

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกคู่
NUMERICAL HEAT TRANSFER INVESTIGATION OF TURBULENT TUBE FLOW
THROUGH WINGLET PAIRS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-030-065

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกคู่
NUMERICAL HEAT TRANSFER INVESTIGATION OF TURBULENT TUBE FLOW
THROUGH WINGLET PAIRS



นฤมล อิศวภูมิ

NARUMON AUDESAWAPOOM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-030-065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL HEAT TRANSFER INVESTIGATION OF TURBULENT TUBE FLOW
THROUGH WINGLET PAIRS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-030-065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017






FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกคู่
Thesis Title Numerical Heat Transfer Investigation of Turbulent Tube Flow Through Winglet Pairs
นักศึกษา นางสาวนฤมล อัครภูมิ
รหัสประจำตัว 57601162
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-030-065

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สมชาย	ศรีพัฒนะพิพัฒน์	
รศ.ดร.ชินรักษ์	ธีรพงษ์	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ดร.มธุรส	สุชาติวัฒน์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 นำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกคู่
นักศึกษา	นางสาวนฤมล อัครภูมิ
รหัสนักศึกษา	57601162
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนสามมิติ โดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT ในการคำนวณ ที่มีลักษณะการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วงๆของการไหลและการถ่ายเทความร้อน โดยมีการติดตั้งแผ่นบางพร้อมปีกคู่ภายในท่อกลม การคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้แบบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม การคู่ควบของความเร็วและความดันใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE และสำหรับในเทอมของการพาใช้แบบแผนการคำนวณแบบ QUICK โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบซึ่งพิจารณาอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วง 3000 ถึง 16,000 การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนได้นำเสนอในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nu) การสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (thermal enhancement factor, TEF) เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองของท่อกลมผิวเรียบและข้อมูลท่อที่ติดตั้งปีกคู่ที่เงื่อนไขเดียวกันซึ่งพบว่าระหว่างผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับข้อมูลการทดลองมีความสอดคล้องกัน งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งการจัดวางปีก, อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($BR = b/D = 0.1$) ค่าอัตราส่วนระยะพิตช์ ($PR = 1.0, 1.5$ และ 2.0) และมุมปะทะการไหล ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45°) ผลจากการคำนวณพบว่าท่อกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูทำให้การถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อผิวเรียบ การลดลงของอัตราส่วนระยะพิตช์ (pitch ratio, $PR = p/D$) ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้น ท่อที่ใส่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูกว่าที่ทำการศึกษากรณีที่ค่า $\alpha = 20^\circ, BR = 0.1, PR = 1.0$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) มีค่าถึง 2.62 ที่ค่า $Re = 3000$

Thesis	Numerical Heat Transfer Investigation of Turbulent Tube Flow Through Winglet Pairs
Student	Miss Narumon Audsawapoom
Student ID.	57601162
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents a numerical investigation on heat transfer characteristics in a 3D fully turbulent periodic flow model in a round tube with winglet pairs using ANSYS FULENT for the calculation. The computations are based on a finite volume method with the SIMPLE algorithm for handling the pressure-velocity coupling and the QUICK scheme for the convection terms. Air used as the test fluid enters the inserted tube flow model with the airflow rate in terms of Reynolds number from 3000 to 16,000. The heat transfer and pressure loss are displayed in the form of Nusselt number (Nu) and friction factor (f) while thermal enhancement factor (TEF) is employed as a thermal performance indicator. The numerical heat transfer and friction factor results of using winglets are initially validated by comparing with those from available experimental data and an excellent agreement between the numerical and experimental results is found. Several winglet-types such as delta, rectangular, trapezoidal and upturned trapezoidal winglets are introduced in the present work. The present study is focused on the Influence of winglet arrangement, winglet height-to-tube diameter or blockage ratio ($BR = b/D = 0.1$), winglet pitch ratios ($PR=1, 1.5$ and 2) and various winglet attack angles ($\alpha=20^\circ, 30^\circ$ and 45°). The computation reveals that the tube with all winglet pairs provides higher heat transfer rate than the smooth tube with no insert. The decrease in PR leads to the considerable increase of heat transfer rate and friction factor. Among various winglet types, the upturned trapezoidal winglet with $\alpha=20^\circ, BR=0.1, PR=1.0$ yields the maximum thermal enhancement factor of 2.62 at $Re=3000$.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยตัวสร้างการหมุนควงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ที่สนับสนุนจาก รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาคำปรึกษาแนะนำ อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ สมบัติ ทำนา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาวิจัยซึ่งเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆน้องๆ ผู้ร่วมงานจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆด้านที่ทำงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและทำวิจัยของผู้วิจัยมาโดยตลอด ได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณในทุกประการที่ให้แก่งานวิจัยเรื่องนี้ไว้ ณ โอกาสนี้

นฤมล อัครภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา  ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	3
1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องท่อกลม.....	4
2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข.....	4
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องท่อสี่เหลี่ยม.....	10
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข.....	10
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....	10
บทที่ 3 สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
3.1 บทนำ.....	13
3.2 สมมติฐาน.....	13
3.3 สมการพื้นฐานและแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน.....	13
3.3.1 สมการควบคุม.....	14
3.3.2 แบบจำลองความปั่นป่วน.....	15
3.3.2.1 แบบจำลองความปั่นป่วน $k - \epsilon$	15
3.3.2.2 การคู่ควบของความดันและความเร็ว.....	17
3.3.2.3 วิธีการประมาณค่าแบบ QUICK.....	18
3.4 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น.....	19
3.4.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.2 การไหลแบบราบเรียบหรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) กับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)	19
3.4.3 การไหลในท่อกลม	20
3.4.4 ตัวประกอบความเสียดทาน	22
3.5 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน.....	23
3.5.1 วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน	23
3.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน	24
3.5.3 สภาวะการพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน.....	24
3.5.4 การพาความร้อน.....	24
3.5.4.1 หลักการพื้นฐานของการพาความร้อน	24
3.5.4.2 ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน	25
3.5.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	25
3.5.4.4 ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน.....	26
3.6 การคำนวณการไหลแบบชั่วเป็นช่วง	26
3.6.1 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความเร็ว.....	27
3.6.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง	27
3.6.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง.....	27
3.6.2 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความร้อน	28
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา	29
4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	29
4.2 รูปร่างของปีกคู่ที่ทำการศึกษา.....	29
4.2.1 ปีกสามเหลี่ยมคู่ (Delta Winglet Pair).....	29
4.2.2 ปีกสี่เหลี่ยมคู่ (Rectangular Winglet Pair).....	31
4.2.2 ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ (Trapezoidal Winglet Pairs).....	32
4.2.2 ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ (Trapezoidal Capsize Winglet Pair).....	33
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา.....	34
4.4 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ	34
4.5 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม	35
4.6 วิธีการดำเนินการศึกษา	37
บทที่ 5 ผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการอภิปรายผล	39
5.1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข	39
5.1.1 เลขนัสเชิลท์	39
5.1.1 การตรวจสอบกระบวนการวิธี (scheme).....	41
5.2 ผลการศึกษาเชิงตัวเลขของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่	42
5.2.1 อิทธิพลของการจัดวางที่มีผลต่อพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อน	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 อิทธิพลของรูปร่างปีก.....	48
5.2.3 อิทธิพลของลักษณะช่องเปิดปีก.....	54
5.2.4 อิทธิพลของระยะพิตช์ และมุมปะทะ	60
5.2.5 ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	67
5.2.3 ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำ	74
5.2.4 อิทธิพลความสูงปีก (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, BR)	81
5.3 การอภิปรายผลงานวิจัย	88
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	89
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	89
6.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส.....	89
6.1.2 อิทธิพลของตำแหน่งการจัดวาง.....	89
6.1.3 อิทธิพลของตำแหน่งช่องเปิด	89
6.1.4 อิทธิพลระยะพิตช์และมุมปะทะ	89
6.1.5 อิทธิพลของความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	90
6.1.5 อิทธิพลของรูปร่าง.....	90
6.1 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย.....	90
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	94
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 จำนวนของกริดที่ใช้ในการทดสอบ.....	35
ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ	95



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะลักษณะการจัดปีกคู่บนแผนบางสำหรับการไหลแบบ periodic.....	5
2.2 ชั้นงานที่ทดสอบประกอบด้วยแผ่นติดครีบเอียงทำมุม 30° สัดส่วนความสูงแผ่นครีบเอียงต่อ $e/H=0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.25 และ สัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ $PR = 3$	6
2.3 ลักษณะครีบบางขวางที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	7
2.4 ลักษณะแผ่นปีกที่ใช้ทดสอบในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....	8
2.5 ลักษณะท่อที่ติดตั้ง WWG 30° และรูปถ่ายของส่วนทดสอบ.....	9
2.6 แสดงลักษณะท่อที่มีการใส่ V-Shape.....	9
3.1 ปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ.....	18
3.1 ชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อมีการไหลผ่านผิวของวัตถุ.....	20
3.2 การไหลอย่างสมบูรณ์ภายในท่อกลม.....	21
3.3 ตัวประกอบความเสียหายสำหรับการไหลแบบสมบูรณ์ในท่อกลม.....	22
3.4 รูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง.....	27
4.1 แสดงลักษณะของปีกสามเหลี่ยมคู่ตำแหน่งที่จัดวางบริเวณกลางท่อ.....	30
4.2 แสดงลักษณะของรูปแบบปีกสามเหลี่ยมคู่ตำแหน่งที่จัดวางชิดบริเวณผนังท่อ.....	30
4.3 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก.....	31
4.4 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหลังปีก.....	32
4.5 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	32
4.6 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	33
4.7 แสดงลักษณะกริดและขอบเขตการไหลของท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่.....	35
4.8 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า Nu ที่ $Re 3000$	35
4.9 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า f ที่ $Re 3000$	36
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สและผลการทดลองของ Chokphoemphun.....	39
5.2 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียหายกับเลขเรย์โนลด์ส และผลการทดลองของ Chokphoemphun.....	40
5.3 เลขนัสเซลท์จากกระบวนการวนวิธีต่างๆ และผลการทดลองของ Chokphoemphun.....	41
5.4 ตัวประกอบเสียหายที่กระบวนการวนวิธีต่างๆ และผลการทดลองของ Chokphoemphun.....	41
5.5 ลักษณะการจัดวางปีกสามเหลี่ยมคู่ (A1) การจัดวางที่บริเวณกลางท่อ (A2) การจัดวางชิดผนังท่อ.....	42
5.6 เส้นกระแสการไหล 2 มิติที่ตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ.....	43
5.7 เส้นกระแสการไหล 3 มิติที่ตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ.....	43
5.8 การกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 ความสัมพันธ์ของเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยม คู่กรณีต่างๆ	45
5.10 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สามเหลี่ยมคู่กรณีต่างๆ	45
5.11 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สามเหลี่ยมคู่กรณีต่างๆ	46
5.12 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อม ปีกสามเหลี่ยมคู่กรณีต่างๆ	46
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบาง พร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่.....	47
5.14 แสดงลักษณะปีกสามเหลี่ยมคู่(DWP) และปีกสี่เหลี่ยมคู่(RWP).....	48
5.15 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	49
5.16 การกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีก สี่เหลี่ยมคู่	50
5.17 ความสัมพันธ์ของเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	50
5.18 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	51
5.19 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	52
5.20 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อม ปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	52
5.21 ความสัมพันธ์สมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สามเหลี่ยมคู่ และ ปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	53
5.22 แสดงลักษณะการจัดวางปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก	54
5.23 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก.....	54
5.24 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก.....	55
5.25 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก.....	56
5.26 ความสัมพันธ์ของเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มี ช่องเปิดหน้าปีกและหลังปีก	56
5.27 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัยเชิงลต์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยม คู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.28 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก	58
5.29 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อม ปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก	58
5.30 ความสัมพันธ์สมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก สี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก	59
5.31 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่	60
5.32 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR=1, (ข.) PR=1.5, และ (ค.) PR=2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000	61
5.33 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR=1, (ข.) PR=1.5, และ (ค.) PR=2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000	62
5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่	63
5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อม ปีกสี่เหลี่ยมคู่	64
5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อม ปีกสี่เหลี่ยมคู่	65
5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่น บางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่.....	65
5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบาง พร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่	66
5.39 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่	67
5.40 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1, (ข.) PR = 1.5, และ (ค.) PR = 2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000	68
5.41 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และ เปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1, (ข.) PR = 1.5, และ (ค.) PR = 2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000	69
5.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	70
5.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu ₀ กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	71
5.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	72
5.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f ₀ กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	72
5.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่.....	73
5.47 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ว่า	74
5.48 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1, (ข.) PR = 1.5, และ (ค.) PR = 2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3000.....	75
5.49 เส้นกระแสการไหลสามมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1, (ข.) PR = 1.5, และ (ค.) PR = 2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000.....	76
5.50 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1, (ข.) PR = 1.5, และ (ค.) PR=2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, BR=1, Re=3,000	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	78
5.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	79
5.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	80
5.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	80
5.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	81
5.56 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ค่า BR ต่างๆ.....	82
5.57 การกระจายอุณหภูมิมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ.....	84
5.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ.....	84
5.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ.....	85
5.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ.....	86
5.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ.....	86
5.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ.....	87



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพา, m^2
A_c	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
a_r	อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง
$D_{R,i}$	อัตราส่วนความกว้างทางเข้า (d_i / D), m
$D_{R,o}$	อัตราส่วนความกว้างทางออก (d_o / D), m
l	ความยาวของปีก, m
c_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, $J/kg \cdot K$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อกลม, m
f	ตัวประกอบเสียดทาน
f_0	ตัวประกอบเสียดทานของท่อกลมผิวเรียบ
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2
G_k	การก่อกำเนิดของพลังงานจลน์ปั่นป่วน
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
K	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน
k	พลังงานจลน์ของความปั่นป่วนต่อหน่วยมวล, J/kg
L	ความยาวตลอดช่วงการไหล, m
b/D	อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
m	มวล, kg
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Nu	เลขนิตเซิลต์เฉลี่ย
Nu_0	เลขนิตเซิลต์ของท่อกลมผิวเรียบ
P	เส้นรอบรูป, m
p	ความดันสถิต, Pa
P_R	อัตราส่วนพิตช์
Pr	เลขพรานด์
q''_s	ฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ, W/m^2
Q	เทอมการเพิ่มความร้อนทั้งหมดภายในโดเมน
Re	เลขเรย์โนลด์ส
S_{ij}	เทนเซอร์ค่าเฉลี่ยของอัตราความเครียด, s^{-1}
T	อุณหภูมิ, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
T_∞	อุณหภูมิกระแสหลัก, K

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

TEF	ค่าตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อนหรือสมรรถนะเชิงความร้อน
t	เวลา, s
U_i	ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x_i , m/s
u_i	ความเร็วย่อยในแนวแกน x_i , m/s
V	ความเร็วการไหล, m/s
V	ปริมาตร, m^3
x	พิกัดบอกทิศทางการไหล

สัญลักษณ์กรีก

Γ	สัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อน
α	มุมปะทะ
ϕ	ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อหน่วยมวล
μ	ความหนืดสัมบูรณ์, $N \cdot s / m^2$
ν	ปริมาตรจำเพาะ, m^3 / kg
γ	น้ำหนักจำเพาะ
ε	อัตราการผลิตสลายของความปั่นป่วน, m^2 / s^3
ρ	ความหนาแน่น, kg / m^3
τ	ความเค้นเฉือน, N / m^2
σ	เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ

ตัวห้อย

0	ท่อผิวเรียบ (smooth duct)
a	อากาศ (air)
m	เฉลี่ย (mean)
w	ผนัง (wall)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้โลกมีการพัฒนา และเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมากและจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานมีมากขึ้น เนื่องจากโลกมีความเจริญมากขึ้นทำให้มีการใช้พลังงานในปริมาณมากขึ้น จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรม ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์แบบหนึ่งที่สำคัญต่อวงการอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งงานด้านวิศวกรรม เช่น หม้อน้ำ คอนเดนเซอร์ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่น้ำ หม้อน้ำรถยนต์ คอยล์ร้อน คอยล์เย็น ฯลฯ เหล่านี้เป็นตัวอย่างของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็น ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในสมัยนี้มีกระบวนการมากมายจนนับไม่ได้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกระแสของไหล 2 ชนิดโดยไม่มีการผสมกันทางกายภาพเลย ซึ่งนักวิจัยส่วนมากพยายามที่จะหาวิธีเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหลภายในท่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบและตัวสร้างกระแสหมุนวนจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหลภายในท่อ

ซึ่งในปัจจุบันข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยสำหรับการทดลองยังคงเป็นปัญหาสำหรับนักวิจัย เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยอีกด้วย รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิไม่เพียงพอ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข เข้ามาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่างๆ ของกระบวนการโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในทางอุตสาหกรรม ได้มีนักวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาถึงเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนแบบปีกคู่รูปทรงต่างๆภายในท่อกลมเพื่อสร้างการไหลหมุนวนของการไหลของอากาศภายในท่อ ซึ่งพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยนำวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาใช้ในการศึกษาตัวแปรต่างๆภายในขอบเขตที่กำหนด ผ่านโปรแกรม Ansys FLUENT เพื่อความรวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำ ลดปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น และสามารถใช้เป็นแบบอย่างในการพัฒนางานวิจัยอื่นๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบตัวสร้างการหมุนวนภายในท่อกลม แบบปีกสามเหลี่ยม, ปีกสี่เหลี่ยม, ปีกสี่เหลี่ยมคางหมู, และปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหลภายในท่อกลมด้วยตัวสร้างการหมุนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหลและระยะพิตซ์ต่อพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหล โดยปรับมุมปะทะของตัวสร้างการหมุนควง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาจะใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล ผ่านการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ansys FLUENT ซึ่งการถ่ายเทความร้อนอยู่บนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) โดยศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน

1.3.2. ศึกษาอิทธิพลของรูปแบบตัวสร้างการหมุนควงภายในท่อกลม แบบปีกสามเหลี่ยม ปีกสี่เหลี่ยม, ปีกสี่เหลี่ยมคางหมู, และปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm. อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (L/D) = 0.4 หรือเท่ากับ 20 mm อัตราส่วนความสูงของปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (BR) = 0.1 หรือเท่ากับ 5 mm

1.3.3. ศึกษาอัตราส่วนระยะพิตซ์ และมุมปะทะการไหล เพื่อเปรียบเทียบค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุดจากการศึกษาครั้งนี้ โดยศึกษา 3 อัตราส่วนระยะพิตซ์ ($PR = 1, 1.5$ และ 2) และ 3 มุมปะทะการไหล $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45°

1.3.4. ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ

1.3.5. ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \epsilon$ model

1.3.6. ใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE ในกระบวนการคำนวณความเร็วและความดันใช้การคำนวณแบบ QUICK ในเทอมของการพา

1.3.7. พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

1.3.8. ให้ความร้อนที่ผิวนิ่งของท่อกลมแบบปลั๊กความร้อนคงที่ที่ 600 W/m^2

1.3.9. กำหนดให้ตัวสร้างการหมุนควงที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีลักษณะเป็นแผ่นบางและไม่สามารถนำความร้อนได้

1.3.10. ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทาน ในช่วงเลขเรย์โนลด์ $Re = 3000 - 16000$

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของการไหล โดยการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนรูปแบบต่างๆภายในท่อกลม

2. ตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบและการตั้งค่าแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบทางพลศาสตร์ของไหล โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขกับผลการทดลองของนักวิจัยในอดีตว่ามีความถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจากแบบจำลองเชิงตัวเลขจะไม่ผิดพลาด

3. ออกแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมตัวสร้างการหมุนควงที่จะใช้ในการศึกษาจากการประยุกต์งานวิจัยในอดีต รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องที่จะใช้ในการศึกษา

4. คำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลสามมิติ โดยเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ Re , BR , α และ PR
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขโดยเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ด้วยการแสดงกราฟเปรียบเทียบ และแสดงในรูปแบบของคอนทัวร์อุณหภูมิ, กระแสการไหล 2 มิติ 3 มิติ
6. สรุปผลการศึกษาวิจัยและให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1. ทราบถึงอิทธิพลของตัวสร้างการหมุนควง ที่ส่งผลต่อสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน
2. เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น
3. ประหยัดเวลา ช่วยในการประหยัดพลังงาน และนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต

1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกสี่เหลี่ยมคู่” เล่มนี้ได้นำเสนอรายละเอียดของเนื้อหาออกเป็นทั้งหมด 6 บท โดยแต่ละบทประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้ **บทที่ 1 บทนำ** เป็นการกล่าวนำเพื่อให้เข้าใจถึงที่มาและความสำคัญของการวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่ผู้ทำวิจัยคาดหวังว่าจะได้รับจากการทำการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ **บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์** กล่าวถึงการนำเสนองานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาที่ได้ทำการศึกษาถึงการติดตั้งตัวสร้างการหมุนควงภายในท่อกลม โดยมีรูปแบบและลักษณะการจัดวางตัวสร้างการหมุนควงในรูปแบบต่างๆ **บทที่ 3 สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆและสมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อน เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำความเข้าใจในการวิจัยครั้งนี้ **บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา** อธิบายรูปแบบการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยตัวสร้างการหมุนควง รูปแบบต่างๆทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยปรับเปลี่ยนค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) อัตราส่วนความสูงของปีกต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อกลม BR อัตราส่วนพิทช์ (PR) อัตราส่วนความยาวของตัวสร้างการหมุนควงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (L/D) และมุมปะทะ (α) ของตัวสร้างการหมุนควง เพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนและเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน **บทที่ 5 ผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการอภิปราย** นำเสนอผลที่ได้จากการศึกษาทั้งค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน เมื่อทำการใส่ตัวสร้างการหมุนควงในท่อกลม **บทที่ 6 สรุปผล** สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ การสรุปผลจากการศึกษาทั้งหมดและข้อเสนอแนะต่างๆเพิ่มเติมในการต่อยอดงานวิจัยต่อไป ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในบทสุดท้ายบทนี้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่มีผู้ทำการวิจัยผ่านมาในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวสร้างการไหลหมุนควง ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของของไหลเพื่อพัฒนาไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการใส่ตัวสร้างการไหลหมุนควงในท่อกลมนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี ถึงแม้ว่าตัวสร้างการหมุนควงนี้จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น แต่ความต้านทานการไหลก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกันและเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องปรับปรุงแก้ไขอยู่เสมอ จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เพื่อที่จะนำข้อมูลในอดีตมาทำการวิจัยหาแนวทางในการปรับปรุงตัวสร้างการหมุนควงรูปแบบต่างๆ ปีกสามเหลี่ยมคู่, ปีกสี่เหลี่ยมคู่, ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่, ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่กลับด้าน นี้ด้วยหลักการที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การแลกเปลี่ยนความร้อนมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวันและในส่วนของภาคอุตสาหกรรม เช่น ระบบปรับอากาศในขบวนการผลิตต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม ระบบระบายความร้อนในรถยนต์ ซึ่งมีงานวิจัยที่พัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในระบบระบายความร้อนในท่อกลมก็เป็นอีกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับการพัฒนาโดยตลอด ซึ่งในปัจจุบันข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยสำหรับการทดลองยังคงเป็นปัญหาสำหรับนักวิจัย เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยอีกด้วย รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิไม่เพียงพอ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้น จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข เข้ามาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่างๆ ของกระบวนการโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในทางอุตสาหกรรม ได้มีนักวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาถึงเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องท่อกลม

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข

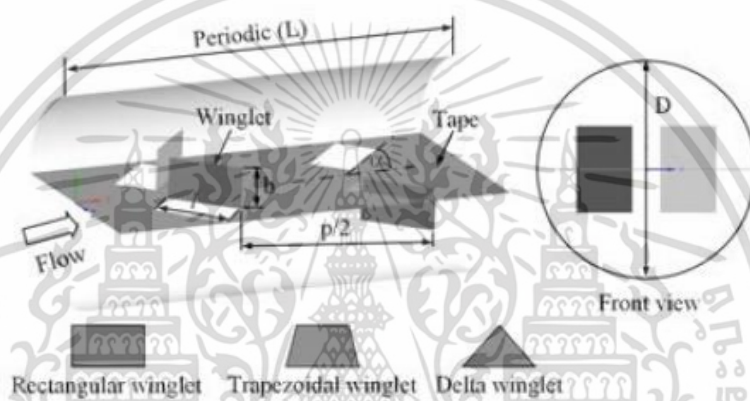
Patankar et al.(1977) ได้ริเริ่มทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์การไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อ โดยจากการศึกษาพบว่า การไหลในช่วงพัฒนาอย่างสมบูรณ์มีพฤติกรรมการไหลแบบช้าเป็นช่วง ซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันและซ้ำกันทุกๆ ช่วงของการไหล ซึ่งสามารถนำแนวความคิดนี้มาพัฒนาในการใช้แบบจำลองวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ ได้อย่างมากมาย

Webb and Ramadhyani.(1985) ได้นำแนวทางการคิดการไหลแบบช้าเป็นช่วงของ Patankar et al.(1997) มาศึกษาพฤติกรรมการไหลเวียนและการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลขนาน ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นโดยมีการจัดวางแบบเอียง

Lopez et al.(1996) ได้พยายามศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้น โดยมีการศึกษาแบบ 3มิติ ด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข ศึกษาในช่วงการไหลแบบเอกสาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราบเรียบ โดยกำหนดให้ท่อด้านบนและด้านล่างมีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ส่วนด้านข้างของท่อเป็นฉนวนความร้อน จากผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนบ่งลักษณะท่อ (aspect ratio) มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยสำหรับค่าความดันตกคร่อม แต่ค่าความดันตกคร่อมจะเพิ่ม เมื่อค่าความสูงของแผ่นกันและเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น

Tamna et al.(2016) นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลในท่อกลมที่อุณหภูมิผิวคงที่และมีการใส่ตัวสร้างการหมุนควง พิจารณาที่ค่าเรย์โนลด์สระหว่าง $Re = 4,000 - 20,000$ ทำการศึกษาทั้งหมดสามรูปแบบคือ แผ่นปีกสี่เหลี่ยม (RWT) แผ่นปีกสี่เหลี่ยมคางหมู (TWT) แผ่นปีกสามเหลี่ยม (DWT) และพารามิเตอร์ของ RWT มีค่าอัตราส่วนความสูงครีบอกต่อความสูงของช่องการไหล ($BR = b/D = 0.1, 0.15, 0.2$ และ 0.25) ในขณะที่ TWT และ DWT มีค่า $BR = 0.2$ เท่านั้น ปีกคู่ทั้งหมดมีมุมปะทะ 1 มุมที่ $D=45^\circ$ และอัตราส่วนระยะพิตช์ ($p/D = PR=4$)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการจัดปีกคู่บนแผ่นบางสำหรับการไหลแบบ periodic

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) และค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) ของท่อที่มีการใส่ปีกมีค่าที่เพิ่มขึ้นตาม BR ที่เพิ่มขึ้น สำหรับ Nu ของท่อที่ใส่ปีกคู่มีค่าเป็น $1.8 - 2.7$ เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบในขณะที่ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าอยู่ที่ $4.5-11$ สูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ ในส่วนของประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.48 สำหรับปีกสี่เหลี่ยมคู่ RWT ที่ค่า $BR = 0.1$ ที่ค่า $Re = 3000$

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

Webb et al.(1971) พวกเขาได้นำเสนอพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการติดตั้งครีบอกที่เรียงตัวซ้ำกัน

Han et al.(1978) ศึกษาพื้นที่ผิวที่มีการเพิ่มครีบอก โดยทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างครีบอกมุมปะทะ และอัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นครีบอกต่อความสูงของท่อ และแสดงในรูปของค่าความดันตกคร่อมและอัตราการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลขนาน ศึกษาในช่วงเรย์โนลด์ส $3,000$ ถึง $30,000$ จากผลการศึกษาพบว่าครีบอกทำมุมปะทะ 45° ให้ค่าความดันตกคร่อมที่น้อยกว่า

Gee and Webb.(1980) ศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสำหรับการเพิ่มครีบอกในท่อกลม ในช่วงเรย์โนลด์ส $6,000$ ถึง $65,000$ พวกเขาพบว่ามุมปะทะการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งครีบอกคือมุม 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Founti and Whitelaw.(1981) ใช้ LDA(laser doppler anemometry) ศึกษาการไหลผ่านอุปกรณ์จำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่ผิวของเปลือกด้านนอก จากผลการศึกษาพบว่าการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยของความเร็วแบบซ้ำเป็นช่วง(periodic)หรือพฤติกรรมซ้ำกันและมีลักษณะการไหลปั่นป่วนเกิดขึ้นหลังจากช่วงที่สอง(โมดูลที่2) จากทางเข้า

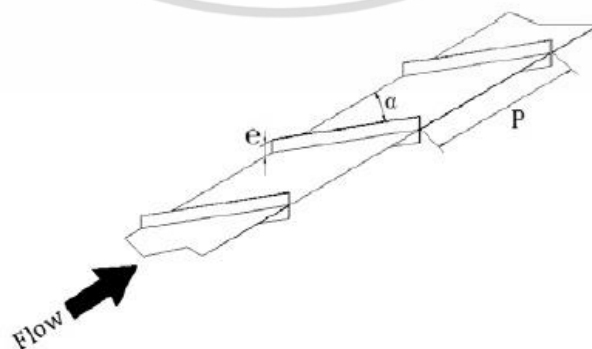
Cheng and Huang.(1991) ศึกษากรณีของการติดตั้งแผ่นกั้นตามขวางที่มีการจัดวางแบบไม่สมมาตร จากผลการศึกษาพบว่าตำแหน่งในการจัดวางแผ่นกั้นมีอิทธิพลต่อลักษณะของการไหล โดยเฉพาะแผ่นกั้นที่มีความสูงมาก

Habib et al.(1994) ศึกษาด้วยการทดลองในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแบบซ้ำเป็นช่วงสำหรับท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีการจัดวางแบบเอียง จากผลการทดลองพวกเขาสรุปว่าค่าความดันตกคร่อมและค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นและเลขเรย์โนลด์ส์

Guo and Anand.(1997) ศึกษาพฤติกรรมในช่วงการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้าของการถ่ายเทความร้อนแบบ 3 มิติ ในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเดี่ยว

Bazdid-Tehrani and Naderi-Abadi.(2004) ได้นำเสนอผลจากการศึกษาด้านวิธีการเชิงคำนวณตัวเลขของพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นโดยมีการจัดวางแผ่นกั้นแบบตรง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของการขวางไหลหรือความสูงของแผ่นกั้นจะส่งผลถึงพฤติกรรมการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและส่งผลให้ค่ามรรณะทางความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวถึงแผ่นกั้นที่มีการจัดวางแบบเอียง

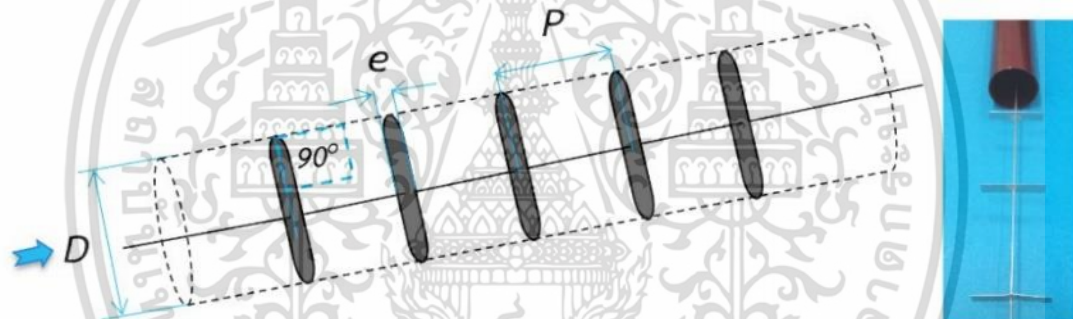
ดวงตา คำ และคณะ(2010) ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการสอดใส่แผ่นติดครีบบีเยงทำมุม $(\alpha) = 30^\circ$ โดยมีสัดส่วนความสูงครีบบีเยงต่อความสูงท่อ (e/H) ที่มีขนาดต่างกันซึ่งมีขนาด 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ และสัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงท่อ (PR) = 3 โดยทำการทดลองที่สภาวะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวแบบคงที่(Constant Heat Flux) ในการทดลองโดยปรับใช้ความเร็วลมหลาย ๆ ค่าในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) = 4000 – 25,000 ทำการเปรียบเทียบผลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบกับผลที่ได้จากท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดแผ่นติดครีบบีเยงในแนวทแยงท่อเพื่อพิจารณาค่าเลขนัสเซลท์(Nusselt number)และค่าตัวประกอบเสียดทาน(Friction Factor) จากการทดลองพบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นตามขนาดสัดส่วนครีบบีเยงต่อความสูงท่อที่มีขนาด e/H = 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ชิ้นงานที่ทดสอบประกอบด้วยแผ่นติดครีบบีเยงทำมุม 30° สัดส่วนความสูงแผ่นครีบบีเยงต่อ $e/H = 0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.25 และ สัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงท่อ $PR = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

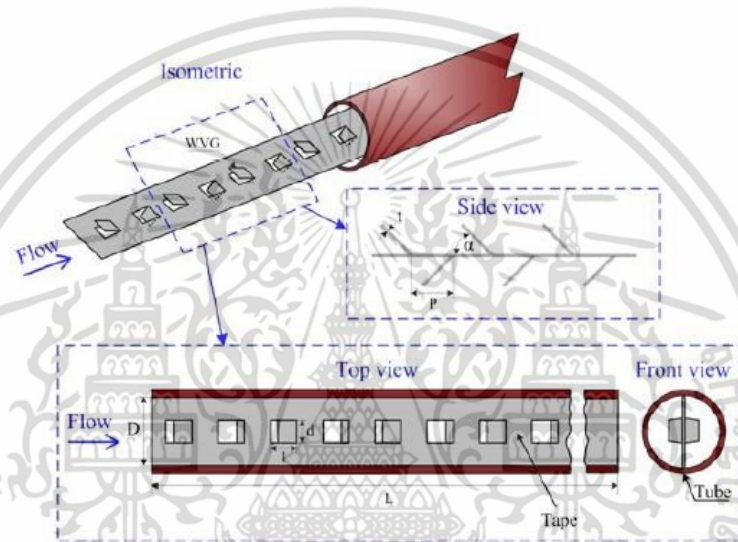
Chokphoemphun et al.(2013) ได้ทำการศึกษถึงการเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยเทคนิคการใส่ครีบบางขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ทำการศึกษาที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($PR=P/D$) เป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยครีบบมีความสูง (H) จำนวน 2 ขนาด ได้แก่ 5 และ 10 มิลลิเมตร ($BR=H/D=0.1$ และ 0.2 ตามลำดับ) ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 5300-24,000 ภายใต้สภาวะเงื่อนไข พลั๊กซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ พบว่าการใส่ครีบบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 2.04-3.32 เท่าของท่อเปล่า และให้ตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 3-24 เท่าของท่อเปล่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานซึ่งแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายใต้กำลังของปั๊มเดียวกัน จะเห็นว่าการใช้เทคนิคครีบบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ ก่อให้เกิดผลดีหากมีการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในแง่ของการประหยัดพลังงาน เนื่องจากช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือในแง่ของการลดต้นทุนทางวัสดุเนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่าสมรรถนะสูงขึ้นทำให้สามารถลดขนาดเครื่องลงได้ในขณะที่ขีดความสามารถการทำงานยังคงเดิม ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งาน เช่น กระบวนการอบไล่ความชื้น เครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์หรือผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ลักษณะครีบบางขวางที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Chokphoemphun et al.(2014) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งปีกคุ่มุม 60° ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ในส่วนชุดทดสอบเป็นแบบพลั๊กซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ผลของอัตราส่วนความสูงครีบบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3 อัตราส่วน ($BR=e/D=0.1, 0.15$ และ 0.2) และ 3 อัตราส่วนระยะพิตช์ ($PR=P/D=1.0, 1.5$ และ 2.0) ของปีกคุ่มุม จากการทดลองได้นำเสนอการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และความดันตกคร่อมในรูปแบบของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าท่อที่มีการติดตั้งปีกคุ่มุม ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบประมาณ 1.7-2.6 เท่าและให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อที่ใส่ปีกคุ่มุมในช่วง 1.03-1.31

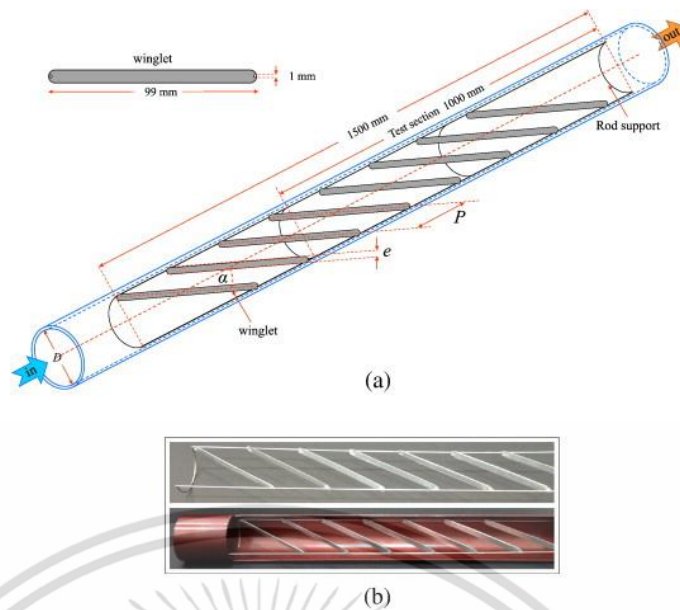
สกุลหลง และคณะ(2014) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะแผ่นปีกสร้างการไหลหมุนควงต่อคุณลักษณะทางความร้อนในท่อกลมแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ จุดมุ่งหมายของการสอดใส่แผ่นปีกเพื่อช่วยสร้างการไหลหมุนควงตามแนวยาวของท่อซึ่งส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนที่นำไปสู่การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น การทดลองดำเนินการโดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงอัตราการไหลที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส 4200 ถึง 26,000 ผลของมุมปะทะปีก 5 มุมปะทะที่ ($\alpha=20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°) และมีระยะพิตซ์ตามแนวการไหลเป็นสองเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ($P_R=P/D=2$) เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อน โดยแสดงในเทอมของค่าเลขนัสเซิลท์และความเสียหายในเทอมของตัวประกอบความเสียหาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้แผ่นปีกที่มีมุมปะทะขนาดใหญ่ที่ $\alpha=90^\circ$ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้แผ่นปีกที่มีมุมปะทะขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะความร้อนสูงสุดกลับพบที่ $\alpha=30^\circ$



รูปที่ 2.4 ลักษณะแผ่นปีกที่ใช้ทดสอบในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

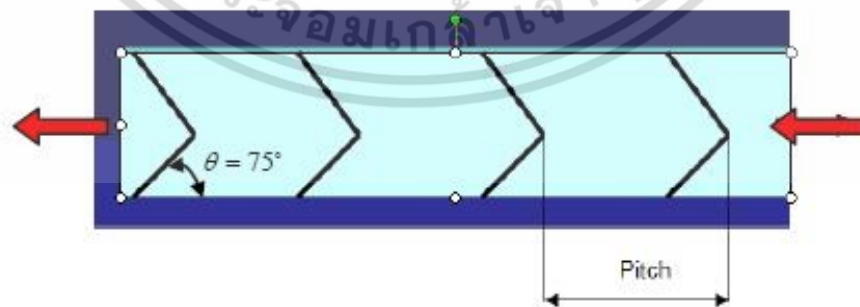
Chokphoemphun et al.(2015) นำเสนออิทธิพลของตัวสร้างการหมุนวน (WVGs) การเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยเทคนิคการใส่ครีบริ้วขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ทดสอบการไหลในช่วงความปั่นป่วน Re ตั้งแต่ 5,300 – 24,000 ภายใต้สภาวะเงื่อนไข ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ ศึกษาอิทธิพลของ WVGs ที่มีมุมปะทะ 30° ที่ 4 อัตราส่วนระยะพิตซ์ ($PR = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0) และสามอัตราส่วนความสูงปีกต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ($BR=0.1, 0.15$ และ 0.2)

ผลการทดลองที่ค่า RP และ RB ต่างๆ เปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบและท่อที่มีการสอดใส่แผ่นใบพัดและขดลวด จำนวน Nu และ f เพิ่มขึ้น กับกับการเพิ่มขึ้นของ RB และ Re โดยค่า RP ที่ลดลง ค่าเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยสำหรับ WVGs อยู่ในช่วง 2.03 – 2.34 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบสำหรับสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน WVGs มีค่าสูงกว่าแผ่นใบพัดและขดลวด อยู่ในช่วง 1.35–1.59 นอกจากนี้ การศึกษาเชิงตัวเลขจะดำเนินการเพื่อศึกษาพฤติกรรมกรไหลและกลไกการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการปีก (WVGs)



รูปที่ 2.5 (a) ท่อที่ติดตั้ง WVG 30 °และ (b) รูปถ่ายของส่วนทดสอบ

สำรวยสินธุ์ และคณะ(2016) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองผลกระทบของการสอดใส่ V-shape ต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการให้ความร้อนสม่ำเสมอที่ผิวท่อโดย V-shape ได้ถูกนำมาติดตั้งในท่อกลมเพื่อสร้างการไหลปั่นป่วน และเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อ และกำหนดให้อากาศร้อนไหลผ่านท่อในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์สระหว่าง 5000 ถึง 18000 ในการทดลอง ชุดสร้างการไหลประกอบไปด้วย V-shape ที่สอดใส่ตลอดความยาวท่อในและ V-shape ที่มีการใส่แบบเว้นช่วง (1D=35 มิลลิเมตร 2D=70 มิลลิเมตร 3D=105 มิลลิเมตร) และ V-shape สูง 1.5 มิลลิเมตร ในการทดสอบการไหลปั่นป่วนจะมีผลกระทบต่อชั้นขีดผิวที่บางลง เพิ่มพื้นที่สัมผัสของไหลที่ผิวท่อ และหน่วงการไหลของไหลภายในท่อให้ยาวนานยิ่งขึ้น ผลกระทบนี้มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีความเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อมากขึ้น จากผลการทดลองท่อที่มีการติดตั้ง V-shape สร้างการไหลปั่นป่วนจะให้ผลการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่า 100 - 300 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะท่อที่มีการใส่ ใส่ V-Shape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องท่อสี่เหลี่ยม

2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข

Webb and Ramadhyani.(1985)ได้นำแนวทางการคิดการไหลแบบซ้ำเป็นช่วงของ Patankar et al.(1997)มาศึกษาพฤติกรรมการไหลหมุนวนและการถ่ายเทความร้อนในช่องทางไหลขนาน ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นโดยมีการจัดวางแบบเอียง

Yang and Hwang.(2004) ได้ตรวจสอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขของลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีครีบบนแบบแยกตัวติดตั้งบนผนังให้ความร้อนเพียงหนึ่งด้าน และพวกเขาได้สรุปว่าครีบบนแบบแยกตัวให้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าครีบบนต่อเนื่อง

Yang and Hwang.(2006) ได้ตรวจสอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขของลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีครีบบนต่อเนื่องและครีบบนแบบแยกตัวติดตั้งบนผนังให้ความร้อนเพียงหนึ่งด้าน และพวกเขาสรุปได้ว่าครีบบนแบบแยกตัวให้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าครีบบนต่อเนื่อง

Chaube et al. (2006) ได้ศึกษาด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม FLUENT 6.1 และเปรียบเทียบผลที่ได้รับการทดลองของ Tanda (2004) ที่มีการไหลผ่านแถวครีบบนเรียงตัวตามขวาง มีค่า $p/e=13.3$, $p/H=2$ ที่ $Re=8900$ โดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน SST $k-\omega$ model ซึ่งเหมาะสมกว่าแบบจำลองการไหลแบบอื่นๆ พวกเขาสรุป การวิเคราะห์ด้วยการไหลแบบ 2 มิติ เข้ากับได้ดีกับผลการทดลองเนื่องจากสามารถละทิ้งผลของการไหลชั้นที่สองได้ และในบริเวณระหว่างครีบบน ค่าสูงสุดของการถ่ายเทความร้อนเริ่มเกิดขึ้นซ้ำเป็นช่วงทางความร้อนระหว่างครีบบนตัวที่ 3 และ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดลอง

Kim and Lee.(2007) ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนเพื่อวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการออกแบบช่องทางไหลหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบบนตัวหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ผนังด้านบนและด้านล่าง

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

Han et al. (1978)ศึกษาพื้นผิวที่มีการเพิ่มครีบบน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของครีบบนมุมปะทะ และอัตราส่วนความห่างระหว่างแผ่นครีบบนต่อความสูงของท่อ และแสดงในรูปของค่าความดันตกคร่อมและอัตราการถ่ายเทความร้อนในช่วงทางไหลขนาน ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 3000 ถึง 30,000 จากผลการศึกษาพบว่าครีบบนทำมุมปะทะ 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า ครีบบนทำมุมปะทะ 90° กับทิศทางการไหลโดยให้ความดันตกคร่อมมีน้อยกว่า

Momin et al.(2002)ตรวจสอบด้วยผลการทดลองของการไหลผ่านรูปครีบบนตัววี ต่อการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าของเครื่องอุ่นอากาศด้วยแสงอาทิตย์ ศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 2500 ถึง 18,000 และพิจารณาที่ค่า e/D อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.034 มุมปะทะ $\alpha=30^\circ-90^\circ$ และ ค่า $p/e=10$ จากผลการทดลองพบว่าค่าสูงสุดอัตราส่วนค่าเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.3 และ 2.83 เท่าของท่อผิวเรียบตามลำดับ และเกิดขึ้นขึ้นที่มุมปะทะ 60° และสรุปว่าครีบบนตัววีให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าครีบบนเอียง

Promvonge and Thiangpon.(2008) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบบนที่มีหน้าที่ตัดรูปทรงต่างๆที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลในช่องทางไหลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานโดยครีบบนที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงและแบบเอียงกันซึ่งประกอบไป

ด้วยครีบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ครีบบรูปสี่เหลี่ยมที่หันไปทางด้านท้ายการไหล และครีบบรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางการไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง (W/H) เท่ากับ 15 ค่า $p/H=2$ และค่า $e/H=0.15$ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 4000-16,000 จากผลการทดลองสรุปได้ว่าที่เงื่อนไขของการไหลเดียวกันการจัดวางครีบบแบบตรงกัน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายสูงกว่าการจัดวางครีบบแบบเอียงกัน และครีบบรูปสี่เหลี่ยมที่หันไปทางด้านท้ายการไหลให้ค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียหายสูงที่สุดในขณะที่ครีบบสามเหลี่ยมวางเอียงกันให้ค่า TEF สูงที่สุด

Thianpong et al.(2009) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านครีบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียหาย ซึ่งเป็นงานพัฒนามาจากงานของ Promvong and Thianpong (2008) โดยครีบบที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเอียงกัน และถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางการไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง(W/H)เท่ากับ 10 ค่า $p/H=1.33$ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 5000-22,000 จากผลการทดลองสรุปว่า ครีบบที่ศึกษาให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์อยู่ในช่วง 1.8-4.0 เท่าของท่อผิวเรียบ แต่การจัดวางครีบบแบบเอียงกันที่ค่า $e/H=0.13$ ให้ค่า TEF สูงที่สุดซึ่งค่าสูงที่สุดของTEF เกิดที่เลขเรย์โนลด์ส 5000 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.34

Lee and Rhee.(2009) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีครีบบหน้าสี่เหลี่ยมจัตุรัสรูปตัววีติดตั้งที่ผิวทำมุมปะทะ 60° แบบครีบบเดี่ยวต่อเนื่องและครีบบรูปตัววีทำมุมปะทะ 45° หลายครีบบวางสลับแถวรูปแบบครีบบ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก(D)เท่ากับ 75, 50, 38.4 ค่าอัตราส่วนบ่งลักษณะเท่ากับ 3, 5, 6.8 ค่า e/D เท่ากับ 0.04, 0.06, 0.078 และค่า $p/e=10$ โดยใช้ naphthalene sublimation สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและแสดงในรูปแบบของเส้นชั้น ผลการทดลองพบว่าครีบบรูปตัววีทำมุมปะทะ 60° แบบครีบบเดี่ยวต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนมากกว่าครีบบรูปตัววีทำมุม 45° แบบหลายครีบบวางสลับแถว และการใช้กำลังงานของปั๊มสำหรับการไหลผ่านครีบบรูปตัววีทำมุมปะทะ 45° แบบหลายครีบบวางสลับแถวจะใช้น้อยกว่าครีบบรูปตัววีทำมุมปะทะการไหล $\alpha=60^\circ$ แบบครีบบเดี่ยวต่อเนื่อง

Promvong et al.(2010) ศึกษาด้วยการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของการไหลผ่านปีกเล็ก (winglets) รูปสามเหลี่ยม 2 คู่ โดยทำมุมปะทะ 30° 45° และ 60° เพื่อสร้างการไหลหมุนวนตามยาวผ่านครีบบสามเหลี่ยมด้านเท่าที่วางตั้งฉากกับทิศทางการไหลในช่องทางการไหล ต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายซึ่งเป็นงานที่พัฒนามาจากงานของ Thianpong et al.(2009)โดยครีบบที่ใช้ศึกษามีการจัดเรียงทั้งแบบตรงกันและแบบเอียงกัน และถูกติดตั้งบนผิวให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบนและด้านล่าง ช่องทางการไหลมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่อง(W/H)เท่ากับ 10 ค่า $p/H=1.33$ และค่า $e/H=0.13$ ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 5000-22,000 จากผลการทดลองสรุปว่า อัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายและเลขนัสเซลท์อยู่ในช่วง 2.2-5.5 และ 2.2-2.6 ตามลำดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมปะทะและเลขเรย์โนลด์ส และการเรียงครีบบแบบสลับร่วมกันกับปีกเล็กที่มีมุมปะทะ 30° ให้ค่า TEF สูงที่สุด

2.3 แนวทางการศึกษาวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งเน้นสนใจศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีการใส่ตัวสร้างการหมุนควง โดยมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ มุมปะทะการไหล ระยะพิตช์ ความสูงครีป ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเอาแนวคิดในการประยุกต์ใช้ตัวสร้างการหมุนควงแบบแผ่นบางพร้อมปีกคู่รูปทรงต่างๆมาสร้างแบบจำลองเพื่อทำการศึกษาเชิงตัวเลข เช่นเดียวกัน โดยการปรับรูปทรง มุมปะทะการไหล ระยะพิตช์ และตำแหน่งการวางครีป ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของของไหล การสูญเสียความดัน และแรงเสียดทานภายในท่อโดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหลภายในท่อกลมด้วยตัวสร้างการหมุนควง ซึ่งเป็นการจำลองเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เพื่อเป็นองค์ความรู้ใหม่ และแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ และออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงและลดต้นทุนในการผลิต และนำไปสู่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถลดปริมาณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสมนำไปสู่การลดการใช้วัสดุ และพื้นที่ทำงาน อีกทั้งยังมีประโยชน์ต่อระบบ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหลาย โดยเฉพาะระบบทำความเย็น ที่จะมีขนาดที่เล็กลง นำไปสู่การลดใช้ปริมาณสารทำความเย็นให้น้อยลง ทำให้ลดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่นำไปสู่ภาวะโลกร้อนลงได้

ดังนั้นจึงเห็นว่างานวิจัยมีผลดีทำให้มีการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมซึ่งเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการพัฒนาเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม องค์ความรู้ที่ได้ก็เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีที่ยั่งยืน

บทที่ 3

สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสมการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยพิจารณาที่ ค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อม, ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหล ภายในท่อกลม และวิเคราะห์ผลลัพธ์รวมถึงปัญหาที่เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมหรือไฟไนท์วอลุ่ม (finite volume) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบัน สามารถนำมาใช้ในการคำนวณการไหลและการถ่ายเทความร้อนในโดเมนที่มีลักษณะซับซ้อนได้และมีความแม่นยำ อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างไม่ยุ่งยากและแสดงผลได้หลากหลาย

3.2 สมมุติฐาน

จากการวิจัยได้ศึกษาโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) โดยมีสมมุติฐานในการศึกษาดังนี้

1. ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ
2. เป็นการไหลแบบปั่นป่วนและของไหลอัดตัวไม่ได้
3. แบบจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
4. เป็นการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วง
5. คุณสมบัติต่างๆ ของของไหลมีค่าคงที่
6. ไม่คำนึงแรงวัตถุและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด
7. ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน
8. ให้ความร้อนแบบพลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังท่อ

3.3 สมการพื้นฐานและแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

การคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการไหล โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ในการคำนวณ เพื่อประมาณผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อนและมีความยุ่งยากในการหาผลเฉลยด้วยวิธีแมนตรง หลักสำคัญในการคำนวณพลศาสตร์ของไหลต้องเกี่ยวข้องกับสมการควบคุม ซึ่งสมการควบคุมพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลได้แก่ สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) สมการดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของของไหลและสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขณะที่เกิดการไหล และสมการควบคุมที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขประมาณผลเฉลยของสมการอนุพันธ์สำหรับระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่นิยมกันทั่วไปคือ ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite Volume) มาช่วยในการหาค่าตอบและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 สมการควบคุม

สำหรับการไหลภายในท่อกลมจะประกอบไปด้วยสมการควบคุมต่างๆ ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่สถานะคงตัว (steady state) ได้ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

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

สมการโมเมนตัม

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

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\Gamma + \Gamma_r) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (3.3)$$

เมื่อ $\Gamma = \mu / Pr$ และ $\Gamma_r = \frac{\mu_r}{Pr_r}$ คือสัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อนทางโมเลกุลและสัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อนปั่นป่วน ตามลำดับ

สมการ (3.1) และ (3.2) เรียกว่าสมการนาเวียร์-สโตคส์จากการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ส (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation, RANS) จะสังเกตได้ว่าสมการที่ได้นี้มีรูปแบบคล้ายคลึงกับสมการนาเวียร์-สโตคส์แบบปกติ เพียงแต่มีเทอมของค่าความเค้นของเรย์โนลด์ส (Reynolds Stress) $\frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u_i u_j})$ เพิ่มเข้ามาในสมการ ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลที่เป็นแบบปั่นป่วนนั่นเอง

เมื่อทำการเฉลี่ยปริมาณใดๆ ในสมการควบคุมตลอดช่วงเวลาช่วงหนึ่งของการไหลและของไหล จะทำให้เกิดตัวแปรขึ้นมาใหม่และส่งผลให้มีจำนวนตัวแปรไม่รู้ค่ามีจำนวนมากกว่าจำนวนสมการที่มีอยู่ ซึ่งก็คือเทอมความเค้นของเรย์โนลด์สที่เพิ่มมานั่นเอง ทำให้ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ต้องการได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยสมการของแบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence Model) เข้ามาช่วยหาคำตอบ เพื่อให้การแก้ปัญหาที่มีความถูกต้องในระดับที่พอเพียงและครอบคลุมปัญหาความปั่นป่วนได้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงแบบจำลองนี้ในหัวข้อต่อไป

3.3.2 แบบจำลองความปั่นป่วน

การหาผลเฉลยสมการความต่อเนื่องและสมการนาเวียร์-สโตคส์จากการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ส (RANS) นั้น จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วนมาช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นของเรย์โนลด์สที่การคำนวณแบบปกติไม่สามารถทำได้ ซึ่งการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนนี้จะช่วยให้ไม่ต้องหาค่าของการกระเพื่อมแต่จะสนใจเฉพาะส่วนของค่าเฉลี่ยเท่านั้น สำหรับการเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับพฤติกรรมกรไหลที่เกิดขึ้นจึงจะสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ และใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด ตัวอย่างแบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบจำลองความปั่นป่วน $k - \epsilon$ มาตรฐาน แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \epsilon$ แบบจำลองความปั่นป่วน $k - \omega$ แบบจำลองความปั่นป่วน The Shear-Stress Transport (SST) $k - \omega$ แบบจำลองความปั่นป่วน Reynolds Stress Model (RSM) เป็นต้น

3.3.2.1 แบบจำลองความปั่นป่วน $k - \epsilon$

แบบจำลองความปั่นป่วนชนิดนี้มี 3 แบบคือ standard, RNG และ Realizable โดยที่แต่ละแบบจะมีสมการเหมือนกัน k ต่างกันตรงสมการ ϵ ซึ่งในแต่ละแบบจะมีการกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ต่างกันไป

สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulent kinetic energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3.4)$$

โดยที่ค่า k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน, ϵ คือ อัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน, G_k คือ ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน โดยค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.5)$$

ซึ่ง $\overline{u_i' u_j'}$ คือ ค่าความเค้นเรย์โนลด์สในแบบจำลองเชิงเส้นนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นของ Boussinesq [3] และค่าความหนืดหมุนวน (eddy viscosity) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\mu_t = c_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.6)$$

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (dissipation rate equation)

แบบจำลองความปั่นป่วน *Standard $k - \epsilon$ model*

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} G_k - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3.7)$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

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

แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \varepsilon$ model

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + (C_{\varepsilon 1} P - C_{\varepsilon 2}^* \rho \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} \quad (3.8)$$

$$C_{\varepsilon 2}^* \equiv C_{\varepsilon 2} + \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)}{1 + \beta \eta^3}$$

$$\eta = Sk / \varepsilon$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้

$$\eta_0 = 4.38, \beta = 0.012, C_{\varepsilon 1} = 1.42, C_{\varepsilon 2} = 1.68 \text{ และ } C_\mu = 0.00845$$

แบบจำลอง Realizable $k - \varepsilon$ เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลอง $k - \varepsilon$ มาตรฐาน โดยมีความแตกต่างจากแบบมาตรฐานคือ แบบจำลอง Realizable $k - \varepsilon$ ได้รวมเอาแบบความหนืดปั่นป่วนและสมการการเคลื่อนย้ายของอัตราการผลิต ε แบบใหม่ ซึ่งได้มาจากสมการผลเฉลยแม่นยำสำหรับการเคลื่อนย้ายของการผันแปรความเร็วเฉลี่ย โดยเหมาะกับการนำมาใช้ในการไหลแบบหมุนวน (swirling flow) ดังเช่นในงานวิจัยนี้ ดังนั้นการนำแบบจำลอง Realizable $k - \varepsilon$ มาใช้วิเคราะห์การไหลในงานวิจัยนี้จึงมีความน่าเชื่อถือกว่าแบบจำลอง $k - \varepsilon$ มาตรฐาน สมการการเคลื่อนย้ายของแบบจำลอง Realizable $k - \varepsilon$ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \quad (3.10)$$

$$\text{เมื่อ } G_k = \mu_t S^2, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = Sk / \varepsilon$$

โดย G_k คือการสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากการเฉือนความเร็วเฉลี่ย, C_1 และ C_2 คือค่าคงที่, σ_k และ σ_ε คือเลขพารามิเตอร์ปั่นป่วนสำหรับ k และ ε ตามลำดับ, S_k และ S_ε คือชอคเทอม

ตัวแปร k ในสมการ (3.9) คือสมการเดียวกันกับแบบจำลอง $k - \varepsilon$ มาตรฐาน ยกเว้นค่าคงที่ แต่ตัวแปร ε ในสมการ (3.10) จะแตกต่างจากแบบจำลองมาตรฐานออกไป เนื่องจากเทอมของการสร้าง ε ของ Realizable นี้ไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างค่า k โดยจะเห็นว่าไม่มีเทอม G_k อยู่ในสมการดังเช่นแบบจำลอง $k - \varepsilon$ อื่นๆ

สำหรับค่าความหนืดปั่นป่วน μ_t สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\mu_t = \rho C_\mu (k^2 / \varepsilon) \quad (3.11)$$

เมื่อ C_μ คือค่าคงที่ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$C_\mu = (A_0 + A_1 k U^* / \varepsilon)^{-1} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$U^* = \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \Omega_{ij}\Omega_{ij}} \quad (3.13)$$

โดย $A_0 = 4.04$ และค่าคงที่ A_s สามารถหาได้จาก

$$A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (3.14)$$

เมื่อ $\phi = (1/3)\cos^{-1} \sqrt{6}W$, $W = S_{ij}S_{jk}S_{ki} / \bar{S}^3$, $\bar{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}$ และ $k_t = \mu_t C_p / 0.85$

ซึ่งค่าคงที่ C_1 , C_2 , σ_k และ σ_ε สำหรับแบบจำลองความปั่นป่วน Realizable $k-\varepsilon$ ถูกกำหนดให้มีค่าดังนี้

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0 \text{ และ } \sigma_\varepsilon = 1.2$$

3.3.2.2 การควบคุมของความดันและความเร็ว

ในการคำนวณเชิงตัวเลขของพลศาสตร์ของไหลจำเป็นต้องมีกระบวนการวิธีต่างๆ เข้ามาช่วยหาค่าของสนามความดัน โดยงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) เข้ามาช่วยในการหาค่าตอบ ซึ่งในกระบวนการวิธีนี้จะเริ่มต้นจากการสุ่มค่าของสนามความดันและทำการหาค่าตอบของสมการโมเมนตัมและสมการค่าแก๊ของสนามความดัน เมื่อได้ค่าดังกล่าวแล้วจึงนำมาปรับปรุงค่าของสนามความดันและสนามความเร็วที่ได้ นำค่าสนามความเร็วและสนามความดันที่ได้ใหม่นั้นป้อนสู่สมการโมเมนตัมและสมการค่าแก๊ของความดันอีกครั้ง และทำซ้ำต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าตอบทั้งหมดลู่เข้าก็จะได้ค่าสนามความดันและสนามความเร็วที่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนย้ายมวลและกฎการอนุรักษ์มวล

กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE นั้น จะเริ่มจากการสุ่มค่าสนามความดัน p^* ตลอดช่วงโดเมนการไหล จากนั้นจึงทำการหาฟลักซ์ที่ผิว J_f^* ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$J_f^* = j_f^* + d_f (P_{c0}^* - P_{c1}^*) \quad (3.15)$$

หากไม่สอดคล้องกับสมการต่อเนื่อง จะดำเนินการแก้ไขโดยการนิยามเทอม J_f' ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าฟลักซ์ที่ผิวที่ถูกต้องกับค่าฟลักซ์ที่สุ่มขึ้น แสดงได้ดังนี้

$$J_f' = J_f^* + J_f' \quad (3.16)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องนั้น กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE จะตั้งสมมติฐานเทอมของ J_f' ดังนี้

$$J_f' = d_f (p_{c0}' - p_{c1}') \quad (3.17)$$

เมื่อ p' คือค่าแก๊ของความดัน

กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE จะแทนค่าจากสมการ (3.31) และ (3.32) ลงในสมการความต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่สมการแปลงรูปของ p' ในเซลล์ย่อย แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$a_p p' = \sum_{nb} a_{nb} p_{nb}' + b \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทอมของแหล่งกำเนิด b คืออัตราการไหลสุทธิเข้าสู่เซลล์ย่อย ดังสมการ

$$b = \sum_f^{N_{faces}} J_f^* A_f \quad (3.19)$$

สมการค่าแก้ของความดัน p' สามารถเขียนได้โดยใช้ระเบียบวิธีการทำซ้ำ และเมื่อได้ค่าของผลเฉลยแล้ว ค่าความดันและฟลักซ์ที่ผิวของเซลล์ที่ถูกต้องคือ

$$p = p^* + \alpha_p p' \quad (3.20)$$

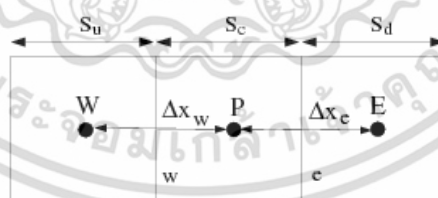
$$J_f = J_f^* + d_f (p_{c0}' - p_{c1}') \quad (3.21)$$

โดยค่า α_p คือตัวประกอบภายใต้ความผ่อนคลาย (under-relaxation) สำหรับความดัน

3.3.2.3 วิธีการประมาณค่าแบบ QUICK

วิธีการประมาณค่า scheme แบบ QUICK (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) ใช้ในการคำนวณหาค่าที่ผิวเซลล์ ϕ_f ซึ่งมีอันดับของความแม่นยำที่สูงขึ้น โดยใช้พื้นฐานของการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของวิธีการประมาณค่าอันดับสอง (Second order upwind) ร่วมกับการประมาณค่าตัวแปรที่ศูนย์กลาง สำหรับผิวเซลล์ e ดังรูปที่ 3.1 หากมีการไหลจากทิศทางซ้ายไปขวา ค่าที่ผิวเซลล์ e สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\phi_e = \theta \left[\frac{S_d}{S_c + S_d} \phi_p + \frac{S_d}{S_c + S_d} \phi_E \right] + (1 - \theta) \left[\frac{S_u + 2S_c}{S_u + S_c} \phi_p - \frac{S_c}{S_u + S_c} \phi_w \right] \quad (3.22)$$



รูปที่ 3.1 ปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ

เมื่อค่า $\theta=1$ สมการที่ (3.22) จะกลายเป็นสมการประมาณค่าในช่วงที่ศูนย์กลางอันดับสอง (central second order interpolation) ในขณะที่ $\theta=0$ จะได้สมการของการประมาณอันดับสอง แต่โดยทั่วไปแล้วการประมาณค่าแบบ QUICK จะกำหนดให้ $\theta=1/8$

3.4 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น

การศึกษากลศาสตร์ของไหลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวัน รวมถึงในทางพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมด้วย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องอำนวยความสะดวก เครื่องมือเครื่องใช้และเครื่องจักรต่างๆ รวมถึงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น จะเห็นได้ชัดว่าล้วนประกอบไปด้วยการใช้งานของไหลแทบทั้งสิ้น เช่นระบบปรับอากาศ ระบบระบายน้ำและอากาศ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เป็นต้น ดังนั้นพื้นฐานความรู้ในวิชากลศาสตร์ของไหลจึงมีความจำเป็นสำหรับการคำนวณการออกแบบและประยุกต์ระบบเพื่อให้มีการนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

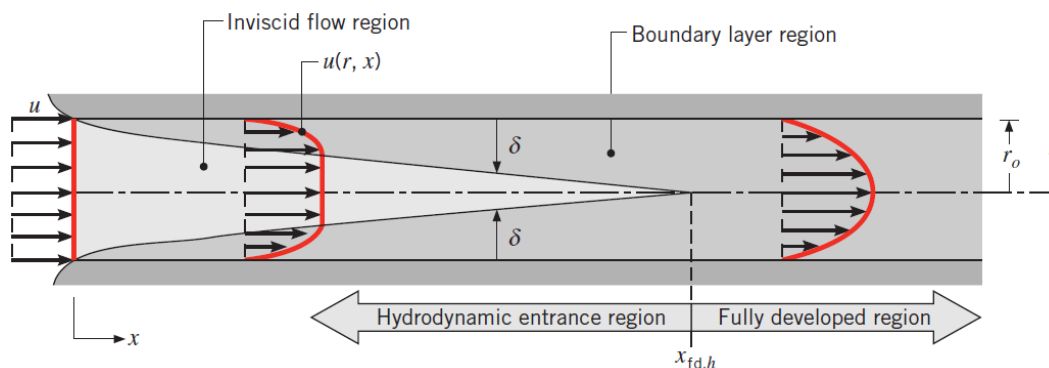
3.4.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึงของเหลวและก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้างแต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ของไหลอัดตัวได้คือของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด เช่น ก๊าซอยู่ในภาชนะปิดสนิทเมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซจะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามถ้าสูญเสียความร้อนความหนาแน่นจะลดลง ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น

- ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวล (m) ของสารนั้นๆ หารด้วยปริมาตร (V)
- ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, v) คือ ปริมาตรของสารนั้นๆ หารด้วยมวล ซึ่งจะมีค่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น
- ความหนืด (Viscosity, μ) คือ คุณสมบัติการต้านการเคลื่อนที่ของของไหล
- น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คือ ความหนาแน่นคูณกับค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) หรือน้ำหนัก (mg) หารด้วยปริมาตร

3.4.2 การไหลแบบราบเรียบหรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) กับ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

พิจารณาการไหลแบบราบเรียบในท่อกลมที่มีรัศมีคือ r_0 ดังรูปที่ 3.2 เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ท่อกลมด้วยความเร็วในรูปแบบที่เหมือนกันตลอดหน้าตัดขวางการไหล จะเกิดความหนืดระหว่างของไหลที่สัมผัสกับผิวของท่อ และขอบเขตของการไหลจะปรับเปลี่ยนไปตามระยะ x ที่เพิ่มขึ้น การปรับเปลี่ยนนี้เกิดขึ้นจากพื้นที่การไหลที่มีความหนืดน้อยลง และรวมเข้ากับเส้นศูนย์กลางในที่สุด ดังรูปที่ 3.2 และจากการรวมเข้ากันกับเส้นศูนย์กลางนี้ทำให้ผลกระทบจากความหนืดและรูปแบบของความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะ x หรือสามารถตัดผลกระทบจากความหนืดทิ้งไปได้



รูปที่ 3.2 ชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลผ่านผิวของวัตถุ [18]

ชั้นขอบเขตของการไหลนี้จะแบ่งออกเป็นชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) กับชั้นขอบเขตของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) การไหลภายในชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบนั้นจะมีเส้นของการไหลอย่างเป็นระเบียบเกิดขึ้น ในการจำแนกการไหลว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สามารถแยกได้โดยใช้ตัวแปรไร้มิติที่เรียกว่า “เลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number, Re)” เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหลโดย

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (3.23)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วในการไหล L คือ ความยาวตลอดช่วงการไหล และ ν คือค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเชิงจลนศาสตร์

เนื่องจากเลขเรย์โนลด์สเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงขับเคลื่อนของการไหลต่อความหนืด ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเลขเรย์โนลด์สมีค่ามากก็สามารถแสดงเป็นเชิงสัมพันธ์ให้เห็นว่าผลกระทบ (Effect) ของค่าความหนืดจะมีค่าน้อย เลขเรย์โนลด์สที่อยู่ในระหว่างเปลี่ยนจากการไหลแบบเป็นชั้นไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนนั้นเรียกว่า “เลขเรย์โนลด์สวิกฤติ (Critical Reynolds, Re_c)”

3.4.3 การไหลในท่อกลม

การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในรูปที่ 3.2 นั้นจะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้า ชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆ พัฒนาเพิ่มขึ้นทีละเล็กทีละน้อยจนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (L_e) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบนและล่าง หลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เรียกว่า การไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed) เลขเรย์โนลด์ส Re สำหรับการไหลภายในท่อนั้นถ้าให้ V เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของพื้นที่ตัดขวางท่อแล้วจะได้

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (3.24)$$

อนึ่งค่า $\rho\nu$ [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] จะเป็นค่าการไหลของมวลสารต่อพื้นที่หน้าตัดในการไหล สำหรับในกรณีของก๊าซนั้น การเพิ่มความร้อนภายในท่อจะทำให้ก๊าซขยายตัวมีความเร็ว V เพิ่มขึ้น ค่า $\rho\nu$ จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่ นอกจากนั้นโดยปกติจะถือว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด μ

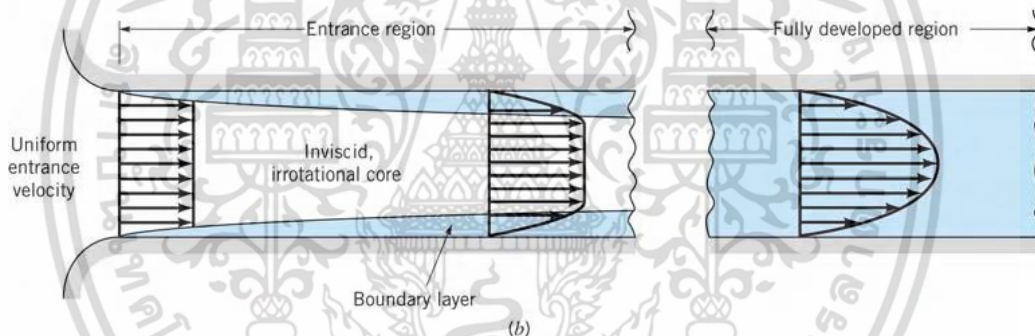
จะไม่เปลี่ยนแปลงไปกับความดันอีกด้วย ส่วนค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ν ซึ่งเท่ากับ μ / ρ ในกรณีของก๊าซจะเป็นค่าที่ผกผันกับความดันซึ่งจะต้องระมัดระวัง

เมื่อ D คือความยาวบ่งบอกลักษณะของช่องทางไหลหรือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) มีนิยามเป็น

$$D = \frac{4A_c}{P} \quad (3.25)$$

เมื่อค่า A_c และ P เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของหน้าตัดตามลำดับ

เลขเรย์โนลด์สวิกฤติ Re_c ของการไหลภายในท่อที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์แล้ว คือค่าเลขเรย์โนลด์สที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่า $Re_c = 2,300$ หรืออยู่ในช่วงระหว่าง $2,000 - 4,000$ โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนในการไหล ความขรุขระภายในท่อที่ไหล หรือรูปทรง และสภาพของทางเข้า ส่วนเลขเรย์โนลด์สที่ต่ำกว่า $2,000$ ไม่ว่าจะท่อจะมีความยาวมากเพียงใด การไหลก็จะไม่เปลี่ยนแปลงไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน จะยังคงรักษาสภาพการไหลแบบเป็นชั้น หรือราบเรียบต่อไป โดยรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นการกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์การกระจายความเร็วจะมีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ



รูปที่ 3.3 การไหลอย่างสมบูรณ์ภายในท่อกลม

โดยทั่วไปสำหรับการไหลในท่อผิวเรียบ เลขเรย์โนลด์สวิกฤติของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นการไหลปั่นป่วน เริ่มต้นจาก $Re_D > 4,000$ และความยาวของช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวเข้าสู่ช่วงสมบูรณ์หาได้จากสมการ

$$\left(\frac{L_e}{D} \right)_{turb} \approx 4.4 Re_D^{1/6} \quad (3.25)$$

3.4.4 ตัวประกอบความเสียดทาน

ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor) ของ Moody หรือ Darcy ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ มีนิยามว่า

$$f_{Darcy} \equiv \frac{(\Delta p / L) D}{\rho u_0^2 / 2} \quad (3.26)$$

เมื่อค่า L คือช่วงความยาวที่วัดค่าความดันตกคร่อม และค่า f_{Darcy} นี้แตกต่างกับค่าตัวประกอบความเสียดทาน f ซึ่งเรียกว่าตัวประกอบความเสียดทานเพนนิ่ง มีสมการดังนี้

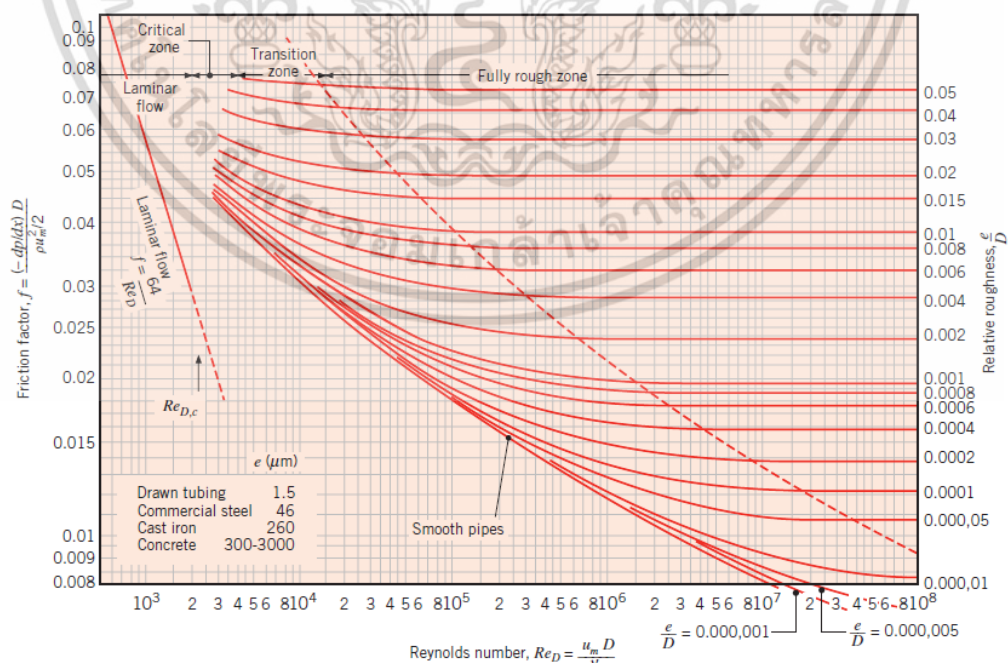
$$f = \frac{f_{Darcy}}{4} \quad (3.27)$$

สหสัมพันธ์สำหรับการไหลผ่านวัสดุพื้นผิวเรียบที่ช่วงของเลขเรย์โนลด์สูงๆ จากการพัฒนาของ Petukhov สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$f = (0.79 \ln Re_D - 1.64)^{-2} \quad (3.28)$$

ในช่วงของเลขเรย์โนลด์ส์ที่ $3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$

และตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์หรือ Moody diagram สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลแบบสมบูรณในท่อกลม [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียความดันที่บริเวณทางเข้าท่อจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและสภาพของท่อทางเข้าโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ส่วนที่ทางออกของท่อจะมีค่าประมาณ 1.0 ส่วนที่ท่อ 90 องศา จะมีค่าประมาณ 0.5 - 0.75 นอกจากนั้นในกรณีที่มีการสูญเสียความดัน Δp เกิดขึ้นในท่อ มักจะเขียนในรูปการสูญเสียพลังงานที่ไม่เกิดประโยชน์ต่อหน่วยของเวลา นั่นคือ $\frac{\Delta E_{loss}}{\Delta t}$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\frac{\Delta E_{loss}}{\Delta t} = \frac{\Delta p \cdot M}{\rho} = \Delta p \cdot Q \quad (3.29)$$

3.5 หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน

3.5.1 วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน

วิธีการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน แบ่งออกได้เป็น

- 1) การนำความร้อน
- 2) การพาความร้อน และ
- 3) การแผ่รังสี

การนำความร้อน หมายถึง กระบวนการที่ความร้อนถ่ายเทโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอะตอมหรือโมเลกุลในของแข็งไปตามลำดับ

การพาความร้อน หมายถึง กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหลในอุปกรณ์ความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยมากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุ มักจะสำคัญกว่า การถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหลเอง ในที่นี้ จึงจะกล่าวถึงการพาความร้อนในลักษณะดังกล่าว การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) และการไหลที่เกิดขึ้นจากปั๊มหรือพัดลม เป็นต้น ซึ่งแบบแรกจะเรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ แบบหลังจะเรียกว่า การพาความร้อนด้วยการบังคับ

การแผ่รังสี วัตถุทุกชนิดจะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาว และความเข้มค่าหนึ่งจากพื้นผิวอยู่ตลอดเวลา โดยความยาวและความเข้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุนั้น การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เรียกว่า การแผ่รังสีความร้อน หากวัตถุอื่นดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ก็จะได้รับพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้เรียกว่า การแผ่รังสี

ปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการคงที่ และกระบวนการไม่คงที่ กระบวนการคงที่หมายถึง ในการถ่ายเทความร้อน การกระจายอุณหภูมิภายในตัววัตถุและปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลา ส่วนในกระบวนการไม่คงที่ ปริมาณเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน

ถ้าของไหลที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอไหลเข้าไปในท่อโดยมีอุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิวแล้ว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและชั้นขีดผิวของความร้อนจะเริ่มก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสภาวะที่ผิวของท่อคงที่โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิว, T_s คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิว, q_s'' คงที่ สภาวะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน(thermally fully developed condition) ก็จะเกิดขึ้น

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ถ้า $Pr > 1$ การพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความเร็วจะขยายตัวเร็วกว่าชั้นขีดผิวเชิงความร้อน และกลับกันถ้า $Pr < 1$ และสำหรับอากาศการพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความเร็วและชั้นขีดผิวเชิงความร้อนจะใกล้เคียงกัน และจากการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเงื่อนไขทั้งสองเกือบจะเป็นอิสระไม่ขึ้นกับ Pr ซึ่งอาจจะประมาณได้ว่า $L_{e,th}/D \approx 10$

3.5.3 สภาวะการพัฒนาย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน

เนื่องจากการพาความร้อนเกิดขึ้นจริงระหว่างผิวและของไหล นั่นคืออุณหภูมิของของไหลต้องเปลี่ยนแปลงตามระยะ x ซึ่งสภาวะการปรับตัวอย่างสมบูรณ์แล้วของอุณหภูมิจะไม่เคยเกิดขึ้นเลย ปรัชญาการนี้จะต้องจัดรูปใหม่ให้อยู่ในรูปไร้มิติของอุณหภูมิ เพื่อให้ได้เงื่อนไขของสภาวะการพัฒนาย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน

เมื่อกำหนดค่าความแตกต่างอุณหภูมิไร้มิติในรูป $(T_s - T)/(T_s - T_m)$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีอยู่จริง อัตราส่วนนี้จะเป็นอิสระกับ x นั่นคือถึงแม้ว่า T ยังคงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x แต่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไร้มิตินี้จะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการไหลแบบนี้เรียกว่าการไหลพัฒนาย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน(thermally fully developed) และจะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right] = 0 \quad (3.30)$$

โดยที่ T คืออุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใดๆ

เงื่อนไขที่กำหนดให้สำหรับสมการ (3.31) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่องทางไหลอาจจะเป็นกรณี q_s'' คงที่หรือ T_s คงที่ได้ เงื่อนไขที่ผิวแบบนี้เกิดขึ้นมากในทางวิศวกรรม เช่น ผนังท่อซึ่งได้รับความร้อนจากไฟฟ้าหรือผิวภายนอกที่ได้รับจากการแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอจะเป็นกรณีของ q_s'' คงที่ ส่วนกรณี T_s คงที่จะเกิดขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนสถานะ (เนื่องจากการเดือดหรือการควบแน่น) เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก

3.5.4 การพาความร้อน

3.5.4.1 หลักการพื้นฐานของการพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนในการอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยมากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุมักจะสำคัญกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหลเอง ในที่นี้ จึงจะกล่าวถึงการพาความร้อนในลักษณะดังกล่าว การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) และการไหลที่เกิดขึ้นจากส่งกำลังเข้าช่วย เช่น บั๊มหรือพัดลม เป็นต้น ซึ่งแบบแรกจะเรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ และแบบหลังจะเรียกว่าการพาความร้อนด้วยการบังคับ

3.5.4.2 ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน

ถ้าของไหลที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอไหลเข้าสู่ในท่อที่มีอุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิวแล้ว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและชั้นขีดผิวของความร้อนจะเริ่มก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสภาวะที่ผิวของท่อคงที่โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิว T_s คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิว q_s'' คงที่ (ในที่นี่จะขอกกล่าวเพียงสภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่) สภาวะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (thermally fully developed condition) ก็เกิดขึ้น

โดยฟลักซ์ความร้อน (q_s'') ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ หาได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \quad (3.31)$$

โดยที่ T_s คืออุณหภูมิพื้นผิว

T_m คืออุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัดของช่องทางไหล

ฟลักซ์ความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แตกต่างรวมทั้งหมดยกเว้นกับของไหล ซึ่ง h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาบางครั้งเรียกว่าการนำผ่านฟิล์ม เพราะความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการนำความร้อนในชั้นบางๆ ของของไหลที่บริเวณผิวของผนัง ค่า T_m จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางกรไหลนั่นคือ dT_m/dx จะไม่เป็นศูนย์ ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ค่าของ T_m จะเพิ่มขึ้นไปตามระยะทางการไหล x ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนจากผิวสู่ของไหล

3.5.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การพาความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ ประเภทของของไหล รวมทั้งโครงสร้างของชั้นผิวสัมผัส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในรูปของฟังก์ชันของปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในการพาความร้อนด้วยการบังคับ โดยปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h [$W/(m^2 \cdot K)$] ความเร็วของกระแสหลัก u , [m/s] ความยาวที่เป็นตัวแทนของวัตถุหรือระยะทาง D [m] (ตัวอย่าง เช่น ในกรณีของการไหลในท่อ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน หรือ ในกรณีของการไหลบนแผ่นวัตถุ ได้แก่ ระยะทางจากขอบแผ่นวัตถุ เป็นต้น) สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล μ [$Pa \cdot s$] ความหนาแน่น ρ [kg/m^3] ความร้อนจำเพาะ C_p [$J/(kg \cdot K)$] สัมประสิทธิ์การนำความร้อน k [$W/(m \cdot K)$] ซึ่งจากการทำ Dimensional analysis พบว่าปรากฏการณ์การพาความร้อนด้วยการบังคับสามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันของปริมาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{hD}{k}\right) = f\left\{\left(\frac{u_i D}{\mu/\rho}\right), \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)\right\} \quad (3.32)$$

พจน์ทั้ง 3 ในสมการข้างต้นเป็นปริมาณไม่มีหน่วยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณทางฟิสิกส์หลายตัว มีชื่อเรียกว่า Nusselt number (Nu), Reynolds number (Re) และ Prandtl number (Pr) ตามลำดับ

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (3.33)$$

$$\text{Re} = \frac{u_i D}{\mu / \rho} = \frac{u_i \mu}{\nu} \quad (3.34)$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{u / \rho}{k / (C_p \mu)} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (3.35)$$

ในที่นี้ ν เป็นสัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ ($\nu = \mu / \rho$) และ α เป็น Thermal diffusivity ($\alpha = k / (C_p \mu)$) ดังนั้น สมการที่ 3.36 จึงเขียนได้ว่า

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}) \quad (3.36)$$

กล่าวคือ Nu สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันของ Re กับ Pr

3.5.4.4 ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนหรือค่าสมรรถนะเชิงความร้อน(TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นที่ผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกันซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้รับสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{TEF} = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0} \bigg|_{pp} = \left(\frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (3.37)$$

$$\text{TEF} = \left(\frac{\text{Nu} / \text{Nu}_0}{(f / f_0)^{1/3}} \right) \quad (3.38)$$

เมื่อ Nu คือ ค่าเลขนัสเซิลท์จากการถ่ายเทความร้อนที่ได้

Nu_0 คือ ค่าเลขนัสเซิลท์จากท่อเปล่าผิวเรียบ

f คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้

f_0 คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานจากท่อเปล่าผิวเรียบ

3.6 การคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่มีการพัฒนาอย่างสมบูรณ์นี้ การลดจำนวนกริดเซลล์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อลดภาระงานให้น้อยลงในขณะที่ผลการจำลองยังมีความแม่นยำ จะใช้วิธีการคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง (periodic flow) มาช่วย ซึ่งการวิเคราะห์การไหลลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อรูปทรงที่ใช้เป็นทรงเรขาคณิต โดยรูปแบบที่ต้องการหาค่าผลเฉลยของการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยธรรมชาติแล้วจะมีการซ้ำเป็นช่วงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการไหลแบบซ้ำเป็นช่วงนี้สามารถแบ่งได้เป็นการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็วและการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 การไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็ว

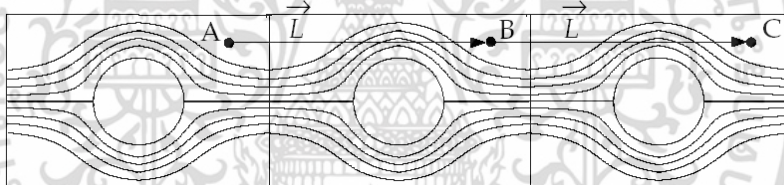
การไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็วเป็นลักษณะการไหลเมื่อมีค่าความดันตกคร่อมเกิดขึ้นข้ามขอบเขตการไหลตามแนวทิศทางการไหลและเกิดขึ้นกับการไหลที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์แล้ว ลักษณะการไหลเช่นนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตที่ซ้ำกันต่อกันไปตามแนวทิศทางการไหลและเกิดขึ้นซ้ำกันเป็นวงรอบเรื่อยไป สภาวะการไหลที่ช้าเป็นช่วงนี้เกิดขึ้นหลังจากมีช่วงของความยาวขาเข้าที่เพียงพอ โดยขึ้นอยู่กับเลขเรย์โนลด์ส์ของการไหลและรูปร่างทางเรขาคณิตของช่องทางไหล

3.6.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลช้าเป็นช่วง

สภาวะของการไหลช้าเป็นช่วงเกิดขึ้นดังกล่าวนั้น เมื่อรูปแบบการไหลเกิดขึ้นซ้ำกันในช่วงการไหล L โดยมีค่าความดันตกคร่อมคงที่ในช่วงโมดูลนั้นๆ ตามแนวทิศทางการไหล นิยามของการไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็วถูกกำหนดโดยค่าของความเร็วย่อยนั้นจะซ้ำกันโดยตัวมันเอง ดังสมการ

$$u_i(\vec{r}) = u_i(\vec{r} + \vec{L}) = u_i(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.39)$$

เมื่อ \vec{r} คือเวกเตอร์บอกตำแหน่ง และค่า \vec{L} คือเวกเตอร์ของความยาวที่ช้าเป็นช่วงของขอบเขตการไหลที่พิจารณา แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปทรงเรขาคณิตที่ช้าเป็นช่วง

จากรูปสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\begin{aligned} u_A &= u_B = u_C & \tilde{p}_A &= \tilde{p}_B = \tilde{p}_C \\ v_A &= v_B = v_C & p_B - p_A &= p_C - p_B \end{aligned}$$

3.6.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลช้าเป็นช่วง

สำหรับการไหลแบบมีความหนืดร่วมด้วยนั้น ค่าของความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจะไม่ช้าเป็นช่วงตามนิยามของความเร็ว แต่ค่าของความดันตกคร่อมช่วงของการไหลหรือโมดูลนั้นๆ จะยังคงมีค่าเท่ากัน สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta p = p(\vec{r}) - p(\vec{r} + \vec{L}) = p(\vec{r} + \vec{L}) - p(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots \quad (3.40)$$

ค่าเกรเดียนต์ของความดันเฉพาะที่สามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนของเกรเดียนต์ที่ซ้ำเป็นช่วง, $\nabla \tilde{p}(\vec{r})$ และส่วนของเกรเดียนต์ของการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้น, $\beta \frac{\vec{L}}{|\vec{L}|}$ โดยแสดงได้ดังสมการ

$$\nabla p(\vec{r}) = \beta \frac{\vec{L}}{|\vec{L}|} + \nabla \tilde{p}(\vec{r}) \quad (3.41)$$

เมื่อค่า $\tilde{p}(\vec{r})$ คือความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วง (periodic pressure) และค่า $\beta|\vec{r}|$ คือส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน โดยที่ค่าความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วงคือผลต่างของความดันทางด้านเข้ากับความดันที่ด้านทางออกที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น และส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดันเป็นผลของแรงที่กระทำต่อของไหลในสมการโมเมนตัม ซึ่งค่า β นั้นจะเป็นค่าที่ไม่ทราบมาก่อนและจะหาค่าได้จากการคำนวณซ้ำจนกระทั่งการไหลมีค่าของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้น

3.6.2 การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อน

การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อนตามแนวทิศทางการไหลนั้น สามารถเกิดขึ้นได้สำหรับกรณีที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนให้คงที่ที่ผนัง ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างขอบเขตที่ซ้ำเป็นช่วงจะมีค่าคงที่ และมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มของความร้อนสุทธิจากขอบเขตของผนัง

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นซ้ำกันเป็นช่วง สนามอุณหภูมิจะมีความคล้ายคลึงกับสนามของความดันในกรณีของการไหลเป็นช่วงเชิงความเร็ว โดยมีสมการดังนี้

$$\frac{T(\vec{r} + \vec{L}) - T(\vec{r})}{L} = \frac{T(\vec{r} + 2\vec{L}) - T(\vec{r} + \vec{L})}{L} = \sigma \quad (3.42)$$

เมื่อค่า σ คือเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเขียนได้ในเทอมของการเพิ่มความร้อนทั้งหมดภายในโดเมน, Q ดังสมการ

$$\sigma = \frac{Q}{mc_p L} = \frac{T_{\text{bulk,exit}} - T_{\text{bulk,inlet}}}{L} \quad (3.43)$$

เมื่อค่า m คืออัตราการไหลเชิงมวลที่กำหนดให้

และค่า T_{bulk} มีนิยามโดย

$$T_{\text{bulk}} = \frac{\int_A T |\rho \vec{u} \cdot d\vec{A}|}{\int_A |\rho \vec{u} \cdot d\vec{A}|} \quad (3.44)$$

เมื่อ T_{bulk} อินทิเกรตตลอดพื้นที่หน้าตัดของโดเมนการไหลที่ซ้ำเป็นช่วง, A

บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขและพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่ใส่ตัวสร้างการไหลหมุนควง สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นที่ 1 เป็นขั้นตอนการออกแบบท่อที่มีการใส่ตัวสร้างการหมุนควง ขั้นที่ 2 จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นขั้นตอนดำเนินการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนและทำการบันทึกข้อมูล

4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และพฤติกรรมการไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งงานวิจัยเป็นการศึกษาเชิงตัวเลขจึงมีการกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆ และกำหนดตัวแปรหลักๆที่ใช้ในการศึกษาดังต่อไปนี้ คือ อัตราส่วนความสูงปีกคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (BR) อัตราส่วนความยาวปีกสี่เหลี่ยมคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (L/D) อัตราส่วนระยะพิตช์ (PR) และมุมปะทะการไหล (α)

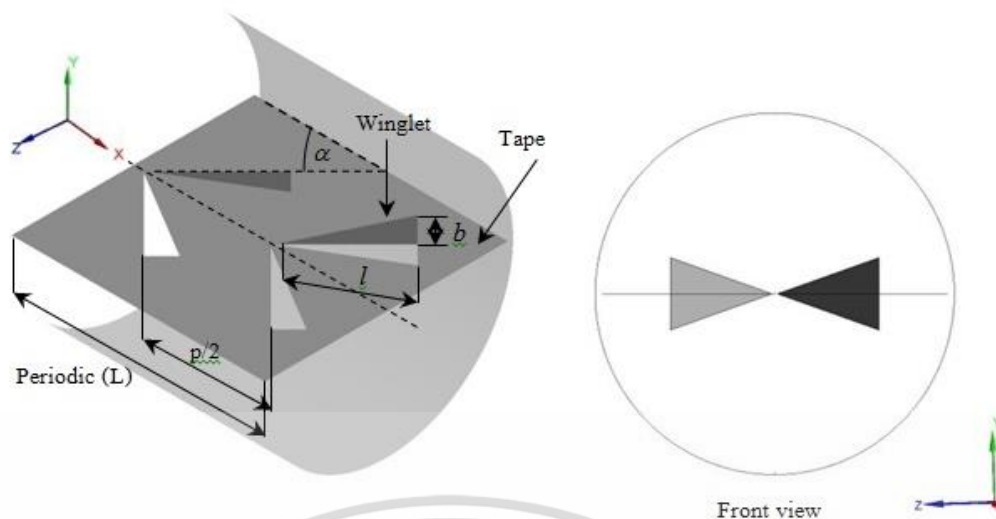
ค่าตัวแปรหลักที่กำหนดในการศึกษาครั้งนี้

1. อัตราส่วนความสูงของปีกคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ $BR = 0.1$
2. อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ $(L/D) = 0.4$
3. อัตราส่วนพิตช์ (PR) = 1.0, 1.5 และ 2.0
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.
5. มุมปะทะการไหล (α) = 20, 30 และ 45

4.2 รูปร่างของปีกคู่ที่ทำการศึกษา

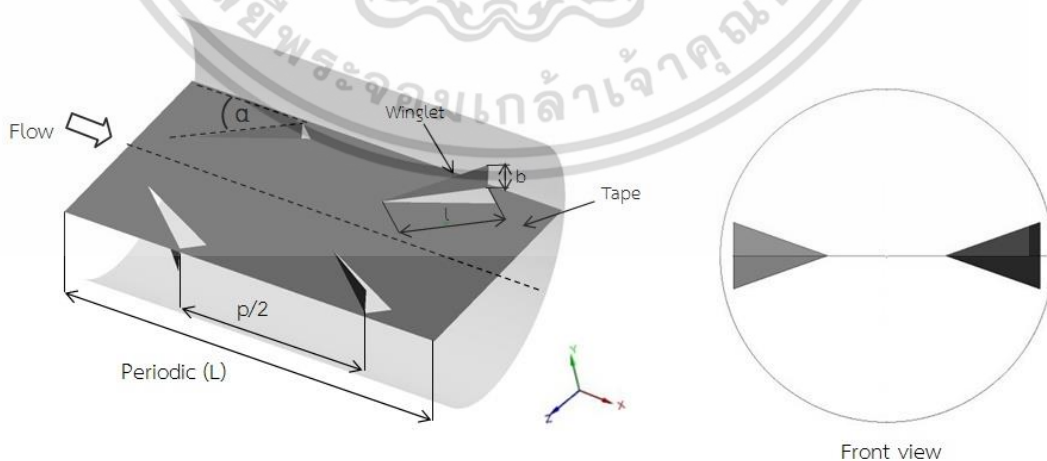
4.2.1 ปีกสามเหลี่ยมคู่ (Delta Winglet Pair)

การศึกษาครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษารูปแบบท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ คือ แผ่นบางที่มีการเจาะเป็นรูปสามเหลี่ยมตามค่าตัวแปรหลักที่กำหนดไว้แล้วทำการพับขึ้นเป็นปีกสามเหลี่ยมคู่ทำมุม 90° และเริ่มศึกษาที่ตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมคู่หรือตัวสร้างการหมุนควงที่ตำแหน่งกลางท่อซึ่งปีกสามเหลี่ยมคู่จะห่างจากผนังท่อด้านในแต่จะชิดกันบริเวณกลางท่อ ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ตำแหน่งจัดวางบริเวณกลางท่อ

หลังจากที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ ที่ตำแหน่งการจัดวางบริเวณกลางท่อพบว่าการใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางบริเวณกลางท่อสามารถเหนี่ยวนำให้ของไหลเกิดการไหลแบบหมุนควง จึงส่งผลให้เกิดการผสมผสานกันระหว่างของไหลเย็นตรงกลางท่อกับของไหลร้อนบริเวณกลางท่อมากที่จะเกิดบริเวณผนังท่อแต่เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบท่อที่ใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางบริเวณกลางท่อยังให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ภายในท่อจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ยังถือว่าได้ผลไม่ดึ้นัก จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการปรับตำแหน่งการจัดวางปีกเพื่อให้เกิดการหมุนควงช่วยให้เกิดการระบายความร้อนที่ผิวท่อต่อไป โดยทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมคู่จากเดิมวางที่บริเวณกลางท่อ ต่อมาทำการจัดวางชิดผนังท่อ ซึ่งคาดหวังว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ลักษณะของแผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมที่ใส่ภายในท่อกลมผิวเรียบโดยตำแหน่งการจัดวางชิดผนังท่อ แสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 4.2

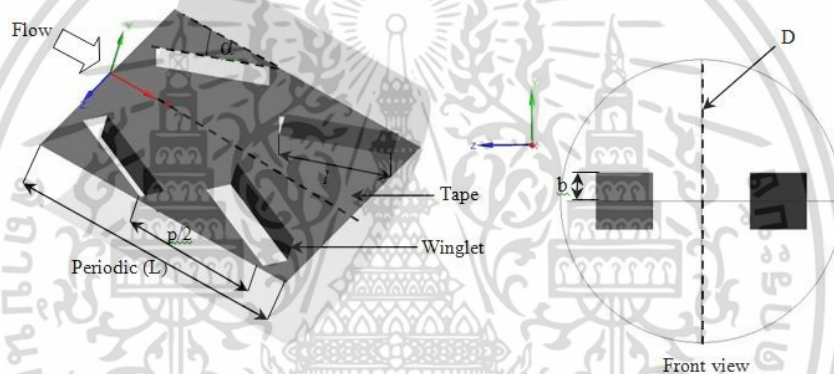


รูปที่ 4.2 ลักษณะของรูปแบบปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ตำแหน่งจัดวางชิดบริเวณผนังท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ปีกสี่เหลี่ยมคู่ (Rectangular Winglet Pair)

หลังจากที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่พบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสามเหลี่ยมทำให้เกิดการไหลหมุนควงสามารถเหนี่ยวนำให้ของไหลเกิดการไหลแบบหมุนควง จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลบริเวณตรงกลางท่อกับบริเวณผนังท่อมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ แต่อย่างไรก็ตามการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ภายในท่อจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ยังถือว่าได้ผลไม่ดึ้นัก จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการปรับปรุงรูปทรงของปีกของแผ่นบางเป็นรูปทรงอื่นๆต่อไป โดยทำการปรับเปลี่ยนจากปีกสามเหลี่ยมคู่ไปเป็นปีกสี่เหลี่ยมคู่ ซึ่งคาดหวังว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นและค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนรูปร่างจะมีค่าลดลง ลักษณะของแผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหน้าในท่อกลมผิวเรียบจะสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก

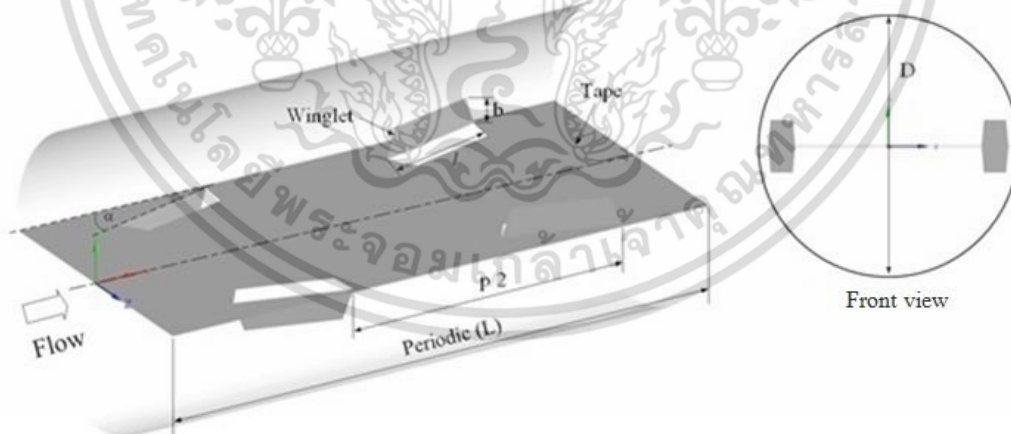
หลังจากที่ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก พบว่าให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนดีกว่าการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ทั้งสองแบบ ซึ่งได้รับอิทธิพลของรูปร่างปีกที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดการหมุนควงเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยม จะทำให้กระแสเกิดการหมุนควงและเกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลเป็นบริเวณตรงกลางท่อกับอากาศร้อนบริเวณผนังท่อส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงกว่าเมื่อเทียบกับแบบปีกสามเหลี่ยมคู่และท่อเปล่าผิวเรียบ แต่อย่างไรก็ตามการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ภายในท่อจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้ยังถือว่าได้ผลไม่ดึ้นัก จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องเปิดจากเดิมที่ทำการเปิดด้านหน้า ต่อมาก็จะทำการเปิดด้านหลัง ซึ่งคาดหวังว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการปรับเปลี่ยนรูปร่างจะมีค่าลดลง ลักษณะของแผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหลังในท่อกลมผิวเรียบจะสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหลังปีก

ต่อมาได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก จากการศึกษาพบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมสามารถเหนี่ยวนำให้ของไหลเกิดการไหลแบบหมุนควงที่มีความรุนแรงมากกว่ารูปแบบที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ แต่อย่างไรก็ตามค่าตัวประกอบเสียดทานก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงสมรรถนะเชิงความร้อนจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของปีก จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการปรับปรุงรูปร่างของปีกของแผ่นบางเป็นรูปร่างอื่นๆต่อไป โดยทำการปรับเปลี่ยนจากปีกสี่เหลี่ยม ไปเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมู, สี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ ซึ่งคาดหวังว่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จะมีค่าลดลง ลักษณะของแผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูในท่อกลมผิวเรียบแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5

4.2.3 ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ (Trapezoidal Winglet Pairs)



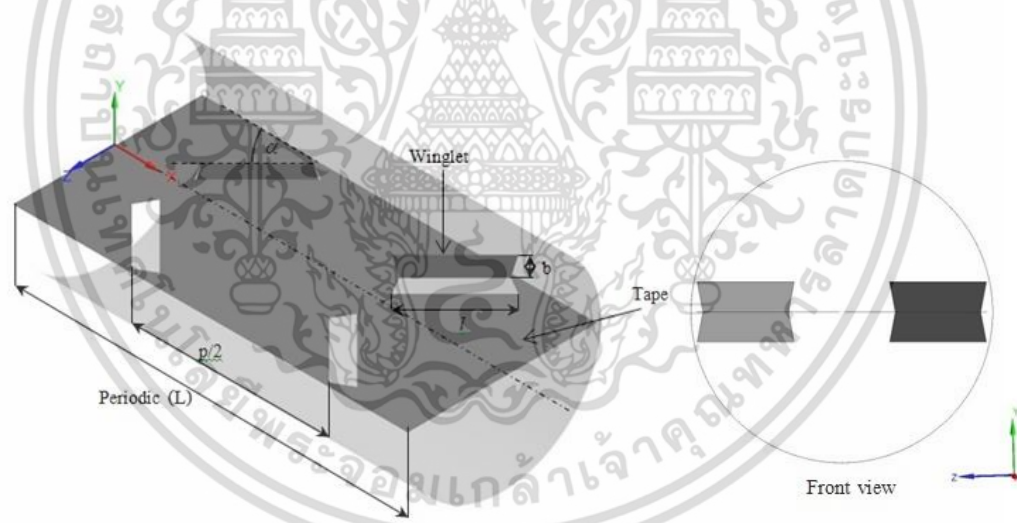
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

รูปที่ 4.5 แสดงการปรับปรุงรูปร่างของปีกสี่เหลี่ยมคู่มาเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อม โดยที่กำหนดพารามิเตอร์เดียวกับปีกสี่เหลี่ยมคู่เมื่อปรับเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูพื้นที่ผิวสัมผัสของปีกลดน้อยลง เมื่อได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่พบว่า การใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ ทำให้เกิดการไหลหมุนควงภายในท่อ จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างของไหลเย็นบริเวณตรงกลาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อกับอากาศร้อนบริเวณผนังท่อได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ และพบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้มีค่าลดลงจากที่รูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคู้ แต่ในขณะเดียวกันค่าการถ่ายเทความร้อนก็ลดลงตามไปด้วยซึ่งเมื่อเทียบกับปีกสี่เหลี่ยมคู้ ยังคงส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนยังไม่ดีพอ จึงมีแนวคิดที่จะปรับเปลี่ยนรูปแบบของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู้ไปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยกำหนดความยาวที่ฐานของปีกเท่ากัน เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงจะช่วยส่งผลให้ได้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงขึ้น

4.2.4 ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ (Trapezoidal turn upside down Winglet)

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการปรับปรุงรูปทรงของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูมาเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อม โดยที่กำหนดพารามิเตอร์เดียวกับปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู้ เมื่อปรับเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ และทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำพบว่า การใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ ทำให้เกิดการไหลหมุนควงภายในท่อที่รุนแรงกว่าปีกคู้รูปแบบอื่นๆ จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลบริเวณตรงกลางท่อกับบริเวณผนังท่อได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับปีกรูปแบบอื่นๆ และท่อเปล่าผิวเรียบ และพบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้มีค่าสูงกว่ารูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคู้และปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู้ แต่ในขณะเดียวกันค่าเลขนัสเซิลท์ก็สูงตามไปด้วยซึ่งเมื่อเทียบกับปีกคู้รูปแบบอื่น พบว่าปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำมีรูปร่างปีกที่เหมาะสมส่งผลให้ได้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงที่สุดในงานวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือเลขเรย์โนลด์ส (Re) ตัวประกอบเสียดทาน (f) เลขนัสเซลท์ (Nu) และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ที่อยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละสมการมีดังนี้

ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์สนิยามโดย

$$Re = \rho \bar{u} D / \mu \quad (4.1)$$

ตัวประกอบความเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาว Periodic ของท่อกลม, L

$$f = \frac{(\Delta p) D}{\frac{1}{2} \rho L \bar{u}^2} \quad (4.2)$$

การถ่ายเทความร้อนคำนวณหาจากค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะที่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \quad (4.3)$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x \partial A \quad (4.4)$$

สมรรถนะเชิงความร้อน TEF

$$TEF = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (4.5)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานของท่อเปล่าผิวเรียบ ตามลำดับ

4.4 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ

เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณเชิงตัวเลขพิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ Periodic-Translation ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ กำหนดอุณหภูมิของอากาศเข้าที่ 300K คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า กำหนดให้ค่าเลขพรานด์ (Prandtl number, Pr) มีค่าคงที่เท่ากับ 0.707 และของไหลไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ กำหนดให้เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังมีความเร็วเท่ากับศูนย์ (no slip condition) และเป็นผนังที่อยู่กับที่ไม่มีกระแสไหลที่ผนังท่อ (stationary wall) กำหนดให้ค่าฟลักซ์ความร้อนของแผ่นบางพร้อมปีกคู่มี่ค่าเท่ากับศูนย์หรือเป็นฉนวน กำหนดให้ผนังของท่อกลมมีค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2

4.5 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลมที่ใส่ตัวสร้างการหมุนควงรูปแบบต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น การตรวจสอบหาจำนวนกริดที่เหมาะสมกับการศึกษาในครั้งนี้โดยมีอากาศเป็นของไหลทดสอบ โดยใส่ตัวสร้างการหมุนควงภายในท่อกลมแบบขวางแนวการไหล กำหนดให้พิจารณาการไหลแบบเป็นคาบ (periodic) โดยคำนวณการไหลในช่วงพัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วง มีขอบเขตการไหลเป็นแบบสมมาตร (symmetry planes) ลักษณะการสร้างรูปแบบกริดและขอบเขตการไหลในงานวิจัยนี้ได้แสดงดังรูปที่ 4.7



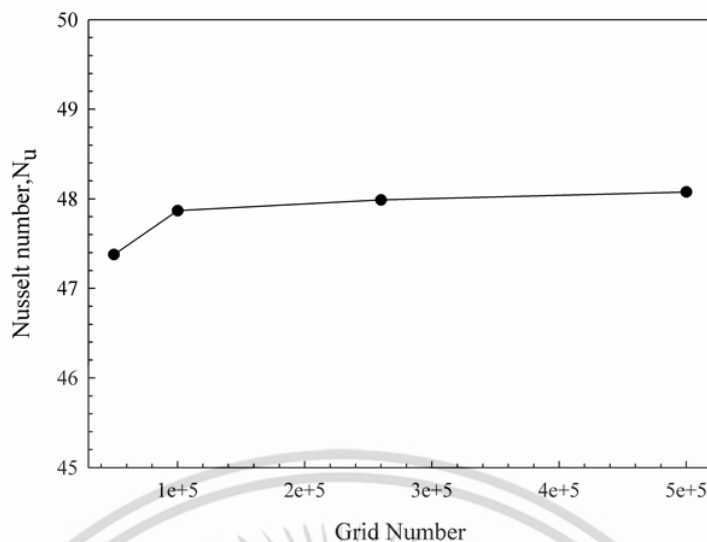
รูปที่ 4.7 ลักษณะกริดและขอบเขตการไหลของท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่

โดยโดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยเป็นเอลิเมนต์รูปทรงหกเหลี่ยม ได้ใช้การแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) ซึ่งพิจารณาบริเวณที่ใกล้ผนังให้มีจำนวนกริดที่หนาแน่นโดยเพิ่มกริดเซลล์เป็นชั้น Layer และบริเวณที่ห่างออกไปจากผนังก็มีจำนวนกริดที่เบาบางลง ซึ่งการหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนกริดที่แตกต่างกัน คือที่ 50,000 100,000 250,000 และ 500,000 พบว่าช่วงจำนวนกริดจาก 250,000 เซลล์เพิ่มขึ้นเป็น 500,000 เซลล์ค่าเลขชี้สเกลต์และค่าตัวประกอบเสียดทานเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า $\pm 1\%$ ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดที่ 250,000 เซลล์ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 4.1 จำนวนของกริดที่ใช้ในการทดสอบ

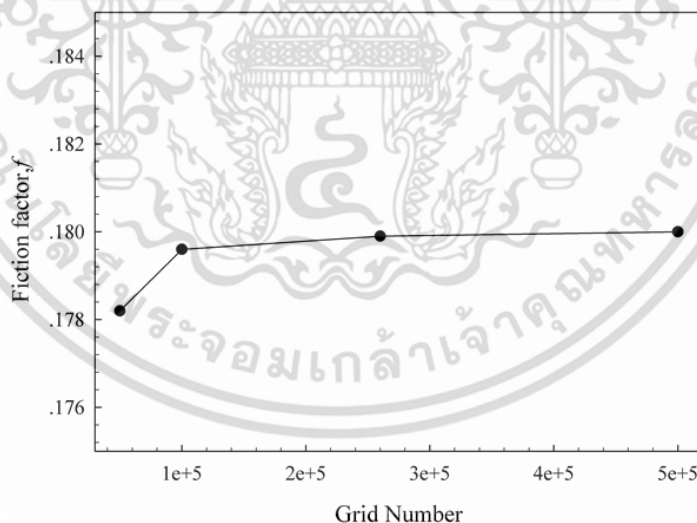
Grid number	50,000	100,000	250,000	500,000
Nu	47.3776	47.8687	47.9888	48.0776
f	0.1782	0.1795	0.1799	0.1801

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า Nu ที่ $Re=3000$

จากรูปที่ 4.8 ซึ่งให้เห็นว่าการสร้างกริดจำนวน 50,000 ให้ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ที่ต่างจากกริดที่จำนวน 100,000 เซลล์ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนถึง $\pm 1.03\%$ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนกริดขึ้นเป็น 250,000 และเมื่อเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์ที่จำนวนกริด 100,000 กับ 250,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 0.25\%$ ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ และทำการเปรียบเทียบจำนวนกริดออกไปที่จำนวน 500,000 กริดเพื่อให้แน่ใจว่าผลจากจำนวนกริดจะไม่เกิดความแปรปรวนขึ้นอีก



รูปที่ 4.9 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า f ที่ $Re=3000$

จากรูปที่ 4.9 ซึ่งให้เห็นว่าการจำนวนกริดที่ 50,000 ให้ค่า f ที่ต่างจากจำนวนกริดที่ 100,000 ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่ $\pm 0.75\%$ แต่ในเทอมของ Nu นั้นจำนวนกริดในช่วงนี้มีค่าคลาดเคลื่อนสูงดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มกริดเป็น 250,000 และเมื่อเปรียบเทียบค่า f ที่จำนวนกริด 100,000 กับ 250,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 0.18\%$ และทำการเปรียบเทียบจำนวนกริดออกไปที่จำนวน 500,000 กริดเพื่อให้แน่ใจว่าผลจากจำนวนกริดจะไม่เกิดความแปรปรวนขึ้นอีกเมื่อพิจารณาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบจำนวนกริดจากทั้งค่า Nu และ f แล้วจึงได้เลือกใช้จำนวนกริดอยู่ในช่วง 250,000 ในการศึกษาเนื่องจากการทดสอบจำนวนกริดอยู่ในค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนกริดที่มากไปกว่านี้เพื่อลดภาระการคำนวณให้น้อยลงจากการเลือกใช้จำนวนกริดที่เหมาะสม

4.6 วิธีการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่มีการทดสอบการใส่ตัวสร้างการไหลหมุนวนในท่อกลมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
2. สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้
3. ทำการทดสอบแบบจำลองเพื่อหาจำนวนกริดที่เหมาะสมที่ใช้ในการศึกษา
4. สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและปรับปรุงรูปแบบของปีก เพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน โดยทดสอบที่เลขเรย์โนลด์ส 3,000 ถึง 16,000 เพื่อหารูปทรงการปรับปรุงปีกคู่ที่เหมาะสม
5. เลือกรูปทรงของปีกคู่ที่เหมาะสมและปรับอัตราส่วนพิทช์ อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ มุมปะทะ เป็นต้น และทดสอบที่เลขเรย์โนลด์ส 3,000 ถึง 16,000 เพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน
6. บันทึกข้อมูลค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้จากการทดลองในแต่ละกรณี
7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อเปรียบเทียบผลของรูปทรงของปีกคู่แต่ละแบบ จากการศึกษาครั้งนี้ โดยวิเคราะห์จากค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซิลท์ ค่าความดันตกคร่อมซึ่งอยู่ในรูปของตัวประกอบเสียดทาน และค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการอภิปราย

จากผลงานวิจัยในอดีตที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 เมื่อมีการใส่ตัวสร้างการหมุนควงภายในท่อ แลกเปลี่ยนความร้อน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูง และส่วนใหญ่ศึกษาอิทธิพลของครีบอกหรือแผ่นกั้น ที่ติดตั้งบนผนังท่อเท่านั้น ดังนั้นในบทนี้กล่าวถึงผลที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขโดยผลของการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) และการวิเคราะห์ผลของการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของค่าตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) ซึ่งจะพิจารณาในส่วน อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส อิทธิพลของความสูงปีก (อัตราส่วนการบล็อกการไหล) อิทธิพลของการจัดวาง อิทธิพลของรูปร่างปีกรูปแบบต่างๆ โดยแสดงผลจากการศึกษาด้วยรูปภาพซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลที่ส่งผลต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม เช่น การแสดงเส้นกระแสการไหล 2 มิติ 3 มิติ คอนทัวร์หรือการกระจายอุณหภูมิ และคอนทัวร์การกระจายเลขนัสเซลท์ และแสดงผลจากการศึกษาด้วยกราฟ เช่น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ซึ่งการแสดงผลในลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้สามารถอธิบายถึงค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่เพื่อสร้างการไหลหมุนควง

5.1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข

ก่อนทำการศึกษาเชิงตัวเลขของแบบจำลองท่อที่ใส่อุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อน ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อให้แน่ใจว่าผลการจำลองที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเลือกเปรียบเทียบผลของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ได้กับงานวิจัยในอดีตของ Chokphoemphun โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือใช้แผ่นบางวางขวางการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ค่า $BR=0.1$ ที่มุมปะทะการไหล (α)= 45° เปรียบเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ ในรูปแบบต่างๆ

5.1.1 เลขนัสเซลท์

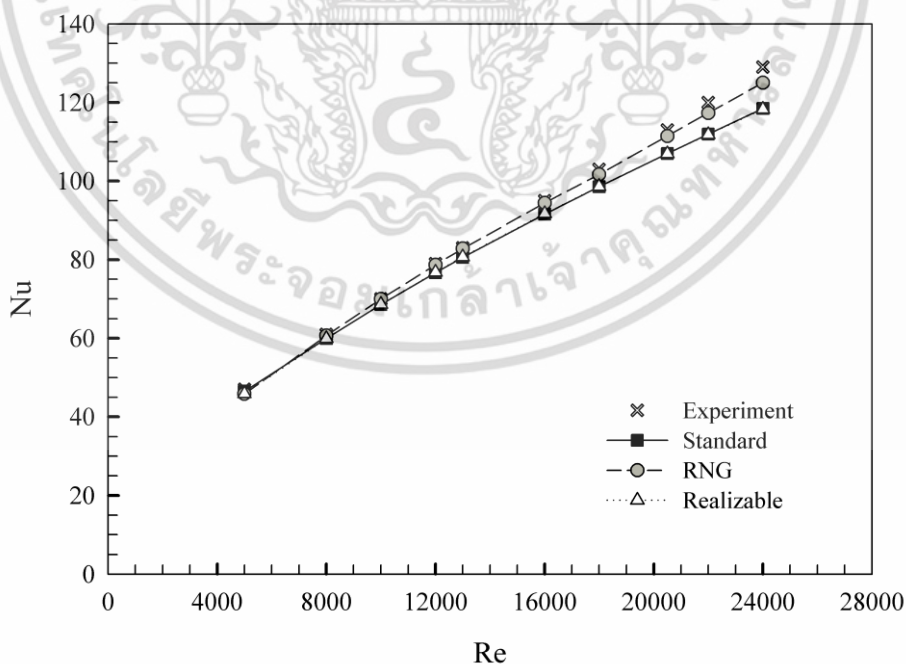
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อที่ใส่อุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบปีกสี่เหลี่ยมที่อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ $BR=0.1$ ที่มุมปะทะ $\alpha=45^\circ$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาเชิงตัวเลขกับผลการทดลอง พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขค่าที่ได้มีความใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองของ Chokphoemphun และเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าค่าเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส $Re=4,000 - 25,000$ โดยแบบจำลองปั่นป่วน RNG $k-\epsilon$ ให้ผลของเลขนัสเซลท์ใกล้เคียงกับผลทดลองของ Chokphoemphun มากที่สุดเมื่อเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองปั่นป่วนอื่นๆ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเลขนัสเซิลท์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3.10\%$ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

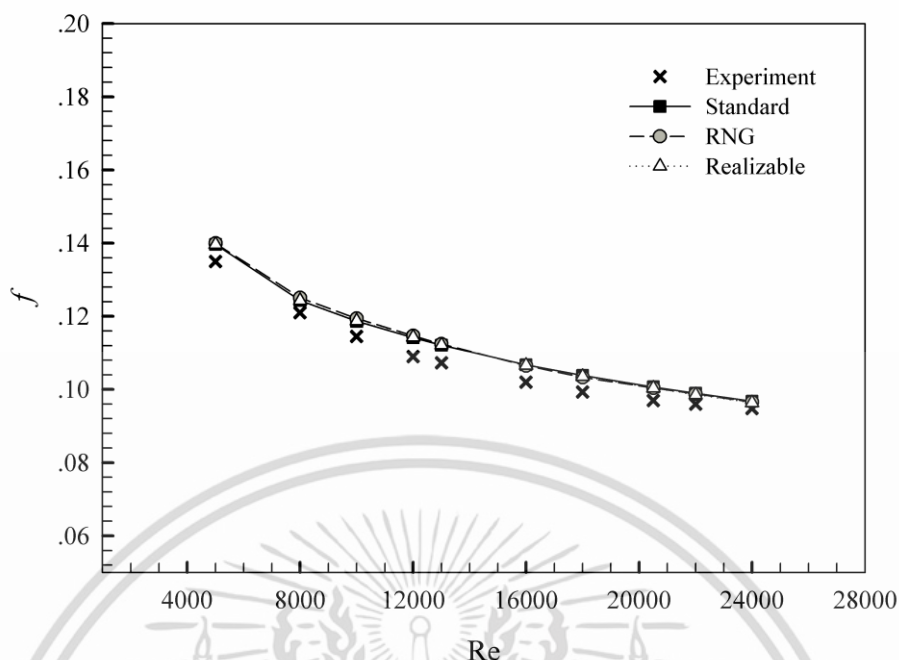
จากรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อที่ใส่อุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบปีกสี่เหลี่ยมที่อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่ $BR=0.1$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาเชิงตัวเลขกับผลการทดลอง พบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขค่าที่ได้มีความใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองของ Chokphoemphun และจะเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น ซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส $Re=4000 - 25,000$ โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k - \epsilon$ model ให้ผลของค่าเลขนัสเซิลท์ใกล้เคียงกับผลทดลองของ Chokphoemphun มากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองปั่นป่วนอื่นๆ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.86\%$ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังนั้นแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้จึงเหมาะสมกับการนำไปทดลองต่อไป

ผลการศึกษาเชิงตัวเลขของแบบจำลองท่อที่ใส่อุปกรณ์เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เทียบกับผลการทดลองของ Chokphoemphun ที่ได้รับการตีพิมพ์ในอดีตที่ผ่านมาซึ่งเป็นที่น่าเชื่อถือได้ โดยค่าเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขจะเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Chokphoemphun ซึ่งค่าเลขนัสเซิลท์มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 3.10\%$ และตัวประกอบเสียดทานมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 1.86\%$ ซึ่งถือว่าผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีความเชื่อถือได้



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สและผลการทดลองของ Chokphoemphun

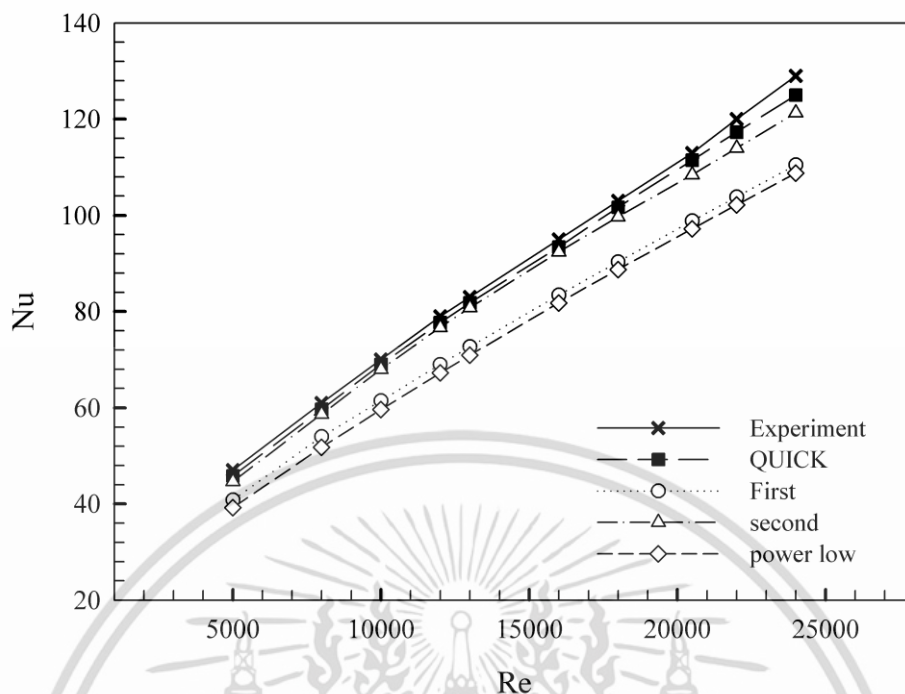
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



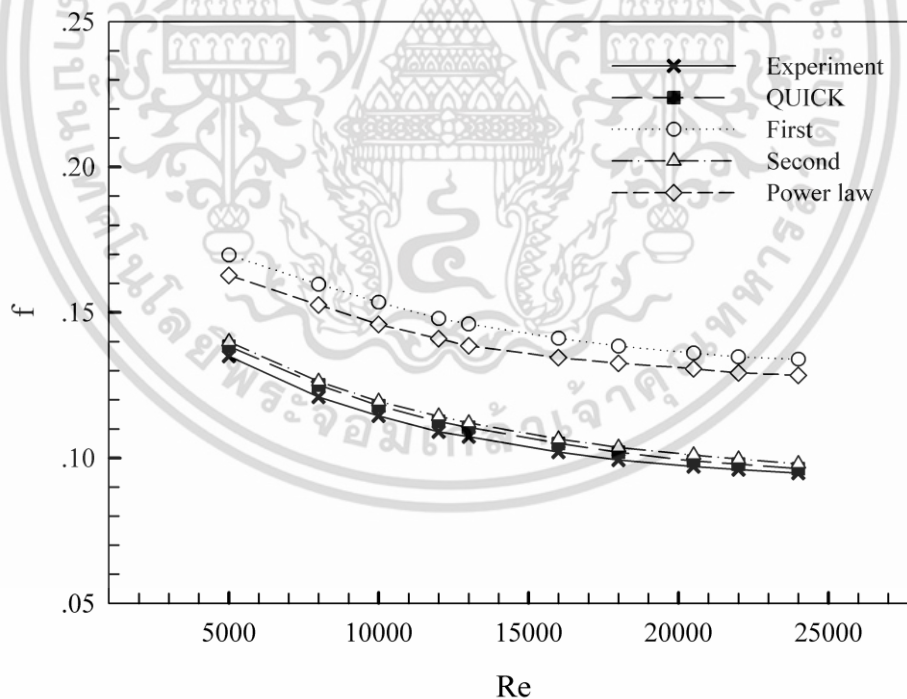
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส และผลการทดลองของ Chokphoemphun

5.1.2 การตรวจสอบกระบวนการวิธี (scheme)

จากการเปรียบเทียบในหัวข้อก่อนหน้านี้ทำให้เราทราบว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ แต่กระบวนการวิธีที่ใช้ในการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้มีเพียงแบบ QUICK เท่านั้น จึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบว่ายังมีกระบวนการวิธีอื่นๆ ที่สามารถให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำและมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Chokphoemphun มากกว่านี้หรือไม่ ซึ่งผลการเปรียบเทียบของการทดลองและแบบจำลองปั่นป่วน RNG $k-\epsilon$ model ในกระบวนการวิธีต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 พบว่าผลที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขเมื่อเทียบกับผลการทดลองพบว่ากระบวนการวิธีแบบ QUICK ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเลขนัยเซซิลท์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3.10\%$ และตัวประกอบเสียดทานของแบบจำลองเชิงตัวเลขเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1\%$ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k-\epsilon$ model ที่ใช้กระบวนการวิธีแบบ QUICK มีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 5.3 เลขนัสเซิลท์จากกระบวนวิธีต่างๆ และผลการทดลองของ Chokphoemphun



รูปที่ 5.4 ตัวประกอบเสียดทานที่กระบวนวิธีต่างๆ และผลการทดลองของ Chokphoemphun

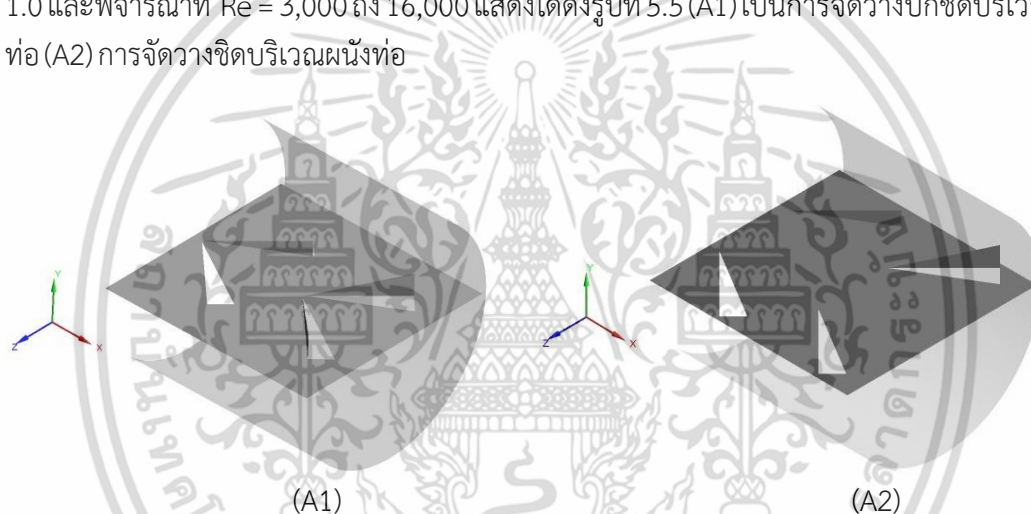
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการศึกษาเชิงตัวเลขของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขของแบบจำลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ ทำการศึกษาที่ มุมปะทะการไหล $\alpha=30^\circ$ และ 40° ที่อัตราส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (BR= 0.1 หรือ 5 mm) และ 3 อัตราส่วนระยะพิตช์ (PR=1.0, 1.5 และ 2.0) เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนระยะพิตช์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการณ์การไหลและการถ่ายเทความร้อน

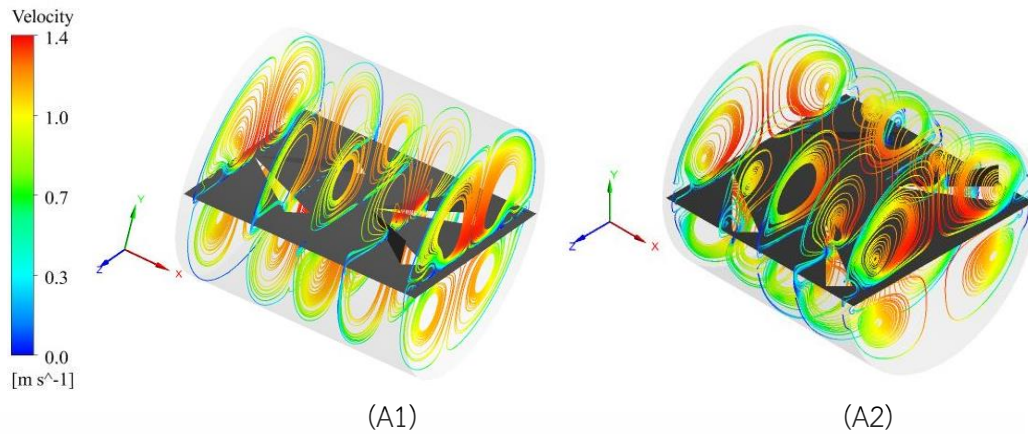
5.2.1 อิทธิพลของการจัดวางที่มีผลต่อพฤติกรรมการณ์การถ่ายเทความร้อน

รูปแบบการจัดวางตัวสร้างการไหลหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยมคู่ ซึ่งทำการเจาะแผ่นบางเป็นรูปสามเหลี่ยมแล้วพับขึ้นทำมุม 90° จากการศึกษาในครั้งนี้ทำการจัดวางสองลักษณะจากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นลักษณะของแบบจำลองปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางบริเวณกลางท่อและปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางชิดผนังท่อด้านข้างในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งพิจารณาที่ BR= 0.1, $\alpha=30^\circ$ และ 45° ที่ค่า PR = 1.0 และพิจารณาที่ Re = 3,000 ถึง 16,000 แสดงได้ดังรูปที่ 5.5 (A1) เป็นการจัดวางปีกชิดบริเวณกลางท่อ (A2) การจัดวางชิดบริเวณผนังท่อ



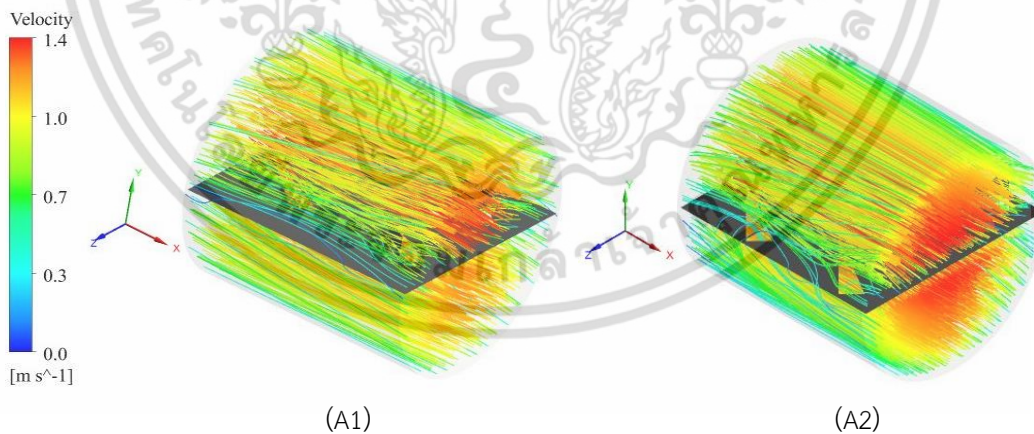
รูปที่ 5.5 ลักษณะการจัดวางปีกสามเหลี่ยมคู่ (A1) การจัดวางที่บริเวณกลางท่อ (A2) การจัดวางชิดผนังท่อ

จากรูปที่ 5.6 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ BR=0.1, $\alpha=30^\circ$ และ 45° ที่ค่า Re=3,000 สำหรับ (A1) การจัดวางที่บริเวณกลางท่อ (A2) การจัดวางชิดผนังท่อ พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกสามเหลี่ยมจะก่อให้เกิดการไหลหมุนควงขึ้น ซึ่งจากรูป 5.6 พบว่าที่การจัดวางที่บริเวณชิดผนังท่อ ส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นกระแสการไหลเกิดการหมุนควงรุนแรงกว่ากรณีที่จัดวางบริเวณกลางท่อ ดังแสดงในรูปที่ 5.6



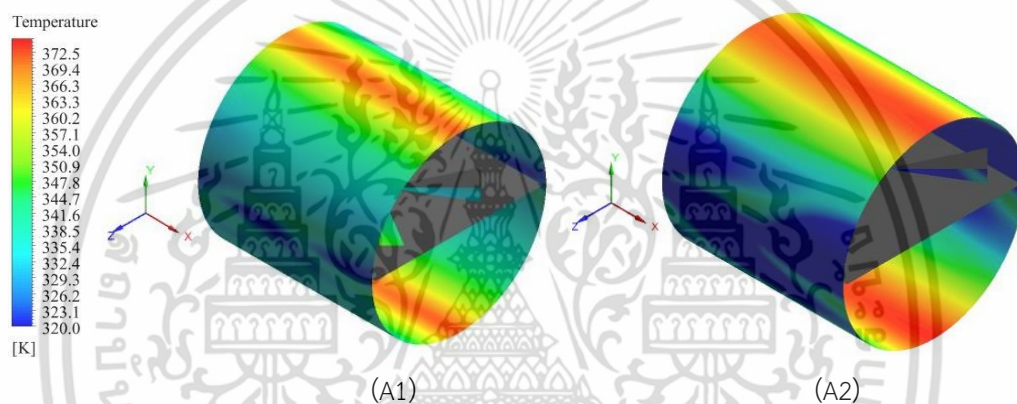
รูปที่ 5.6 เส้นกระแสการไหล 2 มิติที่ตำแหน่งการจัดวางของปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ

จากรูปที่ 5.7 แสดงเส้นกระแสการไหล 3 มิติของการไหลในท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่ที่ $BR=0.1$, $\alpha=30^\circ$ ที่ค่า $Re=3,000$ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลม สำหรับ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อด้านข้างพบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกสามเหลี่ยมจะก่อให้เกิดการไหลหมุนควงขึ้น ซึ่งจากรูป 5.7 จะเห็นได้ว่าการจัดวางบริเวณผนังท่อ ส่งผลให้เส้นกระแสการไหลมีการไหลหมุนควงมากกว่ากรณีการจัดวางที่บริเวณตรงกลางท่อ จะสังเกตเห็นลักษณะของเส้นกระแสการไหลของกรณีปีกสามเหลี่ยมที่จัดวางบริเวณผนังท่อด้านข้างมีความรุนแรงมากกว่ากรณีการจัดวางที่บริเวณตรงกลางท่อเนื่องจากการจัดวางใกล้เคียงส่งผลให้อากาศเย็นบริเวณกลางท่อและอากาศร้อนบริเวณผิวท่อผสมกันได้ดีกว่าการจัดวางที่บริเวณกลางท่อซึ่งเป็นผลมาจากการไหลหมุนควงหรือการกระจายตัวของเส้นกระแสการไหลที่รุนแรงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5.7



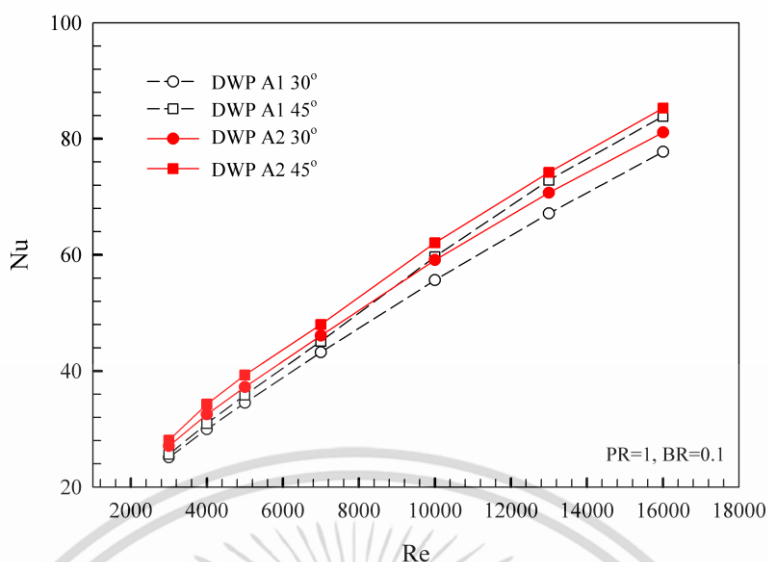
รูปที่ 5.7 เส้นกระแสการไหล 3 มิติที่ตำแหน่งการจัดวางของปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ

รูปที่ 5.8 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ $BR=0.1$ ที่ค่า $Re=3000$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ สำหรับ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อด้านข้าง เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับการจัดวางที่บริเวณกลางท่อจะเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนของอากาศยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของผนังท่อ และมีคอนทัวร์สีน้ำเงินค่อนข้างน้อยกว่ากรณีที่วางชิดผนังท่อซึ่งเป็นผลมาจากการปั่นป่วนบริเวณนั้นที่ยังมีความรุนแรงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการจัดวางที่บริเวณผนังท่อ แต่เมื่อพิจารณาการจัดวางที่บริเวณผนังท่อพบว่าเกิดการผสมผสานกันของอากาศบริเวณกลางท่อและบริเวณผิวท่อได้ดีกว่าการจัดวางที่บริเวณกลางท่อซึ่งเป็นผลมาจากความปั่นป่วนหรือการกระจายตัวของเส้นกระแสการไหลที่รุนแรงมากขึ้นเป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกับความร้อนที่บริเวณผนังท่อที่มีอุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีเขียวและสีน้ำเงินที่มีมากขึ้นเมื่อใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่จัดวางชิดผนังท่อด้านข้าง แต่อย่างไรก็ตามยังปรากฏคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของผิวท่อยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อยจึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

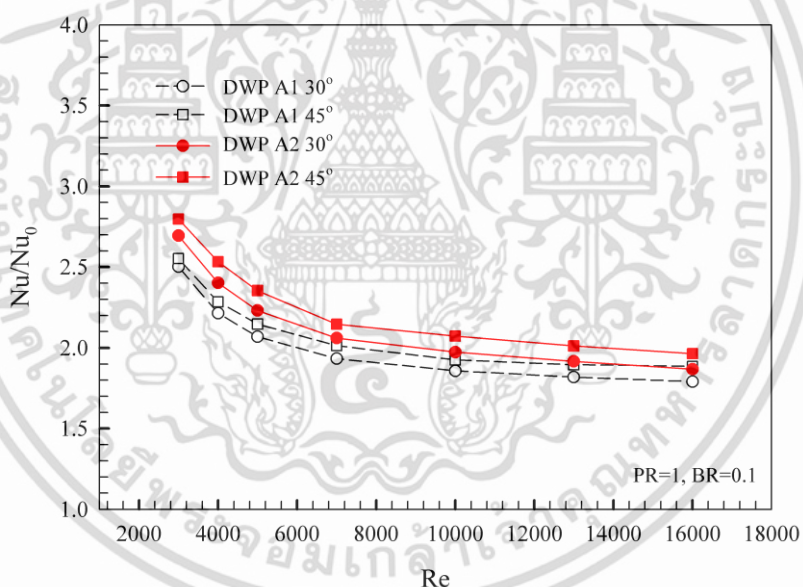


รูปที่ 5.8 การกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ตำแหน่งการจัดวางปีกสามเหลี่ยมสองแบบ (A1) จัดวางบริเวณกลางท่อ (A2) จัดวางชิดผนังท่อ

จากรูปที่ 5.9 - 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีที่ใช้แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ ที่มุมปะทะ $\alpha=30^\circ$ และ 45° เมื่อวิเคราะห์จากกราฟพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ $Re=3,000 - 16,000$ ท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางชิดผนังท่อมีค่าเลขนัสเซิลท์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางบริเวณกลางท่อและท่อเปล่าผิวเรียบ เนื่องจากเมื่อของไหลไหลผ่านปีกที่วางชิดผนังท่อส่งผลให้เกิดการหมุนควงไปกระแทกที่ผนังท่อส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น และจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ Nu/Nu_0 มีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่อกรณิต่างๆ

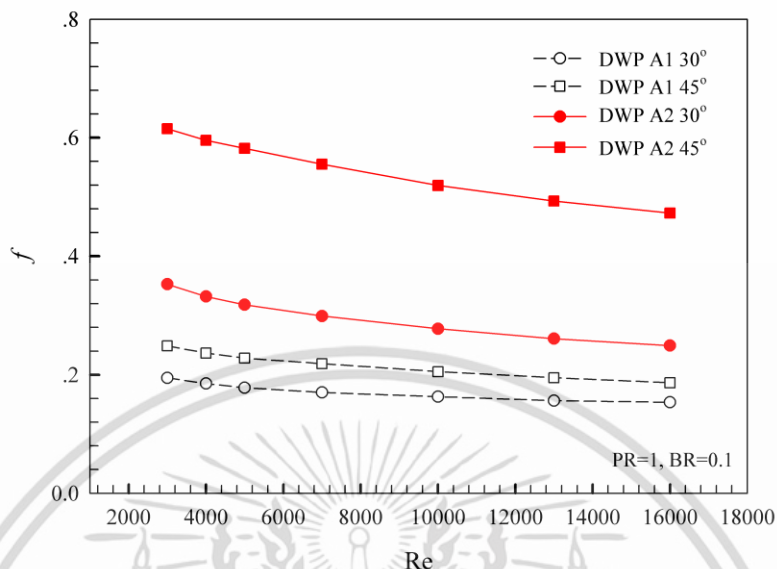


รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่อกรณิต่างๆ

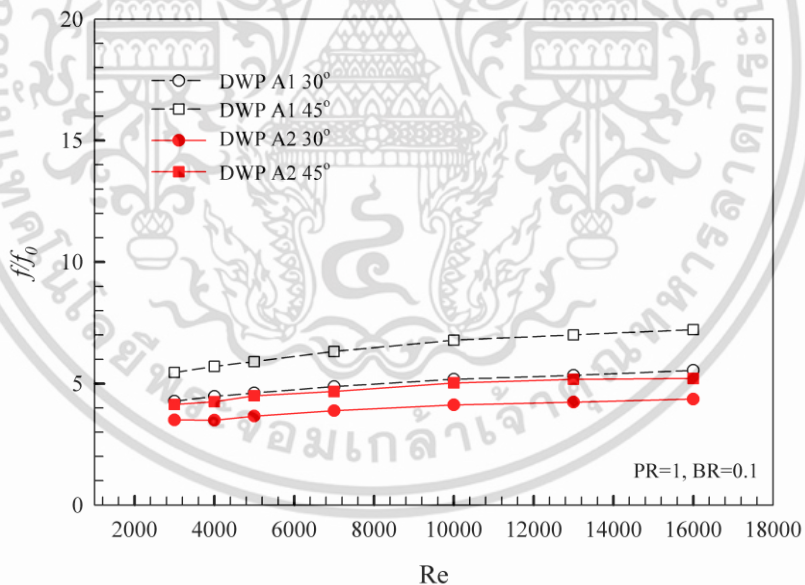
จากรูปที่ 5.11-5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สสำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ที่มีรูปแบบการจัดวาง 2 รูปแบบซึ่งพิจารณาที่ $BR=0.1$, $\alpha=30^\circ$ และ 40° $PR=1$ และพิจารณาที่ค่า $Re=3000-16,000$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $0.15-0.61$ ที่ $Re=3,000-16,000$ ของปีกสามเหลี่ยมคู่ที่จัดวางต่างกันทั้งสองแบบ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $3.50-7.21$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re=3,000-16,000$ พบว่าค่าตัวประกอบเสียด

ทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของปีกสามเหลี่ยมคู่ที่การจัดวางบริเวณกลางท่อมมีค่าน้อยกว่าปีกสามเหลี่ยมคู่ที่การจัดวางชิดบริเวณผนังท่อด้านข้างอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 5.12



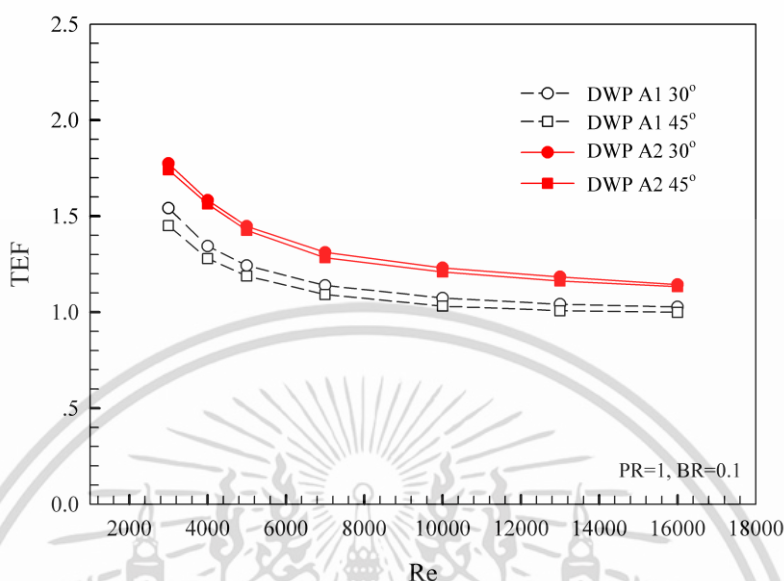
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่กรณีต่างๆ



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่กรณีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสามเหลี่ยมคู่ที่วางกลางท่อและปีกสามเหลี่ยมคู่ที่วางชิดผนังท่อ ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.1$, $\alpha = 30^\circ$ และ 45° ที่ค่า $PR = 1.0$ และพิจารณาที่ค่า $Re = 3000$ ถึง $16,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่

เมื่อวิเคราะห์จากรูปที่ 5.13 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.00 - 1.77 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re = 3000 - 16,000$ ของปีกสามเหลี่ยมคู่ทั้งกรณีที่ทำวางตรงกลางท่อและวางชิดผนังท่อ และพบว่าปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ตำแหน่งการวางชิดผนังท่อให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ากรณีที่ทำวางชิดบริเวณกลางท่อ

พิจารณาจากรูปที่ 5.13 ข้างต้นพบว่า การใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่ภายในท่อกลมสามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของกระแสการไหลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณผนังท่อได้มากขึ้นแต่ในกรณีแรกที่ศึกษาคือศึกษาตำแหน่งการวางบริเวณกลางท่อให้ประสิทธิภาพไม่สูงมากจึงมีการปรับตำแหน่งจัดวางเพื่อหาจุดที่ช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นกว่าตำแหน่งเดิม จึงเป็นที่มาของการจัดวางปีกสามเหลี่ยมให้ชิดผนังท่อมากที่สุดเพื่อให้เกิดกระแสการไหลหมุนควงไปกระทบกับผนังท่อจะส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวท่อได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่ทั้งสองกรณียังมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีค่าน้อยและค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ไม่สูงเท่าไร ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาอิทธิพลรูปร่างของปีกแบบอื่นๆ และศึกษาลักษณะช่องเปิดด้านหน้าและช่องเปิดด้านหลังของปีก ต่อไปเพื่อเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลง เพื่อเพิ่มค่าสมรรถนะเชิงความร้อนให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

5.2.2 อิทธิพลของรูปร่างปีก

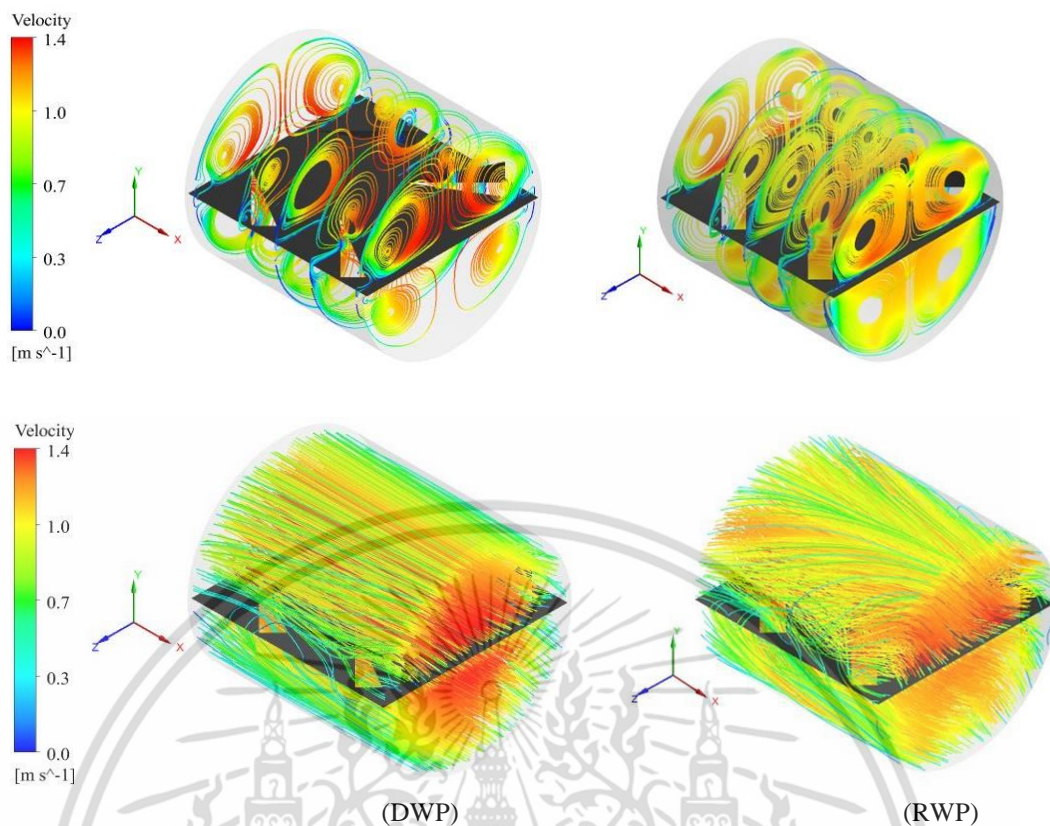
จากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งการวางทำให้ทราบถึงตำแหน่งการวางที่เหมาะสมส่งผลไปถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน และในส่วนนี้จะทำการนำเสนอในส่วนของอิทธิพลรูปร่างปีกได้นำเสนอกรณีที่ 1 ปีกสามเหลี่ยมคี่และกรณีที่ 2 ปีกสี่เหลี่ยมคี่ที่ค่า $BR=0.1$ ที่ค่า $Re=3000$ และ $PR=1$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของรูปร่างปีก ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านปีกคู่ทั้งสองแบบ ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการไหลซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซลต์, ค่าตัวประกอบเสียดทานกับค่าเลขเรย์โนลด์ส ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ลักษณะปีกสามเหลี่ยมคี่ (DWP) และปีกสี่เหลี่ยมคี่ (RWP)

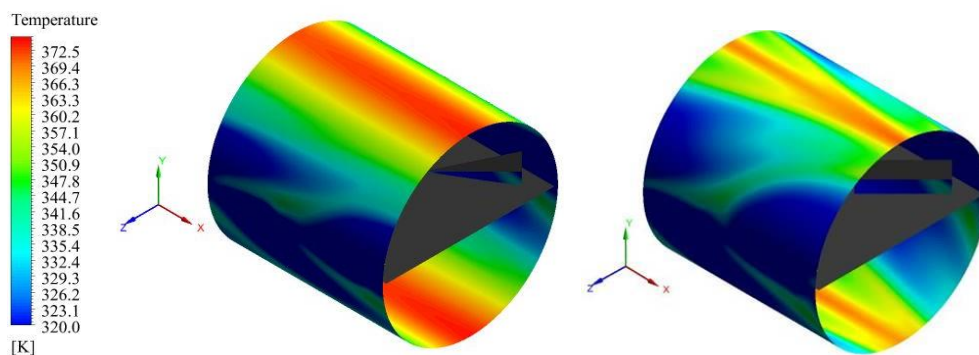
ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปแบบของเส้นกระแสการไหล 2 มิติและเส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านปีกสามเหลี่ยมคี่ โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน มุมปะทะการไหลเดียวกัน ที่รูปร่างปีกที่ต่างกันสองกรณี คือ รูปร่างปีกแบบปีกสามเหลี่ยมคี่ และแบบปีกสี่เหลี่ยมคี่ ซึ่งเส้นกระแสการไหล 2 มิติจะทำให้เห็นการหมุนวนย่อยๆที่เกิดขึ้นขณะของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคี่คางหมูคี่ ส่วนเส้นกระแสการไหล 3 มิติ จะทำให้เห็นความรุนแรงของการปั่นป่วนเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคี่คางหมูคี่ โดยเส้นกระแสการไหลทั้งสองรูปแบบนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.15

รูปที่ 5.15 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$, $PR = 1.5$ ที่ค่า $Re=3,000$ สำหรับปีกสามเหลี่ยมคี่ และปีกสี่เหลี่ยมคี่ พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกคู่จะก่อให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น ซึ่งรูปที่ 5.15 พบว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคี่จะมีการปั่นป่วนที่รุนแรงน้อยที่สุด เมื่อกับกรณีปีกสี่เหลี่ยมคี่ซึ่งส่งผลให้การปั่นป่วนมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยที่ค่ารูปร่างแบบปีกสี่เหลี่ยมคี่พบว่าการปั่นป่วนที่รุนแรงมากกว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคี่ ดังแสดงในรูปที่ 5.15



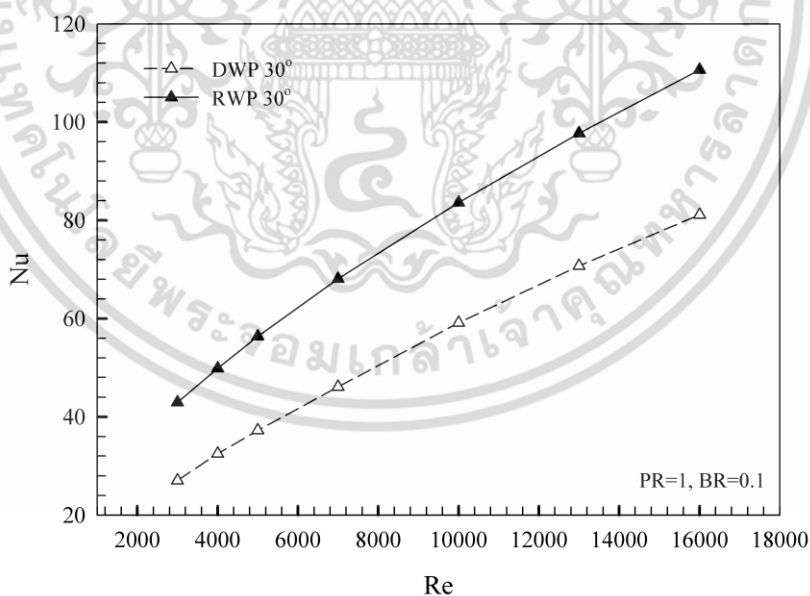
รูปที่ 5.15 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับปีกสามเหลี่ยมคู้และปีกสี่เหลี่ยมคู้

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อ ดังแสดงในรูปที่ 5.16 ซึ่งนำเสนอในรูปแบบปีกสามเหลี่ยมคู้และปีกสี่เหลี่ยมคู้ รูปที่ 5.16 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อที่ค่า $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.5$ ที่ค่า $Re = 3000$ สำหรับกรณีปีกสามเหลี่ยมคู้ และกรณีปีกสี่เหลี่ยมคู้ เมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อ กรณีปีกสามเหลี่ยมคู้ จะเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนอากาศยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีแดง ส่วนผนังท่อด้านข้างนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าอากาศบริเวณผนังท่อด้านข้างเริ่มมีอุณหภูมิต่ำลงแสดงว่าบริเวณนั้นเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีฟ้าและสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นผลมาจากความปั่นป่วนที่มีความรุนแรงน้อยเมื่อเทียบกับกรณีปีกสี่เหลี่ยมคู้ ดังแสดงในรูปที่ 5.16 แต่เมื่อพิจารณาที่ปีกสี่เหลี่ยมคู้ พบว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำหรือคอนทัวร์สีฟ้าหรือสีน้ำเงินเริ่มมีการกระจายไปยังบริเวณใกล้ผิวท่อมากขึ้นอันเป็นผลมาจากการปั่นป่วนที่มีความรุนแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังปรากฏอากาศที่อุณหภูมิสูงหรือคอนทัวร์สีแดงอยู่บริเวณผนังท่อด้านบน และมีคอนทัวร์สีแดงเกิดขึ้นน้อยที่กว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคู้อันเนื่องมาจากการปั่นป่วนที่รุนแรงที่สุดนั่นเอง



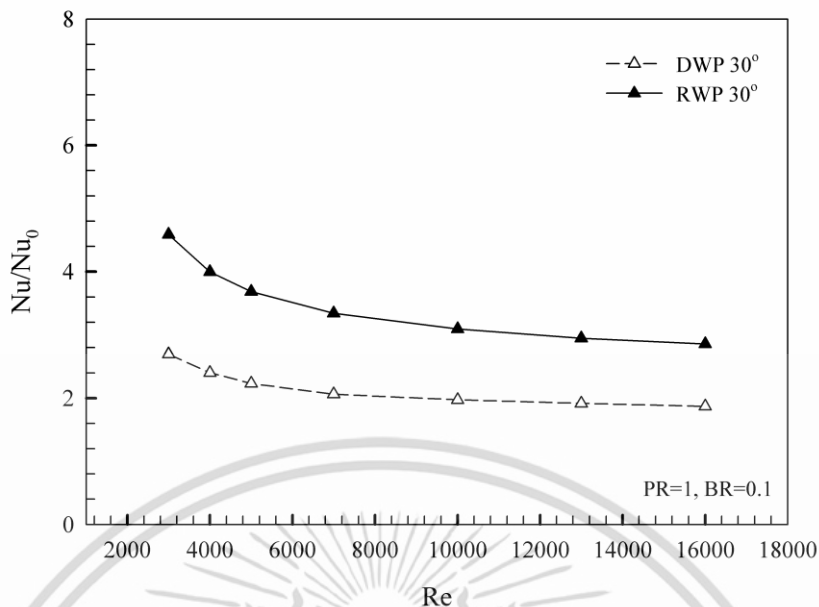
รูปที่ 5.16 การกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่

จากรูปที่ 5.17-5.18 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์และอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีสู่ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และกรณีสู่ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ ที่ค่า $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.1$, $PR=1$ เมื่อวิเคราะห์จากกราฟพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ $Re=3,000-16,000$ ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าเมื่อเทียบกับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ที่และท่อเปล่าผิวเรียบ เนื่องจากเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมส่งผลให้การไหลเกิดการหมุนควงที่มีความรุนแรงกว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคู่ เกิดการหมุนควงไปกระแทกที่ผนังท่อส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น และจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ Nu/Nu_0 มีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่

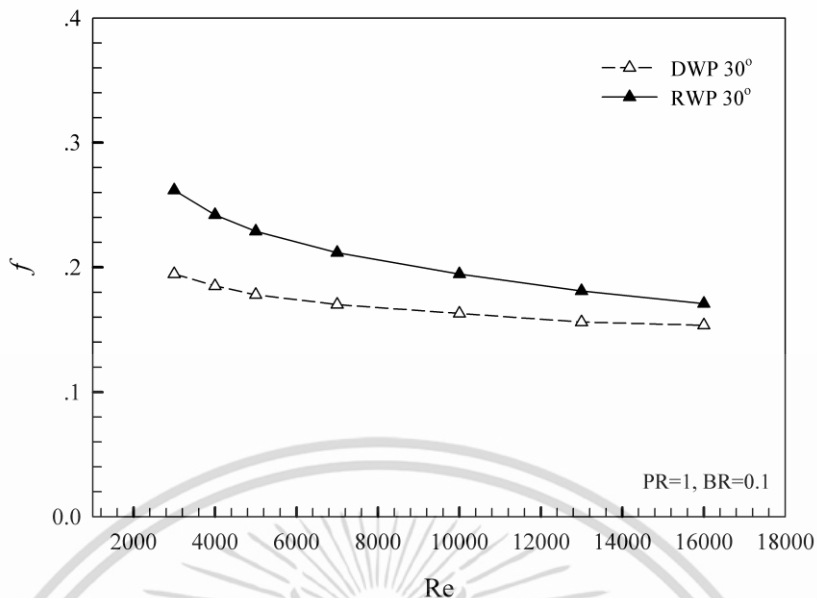
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



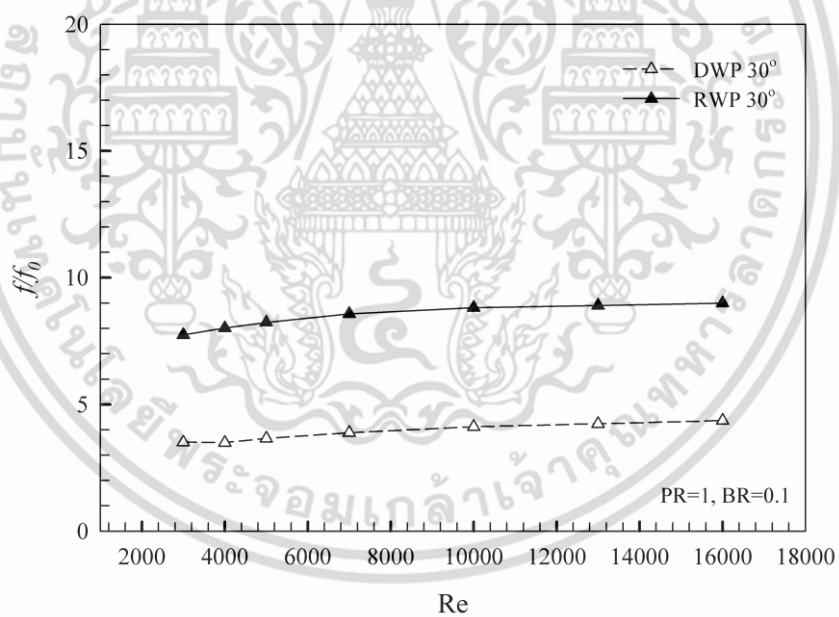
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีก
ปีกสามเหลี่ยมคู้ และปีกสี่เหลี่ยมคู้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสามเหลี่ยมคู้ และปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.1$, $PR=1$ ในช่วง $Re=3000-16,000$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.19-5.20

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.12 - 0.26 พิจารณาที่ค่า $Re=3000-16,000$ ของปีกสามเหลี่ยมคู้ และปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่ใส่ภายในท่อกลม และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง 3.51 - 6.17 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ พิจารณาที่ค่า $Re=3000-16,000$ ของปีกสามเหลี่ยมคู้ และปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่ใส่ภายในท่อกลมเช่นเดียวกัน จากกราฟจะเห็นได้ชัดว่าปีกสี่เหลี่ยมคู้ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคู้ซึ่งมีค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่า



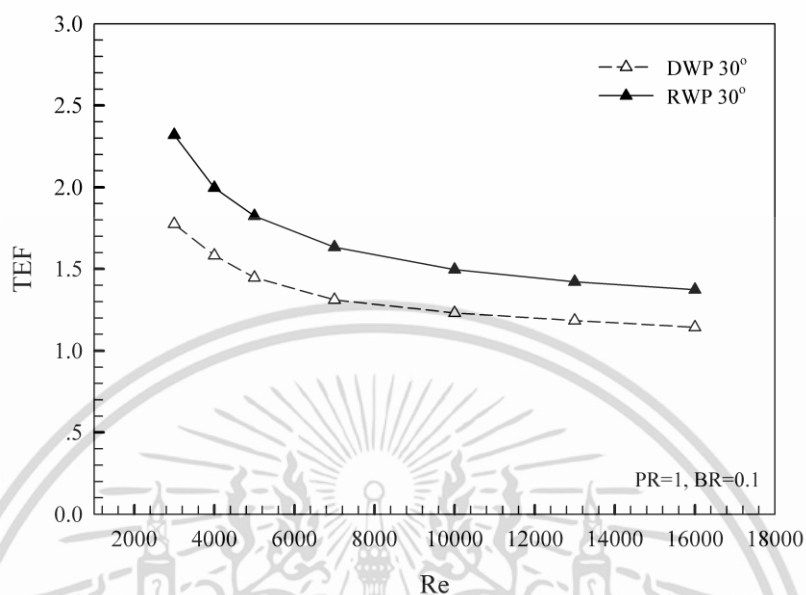
รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า BR=0.1 ที่ค่า PR=1 ในช่วง Re=3000 - 16,000 ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.21



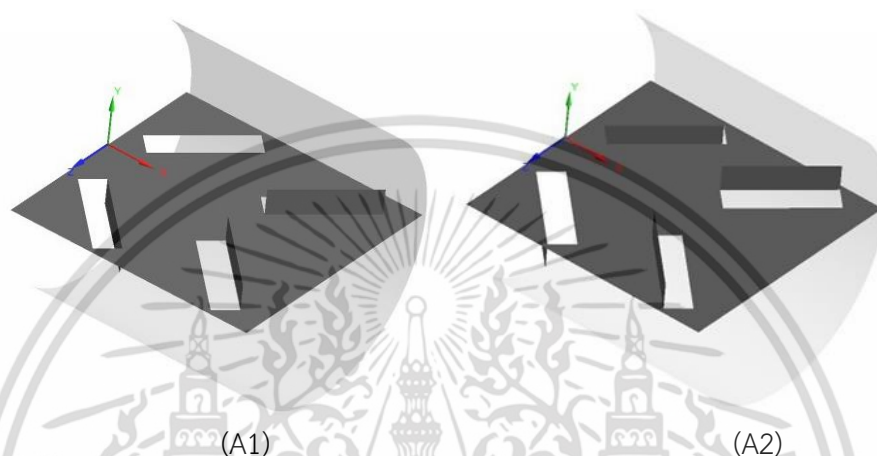
รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์สมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสามเหลี่ยมคู่ และ ปีกสี่เหลี่ยมคู่

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 1.14-2.39 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบพิจารณาที่ค่า Re=3000 - 16,000 ของปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่ และพบว่าปีกสี่เหลี่ยมคู่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคู่ เนื่องจากเมื่อใส่ปีกสี่เหลี่ยมคู่ภายในท่อกลมทำให้เกิดกระแสการไหลที่รุนแรงกว่ากรณีปีกสามเหลี่ยมคู่จึงส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูง และค่าตัวประกอบเสียดทานก็สูงเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาที่สมรรถนะเชิงความร้อนพบว่าปีกสี่เหลี่ยมคู่ให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าแบบปีกสามเหลี่ยมคู่

จากการพิจารณารูปแบบของปีกสามเหลี่ยมคู่ และปีกสี่เหลี่ยมคู่ ข้างต้นพบว่าการใส่ปีกคู่ภายในท่อกลมสามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของการไหลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณผนังได้มากขึ้น แต่ เนื่องจากการใส่ปีกสี่เหลี่ยมคู่มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่ากรณีที่ใส่ปีกสามเหลี่ยมคู่ อันเนื่องมาจากค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ามากและค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ได้มีค่าสูงกว่าปีกสามเหลี่ยมคู่ แต่ค่าที่ได้ยังไม่สูงมากนักจึงได้นำเอารูปแบบปีกสี่เหลี่ยมไปเพื่อพัฒนาและศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดปีกและอิทธิพลของรูปร่าง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาสลับตำแหน่งช่องเปิดของปีกสี่เหลี่ยมคู่ต่อไป เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้มีความลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

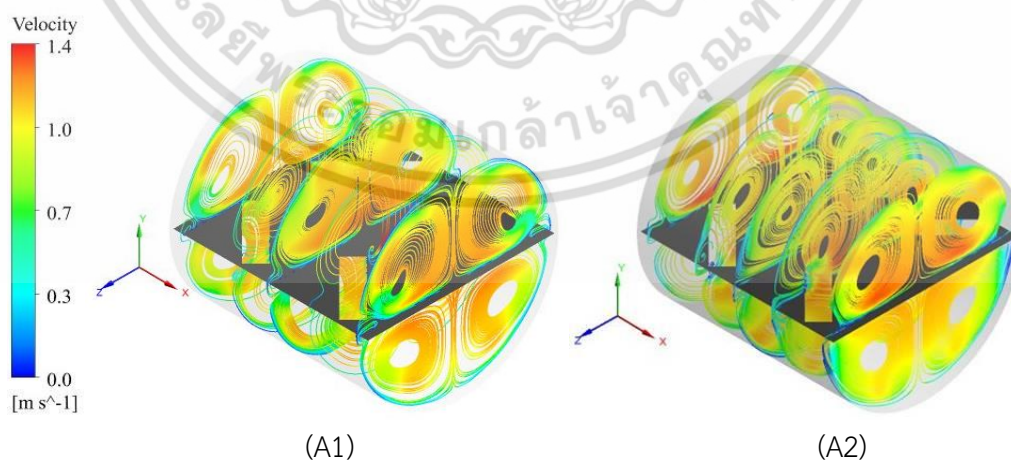
5.2.3 อิทธิพลของลักษณะช่องเปิดปีก

จากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งการวางและอิทธิพลของรูปร่างปีกที่ทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูง ทำให้ทราบถึงตำแหน่งการวางและรูปร่างที่เหมาะสมที่จะส่งผลไปถึงพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน และในส่วนนี้จะนำเสนอในส่วนอิทธิพลของลักษณะช่องเปิดด้านหน้าปีกและด้านหลังปีกโดยสร้างแบบจำลองแบบปีกสี่เหลี่ยมคู่ 2 กรณีที่ตำแหน่งการจัดวางชนิดผนังท่อด้านข้าง กรณีแรกช่องเปิดด้านหน้าปีก กรณีที่สองช่องเปิดด้านหลังปีก ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แสดงลักษณะการจัดวางปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก

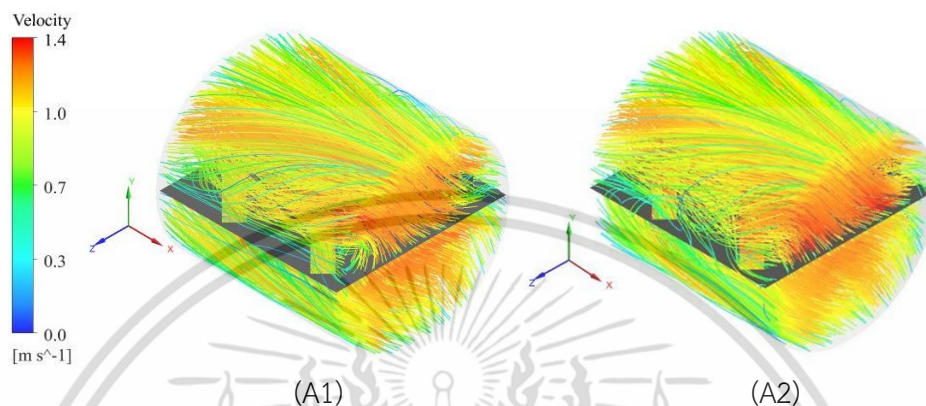
จากรูปที่ 5.23 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $BR=0.1$, $\alpha=30^\circ$ ที่ค่า $Re=3,000$ สำหรับ (A1) ช่องเปิดด้านหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมจะก่อให้เกิดการไหลหมุนควงขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 5.23 พบว่าท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้า เกิดการไหลหมุนควงที่รุนแรงน้อยกว่าท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก ดังแสดงในรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก

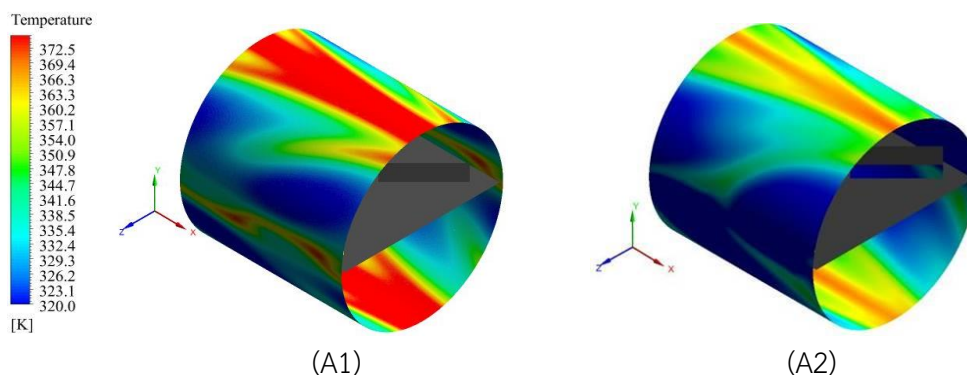
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.24 แสดงเส้นกระแสการไหล 3 มิติของการไหลในท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่ที่ $BR=0.1$ $\alpha=30^\circ$ $PR=1.0$ ที่ค่า $Re=3,000$ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลม สำหรับ (A1) ช่องเปิดด้านหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคู่จะก่อให้เกิดการไหลหมุนควงขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 5.24 จะสังเกตเห็นได้ว่าท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก ส่งผลให้เส้นกระแสการไหลมีการไหลหมุนควงที่รุนแรงกว่ากรณีท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก ดังแสดงในรูปที่ 5.24



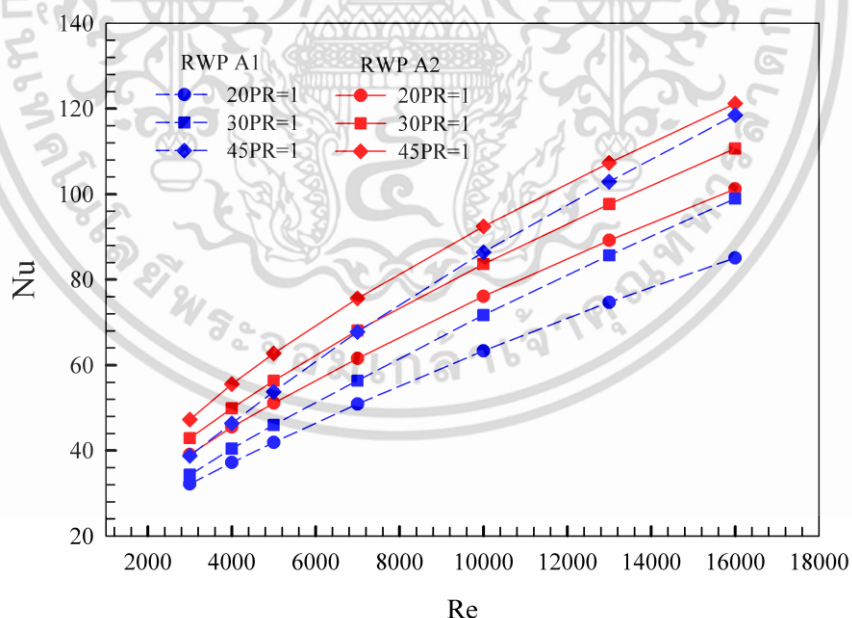
รูปที่ 5.24 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก

รูปที่ 5.25 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ $BR=0.1$ $PR=1$ $Re=3000$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ สำหรับ (A1) ช่องเปิดด้านหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีกจะสังเกตเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนอากาศยังมีอุณหภูมิสูงจากคอนทักต์รังสีแดงบริเวณด้านบนของผนังท่อ และมีคอนทักต์สีเขียวและน้ำเงินค่อนข้างน้อยกว่าท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหลังปีก ซึ่งเป็นผลมาจากการปั่นป่วนบริเวณนั้นที่ยังมีความรุนแรงน้อยกว่า เมื่อพิจารณาปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหลังปีกพบว่าเกิดการผสมผสานกันของอากาศที่อุณหภูมิต่ำบริเวณกลางท่อและอากาศที่อุณหภูมิสูงบริเวณผิวท่อได้ดีกว่ากรณีปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีกซึ่งเป็นผลมาจากการปั่นป่วนหรือการกระจายตัวของเส้นกระแสการไหลที่รุนแรงมากขึ้นเป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อ ซึ่งสังเกตได้จากคอนทักต์สีเขียวและสีน้ำเงินที่มีมาก เมื่อใส่ปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก แต่อย่างไรก็ตามยังปรากฏคอนทักต์รังสีแดงบริเวณด้านบนของผิวท่อยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อยจึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ



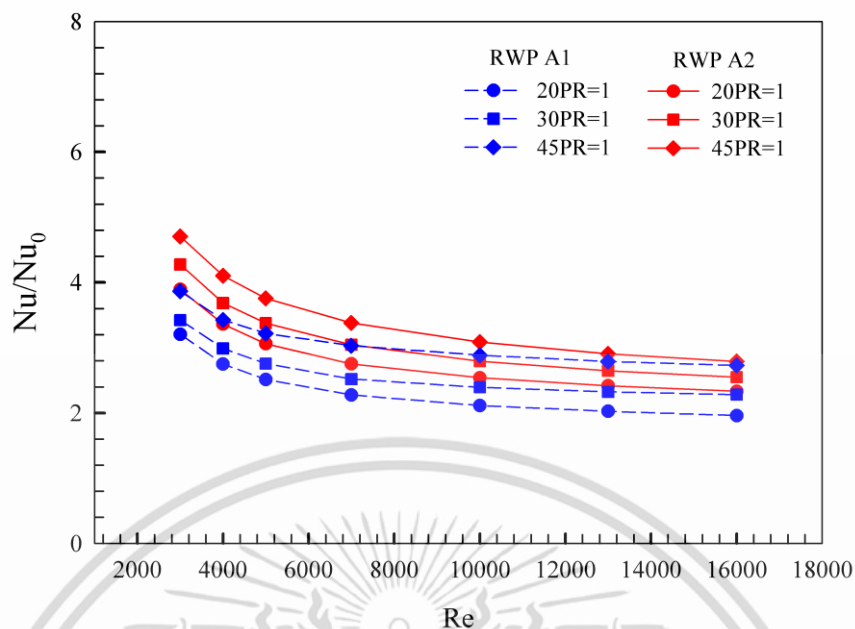
รูปที่ 5.25 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ (A1) ช่องเปิดหน้าปีก (A2) ช่องเปิดด้านหลังปีก

จากรูปที่ 5.26-5.27 แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์และอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีที่ใช้แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ค่า $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 45° , $BR=0.1$, $PR=1.0$ เมื่อวิเคราะห์จากกราฟพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ $Re=3000 - 16,000$ ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหลังปีกมีค่าเลขนัสเซิลท์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหน้าปีกและท่อเปล่าผิวเรียบ เนื่องจากเมื่อของไหลไหลผ่านปีกที่ช่องเปิดด้านหลังปีกส่งผลให้เกิดการหมุนควงที่มีความรุนแรงกว่ากรณีที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก การไหลเกิดกระแสวนไปกระทบที่ผนังท่อส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น และจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ Nu/Nu_0 มีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.26-5.27



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ของเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหน้าปีกและหลังปีก

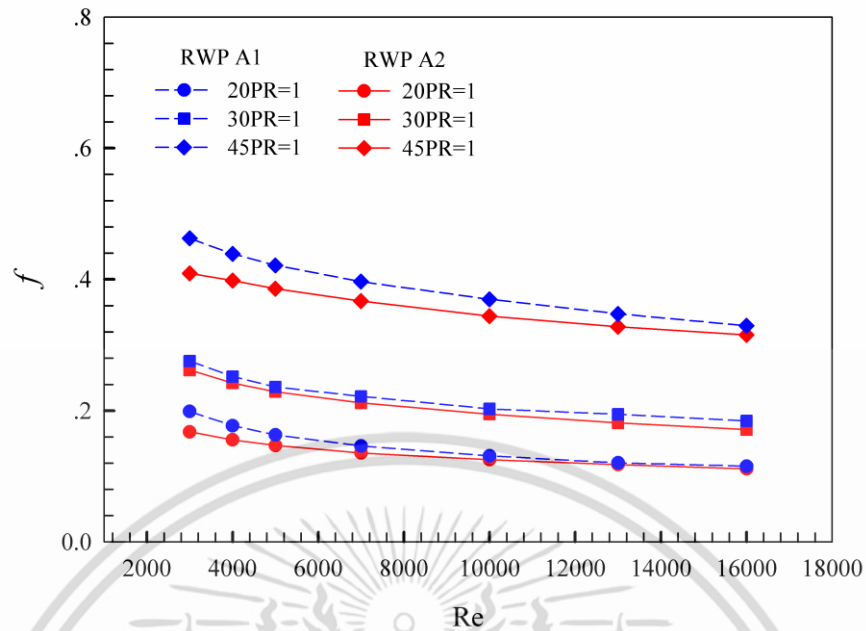
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



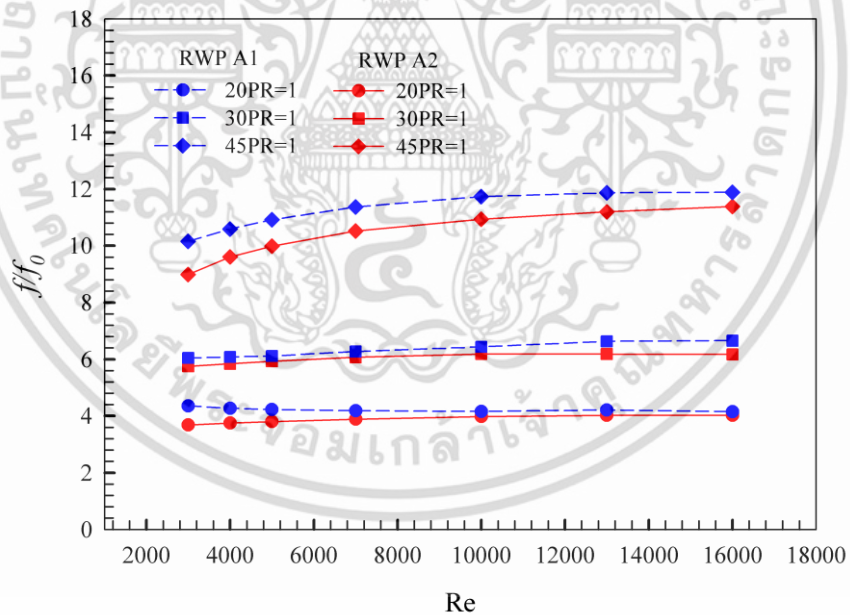
รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์อัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (ff_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก และสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีกใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.1$ ที่ค่า $PR=1.0$ พิจารณาในช่วง $Re=3000-16,000$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.28 - 5.29

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง 0.11 - 0.32 พิจารณาที่ค่า $Re=3000-16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังปีก และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง 2.90 - 11.39 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ พิจารณาที่ค่า $Re=3000-16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังปีกเช่นเดียวกันจากกราฟจะเห็นว่าปีกสี่เหลี่ยมคู้กรณีที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีกให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่า กรณีปีกสี่เหลี่ยมคู้ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก ซึ่งมีค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5.28-5.29



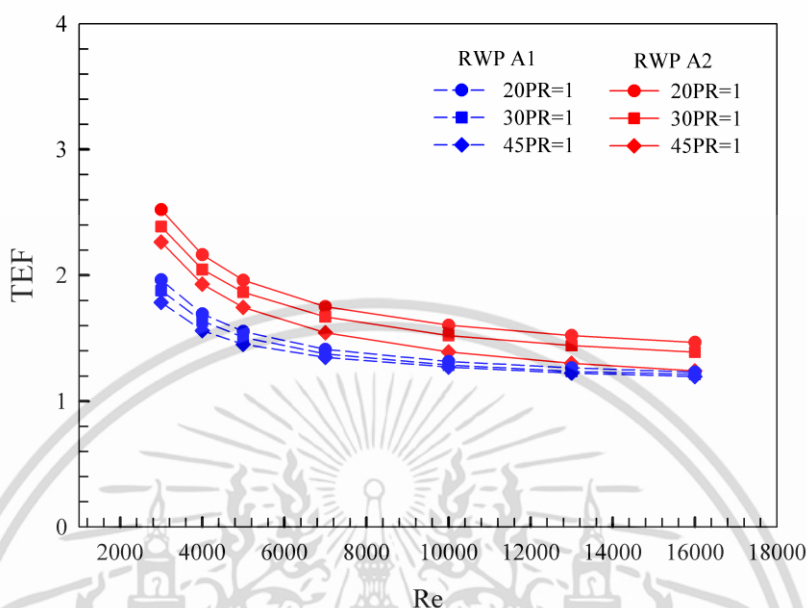
รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก



รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิด หน้าปีกและหลังปีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก และสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีกใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า BR=0.1, PR=1 พิจารณาในช่วง Re=3000 – 16,000 ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.30



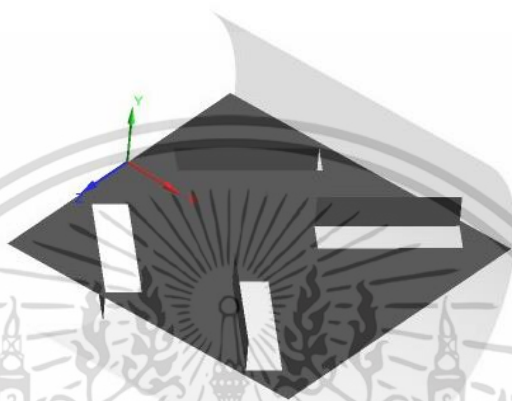
รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์สมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดหน้าปีกและหลังปีก

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 1.20 - 2.52 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ Re = 3000 - 16,000 ของปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก และสี่เหลี่ยมคู่ที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก และพบว่าปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหลังปีกให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ากรณีปีกสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านหน้าปีก

จากการพิจารณารูปแบบช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังของปีก ข้างต้นพบว่าการเปิดช่องด้านหลังของปีกคู่ภายในท่อกลมสามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของการไหลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณผนังได้มากขึ้น แต่ เนื่องจากการใส่ปีกสี่เหลี่ยมคู่มีค่าประสิทธิภาพที่ไม่สูงมาก อันเนื่องมาจากค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นมาก ทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ไม่ดีไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปรับปรุงรูปร่างของปีกสี่เหลี่ยมคู่ในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้มีค่าลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ด้วยหลักการดังกล่าวนี้จึงเป็นเหตุผลหลักในการเลือกปรับปรุงปีกสี่เหลี่ยมแบบต่างๆ

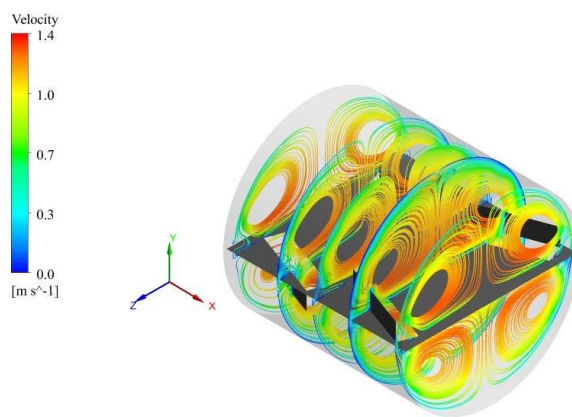
5.2.4 อิทธิพลของระยะพิตช์ และมุมปะทะ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอิทธิพลของมุมปะทะและระยะพิตช์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลได้นำเสนอกรณีปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ที่ $BR=0.1$, $Re=3000$, และ $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 ที่ค่า $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 40° โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ α และระยะพิตช์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคู่ ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการไหลซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิ

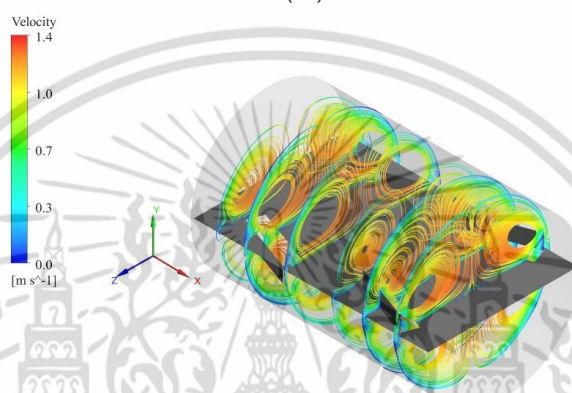


รูปที่ 5.31 แสดงลักษณะของทอกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่

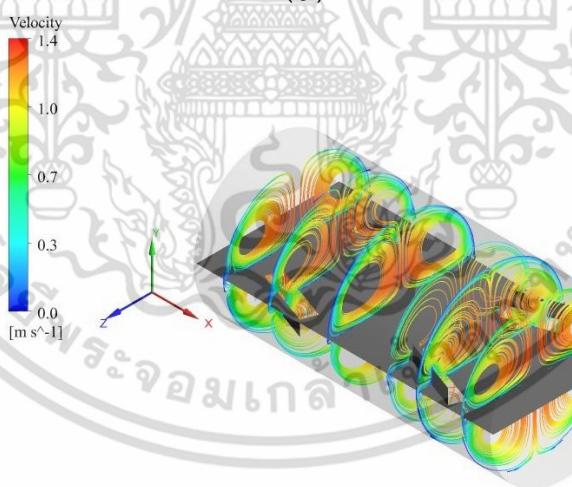
รูปที่ 5.32 แสดงถึงเส้นกระแสไหล 2 มิติ และ 3 มิติ สำหรับท่อเปล่าและทอกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ $\alpha=20^\circ$ พบว่าเมื่อของไหลไหลในท่อผิวเรียบเส้นกระแสไหลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคู่จะทำให้กระแสน้ำไหลเกิดการไหลหมุนควงมากขึ้น ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นผลต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่ยังส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



(ก.)



(ข.)

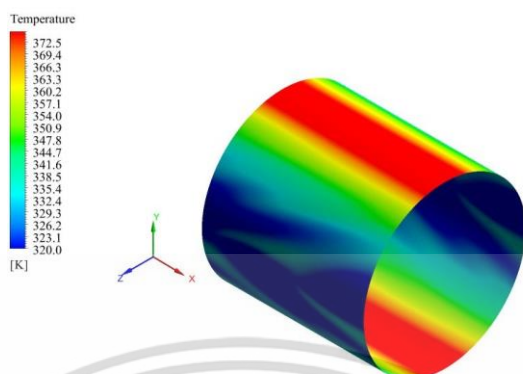


(ค.)

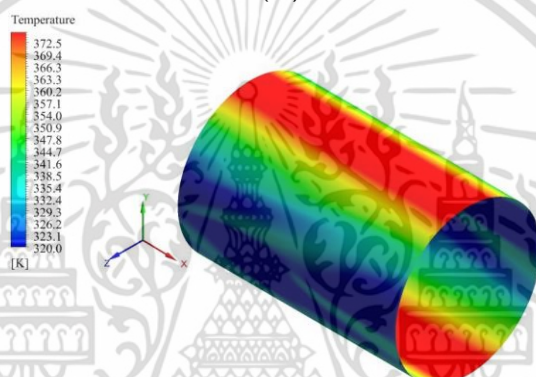
รูปที่ 5.32 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่และเปลี่ยนค่า
(ก.) PR=1 (ข.) PR=1.5 และ (ค.) PR=2 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$ BR=0.1 ที่ Re=3,000

จากรูปที่ 5.33 แสดงถึงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณผิวท่อสำหรับท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ค่า PR=1.0, 1.5, และ 2.0 พบว่าการไหลหมุนวนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่ส่งผลให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้นระหว่างอากาศเย็นของของไหลภายในท่อกับอากาศร้อนที่ผิวท่อสังเกตได้จากคอนทัวร์อุณหภูมิสำหรับท่อเปล่าพบว่า บริเวณใกล้กับผนังท่อของไหลยังมีอุณหภูมิสูง (คอนทัวร์สีแดง) และที่บริเวณกลางท่อเป็นอุณหภูมิต่ำ (คอนทัวร์สีน้ำเงิน) ในขณะที่ท่อที่มีการติดตั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

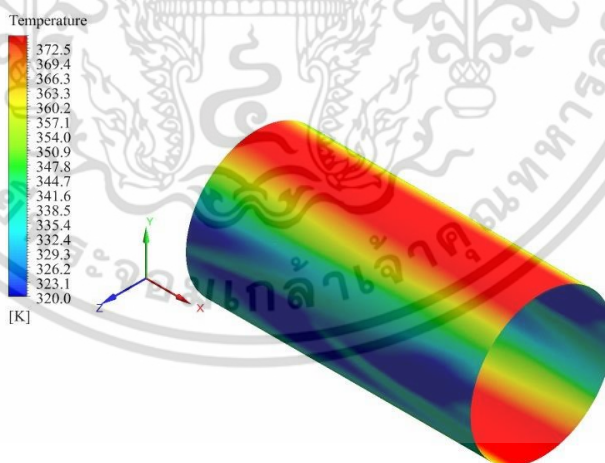
ปีกสี่เหลี่ยมคี่นั้น การหมุนควงที่เกิดขึ้นจากการไหลจะส่งผลให้ของไหลที่มีอุณหภูมิเย็นที่บริเวณกลางท่อกระจายไปรับความร้อนที่ผิวท่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นที่บริเวณผนังท่อ ซึ่งที่ $\alpha=20^\circ$ PR=1 ที่ค่า $Re=3000$ พบว่ามีการผสมกันของของไหลดีที่สุด



(ก.)



(ข.)



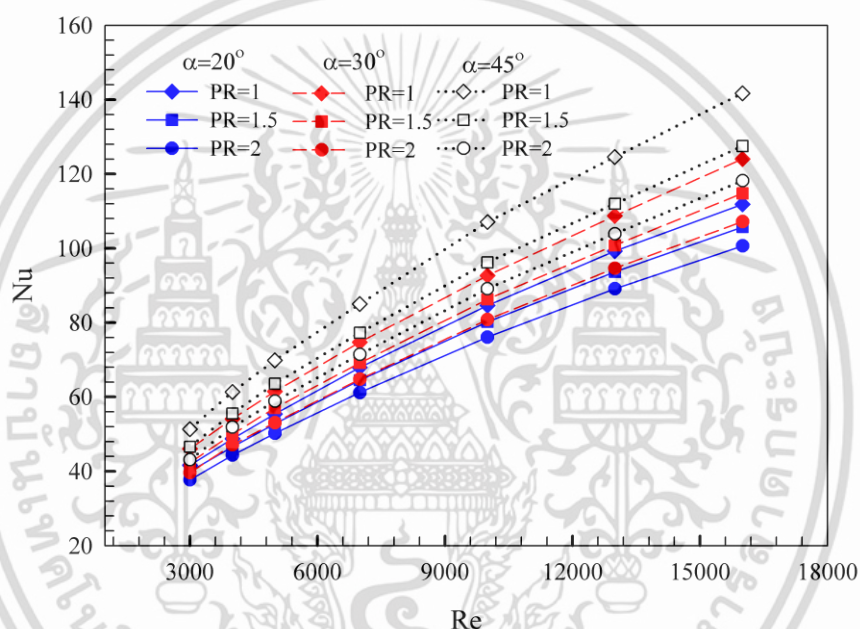
(ค.)

รูปที่ 5.33 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคี่และเปลี่ยนค่า (ก.)PR=1.0 (ข.) PR=1.5 และ (ค.) PR=2.0 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$ BR=0.1 ที่ค่า $Re=3000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

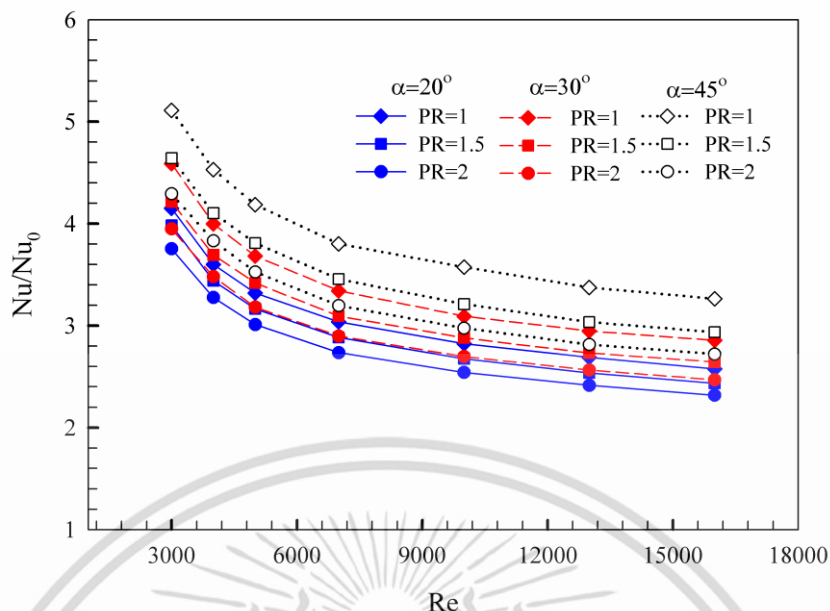
จากรูปที่ 5.34 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ พบว่าเมื่อระยะพิทช์ (PR) เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลมีการหมุนควงน้อยลงโดยใน กรณี PR=1.0 จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด ส่งผลให้กระแสของของไหลสามารถไหลไปกระแทกกับผนังของท่อเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่ากรณีอื่น จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อ PR เพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

และในส่วนของมุมปะทะการไหลจากการศึกษาในครั้งนี้โดยสร้างแบบจำลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่ พบว่าที่มุมปะทะสูงขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลเกิดการหมุนควงรุนแรงขึ้นและสามารถไหลไปกระแทกกับผนังท่อส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่มุมปะทะสูงๆ กรณีมุม 45° จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.34



รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่

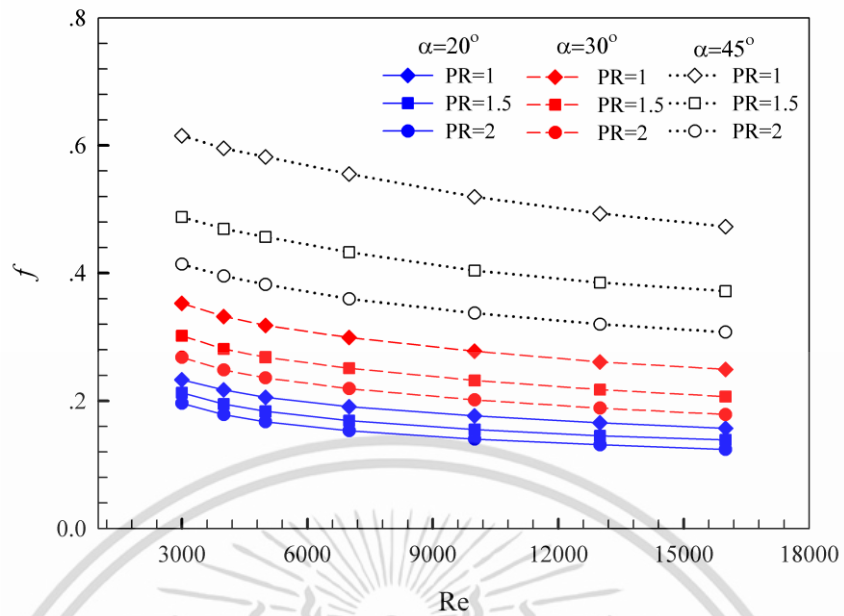
จากรูปที่ 2.35 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ค่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงสุดเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบโดยมีค่าเท่ากับ 5.11 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และพบว่าที่ค่า PR=1.0 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับ PR=1.5 และ PR=2.0 โดยสังเกตจากค่าเลขนัสเซลท์ที่ลดลงเมื่อ PR เพิ่มขึ้น



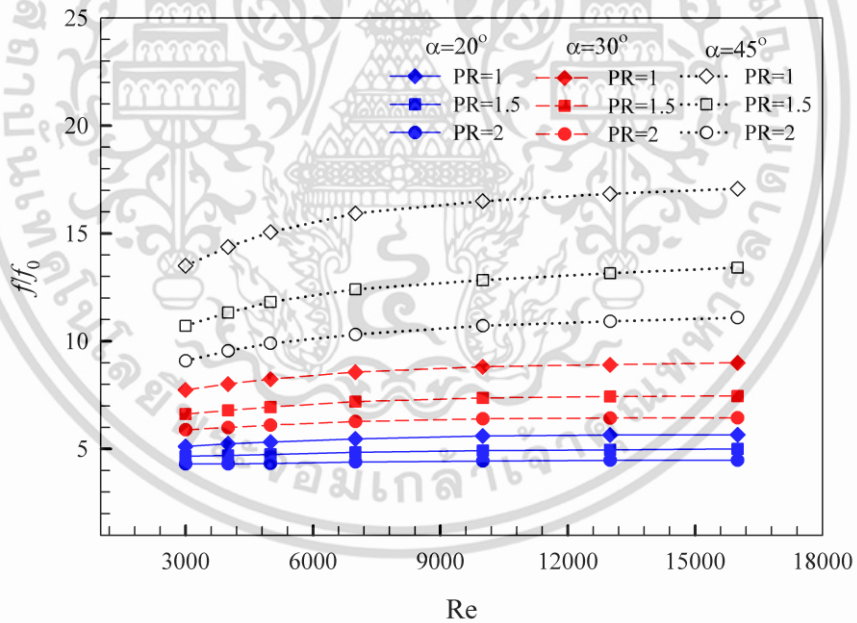
รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบาง พร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (ff_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคู้ซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.1$ ที่ค่า $PR=1.0$ ซึ่งพิจารณาในช่วง $Re=3000 - 16,000$ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.36-5.37

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $0.11-0.40$ ที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคู้และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $2.90 - 11.39$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ พิจารณาที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ จะเห็นได้ว่าปีกสี่เหลี่ยมคู้ยังให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ค่อนข้างน้อยจึงมีการพัฒนาปรับปรุงรูปร่างของปีกเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทาน เพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้สูงสุด ด้วยรูปร่างปีกที่เหมาะสมดังนั้นจึงมีการปรับปรุงรูปร่างจากรูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคู้ไปเป็นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู้โดยมุ่งหวังที่จะลดค่าตัวประกอบเสียดทาน



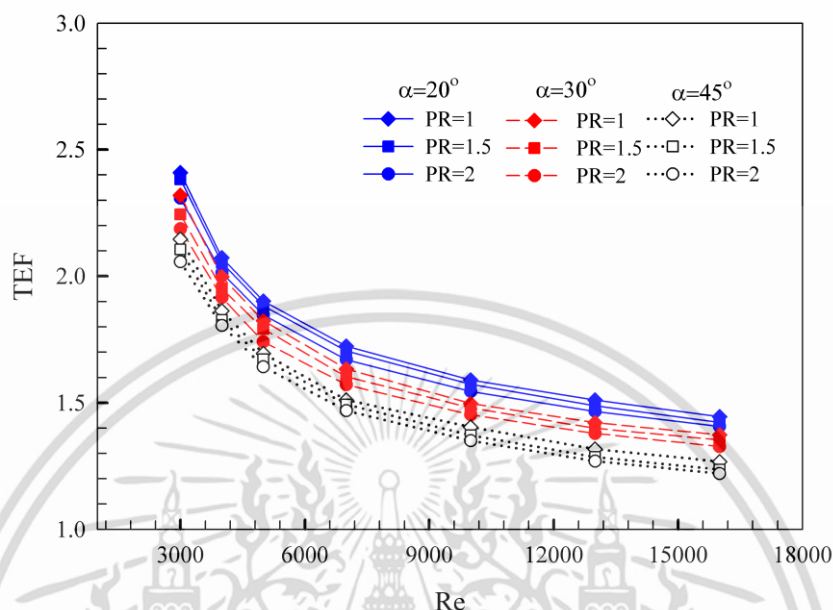
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่



รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคู่ใ้ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า BR=0.1 ที่ค่า PR=1.0, 1.5 และ 2.0 พิจารณาในช่วง Re=3000–16,000 ที่ค่า $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 40° ดังแสดงในรูปที่ 5.37



รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่

จากรูปที่ 5.38 แสดงค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) กับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ที่เกิดขึ้นที่ก้างขั้วเคลื่อนเดียวกัน ในท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่ที่ระยะพิตช์และมุมปะทะต่างกัน จากการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลข สังเกตเห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นสำหรับทุกระยะพิตช์และมุมปะทะต่างๆ เนื่องจากความเร็วจากการไหลยังไม่พอต่อการผสมกันระหว่างอากาศร้อนที่บริเวณผนังท่อกับอากาศเย็นที่บริเวณตรงกลางท่อ โดยผ่านท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่กรณีที่มี $\alpha=20^\circ$ ที่ PR=1.0 ให้ค่า TEF ดีที่สุดเท่ากับ 2.40 ที่ Re=3000

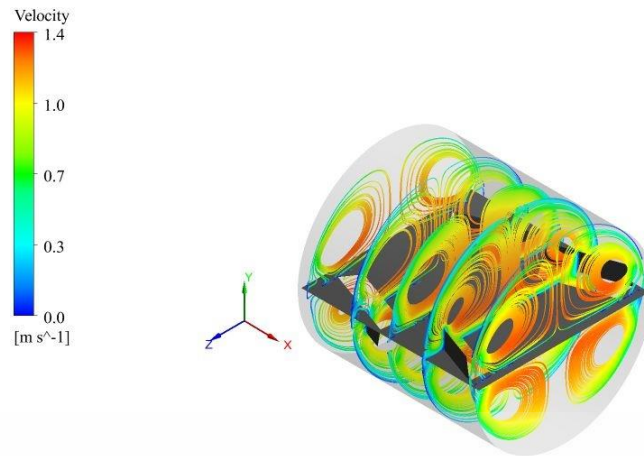
5.2.5 ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

ส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาการปรับปรุงรูปร่างปีกเพื่อให้ได้รูปร่างปีกที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด โดยศึกษารวมไปถึงอิทธิพลมุมปะทะและระยะพิตช์ของแบบจำลองของท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ที่ $BR=0.1$ $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 40° ที่ค่า $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 จากการศึกษาพบว่า การใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ ซึ่งเป็น การปรับปรุงรูปแบบที่ 1 ซึ่งพัฒนามาจากปีกสี่เหลี่ยมคู่กำหนดค่าไว้ที่ความยาวฐานเท่ากัน ดังแสดง ในรูปที่ 5.39

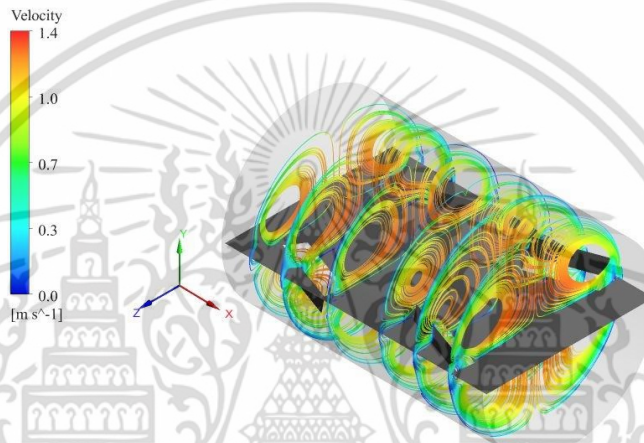


รูปที่ 5.39 ลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

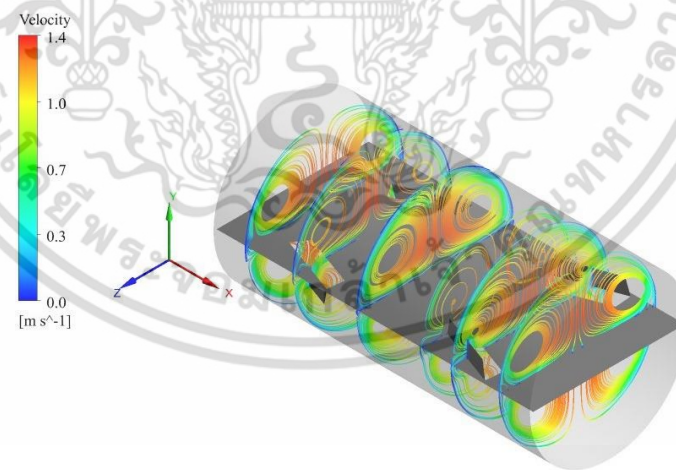
รูปที่ 5.40 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และ เปลี่ยนค่า (ก.) $PR=1.0$ (ข.) $PR=1.5$ และ (ค.) $PR=2.0$ ที่ค่า $\alpha=20^\circ$, $BR=0.1$, $Re=3000$ พบว่าเมื่อ ของไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่จะทำให้กระแสการไหลเกิดการหมุนคางของกระแส ส่งผลให้เกิดการ ผสมกันได้ดีขึ้นระหว่างของไหลเย็นบริเวณกลางท่อ และของไหลร้อนบริเวณผนังท่อ ทำให้เกิดการ แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่งขึ้นจึงเป็นผลต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ยังส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



(ก.)



(ข.)

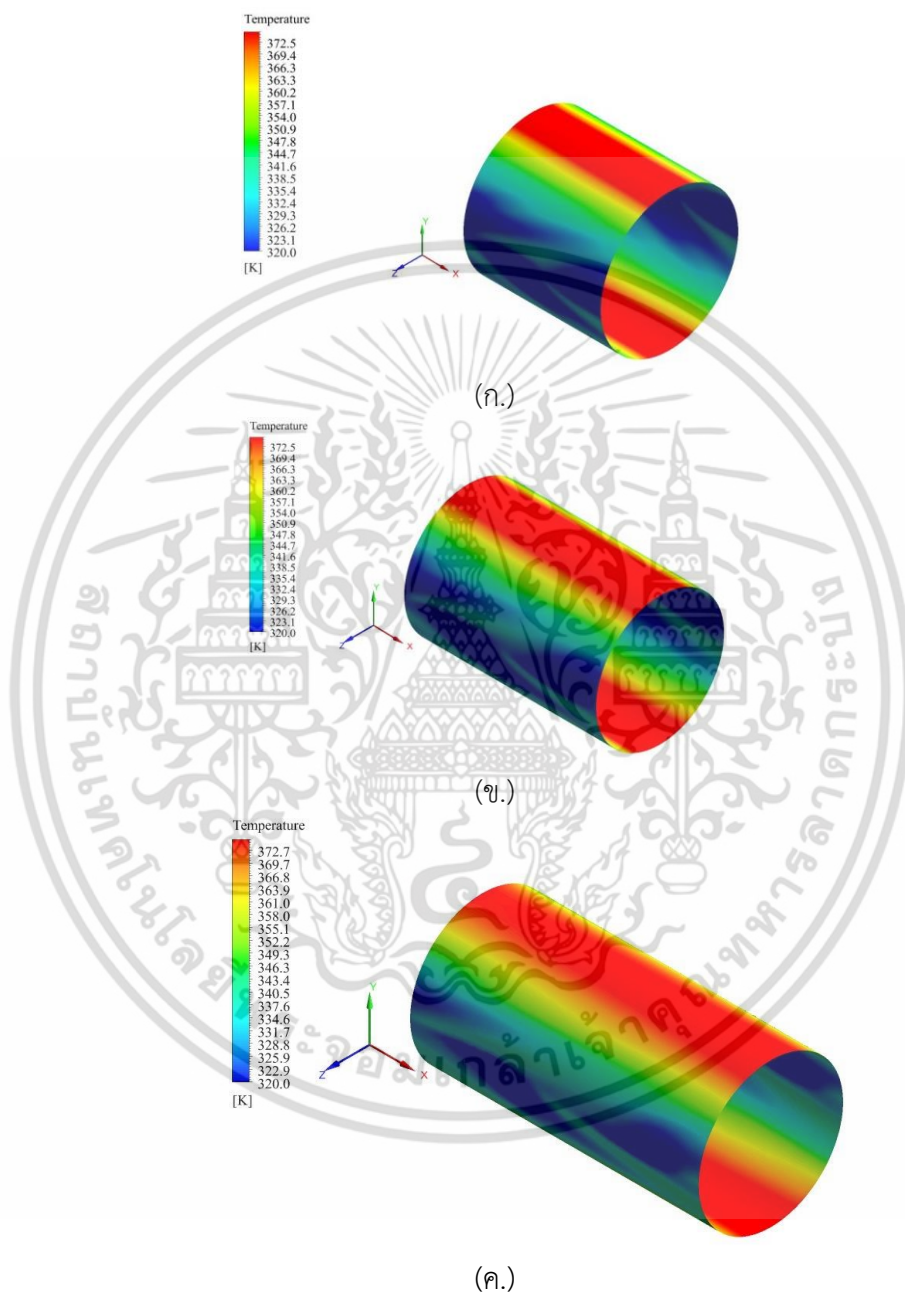


(ค.)

รูปที่ 5.40 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคู่และเปลี่ยนค่า
(ก.) PR=1.0 (ข.) PR=1.5 และ (ค.) PR=2.0 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$ ที่ BR=0.1 ที่ค่า Re=3000

รูปที่ 5.41 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ BR=0.1 ที่ค่า Re=3000 และมุมปะทะการไหล $\alpha=30^\circ$ ที่ PR=1.0, 1.5 และ 2.0 สำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมู เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่จะเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนอากาศยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของผนังท่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการปั่นป่วนบริเวณนั้นที่มีความรุนแรงน้อยเมื่อเทียบบริเวณผนังท่อด้านข้างพบว่าเกิดการผสมผสานกันของอากาศเป็นบริเวณกลางท่อและอากาศร้อนบริเวณผนังท่อได้ดีจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีบริเวณผิวท่อด้านข้างส่งผลให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงแต่ยังให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ต่ำกว่ากรณีปีกสี่เหลี่ยมคู้

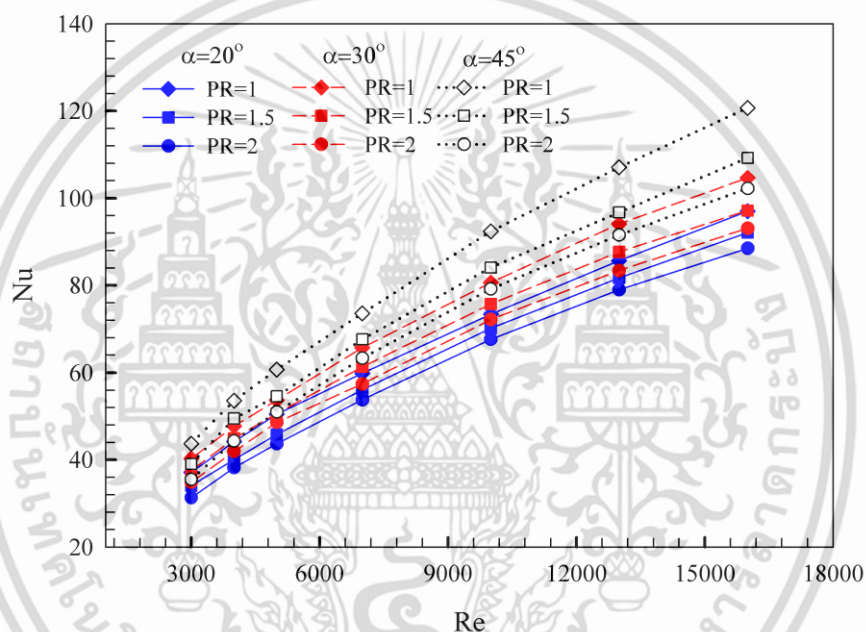


รูปที่ 5.41 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่และเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1.0 (ข.) PR = 1.5 และ (ค.) PR = 2.0 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ$ BR = 0.1 Re = 3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

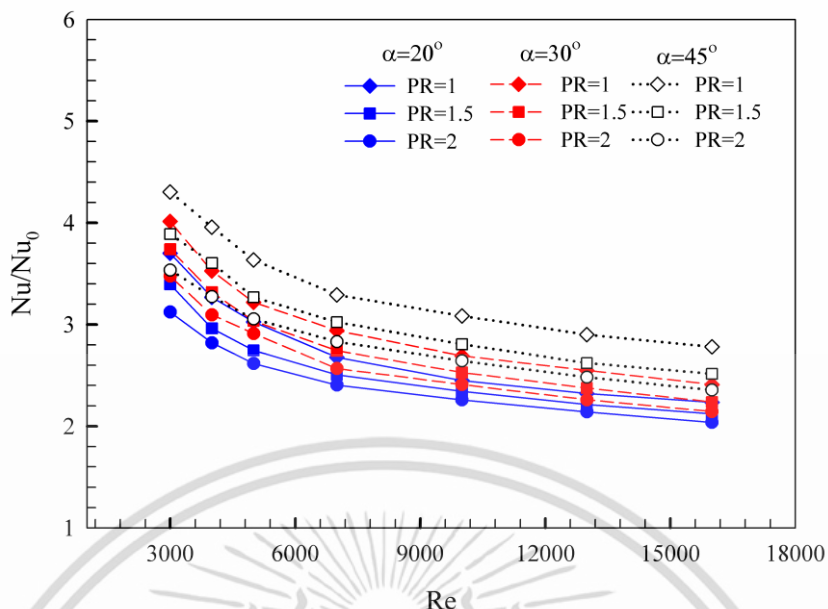
จากรูปที่ 5.42 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลเกิดการหมุนควงน้อยลงโดยใน กรณี PR=1.0 จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด ส่งผลให้กระแสของของไหลสามารถไหลไปกระทบกับผนังของท่อเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่ากรณีอื่น จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อ PR เพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

ในส่วนของมุมปะทะจากการศึกษาในครั้งนี้โดยสร้างแบบจำลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ พบว่าที่มุมปะทะสูงขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลเกิดการหมุนควงรุนแรงขึ้นและสามารถไหลไปกระทบกับผนังท่อส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่มุมปะทะสูงๆ กรณีมุม 45° จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

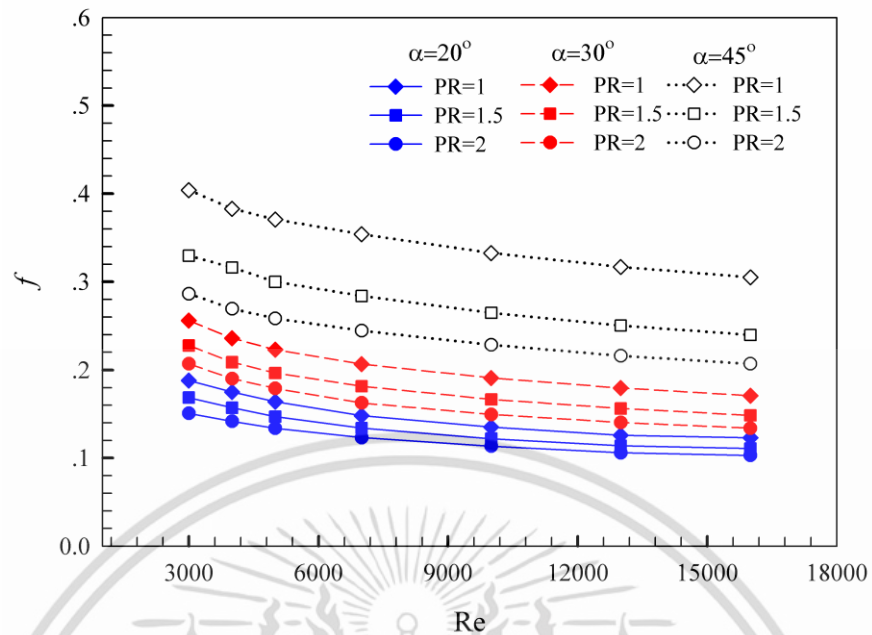
จากรูปที่ 5.43 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์มีค่าลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ค่ามุมปะทะการไหล $\alpha = 45^\circ$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์สูงสุดเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบโดยมีค่าเท่ากับ 5.11 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และพบว่าที่ค่า PR=1.0 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับ PR =1.5 และ PR =2.0 โดยสังเกตจากค่าเลขนัสเซลล์ท์ที่ลดลงเมื่อ PR เพิ่มขึ้น



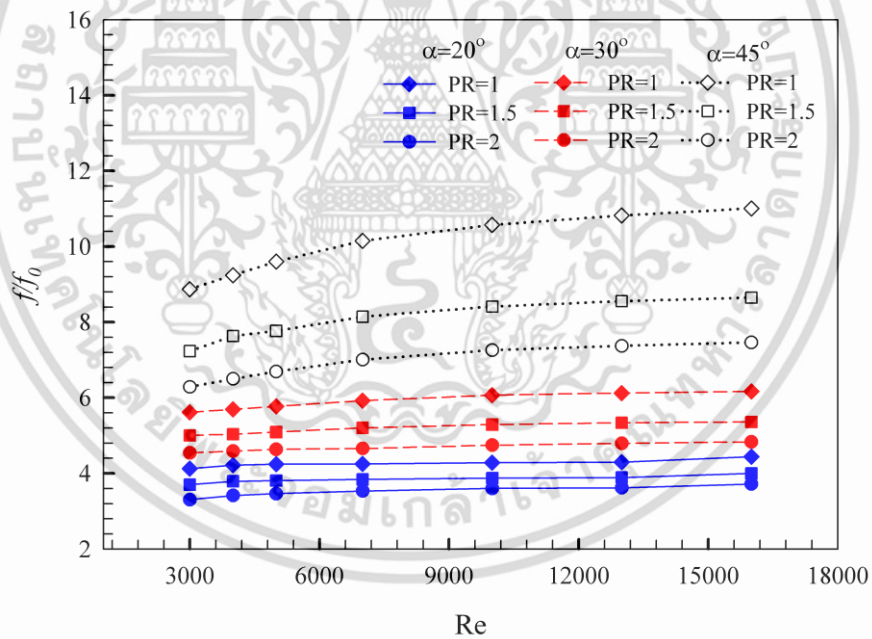
รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมู

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมู พิจารณาที่ค่า $BR=0.1$ ที่ $PR=1$ ซึ่งพิจารณาในช่วง $Re=3000 - 16,000$ ที่ $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.44-5.45

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $0.10 - 0.40$ ที่พิจารณาค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $3.30 - 11.00$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังปีกเช่นเดียวกันจากกราฟจะเห็นได้ว่าปีกสี่เหลี่ยมคางหมูให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่น้อยกว่ากรณีปีกสี่เหลี่ยมคางหมูและค่าการถ่ายเทความร้อนก็ลดลงด้วยเช่นเดียวกันดังนั้นจึงส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนไม่ดีเท่ารูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคางหมู



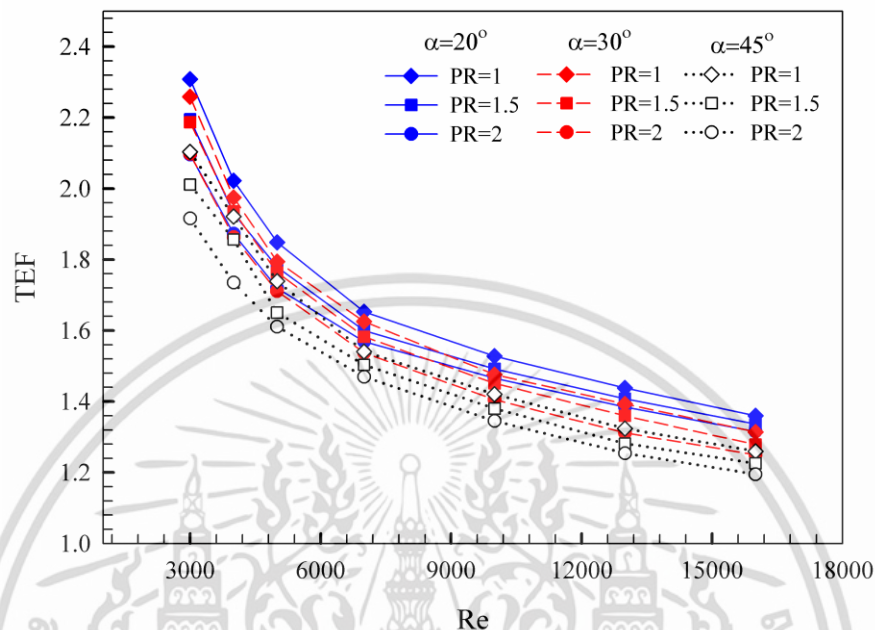
รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า BR=0.1 ที่ค่า PR=1.0, 1.5 และ 2.0 ซึ่งพิจารณาในช่วง Re=3000 – 16,000 ที่ค่า $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 40° ดังแสดงในรูปที่ 5.46

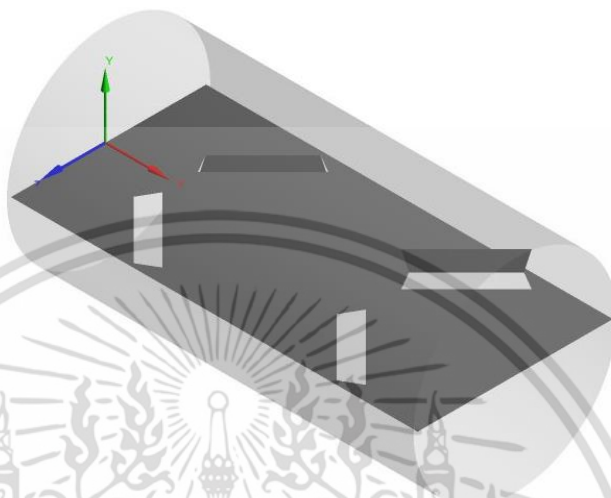


รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

จากรูปที่ 5.46 แสดงค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) กับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ที่เกิดขึ้นที่กำลังขับเคลื่อนเดียวกัน ในท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ที่ระยะพิตช์และมุมปะทะต่างกัน จากการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลข สังเกตเห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นสำหรับทุกระยะพิตช์และมุมปะทะต่างๆ เนื่องจากความเร็วจากการไหลยังไม่พอต่อการผสมกันระหว่างอากาศร้อนที่บริเวณผนังท่อกับตรงกลางท่อ โดยผ่านท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคู่กรณีที่มี $\alpha=20^\circ$ PR=1.0 ให้ค่า TEF ดีที่สุดเท่ากับ 2.30 ที่ Re=3000 ซึ่งพบว่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้มีค่าต่ำกว่ารูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคู่จึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงรูปแบบอื่นๆต่อไปเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมและให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด

5.2.6 ท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำ

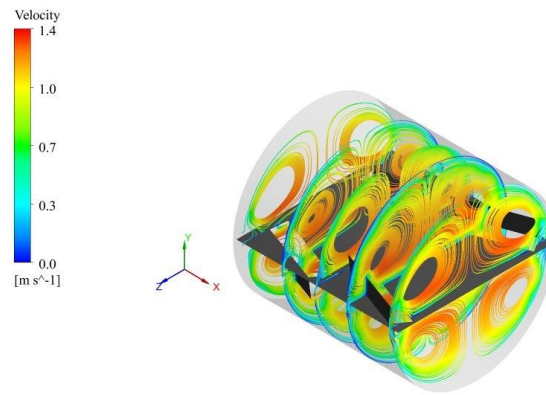
ส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลรูปร่างของแบบจำลองของท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำที่ $BR=0.1$ ที่ $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 45° ที่ค่า $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 รูปแบบปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำมีเป้าหมายเพื่อการเพิ่มค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น และลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้มีค่าน้อยลง ซึ่งจะส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนนั้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย



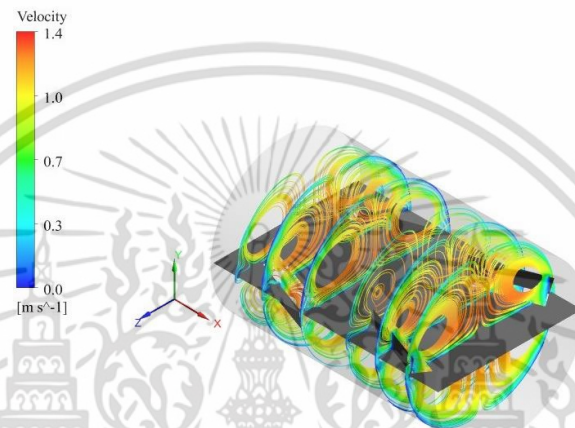
รูปที่ 5.47 แสดงลักษณะของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำ

รูปที่ 5.48 เส้นกระแสรไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำ และเปลี่ยนค่า (ก.) $PR=1.0$ (ข.) $PR=1.5$ และ (ค.) $PR=2.0$ ที่ $\alpha=20^\circ$ $BR=0.1$ พิจารณาที่ $Re=3000$ พบว่าเมื่อของไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำจะทำให้กระแสรไหลเกิดการหมุนควงของกระแส ส่งผลให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้นระหว่างของไหลเย็นบริเวณกลางท่อ และของไหลร้อนบริเวณผนังท่อ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่งขึ้นจึงเป็นผลต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่คว่ำยังส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

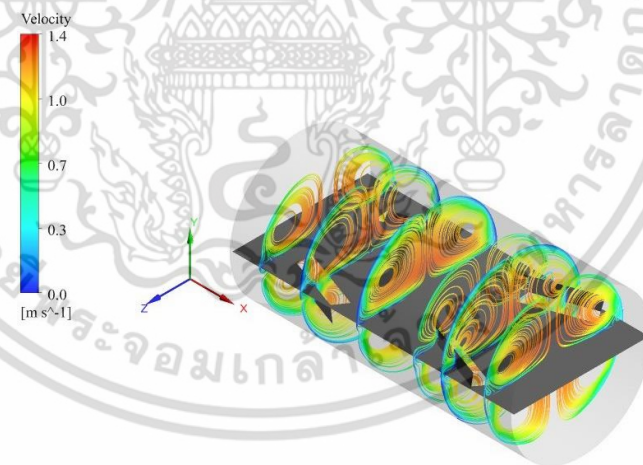
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก.)



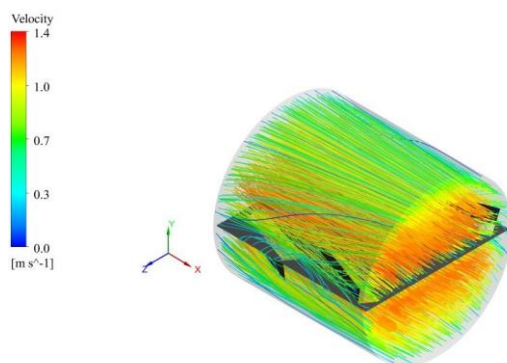
(ข.)



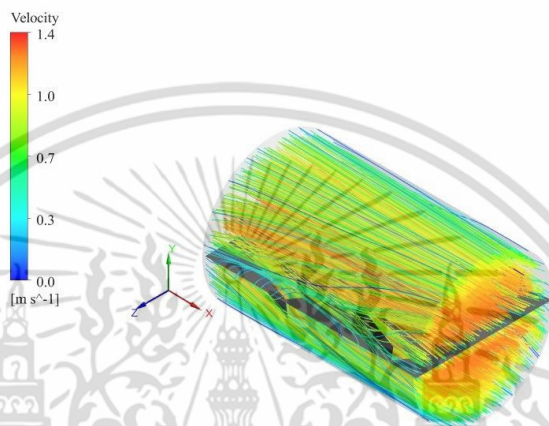
(ค.)

รูปที่ 5.48 เส้นกระแสการไหลสองมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคว่ำและเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1.0 (ข.) PR = 1.5 และ (ค.) PR = 2.0 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ$ BR = 0.1 ที่ค่า Re = 3000

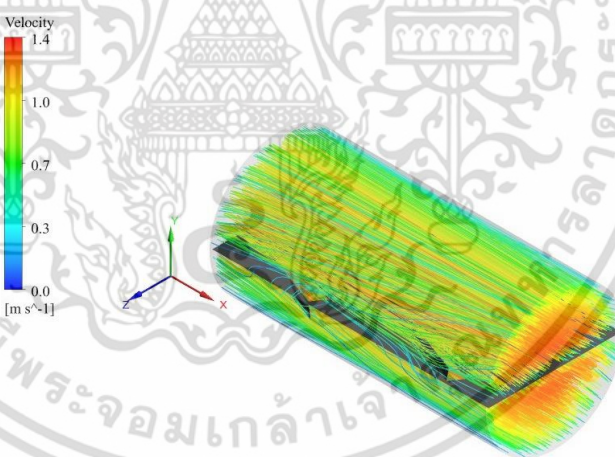
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก.)



(ข.)



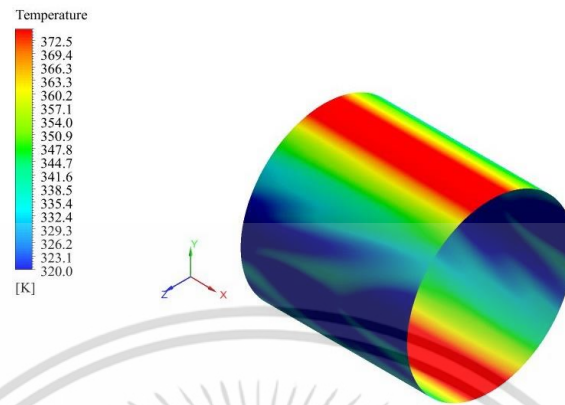
(ค.)

รูปที่ 5.49 เส้นกระแสการไหลสามมิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคว่ำและเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1.0 (ข.) PR = 1.5 และ (ค.) PR = 2.0 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ$ BR = 0.1 Re = 3000

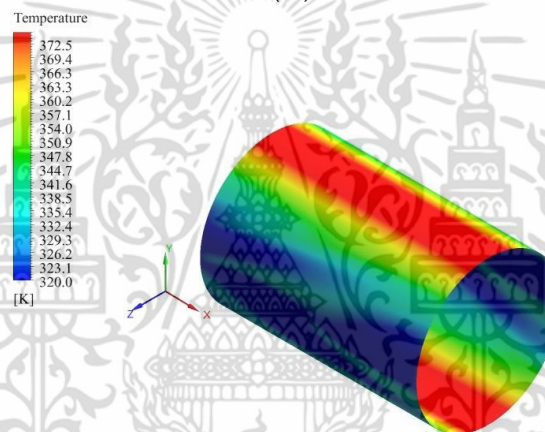
รูปที่ 5.50 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อที่ BR = 0.1 ที่ค่า Re = 3000 $\alpha = 20^\circ$ ที่ PR = 1.0, 1.5 และ 2.0 สำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคว่ำ เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคว่ำจะเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนอากาศยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของผนังท่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการปั่นป่วนบริเวณนั้นที่มีความรุนแรงน้อยเมื่อเทียบบริเวณผนังท่อด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

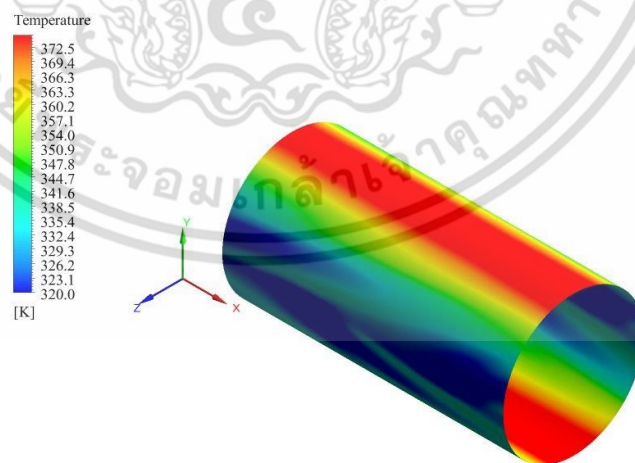
พบว่าเกิดการผสมผสานกันของอากาศเย็นบริเวณกลางท่อและอากาศร้อนบริเวณผนังท่อได้ดีจึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีบริเวณผิวท่อด้านข้างส่งผลให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ากรณีอื่นที่เราได้ทำการศึกษามา ดังแสดงในรูปที่ 5.50



(ก.)



(ข.)



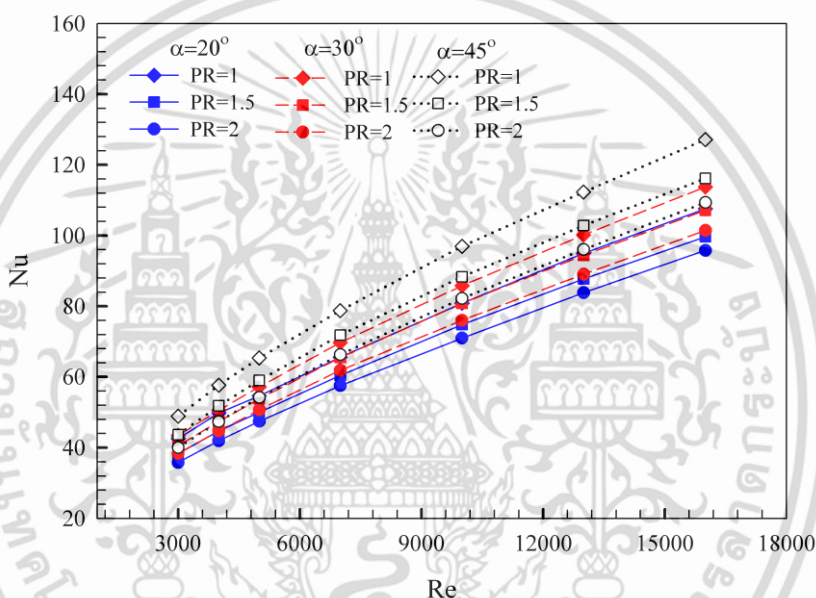
(ค.)

รูปที่ 5.50 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำและเปลี่ยนค่า (ก.) PR = 1.0
(ข.) PR = 1.5 และ (ค.) PR = 2.0 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ$ BR = 0.1 ที่ Re = 3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

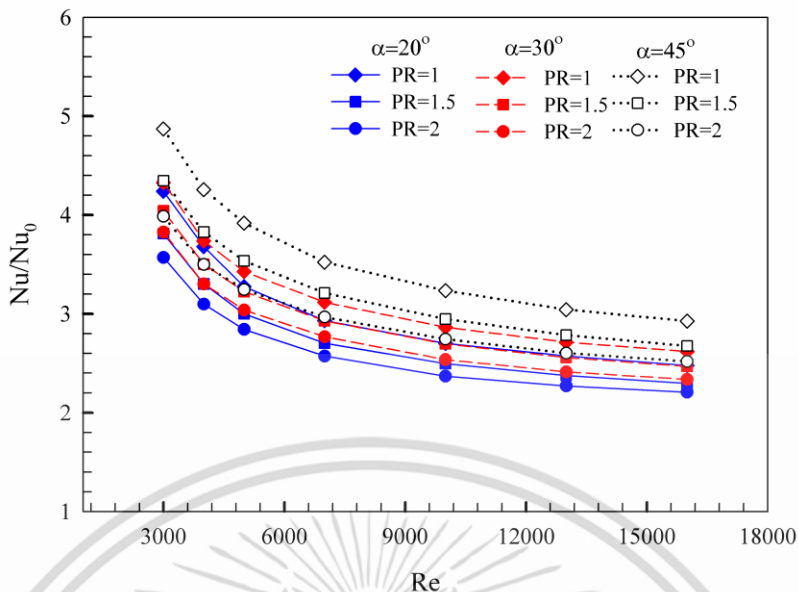
จากรูปที่ 5.51 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลมีการหมุนควงน้อยลงโดยใน กรณี PR=1.0 จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด ส่งผลให้กระแสของของไหลสามารถไหลไปกระแทกกับผนังของท่อเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่ากรณีอื่น จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อ PR เพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

และในส่วนของมุมปะทะ(α)จากการศึกษาในครั้งนี้โดยสร้างแบบจำลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ พบว่าที่มุมปะทะสูงขึ้นส่งผลให้กระแสการไหลเกิดการหมุนควงรุนแรงขึ้นและสามารถไหลไปกระแทกกับผนังท่อส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่มุมปะทะสูงๆ กรณีมุม 45° จะมีการหมุนควงที่รุนแรงที่สุด จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลสูงขึ้น



รูปที่ 5.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

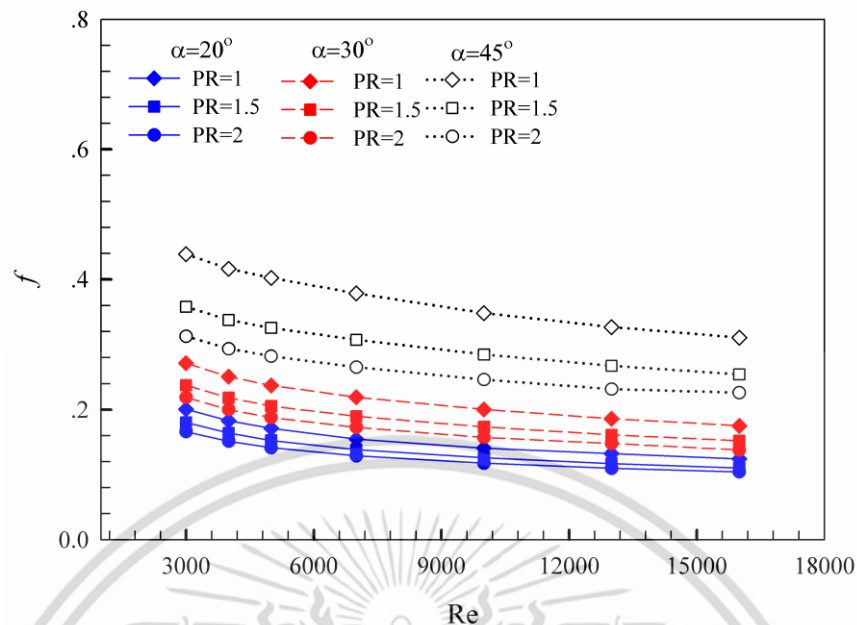
จากรูปที่ 5.52 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ค่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงสุดเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบโดยมีค่าเท่ากับ 5.11 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และพบว่าที่ค่า PR=1.0 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับ PR =1.5 และ PR =2.0 โดยสังเกตจากค่าเลขนัสเซลท์ที่ลดลงเมื่อ PR เพิ่มขึ้น



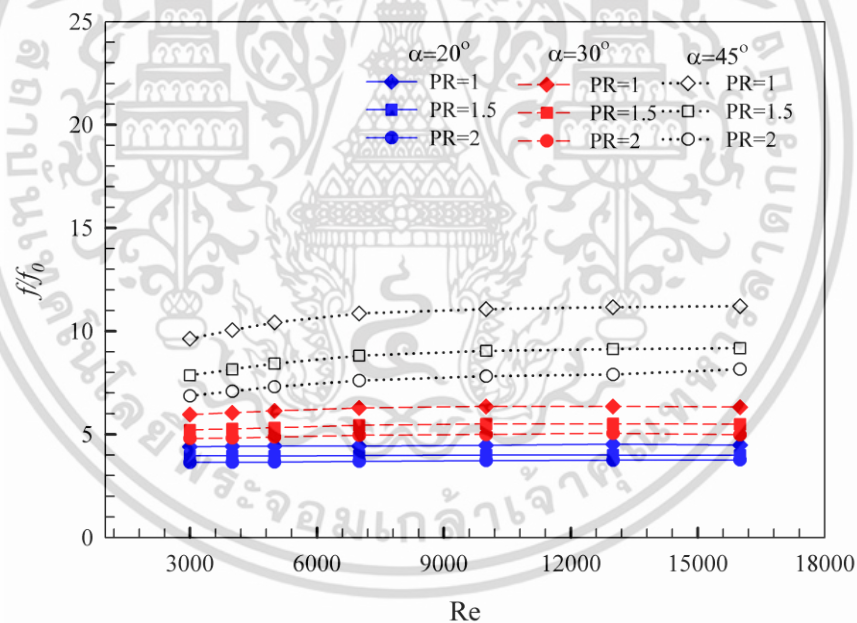
รูปที่ 5.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.1$ ที่ค่า $PR=1.0$ ซึ่งพิจารณาในช่วง $Re=3000 - 16,000$ ที่ $\alpha=30^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.53 - 5.54

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $0.10 - 0.43$ ซึ่งพิจารณาที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $3.63 - 11.21$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่มีช่องเปิดด้านหน้าและด้านหลังปีกเช่นเดียวกันจากกราฟจะเห็นได้ว่าปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่ากรณีปีกสี่เหลี่ยมและปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ ดังแสดงในรูปที่ 5.53 - 5.54



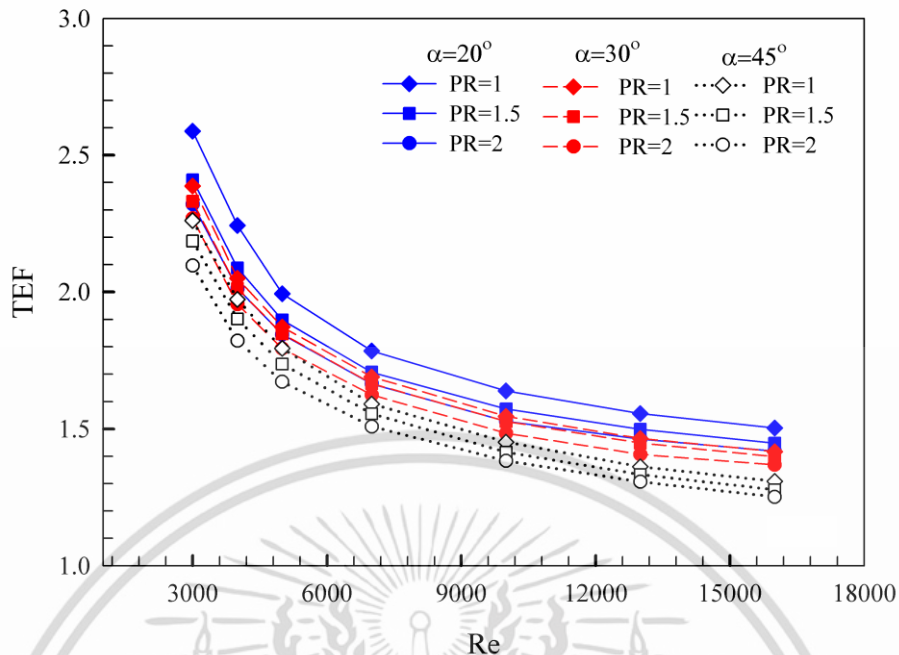
รูปที่ 5.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ



รูปที่ 5.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.1$ ที่ค่า $PR=1.0, 1.5$ และ 2.0 และพิจารณาช่วง $Re=3000 - 16,000$ ที่ค่า $\alpha=20^\circ, 30^\circ$ และ 40° ดังแสดงในรูปที่ 5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

จากรูปที่ 5.55 แสดงค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) กับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ที่เกิดขึ้นที่กำลังขับเคลื่อนเดียวกัน ในท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ระยะพิตช์และมุมปะทะต่างกัน จากการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลข สังเกตเห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นสำหรับทุกระยะพิตช์และมุมปะทะต่างๆ เนื่องจากความเร็วจากการไหลยังไม่พอต่อการผสมกันระหว่างอากาศร้อนที่บริเวณผนังท่อกับอากาศเย็นบริเวณตรงกลางท่อ โดยผ่านท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคว่ำกรณี $\alpha=20^\circ$ PR=1 ให้ค่า TEF ดีที่สุดเท่ากับ 2.62 ที่ $Re=3000$

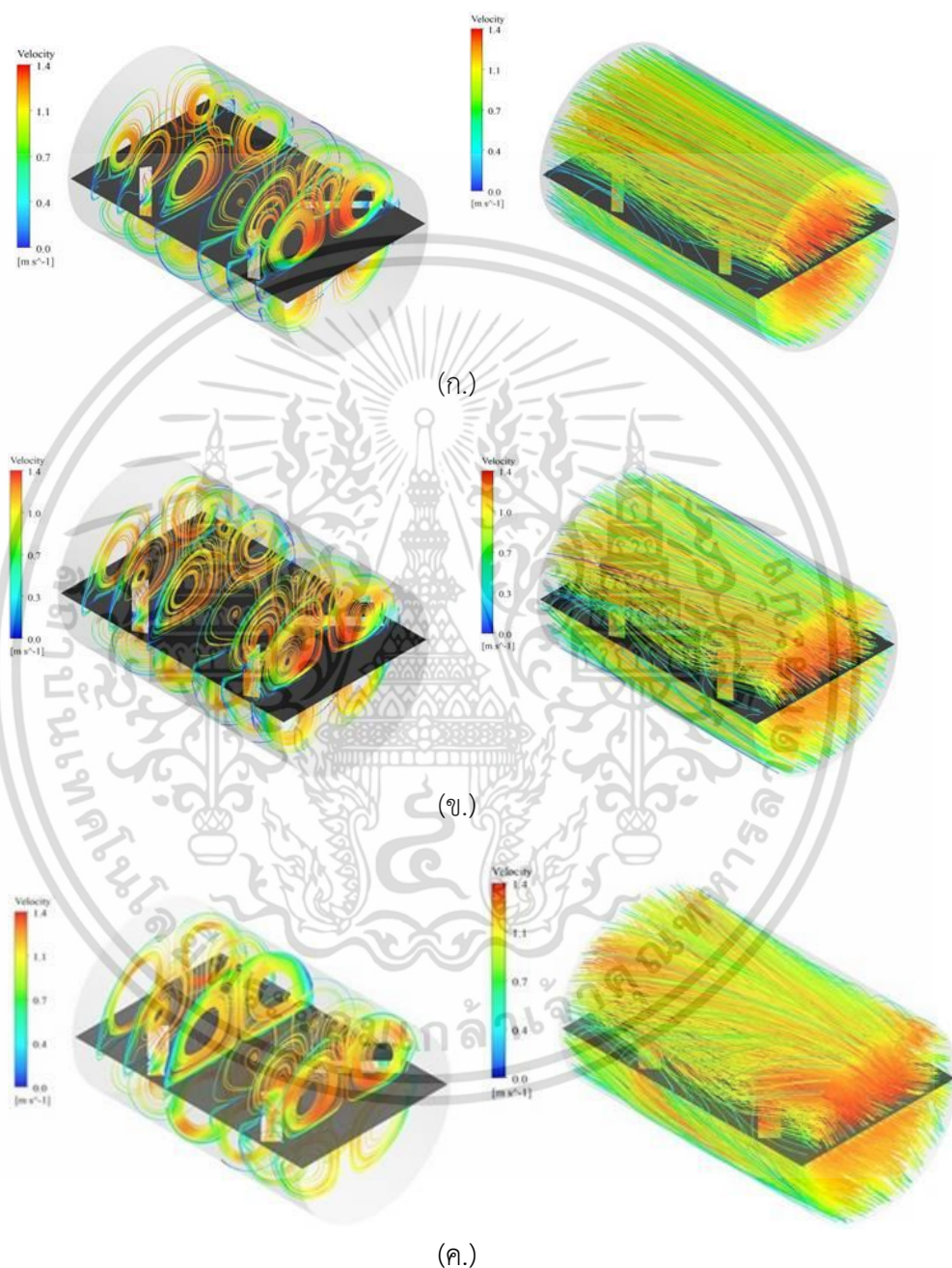
5.2.7 อิทธิพลความสูงปีก (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, BR)

ในส่วนของอิทธิพลของ BR ได้นำเสนอกรณีปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำสำหรับ $\alpha=30^\circ$ ที่ค่า PR = 1.0, 1.5 และ 2.0 ที่ $Re= 3000 - 16000$ ที่ค่า BR=0.06, 0.08 และ 0.1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมกรรมการไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมกรรมการไหลซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปแบบของเส้นกระแสการไหล 2 มิติและเส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบที่ PR เดียวกัน มุมปะทะการไหลเดียวกัน ที่ค่า BR ต่างๆซึ่งเส้นกระแสการไหล 2 มิติจะทำให้เห็นการหมุนวนย่อยๆที่เกิดขึ้นขณะของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ ส่วนเส้นกระแสการไหล 3 มิติ จะทำให้เห็นความรุนแรงของการปั่นป่วนเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ โดยเส้นกระแสการไหลทั้งสองรูปแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

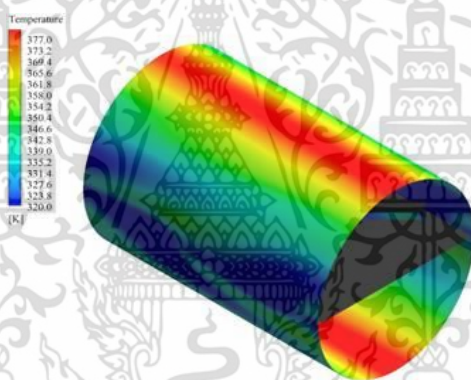
รูปที่ 5.56 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติ ที่ค่า $\alpha=30^\circ$, $PR = 1.5$ ที่ค่า $Re=3000$ สำหรับ (ก) $BR=0.06$ (ข) $BR=0.08$ (ค) $BR=0.1$ พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูว่าจะก่อให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น ซึ่งรูปที่ 5.56 พบว่าที่ $BR=0.06$ จะมีการปั่นป่วนที่รุนแรงน้อยที่สุด และเมื่อค่า BR เพิ่มขึ้นส่งผลให้การปั่นป่วนมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยที่ค่า $BR=0.1$ พบว่าเกิดการปั่นป่วนที่รุนแรงมากที่สุด



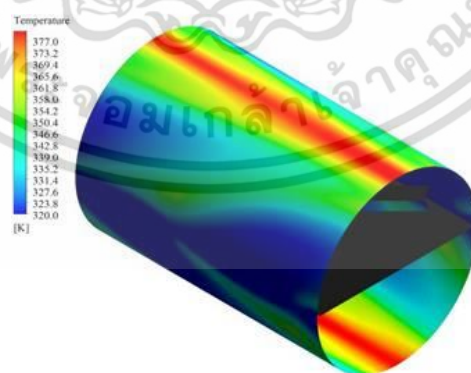
รูปที่ 5.56 เส้นกระแสการไหล 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ค่า BR ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อ ดังรูปที่ 5.57 ที่ค่า $BR=0.06$, 0.08 และ 0.1 รูปที่ 5.57 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อที่ค่า $\alpha=30^\circ$, $PR = 1.5$ พิจารณาที่ช่วง $Re=3000$ สำหรับ (ก.) $BR=0.06$ (ข.) $BR=0.08$ และ (ค.) $BR=0.1$ เมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิที่ผิวท่อ จะเห็นได้ว่าที่ค่า $BR=0.06$ จะเห็นได้ว่าบริเวณผนังท่อด้านบนอากาศยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีแดง ส่วนผนังท่อด้านข้างนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าอากาศบริเวณนั้นเริ่มมีอุณหภูมิต่ำลงแสดงว่าบริเวณนั้นเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีซึ่งสังเกตได้จากคอนทัวร์สีฟ้าและสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นผลมาจากความปั่นป่วนที่มีความรุนแรงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่า BR อื่นๆ ดังรูปที่ 5.56 แต่เมื่อพิจารณาที่ BR สูงขึ้นพบว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำหรือคอนทัวร์สีฟ้าหรือสีน้ำเงินเริ่มมีการกระจายไปยังบริเวณใกล้ผิวท่อมากขึ้นอันเป็นผลมาจากการปั่นป่วนที่มีความรุนแรงมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังปรากฏอากาศที่อุณหภูมิสูงหรือคอนทัวร์สีแดงอยู่บริเวณผนังท่อด้านบน พบว่าที่ค่า $BR=0.08$ และ $BR=0.1$ คอนทัวร์สีแดงเริ่มลดน้อยลงและอากาศที่อุณหภูมิต่ำหรือคอนทัวร์สีฟ้าและสีน้ำเงินได้กระจายไปยังบริเวณใกล้ผนังท่อมากขึ้น โดยเฉพาะ $BR=0.1$ เกิดการกระจายตัวของอากาศที่อุณหภูมิต่ำหรือคอนทัวร์สีฟ้าและสีน้ำเงินไปยังบริเวณใกล้ผนังท่อมากที่สุด และมีคอนทัวร์สีแดงเกิดขึ้นน้อยที่สุดอันเนื่องมาจากการปั่นป่วนที่รุนแรงที่สุดนั่นเอง

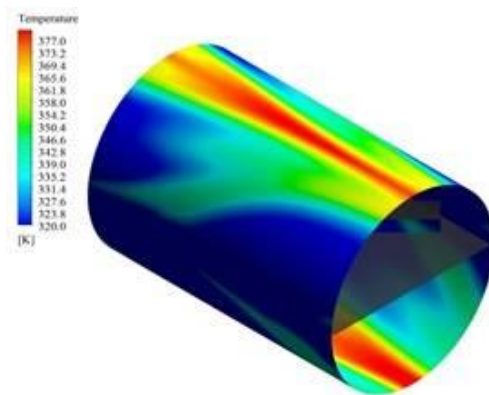


(ก.)



(ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

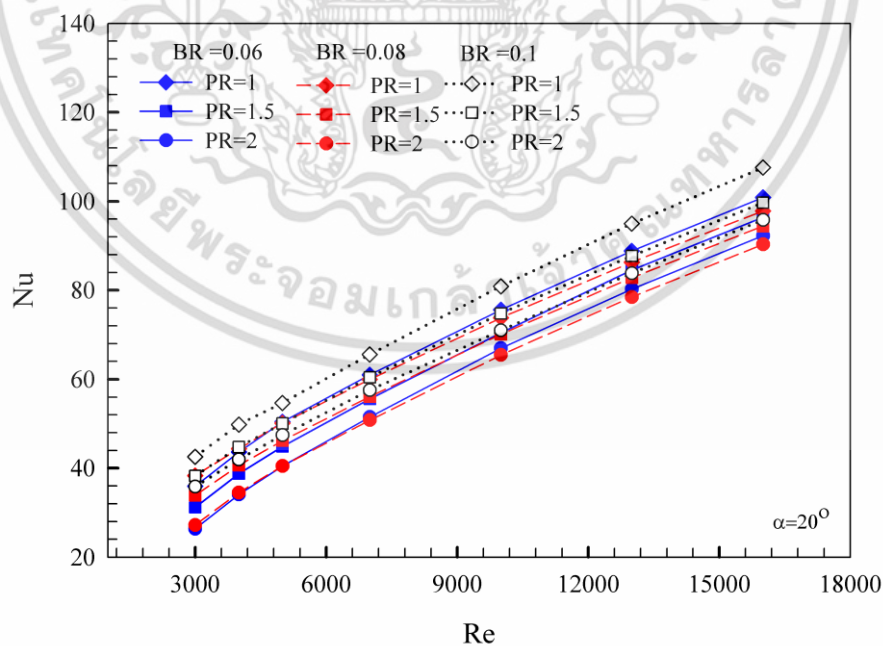


(ค.)

รูปที่ 5.57 การกระจายอุณหภูมิบริเวณผนังท่อสำหรับท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ

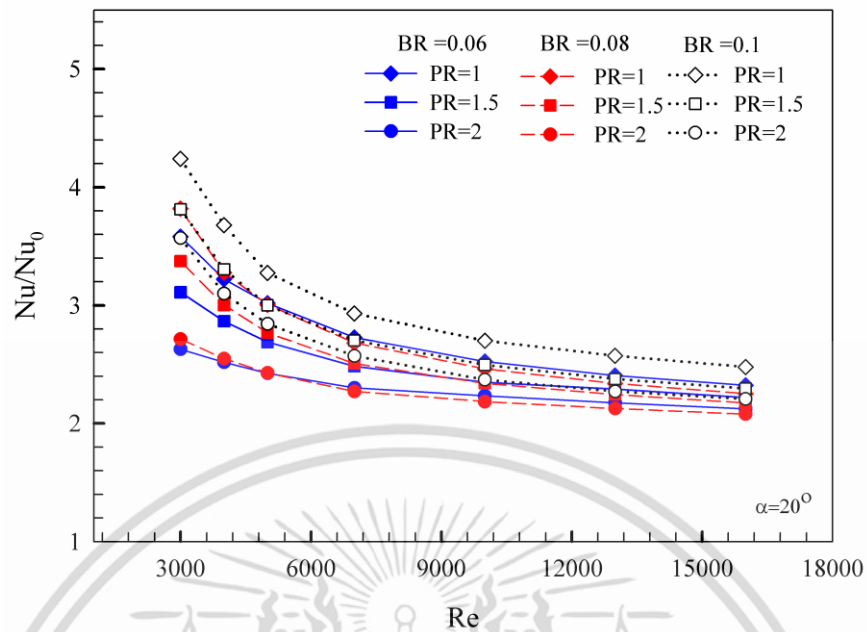
รูปที่ 5.58 - 5.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์, อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส ที่ $\alpha=30^\circ$ PR=1.5 พิจารณาที่ Re=3000 สำหรับ (ก) BR=0.06 (ข) BR=0.08 และ (ค) BR=0.1 เมื่อพิจารณาจากกราฟ จะเห็นได้ว่าที่ค่า BR=0.06 จะเห็นจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่เต็มที่ ซึ่งเป็นผลมาจากความปั่นป่วนที่มีความรุนแรงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่า BR อื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาที่ BR สูงขึ้นพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะ BR=0.1 มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จึงส่งผลให้กรณีที่ BR =0.1 ได้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับค่า BR อื่นๆ

ในส่วนของอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์จะเห็นได้ว่าที่ BR=0.1 จะได้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงที่สุดกว่าค่า BR อื่นๆ และจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อ Re เพิ่มขึ้นอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์จะมีค่าลดลง



รูปที่ 5.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ

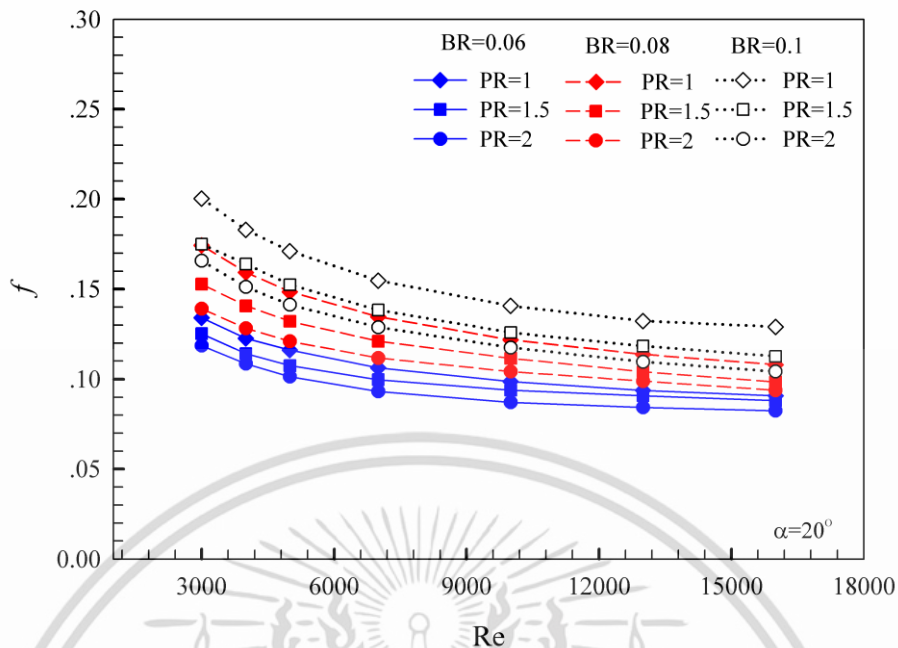
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



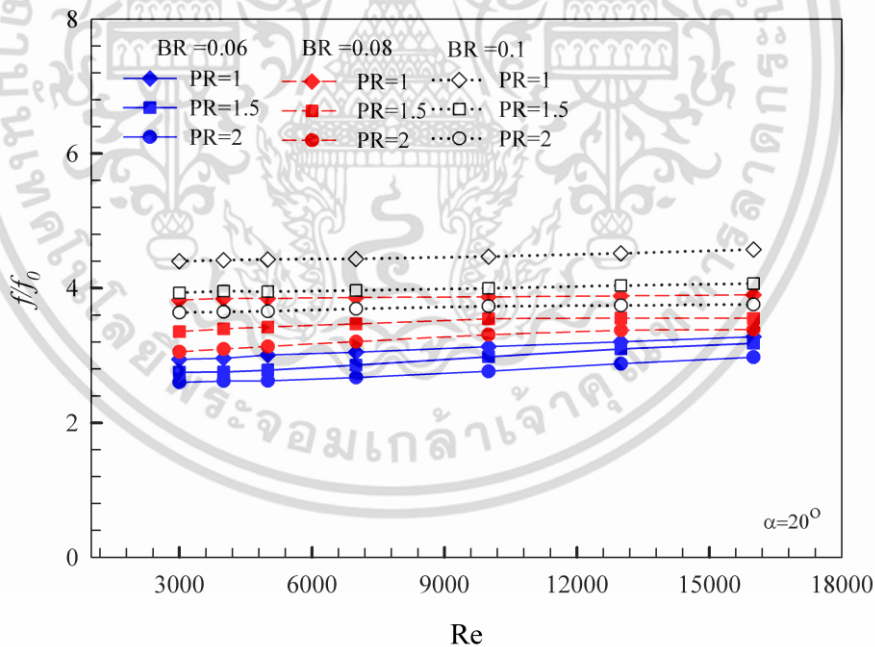
รูปที่ 5.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า $BR=0.06, 0.08,$ และ 0.1 $PR=1.0$ ในช่วง $Re=3000 - 16,000$ ที่ค่า $\alpha=20^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.60 - 5.61

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $0.064 - 0.15$ ที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดอยู่ในช่วง $2.60 - 4.57$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่า $Re=3000 - 16,000$ ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ จากกราฟจะเห็นได้ว่าปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ $BR=0.1$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่สูงกว่ากรณีที่ BR ต่ำๆ และเมื่อ Re เพิ่มขึ้นจะสังเกตเห็นว่า f มีค่าลดลงเล็กน้อย และในส่วนของ f/f_0 ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน



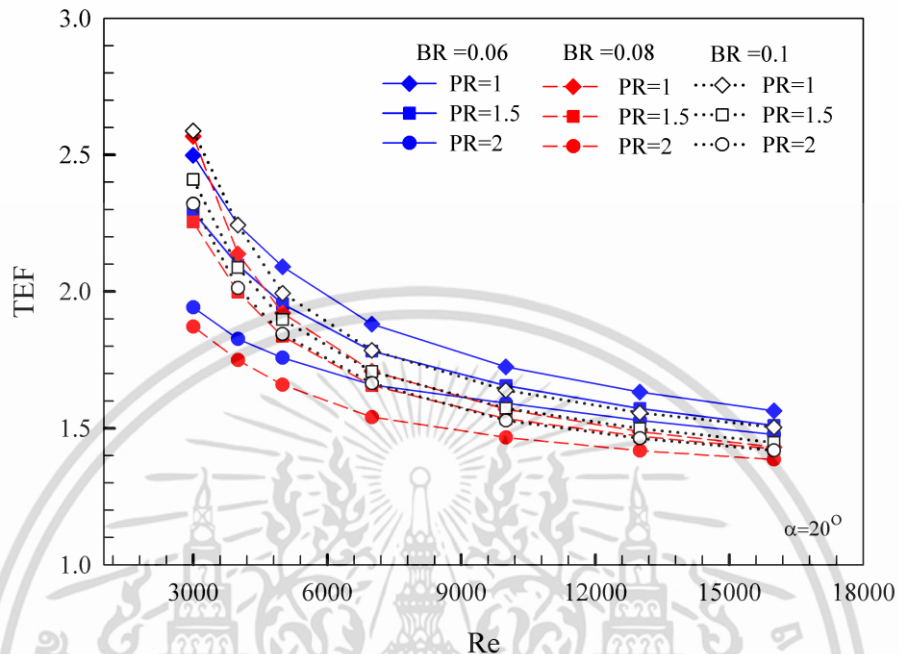
รูปที่ 5.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ



รูปที่ 5.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ค่า BR=0.06, 0.08 และ 0.1 PR=1.0 ซึ่งพิจารณาในช่วง Re=3000 – 16,000 ที่ค่า $\alpha=20^\circ$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.62



รูปที่ 5.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re ของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์จากรูปที่ 5.62 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.38 - 2.58 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ พิจารณาที่ค่า Re = 3,000 - 16,000 ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR ต่างๆ และพบว่าปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ BR = 0.1 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ากรณี BR=0.06 และ 0.08 เนื่องจากกรณีที่ BR=0.1 มีความรุนแรงของกระแสการไหลมากที่สุดทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ากรณีอื่นๆ และพบว่าท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่ารูปแบบอื่นๆ ที่ทำการศึกษา ดังนั้นปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำจึงเป็นรูปร่างที่เหมาะสมที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

5.3 การอภิปรายผลงานวิจัย

จากการศึกษาเมื่อใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่ภายในท่อกลมของผู้วิจัยพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาคือการใส่แผ่นบางพร้อมปีกคู่สามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของกระแสการไหล และเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน แต่เนื่องจากในงานวิจัยในอดีตนั้นส่วนมากจะนิยมใช้ ปีกสามเหลี่ยม และปีกสี่เหลี่ยม ซึ่งพบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้ยังมีค่าสูงอยู่ ซึ่งมีผลทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าต่ำลง เนื่องจากอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มมากขึ้นกว่าหลายเท่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกับการลดค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งได้ทำการศึกษาลักษณะการจัดวางปีกที่ตำแหน่งต่างๆ ศึกษาตำแหน่งช่องเปิดปีกที่เหมาะสม ปรับปรุงมุมปะทะการไหล (α) อัตราส่วนระยะพิตช์ (PR) อัตราส่วนการบล็อกการไหล (BR) ปรับปรุงรูปร่างปีก จากการศึกษานี้พบว่าการวางชนิดผนังท่อและมีช่องเปิดด้านหลังปีกปรับปรุงแล้วเหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยนี้พบว่ารูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำที่ ตำแหน่งการวางชนิดผนังท่อที่มีช่องเปิดด้านหลังปีก ที่มุมปะทะการไหล $\alpha=20^{\circ}, 30^{\circ}$ และ 45° ที่ PR=1.0, 1.5 และ 2.0 ของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 1.30 - 2.58 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ พิจารณาในช่วงของเลขเรย์โนลด์ส $Re=3000 - 16,000$

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่าเลขเรย์โนลด์สพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลง ส่วน f/f_0 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับกรณีที่ไม่ได้ทำมุมปะทะด้วย สำหรับกรณีที่ทำการศึกษา พบว่าที่ $Re = 16,000$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลที่เกิดขึ้นกับตัวประกอบเสียดทานยังต้องพิจารณาเป็นในแต่ละกรณีไป และนอกจากค่าเลขเรย์โนลด์สจะมีผลต่อ Nu/Nu_0 และ f/f_0 แล้วค่าเลขเรย์โนลด์สยังส่งผลต่อความปั่นป่วนของการไหลอีกด้วย โดยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สสูงขึ้นจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของการไหลมากขึ้นด้วย

6.1.2 อิทธิพลของตำแหน่งการจัดวาง

อิทธิพลที่เกิดจากตำแหน่งการจัดวางเปรียบเทียบระหว่างปีกที่วางบริเวณกลางท่อและปีกที่วางชิดผนังจากการศึกษาจะเห็นได้ว่าเมื่อวางปีกไว้บริเวณกลางท่อจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ และให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีที่ยาวปีกชิดผนังท่อ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการจัดวางปีกชิดบริเวณผนังส่งผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงกว่ากรณีที่ยาวปีกบริเวณกลางท่อ ดังนั้นตำแหน่งการจัดวางปีกคู่รูปร่างอื่นๆในการศึกษาเชิงตัวเลขในครั้งนี้จะจัดชิดผนังท่อ

6.1.3 อิทธิพลของตำแหน่งช่องเปิด

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ทำการออกแบบท่อที่ใส่แผ่นบางพร้อมปีกสี่เหลี่ยมที่มีการเปิดช่องด้านหน้าปีก และเปิดช่องด้านหลังปีก จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปิดช่องด้านหน้าปีก จะเห็นได้ว่าค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 น้อยกว่าท่อที่ใส่แผ่นบางเปิดช่องด้านหลังปีกดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ตำแหน่งช่องเปิดหลังปีกในการศึกษารูปแบบอื่นๆต่อไป เนื่องจากตำแหน่งการเปิดช่องด้านหลังปีกให้สมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงกว่า ที่ $TEF=2.52$ ที่ $BR=0.1$, มุมปะทะ $\alpha=20^\circ$ $PR=1.0$ $Re = 3000$

6.1.4 อิทธิพลของระยะพิตซ์และมุมปะทะ

พิจารณาอิทธิพลของ PR พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 และค่า f/f_0 จะมีค่าลดลง ส่วนที่ค่า PR ต่ำๆ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 สูง เนื่องจากเมื่อลดค่า PR ทำให้ลักษณะการไหลของไหลมีระยะการไหลตามยาวที่สั้นลง ทำให้เกิดความปั่นป่วนการไหลหมุนวนมากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามก็ยังให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน จึงต้องพิจารณาที่สมรรถนะเชิงความร้อนและการถ่ายเทความร้อนที่ได้ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

พิจารณาอิทธิพลของมุมปะทะการไหลพบว่า เมื่อมุมปะทะเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์และค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่มุมปะทะต่ำๆ อิทธิพลที่เกิดจากมุมปะทะนั้นพบว่าที่การปรับมุมให้มีขนาดมุมปะทะเล็กๆ ช่วยให้ค่าความดันตกคร่อมลดลงและในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงตามไปด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกันแล้วค่าการถ่ายเทความร้อนที่เสียไปน้อยกว่าค่าความดันตกคร่อมที่ลดลง การทำมุมปะทะให้มีขนาดเล็กจึงมีผลทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น

6.1.5 อิทธิพลของความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ Blockage ratios ($b/D=BR$)

งานวิจัยนี้ศึกษา 3 Blockage ratios ($b/D=BR$) คือ $BR=0.06, 0.08$ และ 0.1 จากการศึกษาพบว่า ที่ค่า BR ต่ำๆเหมาะสมกับกรณีที่ PR น้อยจะให้สมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงแต่เมื่อ PR สูงๆ BR ต่ำจะทำให้สมรรถนะเชิงความร้อนต่ำในงานวิจัยนี้พบว่าที่ $BR=0.06$ ที่ $PR = 1.0$ ให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าค่าอื่นๆ

6.1.6 อิทธิพลของรูปร่าง

อิทธิพลของรูปร่างในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาทั้งหมด 4 แบบ คือปีกสามเหลี่ยม ปีกสี่เหลี่ยม ปีกสี่เหลี่ยมคางหมู ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำ จากการศึกษาพบเมื่อกำหนดความยาวที่ฐานเท่ากันส่วนบนของสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำจะกว้างกว่ารูปแบบอื่นๆ และเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคว่ำส่งผลให้เกิดการไหลหมุนควงที่รุนแรงไปกระแทกกับผนังท่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลเย็นบริเวณกลางท่อและของไหลร้อนบริเวณผนังท่อ ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นและค่าตัวประกอบเสียดทานก็เพิ่มตามไปด้วยเช่นกันแต่ในกรณีนี้จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดในงานวิจัยนี้ ที่ $TEF=2.62$ ที่ $BR=0.1$ มุมปะทะ $\alpha=20^\circ$ $PR=1.0$ $Re=3000$

6.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้ทราบว่า การใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับทดสอบหาพฤติกรรมการไหล ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม มีข้อดีเนื่องจากสามารถช่วยประหยัดเวลาที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการทดลองได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงการทำนายถึงผลการจำลองที่มีความเป็นไปได้ สำหรับการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ศึกษาไปใช้งานจริงนั้น ค่าสมรรถนะทางความร้อนที่ได้ยังต้องคำนึงถึงความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องมือวัดที่นำมาใช้ทำการศึกษางานจริงด้วย

สำหรับแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไปนั้น เมื่อพิจารณาการใส่ปีกคู่ภายในท่อกลมซึ่งสามารถสร้างการหมุนควงของการไหล สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ แต่เนื่องจากในการศึกษารูปแบบของปีกรูปร่างต่างๆภายในท่อกลมนั้นยังให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูงจึงมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนยังไม่สูงมากนัก จากการศึกษาพบว่าระยะพิทช์และมุมปะทะการไหลที่ลดลงมีผลกับการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน และลดค่าความดันตกคร่อมได้ดี ดังนั้นการศึกษาลักษณะรูปร่างแบบอื่นเพิ่มเติมจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจต่อการนำไปศึกษาในอนาคตสำหรับปรับแต่งรูปแบบของปีกเพื่อสร้างการหมุนควงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Skullong, S., Promvong, P., Thianpong, C., and Jayranaiwachira, N., (2017). “Thermal behaviors in a round tube equipped with quadruple perforated-delta-winglet pairs” *Applied Thermal Engineering*, Vol. 115, December 2017, pp. 229-243
- [2] Tamna, S., Sripattanapipat, S., Promvong, P. (2016). “Numerical heat transfer study of turbulent tube flow through winglet-pairs” *Energy Procedia*, Vol. 100, September 2016, pp. 518-521
- [3] Chokphomemphun, S., Pimsarn, M., Thianpong, C., and Promvong, P. (2015). “Heat transfer augmentation in a circular tube with winglet vortex generators” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 23, December 2015, pp. 605-614.
- [4] Sripattanapipat, S. and Promvong, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol.36, January 2009, pp.32–38.
- [5] 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*, vol.113 (3), Aug 1991, pp. 590–596.
- [6] Promvong, P., Sripattanapipat, S., Tamna, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. (2010). Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45 deg inclined baffles, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.37(2), February 2010, pp. 170–177.
- [7] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1992). Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows, *ASME J. Heat Transfer*, vol.114(1), Feb 1992, pp. 56–64.
- [8] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1993). Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.36(4) , March 1993, pp. 931–940.
- [9] Patankar, S.V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.
- [10] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, 3rd edition John Wiley & Sons Inc.
- [11] 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*, vol.99 (2), May 1977, pp. 180–186.

- [12] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996). Introduction to heat transfer, 3rd edition John Wiley & Sons Inc.
- [13] Skullong, Promvongeb, Jayranaiwachirab, and Thianpongb(2016). Experimental and numerical heat transfer investigation in a tubular heat exchanger with delta-wing tape inserts. Vol 109, November 2016, Pages 164–177
- [14] Nianben, Z., Peng, L., Feng, S., Zhichun, L. and Wei, L. “Heat transfer enhancement in a novel internally grooved tube by generating longitudinal swirl flows with multi-vortexes” **Applied Thermal Engineering**. vol.95, Nov 2016. pp. 421–432.
- [15] Piroz, Z. “Heat transfer in counterflow heat exchangers with helical turbulators” **Common Nonlinear Sci Numer Simulat** vol.15, Oct 2010. pp. 2894–2907
- [17] Promvong, P., Jedsadaratanachai, W. and Kwankaomeng, S. “Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° inline angled baffle turbulators” **Applied Thermal Engineering** vol.30, Feb 2010. pp. 1292–1303.
- [18] Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P. and Dewitt, D.P. “Fundamentals of Heat and Mass Transfer” 7th ED. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. 2011.
- [19] Yakut, K., Sahin, B., and Canbazoglu, S.(2004). Flow induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers, *Applied Energy*, vol.78(3), July 2004, pp. 273–288
- [20] Muthusamy, C., Vivar, M., Skryabin, I. and Srithar, K.. (2013). Effect of conical cut-out turbulators with internal fins in a circular tube on heat transfer and friction factor, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.44, May 2013, pp. 64–68.
- [21] Eiamsa-ard, S. (2010). Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-ring, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.37(5), May 2010, pp. 560 -567



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg.K)	$\mu \times 10^7$ (N.s/m ³)	ν (m ² /s)	$k \times 10^6$ (W/m.K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)

ครั้งที่
12
12th

วันที่ 8-10 มิถุนายน 2559
ณ โรงแรมวังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก

ดำเนินการจัดประชุมโดย
มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

◀ **อุตสาหกรรม พลังงาน เพื่ออนาคตประเทศไทย** ▶

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENETT12-ET-284

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่
Numerical Heat Transfer Investigation of Turbulent Flow in Tube through Trapezoidal
Winglet Pairs

นฤมล อัครภูมิ¹ สมบัติ ทำนา² ณัตวิภา เจียรระโนวชิระ¹ และพงษ์เจต พรหมวงศ์^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ห้องปฏิบัติการวิจัยคณิตศาสตร์ประยุกต์และกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
เลขที่ 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

*Email: kpongjet@gmail.com, โทรศัพท์ 02-3298351 โทรสาร 02-3298352

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่อกลมแบบมีปลั๊กความร้อนที่ผิวท่อคงที่ โดยใช้ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE นำเสนอคุณลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อน ซึ่งอัตราการไหลของอากาศที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re) มีค่าตั้งแต่ 5000-20,000 ผลจากการใส่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมแสดงในรูปของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) และค่าตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) ตามลำดับ ผลจากการคำนวณพบว่าท่อกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ให้การถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อผิวเรียบ การลดลงของอัตราส่วนระยะพิทช์ (pitch ratio, $P_R=p/D$) ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้น ท่อที่ใส่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ที่ทำการศึกษา กรณีมุมปะทะ 30° , $P_R=1.0$ ที่ $Re=5000$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) สูงสุดเท่ากับ 1.76

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน ปีกสี่เหลี่ยมคางหมู เลขนัสเซลท์

Abstract

This paper presents a numerical heat transfer investigation in a constant heat-fluxed round tube fitted with trapezoidal winglet pairs. The computation based on the finite volume method and the SIMPLE algorithm has been implemented. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented and the airflow rate is varied for Reynolds number (Re) ranging from 5000 to 20,000. The effects of the tube with trapezoidal winglet pairs on heat transfer and pressure drop are shown in terms of Nusselt number and friction factor, respectively. The computation reveals that the tube fitted with trapezoidal winglet pairs provides higher heat transfer rate than the smooth tube with no insert. The decrease in P_R leads to the considerable increase of heat transfer rate and friction factor. The inserted tube with attack angle of 30° , $P_R=1.0$ at $Re=5000$ provides the highest thermal enhancement factor of about 1.76.

Keywords: heat transfer; Trapezoidal winglet; Nusselt number

1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยสำหรับการทดลองยังคงเป็นปัญหาสำหรับนักวิจัย เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยอีกด้วย รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่

ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิไม่เพียงพอ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้น จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข เข้ามาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ในทางอุตสาหกรรม ได้มีนักวิจัย

1693



คณะวิทยาศาสตร์ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

“อุตสาหกรรม-พลังงาน เพื่ออนาคตประเทศไทย”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนมากที่ศึกษาถึงเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์

เนื่องจากระบบท่อจริงในทางอุตสาหกรรมมีความยาวมากจึงมีผู้นำเสนอหลักการของการไหลที่มีการปรับตัวเต็มที่ในท่อ (fully develop) และมีการไหลแบบเป็นคาบ (periodic) ที่ทำการศึกษาโดย Eiamsa-ard และคณะ [1] ได้ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานจากการไหลในท่อที่มีการติดตั้งกรวยพรุน ที่มีอัตราส่วนระยะพิตซ์และจำนวนรูพรุนที่ต่างกัน โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบช่วงค่าเลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 4000-20,000 พบว่าการสอดใส่วงรูปกรวยมีผลช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น และจำนวนรูพรุนของกรวยก็ส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อด้วยเช่นกัน Muthusamy และคณะ [2] ซึ่งศึกษาผลของอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนรูปกรวยต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทาน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใส่ตัวสร้างความปั่นป่วนรูปกรวยภายในท่อกลมช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น Yakut และคณะ [3] ยังได้ศึกษาผลกระทบของตัวสร้างความปั่นป่วนต่อการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วน, ความดันลด และการไหลที่เกิดจากการสั่นสะเทือน Sripattanapipat และ Promvong [4] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขที่ไหลแบบราบเรียบ 2 มิติภายในช่องขนานที่ติดแผ่นกันรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแนวเอียง โดยพิจารณาการไหลแบบช้าเป็นช่วงอย่างสมบูรณ์ (fully periodic) ใช้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังช่องการไหลคงที่ พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่าเลขเรย์โนลด์สที่ใช้มุมยอดเพชรที่ 5° และ 10° ให้ค่าตัวประกอบเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชรที่ 0° (แผ่นกันแบน) Han และคณะ [5] ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดครีบบนผนังสองด้านโดยใช้รูปทรงครีบบางต่างกัน 9 แบบ และแต่ละรูปทรงจะพิจารณาที่ค่าระยะพิตซ์ต่อความสูงครีบท่ากับ 10 และ ความสูงครีบท่อความสูงท่อเท่ากับ 0.0625 ผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและตัวประกอบเสียดทานพบว่าครีบบางทำมุม และครีบบรูปตัววีให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าครีบบยาวต่อเนื่อง และยังพบว่าที่มุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดในจำนวนครีบบที่วาง

เอียง Promvong และคณะ [6] ทำการศึกษาวิจัยโดยอาศัยวิธีการใช้การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกันเอียงมุม 45° บนผนังด้านหนึ่งของท่อ พบว่าแผ่นกันวางเอียงทำให้เกิดการไหลหมุนควงแบบคู่ ซึ่งกระแสการไหลที่หมุนวนนี้จะไปกระแทกส่วนที่เป็นผนังท่อทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยให้ค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.20 ที่ค่า BR=0.4 ที่ Re=1200 Liou และ Hwang [7,8] ได้ทำการทดลองครีบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ครีบบสามเหลี่ยม และครีบบครึ่งวงกลม พบว่าครีบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้การถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในครีบบทั้งหมดที่ทดลอง Patankar และคณะ [11] ได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการเพิ่มตัวสร้างการไหลปั่นป่วนในลักษณะต่างๆ โดยการใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

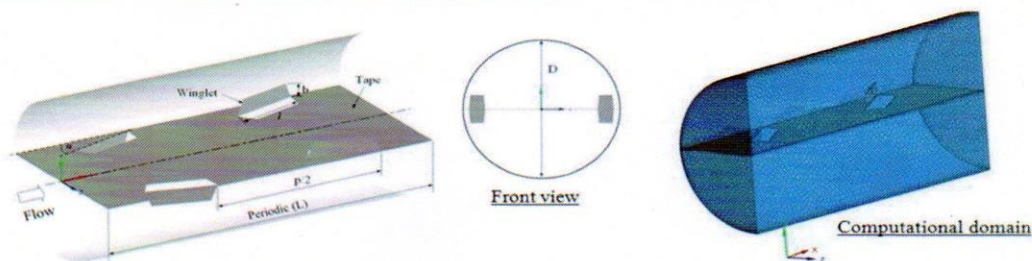
จากผลงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ทำการศึกษาอิทธิพลของครีบบและแผ่นกันในช่องขนานและท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการศึกษาอิทธิพลของปีกสี่เหลี่ยมคางหมูมีผู้นำเสนอในงานวิจัยค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติในท่อกลมที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ โดยศึกษาผลของอัตราส่วนระยะพิตซ์ และมุมปะทะ ที่มีอิทธิพลต่อตัวประกอบเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ลักษณะการไหล และค่าความเสียดทาน

2. การสร้างแบบจำลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่

ในการศึกษาเชิงตัวเลขนี้ พิจารณาท่อกลมที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ มีความยาวของฐานปีก $l = 20$ mm และความสูง $b = 5$ mm โดยมุมเอียงหรือมุมปะทะการไหลของปีกมีสองค่าคือ $\alpha = 30^\circ$ และ 45° มีระยะห่างระหว่างปีกสี่เหลี่ยมคางหมูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหรือระยะพิตซ์สามค่าคือ $P_r = p/D = 1.0, 1.5$ และ 2.0 ตามลำดับ ท่อที่ใช้ในการจำลองมีเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 50$ mm ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic





รูปที่ 1 ท่อกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมู และโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic

2.2 สมมติฐาน

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม มีสมมติฐานดังต่อไปนี้ การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ โดยมีการไหลแบบราบเรียบและเป็นอัดตัวไม่ได้ กำหนดให้คุณสมบัติของของไหลคงที่ ไม่คำนึงแรงโน้มถ่วง, การสูญเสียเนื่องจากความหนืดและการแผ่รังสีความร้อน

2.3 สมการที่เกี่ยวข้อง

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลผ่านตัวสร้างการไหลหมุนวนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง, สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho u_i u_j' \right] \quad (2)$$

สมการพลังงาน:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\Gamma + \Gamma_r) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

เมื่อ Γ และ Γ_r คือ การแพร่ทางความร้อนและการแพร่ทางความร้อนแบบปั่นป่วนตามลำดับ โดย

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad \text{และ} \quad \Gamma_r = \frac{\mu}{Pr_r} \quad (4)$$

สมการควบคุมซึ่งได้แก่สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงานจะใช้แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก (QUICK) และทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม โดยการใช้แผนผังวิธีแบบ SIMPLE ในการคำนวณเชิงตัวเลข

ในการวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ชนิดคือ เลขเรย์โนลด์ส (Re) ตัวประกอบเสียดทาน (f) เลขนัสเซลท์ (Nu)

และตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์ส สามารถนิยามได้โดย

$$Re = \frac{uD}{\nu} \quad (5)$$

สำหรับตัวประกอบเสียดทาน สามารถคำนวณได้จากความดันตกคร่อม, (Δp) ตลอดของช่วงความยาว periodic ที่อากาศไหลผ่านตลอดแนวความยาวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนี้

$$Re = \frac{2D(\Delta P)}{L\rho u^2} \quad (6)$$

การถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จากเลขนัสเซลท์ที่จุดใดๆ สามารถเขียนได้ในรูป

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (7)$$

และสมรรถนะเชิงความร้อน

$$TEF = (Nu/Nu_0)(f/f_0)^{1/3} \quad (8)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนผิวเรียบ ตามลำดับ

2.4 เงื่อนไขขอบ

แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณได้พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ Periodic Translation อากาศที่ 300 K และค่าเลขพรานด์เทอ์เท่ากับ 0.7 ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ ให้คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า ให้ที่ผิวของท่อกลมมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2 ไม่มีการสิ้นเปลืองที่ผิวหรือความเร็วที่ผิวที่มีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผิวท่อที่อยู่กับที่ รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน ให้ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูเป็นแผ่นบางและความร้อนไม่สามารถผ่านได้(ฉนวน)

3. ผลการจำลองและการอภิปราย

3.1 โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

สำหรับการไหลในท่อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือ 50,000, 100,000, 250,000 และ 450,000 พบว่าจำนวนตั้งแต่ 250,000 ให้ค่า

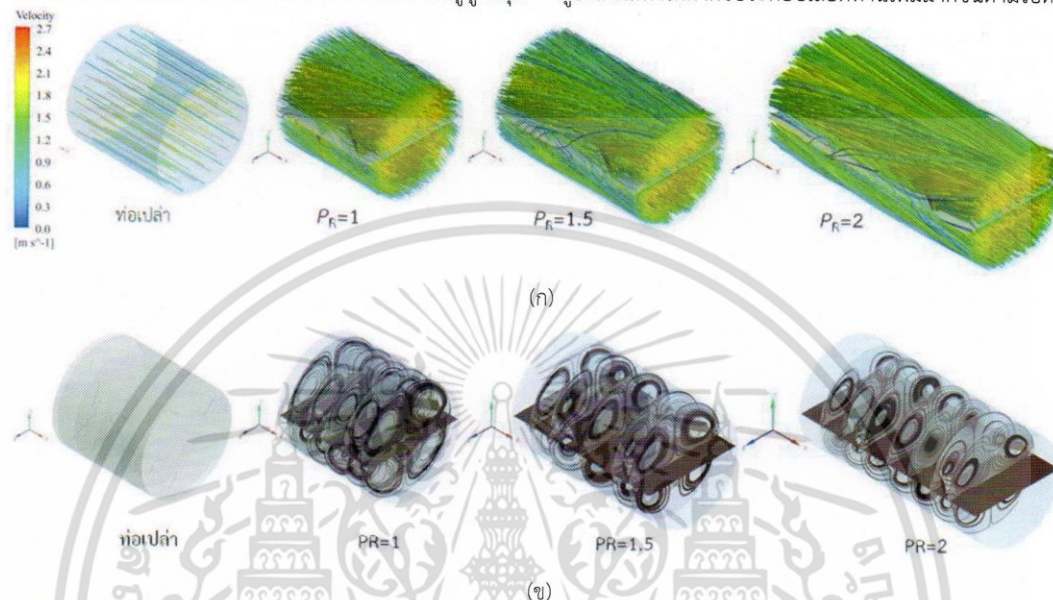


เลขนีสเซลท์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.9% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 250,000 ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไป

3.2 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 2 แสดงถึงเส้นกระแสไหล 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับท่อเปล่าและท่อกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มีมุม

ปะทะ 30° พบว่าเมื่อของไหลไหลในท่อผิวเรียบเส้นกระแสไหลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง แต่เมื่อไหลผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูจะทำให้กระแสการไหลเกิดการหมุนควงของกระแส ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นผลต่อเนื่องให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูก็ยังส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

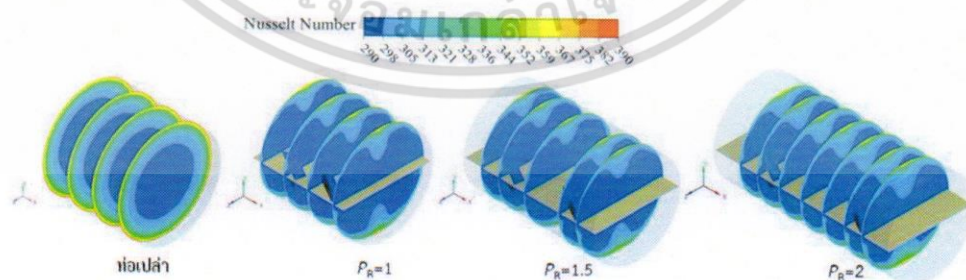


รูปที่ 2 เส้นกระแสการไหลของของไหลภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมู โดย (ก) เส้นกระแสการไหล 3 มิติ และ (ข) เส้นกระแสนวนนาบขวาง ที่มีมุมปะทะ 30°, $Re=5000$

3.3 การกระจายอุณหภูมิในการไหล

รูปที่ 3 (ก) แสดงถึงการกระจายของอุณหภูมิบริเวณผิวท่อและ(ข) ในระนาบขวางการไหลสำหรับท่อเปล่าและท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูที่ค่า PR ต่างๆ พบว่าการไหลแบบปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูส่งผลให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น สังเกตได้จากคอนทัวร์อุณหภูมิสำหรับท่อเปล่าซึ่งพบว่า บริเวณใกล้กับผนังท่อของไหลยังมี

อุณหภูมิสูง (คอนทัวร์สีแดง) และที่บริเวณกลางท่อเป็นอุณหภูมิต่ำ (คอนทัวร์สีน้ำเงิน) ในขณะที่ท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูนั้น การปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการไหลจะส่งผลให้ของไหลที่มีอุณหภูมิเย็นที่บริเวณกลางท่อกระจายไปรับความร้อนที่ผิวท่อได้ดีขึ้น ซึ่งที่มุมปะทะ 30° $PR=1.0$ ที่ค่า $Re=5000$ พบว่ามีการผสมกันของของไหลดีที่สุด

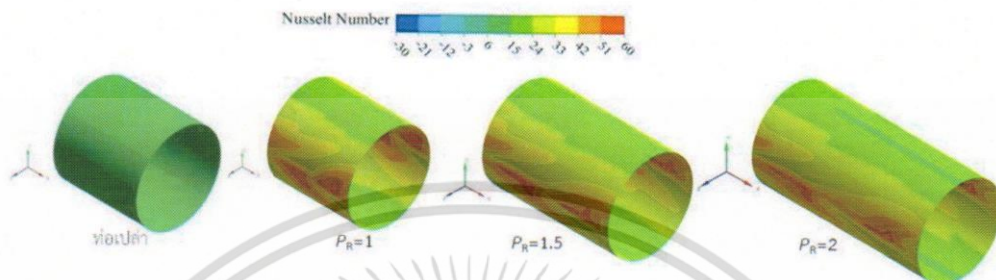


รูปที่ 3 คอนทัวร์ของอุณหภูมิมบนระนาบตัดขวาง ที่ $\alpha=30^\circ$, $Re=50000$

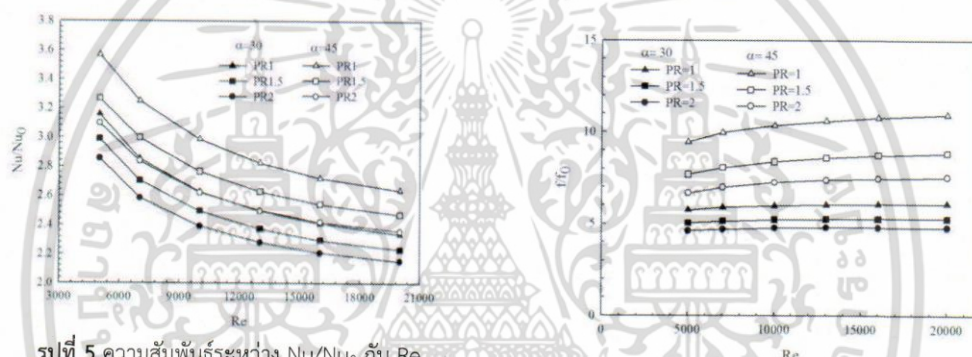
3.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงคอนทัวร์ของเลขนัสเซลท์ที่บริเวณผนังท่อเปล่าและท่อที่มีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูที่ค่า P_R ต่างๆ พบว่าจากการหมุนควงของกระแสการไหลที่เกิดจากการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมู ส่งผลให้ของไหลเกิดการผสมกัน

ได้ดีขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ และพบว่าเมื่อค่า $P_R=1.0$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับ $P_R=1.5$, และ $P_R=2$ โดยสังเกตจากคอนทัวร์สีแดงที่มีพื้นที่เยอะที่สุดบนผนังท่อ



รูปที่ 4 การกระจายเลขนัสเซลท์ที่บริเวณผนังท่อเปล่าและท่อที่มีปีกสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มุมปะทะ 30° , $Re=5000$



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re

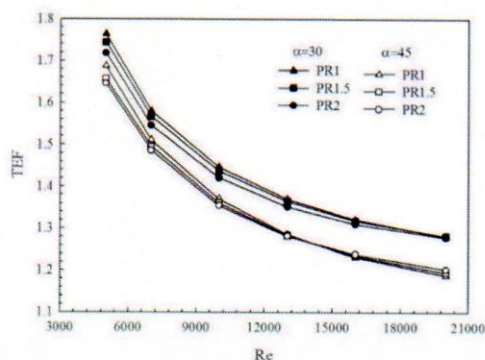
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re

3.5 ตัวประกอบเสียดทาน

ลักษณะของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานระหว่างท่อที่ใส่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูและท่อเปล่าผิวเรียบ f/f_0 ที่อัตราส่วน $P_R=1.0, 1.5$ และ 2.0 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตาม และพบว่าเมื่อค่า Re และ α เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า $\alpha = 30^\circ$ ที่ค่า $Re=5000$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุดที่ 4.62 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ส่วนที่ค่า $\alpha = 45^\circ$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดที่ 7.54 เท่า ที่ค่า $Re=5000$ เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

3.6 ตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในรูปที่ 7 ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับความเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ก้างซี่เคลื่อนเดียวกัน ในท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูที่ระยะพิตซ์และมุมปะทะต่างกัน จากการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลข สังเกตเห็นว่าค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นสำหรับทุกระยะพิตซ์และมุมปะทะต่างๆ เนื่องจากการไหลความเร็วยังไม่พอต่อการผสมกันระหว่างอากาศร้อนที่บริเวณผนังท่อกับตรงกลางท่อ โดยผ่านปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่กรณีที่มีมุมปะทะ 30° $P_R=1.0$ ให้ค่า TEF ดีที่สุดเท่ากับ 1.76 ที่ $Re=5000$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลในท่อกลมที่ใส่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ที่ศึกษามุมปะทะการไหลและระยะพิตช์ ต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน ในการจำลองได้ใช้วิธีปริมาตรสืบเนื่อง โดยพิจารณาการไหลเป็นคาบๆ โดยการพล็อต เส้นกระแสการไหล และคอนทัวร์อุณหภูมิพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสำหรับท่อที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูคู่ต่างๆ ให้ค่าสูงกว่าท่อเปล่าผิวเรียบและค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่รับอิทธิพลจากการวางขวางการไหลที่มุมปะทะ 30° , $P_R=1.0$, $Re=5000$ ให้ค่า TEF สูงสุดถึง 1.76 อย่างไรก็ตามความเสียดทานที่เกิดขึ้นก็สูงตามด้วย

4. สรุปผล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Eiamsa-ard, S.(2010). Experimental investigation of heat transfer and turbulent flow friction in a tube fitted with perforated conical-ring, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.37(5), May 2010, pp. 560 -567
- [2] Muthusamy, C., Vivar, M., Skryabin, I. and Srithar, K.. (2013). Effect of conical cut-out turbulators with internal fins in a circular tube on heat transfer and friction factor, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.44, May 2013, pp. 64–68.
- [3] Yakut, K., Sahin, B., and Canbazoglu, S.(2004). Flow induced vibration analysis of conical rings used for heat transfer enhancement in heat exchangers, *Applied Energy*, vol.78(3), July 2004, pp. 273–288
- [4] Sripattanapipat, S. and Promvongse, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol.36, January 2009, pp.32–38.
- [5] 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*, vol.113 (3), Aug 1991, pp. 590–596.
- [6] Promvongse, P., Sripattanapipat, S., Tamna, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. (2010). Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45 deg inclined baffles, *Int. Commun.Heat Mass Transfer*, vol.37(2), February 2010, pp. 170–177.
- [7] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1992). Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows, *ASME J. Heat Transfer*, vol.114(1), Feb 1992, pp. 56–64.
- [8] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1993). Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.36(4) , March 1993, pp. 931–940.
- [9] Patankar, S.V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.
- [10] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, 3rd edition John Wiley & Sons Inc.
- [11] 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*, vol.99 (2), May 1977, pp. 180–186.
- [12] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, 3rd edition John Wiley & Sons Inc.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว นฤมล อัครภูมิ
วัน เดือน ปีเกิด	10 กุมภาพันธ์ 2535
ที่อยู่	157 หมู่ 3 ตำบลโคกเครือ อำเภอนองบุรี จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46220
เบอร์โทร	092-7981864
ประวัติการศึกษา	2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	งานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 (8-10 มิถุนายน 2559 จังหวัดพิษณุโลก) ในหัวข้อ การศึกษาการถ่าย- เทความร้อนเชิงตัวเลขของการไหลในท่อแบบปั่นป่วนผ่านปีกสี่เหลี่ยมคาง หมูคู่
พ.ศ.2559	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้