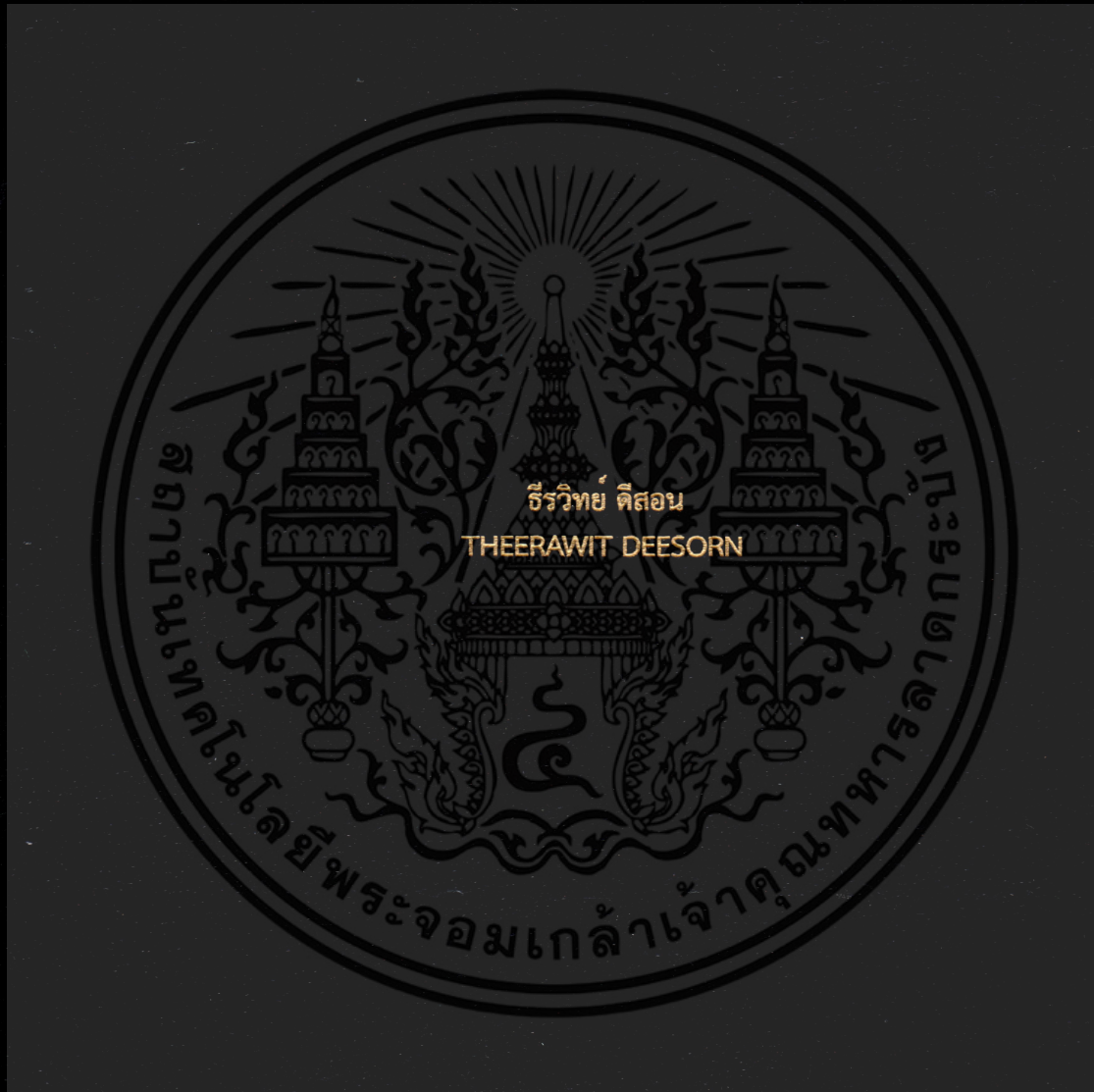


การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อน
ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นบางติดปีกคู่

NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOW AND HEAT TRANSFER
IN HEAT EXCHANGER TUBE WITH DOUBLE - WING TAPES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-030-177

การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อน
ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นบางติดปีกคู่

NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOW AND HEAT TRANSFER
IN HEAT EXCHANGER TUBE WITH DOUBLE - WING TAPES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-030-177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOW AND HEAT TRANSFER
IN HEAT EXCHANGER TUBE WITH DOUBLE - WING TAPES



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-030-177

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นบางติดปีกคู่

Thesis Title Numerical Simulation of Turbulent Flow and Heat Transfer in Heat Exchanger Tube with Double-wing Tapes

นักศึกษา นายธีรวิทย์ ดีสอน

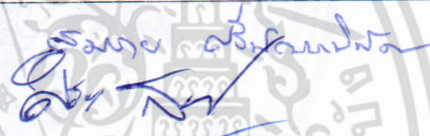


รหัสประจำตัว 57601456

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

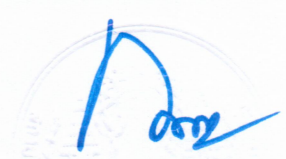
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-030-177

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สมชาย	ศรีพัฒนะพิพัฒน์	
ผศ.ดร.ศิระ	สายศร	
ดร.มธุรส	สุชาติวัฒน์	
ผศ.ดร.วิฑาดา	เจษฎารัตนชัย	วิฑาดา เจษฎารัตนชัย
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น **ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์** ไม่ดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างวันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 นำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อน ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นบางติดปีกคู่
นักศึกษา	นายธีรวิทย์ ดีสอน
รหัสนักศึกษา	57601456
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นบางติดปีกคู่ โดยมีการติดตั้งปีกคู่วางเอียงรูปตัววีแบบซี่ทวน กระแสการไหลที่ผนังทั้งสองด้านของท่อ ซึ่งมีการวางปีกคู่แบบตรงกัน โดยปีกคู่ที่ติดตั้งนั้นมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะที่ $\alpha = 22.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15 และค่าอัตราส่วนระยะห่างระหว่างปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (PR = P/D) เท่ากับ 0.5, 0.75 และ 1.0 ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลสำหรับเลขเรย์โนลด์จาก $Re = 4,000$ ถึง $18,000$ และได้ศึกษาผลของปีกคู่ต่อการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อกลม ผลลัพธ์ที่ได้จากท่อกลมที่มีการติดแผ่นปีกคู่ ถูกนำไปเปรียบเทียบกับท่อกลมผิวเรียบ พบว่าท่อกลมที่มีการติดแผ่นปีกคู่จะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อกลมผิวเรียบ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการบล็อกทำให้ค่าเลขนัสเซสท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น จากลักษณะการจัดวางติดปีกคู่วางเอียงรูปตัววีแบบปลายวีซี่ทวนกระแสการไหล พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนก็จะลดลงด้วย ในช่วงเลขเรย์โนลด์จาก $4,000$ ถึง $18,000$ กรณีติดแผ่นปีกคู่วางเอียงรูปตัววีแบบซี่ทวนกระแสการไหลทำมุมปะทะ 22.5° , BR = 0.075 และ PR = 0.5 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 2.64 เมื่อได้ทำการปรับปรุงต่อเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน พบว่าแผ่นปีกคู่รูปตัววี ที่ BR = 0.085, PR = 0.3, $\alpha = 25^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 3.26 ที่เลขเรย์โนลด์ $4,000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Numerical Simulation of Turbulent Flow and Heat Transfer in Heat Exchanger Tube with Double-Wing Tapes
Student	Mr.Theerawit Deesorn
Student ID.	57601456
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents a numerical simulation of turbulent flow and heat transfer in heat exchanger tube with double-wing tape inserts. The wings mounted in the form of V-shape having V-tip pointing upstream on both sides of the tape used as a support of the wings are in inline arrangements. Four V-tip half angles or attack angles (α) of 22.5° , 30° , 45° and 60° are offered with four relative wing widths called blockage ratio, $BR = b/D = 0.05, 0.075, 0.1$ and 0.15 and three relative wing pitches called pitch ratio, $PR = P/D = 0.5, 0.75$ and 1.0 . The computation is performed by a finite volume method with SIMPLE algorithm for handling the velocity-pressure coupling. Thermal and airflow behaviors are examined for Reynolds number ranging from 4,000 to 18,000. The numerical results compared with the correlation's results of the smooth tube show the considerable increase in the heat transfer rate over the smooth tube. The increase in BR provides much higher heat transfer and pressure loss while that in PR yields the reversing trend. For using the double V-wings with Re ranging 4,000 to 18,000, increasing Re leads to the decrease in thermal enhancement factor (TEF) and the maximum TEF of 2.64 is found for $\alpha = 22.5^\circ$, $BR = 0.075$ and $PR = 0.5$ at $Re = 4,000$. Further improvement shows that the V-wings with $BR = 0.085$, $PR = 0.3$, and $\alpha = 22.5^\circ$ gives the highest TEF around 3.26 at $Re = 4,000$.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี โดยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ เป็นผู้ให้คำปรึกษา คำชี้แนะประเด็นสำคัญต่างๆ ให้แนวทางการเริ่มวิเคราะห์ปัญหา ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาของวิทยานิพนธ์อย่างเป็นระบบ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.สมบัติ ทำานา, ผศ.ดร.สมพล สกกุลหลง, อ.จิตกร กนกนัยการ และ ดร.พิทักษ์ พร้อมไธสง ที่ให้ความกรุณาในการสอนโปรแกรมและให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเครื่องกล และคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่สำหรับใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ร่วมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องด้วยดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมี พึงได้ แก่บุคคลหนึ่ง บุคคลใดที่ได้จากการอ่านวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบคุณความดีทั้งหมดทั้งปวงให้กับคณะบุคคลที่ได้กล่าวนามไว้เบื้องต้น

ธีรวิทย์ ดีสอน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	3
1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อกลม	5
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อสี่เหลี่ยม	7
2.3 แนวทางการศึกษาวิจัย.....	7
บทที่ 3 สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
3.1 บทนำ.....	8
3.2 สมมุติฐานและสมการในการคำนวณ	8
3.3 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น	8
3.3.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล.....	8
3.3.2 การไหลแบบราบเรียบหรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) กับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow).....	9
3.3.3 การไหลในท่อกลม.....	10
3.3.4 ตัวประกอบความเสียดทาน.....	11
3.4 การพาความร้อน.....	12
3.4.1 หลักการพื้นฐานของการพาความร้อน	12
3.4.2 ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน	12
3.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยเจ้าของลิขสิทธิ์ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่กำหนดไว้ในเอกสารฉบับนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และดัดแปลงแก้ไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.4 ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน	14
3.5 การคำนวณการไหลแบบชั่วเป็นช่วง.....	14
3.5.1 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความเร็ว	14
3.5.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง	14
3.5.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลชั่วเป็นช่วง	15
3.5.2 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความร้อน	16
3.6 สมการพื้นฐานและแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน	16
3.6.1 สมการควบคุม	17
3.6.2 แบบจำลองความปั่นป่วน.....	17
3.6.2.1 แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable $k - \epsilon$	18
3.6.2.2 การคู่ควบของความดันและความเร็ว	19
3.6.2.3 วิธีการประมาณค่าแบบ QUICK.....	20
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา.....	22
4.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใช้ในการศึกษา.....	22
4.1.1 แผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิม.....	22
4.1.2 แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง.....	23
4.1.3 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	25
4.1.4 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	26
4.1.5 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α).....	28
4.2 ตัวแปรที่สนใจในการวิเคราะห์ปัญหา.....	29
4.3 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ	30
4.4 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข	31
4.4.1 การตรวจสอบแบบจำลองปั่นป่วน	31
4.5 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม	32
4.6 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	34
บทที่ 5 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล	36
5.1 แผ่นบางติดปีกคู่.....	36
5.1.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่.....	36
5.1.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่	38
5.1.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่.....	42
5.1.4 เลขนัสเซิสต์และอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่.....	45
5.1.5 ตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบาง	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่	54
5.2 แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	56
5.2.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	56
5.2.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	57
5.2.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	59
5.2.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	60
5.2.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	62
5.2.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	63
5.3 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1	64
5.3.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	64
5.3.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	65
5.3.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	66
5.3.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	67
5.3.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	68
5.3.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio, BR)	70
5.4 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2	71
5.4.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	71
5.4.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	71
5.4.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	73
5.4.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	73
5.4.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	75
5.4.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio, PR)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตี VI างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3	77
5.5.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	77
5.5.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	78
5.5.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	79
5.5.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	80
5.5.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	81
5.5.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α)	83
5.6 การอภิปรายงานวิจัย	83
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	85
6.1 สรุปผลการศึกษา	85
6.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ในท่อกลม	85
6.1.2 อิทธิพลของความกว้างของแผ่นบางติดปีกคู่	85
6.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนพิตซ์	85
6.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะหรือมุมที่ทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่	85
6.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย	85
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ	90
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	92
ประวัติผู้เขียน	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 จำนวนของกริดที่ใช้ในการทดสอบ	33
5.1 สรุปลดดีที่สุดในแต่ละกรณีที่ได้จากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่มือใส่ภายในท่อกลม	84
ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ	91



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียงและโตเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบคาบ.....	5
2.2 การทดลองใส่แหวนพับริ้วในตัวท่อ	6
3.1 ชั้นขอบเขตของความเร็วยกสูงขึ้นมาเมื่อมีการไหลผ่านผิวของวัตถุ	9
3.2 การไหลอย่างสมบูรณ์ภายในท่อกลม	11
3.3 ตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลแบบสมบูรณ์ในท่อกลม	12
3.4 รูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง.....	15
3.5 ปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ	21
4.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่.....	22
4.2 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่.....	23
4.3 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง.....	24
4.4 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง.....	24
4.5 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR).....	25
4.6 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR).....	26
4.7 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR)	27
4.8 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR).....	27
4.9 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α).....	28
4.10 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α).....	29
4.11 เลขนัสซีตจากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Chingtuaythong	31
4.12 ตัวประกอบเสียดทานจากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Chingtuaythong	32
4.13 รูปแบบกริดและขอบเขตการไหลของท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่.....	33
4.14 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า Nu ที่ $Re=4,000$	33
4.15 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า f ที่ $Re=4,000$	34
5.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$	37
5.2 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$	37
5.3 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$	38
5.4 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$	38
5.5 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$	39
5.6 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$	39
5.7 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$	40
5.8 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$	40
5.9 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$	41
5.10 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$	41
5.11 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$	42

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$	42
5.13 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$	43
5.14 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$	43
5.15 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$	44
5.16 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$	44
5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$ (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์	46
5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$ (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์	47
5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$ (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์	48
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$ (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์	49
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน	50
5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน	51
5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน	52
5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน	53
5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$	54
5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$	55
5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$	55
5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$	56
5.29 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	57
5.30 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้า	57
5.31 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง	58
5.32 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้า	58
5.33 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง	59
5.34 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง	59

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ X อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.35	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง..... 60
5.36	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าเลขนัสเซิสต์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์..... 61
5.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 62
5.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ 63
5.39	ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 64
5.40	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 65
5.41	เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 66
5.42	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 66
5.43	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าเลขนัสเซิสต์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์..... 68
5.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแบบดั้งเดิม (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 69
5.45	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่..... 70
5.46	ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 71
5.47	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 72
5.48	เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 72
5.49	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 73
5.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 (ก)ค่าเลขนัสเซิสต์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ 74
5.51	กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแบบที่ 1 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน 75
5.52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแบบที่ 1..... 76
5.53	รูปทรงของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 77
5.54	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3..... 78
5.55	เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 79
5.56	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางรูปติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางรูปติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ก)ค่าเลขนัสเซิสต์ (ข)ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิสต์.....	81
5.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน	82
5.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบาง ติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2.....	83

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพา, m^2
A_c	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
BR	อัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง
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
m	มวล, kg
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Nu	เลขนัสเซิสต์เฉลี่ย
Nu_0	เลขนัสเซิสต์ของท่อกลมผิวเรียบ
P	เส้นรอบรูป, m
p	ความดันสถิต, Pa
PR	อัตราส่วนพิตช์
Pr	เลขพรานด์
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ, W/m^2

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Q	เทอมการเพิ่มความร้อนทั้งหมดภายในโดเมน
Re	เลขเรย์โนลด์
S_{ij}	เทนเซอร์ค่าเฉลี่ยของอัตราความเครียด, s^{-1}
T	อุณหภูมิ, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
T_∞	อุณหภูมิกระแสหลัก, K
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	อัตราการสูญเสียของความปั่นป่วน, 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

ในปัจจุบันความต้องการในด้านพลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องด้วยการใช้พลังงานมีมากขึ้นตามความเจริญของประเทศ เพื่อใช้ในการผลิตและสร้างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งกิจการขนาดย่อมจนกระทั่งถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านของไหล โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องสัมผัสกัน ซึ่งปรากฏในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นครีบและท่อ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่น เป็นต้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนิยมใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการใช้งาน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการใช้งานที่ดียิ่งขึ้นและลดต้นทุนที่ใช้

การพาความร้อน (Heat Convection) เป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มประสิทธิภาพของการพาความร้อนจะช่วยเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ดีขึ้น โดยสามารถทำได้สองวิธี คือ 1) วิธีที่ต้องการพลังงานจากภายนอกเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Active technique) คือ การนำอุปกรณ์ทางกลหรือทางไฟฟ้าจากภายนอกมาช่วยเพิ่มการสั่นสะเทือนของของไหลภายในท่อ ซึ่งจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนผ่านของไหลดีขึ้น 2) วิธีที่ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกมาช่วยในการถ่ายเทความร้อน (Passive technique) คือ การเพิ่มพื้นที่ผิวหรือติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนภายในท่อเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลที่ปั่นป่วนมากขึ้น อันจะนำไปสู่การถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น เช่น การเพิ่มผิวสัมผัสของท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [7-8] การติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวน [9-14] เป็นต้น

วิธีการแบบ Passive technique เป็นที่นิยมในการนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องการแหล่งพลังงานจากภายนอกมาช่วย แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะก่อให้เกิดความดันตกคร่อมในท่อมักขึ้น อันเป็นผลให้เกิดการสูญเสียมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนจึงต้องมีความเหมาะสม ซึ่งพิจารณาถึงขนาด รูปร่าง การติดตั้ง และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้นที่ความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนแผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม เพื่อสร้างความปั่นป่วนของการไหลของอากาศในท่อ ซึ่งพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยนำวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาใช้ในการศึกษาตัวแปรต่างๆ ภายในขอบเขตที่กำหนด ผ่านโปรแกรม Ansys FLUENT เพื่อความรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ ลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และสามารถใช้เป็นแบบอย่างในการพัฒนางานวิจัยอื่นๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีปลายชี้ทวนกระแสน้ำ การไหลที่ติดตั้งไว้ภายในท่อกลม
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหล การถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหลภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่ไว้ภายใน เปรียบเทียบกับท่อกลมผิวเรียบ
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีปลายชี้ทวนกระแสน้ำต่อการไหล การถ่ายเทความร้อน ความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหล
4. เพื่อปรับปรุงรูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน ลดค่าตัวประกอบเสียดทาน และเพิ่มค่าสมรรถนะเชิงความร้อนให้สูงขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ในการศึกษาจะใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล ผ่านการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ansys FLUENT ซึ่งการถ่ายเทความร้อนอยู่บนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) โดยศึกษาการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน
2. ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ
3. ศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 18,000
4. ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable $k-\epsilon$
5. ใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE ในกระบวนการคำนวณของความเร็วและความดัน
6. ใช้การคำนวณแบบ QUICK ในเทอมของการพา
7. พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)
8. ให้ความร้อนที่ผนังของท่อกลมแบบพลังค์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2
9. กำหนดให้ตัวสร้างการหมุนควงที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีลักษณะเป็นแผ่นบางและไม่สามารถนำความร้อนได้
10. ทำการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบต่างๆ ตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้
 - แบบแผ่นบางติดปีกคู่ที่จัดวางเอียงทำมุมปะทะ (α) = 22.5° , 30° , 45° และ 60°
 - อัตราส่วนความกว้างของแผ่นบางติดปีกคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Blockage ratio; $BR = b/D$) = 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15
 - อัตราส่วนระยะห่างระหว่างปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Pitch ratio; $PR = P/D$) = 0.5, 0.75 และ 1.0
 - ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) อัตราส่วนพิตช์ (PR) และมุมปะทะ (α)
11. หาแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสม อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) อัตราส่วนพิตช์ (PR) มุมปะทะ (α) เพื่อเปรียบเทียบค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุดจากการศึกษาครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของการไหล โดยการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนรูปแบบต่างๆ ภายในท่อกลม
2. ออกแบบลักษณะรูปร่างของแผ่นบางติดปีกคู่ที่จะใช้จากการประยุกต์งานวิจัยในอดีต รวมทั้งตรวจสอบหาขนาดและจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม
3. ตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบและการตั้งค่าแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบทางพลศาสตร์ของไหล โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลองของนักวิจัยในอดีต ว่ามีความถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ออกมาจากแบบจำลองจะไม่ผิดพลาด
4. คำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลสามมิติ โดยเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ Re , BR , PR และ α โดยจัดรูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ทวนกระแสการไหลแบบตรงกัน
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลข โดยเปรียบเทียบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ด้วยการแสดงกราฟเปรียบเทียบ
6. สรุปผลการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1. เกิดองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบเพิ่มตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อกลม โดยใช้แผ่นบางติดปีกคู่
2. ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อกลมที่มีการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีปลายชี้ทวนกระแสการไหล
3. เพื่อการพัฒนาและออกแบบแผ่นบางติดปีกคู่ที่ติดตั้งภายในท่อกลมให้มีความเหมาะสม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด
4. สามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อการวิจัยการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่ติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีแบบตรงกันและแบบอื่นๆ ต่อไป

1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้นำเสนอรายละเอียดของเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยแต่ละบทประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้ บทที่ 1 เป็นการกล่าวนำเพื่อให้เข้าใจถึงที่มาและความสำคัญของการวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่ผู้ทำวิจัยคาดหวังว่าจะได้รับจากการทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงการนำเสนองานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมาก็ได้ทำการศึกษาถึงการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อกลม โดยมีรูปแบบและลักษณะการจัดวางตัวสร้างความปั่นป่วนในรูปแบบต่างๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ และสมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และสมรรถนะเชิงความร้อน เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำความเข้าใจในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อธิบายรูปแบบการศึกษาจากการติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่ในท่อกลม รวมทั้งวิธีการปรับปรุงรูปแบบ เพื่อติดตั้งในท่อกลม โดยปรับเปลี่ยนค่าเลขเรย์โนลด์ Re , อัตราส่วนความกว้างของแผ่นบางติดปีกคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Blockage ratio; $BR = b/D$) และอัตราส่วนระยะห่างระหว่างปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Pitch ratio; $PR = P/D$) และมุมปะทะ (α) ที่กระทำแผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานลงให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

บทที่ 5 นำเสนอผลที่ได้จากการศึกษาทั้งค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน เมื่อติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีปลายชี้ทวนกระแสการไหลในท่อกลม และท้ายสุดคือ

บทที่ 6 แสดงการสรุปผลจากการศึกษาทั้งหมดและข้อเสนอแนะต่างๆ เพิ่มเติมในการต่อยอดงานวิจัย ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ในบทนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์

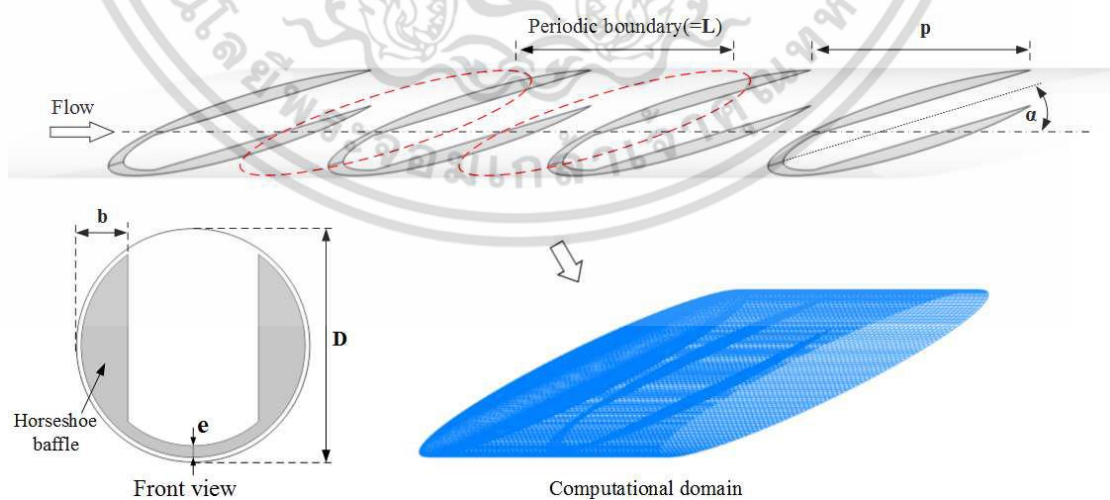
2.1 กล่าวนำ

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนในท่อกลมนั้น สามารถทำได้หลายหลายวิธี การติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่กับท่อกลมนับเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากวิธีหนึ่งดังปรากฏในงานวิจัยในอดีต [1-6] ถึงแม้ว่าตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแผ่นบางติดปีกคู่นี้ จะช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น แต่ความต้านทานการไหลก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน และเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องปรับปรุงแก้ไขอยู่เสมอ จึงเกิดแนวคิดการประยุกต์แผ่นบางติดปีกคู่นี้ให้มีรูปร่างที่เหมาะสม ซึ่งช่วยลดพื้นที่ขวางการไหลลงและคาดหวังว่าจะสามารถลดความดันตกคร่อมให้ลดน้อยลงได้ จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแผ่นบางติดปีกคู่นี้ด้วยหลักการที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อกลม

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียง 20° [1] สมบัติ ทำนา และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2016 : 32) ได้นำเสนอการคำนวณเชิงตัวเลขในการจำลองพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4,000 ถึง 20,000 โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบในท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเกือกม้า วางเอียง $\alpha = 20^\circ$, BR = 0.2 ที่มีค่า PR แตกต่างกันไปพบว่ากรณี PR = 0.5 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน (TEF) สูงสุดเท่ากับ 2.03 ที่เลขเรย์โนลด์ต่ำสุด



รูปที่ 2.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียงและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบคาบ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings. [2]

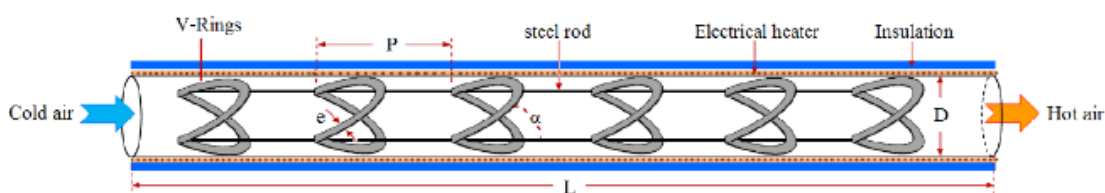
Promvong et al. ได้ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมที่ใส่แผ่นวงแหวนวอร์เท็กซ์เอียงมุมปะทะ 30° พบว่าที่ค่า BR = 0.2 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ความเสียดทานก็ยิ่งสูงมากสุดตาม และพบว่าค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) มากที่สุดประมาณ 1.4 ที่ BR = 0.1, PR = 0.5 เพื่อลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านแผ่นวงแหวนเอียง จึงได้ปรับปรุงมาเป็นแผ่นกั้นเกือกม้าเอียง [12] โดยทดลองหาอิทธิพลของระยะห่างและความสูงของแผ่นกั้นรูปเกือกม้าที่มุมปะทะ 20° และ 45° พบว่ามุมปะทะ 20° ให้ค่า TEF มากที่สุดประมาณ 1.92 ที่ BR = 0.1, PR = 0.5 ตามลำดับ

Heat transfer augmentation in a circular tube with winglet vortex generators. [5]

Chokphoephun et al. (2015) ทำการศึกษาผลเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่สอดใส่แผ่นปีก (WVGs) มุม 30° และทำการปรับค่า BR และ ค่า PR โดยศึกษาที่เลขเรย์โนลด์ 5,300 ถึง 24,000 โดยใช้อากาศเป็นของไหลที่ไหลภายในท่อ จากผลการศึกษาพบว่า เลขนัสเซิร์ทและตัวประกอบเสียดทานจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่า BR และลดค่า PR เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับท่อกลมปกติ จะพบว่าค่าเลขนัสเซิร์ทเฉลี่ยและค่าสมรรถนะการเพิ่มทางความร้อนของ WVGs จะเพิ่มขึ้น 2.03 - 2.34 เท่า เมื่อเทียบกับท่อกลมปกติ

Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings. [6]

Chingtuaythong et al. ได้ทดลองโดยการใส่แหวนรูปตัว V ลงในท่อที่มีการให้ความร้อนคงที่ในลักษณะด้านการไหล ในการทดลองได้มีการใส่แหวนรูปตัว V เอียงทำมุม 30° ลงในท่อแล้วเปลี่ยนแปลงค่า Pitch ratio และ Blockage ratio โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในการทดสอบ และกำหนดเลขเรย์โนลด์ที่ 5,000 ถึง 25,000 จากผลการทดลองพบว่า แหวนรูปตัว V สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เป็น 5.8 เท่าของท่อปกติ และตัวประกอบความเสียดทาน ก็เพิ่มขึ้น 82 เท่า การเพิ่มขึ้นของ Blockage ratio ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของ Pitch ratio ให้ผลตรงกันข้าม อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองค่า Pitch ratio และ Blockage ratio ที่ให้สมรรถนะการเพิ่มทางความร้อนสูงสุดคือ 1.0 และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนอื่นๆ แล้วแหวนรูปตัว V จะให้สมรรถนะการเพิ่มทางความร้อนสูงกว่าแหวนเอียง, ขดลวด และเทปเกลียว



รูปที่ 2.2 การทดลองใส่แหวนพับริรูปตัววีในท่อ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อสี่เหลี่ยม

Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs. [3]

Promvong et al. (2011) ทำการศึกษาเชิงตัวเลขในการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบทวีมุม 60° แบบแยกวางบนผนังสองด้านตรงข้ามกัน โดยศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 10,000 ถึง 25,000 จะพบว่า ท่อที่มีครีบทวีนี้ทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นกว่าท่อเรียบ การเพิ่มอัตราส่วนการบล็อกการไหล (Blockage ratio, BR) จะเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานด้วย และจะพบว่าที่อัตราส่วนการบล็อกการไหล 0.0725 จะได้อัตราการถ่ายเทความร้อน 4 เท่าของท่อเรียบที่เลขเรย์โนลด์ต่ำ และจะมีค่าสมรรถนะการเพิ่มทางความร้อนประมาณ 1.8

Turbulent heat transfer and pressure loss in a square channel with discrete broken V-rib turbulators. [4]

Promthaisong et al. (2014) ทำการศึกษาเชิงตัวเลขในการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบทวีแบบไม่ต่อเนื่อง (B-VR) ท่อติดตั้งบนผนังสองด้านของท่อสี่เหลี่ยมเพื่อเป็นการสร้างการไหลแบบปั่นป่วน จะพบว่า การติดตั้งครีบทวีนี้ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น และจะสังเกตเห็นได้ว่าการเพิ่มเลขเรย์โนลด์จะทำให้เลขนัสเซสท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น

2.3 แนวทางการศึกษาวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถสร้างความปั่นป่วนให้แก่การไหล ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยการจัดวางแผ่นบางติดปีกคู่แบบซี่ทวนกระแสการไหลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการจัดวางแผ่นบางติดปีกคู่ในแบบอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม ยังทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ได้จึงไม่สูงนัก จึงเป็นสาเหตุหลักในงานวิจัยนี้ โดยทำการปรับปรุงรูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมลง

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลองครั้งนี้ โดยทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบวางเอียงทำมุมปะทะ โดยปลายครีบทวีซี่ทวนกระแสการไหล เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทาน เพิ่มการกระจายการไหลและการถ่ายเทความร้อนของของไหลให้มากขึ้น ปรับอัตราส่วนระยะพิทซ์ และอัตราส่วนความกว้างของครีบทวีต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อกลม เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหลสูงที่สุด และเป็นการขยายข้อมูลในการศึกษาท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นบางติดปีกคู่ และเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ใช้งานในการตัดสินใจเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนได้ตามความเหมาะสม เป็นประโยชน์ในเชิงการเพิ่มองค์ความรู้ใหม่ และเป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีต่อไปในอนาคตสำหรับผู้สนใจออกแบบ ปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด งานวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจทั่วไป รวมถึงภาคอุตสาหกรรม ทำให้การใช้พลังงานและทรัพยากรมีความคุ้มค่า มีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยตรงในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสมการต่างๆ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยเจาะจงพิจารณาที่การถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลม ค่าความดันตกคร่อม ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของของไหล และวิเคราะห์ผลลัพธ์ รวมถึงปัญหาที่เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมหรือไฟไนท์วอลุ่ม (finite volume) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบัน สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาการไหลผ่านรูปทรงที่มีความซับซ้อนได้และมีความแม่นยำ อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างไม่ยุ่งยากและแสดงผลได้หลากหลาย

3.2 สมมติฐานและสมการในการคำนวณ

จากการวิจัยได้ศึกษาโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อนบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) โดยมีสมมติฐานในการศึกษาดังนี้

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

3.3 กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น

การศึกษากลศาสตร์ของไหลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวัน รวมถึงในทางพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมด้วย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องอำนวยความสะดวก เครื่องมือ เครื่องใช้และเครื่องจักรต่างๆ รวมถึงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น จะเห็นได้ชัดว่าล้วนประกอบไปด้วยการใช้งานของไหลแทบทั้งสิ้น เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบระบายน้ำและอากาศ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร เป็นต้น ดังนั้น พื้นฐานความรู้ในวิชากลศาสตร์ของไหลจึงมีความจำเป็นสำหรับการคำนวณการออกแบบและประยุกต์ระบบ เพื่อให้มีการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.3.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึง ของเหลวและก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ของไหลอัดตัวได้คือ ของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด เช่น ก๊าซอยู่ในภาชนะปิดสนิท

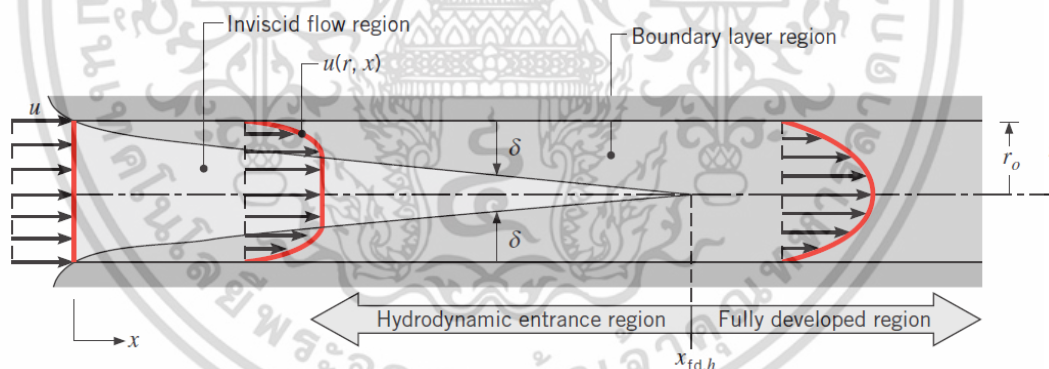
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซจะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้าม ถ้าสูญเสียความร้อน ความหนาแน่นจะลดลง ซึ่งในที่นี่จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น

- 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

3.3.2 การไหลแบบราบเรียบหรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) กับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

พิจารณาการไหลแบบราบเรียบในท่อกลมที่มีรัศมี คือ r_0 ดังรูปที่ 3.1 เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ท่อกลมด้วยความเร็วในรูปแบบที่เหมือนกันตลอดหน้าตัดขวางการไหล จะเกิดความหนืดระหว่างของไหลที่สัมผัสกับผิวของท่อ และขอบเขตของการไหลจะปรับเปลี่ยนไปตามระยะ x ที่เพิ่มขึ้น การปรับเปลี่ยนนี้เกิดขึ้นจากพื้นที่การไหลที่มีความหนืดได้ลดน้อยลง และรวมเข้ากับเส้นศูนย์กลางในที่สุด ดังรูปที่ 3.1 และจากการรวมเข้ากันกับเส้นศูนย์กลางนี้ ทำให้ผลกระทบจากความหนืดและรูปแบบของความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะ x หรือสามารถตัดผลกระทบจากความหนืดทิ้งไปได้



รูปที่ 3.1 ชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลผ่านผิวของวัตถุ [15]

ชั้นขอบเขตของการไหลนี้จะแบ่งออกเป็นชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) กับชั้นขอบเขตของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) การไหลภายในชั้นขอบเขตการไหลแบบราบเรียบนั้น จะมีเส้นของการไหลอย่างเป็นระเบียบเกิดขึ้น ในการจำแนกการไหลว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สามารถแยกได้โดยใช้ตัวแปรไร้มิติที่เรียกว่า “เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re)” เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหล โดย

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V คือ ความเร็วในการไหล, L คือ ความยาวตลอดช่วงการไหล และ ν คือค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเชิงจลนศาสตร์

เนื่องจากเลขเรย์โนลด์เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงขับเคลื่อนของการไหลต่อความหนืด ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเลขเรย์โนลด์มีค่ามากก็สามารถแสดงเป็นเชิงสัมพันธ์ให้เห็นว่าผลกระทบ (Effect) ของค่าความหนืดจะมีค่าน้อย เลขเรย์โนลด์ที่อยู่ในระหว่างเปลี่ยนจากการไหลแบบเป็นชั้นไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนนั้น เรียกว่า “เลขเรย์โนลด์วิกฤติ (Critical Reynolds, Re_c)”

3.3.3 การไหลในท่อกลม

การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในรูปที่ 3.2 นั้น จะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้า ชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆ พัฒนาเพิ่มขึ้นทีละเล็กทีละน้อยจนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (L_E) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบนและล่าง หลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed) เลขเรย์โนลด์ Re สำหรับการไหลภายในท่อนั้น ถ้าให้ V เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของพื้นที่ตัดขวางท่อแล้ว จะได้

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (3.2)$$

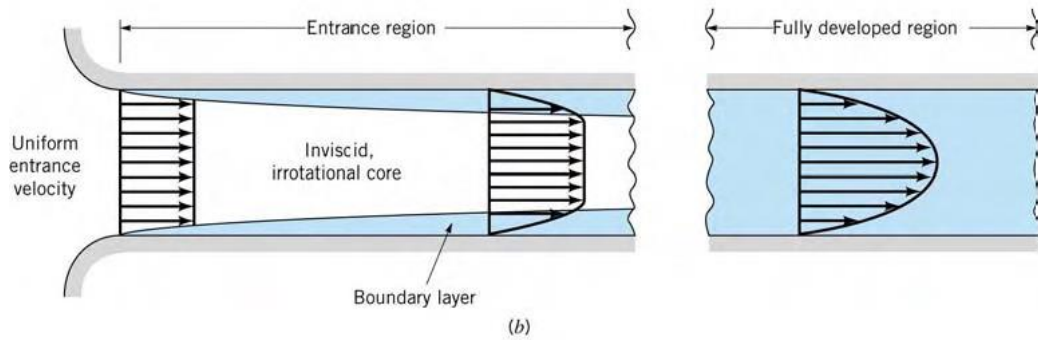
อนึ่ง ค่า $\rho\nu$ [$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$] จะเป็นค่าการไหลของมวลสารต่อพื้นที่หน้าตัดในการไหล สำหรับในกรณีของก๊าซนั้น การเพิ่มความร้อนภายในท่อจะทำให้ก๊าซขยายตัวมีความเร็ว V เพิ่มขึ้น ค่า $\rho\nu$ จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่ นอกจากนั้นโดยปกติจะถือว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด μ จะไม่เปลี่ยนแปลงไปกับความดันอีกด้วย ส่วนค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ν ซึ่งเท่ากับ μ / ρ ในกรณีของก๊าซจะเป็นค่าที่ผกผันกับความดัน ซึ่งจะต้องระมัดระวัง

เมื่อ D คือ ความยาวบอกลักษณะของช่องทางไหลหรือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) มีนิยามเป็น

$$D = \frac{4A_c}{P} \quad (3.3)$$

เมื่อค่า A_c และ P เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของหน้าตัด ตามลำดับ

เลขเรย์โนลด์วิกฤติ Re_c ของการไหลภายในท่อที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์แล้ว คือ เลขเรย์โนลด์ที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลราบเรียบไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนจะมีค่า $Re_c = 2,300$ หรืออยู่ในช่วงระหว่าง 2,000 – 4,000 โดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความปั่นป่วนในการไหล ความขรุขระภายในท่อที่ไหลหรือรูปทรง และสภาพของทางเข้า ส่วนเลขเรย์โนลด์ที่ต่ำกว่า 2,000 ไม่ว่าท่อจะมีความยาวมากเพียงใด การไหลก็จะไม่เปลี่ยนแปลงไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน จะยังคงรักษาสภาพการไหลแบบเป็นชั้นหรือราบเรียบต่อไป โดยรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นการกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ การกระจายความเร็วจะมีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ



รูปที่ 3.2 การไหลอย่างสมบูรณ์ภายในท่อกลม

โดยทั่วไปสำหรับการไหลในท่อผิวเรียบ เลขเรย์โนลด์วิกฤติของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นการไหลปั่นป่วน เริ่มต้นจาก $Re_D > 4,000$ และความยาวของช่วงบริเวณทางเข้า สำหรับการปรับตัวเข้าสู่ช่วงสมบูรณ์หาได้จากสมการ

$$\left(\frac{L_e}{D}\right)_{turb} \approx 4.4 Re_D^{1/6} \quad (3.4)$$

3.3.4 ตัวประกอบความเสียดทาน

ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor) ของ Moody หรือ Darcy ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ มีนิยามว่า

$$f_{Darcy} \equiv \frac{(\Delta p / L) D}{\rho u_0^2 / 2} \quad (3.5)$$

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

$$f = \frac{f_{Darcy}}{4} \quad (3.6)$$

สหสัมพันธ์สำหรับการไหลผ่านวัสดุพื้นผิวเรียบที่ช่วงของเลขเรย์โนลด์สูงๆ จากการพัฒนาของ Petukhov สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

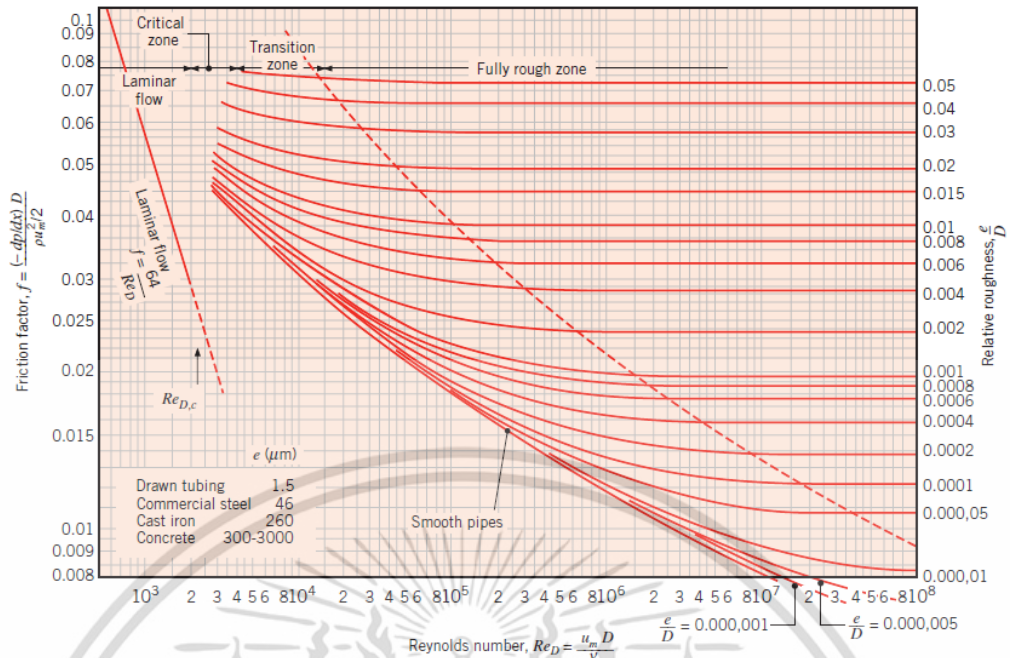
$$f = (0.79 \ln Re_D - 1.64)^{-2} \quad (3.7)$$

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

และตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์หรือ Moody diagram

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลแบบสมบูรณในท่อกลม [15]

3.4 การพาความร้อน

3.4.1 หลักการพื้นฐานของการพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนในการอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยมากการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุมักจะสำคัญกว่าการถ่ายเทความร้อนภายในตัวของไหลเอง ในที่นี้ จึงจะกล่าวถึงการพาความร้อนในลักษณะดังกล่าว การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการไหลที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (หรือความหนาแน่น) และการไหลที่เกิดขึ้นจากสงกำลังเข้าช่วย เช่น ปัดหรือพัดลม เป็นต้น ซึ่งแบบแรกจะเรียกว่า การพาความร้อนตามธรรมชาติ และแบบหลังจะเรียกว่าการพาความร้อนด้วยการบังคับ

3.4.2 ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน

ถ้าของไหลที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอไหลเข้าสู่ในท่อที่มีอุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิวแล้ว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและชั้นขีดผิวของความร้อนจะเริ่มก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสถานะที่ผิวของท่อคงที่โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิว, T_s คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิว, q_s'' คงที่ (ในที่นี้จะขอกกล่าวเพียงสถานะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่) สถานะพัฒนาอย่างสมบูรณเชิงความร้อน (thermally fully developed condition) ก็เกิดขึ้น

โดยฟลักซ์ความร้อน (q_s'') ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ หาได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \tag{3.8}$$

โดยที่ T_s คือ อุณหภูมิพื้นผิว

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัดของช่องทางไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลັกซ์ความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างผนังกับของไหล ซึ่ง h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา บางครั้งเรียกว่าการนำผ่านฟิล์ม เพราะความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการนำความร้อนในชั้นบางๆ ของของไหลที่บริเวณผิวของผนัง ค่า T_m จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของไหล นั่นคือ dT_m/dx จะไม่เป็นศูนย์ ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ค่าของ T_m จะเพิ่มขึ้นไปตามระยะทางการไหล x ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนจากผิวสู่ของไหล

3.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การพาความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุรวม ประเภทของของไหล รวมทั้งโครงสร้างของชั้นผิวสัมผัส เป็นต้น อย่างไรก็ตามเราสามารถหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในรูปของฟังก์ชันของปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในการพาความร้อนด้วยการบังคับ โดยปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน h [$W/(m^2 \cdot K)$] ความเร็วของกระแสหลัก u_i [m/s] ความยาวที่เป็นตัวแทนของวัตถุหรือระยะทาง D [m] (ตัวอย่างเช่น ในกรณีของการไหลในท่อ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในหรือในกรณีของการไหลบนแผ่นวัตถุ 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

$$\left(\frac{hD}{k}\right) = f\left\{\left(\frac{u_i D}{\mu/\rho}\right), \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)\right\} \quad (3.9)$$

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

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (3.10)$$

$$Re = \frac{u_i D}{\mu/\rho} = \frac{u_i \rho}{\mu} \quad (3.11)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{u/\rho}{k/(C_p \mu)} = \frac{v}{\alpha} \quad (3.12)$$

ในที่นี้ v เป็นสัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ ($v = \mu/\rho$) และ α เป็น Thermal diffusivity ($\alpha = k/(C_p \mu)$) ดังนั้น สมการที่ 3.13 จึงเขียนได้ว่า

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ Nu สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชันของ Re กับ Pr

3.4.4 ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนหรือค่าสมรรถนะเชิงความร้อน, TEF ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้รับ สามารถคำนวณได้จาก

$$TEF = \frac{(Nu/Nu_0)}{(f/f_0)^{1/3}} \quad (3.14)$$

เมื่อ Nu คือ ค่าเลขนัสเซสท์จากการถ่ายเทความร้อนที่ได้

Nu_0 คือ ค่าเลขนัสเซสท์จากท่อเปล่าผิวเรียบ

f คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้

f_0 คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานจากท่อเปล่าผิวเรียบ

3.5 การคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่มีการพัฒนาอย่างสมบูรณ์นี้ การลดจำนวนกริดเซลล์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อลดภาระงานให้น้อยลง ในขณะที่ผลการทดลองยังมีความแม่นยำ จะใช้วิธีการคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง (periodic flow) มาช่วย ซึ่งการวิเคราะห์การไหลลักษณะนี้เกิดขึ้นเมื่อรูปทรงที่ใช้เป็นทรงเรขาคณิต โดยรูปแบบที่ต้องการหาค่าผลเฉลยของการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยธรรมชาติแล้ว จะมีการซ้ำเป็นช่วงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการไหลแบบซ้ำเป็นช่วงนี้สามารถแบ่งได้เป็นการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็วและการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.5.1 การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็ว

การไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็ว เป็นลักษณะการไหลเมื่อมีค่าความดันตกคร่อมเกิดขึ้นข้ามขอบเขตการไหลตามแนวทิศทางการไหล และเกิดขึ้นกับการไหลที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์แล้ว ลักษณะการไหลเช่นนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตที่ซ้ำกันต่อกันไปตามแนวทิศทางการไหล และเกิดขึ้นซ้ำกันเป็นวงรอบเรื่อยไป สภาวะการไหลที่ซ้ำเป็นช่วงนี้ เกิดขึ้นหลังจากมีช่วงของความยาวขาเข้าที่เพียงพอ โดยขึ้นอยู่กับเลขเรย์โนลด์ของการไหลและรูปร่างทางเรขาคณิตของช่องทางไหล

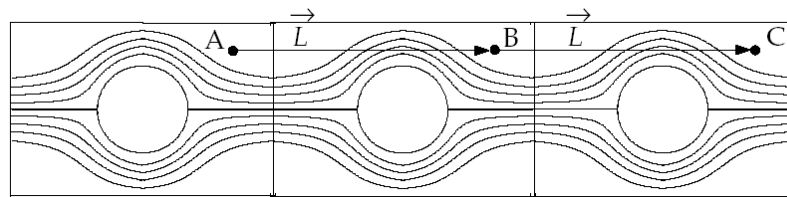
3.5.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลซ้ำเป็นช่วง

สภาวะของการไหลซ้ำเป็นช่วงเกิดขึ้นดังกล่าวมานั้น เมื่อรูปแบบการไหลเกิดขึ้นซ้ำกันในช่วงการไหล L โดยมีค่าความดันตกคร่อมคงที่ในช่วงโมดูลนั้นๆ ตามแนวทิศทางการไหล นิยามของการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็วถูกกำหนดโดยค่าของความเร็วย่อยนั้นจะซ้ำกันโดยตัวมันเอง ดังสมการ

$$u_i(\bar{r}) = u_i(\bar{r} + \bar{L}) = u_i(\bar{r} + 2\bar{L}) = \dots \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ \vec{r} คือ เวกเตอร์บอกตำแหน่ง และค่า \bar{L} คือ เวกเตอร์ของความยาวที่ซ้ำเป็นช่วงของขอบเขตการไหลที่พิจารณา แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง

จากรูปสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$u_A = u_B = u_C \quad \tilde{p}_A = \tilde{p}_B = \tilde{p}_C$$

$$v_A = v_B = v_C \quad p_B - p_A = p_C - p_B$$

3.5.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการไหลแบบมีความหนืดร่วมด้วยนั้น ค่าของความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจะไม่ซ้ำเป็นช่วงตามนิยามของความเร็ว แต่ค่าของความดันตกคร่อมช่วงของการไหลหรือโมดูลนั้นๆ จะยังคงมีค่าเท่ากัน สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\Delta p = p(\vec{r}) - p(\vec{r} + \bar{L}) = p(\vec{r} + \bar{L}) - p(\vec{r} + 2\bar{L}) = \dots \quad (3.16)$$

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

$$\nabla p(\vec{r}) = \beta \frac{\bar{L}}{|\bar{L}|} + \nabla \tilde{p}(\vec{r}) \quad (3.17)$$

เมื่อค่า $\tilde{p}(\vec{r})$ คือ ความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วง (periodic pressure) และค่า $\beta|\bar{r}|$ คือ ส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน โดยที่ค่าความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วง คือ ผลต่างของความดันด้านทางเข้ากับความดันที่ด้านทางออกที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น และส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน เป็นผลของแรงที่กระทำต่อของไหลในสมการโมเมนตัม ซึ่งค่า β นั้นจะเป็นค่าที่ไม่ทราบมาก่อนและจะหาค่าได้จากการคำนวณซ้ำ จนกระทั่งการไหลมีค่าของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อน

การไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อนตามแนวทิศทางการไหลนั้น สามารถเกิดขึ้นได้สำหรับกรณี ที่ระบุค่าฟลักซ์ความร้อนให้คงที่ที่ผนัง ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างขอบเขตที่เข้า เป็นช่วงจะมีค่าคงที่ และมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มของความร้อนสุทธิจากขอบเขตของผนัง

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นซ้ำกันเป็นช่วง สนามอุณหภูมิจะมีความคล้ายคลึงกับสนาม ของความดันในกรณีของการไหลเป็นช่วงเชิงความเร็ว โดยมีสมการดังนี้

$$\frac{T(\bar{r} + \bar{L}) - T(\bar{r})}{L} = \frac{T(\bar{r} + 2\bar{L}) - T(\bar{r} + \bar{L})}{L} = \sigma \quad (3.18)$$

เมื่อค่า σ คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเขียนได้ในเทอมของการเพิ่มความร้อน ทั้งหมดภายในโดเมน, Q ดังสมการ

$$\sigma = \frac{Q}{mc_p L} = \frac{T_{\text{bulk,exit}} - T_{\text{bulk,inlet}}}{L} \quad (3.19)$$

เมื่อค่า m คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่กำหนดให้ และค่า T_{bulk} มีนิยามโดย

$$T_{\text{bulk}} = \frac{\int_A T |\rho \bar{u}| \cdot d\bar{A}}{\int_A |\rho \bar{u}| \cdot d\bar{A}} \quad (3.20)$$

เมื่อ T_{bulk} อินทิเกรตตลอดพื้นที่หน้าตัดของโดเมนการไหลที่เข้าเป็นช่วง, A

3.6 สมการพื้นฐานและแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

การคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นเครื่องมือ สำหรับใช้ช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการไหล โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ในการคำนวณ เพื่อประมาณผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อนและมีความ ยุ่งยากในการหาผลเฉลยด้วยวิธีแมนตรง หลักสำคัญในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ต้องเกี่ยวข้องกับ สมการควบคุม ซึ่งสมการควบคุมพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหล ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) สมการดังกล่าวสามารถบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของของไหลและสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้น ในขณะที่เกิดการไหล และสมการควบคุมที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยที่อธิบาย ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขประมาณผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ สำหรับระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้นิยมกันทั่วไป คือ ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume) มาช่วยในการหาคำตอบและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 สมการควบคุม

สำหรับการไหลภายในท่อกลมจะประกอบไปด้วยสมการควบคุมต่างๆ ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่สภาวะคงตัว (steady state) ได้ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3.21)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\overline{\rho u_i u_j}) \quad (3.22)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left((\Gamma + \Gamma_t) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \quad (3.23)$$

เมื่อ $\Gamma = \mu / Pr$ และ $\Gamma_t = \frac{\mu_t}{Pr_t}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อนทางโมเลกุลและสัมประสิทธิ์การแพร่ทางความร้อนปั่นป่วน ตามลำดับ

สมการ (3.21) และ (3.22) เรียกว่า สมการนาเวียร์ - สโตคส์ จากการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation, RANS) จะสังเกตได้ว่าสมการที่ได้นี้มีรูปแบบคล้ายคลึงกับสมการนาเวียร์ - สโตคส์แบบปกติ เพียงแต่มีเทอมของค่าความเค้นของเรย์โนลด์ (Reynolds Stress) $\frac{\partial}{\partial x_j}(-\overline{\rho u_i u_j})$ เพิ่มเข้ามาในสมการ ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลที่เป็นแบบปั่นป่วนนั่นเอง

เมื่อทำการเฉลี่ยปริมาณใดๆ ในสมการควบคุมตลอดช่วงระยะเวลาช่วงหนึ่งของการไหลและของไหล จะทำให้เกิดตัวแปรขึ้นมาใหม่และส่งผลให้มีจำนวนตัวแปรไม่รู้ค่ามีจำนวนมากกว่าจำนวนสมการที่มีอยู่ ซึ่งก็คือเทอมความเค้นของเรย์โนลด์ที่เพิ่มมานั่นเอง ทำให้ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ต้องการได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยสมการของแบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence Model) เข้ามาช่วยหาคำตอบ เพื่อทำให้การแก้ปัญหาที่มีความถูกต้องในระดับที่พอเพียงและครอบคลุมปัญหาความปั่นป่วนได้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงแบบจำลองนี้ในหัวข้อต่อไป

3.6.2 แบบจำลองความปั่นป่วน

การหาผลเฉลยสมการความต่อเนื่องและสมการนาเวียร์ - สโตคส์จากการเฉลี่ยของเรย์โนลด์ (RANS) นั้น จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วนมาช่วยในการคำนวณ เพื่อหาค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นของเรย์โนลด์ที่การคำนวณแบบปกติไม่สามารถหาได้ ซึ่งการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนนี้ จะช่วยให้ไม่ต้องหาค่าของการกระเพื่อม แต่จะสนใจเฉพาะส่วนของค่าเฉลี่ยเท่านั้น สำหรับการเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้น จึงจะสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ และใช้เวลาน้อยที่สุด ตัวอย่างแบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\varepsilon$ มาตรฐาน แบบจำลองความปั่นป่วน RNG $k-\varepsilon$ แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\omega$ แบบจำลองความปั่นป่วน The Shear-Stress Transport (SST) $k-\omega$ แบบจำลองความปั่นป่วน Reynolds Stress Model (RSM) เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองความปั่นป่วนที่นำมาใช้ คือ Realizable $k-\varepsilon$ เท่านั้น

3.6.2.1 แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable $k-\varepsilon$

แบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน โดยมีความแตกต่างจากแบบมาตรฐาน คือ แบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ ได้รวมเอารูปแบบความหนืดปั่นป่วนและสมการการเคลื่อนย้ายของอัตราการกระจาย ε แบบใหม่ ซึ่งได้มาจากสมการผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับการเคลื่อนย้ายของการผันแปรความเร็วเฉลี่ย โดยเหมาะกับการนำมาใช้ในการไหลแบบหมุนวน (swirling flow) ดังเช่นในงานวิจัยนี้ ดังนั้น การนำแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ มาใช้วิเคราะห์การไหลในงานวิจัยนี้ จึงมีความน่าเชื่อถือกว่าแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน

สมการการเคลื่อนย้ายของแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3.24)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} \quad (3.25)$$

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

โดย G_k คือ การสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากการเฉือนความเร็วเฉลี่ย, C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่, σ_k และ σ_ε คือ เลขพหุคูณปั่นป่วนสำหรับ k และ ε ตามลำดับ, S_k และ S_ε คือ ซอคเทอม

ตัวแปร k ในสมการ (3.24) คือ สมการเดียวกันกับแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน ยกเว้นค่าคงที่ แต่ตัวแปร ε ในสมการ (3.25) จะแตกต่างจากแบบจำลองมาตรฐานออกไป เนื่องจากเทอมของการสร้าง ε ของ Realizable นี้ไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างค่า k โดยจะเห็นว่าไม่มีเทอม G_k อยู่ในสมการดังเช่นแบบจำลอง $k-\varepsilon$ อื่นๆ

สำหรับค่าความหนืดปั่นป่วน μ_t สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_t = \rho C_\mu (k^2 / \varepsilon) \quad (3.26)$$

เมื่อ C_μ คือ ค่าคงที่ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$C_\mu = (A_0 + A_s k U^* / \varepsilon)^{-1} \quad (3.27)$$

เมื่อ

$$U^* = \sqrt{S_{ij} S_{ij} + \Omega_{ij} \Omega_{ij}} \quad (3.28)$$

โดย $A_0 = 4.04$ และค่าคงที่ A_s สามารถหาได้จาก

$$A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (3.29)$$

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

และ $k_t = \mu_t C_p / 0.85$

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

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

3.6.2.2 การคู่ควบของความดันและความเร็ว

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

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

$$J_f^* = j_f^* + d_f (P_{c0}^* - P_{c1}^*) \quad (3.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากไม่สอดคล้องกับสมการต่อเนื่อง จะดำเนินการแก้ไขโดยการนิยามเทอม J'_f ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าฟลักซ์ที่ผิวที่ถูกต้องกับค่าฟลักซ์ที่สุ่มขึ้น แสดงได้ดังนี้

$$J_f = J_f^* + J'_f \quad (3.31)$$

เพื่อให้สอดคล้องกับสมการความต่อเนื่องนั้น กระบวนวิธีแบบ SIMPLE จะตั้งสมมติฐานเทอมของ J'_f ดังนี้

$$J'_f = d_f (p'_{c0} - p'_{c1}) \quad (3.32)$$

เมื่อ p' คือ ค่าแก้ของความดัน กระบวนวิธีแบบ SIMPLE จะแทนค่าจากสมการ (3.31) และ (3.32) ลงในสมการความต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่สมการแปลงรูปของ p' ในเซลล์ย่อย แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$a_p p' = \sum_{nb} a_{nb} p'_{nb} + b \quad (3.33)$$

เมื่อเทอมของแหล่งกำเนิด b คือ อัตราการไหลสุทธิเข้าสู่เซลล์ย่อย ดังสมการ

$$b = \sum_f^{N_{faces}} J_f^* A_f \quad (3.34)$$

สมการค่าแก้ของความดัน p' สามารถเขียนได้โดยใช้ระเบียบวิธีการทำซ้ำ และเมื่อได้ค่าของผลเฉลยแล้ว ค่าความดันและฟลักซ์ที่ผิวของเซลล์ที่ถูกต้อง คือ

$$p = p^* + \alpha_p p' \quad (3.35)$$

$$J_f = J_f^* + d_f (p'_{c0} - p'_{c1}) \quad (3.36)$$

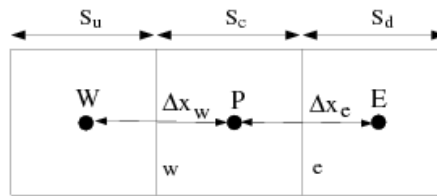
โดยค่า α_p คือ ตัวประกอบภายใต้ความผ่อนคลาย (under-relaxation) สำหรับความดัน

3.6.2.3 วิธีการประมาณค่าแบบ QUICK

วิธีการประมาณค่าแบบ QUICK (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) ใช้ในการคำนวณหาค่าที่ผิวเซลล์ ϕ_f ซึ่งมีอันดับของความแม่นยำที่สูงขึ้น โดยใช้พื้นฐานของการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของวิธีการประมาณค่าต้นลมอันดับสอง (Second order upwind) ร่วมกับการประมาณค่าตัวแปรที่ศูนย์กลาง สำหรับผิวเซลล์ e ดังรูปที่ 3.5 หากมีการไหลจากทิศทางซ้ายไปขวา ค่าที่ผิวเซลล์ e สามารถเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_e = \theta \left[\frac{S_d}{S_c + S_d} \phi_p + \frac{S_d}{S_c + S_d} \phi_E \right] + (1 - \theta) \left[\frac{S_u + 2S_c}{S_u + S_c} \phi_p - \frac{S_c}{S_u + S_c} \phi_w \right] \quad (3.37)$$



รูปที่ 3.5 ปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ

เมื่อค่า $\theta=1$ สมการที่ (3.37) จะกลายเป็นสมการประมาณค่าในช่วงที่ศูนย์กลางอันดับสอง (central second order interpolation) ในขณะที่ $\theta=0$ จะได้สมการของการประมาณอันดับสอง แต่โดยทั่วไปแล้วการประมาณค่าแบบ QUICK จะกำหนดให้ $\theta=1/8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบอุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโครงสร้าง อุปกรณ์ และขั้นตอนการศึกษา โดยจะอธิบายถึงการออกแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งรูปแบบแผ่นบางติดปีกคู่ได้ถูกกำหนดรูปแบบปีกรูปตัววีแบบตรงกันปลายครีบน้ำวนกระแสการไหล โดยคำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเป็นหลัก การกำหนดรูปแบบแผ่นบางติดปีกคู่ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หลักๆ ดังนี้ คือ อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR), อัตราส่วนพิทช์ (PR) และองศาของมุมปะทะ (α)

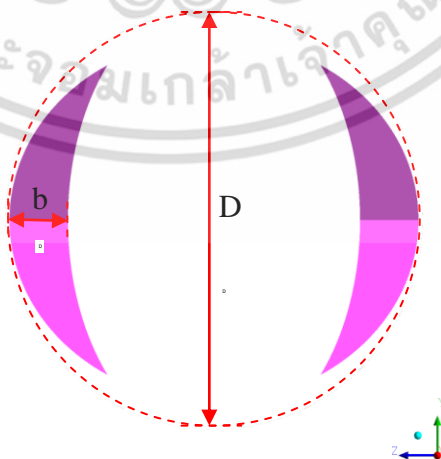
4.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใช้ในการศึกษา

4.1.1 แผ่นบางติดปีกคู่

ในการศึกษานี้ได้เริ่มต้นจากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ คือ แผ่นบางติดปีกคู่แบบตรงกันโดยปลายครีบน้ำวนกระแสการไหล โดยได้กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

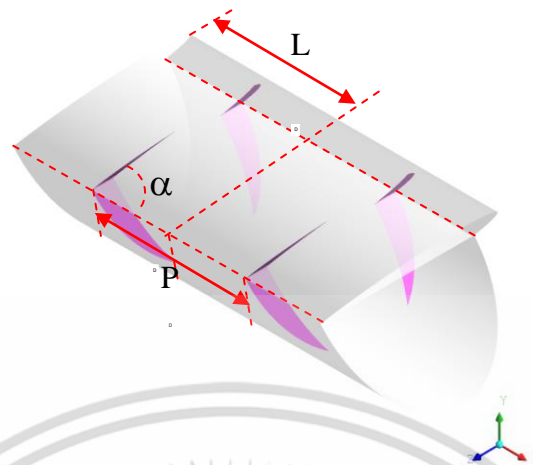
1. อัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15
2. อัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.5, 0.75 และ 1.0
3. มุมปะทะ (α) = 22.5° , 30° , 45° และ 60° ตามลำดับ
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.

เมื่อนำแผ่นบางติดปีกคู่ใส่ภายในท่อกลมผิวเรียบจะสามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของแต่ละตัวแปร และภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่



รูปที่ 4.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่

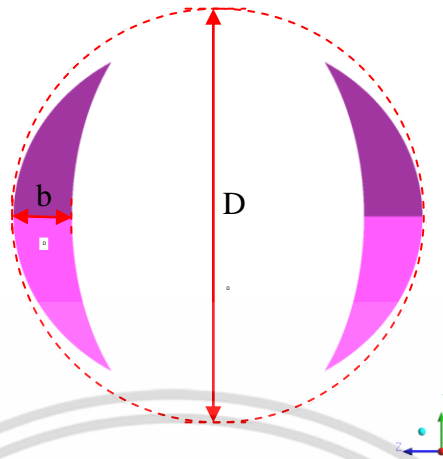
หลังจากศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใส่ภายในท่อกลม พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ไว้ในท่อกลมสามารถเหนี่ยวนำให้ของไหลเกิดการไหลแบบหมุนวน และส่งผลให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนได้ จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลกับผนังท่อกลมมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ แต่อย่างไรก็ตาม การใส่แผ่นบางติดปีกคู่ไว้ในท่อจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นมาก เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้อาจถือว่าได้ผลไม่ด้นัก จึงเป็นสาเหตุที่ต้องทำการปรับปรุงรูปทรงของแผ่นบางติดปีกคู่ต่อไป โดยการเปิดด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นบางติดปีกคู่ ซึ่งคาดหวังว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการปรับปรุงจะมีค่าลดลง รายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

4.1.2 แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

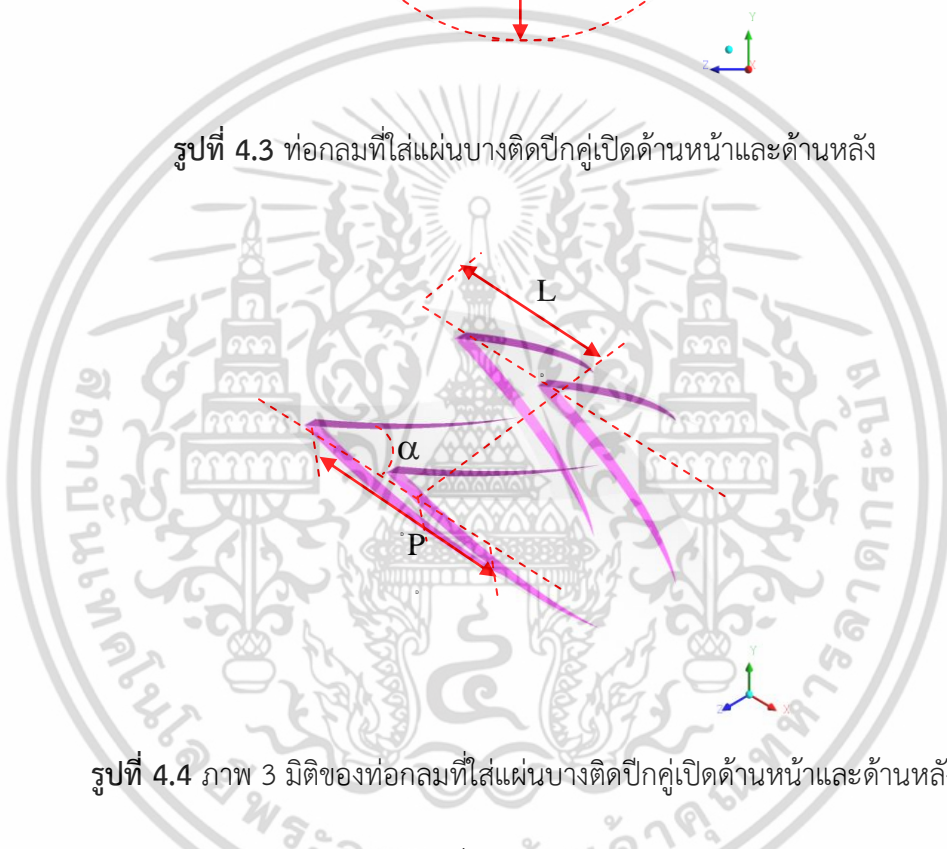
การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่นี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมลงจากแบบแผ่นบางติดปีกคู่ โดยการเปิดด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นบางติดปีกคู่ ซึ่งกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.075
2. อัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.5
3. มุมปะทะ (α) = 22.5°
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.

เมื่อนำแผ่นบางติดปีกคู่ใส่ภายในท่อกลมผิวเรียบจะสามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.3 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของแต่ละตัวแปร และภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 4.3 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 4.4 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

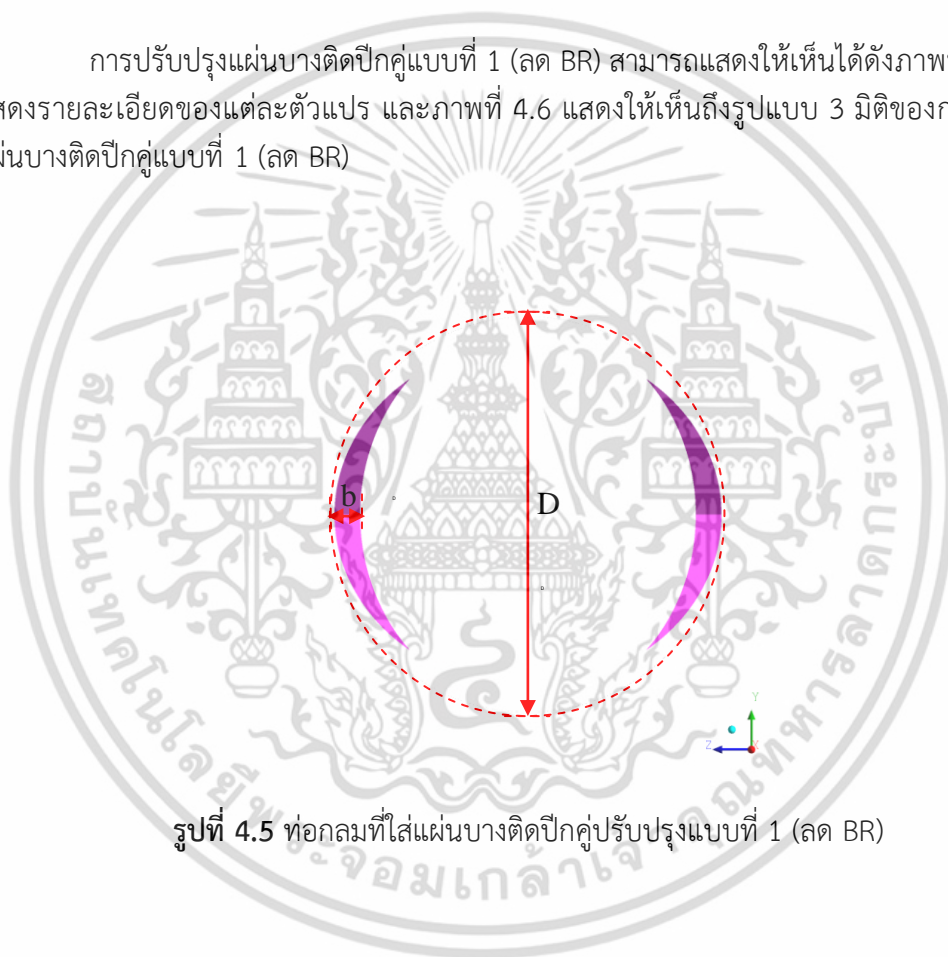
หลังจากศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใส่ภายในท่อกลม โดยการเปิดด้านหน้าและด้านหลัง พบว่าไม่ส่งผลต่อการลดค่าความดันตกคร่อมและการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของไหลกับผนังท่อกลมมากนักเมื่อเทียบกับท่อกลมติดปีกคู่แบบปกติ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้ยังถือว่าได้ผลไม่มากนัก จึงตัดประเด็นนี้ออกไป และเริ่มต้นทำการปรับปรุงรูปทรงของแผ่นบางติดปีกคู่ต่อไป โดยใช้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยการบีบให้ความกว้างหน้าตัดแผ่นบางติดปีกคู่ลดลง เพื่อลดอัตราส่วนความกว้างของแผ่นบางติดปีกคู่ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (Blockage ratio; $BR=b/D$) ซึ่งคาดหวังว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการปรับปรุงจะมีค่าลดลง รายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

4.1.3 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

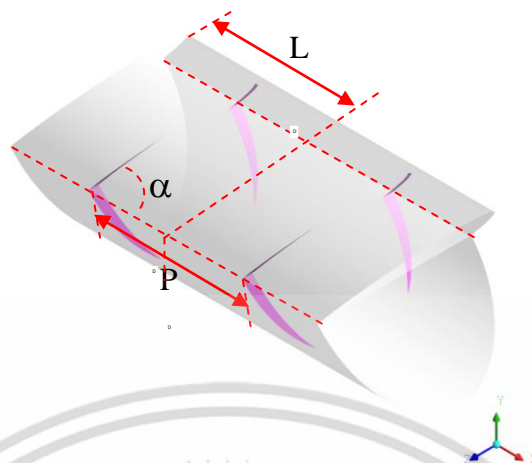
การปรับปรุงรูปทรงของแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 นี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมลงจากแบบแผ่นบางติดปีกคู่ โดยการลดค่า BR ของแผ่นบางติดปีกคู่ให้น้อยลง ซึ่งกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085 และ 0.09
2. อัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.5
3. มุมปะทะ (α) = 22.5°
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.

การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 (ลด BR) สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.5 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของแต่ละตัวแปร และภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ 3 มิติของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 (ลด BR)



รูปที่ 4.5 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR)



รูปที่ 4.6 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR)

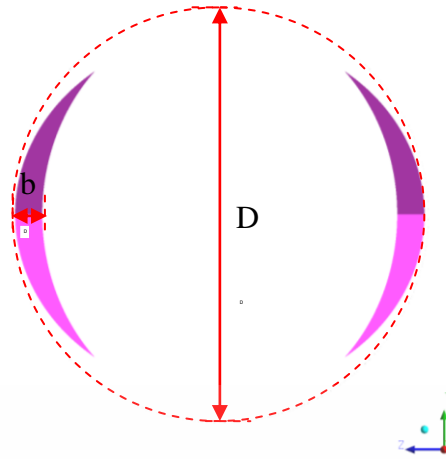
เมื่อได้ทำการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีการปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่สามารถเพิ่มการไหลหมุนวนแบบปั่นป่วนภายในท่อได้ จึงส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลกับผนังท่อกลมมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบเดิม พบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานที่ได้มีค่าลดลงมาก แต่อย่างไรก็ตามการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบปรับปรุงแบบที่ 1 นี้ ยังคงส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าที่สูงอยู่มาก และไม่เหมาะกับการนำไปใช้งาน จึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่นี้ โดยการลดอัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) แผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงยิ่งขึ้น

4.1.4 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio; PR)

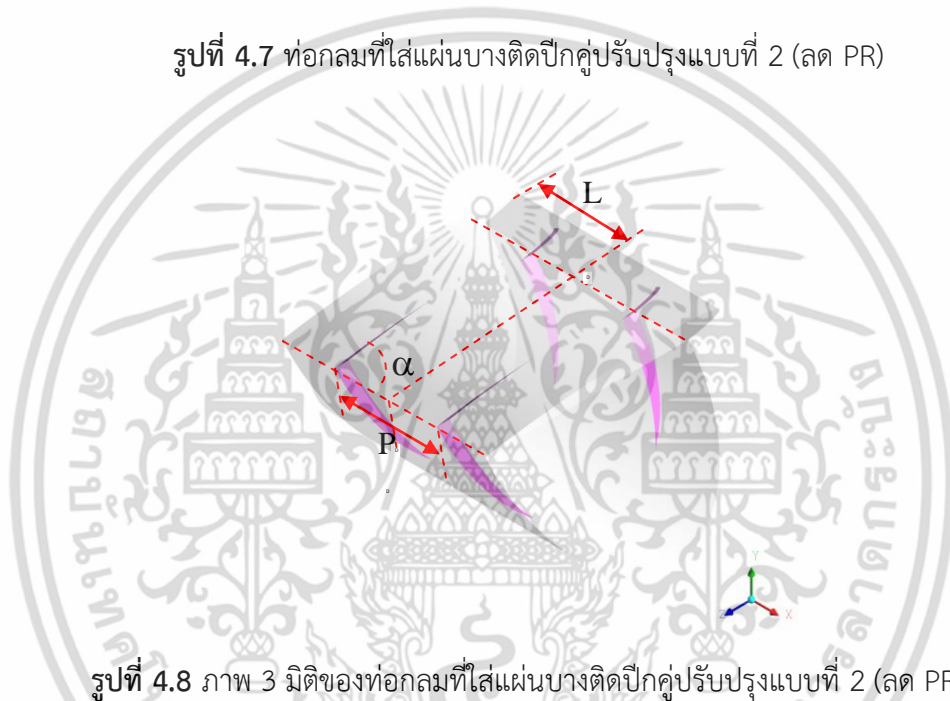
การปรับปรุงรูปทรงของแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 2 นี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมลงจากแบบเดิมและแบบปรับปรุง 1 โดยการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ให้ระยะใกล้กันมากขึ้น เพื่อให้การปะทะกับของไหลน้อยลง โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.085
2. อัตราส่วนระยะพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6
3. มุมปะทะ (α) = 22.5°
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.

การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 2 (ลด PR) สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของแต่ละตัวแปร และภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ 3 มิติของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 2 (ลด PR)



รูปที่ 4.7 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR)



รูปที่ 4.8 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR)

เมื่อได้ทำการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม สามารถทำให้การไหลหมุนวนแบบปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้นและเกิดการกระจายอุณหภูมิของของไหลไปสู่บริเวณผิวท่อมากขึ้นด้วย จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลกับผนังท่อกลมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ และการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 นี้ยังส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด BR) ตามที่คาดหวังไว้ จึงมีการปรับปรุงรูปแบบให้มุมปะทะกับของไหลให้น้อยที่สุด เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงกว่าเดิม ดังนั้นการปรับปรุงโดยการลดมุมปะทะจะถูกนำไปศึกษาต่อในหัวข้อถัดไป การประยุกต์ครั้งนี้จึงเป็นขั้นตอนสุดท้าย เพื่อหารูปแบบแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีแบบตรงกันปลายครีบน้ำวนกระแสการไหล โดยค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมและดีที่สุดสำหรับขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้

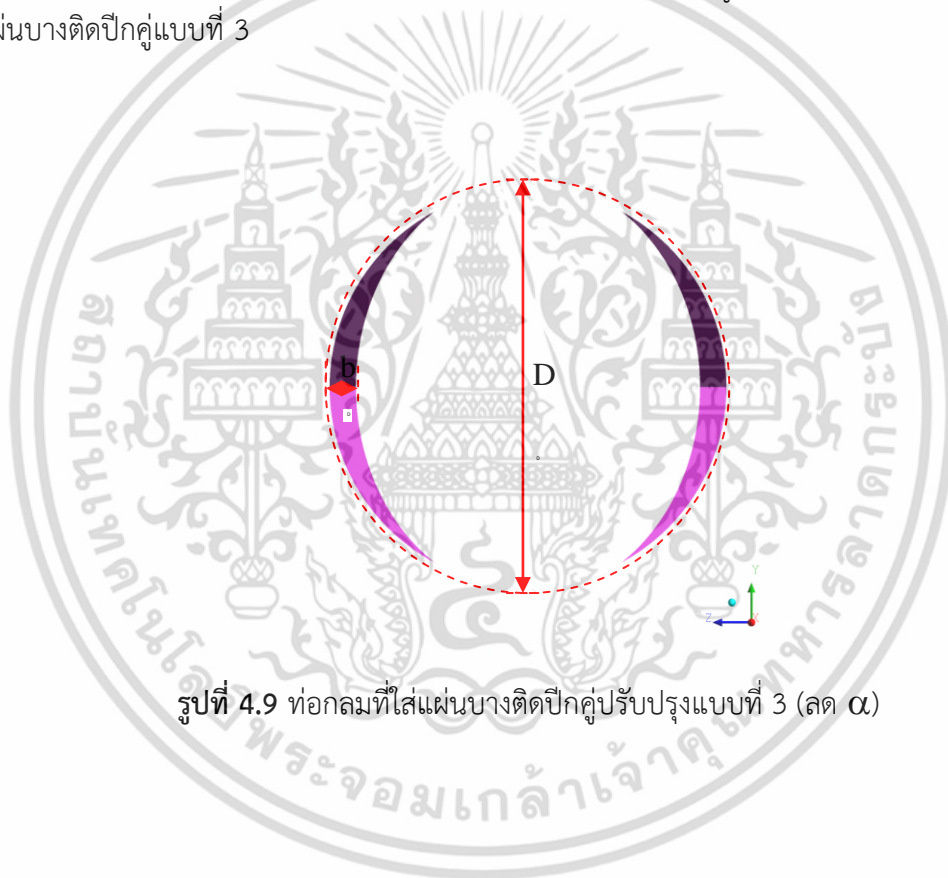
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (อิทธิพล มุมปะทะ; α)

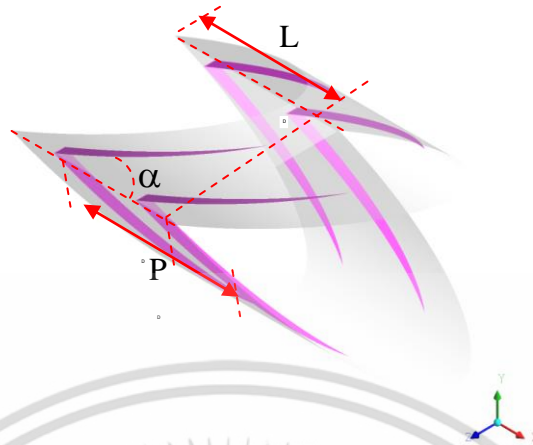
การปรับปรุงรูปทรงของแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 3 นี้ มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมลงจากแบบปรับปรุง 2 โดยการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ให้มุมปะทะกับของไหลน้อยลงกว่าเดิม โดยตัวแปรต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

1. อัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.085
2. อัตราส่วนระยะพิตช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.3
3. มุมปะทะ (α) = 20° , 22.5° , 24° , 25° , 26° และ 27°
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D) = 0.05 m. หรือเท่ากับ 50 mm.

การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 3 (ลด α) สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.9 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของแต่ละตัวแปร และภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ 3 มิติของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 3



รูปที่ 4.9 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α)



รูปที่ 4.10 ภาพ 3 มิติของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α)

จากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลด α) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อสามารถทำให้การไหลหมุนวนแบบปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้นและเกิดการกระจายอุณหภูมิของของไหลไปสู่บริเวณผิวท่อมากขึ้นด้วย จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลกับผนังท่อกลมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ และการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 นี้ยังส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด PR) ตามที่ได้คาดหวังไว้

ดังนั้นจากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่แบบปรับปรุงทั้งแบบที่ 1, 2, 3 และแบบเดิม จึงเป็นเหตุผลให้สรุปได้ว่า แผ่นบางติดปีกคู่แบบปรับปรุงแบบที่ 3 มีความเหมาะสมในการศึกษาและนำเสนอใจมากที่สุด เนื่องจากแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบที่ 3 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกกรณีที่น่ามาปรับปรุง อย่างไรก็ตาม การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนค่าตัวประกอบเสียดทานและลักษณะการไหลของของไหลทดสอบ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบปรับปรุงทั้งแบบที่ 1, 2, 3 และแบบเดิม จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป เพื่อเปรียบเทียบค่าในแต่ละหัวข้อและเพื่อการพิจารณาอย่างเหมาะสม

4.2 ตัวแปรที่สนใจในการวิเคราะห์ปัญหา

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับงานวิจัยนี้ ได้ใช้สมการหลักๆ ทั้งหมด 4 สมการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยเลขนัสเซิลต์เฉลี่ย (Nu), ตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิง (f), ตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อน (TEF) และเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่อยู่ในสถานะคงตัว (steady state) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละสมการ มีดังนี้

เลขนัสเซิลต์เฉลี่ย

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_s dA \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิง

$$f = \frac{(\Delta p) D}{2\rho Lu_0^2} \quad (4.2)$$

เมื่อ Δp คือ ค่าความดันตกคร่อม และ L คือ ความยาวหนึ่งช่วงการไหล

ตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อน

$$TEF = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (4.3)$$

เลขเรย์โนลด์

$$Re = \rho u_0 D / \mu \quad (4.4)$$

การวิเคราะห์หารูปแบบแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสมจะเปรียบเทียบกับผลจากค่าที่ได้จากตัวแปรหลักๆ ข้างต้น เพื่อเป็นตัวชี้วัดรูปแบบที่เหมาะสม โดยหลักการวิเคราะห์เบื้องต้น คือ ค่าเลขนัสเซิสท์หรือค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต้องมีค่าสูง ค่าตัวประกอบเสียดทานต้องมีค่าต่ำ และค่าตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อนหรือค่าสมรรถนะเชิงความร้อนต้องมีค่าสูง ซึ่งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเป็นตัวชี้วัดท้ายสุดที่จะบ่งชี้ได้ว่าแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้หรือไม่

4.3 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ

สำหรับการคำนวณการไหลในสามมิติ ได้ใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขต ดังต่อไปนี้

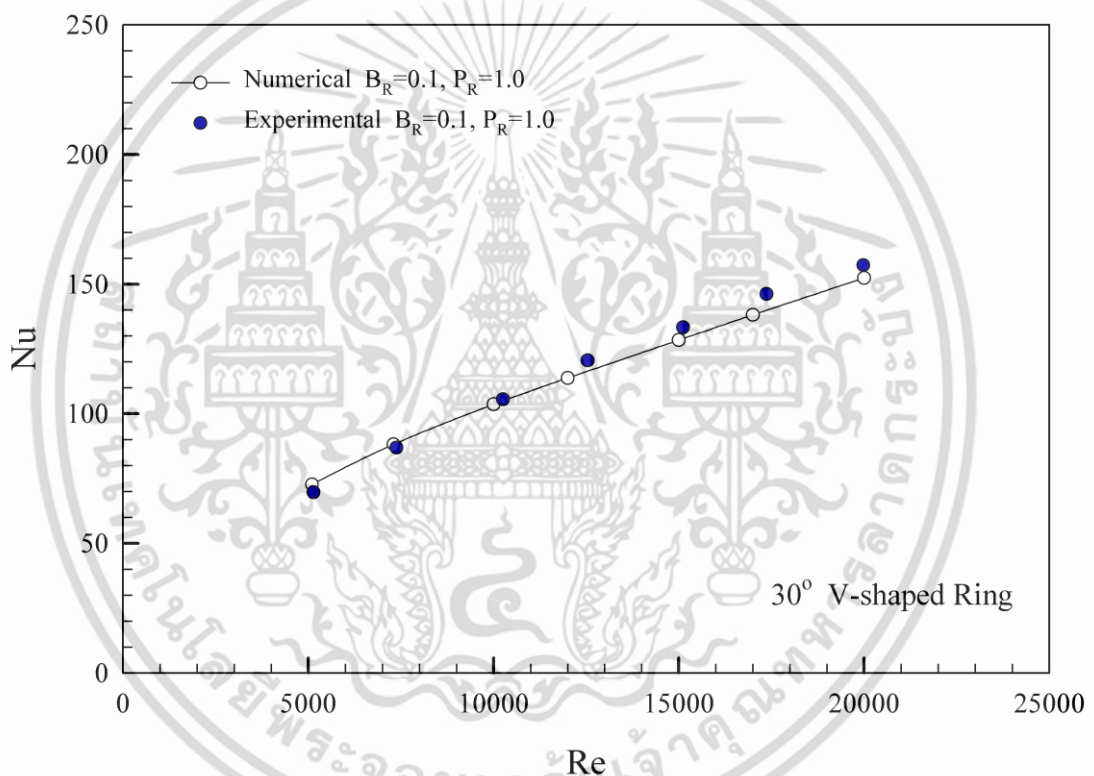
1. สภาพที่ทางเข้าและทางออกเป็นแบบ Periodic Translation
2. ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ
3. กำหนดอุณหภูมิของอากาศเข้าที่ 300K
4. คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า
5. กำหนดให้ค่าเลขพรานด์ (Prandtl number, Pr) มีค่าคงที่เท่ากับ 0.707 และไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่
6. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ผนังมีความเร็วเท่ากับศูนย์ (no slip condition) และเป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall)
7. กำหนดให้ค่าฟลักซ์ความร้อนของแผ่นบางมีค่าเท่ากับศูนย์หรือเป็นฉนวน
8. กำหนดให้ผนังของท่อกลมมีค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

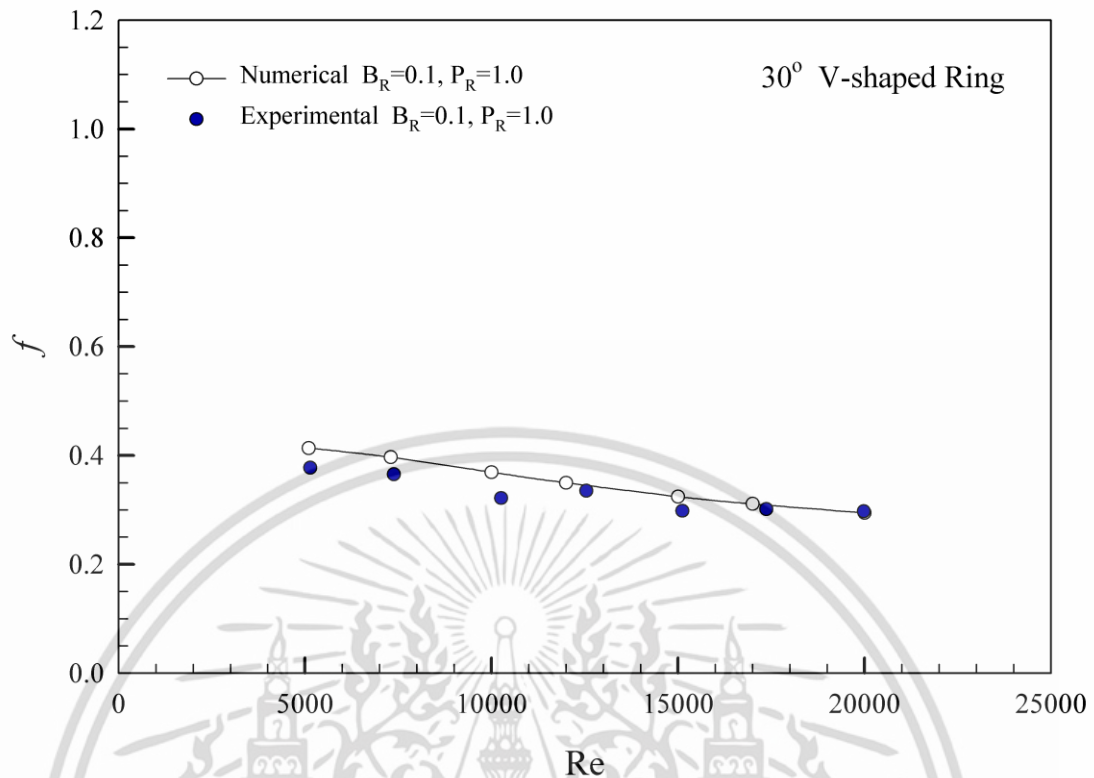
4.4 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข

4.4.1 การตรวจสอบแบบจำลองปั่นป่วน

ก่อนที่จะนำแบบจำลองเชิงตัวเลขไปใช้ในการหาคำตอบในการทดลองนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองปั่นป่วนที่ใช้เสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองปั่นป่วนที่ใช้ มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเลือกเปรียบเทียบผลของแบบจำลองปั่นป่วนกับงานวิจัยในอดีตของ Chingtuaythong et al. [6] และโดยการใส่แหวนรูปตัว V ลงในท่อที่มีการให้ความร้อนคงที่ ในลักษณะต้านการไหล โดยใส่แหวนรูปตัว V เอียงทำมุม 30° Blockage ratio = 0.1 และ Pitch ratio = 1.0 เปรียบเทียบกับแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ ใช้กระบวนการวิธีแบบ QUICK โดยผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.11 เลขนัสเซิร์ทจากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Chingtuaythong et al. [6]

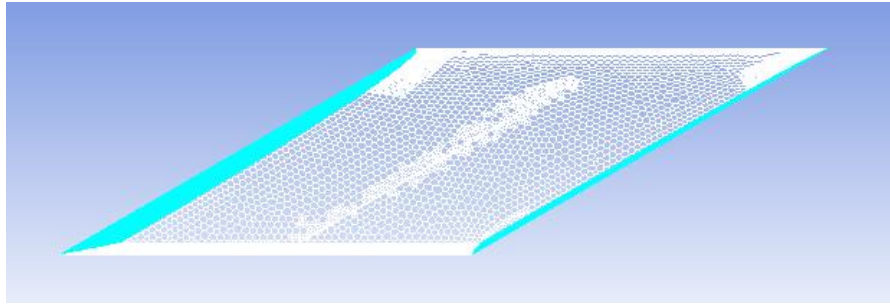


รูปที่ 4.12 ตัวประกอบเสียดทานจากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Chingtuaythong et al. [6]

ซึ่งการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขและผลจากการทดลองของ Chingtuaythong พบว่ามีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเลขนีสเซิสต์และตัวประกอบเสียดทานเทียบกับผลทดลองน้อยกว่า 3% และ 8% ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้แบบจำลองเชิงปั่นป่วน Realizable $k-\epsilon$ ที่ใช้กระบวนการวิธีแบบ QUICK มีความเหมาะสมที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้จึงเหมาะสมกับการนำไปทดลองต่อไป

4.5 การตรวจสอบจำนวนกริดที่เหมาะสม

การตรวจสอบหาจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสมกับการทดลองที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ ซึ่งใส่แผ่นบางติดปีกคู่ให้เป็นตัวสร้างความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อกลม โดยจัดวางแผ่นบางติดปีกคู่รูปตัววีปลายชี้ทวนกระแสการไหลภายในท่อกลมแบบขวางการไหล กำหนดให้พิจารณาการไหลแบบเป็นคาบ (periodic) โดยคำนวณการไหลในช่วงพัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วงหรืออาจเรียกว่าการคำนวณแบบเป็นโมดูล มีขอบเขตการไหลเป็นแบบสมมาตร (symmetry planes) ลักษณะการสร้างรูปแบบกริดและขอบเขตการไหลในงานวิจัยนี้ได้แสดงดังภาพที่ 4.13

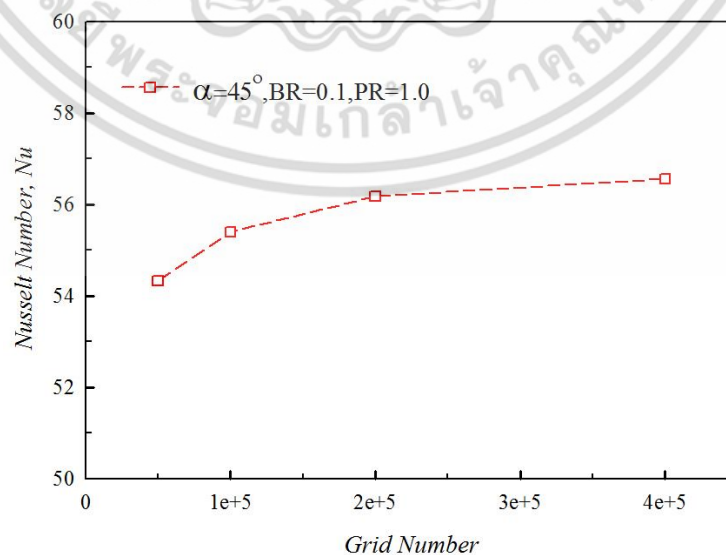


รูปที่ 4.13 รูปแบบกริดและขอบเขตการไหลของท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่

รูปแบบกริดที่ใช้สำหรับงานวิจัยที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมนี้ ได้ใช้การแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) ซึ่งพิจารณาบริเวณที่ติดผนังให้มีจำนวนกริดที่หนาแน่น โดยการอัดกริดเป็นชั้น Layer และบริเวณที่ห่างออกไปจากผนังก็มีจำนวนกริดเบาบางลง และตีกริดเป็นทรง polyhedral ส่วนการหาผลกระทบบของจำนวนกริดที่มีผลต่อคำตอบนั้น ได้ทำการศึกษาโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกัน จำนวน 4 ช่วง คือ ที่ 50,000, 100,000, 200,000 และ 400,000 ตามลำดับ ซึ่งการทดสอบได้ใช้วิธีการคำนวณหาผลเฉลยแบบ SIMPLE และใช้ระเบียบวิธีการคำนวณแบบ QUICK สำหรับการคำนวณ Momentum, Turbulent และ Energy โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังหัวข้อที่ 4.3 เงื่อนไขการลู่ออกหาคำตอบของทุกค่า อยู่ที่ 10^{-6} ยกเว้นสมการพลังงานซึ่งอยู่ที่ 10^{-9} ผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.1 จำนวนของกริดที่ใช้ในการทดสอบ

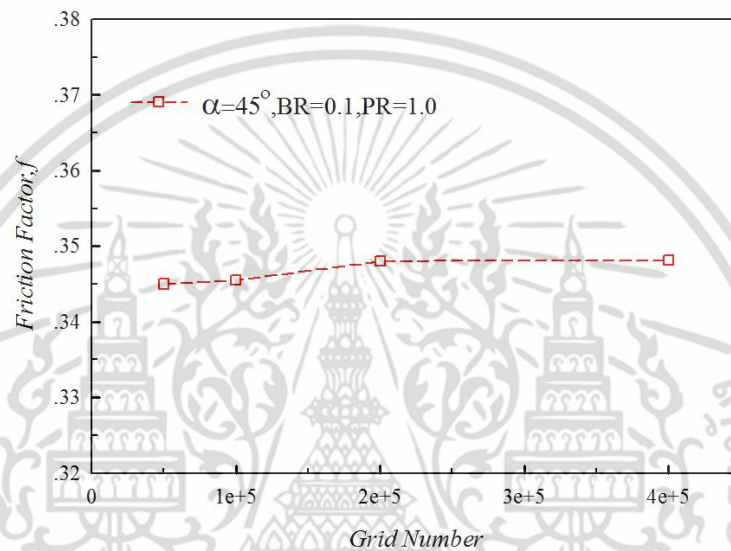
Grid number	50,000	100,000	200,000	400,000
Nu	54.33	55.40	56.18	56.56
f	0.3450	0.3455	0.3480	0.3481



รูปที่ 4.14 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า Nu ที่ $Re=4,000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 ชี้ให้เห็นว่าการสร้างกริดที่จำนวน 50,000 ให้ค่า Nu ที่ต่างจากการสร้างกริดที่จำนวน 100,000 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนถึง 1.96% ดังนั้นจึงเป็นที่มาให้เพิ่มจำนวนกริดขึ้นเป็น 200,000 และเมื่อเปรียบเทียบค่า Nu ที่จำนวนกริด 100,000 กับ 200,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.41% และทำการเพิ่มจำนวนกริดเพิ่มเติมออกไปอีกที่จำนวน 400,000 เพื่อให้แน่ใจว่าผลจากจำนวนกริดจะไม่เกิดความแปรปรวนขึ้นอีก เมื่อเปรียบเทียบค่า Nu ที่จำนวนกริด 200,000 กับ 400,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.68% ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แตกต่างจากกริด 200,000 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.15 อิทธิพลของจำนวนกริดต่อค่า f ที่ $Re=4,000$

จากรูปที่ 4.13 ชี้ให้เห็นว่าการตีจำนวนกริดที่ 50,000 ให้ค่า f ที่ต่างจากการตีจำนวนกริดที่ 100,000 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.15% และเพิ่มจำนวนกริดขึ้นเป็น 200,000 และเมื่อเปรียบเทียบค่า f ที่จำนวนกริด 100,000 กับ 200,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.72% ดังนั้นเพื่อความแน่ใจว่าผลจากจำนวนกริดจะไม่เกิดความแปรปรวนขึ้นอีก จึงเพิ่มจำนวนกริดเป็น 400,000 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกริด 200,000 กับ 400,000 พบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.02% เมื่อพิจารณาจากผลทดสอบจำนวนกริดจากทั้งค่า Nu และ f แล้ว จึงได้เลือกใช้จำนวนกริดอยู่ในช่วง 200,000 ในการศึกษา เนื่องจากผลที่ได้จากการทดสอบจำนวนกริดอยู่ในค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนกริดที่มากกว่านี้ เพื่อลดภาระการคำนวณให้น้อยลงจากการเลือกใช้จำนวนกริดที่เหมาะสม

4.6 วิธีการดำเนินการศึกษา

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่มีการทดสอบการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
2. สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาจำนวนกริดที่เหมาะสมในการศึกษา
4. สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน โดยทดสอบที่เลขเรย์โนลด์ 4,000 - 18,000 เพื่อหารูปแบบการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสม
5. เลือกรูปแบบการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสม และปรับอัตราส่วนพิตช์ อัตราส่วนบล็อกการไหล มุมปะทะ เป็นต้น และทดสอบที่เลขเรย์โนลด์ 4,000 - 18,000 เพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน
6. บันทึกข้อมูลค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้จากการทดลองในแต่ละกรณี
7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อเปรียบเทียบผลและเลือกรูปแบบการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ โดยวิเคราะห์จากค่าการถ่ายเทความร้อน ซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซิสต์ ค่าความดันตกคร่อม ซึ่งอยู่ในรูปของตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมช่วยให้เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่รูปแบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 4 ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการศึกษาด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการไหล ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมสำหรับการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม ซึ่งจะพิจารณาในส่วนของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่เป็นหลัก

การแสดงผลการศึกษาจะแสดงด้วยรูปภาพหรือกราฟ เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบที่ชัดเจน ซึ่งจะแสดงผลและอภิปรายผลเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมแบบเดิมและแบบปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบต่างๆ การกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ และอภิปรายผลเปรียบเทียบความแตกต่างและสรุปรูปแบบแผ่นบางติดปีกคู่ที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

5.1 แผ่นบางติดปีกคู่

5.1.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่

รูปแบบแรกที่ได้ทำการศึกษา คือ ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม โดยจัดวางแผ่นบางติดปีกคู่แบบชี้ทวนกระแสการไหลของของไหล โดยกำหนดอัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) = 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15 อัตราส่วนระยะพิตช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) = 0.5, 0.75 และ 1.0 และมุมปะทะ (α) = 22.5° , 30° , 45° และ 60° ตามลำดับ การใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมแสดงได้ดังรูป

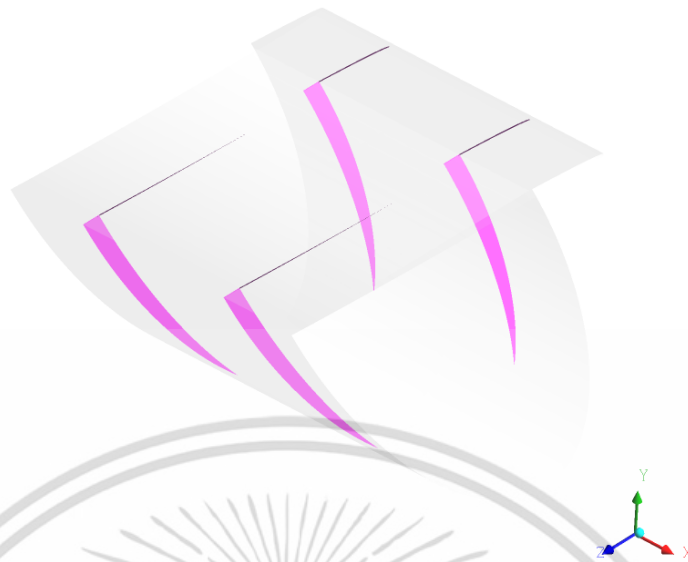


รูปที่ 5.1 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$



รูปที่ 5.2 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$

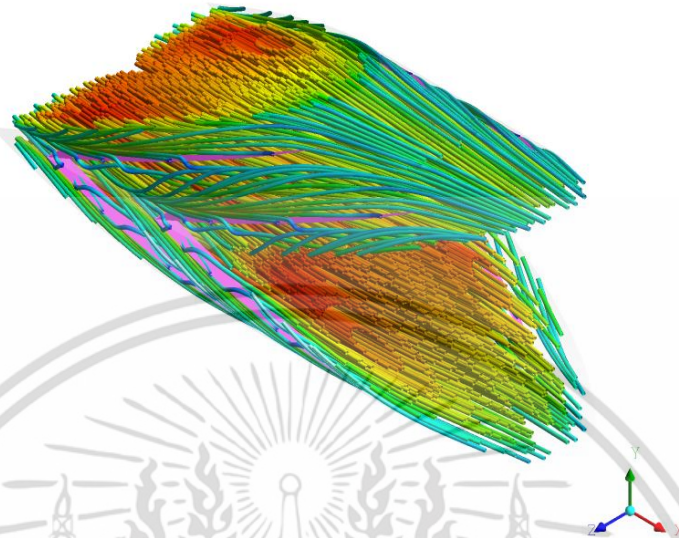
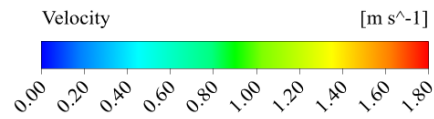


รูปที่ 5.4 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$

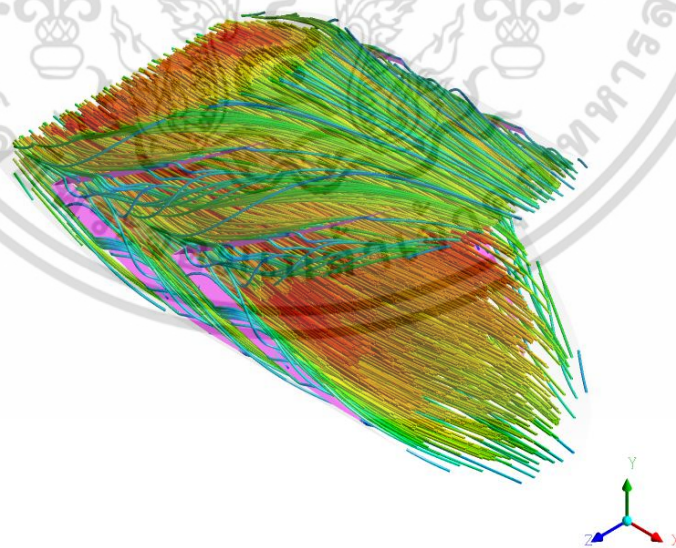
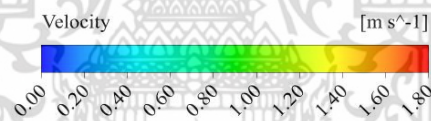
5.1.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่

เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลมผิวเรียบ ดังแสดงไว้ในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

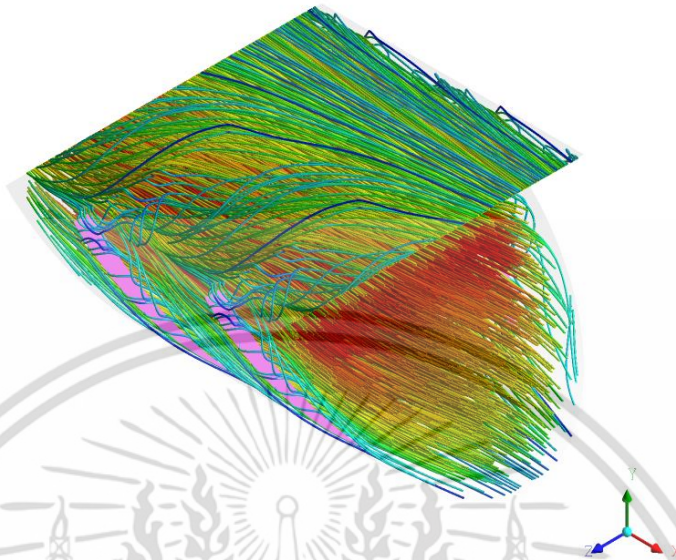
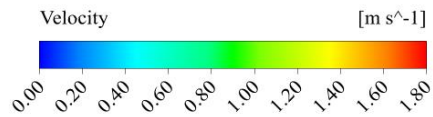


รูปที่ 5.5 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$

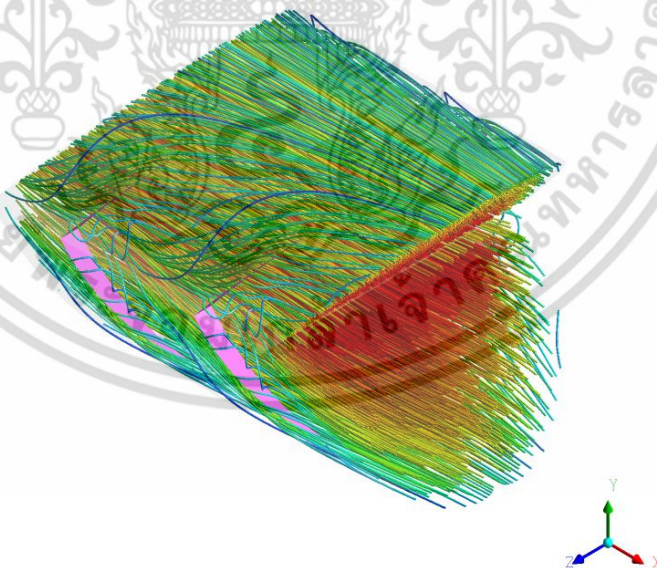
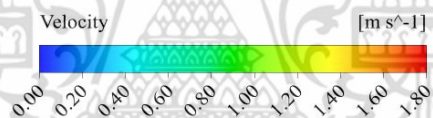


รูปที่ 5.6 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



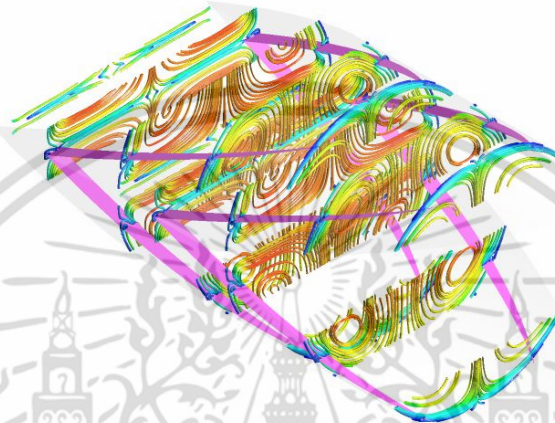
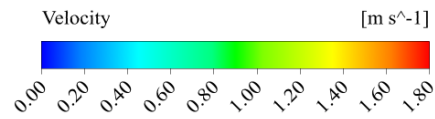
รูปที่ 5.7 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$



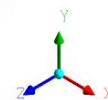
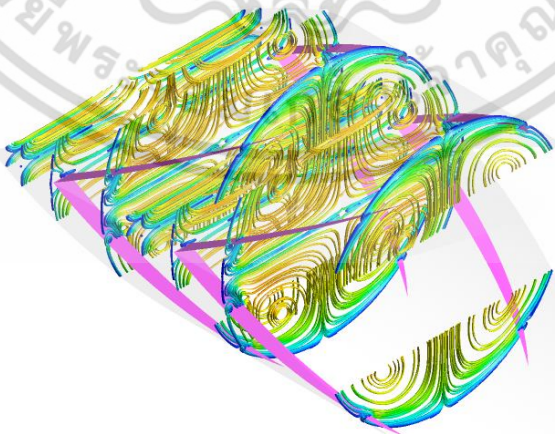
รูปที่ 5.8 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลมผิวเรียบ โดยใช้อากาศเป็นของไหล ทดสอบไหลผ่านแผ่นบางติดปีกคู่ ทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนขึ้น สามารถสังเกตได้จาก ลักษณะการไหลหมุนวนที่ด้านข้างแผ่นบางติดปีกคู่ แต่กระแสการไหลแบบปั่นป่วนที่เกิดขึ้นนี้ ไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

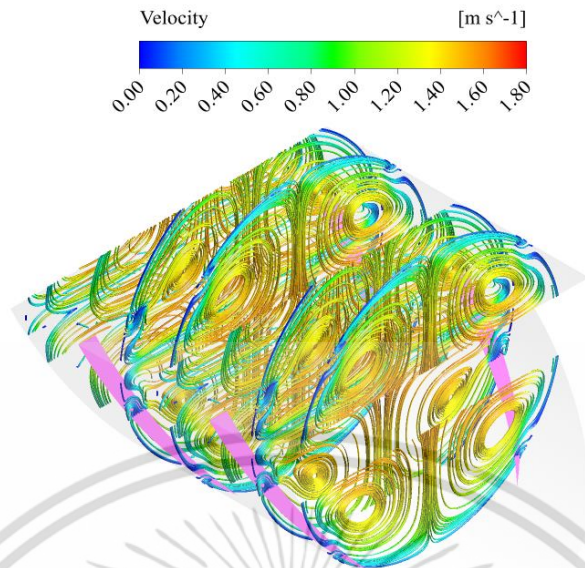
ยังมีจำนวนไม่มากนัก เนื่องจากกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในยังมีเส้นกระแสแบบเส้นตรงมากกว่าแบบหมุนวน หากมองภาพในแนวระนาบจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูป



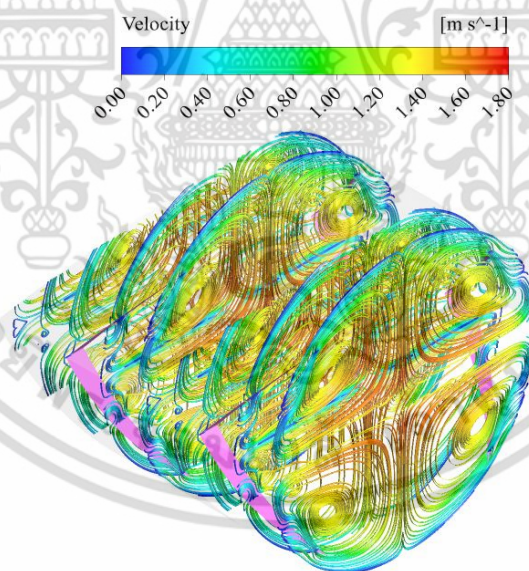
รูปที่ 5.9 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.10 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$ ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$



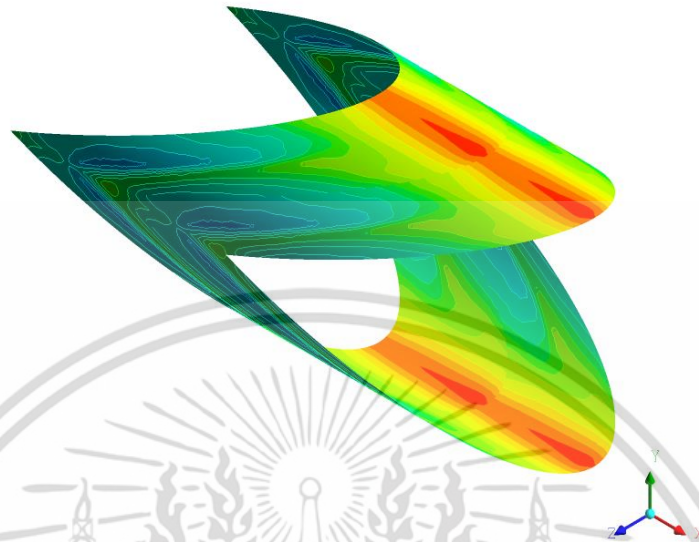
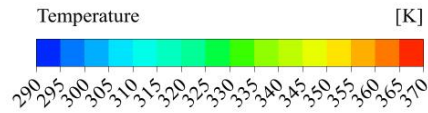
รูปที่ 5.12 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$

5.1.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่

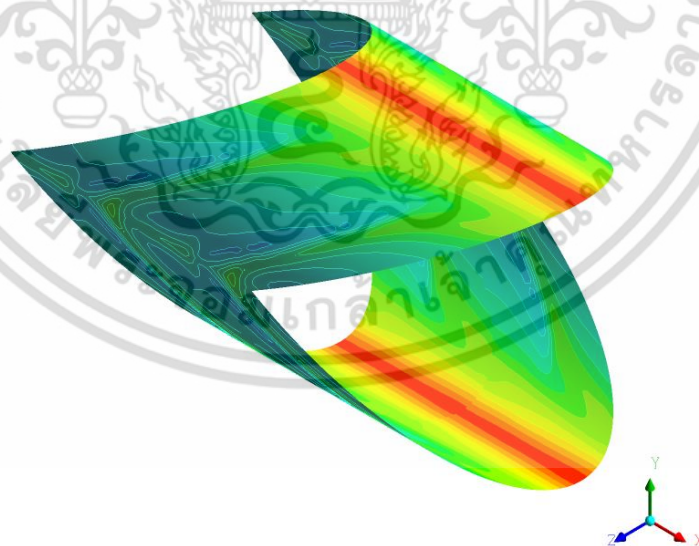
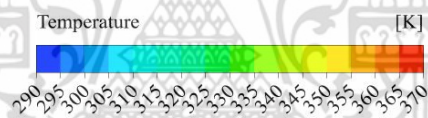
การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบตั้งเดิมภายในท่อกลมจะพิจารณาในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

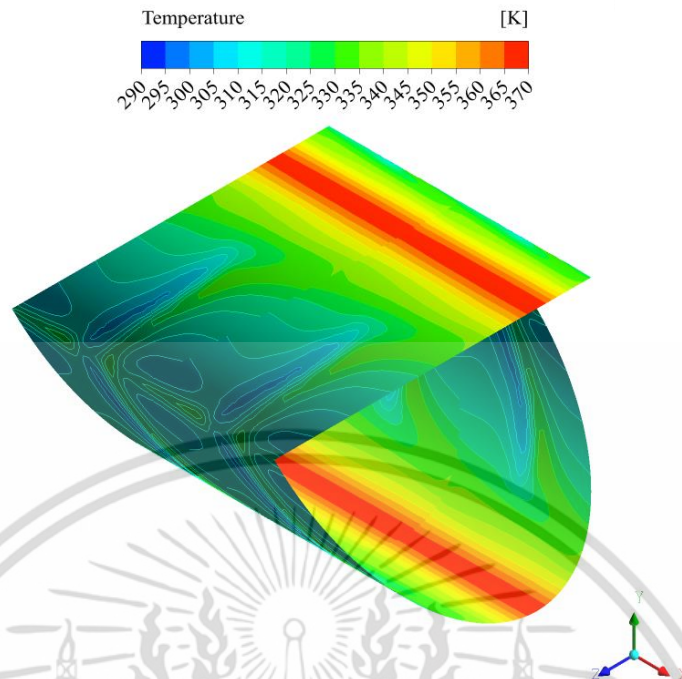


รูปที่ 5.13 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$

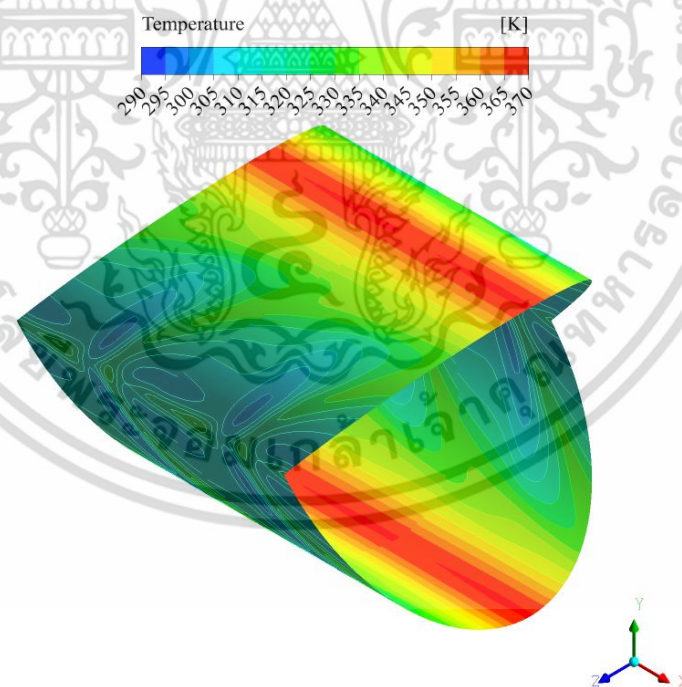


รูปที่ 5.14 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$



รูปที่ 5.16 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$

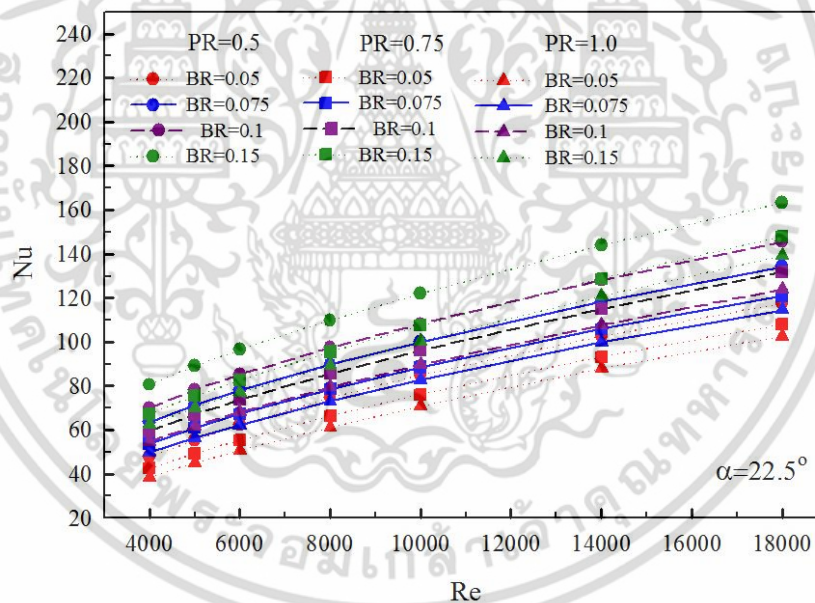
จากรูปแสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.05, 0.075, 0.1$ และ 0.15 , $PR = 0.5, 0.75$ และ 1.0 , $(\alpha) = 22.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ $Re = 4,000 - 18,000$ เมื่อพิจารณาคอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัยในเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในท่อกลมช่วยให้การกระจายของอุณหภูมิมากขึ้น โดยสังเกตได้จากคอนทอร์สสีฟ้าและสีเขียวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวท่อ เนื่องจากเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ทำให้การไหลเกิดความปั่นป่วนเป็นผลให้ของไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกับความร้อนที่บริเวณผนังท่อที่มีอุณหภูมิสูง เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏคอนทอร์สสีแดงบริเวณด้านบนบนของท่อ แสดงให้เห็นว่าบริเวณด้านบนบนท่อยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อย จึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

5.1.4 เลขนัสเซิลต์และอัตราส่วนเลขนัสเซิลต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่

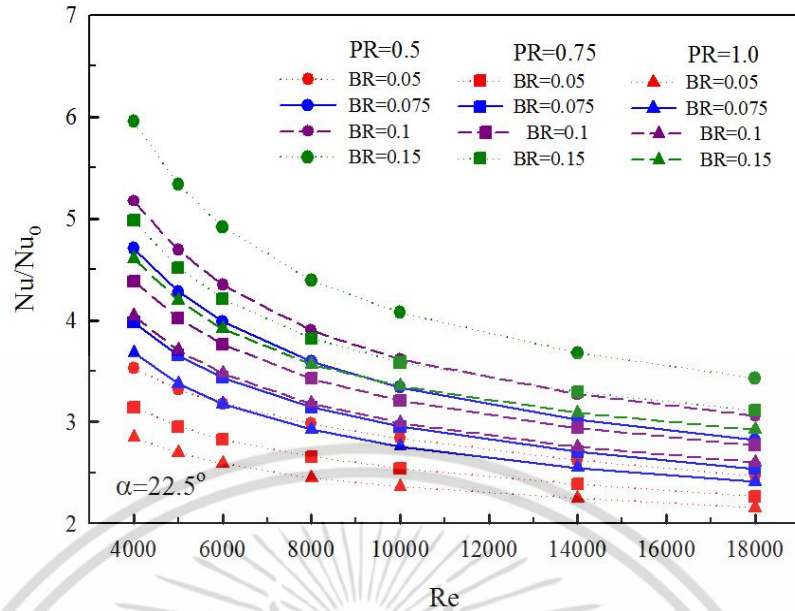
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซิลต์ (Nu) และอัตราส่วนเลขนัสเซิลต์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่เมื่อใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.05, 0.075, 0.1$ และ 0.15 , $PR = 0.5, 0.75$ และ 1.0 , $(\alpha) = 22.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ $Re = 4,000 - 18,000$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิลต์ มุม $\alpha = 22.5^\circ$ อยู่ในช่วง $38.51 - 163.23$ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนเลขนัสเซิลต์อยู่ในช่วง $2.15 - 5.95$ เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.17



(ก)

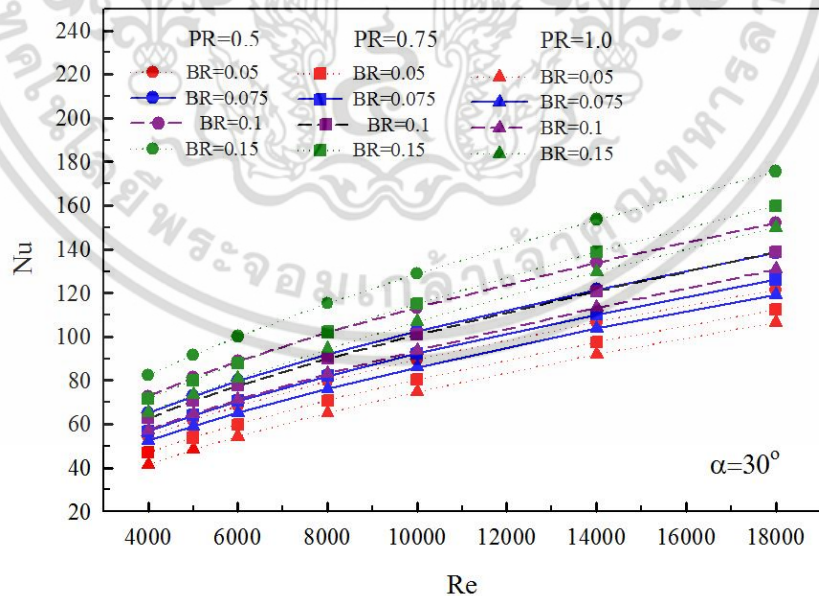
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

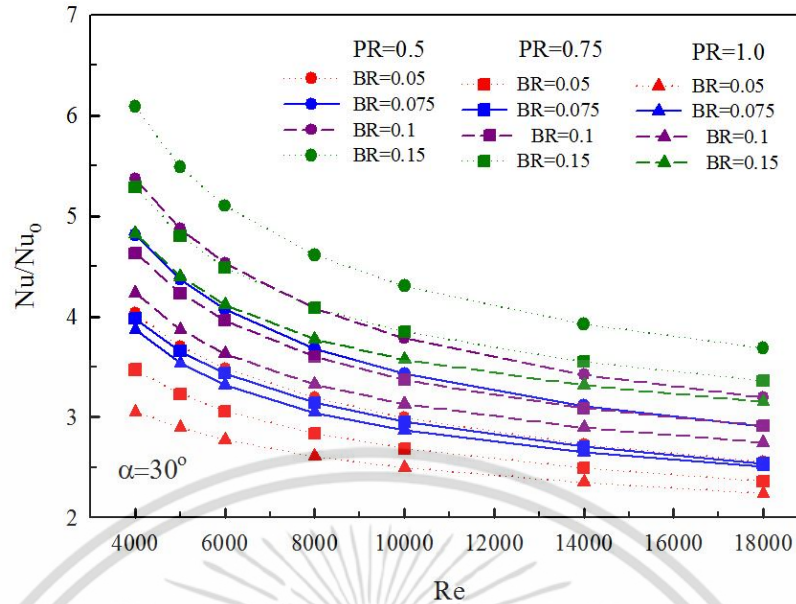
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$
 (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิสท์ มุม $\alpha = 30^\circ$ อยู่ในช่วง 41.30 – 175.42 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์อยู่ในช่วง 2.24 - 6.08 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.18



(ก)

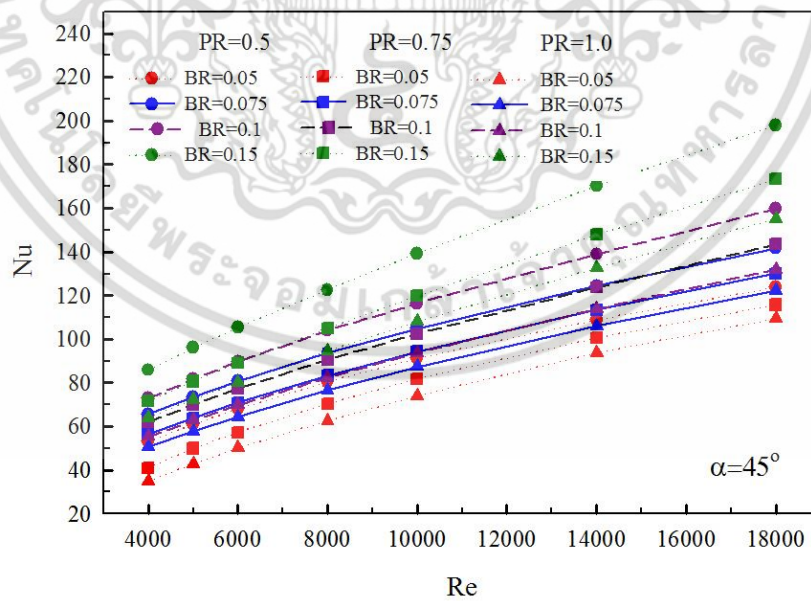
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

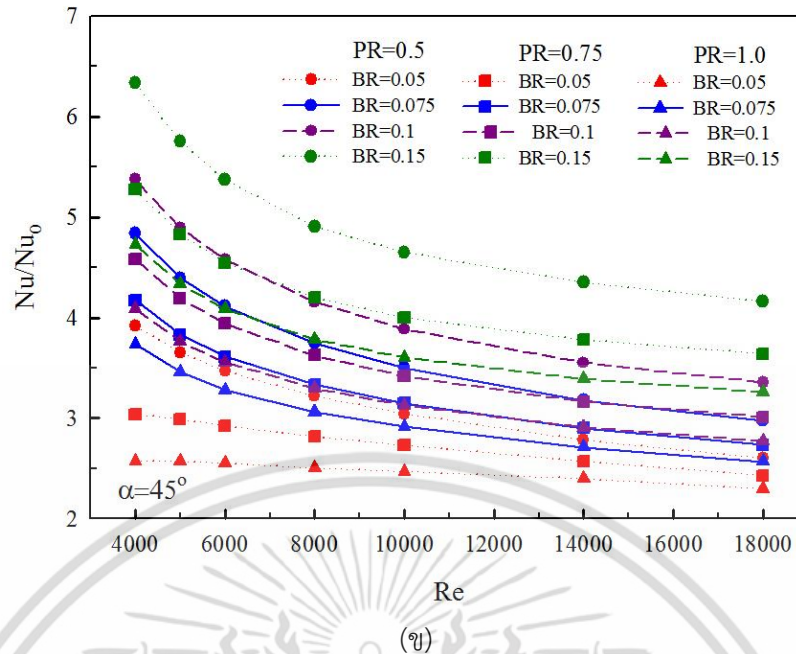
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$
(ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิสท์ มุม $\alpha = 45^\circ$ อยู่ในช่วง 34.84 – 198.01 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์อยู่ในช่วง 2.29 - 4.16 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.19



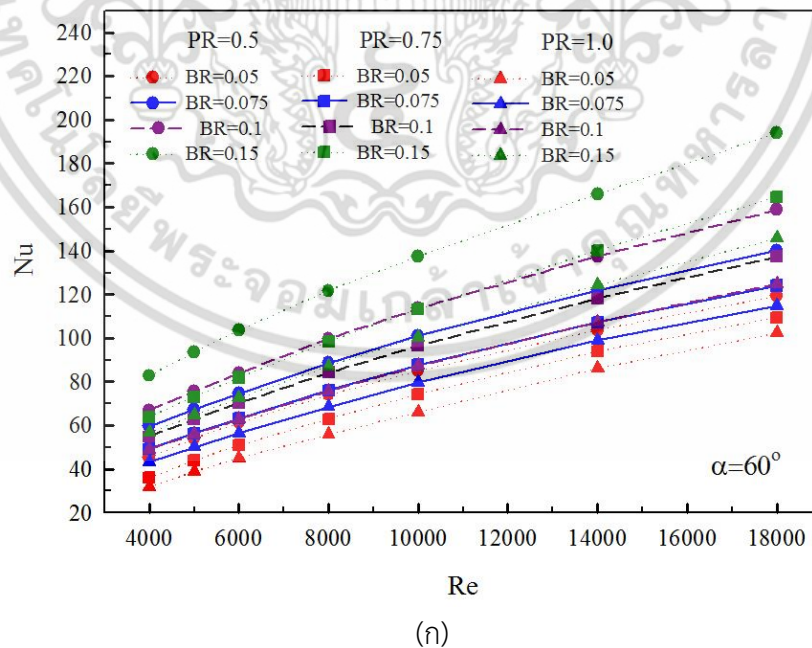
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

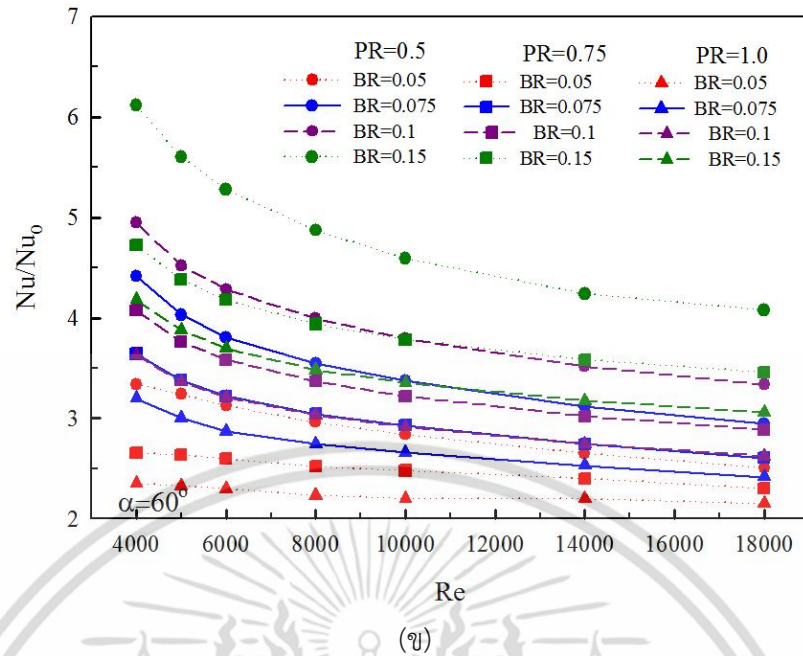


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$
(ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิสท์ มุม $\alpha = 60^\circ$ อยู่ในช่วง 31.79 – 194.10 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์อยู่ในช่วง 2.12 - 6.11 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

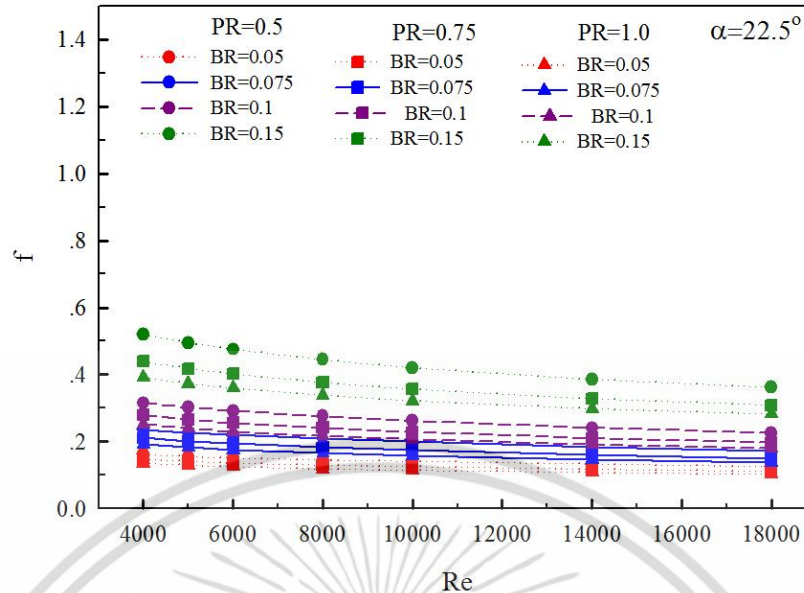


รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$
(ก)ค่าเลขนัสเซิร์ท (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิร์ท

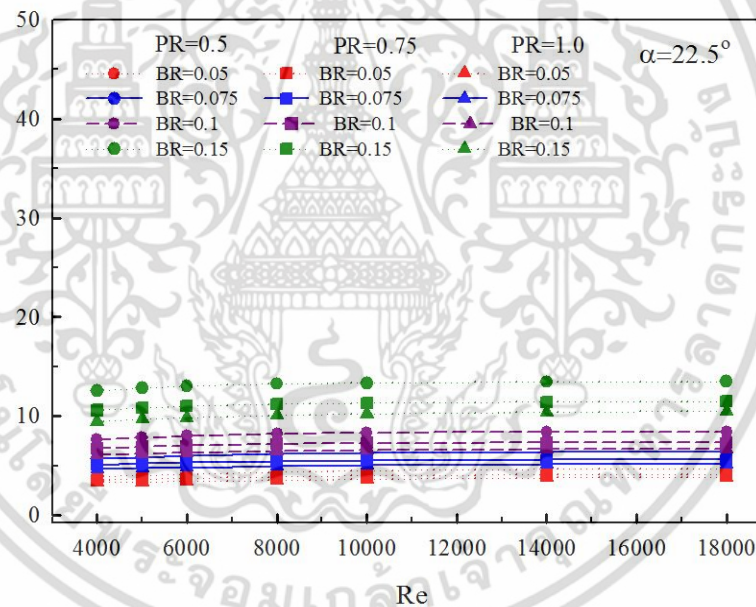
5.1.5 ตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่แบบตั้งเดิมเมื่อใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ BR = 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15, PR = 0.5, 0.75 และ 1.0, (α) = 22.5° , 30° , 45° , 60° และ $Re = 4,000 - 18,000$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทาน มุม $\alpha = 22.5^\circ$ อยู่ในช่วง 0.13 - 0.51 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 3.20 - 13.46 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.21



(ก)

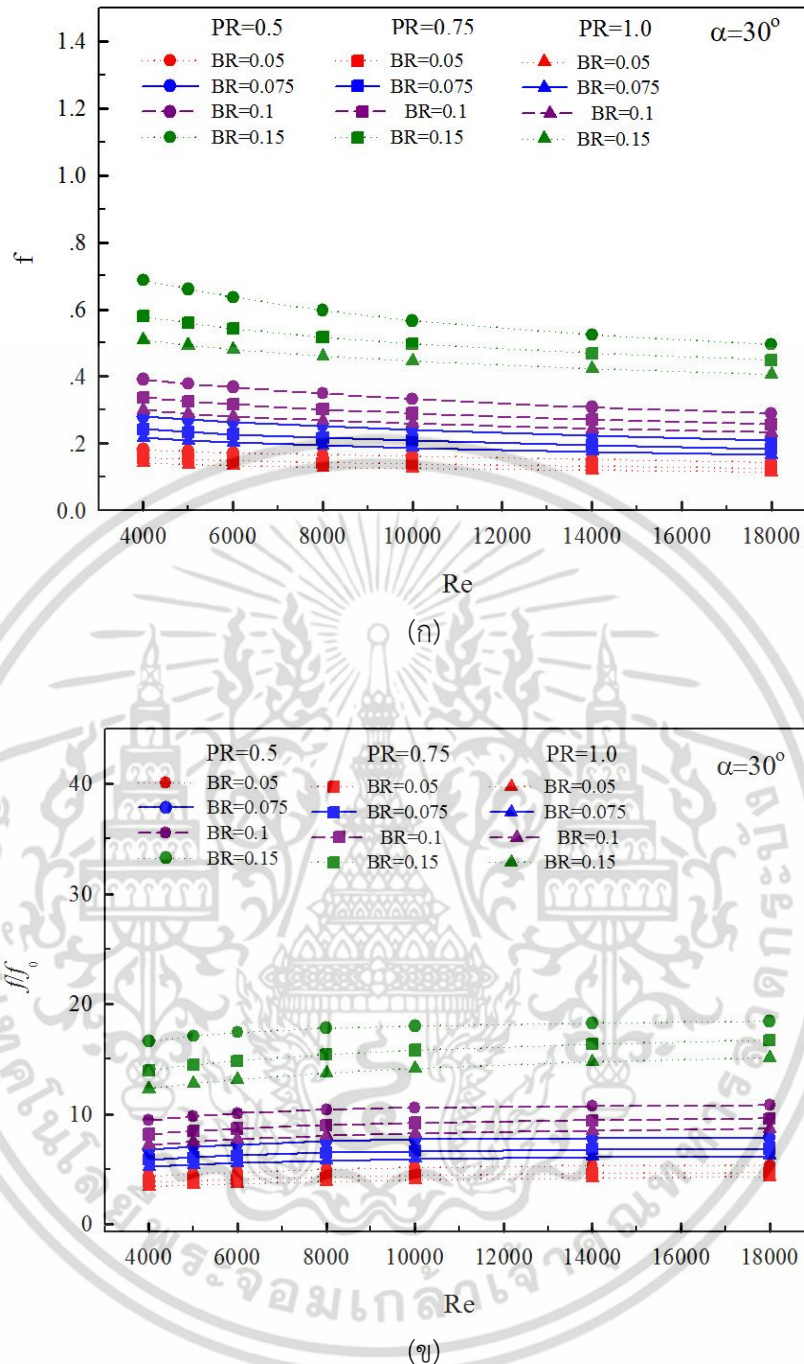


(ข)

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$
 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทาน มุม $\alpha = 30^\circ$ อยู่ในช่วง 0.11 - 0.68 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 3.43 - 18.43 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.22

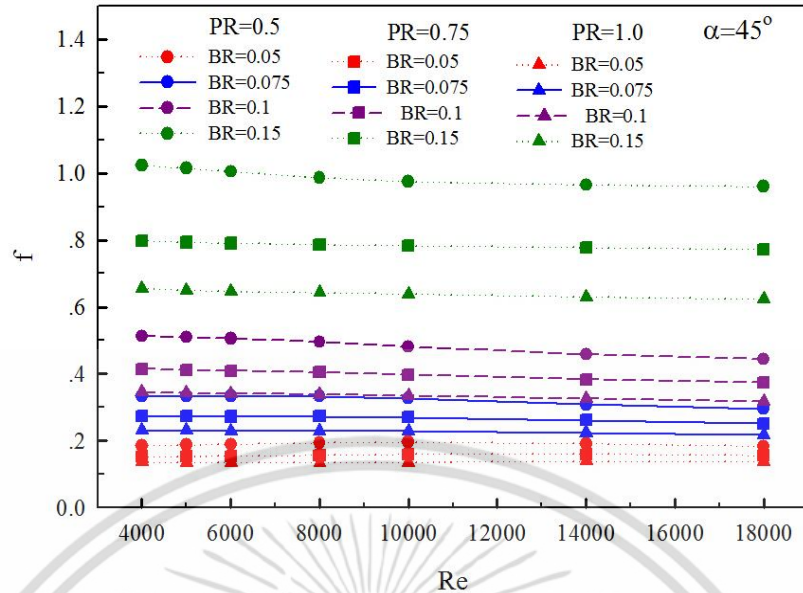
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



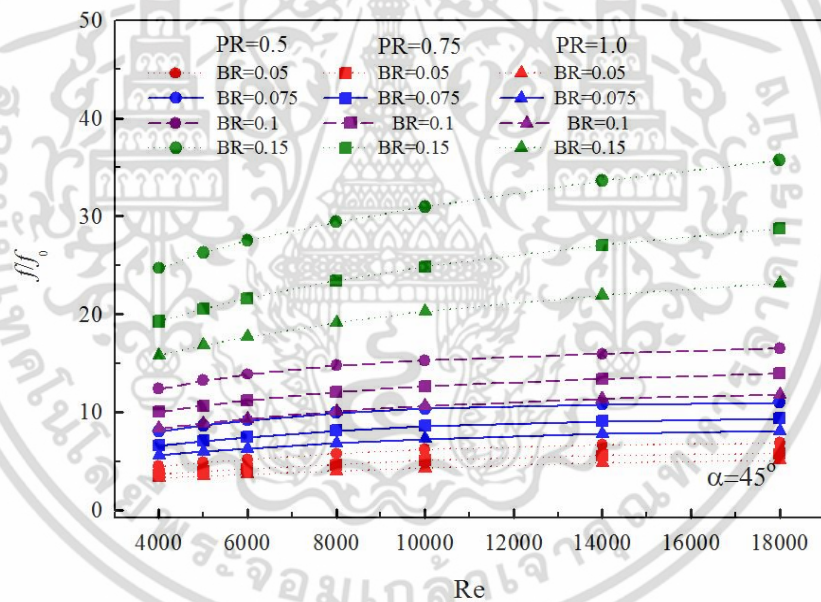
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$
(ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทาน มุม $\alpha = 45^\circ$ อยู่ในช่วง 0.13 - 1.02 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 3.29 - 35.69 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

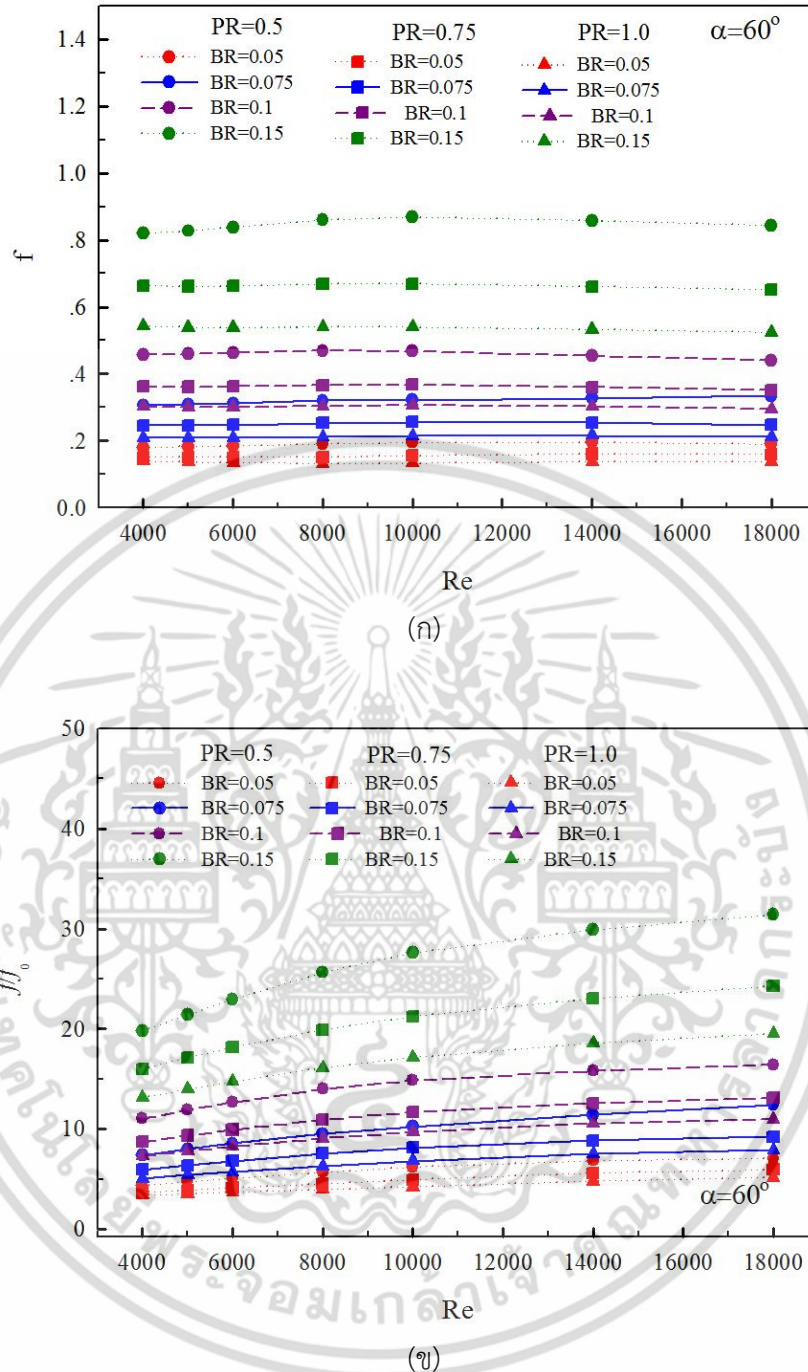


(ข)

รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$
 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทาน มุม $\alpha = 60^\circ$ อยู่ในช่วง 0.13 - 0.82 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 3.36 - 31.39 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$
(ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

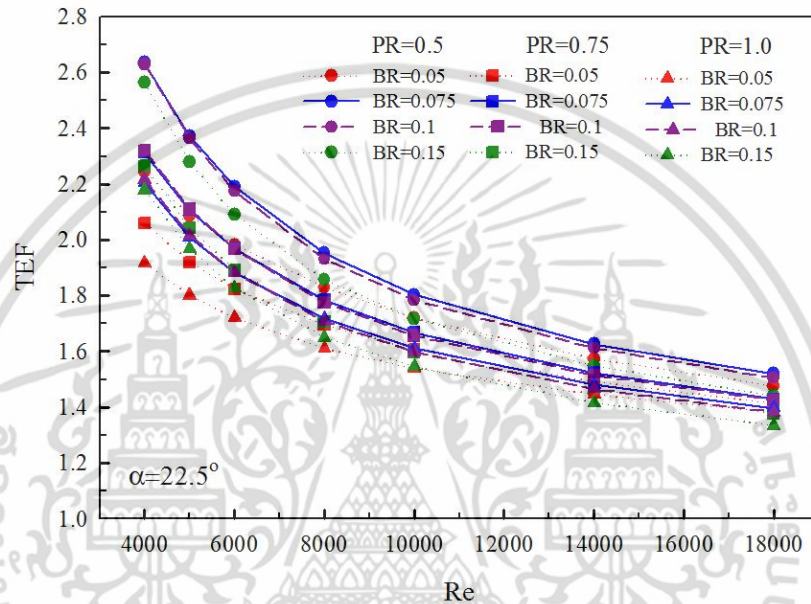
เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) ร่วมกับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่น้อยลง แต่ก็ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับชีวิตถึงประสิทธิภาพที่ได้ และเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้แผ่นบางติดปีกคู่ได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่าหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่

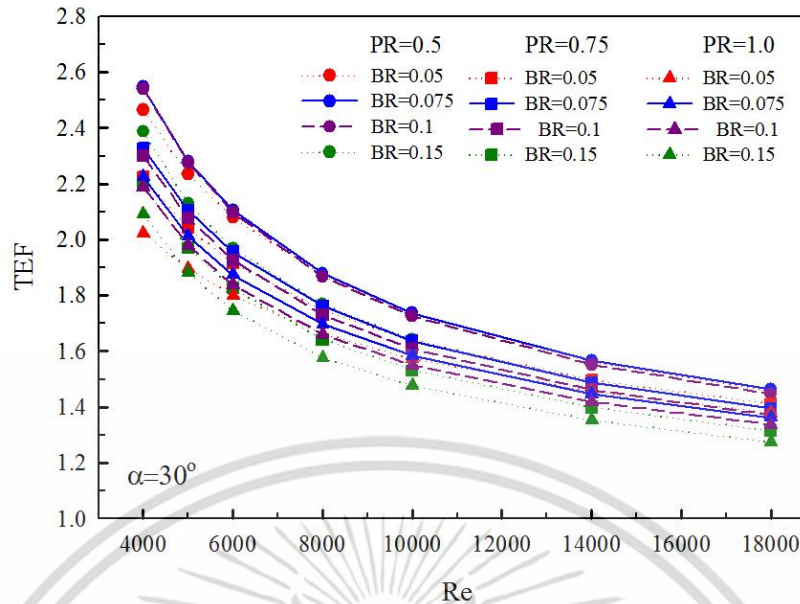
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่เมื่อใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.05, 0.075, 0.1$ และ 0.15 , $PR = 0.5, 0.75$ และ 1.0 , $(\alpha) = 22.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ $Re = 4,000 - 18,000$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อน มุม $\alpha = 22.5^\circ$ อยู่ในช่วง $1.33 - 2.64$ เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.25



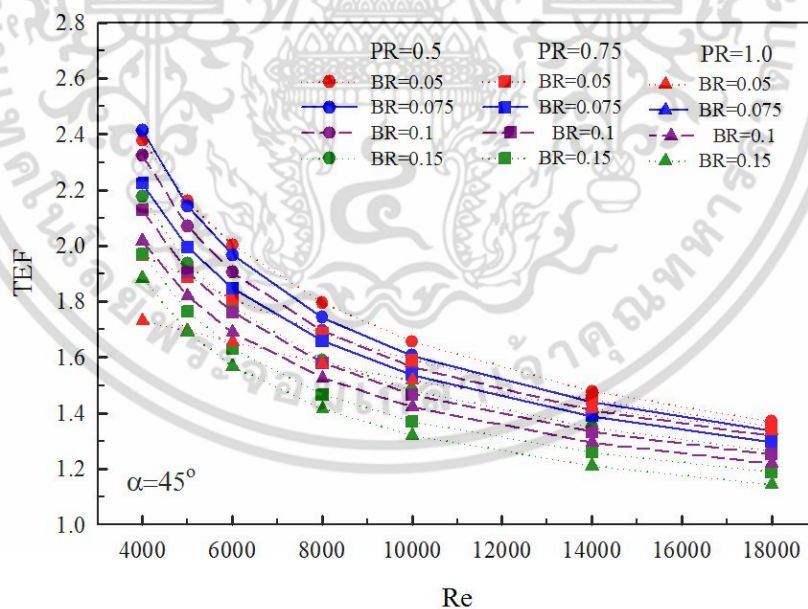
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 22.5^\circ$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อน มุม $\alpha = 30^\circ$ อยู่ในช่วง $1.27 - 2.54$ เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 30^\circ$

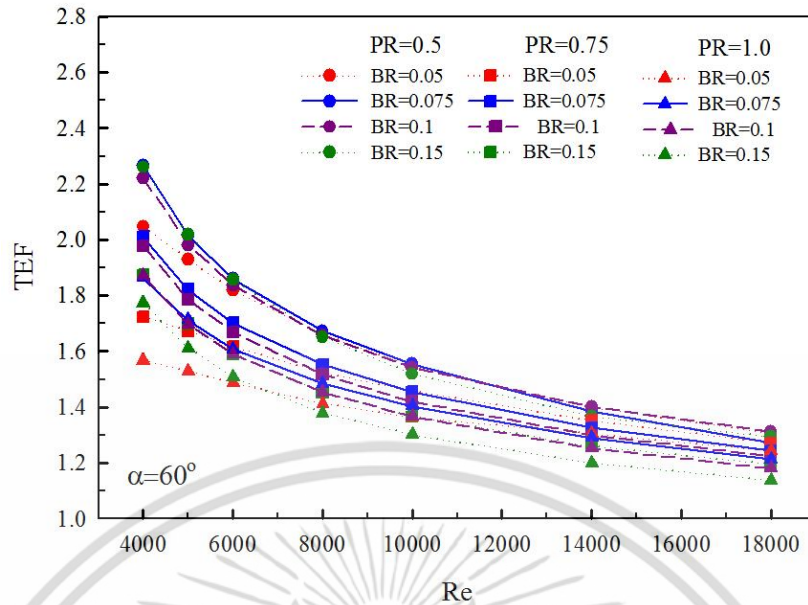
เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อน มุม $\alpha = 45^\circ$ อยู่ในช่วง 1.28 - 2.41 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 45^\circ$

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อน มุม $\alpha = 60^\circ$ อยู่ในช่วง 1.13 - 2.26 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ มุม $\alpha = 60^\circ$

จากการพิจารณาข้างต้นพบว่า การใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม สามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของการไหล ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่บริเวณผนังได้มากขึ้น แต่ไม่คุ้มค่ากับการศึกษาและการลงทุนในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิมมีค่าประสิทธิภาพต่ำ อันเนื่องมาจากค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มสูงขึ้นมาก ทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ไม่ดีไปกว่าการใช้ท่อเปล่าผิวเรียบแบบธรรมดา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปรับปรุงรูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป เพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้มีค่าลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ด้วยหลักการดังกล่าวนี้ จึงเป็นเหตุผลหลักในการเลือกปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4

5.2 แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

5.2.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

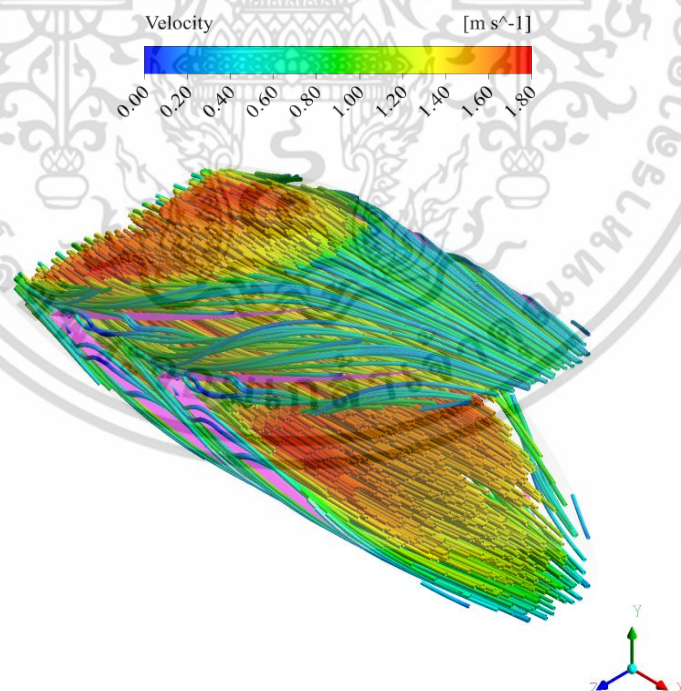
จากการศึกษาการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิม ทำให้ทราบว่าสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ยังมีปัญหาค่าตัวประกอบเสียดทานที่ยังสูง และการกระจายของอุณหภูมิยังน้อยที่บริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งคาดว่าจะลดพื้นที่ขวางการไหลให้น้อยลงและช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานลงได้ แต่การเปิดด้านหน้าและด้านหลังนั้น ที่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดจากหัวข้อก่อนหน้านี้นี้ที่มุม $\alpha = 22.5^\circ$, BR = 0.075 และ PR = 0.5 จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ไม่ส่งผลต่อการลดค่าความดันตกคร่อมและการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลกับผนังท่อกลมมากนักเมื่อเทียบกับท่อกลมติดปีกคู่แบบปกติ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่ได้ยังถือว่าได้ผลไม่ด้นัก จึงตัดประเด็นนี้ออกไป ตัวอย่างดังรูป 5.29



รูปที่ 5.29 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

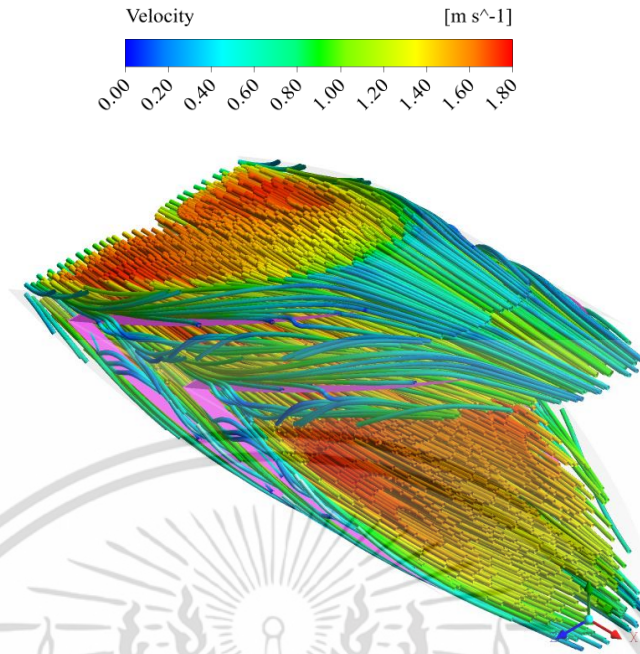
5.2.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลมผิวเรียบ แสดงได้ดังรูป



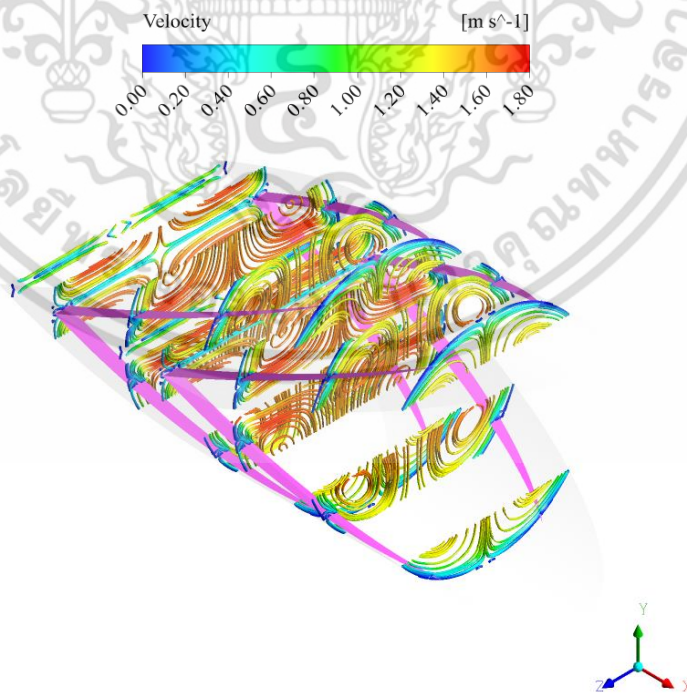
รูปที่ 5.30 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



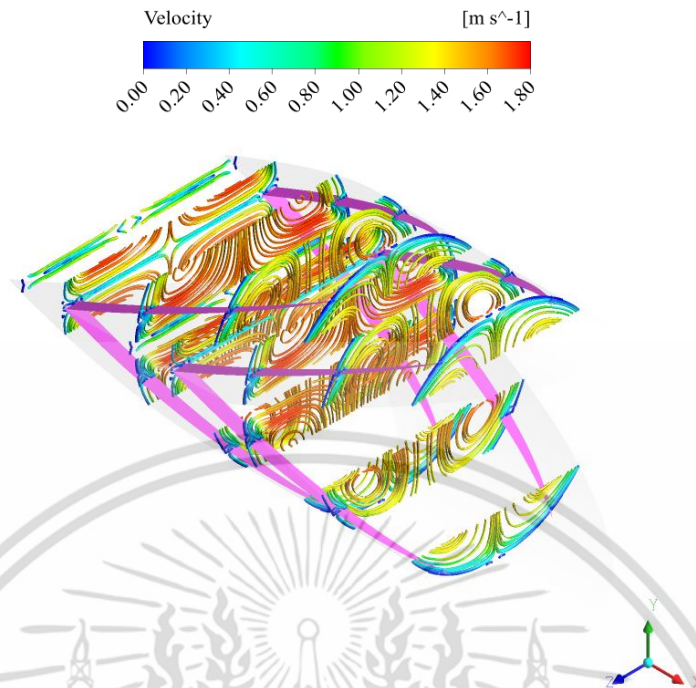
รูปที่ 5.31 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังภายในท่อกลม สามารถทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะการไหลเกิดการหมุนวนที่ด้านข้างของแผ่นบางติดปีกคู่มีมากกว่าแบบดั้งเดิม หากมองภาพในแนวระนาบจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูป



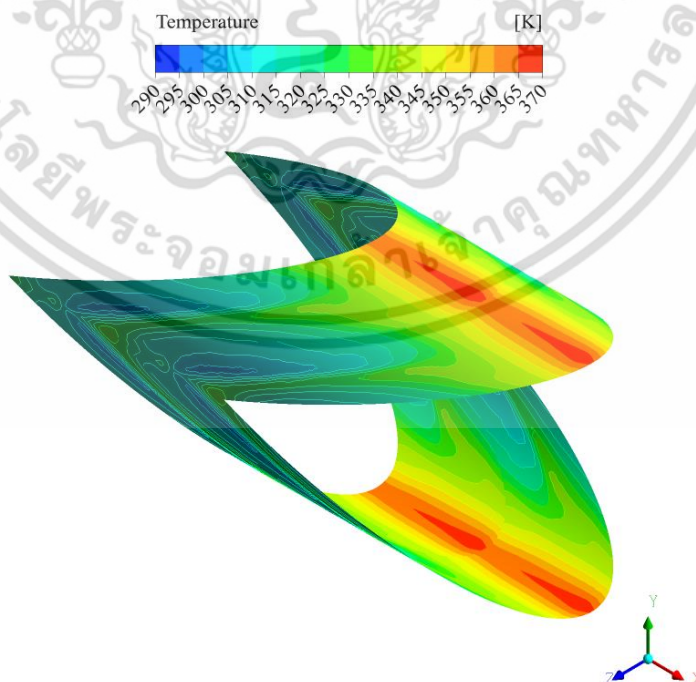
รูปที่ 5.32 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

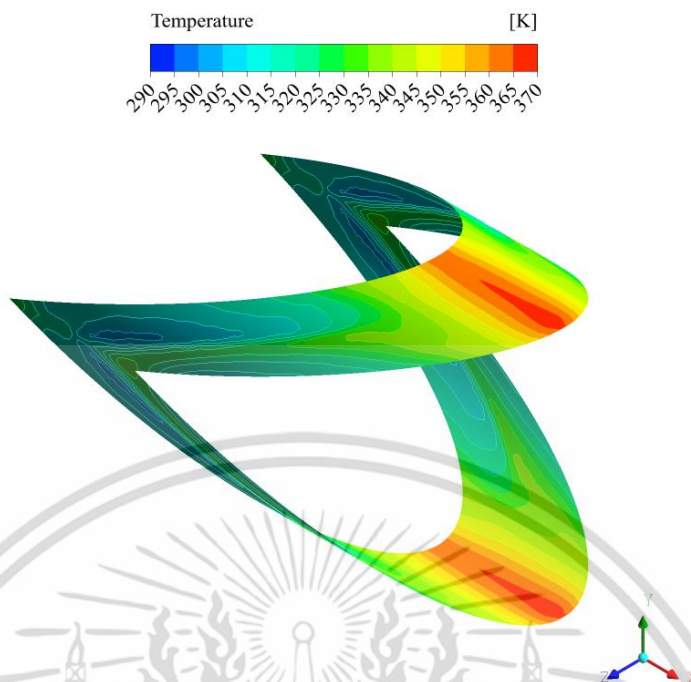


รูปที่ 5.33 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง

5.2.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง
การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังภายในท่อกลม
ผิวเรียบจะถูกพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 5.34 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

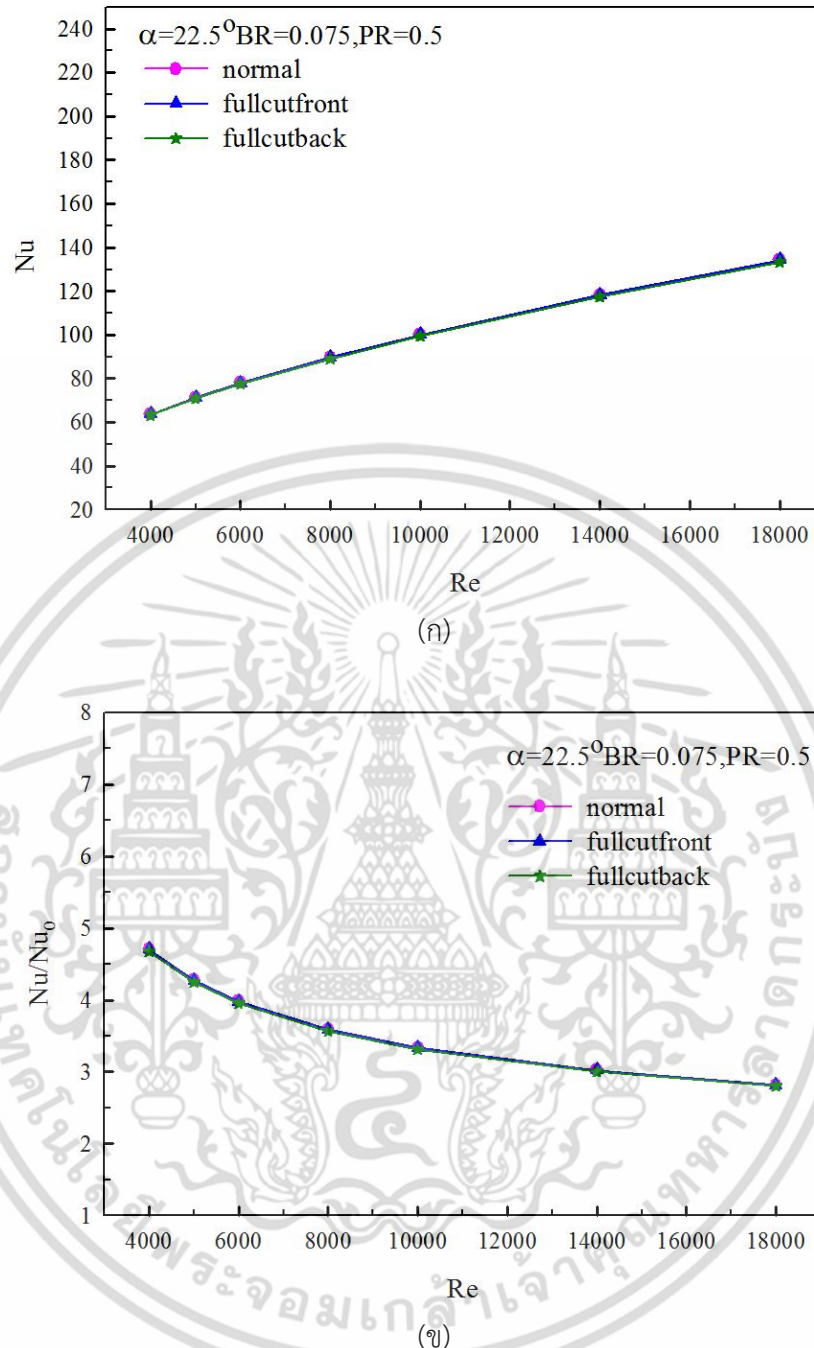


รูปที่ 5.35 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหลัง

จากรูป แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง $BR = 0.075$, $PR = 0.5$, มุม $(\alpha) = 22.5^\circ$ และ $Re = 4,000$ เมื่อพิจารณาคอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ไม่ช่วยให้การกระจายของอุณหภูมิตีกว่าแบบปกติ สังเกตได้จากคอนทัวร์สีเขียวและสีฟ้าไม่เพิ่มขึ้น เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังลงไป ทำให้การไหลเกิดความปั่นป่วนเท่าเดิม เป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าความร้อนที่บริเวณผนังท่อที่มีอุณหภูมิสูงไม่เปลี่ยนแปลงจากแผ่นบางติดปีกคู่มากนัก แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง แสดงให้เห็นว่าบริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อย จึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

5.2.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซิสต์ (Nu) และอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.075$, $PR = 0.5$, มุม $(\alpha) = 22.5^\circ$ และ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.36



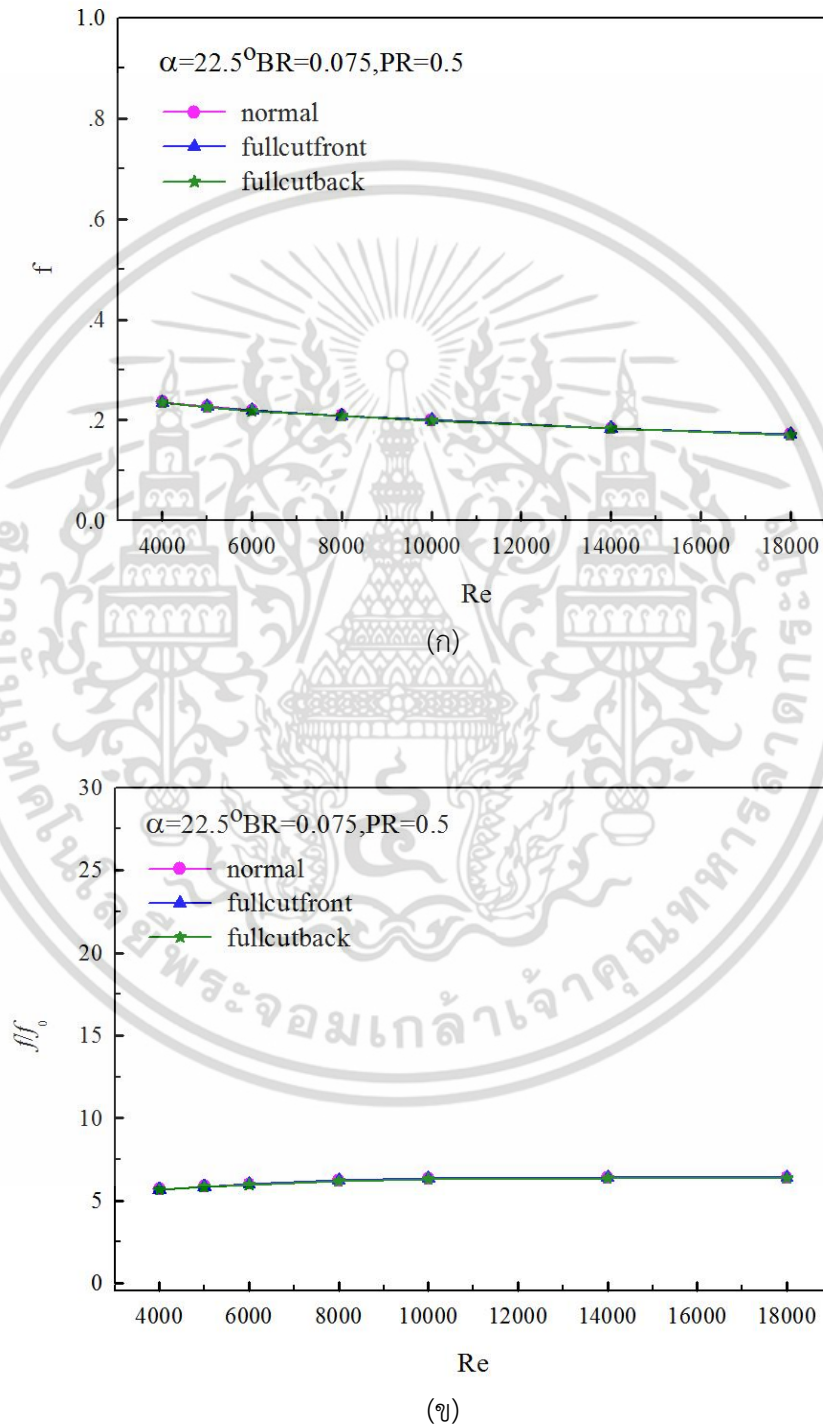
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าเลขนัสเซิลท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิลท์อยู่ในช่วง 133.40 - 134.31 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง และอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงสุดอยู่ในช่วง 2.80 - 4.70 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งค่าที่ได้จากการเปิดด้านหน้าและด้านหลัง มีค่าไม่แตกต่างจากแผ่นบางติดปีกคู่ ซึ่งต้องดูค่าตัวประกอบเสียตทานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ BR = 0.075, PR = 0.5, มุม (α) = 22.5° และ Re = 4,000 - 18,000 แสดงได้ดังรูปที่ 5.37



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

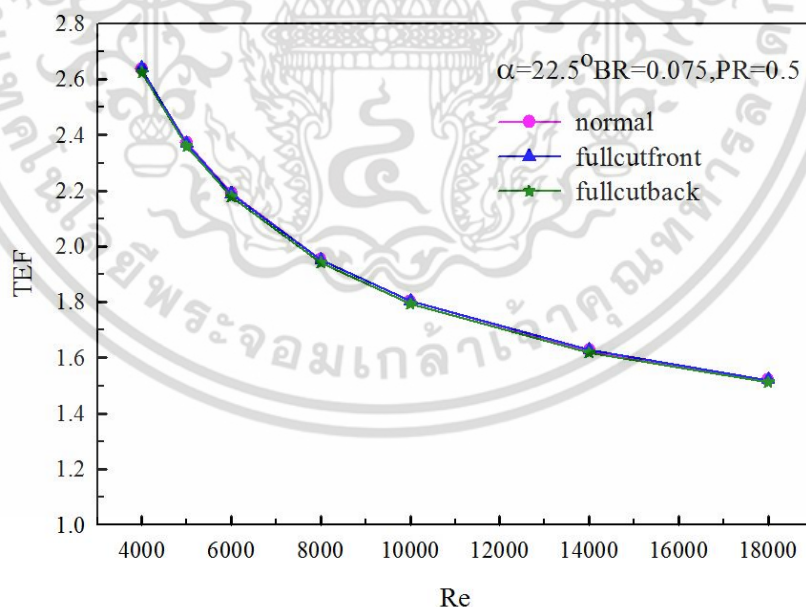
ด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 0.17 - 0.23 ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 5.65 - 6.39 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ดังกล่าวข้างต้นพบว่าค่าตัวประกอบเสียดทานไม่แตกต่างจากแผ่นบางติดปีกคู่ ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้

เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) ร่วมกับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ที่ไม่แตกต่างมากนัก เมื่อเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ แต่ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ลดลง ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับชีวิตถึงประสิทธิภาพที่ได้ และเพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหรือไม่

5.2.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.075$, $PR = 0.5$, มุม (α) = 22.5° และ $Re = 4,000 - 18,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.38



รูปที่ 5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 1.51 - 2.64 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000 - 18,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่เปิดด้านหน้าและด้านหลังไม่มีผลช่วยให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงและค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบแผ่นบางติดปีกคู่ แต่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ยังมีค่าที่ไม่สูงพอสำหรับการนำไปใช้ จึงได้ตัดประเด็นเปิดด้านหน้าและด้านหลังออกไป และได้ทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 ขึ้น โดยเพิ่มการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ โดยการลดอัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) แผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงยิ่งขึ้น และยังสามารถสร้างความปั่นป่วนให้กับของไหลได้เช่นเดิม ซึ่งคาดหวังว่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มสูงมากขึ้น

5.3 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1

5.3.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

จากการศึกษาการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิม ทำให้ทราบว่าสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ยังมีปัญหาค่าตัวประกอบเสียดทานที่ยังสูง และการกระจายของอุณหภูมิยังน้อยที่บริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 คือ การลดอัตราส่วนบล็อกการไหล (Blockage ratio; $BR=b/D$) ซึ่งคาดว่าจะลดพื้นที่ขวางการไหลให้น้อยลง และช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานลงได้ แต่การลด BR นั้นจำเป็นที่จะต้องหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดให้ได้เสียก่อน จึงจะหาค่าตัวแปรอื่นๆ ต่อไป จึงได้ทำการทดลองลดค่า BR ของแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดจากหัวข้อก่อนหน้านี้ลงไปให้อัตราส่วน 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085 และ 0.9 ทั้งสิ้น 6 ขนาด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ค่า BR ที่เหมาะสมที่สุดกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ $BR = 0.085$ โดยให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 2.67 ที่ $Re = 4,000$ ซึ่งสูงกว่า $BR = 0.06, 0.07, 0.075, 0.08$ และ 0.9 ซึ่งสูงกว่าแผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิมอีกด้วย ดังนั้นในการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 จะยึดค่า $BR = 0.085$ เป็นหลักต่อไป ตัวอย่างดังรูป 5.39

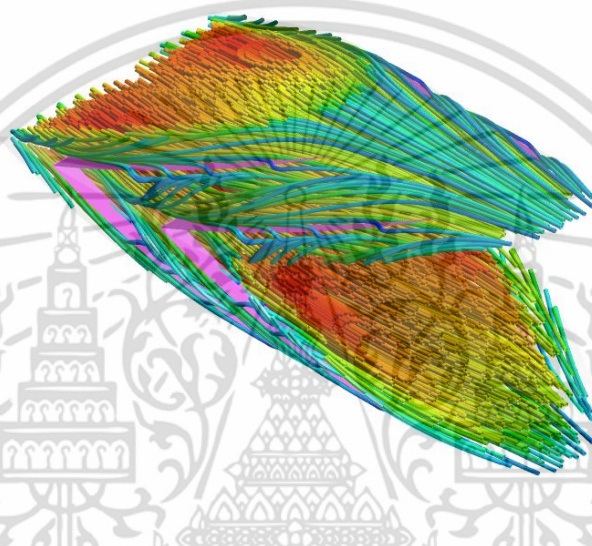
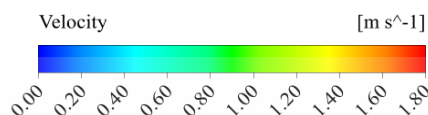


รูปที่ 5.39 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

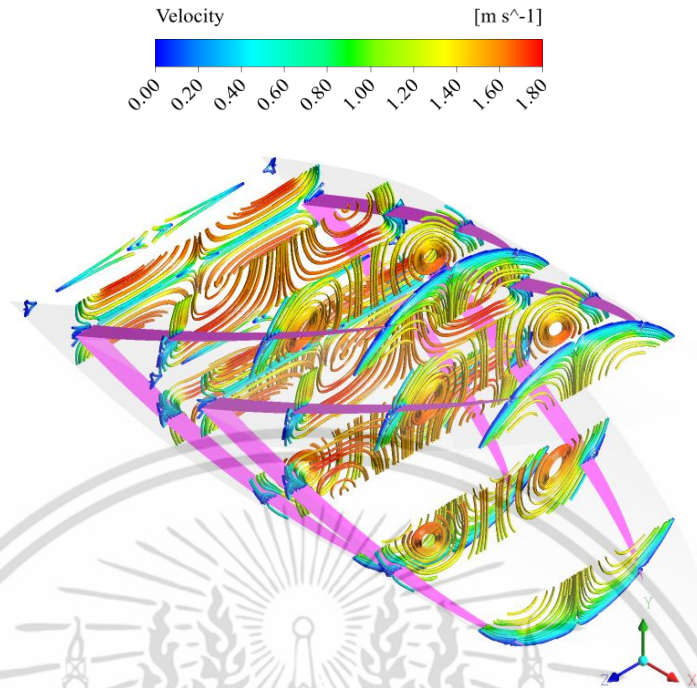
5.3.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 1 จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลมผิวเรียบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 1

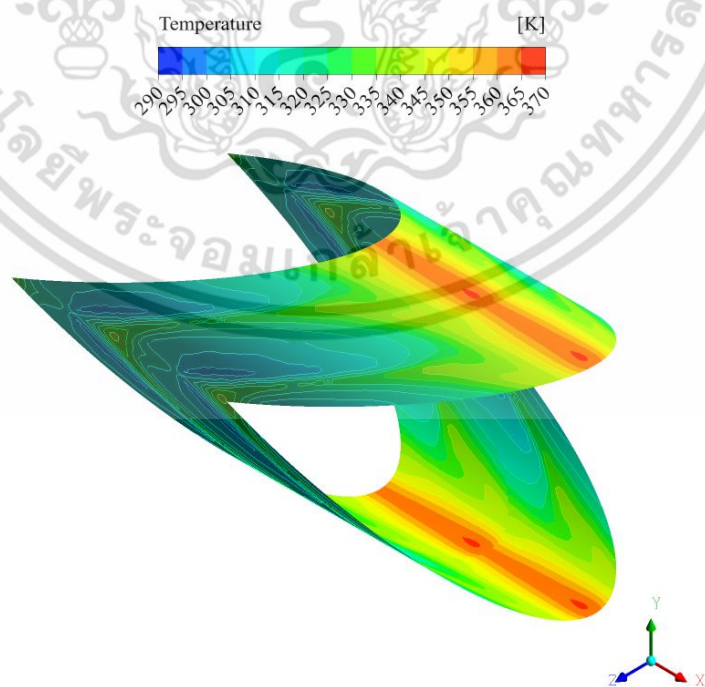
ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 1 ภายในท่อกลมสามารถทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะการไหลเกิดการหมุนวนที่ด้านข้างของแผ่นบางติดปีกคู่มากกว่าแบบดั้งเดิม หากมองภาพในแนวระนาบจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1

5.3.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ภายในท่อกลมผิวเรียบ จะถูกพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.42



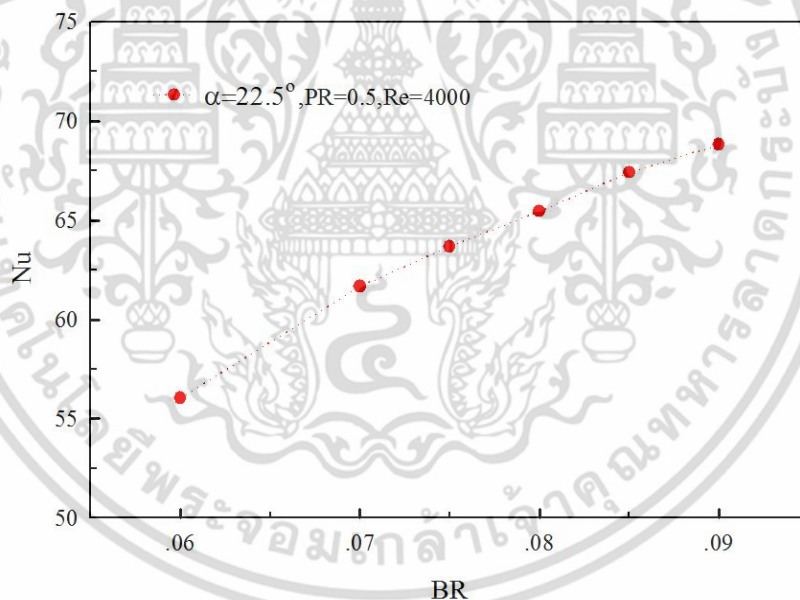
รูปที่ 5.42 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.42 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 $BR = 0.085$, $PR = 0.5$, มุม (α) = 22.5° และ $Re = 4,000$ เมื่อพิจารณาคอนทอร์ของกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 หรือแบบลด Blockage ratio เหลือ 0.085 ภายในท่อกลม จะช่วยให้การกระจายของอุณหภูมิได้มากยิ่งขึ้น สังเกตได้จากคอนทอร์สีเขียวและสีฟ้าที่มีมากขึ้นเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ลงไป ทำให้การไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกับความร้อนที่บริเวณผนังท่อที่มีอุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏคอนทอร์สีแดงบริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ แสดงให้เห็นว่าบริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อย จึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมిన้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

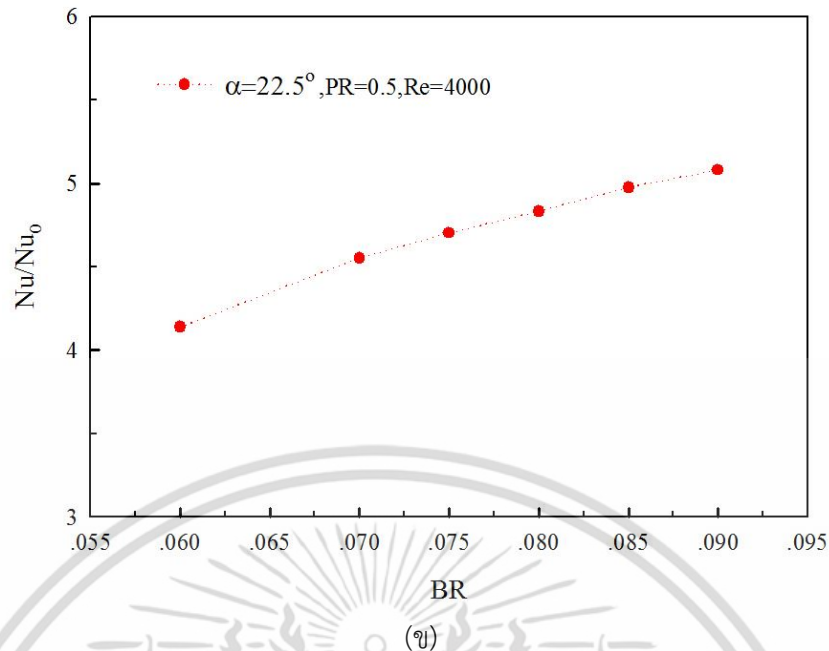
5.3.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซิลท์ (Nu) และอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085 และ 0.9, $PR = 0.5$, มุม (α) = 22.5° และ $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.43



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

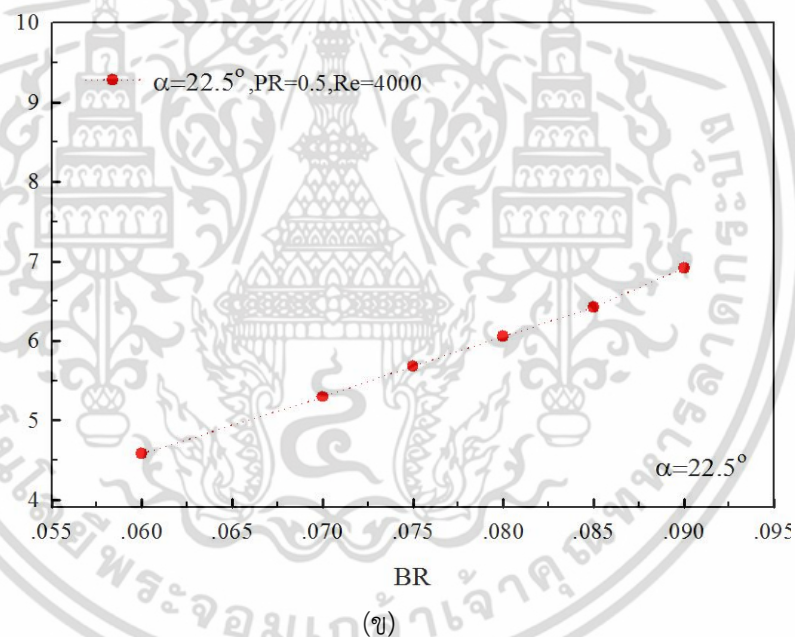
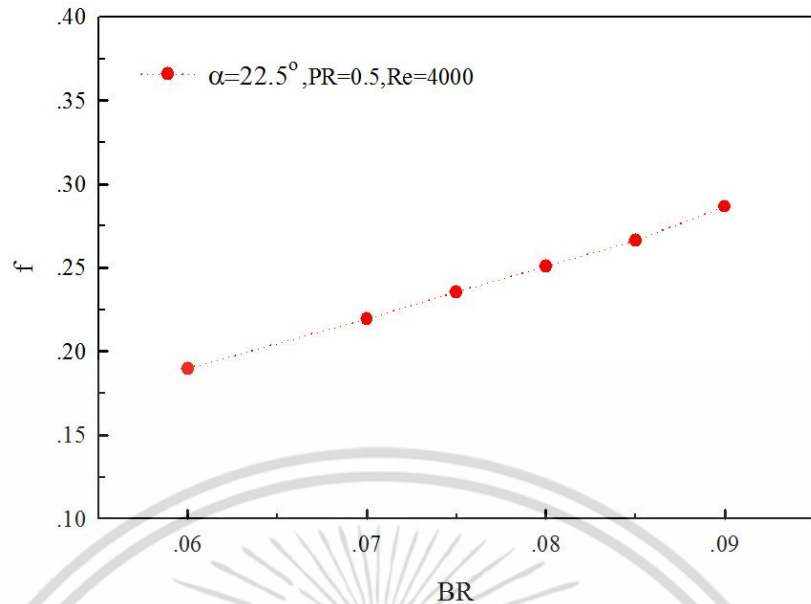


รูปที่ 5.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิสท์สูงสุดเท่ากับ 68.79 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.09$ และอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์สูงสุดเท่ากับ 5.08 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.09$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.085, 0.08, 0.075, 0.07$ และ 0.06 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการปรับปรุงแบบที่ 1 มีค่าน้อยกว่าแบบดั้งเดิมซึ่งต้องดูค่าตัวประกอบเสียดทานต่อไป

5.3.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085$ และ 0.9 , $PR = 0.5$, มุม (α) = 22.5° และ $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแบบดั้งเดิม (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

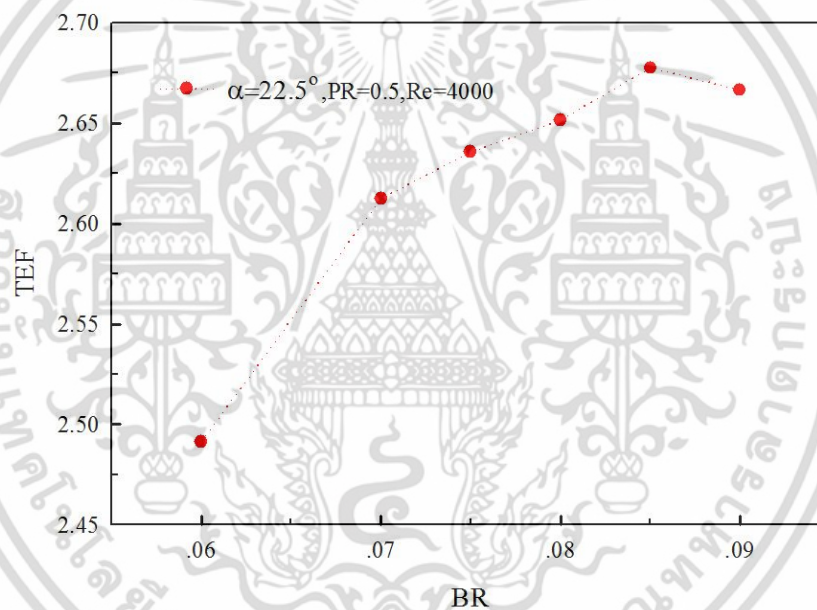
เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 0.18 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.06$ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 4.58 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.06$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ ค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.07, 0.075, 0.08, 0.085$ และ 0.09 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิมตั้งกราฟข้างต้น พบว่าแบบปรับปรุง 1 มีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่าแบบดั้งเดิมตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) ร่วมกับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ที่ไม่แตกต่างกันนักเมื่อเทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ แต่ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับชี้วัดถึงประสิทธิภาพที่ได้ และเพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหรือไม่

5.3.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 (อิทธิพล Blockage ratio, BR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ BR = 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085 และ 0.9, PR = 0.5, มุม (α) = 22.5° และ Re = 4,000 แสดงได้ดังรูปที่ 5.45



รูปที่ 5.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 2.67 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ Re = 4,000 ของแผ่นบางติดปีกคู่ BR = 0.085 ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ ค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ BR = 0.09, 0.08, 0.075, 0.07 และ 0.06 ตามลำดับ

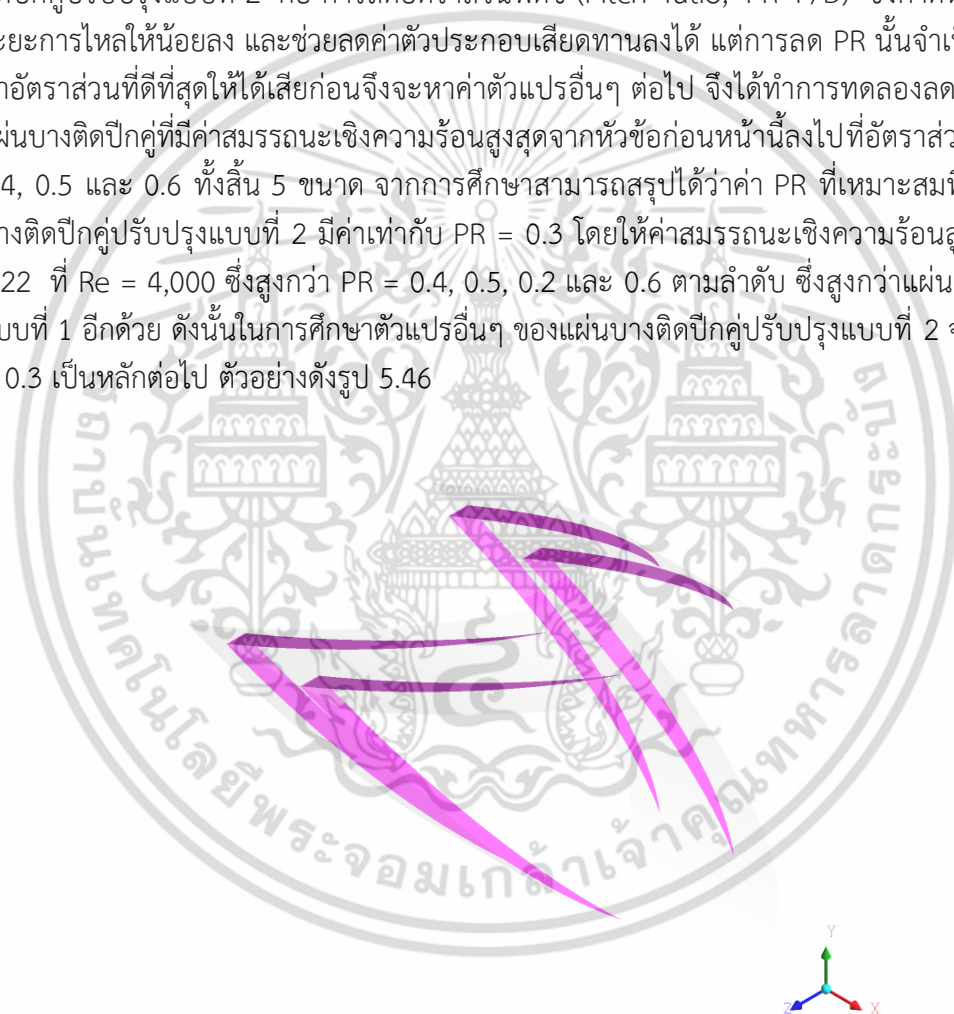
จากการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 โดยการลด Blockage ratio, BR มีผลช่วยให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงและค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบแผ่นบางติดปีกคู่ แต่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ยังมีค่าที่ไม่สูงพอสำหรับการนำไปใช้ จึงได้ทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 2 ขึ้น โดยเพิ่มการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ โดยการลดอัตราส่วนระยะพิตช์ (Pitch ratio; PR=P/D) แผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงยิ่งขึ้น และยัง

สามารถสร้างความปั่นป่วนให้กับของไหลได้เช่นเดิม ซึ่งคาดหวังว่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้น

5.4 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2

5.4.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

จากการศึกษาการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 1 ทำให้ทราบว่าสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ยังมีปัญหาค่าตัวประกอบเสียดทานที่ยังสูง และการกระจายของอุณหภูมิยังน้อยที่บริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 คือ การลดอัตราส่วนพิทช์ (Pitch ratio; $PR=P/D$) ซึ่งคาดหวังว่าจะลดระยะเวลาไหลให้น้อยลง และช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานลงได้ แต่การลด PR นั้นจำเป็นที่จะต้องหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดให้ได้เสียก่อนจึงจะหาค่าตัวแปรอื่นๆ ต่อไป จึงได้ทำการทดลองลดค่า PR ของแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดจากหัวข้อก่อนหน้านี้ลงไปให้อัตราส่วน 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ทั้งสิ้น 5 ขนาด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าค่า PR ที่เหมาะสมที่สุดกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 มีค่าเท่ากับ $PR = 0.3$ โดยให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.22 ที่ $Re = 4,000$ ซึ่งสูงกว่า $PR = 0.4, 0.5, 0.2$ และ 0.6 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 อีกด้วย ดังนั้นในการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 จะยึดค่า $PR = 0.3$ เป็นหลักต่อไป ตัวอย่างดังรูป 5.46

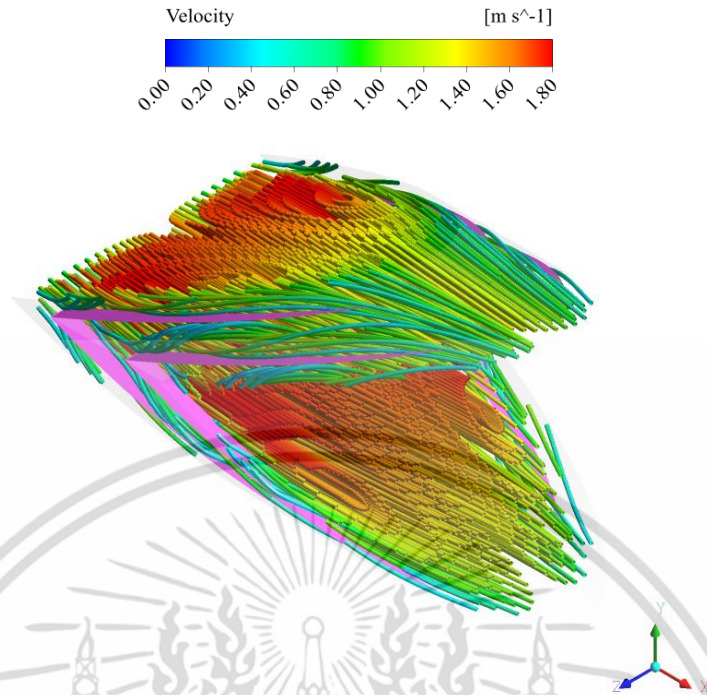


รูปที่ 5.46 ท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2

5.4.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

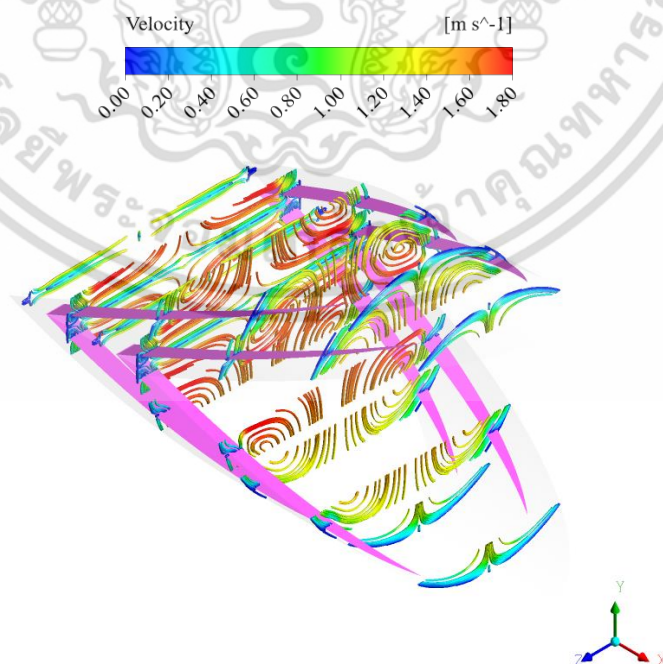
เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลมผิวเรียบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.47 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 ภายในท่อกลม สามารถทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะการไหลเกิดการหมุนวนที่ด้านข้างของแผ่นบางติดปีกคู่มากกว่าแบบดั้งเดิม หากมองภาพในแนวระนาบจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 5.48

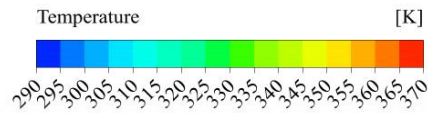


รูปที่ 5.48 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 ภายในท่อกลมผิวเรียบ จะถูกพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.49



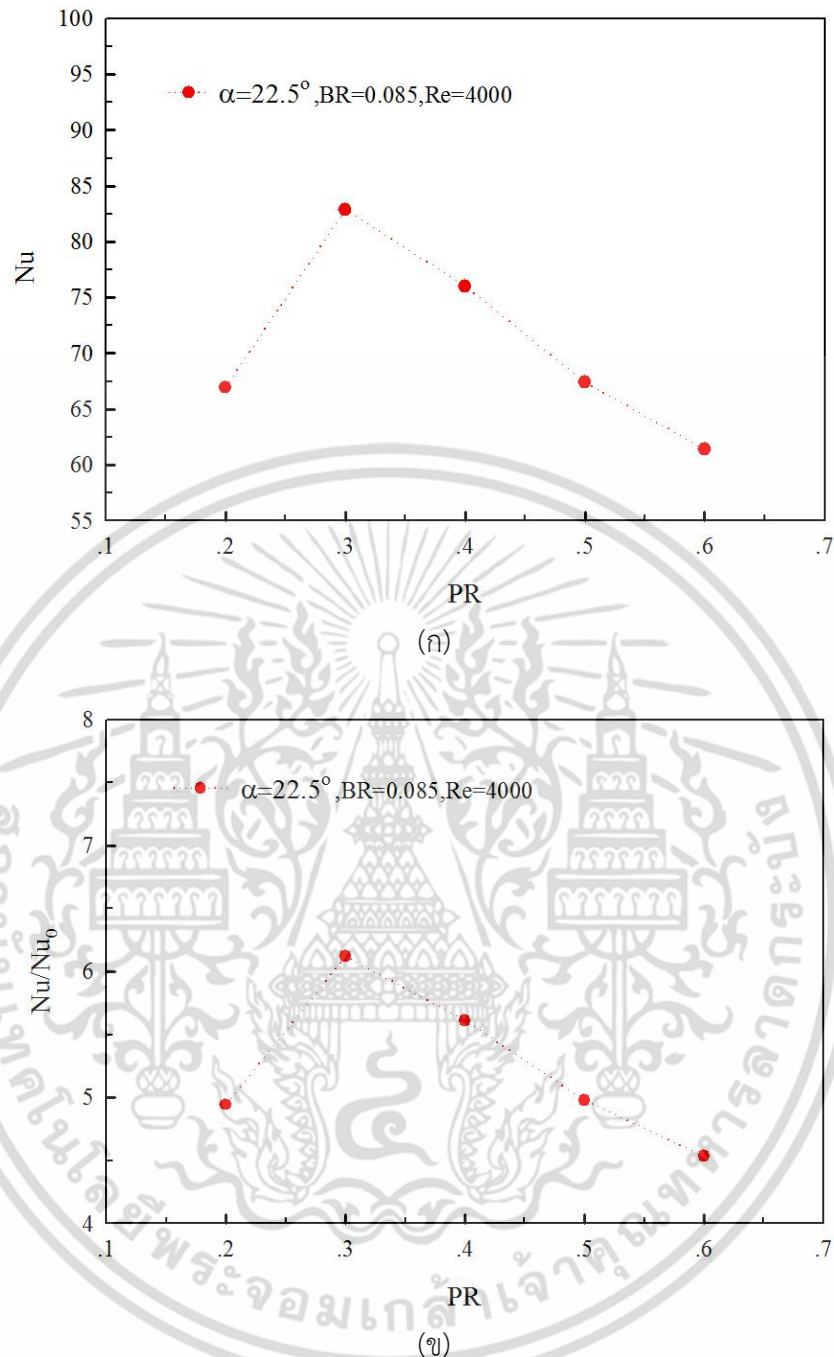
รูปที่ 5.49 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.49 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อที่มีการใส่แหวนทรงกรวย $BR = 0.085$, $PR = 0.3$, $(\alpha) = 22.5^\circ$ และ $Re = 4,000$ เมื่อพิจารณาคอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 หรือแบบลด Pitch ratio เหลือ 0.3 ภายในท่อกลม จะช่วยให้การกระจายของอุณหภูมิได้มากยิ่งขึ้น สังเกตได้จากคอนทัวร์สีเขียวและสีฟ้าที่มีมากขึ้นเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 ลงไป ทำให้การไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น เป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อที่มีอุณหภูมิต่ำกับความร้อนที่บริเวณผนังท่อที่มีอุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏคอนทัวร์สีแดงบริเวณด้านบนของท่อ แสดงให้เห็นว่าบริเวณด้านบนของแผ่นบางติดปีกคู่ยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วนของกระแสการไหลน้อย จึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

5.4.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซิสต์ (Nu) และอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับรูปแบบที่ 2 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.085$, $PR = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ และ 0.6 , $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



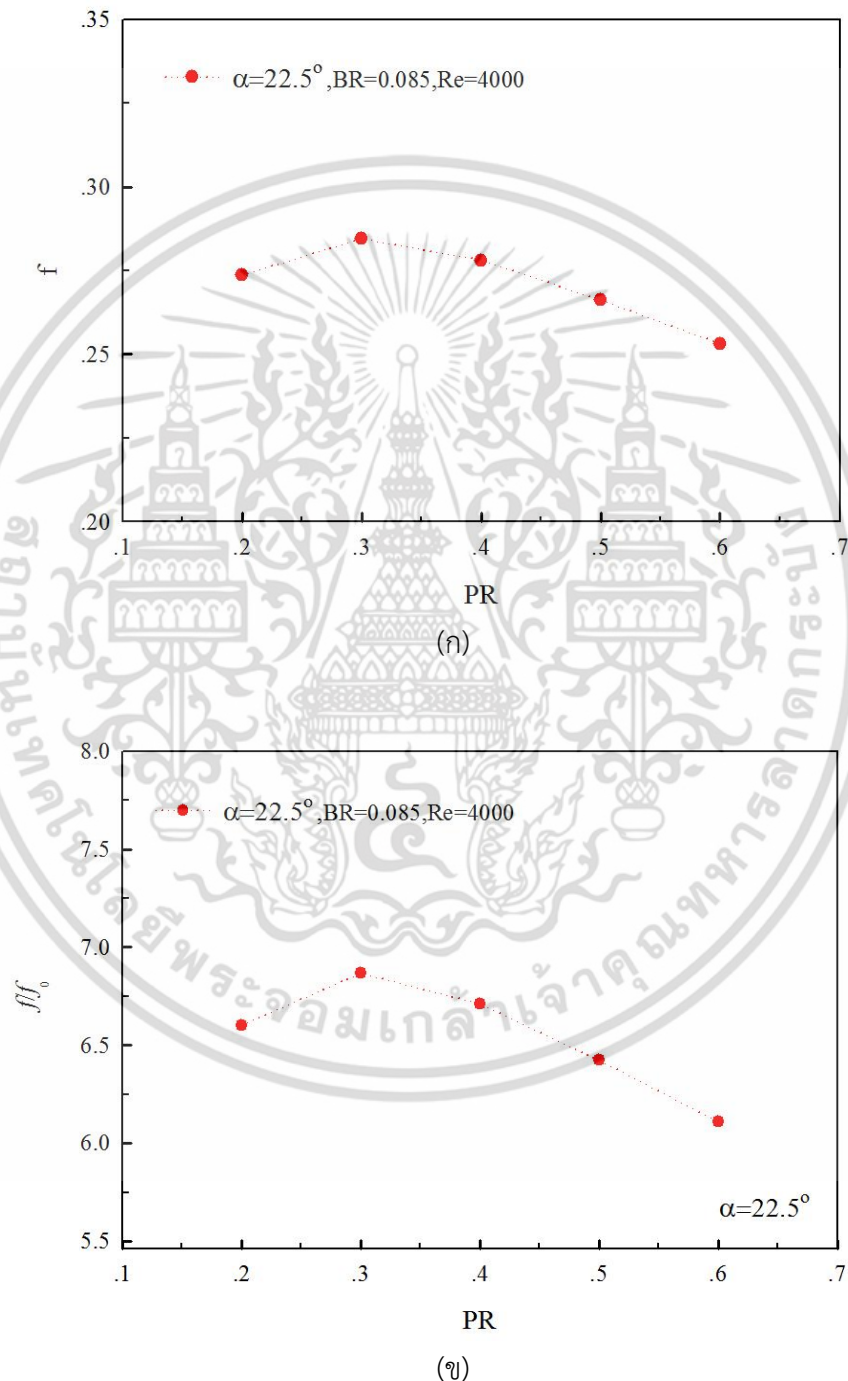
รูปที่ 5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 (ก)ค่าเลขนัสเซิลท์ (ข)ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิลท์สูงสุดเท่ากับ 82.88 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.3$ และอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงสุดเท่ากับ 6.87 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.3$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.4, 0.5, 0.2$ และ 0.6 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการปรับปรุงแบบที่ 2 มีค่ามากกว่าแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ BR = 0.085, PR = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6, Re = 4,000 แสดงได้ดังรูปที่ 5.51



รูปที่ 5.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแบบที่ 1 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

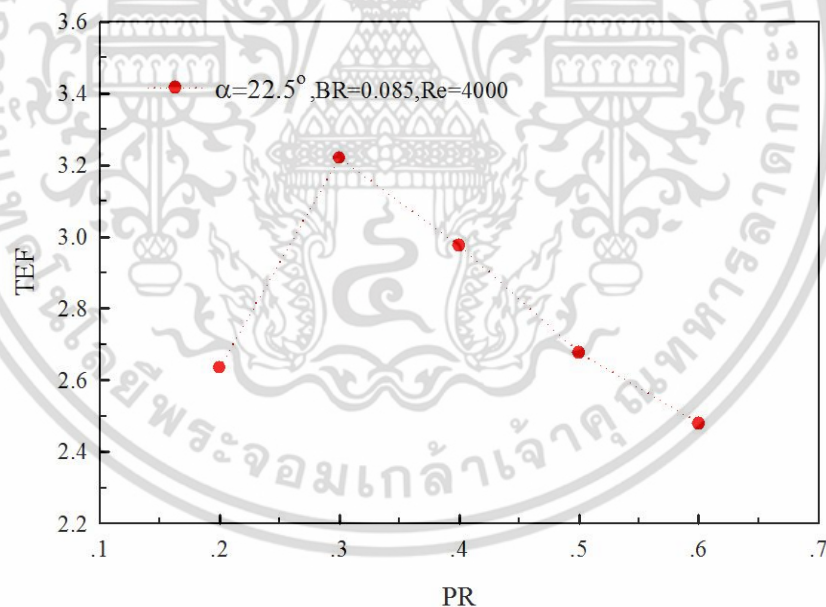
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 0.26 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.6$ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 6.43 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.6$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ ค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.5, 0.2, 0.4$ และ 0.3 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 1 ดังกราฟข้างต้น พบว่าแบบปรับปรุง 2 มีค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าแบบที่ 1

เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) ร่วมกับค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) พบว่าการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 ให้ค่าส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ไม่แตกต่างมากนักเมื่อเทียบกับแบบที่ 1 แต่ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับชีวิตถึงประสิทธิภาพที่ได้ และเพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 ว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบที่ 1 หรือไม่

5.4.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (อิทธิพล Pitch ratio, PR)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.085, PR = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ และ $0.6, Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.52



รูปที่ 5.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เทียบกับแบบที่ 1

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.22 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.3$ ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $PR = 0.4, 0.5, 0.2$ และ 0.6 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ

จากการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 2 โดยการลด Pitch ratio, PR มีผลช่วยให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลง และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 1 แต่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้ยังมีค่าที่ไม่สูงพอสำหรับการนำไปใช้ จึงได้ทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 3 ขึ้น โดยเพิ่มการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่โดยการลดมุมปะทะ (α) ของแผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อช่วยลดค่าตัวประกอบเสียดทานให้น้อยลงยิ่งขึ้นและยังสามารถสร้างความปั่นป่วนให้กับของไหลได้เช่นเดิม ซึ่งคาดหวังว่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มสูงมากขึ้น

5.5 แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

5.5.1 รูปแบบของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (อิทธิพล มุมปะทะ, α)

จากการศึกษาการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 เมื่อพิจารณาแล้วค่าตัวประกอบเสียดทานที่ยังสูงนั้น เกิดมาจากแผ่นบางติดปีกคู่ได้กีดขวางการไหลของของไหลอยู่มาก จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ เพื่อลดมุมปะทะกับของไหลลง ลดค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน และเพิ่มค่าสมรรถนะเชิงความร้อน จึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่แบบที่ 3 เพื่อต้องการหามุมปะทะที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จึงได้ทำการทดลองปรับมุมปะทะของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ BR = 0.085, PR = 0.3 ให้เป็นมุม 20° , 22.5° , 24° , 25° , 26° และ 27° ทั้งสิ้น 6 มุม จากการศึกษา พบว่าแผ่นบางติดปีกคู่ที่มุมปะทะ $\alpha = 25^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุด อันเนื่องมาจากสามารถสร้างการไหลที่ปั่นป่วน ซึ่งช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน อีกทั้งยังลดค่าตัวประกอบเสียดทานได้มากกว่าแบบปรับปรุงแบบที่ 2 และมุมปะทะขนาดอื่นๆ ส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าที่มากที่สุด ดังนั้นในการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 จะยึดที่มุมปะทะ $\alpha = 25^\circ$ เป็นสำคัญ โดยแสดงตัวอย่างของแผ่นบางติดปีกคู่ ได้ดังรูปที่ 5.53



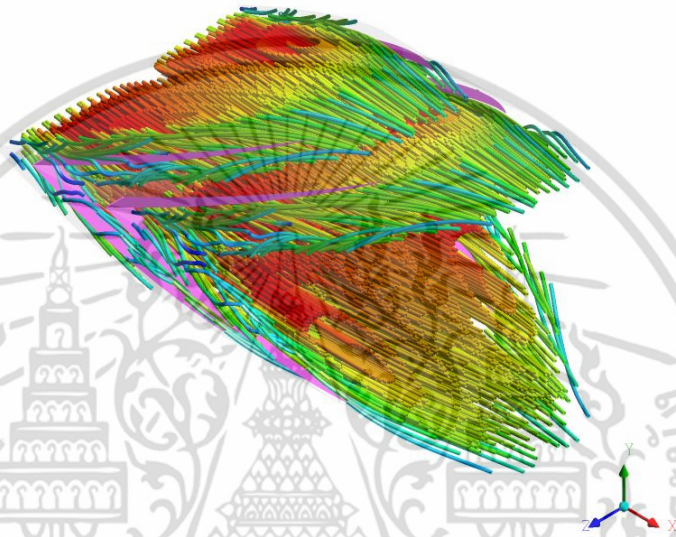
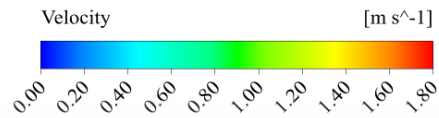
รูปที่ 5.53 รูปทรงของท่อกลมที่ใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

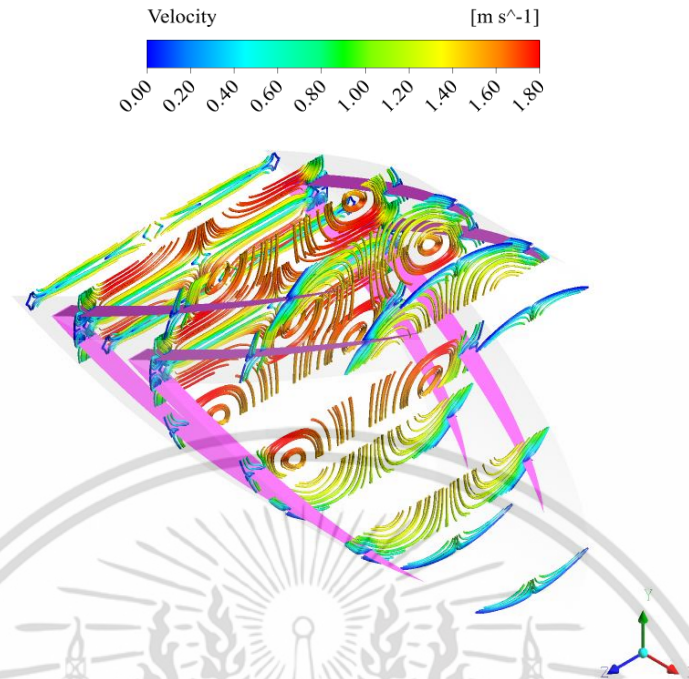
(อิทธิพล มุมปะทะ, α)

เส้นกระแสการไหลเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 จะแสดงในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้ให้เห็นพฤติกรรมของกระแสการไหลภายในท่อกลมผิวเรียบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.54



รูปที่ 5.54 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติ เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ, α) ภายในท่อกลม สามารถทำให้กระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะการไหลเกิดการหมุนวนที่ด้านทางเข้าของแผ่นบางติดปีกคู่มากกว่าแบบที่ 2 หากมองภาพในแนวระนาบ จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นว่ามีกระแสการไหลหมุนวน 2 คู่ ที่ช่วยเหนี่ยวนำกระแสการไหลให้รุนแรงและกระแทกเข้ากับผิวท่อกลม แสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 5.55

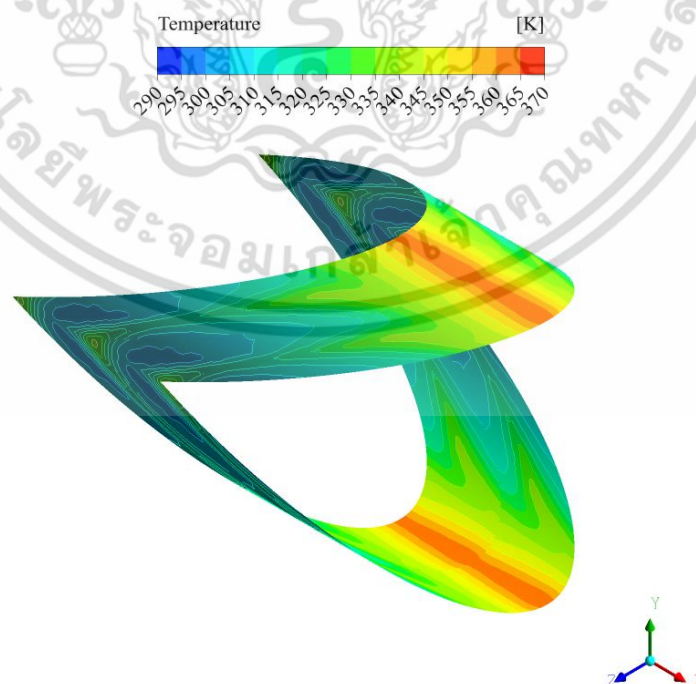


รูปที่ 5.55 เส้นกระแสการไหลในแนวระนาบเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

5.5.3 การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

(อิทธิพล มุมปะทะ, α)

การถ่ายเทความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาในรูปของการกระจายอุณหภูมิแล้วนั้น จะสามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.56



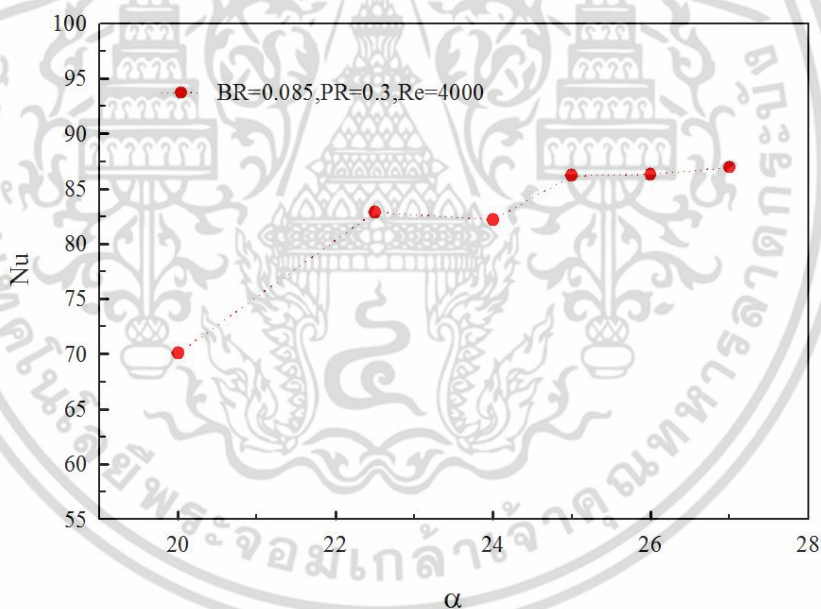
รูปที่ 5.56 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.56 แสดงให้เห็นถึงการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อที่มีการใส่แผ่นบางติดปีกคู่ $BR = 0.085$, $PR = 0.3$, $\alpha = 25^\circ$ และ $Re = 4,000$ เมื่อพิจารณาคอนทอร์ของการกระจายอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 หรือแบบสร้างมุมปะทะที่ด้านหน้าของแผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม สามารถช่วยให้การกระจายของอุณหภูมิมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จาก คอนทอร์สีเขียวยและสีฟ้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 ทำให้การไหล เกิดความปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลภายในท่อกับบริเวณ ผนังท่อได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีคอนทอร์สีแดงปรากฏอยู่บริเวณกึ่งกลางผิวท่อทั้งบน และล่าง แสดงให้เห็นว่าบริเวณกึ่งกลางผิวท่อทั้งบนและล่างยังมีอุณหภูมิสูงหรือเกิดการปั่นป่วน ของกระแสการไหลน้อย จึงมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ

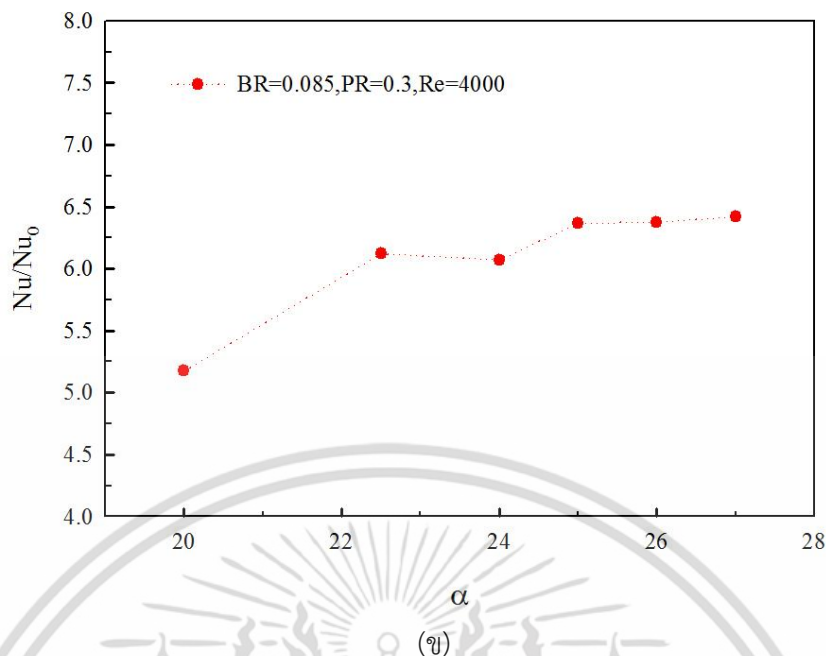
5.5.4 อัตราส่วนเลขนัสเซิสต์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (อิทธิพล มุมปะทะ, α)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซิสต์ (Nu) และอัตราส่วนเลขนัสเซิสต์ (Nu/Nu_0) กับเลข เรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณา $BR = 0.085$, $PR = 0.3$, $\alpha = 20^\circ, 22.5^\circ, 24^\circ, 25^\circ, 26^\circ$ และ 27° และ $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.57



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

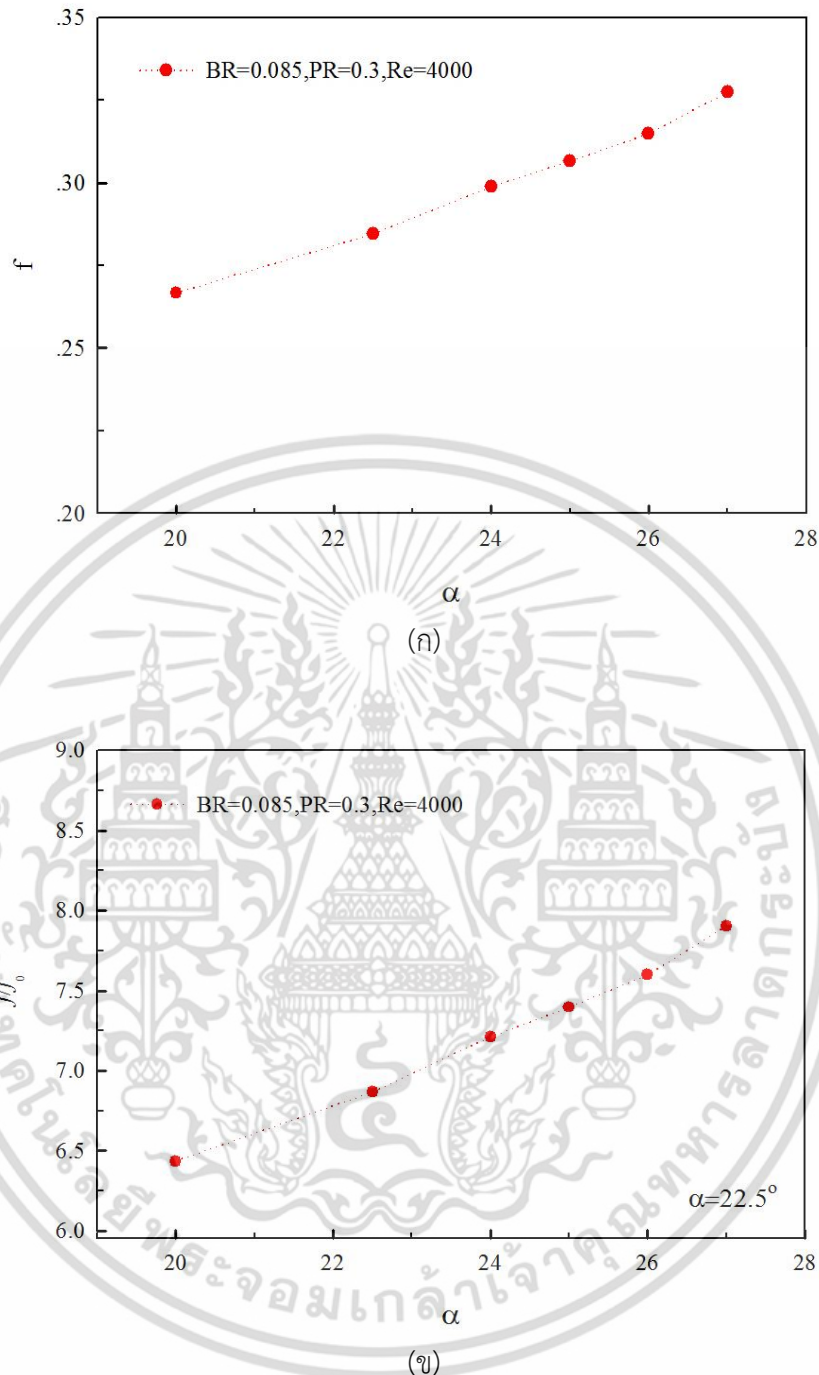


รูปที่ 5.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางรูปติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางรูปติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ก)ค่าเลขนัสเซิสท์ (ข)ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิสท์

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าเลขนัสเซิสท์สูงสุดเท่ากับ 86.31 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 27^\circ$ และอัตราส่วนเลขนัสเซิสท์สูงสุดเท่ากับ 7.90 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 27^\circ$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 26^\circ, 25^\circ, 22.5^\circ, 24^\circ$ และ 20° ตามลำดับ โดยค่าที่ได้มากกว่าค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดจากแบบปรับปรุง 2

5.5.5 ตัวประกอบเสียดทานเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (อิทธิพลมุมปะทะ, α)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.085, PR = 0.3, \alpha = 20^\circ, 22.5^\circ, 24^\circ, 25^\circ, 26^\circ$ และ 27° และ $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.58



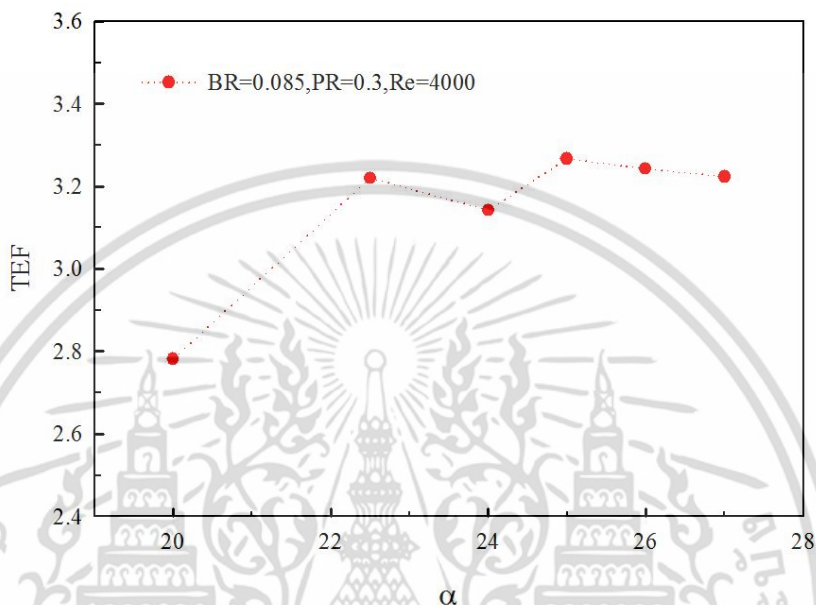
รูปที่ 5.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์เทียบกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2 (ก)ค่าตัวประกอบเสียดทาน (ข)ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 0.26 ที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 20^\circ$ และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานต่ำสุดเท่ากับ 6.43 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re = 4,000$ ของแผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 20^\circ$ เช่นเดียวกัน ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 22.5^\circ, 24^\circ, 25^\circ, 26^\circ$ และ 27° ตามลำดับ โดยค่าที่ได้มีน้อยกว่าค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดจากแบบปรับปรุง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.6 สมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 (อิทธิพลมุมปะทะ, α)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 ที่ใส่ภายในท่อกลม ซึ่งพิจารณาที่ $BR = 0.085$, $PR = 0.3$, $\alpha = 20^\circ$, 22.5° , 24° , 25° , 26° และ 27° และ $Re = 4,000$ แสดงได้ดังรูปที่ 5.59



รูปที่ 5.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 3 เทียบกับแผ่นบางติดปีกคู่ปรับปรุงแบบที่ 2

เมื่อวิเคราะห์จากกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.26 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ $Re = 4,000$ ของของแผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 25^\circ$ ส่วนค่าที่ได้เป็นลำดับถัดมา คือ แผ่นบางติดปีกคู่ $\alpha = 26^\circ$, 27° , 22.5° , 24° และ 20° ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ

จากการปรับปรุงแบบที่ 3 โดยการทำมุมปะทะที่ด้านหน้าของแผ่นบางติดปีกคู่ ทำให้ลดพื้นที่ของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ขวางการไหลให้มีขนาดเล็กลงได้ ส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนดีกว่าการใช้เพียงแบบปรับปรุง 2 โดยค่าที่ได้มากกว่าค่าจากแผ่นบางติดปีกคู่ที่มีค่ามากที่สุดจากแผ่นบางติดปีกคู่แบบปรับปรุง 2 ดังนั้น $BR = 0.085$, $PR = 0.3$ ที่มุมปะทะ $= 25^\circ$ ให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดของการศึกษาในครั้งนี้

5.6 การอภิปรายผลงานวิจัย

จากการศึกษา เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ในท่อกลมของผู้วิจัย พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ การใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม สามารถช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของกระแสการไหลและเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน แต่เนื่องจากการใส่แผ่นบางติดปีกคู่แบบดั้งเดิมภายในท่อกลมทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลกับค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นมากกว่าหลายเท่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาดูแปรต่างๆ ที่มีผลกับการช่วยลดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งได้ทำการศึกษาการปรับปรุงมุมปะทะ (α) อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) และอัตราส่วนพิทช์ (PR) ที่เหมาะสมในการปรับปรุงรูปแผ่นบางติดปีกคู่ จากการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ปลายชี้ทวนกระแสการไหล โดยใช้มุมปะทะที่ปรับปรุงแล้วเหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำมุมปะทะกับตัวของแผ่นบางติดปีกคู่ได้มาก ทำให้ลดอัตราตัวประกอบเสียดทานลงไปได้มากเช่นกัน โดยลักษณะมุมปะทะของแผ่นบางติดปีกคู่ ที่ 22.5° โดยอัตราส่วนบล็อกการไหลเท่ากับ 0.075 อัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 0.5 ของแผ่นบางติดปีกคู่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 2.15 - 2.64 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ช่วงของเลขเรย์โนลด์ 4,000 - 18,000 และจากการปรับปรุงทั้ง 3 แบบ โดยการทำมุมปะทะที่ด้านหน้าของแผ่นบางติดปีกคู่ ทำให้ลดพื้นที่ของแผ่นบางติดปีกคู่ที่ขวางการไหลให้มีขนาดเล็กลงได้ ส่งผลให้สมรรถนะเชิงความร้อนดีกว่าที่ BR = 0.085, PR = 0.3 ที่มุมปะทะ = 25° ให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 3.26 ที่เลขเรย์โนลด์ 4,000

ผลที่ได้จากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ที่ใส่ภายในท่อกลม โดยการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ในรูปแบบต่างๆ นั้น สามารถสรุปผลที่ได้จากรูปทรงแผ่นบางติดปีกคู่ที่ดีที่สุดในแต่ละกรณี ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลที่ดีที่สุดในแต่ละกรณีที่ได้จากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่เมื่อใส่ภายในท่อกลม

รูปแบบของการศึกษา	Nu/Nu_0 (Re = 4,000-18,000)	f/f_0 (Re = 4,000-18,000)	TEF (Re = 4,000-18,000)	หมายเหตุ
แบบดั้งเดิม BR = 0.05, 0.075, 0.1 และ 0.15 PR = 0.5, 0.75 และ 1.0 $\alpha = 22.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°	2.14-6.11	3.20-35.69	1.13-2.64	
แบบเปิดด้านหน้าและด้านหลัง BR = 0.075 PR = 0.5 $\alpha = 22.5^\circ$	2.80-4.70	5.65-6.39	1.51-2.64	
ปรับปรุงแบบที่ 1 (ลด Blockage ratio) BR = 0.06, 0.07, 0.075, 0.08, 0.085 และ 0.09 PR = 0.5 $\alpha = 22.5^\circ$	4.13-5.08	4.58-6.91	2.49-2.67	
ปรับปรุงแบบที่ 2 (ลด Pitch ratio) BR = 0.085 PR = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 $\alpha = 22.5^\circ$	4.53-6.12	6.10-6.86	2.47-3.22	
ปรับปรุงแบบที่ 3 (ลดมุมปะทะ) BR = 0.085 PR = 0.3 $\alpha = 20^\circ, 22.5^\circ, 24^\circ, 25^\circ$ และ 27°	5.17-6.41	6.43-7.90	2.78-3.26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์เมื่อใส่แผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่าเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลง ส่วน f/f_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อไม่ได้ทำมุมปะทะ และลดน้อยลงเมื่อทำมุมปะทะ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลถึงค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับกรณีที่ไม่ได้ทำมุมปะทะด้วย สำหรับกรณีที่ทำการศึกษ พบว่าที่ $Re = 18,000$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลที่เกิดขึ้นกับตัวประกอบเสียดทานยังต้องพิจารณาเป็นในแต่ละกรณีไป และนอกจากค่าเลขเรย์โนลด์จะมีผลต่อ Nu/Nu_0 และ f/f_0 แล้ว ค่าเลขเรย์โนลด์ยังมีผลต่อความปั่นป่วนของการไหลอีกด้วย โดยเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สูงขึ้นจะทำให้เกิดการปั่นป่วนของการไหลมากขึ้นด้วย

6.1.2 อิทธิพลของความกว้างของแผ่นบางติดปีกคู่

อิทธิพลของ BR พบว่าเมื่อค่า BR ลดลง ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า BR ลดลง ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมก็จะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นในการเลือกใช้ควรเลือกค่า BR ที่เหมาะสมกับช่วงของการนำไปใช้งาน

6.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนพิตซ์

พิจารณาอิทธิพลของ PR พบว่า เมื่อค่า PR ลดลง ค่า Nu/Nu_0 และค่า f/f_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้น การไหลของของไหลมีระยะการไหลตามยาวที่สั้นลง ทำให้เกิดความปั่นป่วนการไหลหมุนวนมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน จึงต้องพิจารณาที่สมรรถนะเชิงความร้อนและค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

6.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะหรือมุมที่ทำการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่

อิทธิพลที่เกิดจากมุมปะทะนั้น พบว่าที่การปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ให้มีขนาดมุมปะทะเล็กๆ ช่วยให้ค่าความดันตกคร่อมและค่าการถ่ายเทความร้อนลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วค่าการถ่ายเทความร้อนที่เสียไปน้อยกว่าค่าความดันตกคร่อมที่ลดลง การทำมุมปะทะให้มีขนาดเล็กจึงมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากกว่าเดิม ดังนั้นการปรับปรุง แผ่นบางติดปีกคู่จึงได้ทำการศึกษแผ่นบางติดปีกคู่ที่ปรับปรุงมุมปะทะได้เล็กที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ทราบว่า การใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับทดสอบหาพฤติกรรมของการไหล ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม มีข้อดีเนื่องจากสามารถช่วยประหยัดเวลาที่ใช้ในการจำลองการไหลและลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการทดลองได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงการทำนายถึงผลการจำลองที่มีความเป็นไปได้ สำหรับการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ศึกษาไปใช้งานจริงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ของงานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสมรรถนะทางความร้อนที่ได้ยังต้องคำนึงถึงความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องมือวัดที่นำมาใช้
 ทำการศึกษาในงานจริงด้วย

สำหรับแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไปนั้น เมื่อพิจารณาการใส่แผ่นบางติดปีกคู่
 ภายในท่อกลมซึ่งสามารถสร้างความปั่นป่วนของการไหล สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน
 และค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ แต่เนื่องจากการศึกษาแผ่นบางติดปีกคู่ภายในท่อกลม
 นั้น ยังให้ค่าความดันตกคร่อมที่สูง จึงมีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนยังไม่สูงมากนัก
 จากการศึกษาพบว่ามุมการปะทะที่ลดลง มีผลกับการลดค่าความดันตกคร่อมได้ดี ดังนั้นการศึกษา
 รูปแบบการปรับปรุงในลักษณะอื่นเพิ่มเติม จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจต่อการนำไปศึกษาในอนาคต
 สำหรับการปรับปรุงแผ่นบางติดปีกคู่ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมบัติ ทำนา และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2016. “การศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่อกลมท่อใส่แผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียง 20°.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2016(23(1)) : 30-39
- [2] Promvong, P., Koolnapadol, N., Pimsarn, M. and Tianpong, C. Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings. *Appl. Therm. Eng.*, 2014; 62 (1): 285-292.
- [3] Promvong, P., Changcharoen, W., Kwankaomeng, S. and Tianpong, C., (2011). Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs., *International Journal of Heat and Mass Transfer.*, vol. 38, pp. 1392 – 1399.
- [4] Promthaisong, P., Eiamsa-ard, P., Jedsadaratnchai, W. and Eiamsa-ard, S. (2014). Turbulent heat transfer and pressure loss in a square channel with discrete broken V-rib turbulators, *Journal of Hydrodynamics.*, vol. 28, 2016, pp. 275 – 283. (DOI : 10.1016/S1001-6058(16)60629-7)
- [5] Chokphoemphum, S., Promvong, P., Tianpong, C. and Pimsarn, M. (2014). Heat transfer augmentation in a circular tube with winglet vertex generators., *Chinese journal of Chemical Engineering.*, vol.23, 2015, pp. 605 - 614.
- [6] Chingtuaythong, W., Promvong, P., Tianpong, C. and Pimsarn, M. (2016). Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings., *Journal of Applied Thermal Engineering.*, vol.110, 2017, pp. 1164 – 1171
- [7] 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.
- [8] David, J.K., Rick, S. and Wei, L. “Comparison of condensation and evaporation heat transfer on the outside of smooth and enhanced 1EHT tubes” **Applied Thermal Engineering.** vol.105, Mar 2016. pp. 913–922.
- [9] Piroz, Z. “Heat transfer in counterflow heat exchangers with helical turbulators” **Common Nonlinear Sci Numer Simulat** vol.15, Oct 2010. pp. 2894–2907.
- [10] 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.

- [11] Promvongse, P. “Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators” **Energy Conversion and Management** vol.49, Aug 2008. pp. 2949–2955.
- [12] Promvongse, P. and Eiamsa-ard, S. “Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert” **International Communications in Heat and Mass Transfer** vol.34, May 2007. pp. 849–859.
- [13] Aiwu, F., Junjie, D., Jian, G. and Wei, L. “A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts” **Applied Thermal Engineering** vol.31, May 2011. pp. 2819–2828.
- [14] Thianpong, C., Eiamsa-ard, P., Wongcharee, K. and Eiamsa-ard, S. “Compound heat transfer enhancement of a dimpled tube with a twisted tape swirl generator” **International Communications in Heat and Mass Transfer** vol.36, May 2009. pp. 698–704.
- [15] 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.
- [16] Promvongse, P. “Heat transfer behaviors in round tube with conical ring inserts” **Energy Conversion and Management** vol.49, Jul 2007. pp. 8–15.



ภาคผนวก

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



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 โรงแรมวังจันทร์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก

ดำเนินการจัดประชุมโดย
 มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

อุตสาหกรรม พลังงาน เพื่ออนาคตประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENETT12-ET-290

การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยน ความร้อนโดยการใส่ แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่

Numerical Simulation of Turbulent Flow and Heat Transfer in a Heat Exchanger Tube with Double-Delta-Wing Tape Inserts

ธีรวิทย์ ตีสอน¹ สมบัติ ทานา² พงษ์ศักดิ์ คำมูล¹ และพงษ์เจต พรหมวงค์^{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

บทความนี้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยการสอดใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่ซึ่งทวนกระแส ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและอัลกอริทึมแบบ SIMPLE ซึ่งการคำนวณได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของอากาศสำหรับเลขเรย์โนลด์สที่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออยู่ในช่วง $Re=3000$ ถึง $20,000$ แผ่นบางพร้อมปีกที่สอดใส่ในท่อมุมปะทะของปีกสองค่าคือ $\alpha=20^\circ$ และ 30° และปีกมีทิศทางซึ่งทวนกระแสการไหล (forward-wing) ได้ศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทั้งสามค่า ($P_R=P/D=1, 1.5$ และ 2) ต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย ผลที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าท่อที่ใส่แผ่นบางมีปีกให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียมากกว่าท่อเปล่าผิวเรียบ โดยมีค่าเลขนัสเซลที่อยู่ในช่วง $1.5-2.56$ เท่า และมีค่าตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง $2.91-5.61$ เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ กรณีที่สอดใส่แผ่นบางมีปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 1.53 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์สเท่ากับ 3000

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียความดัน, ปีกสามเหลี่ยมคู่, ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, การไหลปั่นป่วน

Abstract

The paper presents a numerically turbulent periodic-flow and heat transfer in a circular tube with double-delta-wing tape inserts. The computations based on the finite volume method and the SIMPLE algorithm has been implemented. The airflow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds numbers based on the tube diameter ranging from 3000 to $20,000$. The insertion of the winged tape is performed with two wing attack angles ($\alpha=20^\circ$ and 30°) and with a forward-wing arrangement. Effects of three ratios of wing-pitch to tube-diameter ($P_R=P/D=1, 1.5$ and 2) on heat transfer and pressure loss in the tube are studied. The numerical results show that the winged-tape insert provides higher heat transfer rate and pressure loss than the smooth tube. The Nu for the tube insert is around $1.5-2.56$ times above that for the smooth tube while the f is around $2.91-5.61$ times. The inserted tube with $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ gives the highest thermal enhancement factor around 1.53 at $Re=3000$.

Keywords: heat transfer, pressure loss, double-delta-wing tape, heat exchanger tube, turbulent flow

1704



คณะวิทยาศาสตร์ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
"อุตสาหกรรม-พลังงาน เพื่ออนาคตประเทศไทย"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยสำหรับการทดลองยังคงเป็นปัญหาสำหรับนักวิจัย เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยอีกด้วย รวมถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิไม่เพียงพอ ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้น จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข เข้ามาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของกระบวนการโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ในทางอุตสาหกรรม ได้มีนักวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาถึงเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ เนื่องจากระบบท่อจริงในทางอุตสาหกรรมมีความยาวมากจึงมีผู้นำเสนอหลักการของการไหลที่มีการไหลแบบเป็นคาบอย่างสมบูรณ์ (fully periodic flow) ที่ทำการศึกษาโดย Patankar และคณะ [1] ได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายโดยใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการเพิ่มตัวสร้างการไหลปั่นป่วนในลักษณะต่าง ๆ โดยการใช้อุปกรณ์คำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Promvong และคณะ [2] ทำการศึกษาวิจัยโดยอาศัยวิธีการใช้การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อจัดรีส์ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมุม 45° บนผนังด้านหนึ่งของท่อ จากการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นเอียงทำให้เกิดการไหลหมุนวนแบบคู่ซึ่งกระแสน้ำที่หมุนวนนี้จะไปกระแทกส่วนที่เป็นผนังท่อทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยค่าสมรรถนะการจากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาในช่วงต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะทำการศึกษาค่าผลและอิทธิพลของครีบูที่มีความหนา แผ่นกั้น ในท่อขนานและในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการศึกษาค่าอิทธิพลของครีบูบางรูปตัววีในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสยังมีการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ น้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาค่าผลและอิทธิพลของครีบูสำหรับการไหลแบบราบเรียบ 3 มิติ โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบ [1] ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีบูบางรูปตัววีแบบแยกตัวบนแผ่นบาง แล้วเสียบแผ่นบางเข้าไปในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบทแยง มีการจัดวางแบบปลายวีชี้ทวนกระแสน้ำ โดยศึกษาถึงผลของ BR ของครีบูวางเอียงที่มุม $\alpha=45^\circ$ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะเชิงความร้อน ลักษณะการไหลและความเสียดทาน

Amiri และคณะ [3] ทำการศึกษาวิจัยทั้งในส่วนของการไหลและการใช้วิธีคำนวณเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการไหลแบบราบเรียบโดยศึกษาพฤติกรรมการไหลและค่าการถ่ายเทความร้อนแบบ 2 มิติ ในท่อขนานที่มีการติดตั้งแผ่นพรุนโดยมีการเลือกแบบจำลอง two-phase equation ต่อมา Han และคณะ [4] ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อจัดรีส์ที่ติดตั้งบนผนังสองด้านโดยใช้รูปทรงครีบูแตกต่างกัน 9 แบบและแต่ละรูปทรงจะพิจารณาที่ค่า ระยะพิชต์ต่อความสูงครีบูเท่ากับ 10 และ ความสูงครีบูต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.0625 ผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและตัวประกอบเสียดทานพบว่า ครีบูวางทำมุม และครีบูรูปตัววีให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าครีบูยาวต่อเนื่อง และยังพบว่าที่มุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดในจำนวนครีบูที่วางเอียง Han และ Zhang [5] นำเสนอการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อจัดรีส์ด้วยครีบูทั้งหมด 7 รูปทรงของครีบูที่วางเว้นช่วง พบว่าครีบูรูปตัววีวางเว้นช่วงมุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อผิวเรียบ 4.5 เท่า และดีกว่าครีบูวางต่อเนื่อง การทดลองทั้งหมดได้ติดตั้งที่ผนังสองด้านและค่าความสูงครีบูต่อความสูงท่อมีค่า 0.0625 และระยะพิชต์ต่อความสูงครีบูที่ค่า 10 Liou และ Hwang [6,7] ได้ทำการทดลองครีบูสี่เหลี่ยมจัตุรัส ครีบูสามเหลี่ยม และครีบูครึ่งวงกลม พบว่าครีบูสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในการไหลที่ทดลอง Skullong และ Promvong [8] ศึกษาเชิงทดลองการพาความร้อนที่มีการไหลแบบปั่นป่วนในช่องการไหลของเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ปีกสามเหลี่ยมเป็นตัวสร้างการไหลหมุนวน ศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล และความสูงปีกสามเหลี่ยม ผลจากการทดลองพบว่าในกรณี DW-E ที่มุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด ขณะเดียวกัน DW-A ที่มุม 30° , $b/H=0.5$ การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด แต่ให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ $b/H=0.4$ งานวิจัยต่อมา Tamna [9] และคณะ ศึกษาทั้งเชิงการทดลองและเชิงตัวเลขของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวสร้างการไหลหมุนวนแผ่นกั้นรูปตัววีหลายตัว ช่วงการไหลแบบปั่นป่วน โดยศึกษาอิทธิพลระยะพิชต์และการจัดวางแผ่นกั้นพบว่า ที่ค่า PR น้อยกว่าจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูง การจัดวางแผ่นกั้นแบบตรงกัน ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนแล้วความเสียดทานสูงกว่าจัดวางแบบเอียงและติดตั้งแผ่นกั้นด้านเดียว Skullong [10] และคณะ ศึกษาการถ่ายเทความร้อนทั้งเชิงทดลองและเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแผ่นกั้นรูปเกือกม้าวางเอียงมุม 30° ศึกษาการเปลี่ยน PR และ BR พบว่าค่า PR น้อยสุดสำหรับทุก BR จะให้ค่าการถ่ายเท

1705



คณะวิทยาศาสตร์ ร่วมกับ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
"อุตสาหกรรม-พลังงาน เพื่ออนาคตประเทศไทย"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

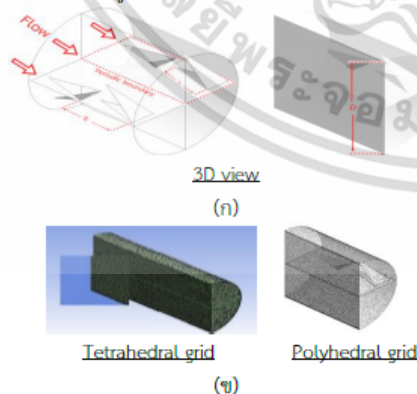
ความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด งานต่อมาของ Skullong [11] และคณะ ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียดจากการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลมที่ใส่แผ่นพรุนที่ติดปีกแนวเอียงกัน การเพิ่มขึ้นของ BR และการลดลงของ PR ทำให้การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานเพิ่มขึ้น งานถัดมาของ Tamna [12] และคณะ ทดลองเพื่อหาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมที่ใส่ใบพัดคู่ติดครีบตัววี ซึ่งเป็นตัวสร้างการไหลหมุนวนแบบผสม โดยศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนการกั้นการไหลของครีบ ผลจากการทดลองเมื่อค่า Re และ BR เพิ่มขึ้น ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของการใส่แผ่นบางที่มีปีกในท่อกลมยังมีการนำเสนออีกเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจและทำการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนใน 3 มิติ โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบในท่อกลมที่ใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมภายในท่อ โดยมีการจัดวางปีกมีระยะพิชชีและเอียงมุมปะทะแตกต่างกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลต่อสมรรถนะเชิงความร้อน ลักษณะการไหล และค่าความเสียดทาน

2. โครงสร้างการไหลและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ท่อกลมใส่แผ่นบางปีกสามเหลี่ยมคู่

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาที่ท่อกลมสอดใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่ มีอัตราส่วนระยะพิชชีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($P_R = P/D$) เท่ากับ 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ โดยมุมปะทะของปีกที่ทำการศึกษาคือ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° ฐานของปีกสามเหลี่ยมกว้าง $b = 10$ mm ความสูงของสามเหลี่ยม $l = 20$ mm และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลมที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $D = 0.05$ m ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic มีการจัดวางปีกชี้ทวนกระแสการไหลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) แบบจำลองที่พิจารณาการไหลแบบคาบ (periodic) และ (ข) รูปแบบของกริดที่ใช้ในการคำนวณ

2.2 สมมติฐานและสมการในการคำนวณ

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การไหลและการถ่ายเทความร้อนของไหลเป็นแบบคงตัว
- การไหลเป็นแบบปั่นป่วนและแบบอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คำนึงแรงโน้มถ่วงและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด
- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐาน สำหรับการไหลในท่อสมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

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

สมการโมเมนตัม:

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

สมการพลังงาน:

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

เมื่อ Γ และ Γ_T คือ การแพร่ทางความร้อนและการแพร่ทางความร้อนแบบปั่นป่วนตามลำดับ โดย

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \text{ และ } \Gamma_T = \frac{\mu}{Pr_T} \tag{4}$$

สมการควบคุมทั้งหมดจะถูก discretize โดยแบบแผนวิธีผลต่างครอคราดิค (QUICK) แล้วทำการคำนวณตามระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม [13] โดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE ในการหาค่าตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร ยกเว้นสมการพลังงานใช้ค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^2

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ส ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซลท์ และสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์สนิยามโดย

$$Re = \rho u D_h / \mu \tag{5}$$

ค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปของตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาว periodic ของท่อกลม, L

$$f = \frac{(\Delta p / L) D_h}{(1/2) \rho u^2} \tag{6}$$

การถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปของค่าเลขนัสเซลท์ที่จุดใด ๆ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \tag{7}$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (8)$$

สมรรถนะเชิงความร้อน, TEF

$$TEF = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (9)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ ตามลำดับ

2.3 เงื่อนไขขอบเขต

สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาเงื่อนไขขอบเขตดังต่อไปนี้

- พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบคาบ (periodic)
- สมมติอากาศที่ 300 K และมีค่าเลขพรานด์ 0.707
- ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่
- รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน
- สมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดย

อ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า

- เป็นผนังที่อยู่กับที่และของไหลไม่มีการสั่นไถลที่ผนัง
- กำหนดให้ที่ผนังท่อกลมมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2
- สมมติให้แผ่นบางและปีกสามเหลี่ยมเป็นฉนวน ซึ่งความร้อนไม่สามารถผ่านได้

3. ผลการจำลองเชิงตัวเลขและวิจารณ์ผล

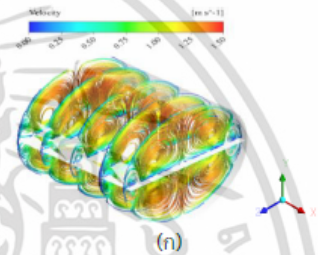
3.1 ความถูกต้องของการคำนวณและกริดอิสระ

การพิสูจน์ความถูกต้องของการคำนวณเชิงตัวเลข โดยทำการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานในท่อกลมผิวเรียบที่ไม่มีการติดตั้งปีกสามเหลี่ยมระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขและจากสหสัมพันธ์ [14] ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากสหสัมพันธ์ประมาณ 0.5% ทั้งในส่วนของค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับสหสัมพันธ์อย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้

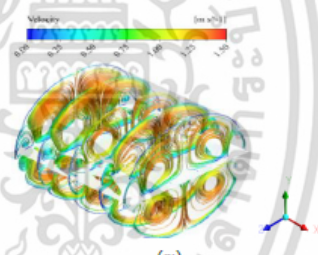
สำหรับการไหลในท่อนี้ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยเป็นเอลิเมนต์รูปทรงหกเหลี่ยมเนื่องจากเหมาะสมกับการวิเคราะห์ที่ค่าการถ่ายเทความร้อนและแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform grid) การหาผลกระทบบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือที่ 50,000, 100,000, 200,000 และ 400,000 พบว่าเมื่อขนาดตั้งแต่ 200,000 ขึ้นไปให้ค่าเลขนัสเซลท์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.1% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 200,000 ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไป

3.2 การไหลในท่อกลมผ่านปีกสามเหลี่ยม

เส้นกระแสการไหลในท่อกลมที่มีการใส่แผ่นบางมีปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ค่า α ต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านปีกสามเหลี่ยมจะก่อให้เกิดการไหลหมุนควง โดยสร้างกระแสหมุนควง 2 คู่ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) และ (ข) ขณะที่ไหลผ่านท่อผิวเรียบที่ไม่ใส่ปีกสามเหลี่ยมเส้นกระแสการไหลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง กระแสการไหลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของปีกสามเหลี่ยมคู่จะทำให้กระแสไหลหมุนควงตามแนวยาวดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่า α เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความแรงของกระแสการไหลควงเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า $\alpha=30^\circ$, $Pr=1$ พบว่ามีความแรงของการไหลควง (vortex strength) สูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากเส้นกระแสการไหล

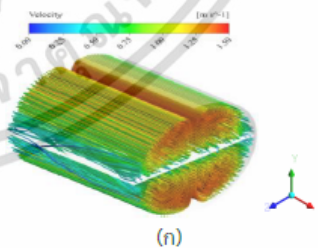


(ก)

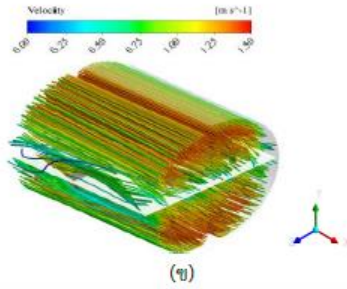


(ข)

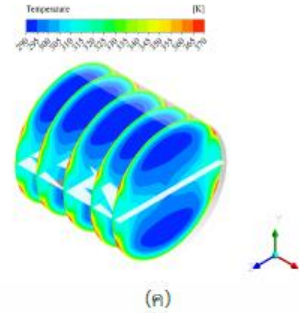
รูปที่ 3 โครงสร้างการไหลในระนาบตัดตามขวางสำหรับ (ก) $\alpha=30^\circ$ และ (ข) $\alpha=20^\circ$ ที่ $Pr=1$, $Re = 3000$



(ค)



รูปที่ 4 โครงสร้างการไหลตามแนวยาวสำหรับ (ก) $\alpha=30^\circ$
และ (ข) $\alpha=20^\circ$ ที่ $P_R = 1$, $Re = 3000$

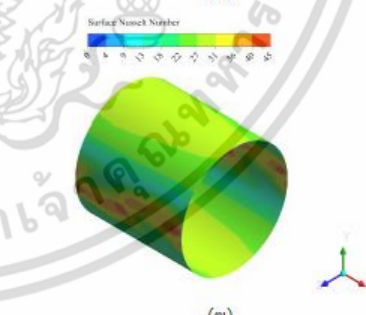
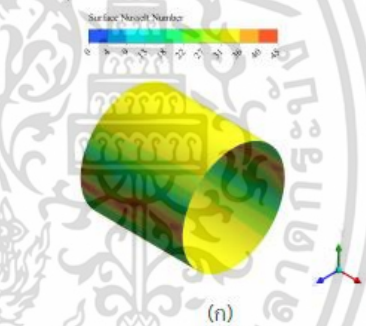
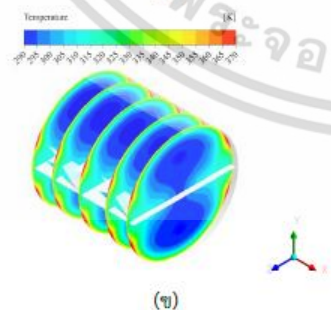
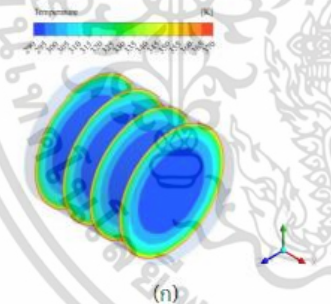


รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามขวาง (ก) ท่อเปล่า
(ข) $\alpha=20^\circ$ และ (ค) $\alpha=30^\circ$ ที่ $P_R = 1$, $Re=3000$

3.3 การถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 5 แสดงคอนทัวร์อุณหภูมิหรือการกระจายของอุณหภูมิในระนาบตัดตามขวางสำหรับท่อเปล่า และท่อที่ใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ค่า α ต่างกัน พบว่าการไหลควงที่เกิดขึ้นจากปีกสามเหลี่ยม ส่งผลให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้นสังเกตได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิสำหรับท่อเปล่า ซึ่งพบว่าบริเวณใกล้กับผนังท่อ ของไหลยังมีอุณหภูมิสูง (คอนทัวร์สีแดง) และที่บริเวณกลางท่อเป็นอุณหภูมิต่ำ (คอนทัวร์สีน้ำเงิน) ในขณะที่ท่อที่มีการใส่แผ่นมีปีกสามเหลี่ยมนั้น การไหลควงที่เกิดขึ้นจากการไหลจะส่งผลให้ของไหลที่อุณหภูมิเย็นที่บริเวณกลางท่อถูกเหนี่ยวนำไปรับความร้อนที่ผิวท่อได้ดีขึ้น ซึ่งที่ $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ พบว่าการผสมกันของของไหลที่ดีที่สุด

รูปที่ 6 แสดงคอนทัวร์ของเลขนัสเซลล์ที่บริเวณผนังท่อสำหรับท่อใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่ที่ค่า α ต่างๆ โดยพบว่าจากการกระจายของกระแสการไหลที่เกิดจากการใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยม ส่งผลให้ของไหลเกิดการผสมกันได้ดีขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ และพบว่าเมื่อค่า α และ P_R เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยโดยสังเกตจากคอนทัวร์สีแดงที่มีพื้นที่เยอะที่สุดบนผนังท่อตรงกลางด้านซ้ายและด้านขวา



รูปที่ 6 การกระจายเลขนัสเซลล์ที่บริเวณผนังท่อ
(ก) $\alpha=30^\circ$ และ (ข) $\alpha=20^\circ$ ที่ $P_R = 1$, $Re = 3000$

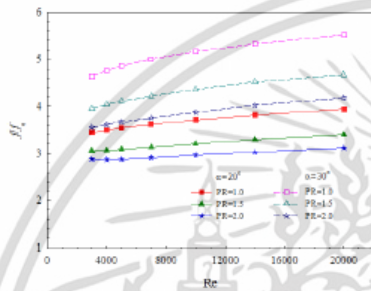
3.4 วิเคราะห์ผลการจำลองเชิงตัวเลข

รูปที่ 7 พบว่าเมื่อค่า Re และ α เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น การลดลงของค่า P_R ส่งผลให้

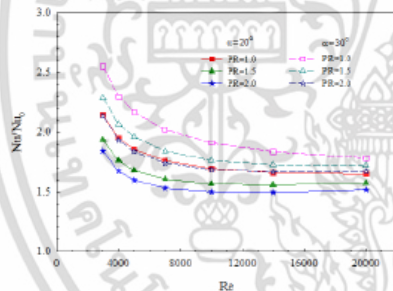
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ค่า $\alpha=20^\circ$, $P_R=2$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุดที่ 2.91 เท่า ที่ค่า $Re=3000$ ส่วนที่ค่า $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงถึง 5.61 เท่าที่ค่า $Re=20,000$

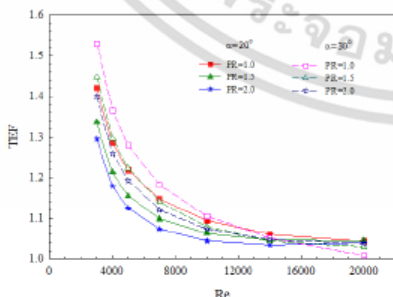
รูปที่ 8 พบว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อ Re และ α เพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่ค่า $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์เพิ่มมากที่สุดซึ่งเทียบกับท่อผิวเรียบมีค่าเท่ากับ 2.56 เท่า ที่ค่า $Re=3000$ ส่วนที่ค่า $\alpha=20^\circ$, $P_R=2$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุดที่ 1.5 เท่า ที่ค่า $Re=12,000$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนนัสเซลล์กับเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 9 พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์สที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการลดลงของค่าสมรรถนะเชิงความร้อน(TEF) สำหรับช่วงเรย์โนลด์สที่พิจารณาโดยค่า $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ ให้ค่า TEF สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.53 ที่ค่าเรย์โนลด์สเท่ากับ 3000 แต่ถ้าค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มสูงขึ้นค่า TEF จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นที่มุม $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ จึงไม่เหมาะสมสำหรับค่าเรย์โนลด์สสูงๆ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้จากการใส่แผ่นบางปีกสามเหลี่ยมคู่ในท่อกลม ที่ $\alpha=20^\circ$ และ 30° จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.01-1.53

4. สรุปผลการจำลองเชิงตัวเลข

การศึกษาเชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมโดยการใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่ ทำมุม $\alpha=20^\circ$ และ 30° โดยมีค่า $P_R=1, 1.5$ และ 2 ศึกษาช่วงการไหลปั่นป่วนที่ $Re=3000-20,000$ โดยปีกคูมีทิศทางชี้ทวนกระแสการไหล พบว่าค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับกรณีที่ทำการศึกษาที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.5-2.56 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ แต่อย่างไรก็ตามการใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมก็ทำให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมีค่าตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 2.91-5.61 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ และเมื่อพิจารณาทั้งส่วนของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปสมรรถนะเชิงความร้อนพบว่า ที่มุมปะทะ $\alpha=30^\circ$, $P_R=1$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.53 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์สเท่ากับ 3000

5. เอกสารอ้างอิง

[1] 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 Journal of Heat Transfer*, vol.99, pp.180-186.
 [2] Promvongse, P., Sripattanapit, S., Tamna, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C. (2010). Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45° inclined baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, pp.170-177.
 [3] Amiri, A., Vafai, K. and Kuzay, T.M. (1995). Effects of boundary conditions on non-Darcian heat transfer through porous media and experimental comparison. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol. 27, pp.651-664.
 [4] 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 Journal of Heat Transfer*, vol. 113, pp.590–596.
- [5] Han, J.C. and Zhang, Y.M. (1992). High performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped broken ribs, *International Journal of Heat Transfer*, vol. 35, pp.513-523.
- [6] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1992). Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows, *ASME Journal of Heat Transfer*, vol. 114, pp.56–64.
- [7] Liou, T.M. and Hwang, J.J. (1993). Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp.931–940.
- [8] Skullong, S. and Promvong, P. (2014). Experimental Investigation on Turbulent Convection in Solar Air Heater Channel Fitted with Delta Winglet Vortex Generator, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, pp. 1-10.
- [9] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C. and Promvong, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, *Solar Energy*, vol. 110, pp. 720-735.
- [10] Skullong, S., Thianpong, C., Jayranaiwachira, N. and Promvong, P. (2014). Experimental and numerical heat transfer investigation in turbulent square-duct flow through oblique horseshoe baffles, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 99, pp. 58–71.
- [11] Skullong, S., Promvong, P., Thianpong, C. and Pimsarn, M. (2016). Heat transfer and turbulent flow friction in a round tube with staggered-winglet perforated-tapes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 95, pp. 230–242.
- [12] Tamna, S., Kaewkohkiat, Y., Skullong, S. and Promvong, P. (2016). Heat transfer enhancement in tubular heat exchanger with double V-ribbed twisted-tapes, *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 7, pp. 14–24.
- [13] Patankar, S.V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.
- [14] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996), *Introduction to heat transfer, 3rd edition*, John Wiley & Sons Inc.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธีรวิทย์ ดีสอน
วัน เดือน ปีเกิด	11 กันยายน 2534
ที่อยู่	16/1 หมู่ 5 ตำบลท่าแฝก อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ รหัสไปรษณีย์ 53110
เบอร์โทร	087-2011556
ประวัติการศึกษา	2556 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2559-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต บริษัท พี.กริม เอ็มบีเอ็ม เมทัลเวิร์คส จำกัด 59 ถนนสุวินทวงศ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	
พ.ศ. 2559	ธีรวิทย์ ดีสอน, สมบัติ ทำานา, พงษ์ศักดิ์ คำมูล และพงษ์เจต พรหมวงศ์. “การจำลองเชิงตัวเลขของการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อน ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการใส่แผ่นบางที่มีปีกสามเหลี่ยมคู่.” <u>การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. (2559)</u> 1749-1755.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้