่าง (ข) ชั้นบน และ (ค) ผิวท่อของการติดตั้งปีกรูปตัววี ติดตั้งบนผิวท่อ

รูปที่ 5.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่ผิวท่อและผิวครีบ แบบ 9 แถวที่ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าการเพิ่มความสูงของปีกส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับรูปแบบปีกที่ติดตั้งบนผิวท่อ ที่ความสูง 50% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเท่ากับ 1.50 ถึง 1.89 เท่าเมื่อเทียบกับครีบเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



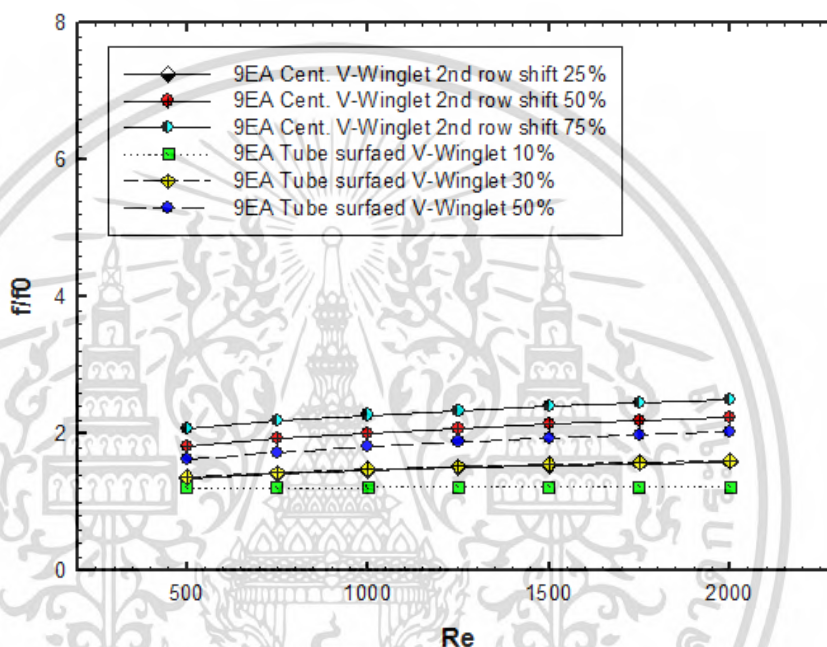
รูปที่ 5.93 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบ และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.5.4 การสูญเสียความดัน

สำหรับในหัวข้อถัดมาจะแสดงถึงการเปรียบเทียบการสูญเสียความดันที่เกิดขึ้นรูปที่ 5.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่ผิวท่อและผิวครีบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่ารูปแบบการติดตั้งปีกรูปตัววีบนผิวท่อจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่ารูปแบบที่ติดตั้งบนผิวครีบ เมื่อพิจารณาที่ความสูงปีกเท่า 50%

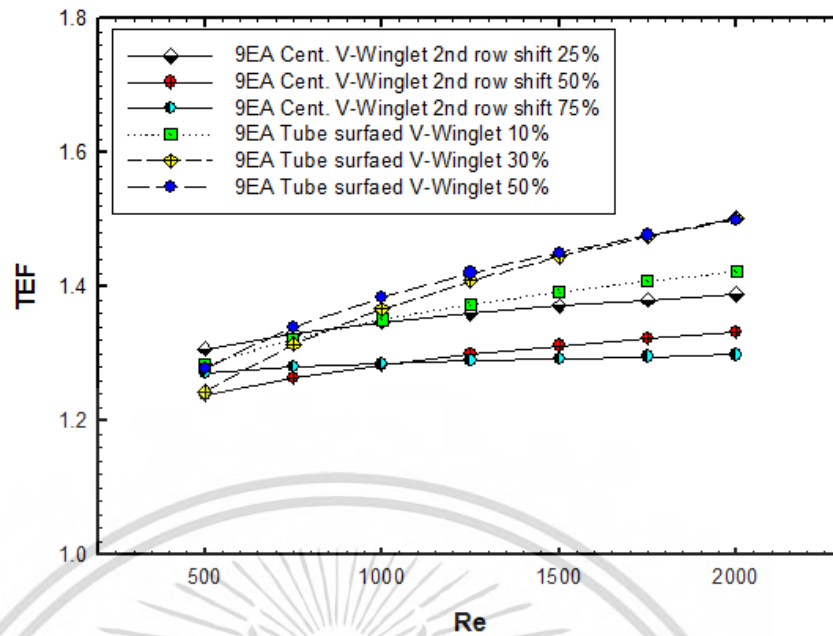
ซึ่งรูปแบบปีกที่ติดตั้งบนผิวท่อ ที่ความสูง 50% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลเท่ากับ 1.50 ถึง 1.89 เท่าเมื่อเทียบกับครีบเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.94 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบ และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

5.2.2.5.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 5.95 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของครีบบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่ผิวท่อและผิวครีบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในรูปแบบที่ติดตั้งบนผิวท่อมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นมากกว่ารูปแบบที่ติดตั้งบนผิวครีบ เมื่อเลขเรย์โนลด์สูงขึ้น ซึ่งปีกที่ติดตั้งบนผิวท่อ ความสูง 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดคิดเป็น 1.27 ถึง 1.49 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 5.95 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่บนผิวท่อ และ ผิวครีบ และอัตราส่วนความสูงปีกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Oval fin tube ที่มีการติดชุดปีกสำหรับสร้างการไหลแบบปั่นป่วนรูปแบบตัววี ด้านบนและด้านล่างของครีบบั้ทั้งหมด 2 รูปแบบหลัก (ติดตั้งแบบ 3 แถวและติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว) ซึ่งมีรูปแบบย่อยอีก 3 รูปแบบ (ปีกรูปตัววี, ปีกรูปตัววีแบบต่อขยายและปีกรูปตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุ) ค่ามุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา และขนาดความสูงเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบบั้ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ความสูงของปีกรูปตัววีที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้น

- ปีกรูปตัววีที่ความสูง 25%, 50% และ 75% ของความสูงระหว่างครีบบั้ จะทำให้เกิดกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีจำนวน 2 คู่ นอกเหนือจากกระแสหมุนวนแบบปกติที่เกิดขึ้นด้านหลังท่อ ซึ่งกระแสหมุนวนดังกล่าวจะไหลกระแทกผนังด้านบนและด้านล่างของครีบบั้ ส่วนครีบบั้ที่มีการติดปีกที่ความสูง 100% จะไม่พบกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีเหมือนกับกรณี 25%, 50% และ 75% แต่จะพบเพียงกระแสหมุนวนตามแนวยาวจำนวน 1 คู่เกิดขึ้นแทน

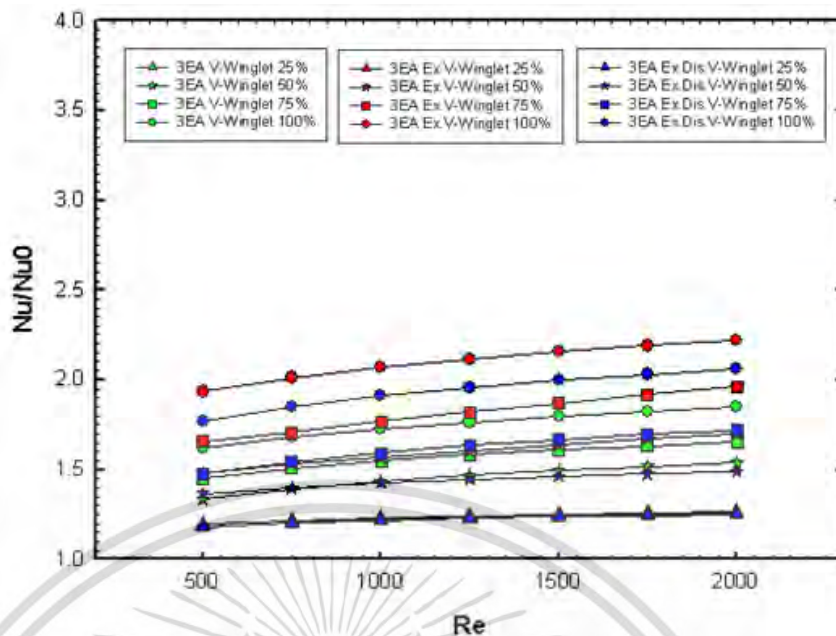
- การบังคับทิศทางการไหลของอากาศ ในรูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย มีผลทำให้กระแสอากาศไหลเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อได้มากขึ้นโดยเฉพาะบริเวณด้านหลังท่อ อีกทั้งยังสร้างกระแสหมุนวนขนาดใหญ่ด้านหลังปีก ซึ่งทำให้กระแสการไหลของอากาศมีการคลุกเคล้ากันสมบูรณ์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความยาวของปีกที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นตามไปด้วย

- ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างปีก ในรูปแบบปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุนั้น จะทำให้มวลอากาศบางส่วนไหลผ่านปีกได้สะดวกขึ้น ส่งผลให้ความดันตกคร่อมมีค่าลดลง

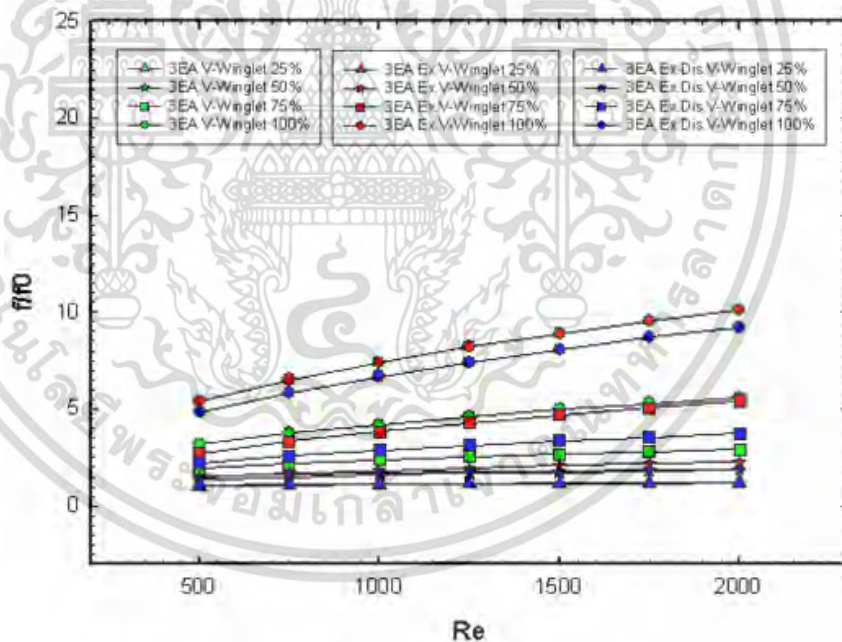
- กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีกตัววีแบบต่อขยายเจาะทะลุจะไปรบกวนกระแสหมุนวนหลักด้านหลังปีก ทำให้ความรุนแรงและขนาดของกระแสหมุนวนด้านหลังปีกมีค่าลดลง และยังส่งผลกระทบต่อปีกชุดถัดไป กล่าวคือความแตกต่างของความดันด้านหน้าและหลังปีก มีค่าน้อยลง ทำให้ความรุนแรงของกระแสหมุนวนของปีกชุดถัดๆไปมีค่าลดลง

- เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซล ของการติดแบบ 3 แถว พบว่ากรณีรูปแบบการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ความสูง 100% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลสูงที่สุด 1.93 ถึง 1.21 เท่าเมื่อเทียบกับครีบบั้เรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

- ที่ความสูงปีก 25% ทั้ง 3 รูปแบบจะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลใกล้เคียงกัน ซึ่งต่ำที่สุดอยู่ระหว่าง 1.18 ถึง 1.25 เท่า ตลอดเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ

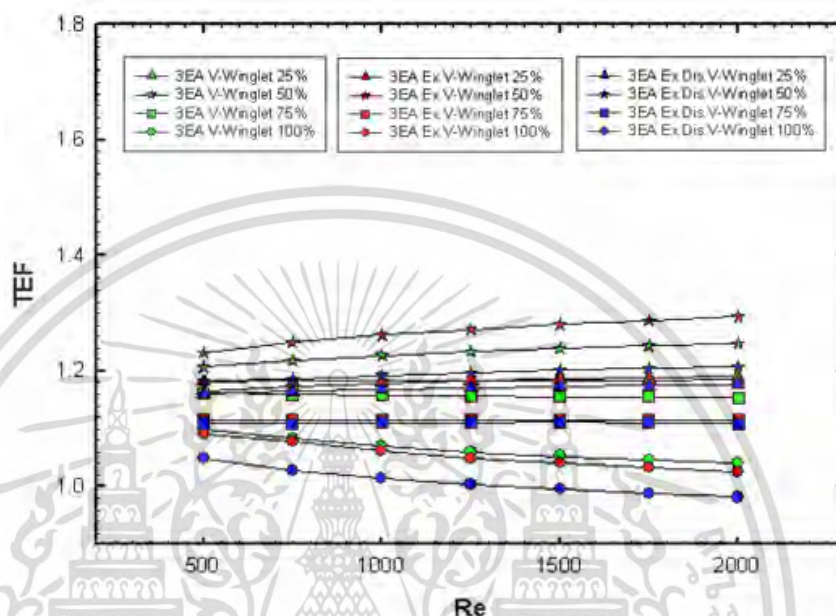


รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ

- สำหรับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน ของการติดแบบ 3 แถว พบว่าการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ความสูง 100% นั้นจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่มากที่สุดเช่นกัน โดยคิดเป็น 5.43 ถึง 10.21 เท่าเมื่อเทียบกับครีบเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

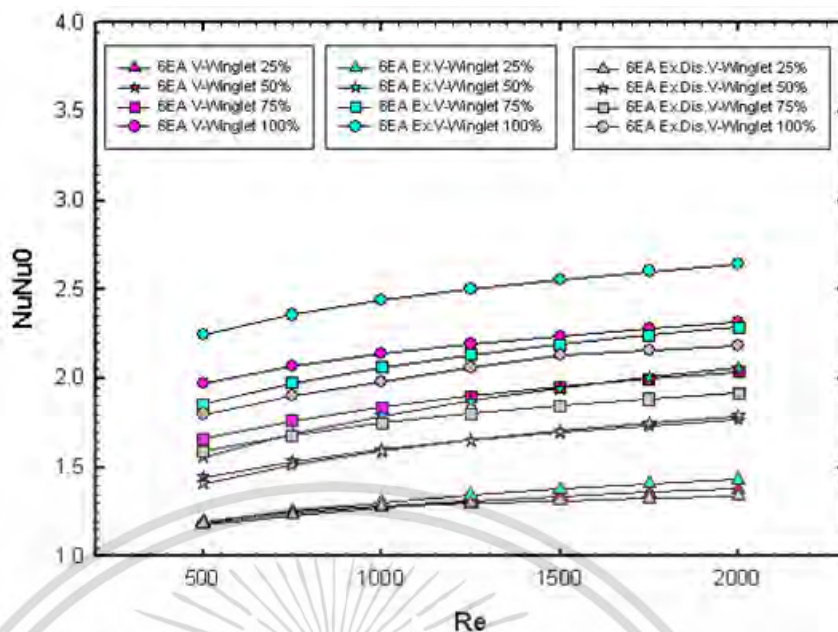
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่น้อยที่สุดพบในกรณีปีกรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ความสูงปีก 25% ซึ่งให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 1.05 ถึง 1.20 ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000
- สมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ โดยปีกรูปตัววีแบบต่อขยายติดตั้งแบบ 3 แถว ที่ค่าความสูงของปีกเท่ากับ 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.23 ถึง 1.29 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 3 แถว ในรูปแบบต่างๆ

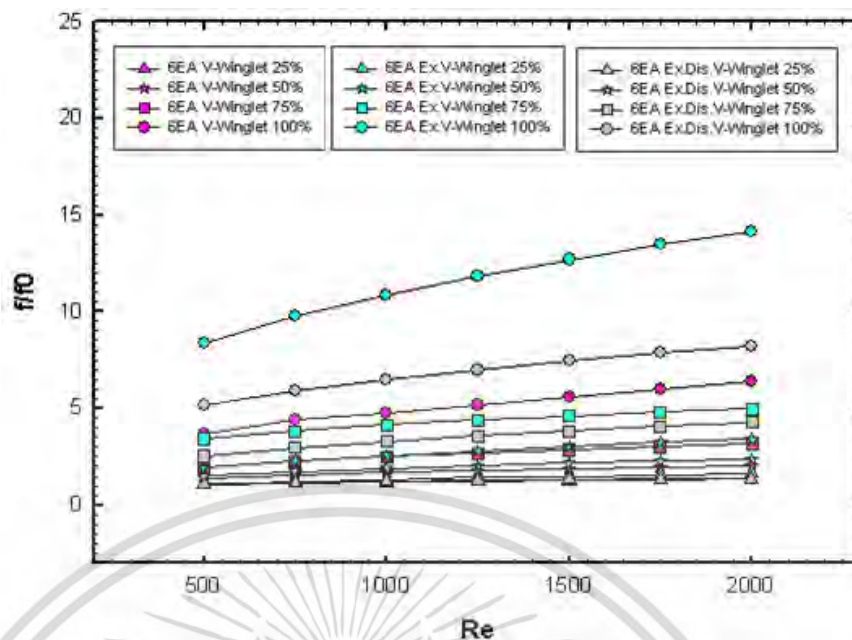
- การเพิ่มจำนวนปีก ส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านครีบ ทำให้มีการปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผนังครีบและผนังท่อ กระแสการไหลของอากาศจะมีการคลุกเคล้ากันได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น โดยตำแหน่งปีกรูปตัววีที่ถูกติดตั้งเพิ่มเข้าไปนั้น ปีกชุดแรกจะช่วยบังคับทิศการไหลให้อากาศเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อในด้านหน้ามากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสร้างกระแสหมุนวนให้เกิดเร็วขึ้น ตั้งแต่ทางเข้าของแบบจำลอง
- เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซล ของการติดแบบ 6 แถว พบว่ากรณีรูปแบบการติดปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ความสูง 100% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลสูงที่สุด 2.24 ถึง 2.64 เท่าเมื่อเทียบกับครีบเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000
- ส่วนค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่น้อยที่สุด ของการติดแบบ 6 แถว อยู่ที่ 1.18 ถึง 1.33 พบในกรณีปีกรูปตัววีแบบต่อขยายแบบเจาะทะลุ ที่ความสูงปีก 25%



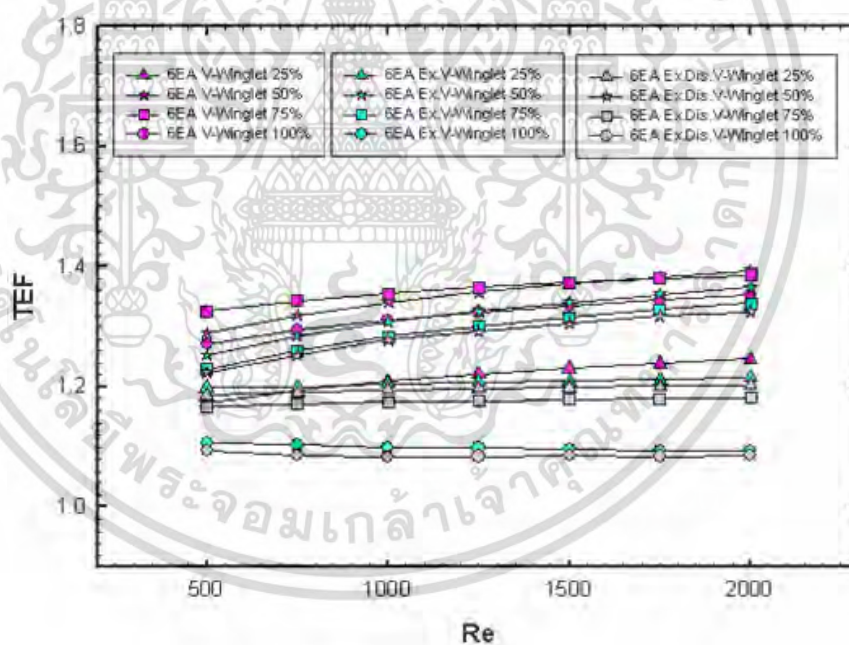
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ

- ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน พบว่ากรณีการติดตั้งปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ความสูง 100% แบบ 6 แถวนั้นจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่มากที่สุด โดยคิดเป็น 8.36 ถึง 14.15 เท่าเมื่อเทียบกับครีบเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000
- ส่วนค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 1.06 ถึง 1.35 พบในกรณีปีกรูปตัววีแบบแบบธรรมดา ที่ความสูงปีก 25%
- สำหรับค่าสมรรถนะของการติดตั้งปีกแบบ 6 แถวนั้น กรณีปีกรูปตัววีธรรมดา ที่ติดตั้งแบบต่อเนื่อง 6 แถว ความสูงของปีกเท่ากับ 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.28 ถึง 1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบบรรจุ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบบรรจุ Oval fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ

6.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม Flat fin tube

ส่วนถัดมาจะเป็นการอภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปสี่เหลี่ยมและปีกรูปตัววีในลักษณะต่างๆ โดยจะเริ่มต้นจากปีกรูปสี่เหลี่ยม แบบ 6 แถว ซึ่งจะศึกษาใน 3 รูปแบบการติดตั้ง คือ Inline, Staggered และ 2nd Shift และจากนั้นนำปีกรูปตัววีมาพัฒนาร่วม โดยมีการเพิ่มจำนวนของปีกจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

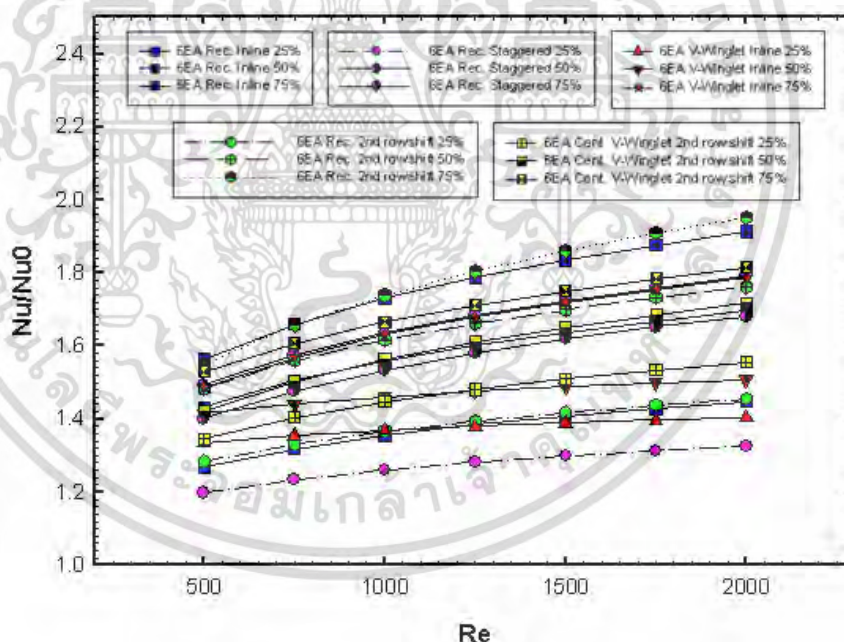
6 แถวเป็น 9 แถว รวมถึงการต่อขยายปีกและปรับเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้ง รูปแบบของปีกจะกำหนดค่ามุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา และขนาดความสูงเป็น 25%, 50% และ 75% ของความสูงระหว่างครีบบนในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

- ปีกรูปสี่เหลี่ยมจะเหนี่ยวนำการไหลให้เกิดกระแสหมุนควงหลักในแนวยาวด้านหลังปีกจำนวน 1 วง และมีกระแสหมุนควงรองอันสืบเนื่องจากการเหนี่ยวนำของกระแสหมุนควงหลัก กระแสหมุนควงด้านหลังปีกชุดที่ 2 ของรูปแบบ Inline และ 2nd Shift จะมีความรุนแรงและขนาดใหญ่กว่ารูปแบบ Staggered ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการไม่ถูกรบกวนของปีกชุดที่ 2 ที่ติดอยู่ผิวด้านบนของครีบบ

- ศูนย์กลางของกระแสหมุนวนจะเปลี่ยนตามตำแหน่งการติดตั้งของปีก กล่าวคือหากติดตั้งปีกไว้ที่ผิวล่างของครีบบ กระแสหมุนวนก็จะมีศูนย์กลางใกล้ผิวครีบล่าง

- การเพิ่มความสูงของปีกส่งผลให้ความรุนแรงของกระแสหมุนวนมีมากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน แต่ก็จะต้องถูกชดเชยด้วยค่าความดันตกคร่อมที่จะเพิ่มมากขึ้นตาม

- การปรับตำแหน่งการติดตั้งปีกรูปตัววีให้อยู่กึ่งกลางระหว่างระหว่างขอบครีบบและผิวท่อส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำให้กระแสหมุนวนมีความสมมาตร อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของหน้าตัดมีการกระจายตัวที่ดีขึ้น



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีบบ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ

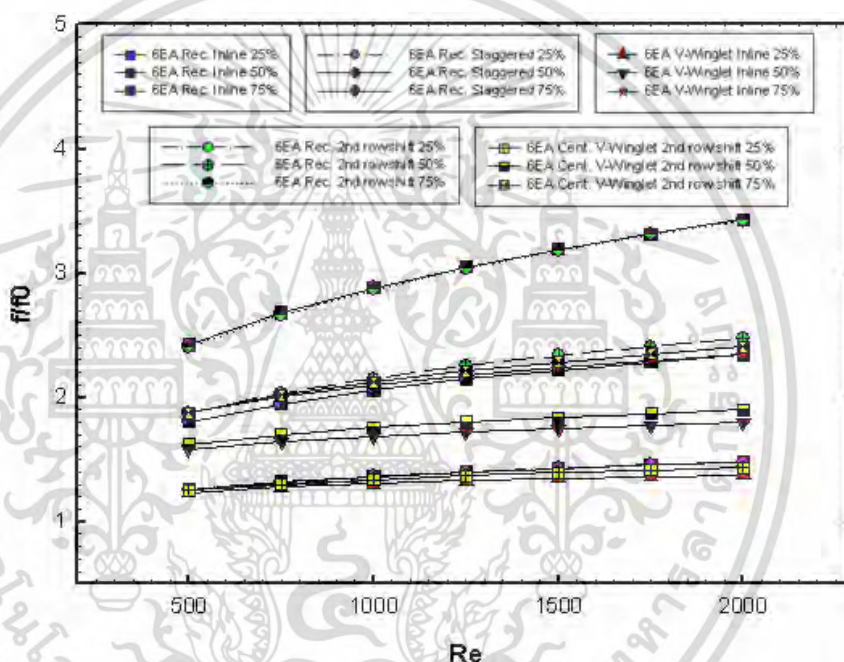
- เมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งปีกจำนวน 6 แถว บนครีบบภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Flat fin tube พบว่าการมีปีกรูปสี่เหลี่ยมที่ถูกติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่ความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลสูงที่สุด 1.54 ถึง 1.95 เท่า ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 และรูปแบบปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกติดตั้งแบบ Staggered ที่ความสูง 25% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต่ำที่สุด 1.19 ถึง 1.32 เท่าเมื่อเทียบกับครีบริเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

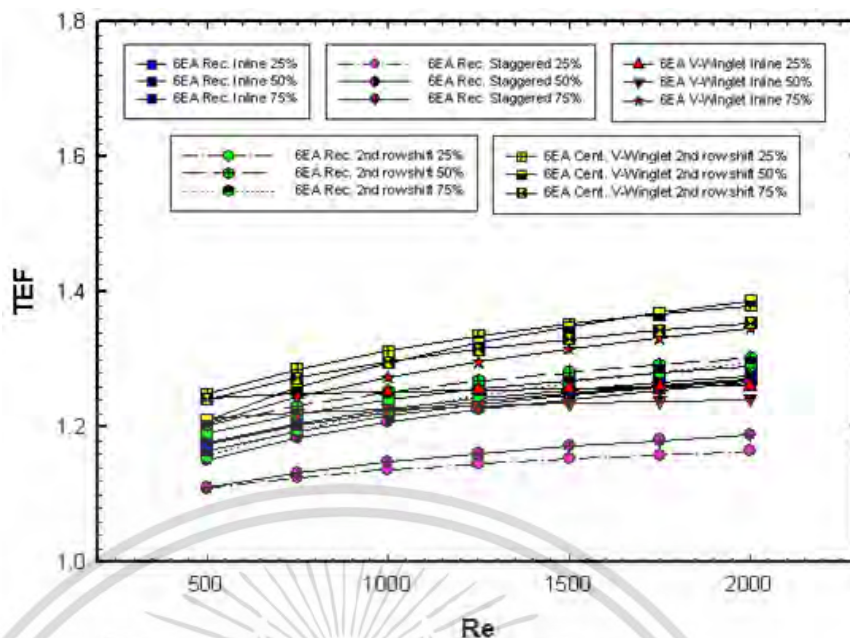
- สำหรับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน ของการติดตั้งแบบ 6 แถว พบว่าการติดตั้งปีกกรุปสี่เหลี่ยมทั้ง 3 รูปแบบ ที่ความสูง 100% นั้นจะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมากที่สุดเท่ากับ 2.42 ถึง 3.43 เท่าเมื่อเทียบกับครีบริเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ส่วนค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่น้อยที่สุดพบในกรณีปีกกรุปตัววี Inline ที่ความสูงปีก 25% ซึ่งให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 1.23 ถึง 1.37 ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

- สมรรถนะเชิงความร้อนของปีกกรุปตัววีแบบจัดกึ่งกลางและติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่ค่าความสูงของปีกเท่ากับ 25% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.24 ถึง 1.38 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

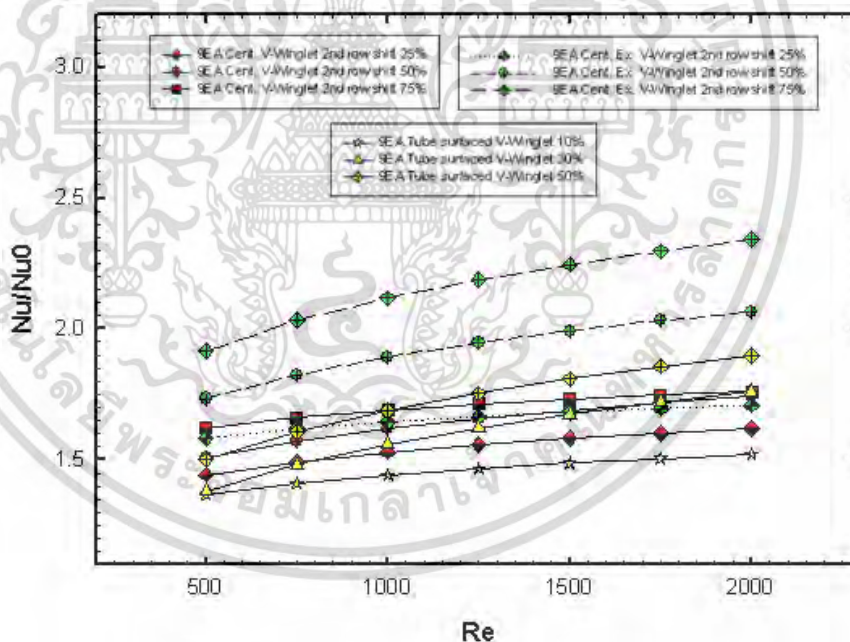


รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบริ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีก แบบ 6 แถว ในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์ของครีป Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ

- การเพิ่มจำนวนปีกรูปตัววีส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลมีค่ามากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มกระแสนวนวน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างครีปกับอากาศดีขึ้น กระแสอากาศมีการคลุกเคล้าอย่างสม่ำเสมอในแต่ละหน้าตัดแต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนปีกจะส่งผลให้เกิดความดันตกคร่อมที่มากขึ้นตามเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

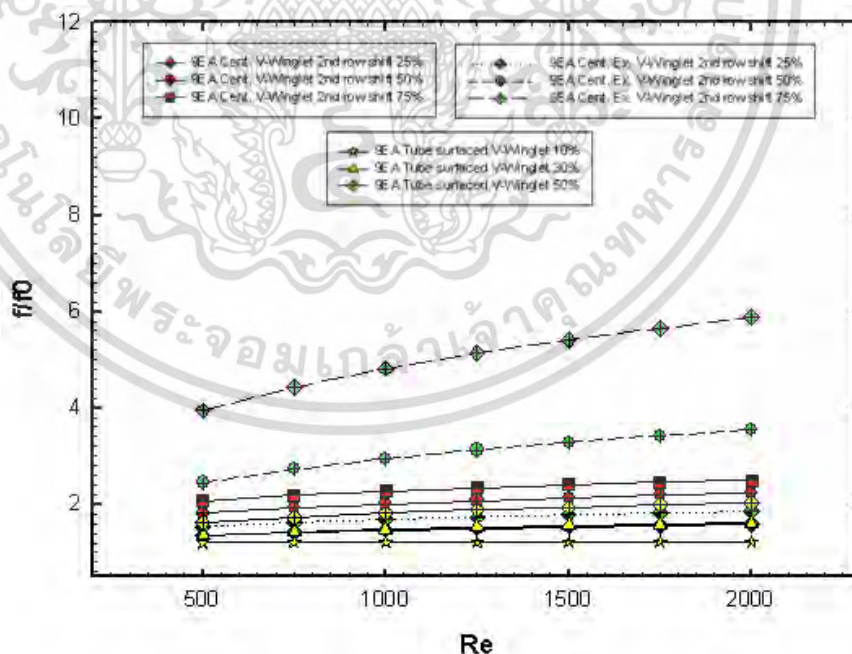
- การต่อขยายปีกรูปตัววีส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันด้านหน้าและหลังปีกมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้กระแสหมุนวนที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากขึ้นซึ่งทำให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลของรูปแบบปีกรูปตัววีแบบต่อขยายมีค่าที่สูงกว่าปีกรูปตัววีแบบธรรมดา เมื่อเปรียบเทียบที่จำนวนแถวและความสูงปีกที่เท่ากัน

- รูปแบบปีกรูปตัววีที่ถูกติดตั้งที่ผิวท่อจะให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยกว่าปีกรูปตัววีแบบธรรมดา เมื่อเปรียบเทียบที่มุมปะทะและความสูงปีกเดียวกัน อีกทั้งปีกรูปตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อจะก่อให้เกิดกระแสหมุนวนที่น้อยกว่าปีกที่ติดบนผิวครีบอกอีกด้วย

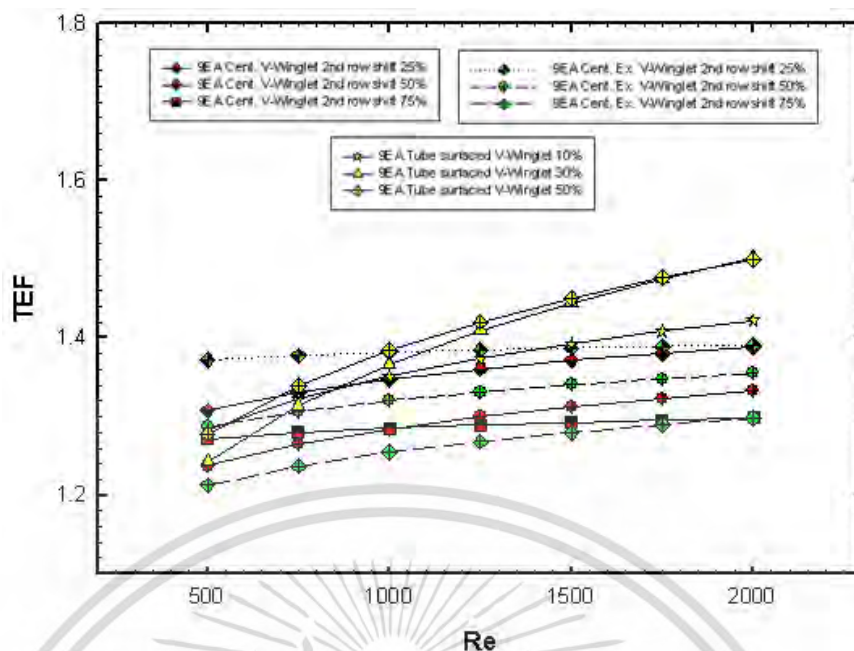
- เมื่อเปรียบเทียบการติดตั้งปีกจำนวน 9 แถว บนครีบอกภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภท Flat fin tube พบว่ากรณีปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่ความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลสูงที่สุด 1.91 ถึง 2.34 เท่า ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 และปีกรูปตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อ ที่ความสูงปีก 10% จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต่ำที่สุด 1.36 ถึง 1.52 เท่า เมื่อเทียบกับครีบอกเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

- สำหรับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน ของการติดตั้งแบบ 9 แถว กรณีปีกรูปตัววีแบบต่อขยาย ที่ติดตั้งแบบ 2nd Shift ที่ความสูง 75% จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด 3.94 ถึง 5.87 เท่าเมื่อเทียบกับครีบอกเรียบ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000 ส่วนค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่น้อยที่สุดพบในกรณีปีกรูปตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อ ที่ความสูงปีก 10% ซึ่งให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 1.20 ถึง 1.22 ช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000

- สมรรถนะเชิงความร้อนของปีกรูปตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อ ที่ความสูงปีก 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.27 ถึง 1.49 ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2,000



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ของครีบอก Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์ของครีบ Flat fin tube ที่มีการติดตั้งปีกรูปตัววี แบบ 9 แถว ในรูปแบบต่างๆ

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบชิ้นงานและพัฒนางานวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งหนึ่งในวิธีดังกล่าวคือการติดตั้งปีกรูปตัววี โดยการเพิ่มจำนวน ซึ่งคำนึงถึงความดันตกคร่อมเป็นสิ่งที่พึงกระทำ งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดโดยการปรับรูปแบบเพิ่มเติม รวมถึงการตำแหน่งติดตั้งเพื่อให้เกิดสมรรถนะสูงสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

บรรณานุกรม

Aharwal, K.R. et al. 2008. "Experimental investigation on heat-transfer enhancement due to a gap in an inclined continuous rib arrangement in a rectangular duct of solar air heater." **Renewable Energy**. 33: 585–596.

Ahn, S.W. 2001. "The Effects of Roughness Types on Friction Factors and Heat Transfer in Roughened Rectangular Duct." *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 28 : 933-942.

Bhagoria, J.L., Saini, J.S. and Solanki, S.C. 2002. "Heat Transfer Coefficient and Friction Factor Correlations for Rectangular Solar Air Heater Duct Having Transverse Wedge Shaped Rib Roughness on the Absorber Plate." **Renewable Energy**. 25: 341–369.

Bopche, S.B. and Tandale, M.S. 2009. "Tandale Experimental investigations on heat transfer and frictional characteristics of a turbulator roughened solar air heater duct." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 52: 2834–2848.

Chandra, P.R. et al. 2003. "Heat Transfer and Friction Behaviors in Rectangular Channels with Varying Number of Ribbed Walls." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 46: 481–495.

Chaube, A. et al. 2006. "Analysis of Heat Transfer Augmentation and Flow Characteristics due to Rib Roughness over Absorber Plate of a Solar Air Heater." **Renewable Energy**. 31: 317–331.

Cheng, C.H. and Huang, W.H. 1989. "Laminar Forced Convection Flows in Horizontal Channel with Transverse Fins Placed in Entrance Regions." **Numerical Heat Transfer. Part A**. (16): 77–100.

EbrahimMomin, A.-M. et al. 2002. "Heat Transfer and Friction in Solar Air Heater Duct with V-shaped Rib Roughness on Absorber Plate." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 45: 3383–3396.

Eiamsa-ard, S. and Promvonge, P. 2009. "Thermal Characteristics of Turbulent Ribgrooved Channel Flows." **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 36: 705–711.

Gupta, A. et al. 2008. "Local heat transfer distribution in a square channel with 90° continuous, 90° saw tooth profiled and 60° broken ribs." **Experimental Thermal and Fluid Science**. 32: 997–1010.

Han, J.C., Zhang, Y.M. and Lee, C.P. 1991. "Augmented Heat Transfer in Square Channels with Parallel, Crossed, and V-shaped Angled Ribs." **ASME J. Heat Transfer**. 113: 590–596.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Han J.C., Zhang Y.M., 1992. "High performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped broken ribs." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 35: 513–523.
- Iacovides, H. et al. 2003. "Flow and Heat Transfer in Straight Cooling Passages with Inclined Ribs on opposite Walls: an Experimental and Computational Study." **Experimental Thermal and Fluid Science**. 27: 283–294.
- Kamali, R. and Binesh, A.R. 2008. "The Importance of Rib Shape Effects on the Local Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Square Ducts with Ribbed Internal Surfaces." **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 35: 1032–1040.
- Karmare, S.V. and Tikekar, A.N. 2007. "Heat transfer and friction factor correlation for artificially roughened duct with metal grit ribs." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 50: 4342–4351.
- Karmare, S.V. and Tikekar, A.N. 2010. "Analysis of Fluid Flow and Heat Transfer in a Rib Grit Roughened Surface Solar Air Heater Using CFD." **Solar Energy**. 84: 409–417.
- Karwa, R. 2003. "Experimental 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**. 30: 241–250.
- Kim, K.Y. and Lee, Y.M. 2007. "Design Optimization of Internal Cooling Passage with V-shaped Ribs." **Numerical Heat Transfer Part A: Applications**. 51(11): 1103–1118.
- Kumar, S. and Saini R.P. 2009. "CFD Based Performance Analysis of a Solar Air Heater Duct Provided with Artificial Roughness." **Renewable Energy**. 34: 1285–1291.
- Lee, D.H. and Rhee, D.H. 2009. "Detailed Measurement of Heat/Mass Transfer with Continuous and Multiple V-shaped Ribs in Rectangular Channel." **Energy**. 34: 1770–1778.
- Liou, T.-M. et al. 2002. "Numerical Simulation of Turbulent Flow field and Heat Transfer in a Two-dimensional Channel with Periodic Slit Ribs." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 45: 4493–4505.
- Lu, B. and Jiang, P.-X. 2006. "Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a rectangular channel with angled ribs." **Experimental Thermal and Fluid Science**. 30: 513–521.

150

Momin, A.-M.E., Saini, J.S., and Solanki, S.C., 2002. "Heat Transfer and Friction in Solar Air Heater Duct with V-shaped Rib Roughness on Absorber Plate."

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Journal of Heat and Mass Transfer. 45: 3383–3396.

Ooi, A. et al. 2002. “Reynolds Averaged Simulation of Flow and Heat Transfer in Ribbed Ducts.” **Int. J. Heat and Fluid Flow.** 23: 750–757.

Patankar, S. V., Liu, C. H. and Sparrow, E. M. 1977. “Fully Developed Flow and Heat-Transfer in Ducts Having Streamwise-Periodic Variations of Cross-Sectional Area.” **ASME J. Heat Transfer.** 99: 180–186.

Peng, W. et al. 2011. “Experimental and Numerical Investigation of Convection Heat Transfer in Channels with Different Types of Ribs.” **Applied Thermal Engineering.** 31: 2702-2708.

Promvongse, P. and Thianpong, C. 2008. “Thermal Performance Assessment of Turbulent Channel Flows over Different Shaped Ribs.” **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 35: 1327–1334.

Promvongse and P. Kwankaomeng, S. 2010. “Periodic Laminar Flow and Heat Transfer in a Channel with 45° Staggered V-baffles.” **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 37: 841–849.

Promvongse, P. Changcharoen, W. Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. 2011 “Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs.” **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 38: 1392-1399

Promvongse, P. Skullong, S. Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. 2012 “Heat transfer in square-duct flow fitted diagonally with angle-fined tape-Part 2: Numerical study.” **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 39: 625-633

Promvongse, P. Koolnapadol, N. Pimsarn, M. and Thianpong, C. 2014 “Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex ring” **Applied Thermal Engineering.** 62: 285-292

Ryu, D.N. et al. 2007. “Analysis of Turbulent Flow in Channels Roughened by Twodimensional Ribs and Three-dimensional Blocks. Part II: Heat Transfer.” **Int. J. Heat and Fluid Flow.** 28: 1112–1124.

Singh, S. et al. 2011. “Heat Transfer and Friction Factor Correlations of Solar Air Heater Ducts Artificially Roughened with Discrete V-down Ribs.” **Energy.** 36: 5053-5064.

151

Tanda, G. 2004. “Heat Transfer in Rectangular Channels with Transverse and Vshaped Broken Ribs.” **International Journal of Heat and Mass Transfer.** 47: 229–243.

Tanda, G. 2011. “Effect of Rib Spacing on Heat Transfer and Friction in a Rectangular Channel with 45o Angled Rib Turbulators on One/Two Walls.” **International**

Journal of Heat and Mass Transfer. 54: 1081–1090.

Thianpong, C. et al. 2009. “Thermal Characterization of Turbulent Flow in a Channel with Isosceles Triangular Ribs.” **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 36: 712–717.

Tian, L. et al. 2009. “A Comparative Study on the Air-side Performance of Wavy Fin-and-tube Heat Exchanger with Punched Delta Winglets in Staggered and InWang,

Q.W. et al. 2007. “Experimental Study of Heat Transfer Enhancement in Narrow Rectangular Channel with Longitudinal Vortex Generators.” **Nuclear Engineering and Design.** 237: 686–693.

Webb G.W. and Ramadhyani S. 1985. “Conjugate Heat Transfer in a Channel with Staggered Ribs.” **Int. J. Heat Mass Transfer.** 28: 1679–1687.

Won, S.Y. and Ligrani, P.M. 2004. “Comparisons of Flow Structure and Local Nusselt Numbers in Channels with Parallel and Crossed-rib Turbulators.” **International Journal of Heat and Mass Transfer.** 47: 1573–1586.

Wong, T.T. et al. 2003. “Turbulent Convection of Air-cooled Rectangular Duct with Surface-mounted Cross-ribs.” **International Journal of Heat and Mass Transfer.** 46: 4629–4638.

Yang, Y.T. and Hwang, C.W. 2004. “Numerical calculations of heat transfer and friction characteristics in rectangular ducts with slit and solid ribs mounted on one wall.” **Numerical Heat Transfer Part A: Applications.** 45 (4): 363–375.

จารุวัตร เจริญสุข. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะ

วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2542. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะ

วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 167–252.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg.K)	μ $\times 10^7$ (N.s/m ³)	V (m ² /s)	$k \times 10^6$ (W/m.K)	α $\times 10^6$ (m ² /s)	Pr
อากาศ							
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	441.3	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
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	296	137	589	0.672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




การถ่ายภาพ
พลังงานความร้อนและมวล
 ในอุปกรณ์ต้นความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 13
 วันที่ 13-14 มีนาคม 2557
 ณ เจ้าหลาว คาบาน่า รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมใน
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งชุดปีกรูปตัววี
NUMERICAL ANALYSIS ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN COMPACT
HEAT EXCHANGER WITH V- RIBS ARRAYS

วิชาดา เลขภาวรัตนชัย

เกียรติวีรชิต จันทราวิภาส

พงษ์เจต พรหมวงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

Email: kppongjie@kmitl.ac.th

อำนาจ บุญลอย

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.ประชาสารภี 1 แขวงวงศ์สว่าง

เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมที่มีการติดตั้งชุดปีกสำหรับสร้างการไหลแบบปั่นป่วน (Winglet Vortex Generator, WVG) ที่เป็นรูปแบบตัววี (V-ribs) ด้านบนและด้านล่างของครีบ ซึ่งทำการวิเคราะห์ที่ตำแหน่งการจัดวางแบบแนวเดียวกัน (Inline phase) และการจัดวางแบบเอียง (Outline phase) โดยคำนวณมุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา และขนาดความสูงเป็น 25% 50% 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ (Channel height, H) ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2000 โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล (Computation Fluid Dynamics, CFD) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่าปีกรูปตัววีส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น ซึ่งสำหรับกรณีที่มีการติดตั้งชุดปีกรูปตัววีที่มีความสูงเท่ากับ 50% ของความสูงระหว่างครีบ ในรูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกัน จะให้การถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมสูงที่สุดมีค่าเป็น 1.93 และ 5.48 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับครีบเรียบ แต่หากพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนรูปแบบการจัดวางแบบเอียง ที่ความสูงเท่ากับ 50% ของความสูงระหว่างครีบ จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดโดยค่าอยู่ในช่วง 1.30 ถึง 1.37

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม, ปีกสร้างการไหลแบบปั่นป่วน, ปีกรูปตัววี, การไหลแบบวามเรียบ

Abstract

For the purpose of this research is to analyze flow behavior and parameters which effected to heat transfer and pressure drop in compact heat exchanger. Traditional compact heat exchanger is modified by attaching V-ribs winglet vortex generator in two arrangements as inline phase and outline phase. Attack angle of V-ribs is kept at 30 degree with various heights in range from 25% to 100% of channel height corresponding to Reynolds number ranging from 500 to 2000. From the investigated results with using CFD numerical method shown that V-ribs is certainly impact to heat transfer improvement and pressure drop penalty. In the case of V-rib's height 50% of channel height and inline arrangement give the best heat transfer improvement and pressure drop penalty about 1.93 and 5.48 times respectively when compared to the plain fin. The maximum thermal enhancement factor is found in the case of V-rib's height 50% of channel height and outline phase that giving in the range of 1.30 1.37.

Keywords: compact heat exchanger, winglet vortex generator, v-ribs, laminar flow



ครั้งที่ 13

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

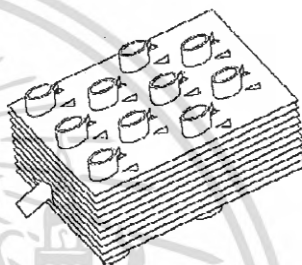
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม (compact heat exchanger) ถูกประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในทุกๆวงการไม่ว่าจะเป็น หม้อไอน้ำรถยนต์ เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นในระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ระบายความร้อนของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะที่จะต้องมีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด และเพื่อต้องการที่จะประหยัดต้นทุนในการผลิต จึงทำให้นักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจในการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [3]

โดยทั่วไปวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มซึ่งประกอบด้วย วิธีที่ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (passive technique) และวิธีที่ต้องการพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (active technique) สำหรับวิธีแรกนั้นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม โดยอาศัยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากผนังของของไหลที่มีการเพิ่มชิ้นงานเข้าไป หรือมีการปรับปรุงพื้นผิวในรูปแบบต่างๆ เช่น ติดตั้งแผ่นกั้น (baffle) ใช้ครีบริบรูปร่างต่างๆ (ribs) หรือเรียกแบบย่อว่า "ครีบริบ" และใช้ปีกเล็ก (winglet) เป็นต้น ซึ่งการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการสร้างความปั่นป่วนของการไหลส่งผลถึงการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น [4]

งานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลที่มีการติดตั้งครีบริบพื้นผิวให้ความร้อน โดยมีทั้งการตรวจสอบด้วยผลการทดลอง การคำนวณเชิงตัวเลขหรือใช้ทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์ร่วมกันซึ่งต่างก็มีจุดมุ่งหมายคล้ายกัน คือการทำความเข้าใจถึงกลไกการไหลจากสนามการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน และความดันตกคร่อม Biswas et al. [1] ทำการทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของกระแสหมุนวนแนวยาว (longitudinal vortex) ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลในช่องการไหล พบว่าโครงสร้างการไหลดังกล่าวมีความซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วยกระแสหมุนวนหลัก (main vortex) กระแสหมุนวนที่มุม (corner vortex) และกระแสหมุนวนที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced vortex) การผสมผสานของกระแสหมุนวนจะแปรผันตามชั้นของอุณหภูมิภายในช่องการไหล ส่งผลให้ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังผนังมากขึ้น Leu et al. [5] ศึกษาพฤติกรรมของการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมที่มีการติดตั้งปีกเล็กที่เอียงทำมุม ตำแหน่งด้านหลังของท่อ ซึ่งพบว่าวิธีการการติดตั้งดังกล่าวทำให้เกิดกระแสหมุนวนในแนวยาวและยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณด้านหลังท่อ Chen et al. [2] ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีท่อเป็นรูปวงรีและครีบริบมีการเจาะพับขึ้นในลักษณะรูปสามเหลี่ยม พบว่าเทคนิคดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น O'Brien et al. [7] ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหลภายในช่องการไหลแบบสี่เหลี่ยม สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีท่อเป็นรูปวงรี โดยมีการติดตั้งชุดปีกเล็กรูปสามเหลี่ยมจำนวน 1 ถึง 2 ชุด พบว่าการติดตั้งชุดปีกดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเท

ความร้อนเฉลี่ยเป็น 38% เมื่อเปรียบเทียบกับครีบริบเรียบ He et al. [6] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเกี่ยวกับอิทธิพลของชุดปีกเล็กรูปสามเหลี่ยมที่มีการติดตั้งในสองลักษณะ คือ วางแบบต่อเนื่องและวางแบบไม่ต่อเนื่อง และทำการเปรียบเทียบกับปีกรูปสามเหลี่ยมใหญ่ขึ้นเดี่ยว ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 600 ถึง 2600 พบว่าชุดปีกเล็กรูปสามเหลี่ยมที่มีการติดตั้งแบบไม่ต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด โดยเพิ่มขึ้น 33.8% ถึง 70.6% และค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้น 43.4% ถึง 97.2% เมื่อเปรียบเทียบกับครีบริบเรียบ

จากการศึกษาทางวิจัยที่ว่าจะเห็นได้ว่ารูปแบบของอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่มีลักษณะเป็นชุดปีกรูปตัววีที่มีการติดตั้งบนและล่างของครีบริบยังไม่เคยมีการศึกษา ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดแรงบันดาลใจให้ผู้เขียนพัฒนาในรูปแบบของปีกสร้างความปั่นป่วนให้มีรูปร่างแตกต่างไปจากเดิม



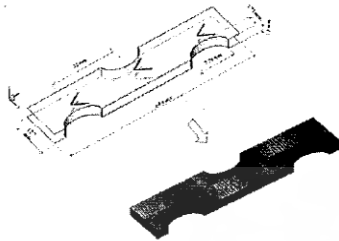
รูปที่ 1 โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์

2.1 โครงสร้างแบบจำลอง

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อม ซึ่งมีท่อจัดเรียงแบบเอียง (Staggered) ขอบเขตแบบจำลองที่ศึกษาจะพิจารณาเฉพาะส่วนหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กล่าวคือพิจารณาเฉพาะบริเวณที่อากาศไหลผ่านระหว่างครีบริบ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยความสูงระหว่างครีบริบ (H) ความกว้าง (B) ความยาว (L) ของขอบเขตแบบจำลองมีค่าเป็น 3.2, 12.7 และ 64.4 มิลลิเมตรตามลำดับ รัศมีหลัก (semi-major diameter) และรัศมีรอง (semi-minor diameter) ของท่อมีค่าเท่ากับ 6.28 และ 3.77 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างท่อในแนวยาว (longitudinal tube pitch) มีค่า 22 มิลลิเมตร ปีกรูปตัววีถูกติดตั้งในแนวเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยห่างจากศูนย์กลางของท่อเป็นระยะ 2.58 มิลลิเมตรสำหรับรูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกัน (inline phase) และ 5.00 มิลลิเมตรสำหรับรูปแบบการจัดวางแบบเอียง (outline phase) โดยค่ามุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา และขนาดความสูงเป็น 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบริบ ขอบเขตบริเวณก่อนทางเข้าและบริเวณทางออกแบบจำลองที่ศึกษาจะมีการขยายเป็นจำนวน 10 เท่าและ 30 เท่าของความสูงระหว่างครีบริบเพื่อเป็นการยืนยันว่าพฤติกรรมของการไหลก่อนเข้าสู่ขอบเขตแบบจำลองมีความสม่ำเสมอและไม่เกิดการสะท้อนย้อนกลับบริเวณทางออกของขอบเขตที่สนใจ ความหนาและความกว้างของครีบริบมีค่าเท่ากับ 5.00 และ 0.133

มิลลิเมตร ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากรูปแบบการจัดวางและความสูงของปีกรูปตัววีจะถูกพิจารณาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2000



รูปที่ 2 ขอบเขตและรูปแบบของกริดที่ใช้ในการศึกษา

2.2 สมมติฐานและสมการที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองในงานวิจัยที่ศึกษาได้อาศัยสมมติฐานดังต่อไปนี้

- พฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบราบเรียบ (laminar) และเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible)
- คุณสมบัติของไหลคงที่
- ไม่คำนึงแรงวัตถุและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด
- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานของงานวิจัยในข้างต้น สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน โดยเขียนในรูปแบบเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

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

สมการพลังงาน:

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

สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมจะถูก discretized ให้อยู่ในรูปแบบ Power-law scheme ขณะที่สมการพลังงานจะถูก discretized ให้อยู่ในรูปแบบ QUICK scheme แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องโดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) ในการเข้าสู่หาค่าตอบจะพิจารณาถึงความแตกต่างของการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} สำหรับสมการความต่อเนื่องและ 10^{-4} สำหรับสมการพลังงาน

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ ค่าความดันตกคร่อม เลขนัสเซลและสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งเลขเรย์โนลด์นิยามโดย

$$Re = \rho U_c D_c / \mu \tag{4}$$

เมื่อ U_c และ D_c คือความเร็วเฉลี่ยของอากาศบริเวณหน้าตัดที่น้อยที่สุดและเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อตามลำดับ ค่าความดันตกคร่อม

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \tag{5}$$

ค่าการถ่ายเทความร้อน ซึ่งถูกแสดงในรูปของเลขนัสเซล

$$Nu_x = \frac{h_x D_c}{k} \tag{6}$$

สมรรถนะเชิงความร้อน

$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{1/3} \tag{7}$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลและตัวประกอบเสียดทานของครีบบเรียบซึ่งไม่ได้รับการติดตั้งปีกรูปตัววี

2.3 เงื่อนไขที่ขอบ

พิจารณาที่ทางเข้าของขอบเขตเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิ 340 K ไหลเข้าด้วยความเร็วในช่วง 1.3 ถึง 4.5 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ สมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ กำหนดให้ผนังที่มีอุณหภูมิที่ผิวคงที่ 300 K ไม่มีการลื่นไถล (no-slip conditions) และเป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) นอกจากรันปีกรูปตัววีจะถูกกำหนดเป็นแผ่นกันที่มีความหนาซึ่งความร้อนไม่สามารถผ่านได้

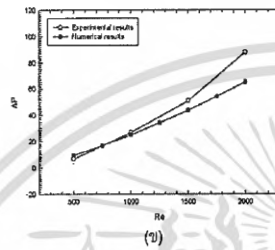
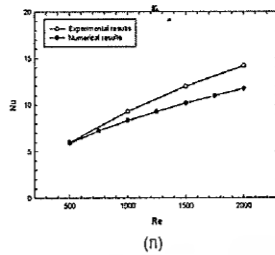
2.4 ระบบกริด

สำหรับกริดในแบบจำลองที่สนใจนั้น รูปแบบของกริดจะเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมเนื่องจากมีเหมาะสมในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการแบ่งแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) การหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือที่ 190,000 และ 590,000 พบว่าเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 360,000 เลขนัสเซลและค่าตัวประกอบเสียดทานเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 2.5% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 360,000 ไม่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าตัวแปรต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

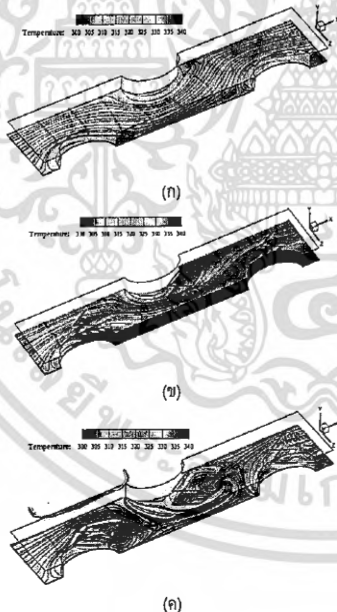
3.1 การพิสูจน์ความถูกต้อง

เพื่อเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองในแง่ของพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณได้จากวิธีเชิงตัวเลขและค่าที่ได้จากการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองไม่สามารถศึกษาได้จากอ้างอิง [5] โดยพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลการทดลองเฉลี่ยไม่เกิน 10% ทั้งในส่วนของเลขนัสเซลและค่าความดันตกคร่อม ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้โดยการคำนวณเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลการทดลองอย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้



รูปที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของ (n) เลขไรเลซและ (ข) ค่าความดันดัดคร่อม

3.2 พฤติกรรมการไหล



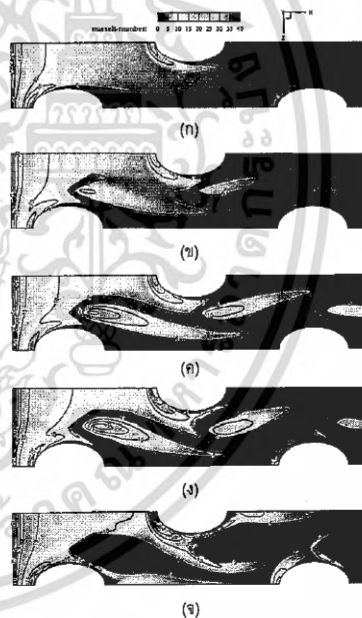
รูปที่ 4 พฤติกรรมการไหลของอากาศ สำหรับ (n) ครีบเรียบและครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีความสูง (ข) 50% และ (ค) 100% ของความสูงระหว่างครีบ

รูปที่ 4 (ก) (ข) และ (ค) แสดงการเปรียบเทียบเส้นกระแสการไหลของอากาศสำหรับครีบเรียบ และครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีความสูง 50% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500 ซึ่งพบว่าพฤติกรรมการไหลของทั้งสองกรณีแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง โครงสร้างการไหลของอากาศผ่านครีบเรียบในรูปที่ 4 (ก) จะเกิดกระแสหมุนวนเฉพาะด้านหลังของกลุ่มท่อ (wake zone) อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความดัน

หากพิจารณาครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่ความสูง 50% ของความสูงระหว่างครีบในรูปที่ 4 (ข) จะพบว่าเกิดกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีจำนวน 2 คู่ นอกเหนือจากกระแสหมุนวนแบบปกติที่เกิดขึ้นด้านหลังท่อ ซึ่งกระแสหมุนวนดังกล่าวจะไหลกระแทกผนังด้านบนและด้านล่างของครีบ ซึ่งในกรณีที่ความสูงของปีกเป็น 25% และ 75% ของความสูงระหว่างครีบจะสามารถพบกระแสหมุนวนแบบดังกล่าวเช่นกัน

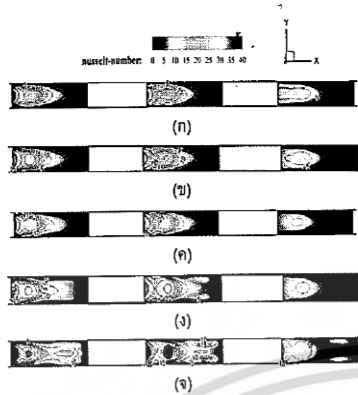
ส่วนครีบที่มีการติดปีกที่ความสูง 100% ของความสูงระหว่างครีบจะไม่พบกระแสหมุนวนบริเวณด้านหลังของปีกรูปตัววีเหมือนกับกรณี 25%, 50% และ 75% ที่กล่าวในข้างต้น แต่จะพบเพียงกระแสหมุนวนตามแนวยาว จำนวน 1 คู่ เกิดขึ้นแทน

3.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5 การกระจายตัวของเลขไรเลซบนผิวครีบขึ้นล่างของ (n) ครีบเรียบ ครีบที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบ ที่เลขเรย์โนลด์ 500

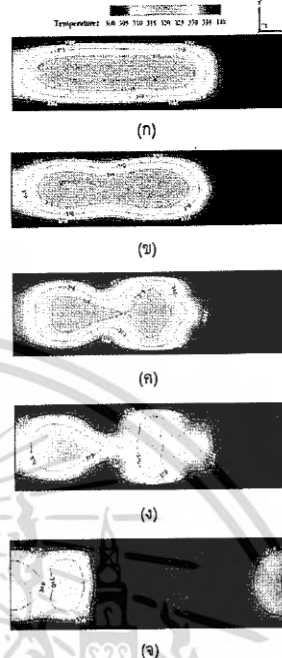
IIO



รูปที่ 6 การกระจายตัวของเลขนัสเซลบนผนังของ (ก) ครีบริเรียบ ครีบริที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง (ข) 25% (ค) 50% (ง) 75% และ (จ) 100% ของความสูงระหว่างครีบริ ที่เลขเรย์โนลด์ 500

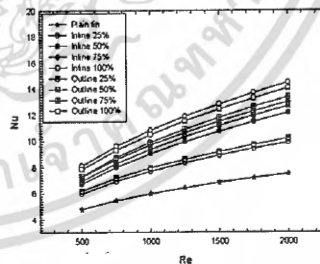
สำหรับการพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน พบว่าการสั่นไหวที่เกิดขึ้นด้านหลังปีกรูปตัววี ที่ความสูง 25% 50% และ 75% จะทำให้กระแสการไหลมีการไหลไปกระแทกบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างของครีบริ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไปยังผนังได้มากขึ้น โดยสังเกตได้จากกราฟการกระจายตัวของเลขนัสเซล รูปที่ 5 (ข) (ค) และ (ง) ที่มีการกระจายตัวสูงกว่าครีบริเรียบ ขณะที่ปีกรูปตัววีที่มีความสูง 100% การถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังด้านบนและล่างจะทำได้ไม่ดี เนื่องจากมีเฉพาะกระแสหมุนวนตามแนวยาวเท่านั้น แต่หากพิจารณาการแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลกับผนังท่อจะพบว่าปีกรูปตัววีที่มีความสูง 100% จะมีค่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลที่มากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่ว่า ที่ความสูงของปีกมีค่ามาก จะเป็นการบังคับทิศของกระแสการไหลให้มีการเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อได้มากขึ้น ตามภาพการกระจายตัวของเลขนัสเซลในรูปที่ 6 (จ)

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์สำหรับรูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกันและการจัดวางแบบเอียงในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2000 ที่ความสูงของปีกรูปตัววีต่าง ๆ กัน โดยในกรณีที่การจัดวางแนวเดียวกัน ความสูงของปีกเป็น 100% จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดคิดเป็น 1.93 เท่าเมื่อเทียบกับครีบริเรียบที่เลขเรย์โนลด์ 2000 รูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกันจะให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าการจัดวางแบบเอียงในทุกค่าความสูง เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งแบบแนวเดียวกันปีกรูปตัววีจะถูกจัดวางในตำแหน่งที่ใกล้ผนังท่อมากกว่าการจัดวางแบบเอียง ส่งผลให้มีอากาศร้อนปริมาณที่มากกว่าสามารถเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังท่อ แนวโน้มสำคัญการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่ว่าหากความเร็วของอากาศที่ไหลเข้ามีค่ามากจะส่งผลให้เกิดการปั่นป่วนที่รุนแรงขึ้น การปั่นป่วนที่รุนแรงนั้นจะลดขนาดของชั้นขีดยาว รวมทั้งยังทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละหน้าตัดมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น



รูปที่ 7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดทางออกของครีบริเรียบ (ก) ครีบริที่มีการติดปีกรูปตัววีที่มีความสูง 25% (ข) 50% (ค) 75% (ง) และ 100% ของความสูงระหว่างครีบริ ที่เลขเรย์โนลด์ 500

รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณหน้าตัดทางออกของขอบเขตที่ศึกษา พบว่าที่ความสูง 100% ของความสูงระหว่างครีบริ อุณหภูมิทางออกมีค่าต่ำกว่าในทุกกรณี และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอกว่านั้นคือมีการผสมผสานระหว่างอากาศบริเวณแก๊งกลางท่อและผิวท่อได้อย่างสมบูรณ์

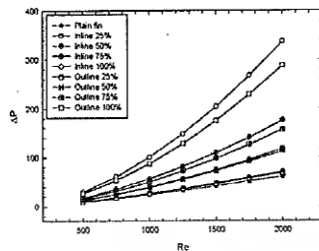


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลและเลขเรย์โนลด์

ครั้งที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

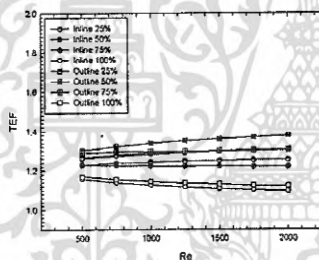
3.3 การสูญเสียความดัน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกคร่อมและเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันตกคร่อมและเลขเรย์โนลด์ สำหรับรูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกันและการจัดวางแบบเอียงในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2000 ที่ค่าความสูงต่างๆกัน พบว่าการจัดวางแบบแนวเดียวกันจะให้ค่าความดันตกคร่อมมากกว่าการจัดวางแบบเอียง ค่าความสูงของปีกรูปตัววีที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นตาม โดยในการพิจารณาการจัดวางแนวเดียวกัน ความสูงของปีกเป็น 100% จะให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูงสุดคิดเป็น 5.48 เท่าเมื่อเทียบกับครีบริเรียบ ที่เลขเรย์โนลด์ 2000

3.4 สมรรถนะเชิงความร้อน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 9 แสดงความแปรเปลี่ยนค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เลขเรย์โนลด์ต่างๆ ของรูปแบบการจัดวางแนวเดียวกันและรูปแบบการจัดวางแบบเอียง พบว่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะเชิงความร้อนเพียงเล็กน้อย ตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ที่พิจารณา โดยครีบริที่มีรูปแบบการจัดวางแบบเอียง ที่ค่าความสูงของปีกรูปตัววีเท่ากับ 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.30 ถึง 1.37

4 สรุปผลการทดลอง

จากวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดย่อมที่มีการติดตั้งปีกสำหรับสร้างการไหล

แบบเป็นรูปวงรีแบบตัววี ด้านบนและด้านล่างของครีบริ ในรูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกันและการจัดวางแบบเอียง ค่ามุมปะทะมีค่าเท่ากับ 30 องศา และขนาดความสูงเป็น 25% 50% 75% และ 100% ของความสูงระหว่างครีบริ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 500 ถึง 2000 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ความสูงของปีกรูปตัววีที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้น
- รูปแบบการจัดวางแบบแนวเดียวกันจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมากกว่ารูปแบบการจัดวางแบบเอียงที่ค่าความสูงเดียวกัน โดยปีกรูปตัววีที่ความสูงคิดเป็น 100% ของความสูงระหว่างครีบริ จัดวางแบบแนวเดียวกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดคิดเป็น 1.93 และ 5.48 เท่า เมื่อเทียบกับครีบริเรียบ
- สมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของเลขเรย์โนลด์ โดยครีบริที่มีรูปแบบการจัดวางแบบเอียง ที่ค่าความสูงของปีกรูปตัววีเท่ากับ 50% จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง 1.30 ถึง 1.37

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Biswas, G., N.K. Mitra, and M. Fiebig. Heat transfer enhancement in fin-tube exchangers by winglet type vortex generators. International Journal of Heat and Mass Transfer 37 (2) 1994. 283-291.
- [2] Chen, Y., Fiebig, M., Mitra, N.K. Conjugate heat transfer of a finned oval tube with a punched longitudinal vortex generator in form of a delta winglet parametric investigations of the winglet, Int. J. Heat Mass Transfer 41. 1998. 3961-3978.
- [3] Chen, Y., Fiebig, M., Mitra, N.K. Heat transfer enhancement of a finned oval tube with punched longitudinal vortex generators in-line, Int. J. Heat Mass Transfer 41 1998. 4151-4166.
- [4] Chen, Y., Fiebig M., Mitra, N.K. Heat transfer enhancement of finned oval tube with staggered punched longitudinal vortex generators, Int. J. Heat Mass Transfer 43 2000. 417-435.
- [5] Chu, P., He, Y.L., Lei, Y.G. Three-dimensional numerical study on fin and oval tube heat exchanger with longitudinal vortex generators, Applied Thermal Engineering 29 2009. 859-87.
- [6] He, Y.L., Han, H., Tao, W.Q., Zhang, Y.W. Numerical study of heat-transfer enhancement by punched winglet-type vortex generator arrays in fin-and-tube heat exchangers, Int. J. Heat Mass Transfer 55 2012. 5449-5458.
- [7] James E.J.E. O'Brien, Manohar S.M.S. Sohal, Phillip C.P.C. Wallstedt. Local heat transfer and pressure drop for finned-tube heat exchangers using oval tubes and vortex generators, J. Heat Transfer 126 2004. 826-835.

ประวัติผู้เขียน

ประวัติส่วนตัว :

ชื่อ-สกุล นายเกียรติวีรชิต จันทราวิภาส

วัน เดือน ปีเกิด 15 ธันวาคม พ.ศ.2531

ที่อยู่ 1076 เพชรเกษม 55/2 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10160
โทรศัพท์ 090-9741252

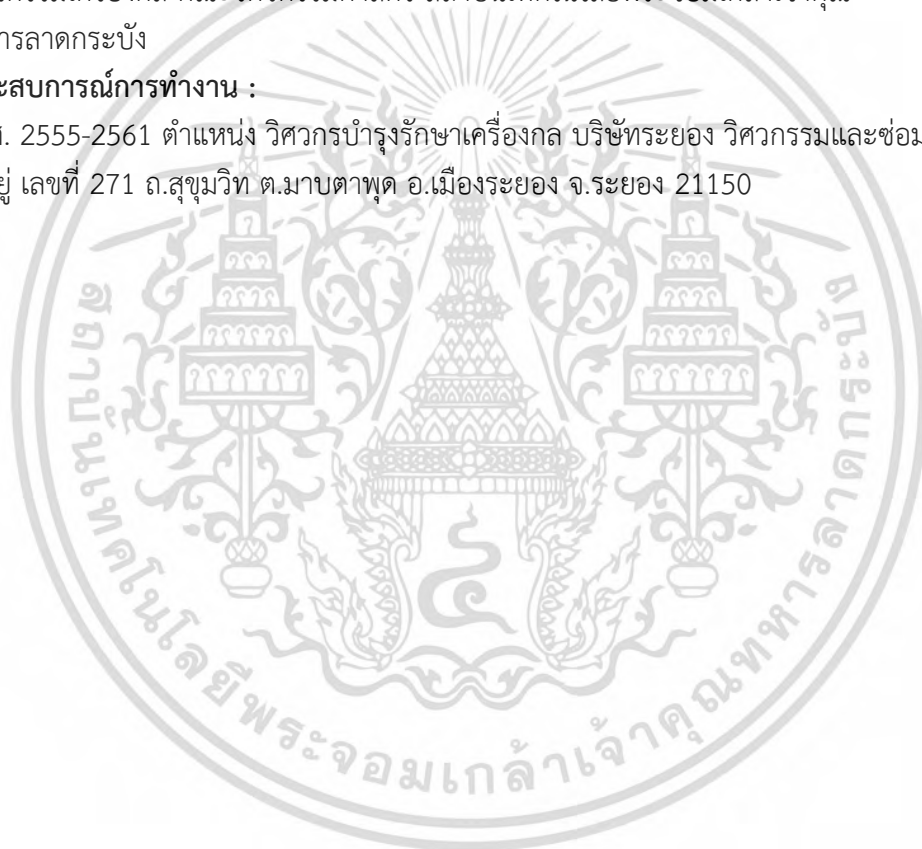
ความชำนาญเฉพาะด้าน การวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ CFD

ประวัติการศึกษา :

พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน :

พ.ศ. 2555-2561 ตำแหน่ง วิศวกรบำรุงรักษาเครื่องกล บริษัทระยอง วิศวกรรมและซ่อมบำรุง จำกัด
ที่อยู่ เลขที่ 271 ถ.สุขุมวิท ต.มาบตาพุด อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้