

การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างการไหล
ในท่อสี่เหลี่ยมด้วยแผ่นกั้นเจาะรูแบบแยกตัว

NUMERICAL INVESTIGATIONS ON HEAT TRANSFER AND
FLOW STRUCTURE IN SQUARE CHANNEL WITH DISCRETE
PUNCHED BAFFLES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562
KMITL-2019-EN-M-030-118

การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างการไหล
ในท่อสี่เหลี่ยมด้วยแผ่นกั้นเจาะรูแบบแยกตัว

NUMERICAL INVESTIGATIONS ON HEAT TRANSFER AND
FLOW STRUCTURE IN SQUARE CHANNEL WITH DISCRETE
PUNCHED BAFFLES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-030-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL INVESTIGATIONS ON HEAT TRANSFER AND
FLOW STRUCTURE IN SQUARE CHANNEL WITH DISCRETE
PUNCHED BAFFLES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE MASTER DEGREE OF ENGINEERING
IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2019-EN-M-030-118



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างการไหลในท่อสี่เหลี่ยมด้วยแผ่นกั้นเจาะรูแบบแยกตัว
นักศึกษา	นายนราพล แดนปากกลาง
รหัสนักศึกษา	57601168
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิฑาตา เจษฎารัตนชัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและโครงสร้างของการไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นแยกตัวและแผ่นกั้นผสมครีบบहुต โดยทำการปรับปรุงรูปแบบของแผ่นกั้นแบบตัววีแยกตัวด้วยวิธีการปรับมุม และวิธีการเจาะรูแผ่นกั้น รวมไปถึงการนำเอาครีบบहुตเข้ามาติดตั้งร่วมเพื่อให้แบบจำลองมีการสูญเสียแรงดันภายในต่ำลง ซึ่งกำหนดให้สมมติฐานของการไหลไหลแบบปั่นป่วนในรูปสามมิติ ที่มีลักษณะการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วงๆ การคำนวณเชิงตัวเลขใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม การควบคุมของความเร็วและความดันใช้กระบวนการวิธีแบบ SIMPLE และสำหรับเทอมของการพาใช้แบบแผนการคำนวณแบบ QUICK โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ที่กำหนดให้มีอัตราการไหลด้วยค่าเลขเรย์โนลด์ที่อยู่ในช่วง 5,000 ถึง 20,000 และจะใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$ โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (BR) มุมปะทะของแผ่นกั้นกับทิศทางการไหล (α) และค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) จากการทดลองพบว่าเมื่ออากาศมีค่าเลขเรย์โนลด์สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่า Nu และ f สูงขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า BR ให้สูงขึ้นก็จะส่งผลให้มีค่า Nu และ f สูงขึ้นด้วยเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มค่า α ไม่สามารถสรุปได้ว่าจะให้ค่า Nu และ f ที่สูงขึ้นหรือน้อยลง ซึ่งจะต้องพิจารณาร่วมกับรูปแบบของการไหลของแต่ละแบบจำลอง ถ้าหากเพิ่มค่า α แล้วส่งผลให้เกิดการกระทบกันของกระแสการไหลแล้วทำให้อากาศหยุดนิ่งจะทำให้มีค่า Nu ที่น้อยลง สำหรับแบบจำลองที่สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้นั้นคือแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นแบบตัววีแยกตัว เจาะรู ด้วยการเกิด punch jet ผ่านตรงกลางของแผ่นกั้นไปทำให้อากาศที่หยุดนิ่งด้านหลังมีพลังงานจลน์ที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้นนั่นเอง ในทางกลับกันถ้าหากนำครีบบहुตเข้ามาติดตั้งร่วมถึงแม้ว่าจะช่วยลดการสูญเสียความดันภายในได้จริงแต่ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้มากเท่าที่ควร ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมในการนำมาติดตั้งร่วม ซึ่งแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นแบบตัววีแยกตัวเจาะรู ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด (TEF_{max}) มีค่าเท่ากับ 2.678 สำหรับแบบจำลองที่มีค่า $\alpha=30^\circ$, $d_p/H=0.0125$, $Re=5,000$ ซึ่งมีค่ามากกว่าแบบจำลองต้นแบบที่ค่าพารามิเตอร์เดียวกันเท่ากับ 1.027 เท่า และมีค่า $Nu/Nu_0 = 4.340$ และ $f/f_0 = 5.219$ และแบบจำลองนี้ยังมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อผิวเรียบถึง 4 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Numerical investigations on heat transfer and flow structure in square channel with discrete punched baffles
Student	Mr. Naraphon Danpaklang
Student ID.	57601168
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Withada Jedsadaratanachai

ABSTRACT

This thesis has been conducted to improve and invest on heat transfer and flow structure in square channel with discrete baffle and combined baffle with pin fin. The V-shaped discrete baffle is the original model which has been selected for characteristics adjustment and combined baffle with pin fin in the position of RM. The numerical investigation on turbulent periodic flow and heat transfer characteristics in a 3-dimensional square channel has been analyzed. The computations are based on a finite volume method with the SIMPLE algorithm for handling the pressure-velocity coupling and using the QUICK scheme for the convection terms. Air was used as the test fluid with the airflow rate in terms of Reynolds numbers ranging from 5,000 to 20,000. The Realizable $k-\varepsilon$ model was selected for turbulent flow structure model. This study is consideration of the influence of various baffle to channel height ratios, (BR), different attack angles (α) and the increasing of Reynold number (Re). The results show that the increasing of Re leading to greater increase in Nu and f and also BR varied the results are in same trend. Since the 2-direction cross flow occurred caused by rib angle varying leading to loss of turbulent kinetic energy in some model hence the effect of different attack angles cannot be concluded depend on each specific rib/fin in model. The most heat transfer enhancement is from V-shaped with hole and there is maximum thermal performance is around 2.640 and there are Nu/Nu_0 and f/f_0 is equal 4.340 and 5.219 respectively for the rib with $\alpha=30^\circ$ and $d_r/H=0.0125$ at $Re=5,000$ where the heat transfer rate is about 4 times above smoot duct and 1.027 times above an original model.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยภาระเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิฑาดา เจษภูวรรตน์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของงานวิจัยนี้ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา และความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณ ดร.พิทักษ์ พร้อมไธสง ที่ช่วยสอนและแนะนำการใช้โปรแกรม Fluent จนข้าพเจ้าสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขตลอดจนคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และสถานที่สำหรับใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆ ด้าน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณค่าอันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดา ครูอาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และวางรากฐานการศึกษาแก่ข้าพเจ้า

นราพล แตนปากกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
บทที่ 3 สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
3.1 สมมุติฐานของการไหลและสมการควบคุม	11
3.1.1 สมการอนุรักษ์มวล	11
3.1.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม	12
3.1.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน	13
3.1.4 การไหลแบบภายในและการถ่ายเทความร้อน	13
3.2 วิธีไฟไนต์โวลุ่มสำหรับการพา และการแพร่	17
3.3 วิธีไฟไนต์โวลุ่มสำหรับปฏิสัมพันธ์ความดัน-ความเร็ว	18
3.4 การไหลแบบต่อเนื่องและซ้ำเป็นช่วง (periodic flow).....	19
3.4.1 บทนิยามของความเร็วที่เกิดซ้ำเป็นช่วง	20
3.4.2 บทนิยามของทิศทางการเคลื่อนที่ที่เกิดซ้ำเป็นช่วง	20
3.5 แบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$	21
บทที่ 4 ขั้นตอนการวิจัยและแบบจำลอง	25
4.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	25
4.2 แบบจำลองและโครงสร้างการไหล.....	26
4.2.1 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (VO).....	26
4.2.2 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแยกตัววางตัวแนวเดียว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)	27
4.2.4	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM).....	28
4.2.5	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)	28
4.2.6	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู (VH)..	29
4.2.7	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับคริสหมุดทรงกระบอก.....	29
4.2.8	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับคริสหมุดทรงสี่เหลี่ยม	30
4.2.9	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับคริสหมุดทรงสามเหลี่ยม	30
4.3	การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง.....	31
4.3.1	โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ	31
4.3.2	การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองท่อน้ำเหลืองผิวเรียบ	31
บทที่ 5	ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการอภิปราย	33
5.1	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (VO)	33
5.1.1	ผลกระทบจากการติดคริส และพฤติกรรมการไหล	33
5.1.2	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	34
5.1.3	การสูญเสียความดัน	36
5.1.4	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	37
5.2	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว (in-line, VI).....	37
5.2.1	ผลกระทบจากการติดคริส และพฤติกรรมการไหล	37
5.2.2	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	38
5.2.3	การสูญเสียความดัน	40
5.2.4	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	41
5.3	แบบจำลองท่อน้ำเหลืองจัตรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)	42
5.3.1	ผลกระทบจากการติดคริส และพฤติกรรมการไหล	42
5.3.2	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	42
5.3.3	การสูญเสียความดัน	44
5.3.4	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 แบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM)	45
5.4.1 ผลกระทบจากการติดครีป และพฤติกรรมกการไหล	45
5.4.2 พฤติกรรมกการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	47
5.4.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	48
5.5 แบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)	49
5.5.1 ผลกระทบจากการติดครีป และพฤติกรรมกการไหล	49
5.5.2 พฤติกรรมกการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	50
5.5.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	52
5.6 แบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู (VH)	52
5.6.1 ผลกระทบจากการติดครีป และพฤติกรรมกการไหล	52
5.6.2 พฤติกรรมกการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	53
5.6.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	55
5.7 แบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีปหมุดรูปทรงต่างๆ	55
5.7.1 ผลกระทบจากการติดครีป และพฤติกรรมกการไหล	56
5.7.2 พฤติกรรมกการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	57
5.7.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	58
5.8 การเปรียบเทียบแบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองปรับปรุง	59
5.8.1 การถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	59
5.8.2 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	60
5.9 การเปรียบเทียบแบบจำลองทอสีเหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองที่ติดตั้งร่วมกับครีปหมุด	60
5.9.1 การถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน	60
5.9.2 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	61
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	63
6.1 สรุปผลการวิจัย	63
6.1.1 อิทธิพลของการปรับปรุงรูปแบบของแผ่นกั้นและครีปต่าง	63
6.1.2 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงเลขเรย์โนลด์	63
6.1.3 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงค่า Blockage ratio (BR)	64
6.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะการไหล (α)	64
6.1.5 ความเหมาะสมในการนำครีปแบบหมุดมาติดตั้งร่วม	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.1.6 สรุปผลการวิจัย.....	65
6.2 ข้อเสนอแนะการพัฒนางานวิจัย.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	69
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบค่า <i>TEF</i> ของแบบจำลองจากงานวิจัยที่ผ่านมา	9
4.1 ตารางสรุปแบบจำลอง พารามิเตอร์ และจำนวนการทดลอง	31
4.2 ตารางเปรียบเทียบความคาดเคลื่อนจากจำนวนกริดที่แตกต่าง	31
6.1 ตารางสรุปผลค่าสัดส่วนนัสเซลล์ต์ ตัวประกอบแรงเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อน ของแต่ละแบบจำลอง	65
ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงทิศทาง และพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแผ่นกั้นรูปสี่เหลี่ยมแบบเจาะรูและไม่ได้เจาะรู 8
3.1	การไหลของมวลผ่านเข้าออกเอลิเมนต์ 11
3.2	องค์ประกอบความเค้นในทิศทาง x 13
3.3	การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน 15
3.4	เปรียบเทียบระหว่างผลเฉลยวิธี QUICK และวิธีผลต่างต้นลมกับผลเฉลยแม่นยำตรง 18
3.5	ตัวอย่างของรูปทรงเรขาคณิตที่เข้าเป็นช่วง 20
4.1	แผนผังขั้นตอนการทดลองและแนวคิดในการปรับปรุงแบบจำลอง 25
4.2	ก) แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว ข) แบบจำลองมุมมองบน ค) ลักษณะเมชของแบบจำลอง 26
4.3	ก) แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว ข) แบบจำลองมุมมองบน 27
4.4	แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid. 27
4.5	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุม ตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM) 28
4.6	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุม ตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW) 28
4.7	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู 29
4.8	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครึ่งหมุด ทรงกระบอก 29
4.9	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครึ่งหมุด ทรงสี่เหลี่ยม 30
4.10	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครึ่งหมุด ทรงสามเหลี่ยม 30
4.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Nu_0 และ f_0 สำหรับท่อเรียบ 32
	แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วน (VO)
5.1	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000 33
5.2	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว หน้าตัด Y-X บริเวณกลางท่อ ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000 34
5.3	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเชิลท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000 35
5.4	รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดแกน X และ Z 35
5.5	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเชิลท์เฉลี่ยของท่อติดแผ่นกั้นตัววีแยกส่วน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ 36
5.6	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ 36
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ 37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว (In-line, VI)	
5.8	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00038
5.9	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเชิลท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00039
5.10	รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000.....39
5.11	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00039
5.12	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเชิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....40
5.13	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ41
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ41
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)	
5.15	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว และแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000.....42
5.16	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเชิลท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00043
5.17	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเชิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....44
5.18	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00044
5.19	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....44
5.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ45
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM)	
5.21	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000.....46
5.22	รูปแสดงการกระจายความเร็วตามแนวแกน X ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00046
5.23	รูปแสดงตัวอย่างของการไหลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน47
5.24	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเชิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....47
5.25	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ48
5.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ48
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)	
5.27	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00049
5.28	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00050
5.29	รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000.....50
5.30	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเชิลท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00050
5.31	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเชิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.32	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ51
5.33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ52
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู (VH)	
5.34	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรูที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00053
5.35	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเซลล์ท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00054
5.36	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซลล์ท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....54
5.37	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ54
5.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ55
แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบริบรูปทรงต่าง	
5.39	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบริบรูปทรงต่างๆ ที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000.....56
5.40	รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และเรย์โนลด์เท่ากับ 10,00056
5.41	รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเซลล์ท์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และเรย์โนลด์ เท่ากับ 10,000.....57
5.42	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซลล์ท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....57
5.43	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ58
5.44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ58
การเปรียบเทียบแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองปรับปรุง	
5.45	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซลล์ท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....59
5.46	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ59
5.47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ60
การเปรียบเทียบแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองที่ติดตั้งร่วมกับครีบริบ	
5.48	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซลล์ท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ.....61
5.49	กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ61
5.50	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ61

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพา, m^2
A_c	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
A_s	พื้นที่ผิวท่อทั้งหมด, m^2
BR	อัตราส่วนการขวางการไหล, (b/D)
C_f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานแป้นนิ่ง
c_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, $J/kg \cdot K$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, $m (=H)$
E	พลังงานรวม, J
b	ความสูงของแผ่นกั้น, m
d	เส้นผ่านศูนย์กลางครึ่งหลอด, m
d_h	เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ, m
f	ตัวประกอบเสียดทาน
f_0	ตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ
H	ความสูงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
i	พลังงานภายใน, J/kg
J	ฟลักซ์ของมวล, $kg/m^2 \cdot s$
K	พลังงานจลน์ของกระแสการไหลเฉลี่ยต่อหน่วยมวล, J/kg
k	พลังงานจลน์ของความปั่นป่วนต่อหน่วยมวล, J/kg
k_a	ค่าการนำความร้อนของอากาศ, $W/m \cdot K$
L	ความยาวของท่อ, m
ℓ	ค่าบ่งชี้ลักษณะเชิงขนาด, m
L_e	ความยาวช่วงขาเข้า, m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Nu	เลขนัทเชลท์เฉลี่ย
Nu_0	เลขนัทเชลท์ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
P	เส้นรอบรูป, m
p	ความดันสถิต, Pa ; ระยะห่างระหว่างครีป, m
PR	อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีป, (p/D)
Pr	เลขพรานด์
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ, W/m^2
Re	เลขเรย์โนลด์
S_{ij}	เทนเซอร์ค่าเฉลี่ยของอัตราความเครียด, s^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

s	ความหนาครีป, m
T	อุณหภูมิ, K
T_0	อุณหภูมิเฉลี่ย, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
TEF	ค่าตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อน
t	เวลา, s
U_i	ความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x_i , m/s
u_i	ความเร็วย่อยในแนวแกน x_i , m/s
u'_i	ความเร็วย่อยผันแปรในแนวแกน x_i , m/s
u_0	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
V	ปริมาตรของเซลล์, m ³
x	พิกัดบอกทิศทางการไหล
y^+	ระยะไร่นวที่ยาวที่วัดจากผนัง
VO	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัว (แบบจำลองต้นแบบ)
VI	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัววางตัวแนวเดียว (in-line)
VM	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัวและแผ่นกั้นตัววิที่ rib at mid
RRM	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม
RRW	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม
VH	แบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววิแยกตัวเจาะรู

สัญลักษณ์กรีก

Φ	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติใดๆ ของของไหล
Ω	เทนเซอร์ค่าเฉลี่ยของอัตราการหมุน, s ⁻¹
Γ	การแพร่ทางความร้อน
α	มุมปะทะของครีปกับกระแสการไหล, degree
β	มุมการตัดปลายวี, degree
ϕ	ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อหน่วยมวล
λ	ความหนืดที่สอง
μ	ความหนืดสัมบูรณ์, N·s/m ²
ε	อัตราการสูญเสียของความปั่นป่วน, m ² /s ³
ω	อัตราการสูญเสียจำเพาะ, s ⁻¹
ρ	ความหนาแน่น, kg/m ³
τ	ความเค้นเฉือน, N/m ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ตัวห้อย

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



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างคุ้มค่ามีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ได้คำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัด และนอกจากนี้ยังเล็งเห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่างๆ อีกด้วย โดยเฉพาะการสูญเสียพลังงานรูปแบบความร้อนอย่างสูญเสียเปล่า จึงได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เพื่อที่จะได้นำพลังงานความร้อนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นที่นิยมนกันอย่างแพร่หลายในการนำเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต การนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่ รวมไปถึงการรักษาอุณหภูมิของเครื่องยนต์ต่าง อาทิเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความเย็นให้กับอากาศที่นำเข้าสู่อาคาร หม้อน้ำรถยนต์ และกังหันแก๊ส

การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความเย็น ส่วนใหญ่จะพัฒนาการไหลของสารเพื่อให้เกิดการไหลวนให้มากที่สุด และมีค่าการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยอย่างเหมาะสม หลักการการทำให้สารไหลวนนั้น คือการติดตั้งด้วยอุปกรณ์สร้างการไหลวน เช่น ครีบ แผ่นกั้น ใบพัด ขดลวด และปีก เข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในวิทยานิพนธ์นี้เราจะกล่าวถึงเครื่องยนต์ของเครื่องบินซึ่งจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเครื่องยนต์กำลังทำงาน ให้กับใบพัดโดยใช้อากาศไหลผ่านช่องภายในใบพัดเพื่อหลีกเลี่ยงให้อุณหภูมิของใบพัดไม่ร้อนถึงจุดหลอมเหลวของวัสดุ ดังนั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจึงมีการพัฒนาลักษณะการไหลของอากาศในช่องอากาศผ่านของใบพัด โดยทั่วไปเทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เทคนิคแบบแอคทีฟ แต่ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน วิธีที่ได้รับความนิยมกันส่วนมากคือ กลุ่มที่ 2 เทคนิคแบบพาสซีฟ ซึ่งเป็นการออกแบบลักษณะพื้นผิวของท่อแบบพิเศษต่างไปจากผิวเรียบและปรับปรุงของไหลหรือสารทำงานเพื่อให้มีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากขึ้นโดยไม่มีพลังงานภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบของแผ่นกั้น และครีบภายในท่อสี่เหลี่ยมเพื่อให้เกิดการไหลวนเพิ่มมากขึ้น โดยการนำแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่มีลักษณะเหมาะสมและค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงมากอยู่แล้วมาพัฒนาต่อ และนำครีบบहुตรูปทรงต่างๆ มาติดตั้งร่วมกับแผ่นกั้นตัววีแยกตัวในตำแหน่งที่ไม่มีการไหลวนของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นแล้ว ซึ่งทางผู้ศึกษาจะอธิบายรูปแบบไว้ในบทถัดๆ ไป ในการหาสมรรถนะเชิงความร้อนนั้น เป็นการใช้กระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข ที่ได้รับการยอมรับและมีความแม่นยำสูง เพื่อหาผลเฉลยของค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) และค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทาน (f/f_0) มาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบด้วยค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) เป็นหลัก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดด้วยแผ่นกั้นตัววีแยกตัว และแผ่นกั้นผสมครีบริบหมุด ด้วยอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนขนาดมุมของแผ่นกั้นที่กระทำต่อกระแสรไหล (α) สัดส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (BR) และค่าเลขเรย์โนลด์ (Re)

1.2.2 เพื่อพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมด้วยการปรับปรุงลักษณะของแผ่นกั้นตัววีแยกตัว และนำครีบริบหมุดรูปทรงต่างๆ มาติดตั้งร่วม โดยเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบและแบบจำลองต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computation Fluid Dynamics) สำหรับอากาศที่ไหลผ่านท่อสี่เหลี่ยม

1.3.2 ศึกษาการไหลของอากาศผ่านแผ่นกั้นตัววีแยกตัว และแผ่นกั้นตัววีแยกตัวร่วมกับครีบริบหมุด

1.3.2 ศึกษาเพื่อหาผลเฉลยของค่านัสเซลล์ท์ และตัวประกอบแรงเสียดทาน โดยใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบปริมาตรสี่เหลี่ยม

1.3.3 กำหนดให้อากาศที่ไหลผ่านท่อสี่เหลี่ยมเป็นการไหลแบบปั่นป่วนด้วยค่าเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,000 ถึง 20,000 ในลักษณะการไหลแบบ 3 มิติ

1.3.4 มีการให้ความร้อนแบบคงที่หรือ Heat flux = 600 W/m^2 ที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยม โดยมีลักษณะเดียวกันกับใบพัดของกังหันแก๊ส ที่ได้รับความร้อนเฉพาะผิวด้านนอกของใบพัดในขณะที่กำลังทำงาน

1.3.5 วิเคราะห์การไหลแบบชั่วเป็นช่วง และกำหนดให้อากาศเข้ามีอุณหภูมิเท่ากับ 300K

1.3.6 การหาผลเฉลยจะใช้แบบจำลองการปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$, Enhanced Wall Treatment

1.3.7 โดยควบคุมให้เป็นการไหลแบบคงที่ ด้วยการกำหนด Algorithm ของความเร็วและความดันควบคู่แบบ SIMPLE

1.3.8 เทอมของการพาใช้แบบแผนการคำนวณแบบ QUICK

1.3.9 โดยสมมติให้คุณสมบัติของอากาศไม่สามารถอัดตัวได้

1.3.10 ในการศึกษาครั้งนี้ไม่นำค่าการแผ่ความร้อน และแรงจากภายนอกมาพิจารณาด้วย

1.3.11 พัฒนาโมเดลของแผ่นกั้นตัววีแยกตัวให้เกิดการไหลวนมากขึ้น

1.3.12 กำหนดให้ค่าเลขพรานด์ เท่ากับ 0.707

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ค้นคว้าและศึกษาบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ ทั้งแบบการวิเคราะห์เชิงการทดลอง และแบบจำลองโดยหาผลเฉลยด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบปริมาตรสี่เหลี่ยม

1.4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของครีบริบลักษณะต่างๆ ภายในท่อ และพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อไหลผ่านแผ่นกั้นแล้ว โดยคำนึงถึงการไหลวนเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 เลือกรูปแบบครีบหรือแผ่นกั้นที่มีแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด กล่าวคือแผ่นกั้นแบบตัววีแยกตัว

1.4.4 วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศหลังจากไหลผ่านแผ่นกั้น จากข้อด้อย และข้อดี ของแบบจำลอง

1.4.5 นำข้อด้อยมาพัฒนาเพื่อให้เกิดการไหลวนมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นด้วย และนำครีบหมุดรูปทรงต่างๆ มาติดตั้งร่วมกับแผ่นกั้นตัววีแยกตัว

1.4.6 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดันภายใน ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน พฤติกรรมการไหลของแต่ละแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนกับแบบจำลองต้นแบบและท่อผิวเรียบ

1.4.7 สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการศึกษาลงในครั้งต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1.5.1 ได้มีความรู้ความเข้าใจถึงพื้นฐานการถ่ายเทความร้อน การพาความร้อน และการไหลแบบปั่นป่วน

1.5.2 สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศ ด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น มุมของครีบที่กระทำต่อกระแสการไหล (α) สัดส่วนความสูงของครีบต่อความสูงของท่อ (BR) และค่าเลขเรย์โนลด์ (Re)

1.5.3 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปวิเคราะห์ และทำนายพฤติกรรมการไหลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะคล้ายกับการศึกษาครั้งนี้ ในระหว่างการทำงานจริงในอนาคต

1.5.4 สามารถนำเครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองที่เกี่ยวกับพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

จากบทนำในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมาในการศึกษาครั้งนี้คือเป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นแบบตัววีแยกตัว และแผ่นกั้นแยกตัวร่วมกับครีบบนแบบหมุด โดยครีบบนและแผ่นกั้นแต่ละชนิดนั้นจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อไหลผ่านแล้วแตกต่างกันไป บางชนิดส่งผลให้เกิดการไหลวน (swirl) หรือบางชนิดก็อาจจะไม่ส่งผลก็ได้ ซึ่งทางผู้ศึกษาได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สามารถบ่งบอกถึงข้อได้เปรียบ เสียเปรียบ รวมไปถึงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการนำข้อได้เปรียบนั้นไปประยุกต์ใช้ และพัฒนารูปแบบของแผ่นกั้นแบบตัววีแยกส่วนได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

Promvong et al. [1] ทำการทดลองคำนวณเชิงตัวเลข สำหรับการไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งครีบบนแบบตัววีแยกส่วน โดยพิจารณาค่าเลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 10,000 ถึง 25,000 ซึ่งกำหนดให้ครีบบนมุมกับกระแสการไหลเท่ากับ 60° มีค่า $PR = 0.625$ และเปลี่ยนแปลงค่า BR ตั้งแต่ 0.05, 0.0625, 0.075, 0.0875, 0.10, 0.1125, 0.125 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าที่ $BR=0.075$ มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่าสูงถึง 4.0 เท่า และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 1.8 นอกจากนี้ยังได้ทดลองผลกระทบอันเนื่องมาจากความหนาของครีบบน (s/D) อีกด้วย ซึ่งผลที่ได้สรุปว่าครีบบนที่มีความหนาน้อยกว่าจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนดีกว่าและส่งผลให้มีความดันลดสูงขึ้นด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามที่ผู้ศึกษาได้สรุปไว้ว่าความหนาของครีบบนไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเนื่องจากค่า TEF ที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมากนั่นเอง

Peng et al. [2] ทำการทดลองด้วยกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 10,000 ถึง 40,000 และทำการวิเคราะห์เชิงการทดลอง และนำมาเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองทั้งสองแบบนี้ ซึ่งผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นในหลายรูปแบบดังนี้ 1. แผ่นกั้นยาวตลอด (Continuous) และแบบแยกวางตัวขวาง (Interrupted) ทำมุม 90° กับทิศทางการไหล 2. แผ่นกั้นแบบตัววียาวตลอด และแบบแยกวางตัวขวาง ทำมุม 45° 3. แผ่นกั้นแบบตัววียาวตลอด และแบบแยกวางตัวขวาง ทำมุม 60° ผลการทดลองพบว่าการทดลองด้วยกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลขและการทดลองแบบจริงให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันคือ แผ่นกั้นแบบตัววีมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าแผ่นกั้นแบบทำมุม 90° กับทิศทางการไหล เนื่องจากแผ่นกั้นตัววีทำให้เกิดการไหลวนตามแนวยาวซึ่งจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นนั่นเอง และแผ่นกั้นตัววียาวตลอดมีค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าแผ่นกั้นแบบแยกวางตัวขวาง แต่แผ่นกั้นทำมุม 90° ให้ผลตรงกันข้ามกับตัววี โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ประมาณ 1.5

Liu et al. [3] ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในใบพัดของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส โดยการติดแผ่นกั้นดังนี้ 1. แผ่นกั้นขวางแนวยาวตลอด 2. แผ่นกั้นยาวตัด 2 ด้าน 3. แผ่นกั้นยาวตัด 3 ด้าน 4. แผ่นกั้นยาวตัด 5 ด้าน และทำการทดลองด้วยกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 20,000 ถึง 80,000 ใช้โมเดลความปั่นป่วนแบบ Shear Stress Transport ($k - \omega$ SST) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นกั้นยาวแบบตัด ทั้ง 3 กรณี มีค่าความดันลดน้อยกว่าแผ่นกั้นแบบยาวตลอดหน้าตัดแต่ไม่ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยลงแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแผ่นกันยาวตัด 3 ด้านให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และค่าความดันลดยังมีค่าที่น้อยที่สุดอีกด้วยนั่นแสดงให้เห็นว่าจำนวนแผ่นที่ถูกตัดมากไม่ส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นอย่างมีนัยอันเนื่องมาจากลักษณะการไหลแผ่นกันที่ทำให้เกิดการไหลวนอย่างเหมาะสม โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2.163 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000

Promthaisong and Eiamsa-ard [4] ทำการทดลองเพื่อหาช่วงการไหลแบบเต็มท่อและพัฒนาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกันแบบสามเหลี่ยมลูกคลื่น (Wavy-Triangular rib) ใน Solar heater channel โดยปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของแผ่นกันดังนี้ ค่า $BR = 0.02 - 0.1$ ค่า $PR = 0.4 - 1.5$ และพิจารณาที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 3,000 ถึง 20,000 ผลการทดลองพบว่าแผ่นกันแบบสามเหลี่ยมลูกคลื่นทำให้เกิดการไหลวนซึ่งจะทำให้ไปทำลายชั้นขอบเขตของความร้อน ส่งผลให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ในทางเดียวกันหากเพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ และ BR ก็ส่งผลให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และในขณะที่ลดค่า PR จะทำให้เกิดการไหลวนมากขึ้นนั้นจะส่งผลให้ความหนาของชั้นขอบเขตของความร้อนน้อยลงด้วยเช่นกัน หากนำท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกันแบบสามเหลี่ยมลูกคลื่นมาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าจะเห็นว่าท่อสี่เหลี่ยมติดแผ่นกันให้ค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน และค่าเลขนัสเซิลท์สูงกว่าถึง 5.8 - 304% และ 13.8 - 171% ตามลำดับ สำหรับการทดลองนี้สรุปได้ว่าแผ่นกันที่มีค่า $BR = 0.07$ และ $PR = 0.5$ ให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 2.620 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 3,000 นอกจากนี้ผู้ศึกษายังได้ทดลองและนำเสนอโมเดลความปั่นป่วนว่า RNG $k-\epsilon$ ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วนอื่นๆ

Tamna et al. [5] ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใน Solar heater channel ที่ติดตั้งด้วยแผ่นกันตัววี (BVG) ที่เรียงตัวกันแบบ 3 แบบ คือ 1. ติดตั้งด้านเดียว (single) 2. เรียงตัวแบบแนวเดียวกัน (in-line) 3. เรียงตัวแบบเยื้องกัน (staggered) ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนค่า PR ของแผ่นกัน เท่ากับ 0.5, 1, 2 ซึ่งพิจารณาที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,000 ถึง 21,000 และกำหนดให้แผ่นกันทำมุมกับกระแสการไหลเท่ากับ 45° ค่า $BR = 0.25$ ทางทีมงานผู้ศึกษาได้ผลการทดลองพบว่าแผ่นกันตัววีที่เรียงตัวแบบแนวเดียวกัน ทำให้เกิดการไหลวนของอากาศมากกว่าแผ่นกันอีกสองแบบ นั้นจะส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดด้วยเช่นกัน สำหรับแผ่นกันที่ให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 1.830 คือแผ่นกันตัววีเรียงตัวแบบแนวเดียวกัน ที่ค่า $PR = 0.5$ และค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4,000 นอกจากค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดแล้วยังให้ค่าสัดส่วนความดันลด f/f_0 และ Nu/Nu_0 มากที่สุดด้วยเช่นกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.960 และ 7.530 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเลขเรย์โนลด์จะพบว่าเมื่อมีค่ามากจะส่งผลให้มีค่า Nu/Nu_0 มีค่าน้อยลง ดังนั้นหากต้องการประหยัดพลังงานจึงควรพิจารณาใช้ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ที่มีค่าน้อย ในการทดลองที่ทีมงานผู้ศึกษาใช้การทดลองด้วยชุดการทดลองจริง และกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยโมเดลความปั่นป่วน RNG $k-\epsilon$ และเมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าผลการทดลองทั้ง 2 แบบให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความคาดเคลื่อนของค่าเลขนัสเซิลท์ และค่าตัวประกอบแรงเสียดทานเท่ากับ $\pm 7\%$ และ $\pm 8\%$ ตามลำดับ

Promvong et al. [6] ทำการทดลองด้วยชุดทดลองจริงเพื่อพัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมด้วยการติดตั้งชุดแผ่นกันที่ทำให้เกิดการไหลวนเข้าไปในท่อสี่เหลี่ยม ชนิดของชุดแผ่นกันแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้ 1. แผ่นกันแบบใบพัด 2. แผ่นกันแบบใบพัดติดตั้งร่วมกับครีบบนปีกรูปสี่เหลี่ยมที่ติด 2 ฟัน 3. แผ่นกันแบบใบพัดติดตั้งร่วมกับครีบบนปีกรูปเอกซารันเป็นเอกซารันที่สวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี่เหลี่ยมที่ติด 4 ผืน โดยที่ทีมงานผู้ศึกษาได้ตั้งสมมติฐานว่าหากนำแผ่นกันทั้ง 2 ชนิดมาติดตั้งร่วมกัน จะส่งผลให้มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น การทดลองครั้งนี้พิจารณาที่ค่าเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 2,000 ถึง 30,000 ไบปิดมีค่า Twist ratio (Y) เท่ากับ 4 และ 5 ครีบแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมมีค่า $BR = 0.1, 0.15, 0.2$ และมีค่า $PR = 2, 2.5, 4$, และ 5 โดยกำหนดให้มีมุมที่กระทำต่อกระแสการไหลมีค่าเท่ากับ 30° ทีมงานผู้ศึกษาได้นำเสนอว่าการติดตั้งแผ่นกันแบบร่วมดังกล่าวส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของอากาศอย่างมีนัย ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันลดด้วยเช่นกัน สำหรับผลกระทบอันเนื่องมาจากค่า BR แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันลดมากขึ้นด้วย ในทางกลับกันหากมีค่า PR มากขึ้นจะให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันข้าม ในการทดลองครั้งนี้พบว่าท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกันแบบไบปิดติดตั้งร่วมกับครีบแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่ติด 4 ผืน ที่มีค่า $BR = 0.2, PR = 2$ และ $Y = 4$ ให้ค่า Nu และ f มากที่สุด แต่แผ่นกันที่มีค่า $BR = 0.1$ ให้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 1.620 ซึ่งมีค่ามากกว่า ท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งเฉพาะไบปิดอยู่ประมาณ 17% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกันแบบร่วมมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่า แบบที่ติดตั้งเฉพาะไบปิดเพียงอย่างเดียว

Wang et al. [7] ทำการทดลองด้วยกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข ในการพัฒนาและศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ของแผ่นกันสี่เหลี่ยมแบบแยกส่วนทำมุม 45° กับกระแสการไหล ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลของอากาศ ในท่อสี่เหลี่ยมแบบวงกลับ ด้วยค่า Aspect ratio = 2:1 โดยทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ดังนี้ 1. ระยะห่างของแผ่นกันทั้งสองตามความยาว 2. ระยะห่างของแผ่นกันทั้งสองตามความกว้าง 3. มุมของแผ่นกันภายใน (β) และกำหนดให้มีค่า $BR = 0.1$ มีค่า $PR = 10$ พิจารณาค่าเลขเรย์โนลด์ที่ 10,000 ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Shear Stress Transport ($k - \omega$ SST) ผลการทดลองพบว่าเมื่อแผ่นกันมีระยะห่างตามความยาว และความกว้างน้อยลงจะส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อมีระยะห่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อมุมของแผ่นกันมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อน และค่าการสูญเสียแรงเสียดทานอย่างเห็นได้ชัด สำหรับกรณีที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ แผ่นกันที่มีมุมภายใน (β) เท่ากับ 60° หรือ 70° และสำหรับกรณีที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือ แผ่นกันที่มีระยะห่างตามความยาวเท่ากับ 0.2 และมุมภายในเท่ากับ 45° โดยมีค่าเท่ากับ 1.530 ในการศึกษาครั้งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างของแผ่นกันทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความดันลดน้อยลง แต่ในทางกลับกันจะส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยลงด้วยเช่นกัน

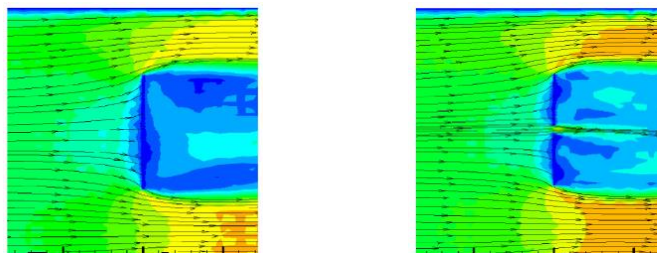
Li et al. [8] ทำการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมและสมการของพารามิเตอร์ ของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกันตัววีหลายรูปแบบ และทำการตรวจสอบความแม่นยำของโมเดลความปั่นป่วนแบบ Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, Realizable $k-\epsilon$ และ SST $k-\omega$ โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงของ Promvongse ซึ่งทีมงานผู้ศึกษาได้นำเสนอให้เห็นว่าโมเดลความปั่นป่วนแบบ Standard $k-\epsilon$ ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากที่สุดจึงนำมาใช้กับการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้เปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของแผ่นกันแบบตัววีดังนี้ 1. มุมของแผ่นกันตัววีที่กระทำต่อการไหลเท่ากับ $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 2. ค่า BR ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.3 และ 3. ค่า $PR = 2, 3, 4$ ในการหาสมการเพื่อหาผลเฉลยของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของพารามิเตอร์ทั้งสามสามารถหาได้โดย Genetic algorithm (GA) ซึ่งสมการที่หาได้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta \left(\alpha, Pr, \frac{e}{H} \right) = C + C_1 + C_2 Pr + C_3 \left(\frac{e}{H} \right) + C_4 \alpha^2 + C_5 Pr^2 + C_6 \left(\frac{e}{H} \right)^2 + C_7 \alpha Pr + C_8 \alpha \left(\frac{e}{H} \right) + C_9 Pr \left(\frac{e}{H} \right) \quad (2.1)$$

ค่าคงที่ C ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ สามารถดูได้จากตารางของบทความนี้ [8] ทีมงานผู้ศึกษานำเสนอว่าสมการนี้มีความแม่นยำต่อผลเฉลยที่ได้จากกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% ผลกระทบจากการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเรียบ อันเนื่องมาจากการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีมีผลกระทบให้เกิดการไหลวน และไหลย้อนกลับ (secondary flow) ที่เป็นสาเหตุให้มีการผสมตัวของของไหล สำหรับผลกระทบเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ามุมของแผ่นกั้นตัววีพบว่าที่มุม 45° ให้ค่าเลขนัสเซิลท์สูงที่สุดและยังให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยที่สุดอีกด้วย ดังนั้นจึงมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 1.735 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 12,000 สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเมื่อแผ่นกั้นมีค่ามุมที่น้อยลงจะส่งผลให้อากาศเมื่อไหลผ่านแผ่นกั้นจะมีทิศทางวิ่งเข้าหากันในพื้นที่ส่วนกลางของท่อ และทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมากซึ่งสามารถดูได้จากการกระจายอุณหภูมิของผนังส่วนกลางที่มีค่าต่ำที่สุด เมื่อลองเปรียบเทียบกับค่า Pitch ratio ทั้งสามค่าพบว่าแผ่นกั้นที่มีค่า $PR = 2$ ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด ซึ่งผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ว่า เมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นที่มี $PR = 2$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอีก 2 ค่านั้นจะส่งผลให้อากาศไปทำลายชั้นขอบเขตของความร้อนและเกิดการไหลกลับได้มากกว่าจึงให้ค่าความดันลดที่สูงที่สุดนั่นเอง

Han et al. [9] ออกุประสงค์สร้างการไหลวน หรือแผ่นกั้นนั้นถูกนำมาทดลองและศึกษากันอย่างแพร่หลายซึ่งสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และด้วยแนวคิดของผู้ศึกษาโดยนำแผ่นกั้นรูปสี่เหลี่ยมมาเจาะรูจะสามารถลดค่าความดันลดได้ ดังนั้นทางทีมงานผู้ศึกษาจึงทำการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนด้วยกระบวนการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นแบบสี่เหลี่ยมเจาะรูเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นแบบสี่เหลี่ยมธรรมดา โดยพิจารณาค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4,281 ถึง 10,703 เปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะตั้งแต่ 1 ถึง 6 มิลลิเมตร ระยะจุดศูนย์กลางของรูเจาะถึงขอบล่างของแผ่นกั้นตั้งแต่ 1.5 ถึง 4.5 และระยะจุดศูนย์กลางของรูเจาะถึงขอบข้างของแผ่นกั้นตั้งแต่ 1.5 ถึง 23.5 มิลลิเมตร ผลทดลองแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าแผ่นกั้นที่เจาะรูจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าแผ่นกั้นที่ไม่ได้เจาะรูอยู่ประมาณ 3.05% ที่นำเสนอด้วยค่า Colburn factor (j) แต่ให้ค่าการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยกว่าถึง 30.27% ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,703 เนื่องมาจากพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นที่เจาะรูจะทำให้เกิด Punch jet ที่จะไปดันอากาศที่ไหลกลับ และอากาศที่อยู่ด้านหลังแผ่นกั้นให้ไหลง่ายขึ้นจึงส่งผลให้มีค่าการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยลงนั่นเอง นอกจากนี้ยังทำให้มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นอีกด้วย



a) VGs without a hole

b) VGs with a hole

รูปที่ 2.1 แสดงทิศทาง และพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแผ่นกั้นรูปสี่เหลี่ยมแบบเจาะรูและไม่ได้เจาะรู [9]

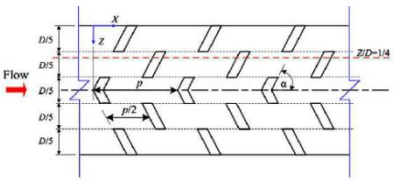


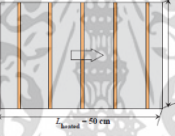
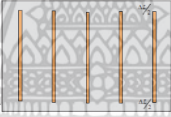


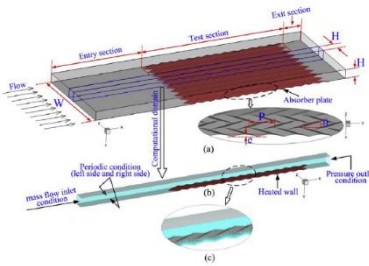
สำหรับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระยะรูเจาะทั้งแนวระดับและแนวตั้ง ต่อค่าการถ่ายเทความร้อนนั้น มีผลกระทบน้อยมาก แต่ในทางกลับกันเมื่อรูเจาะมีตำแหน่งสูงขึ้นในแนวตั้งจะทำให้มีการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยลงแบบคงที่ ดังนั้นแผ่นกั้นที่มีรูเจาะอยู่สูงที่สุดเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด

Promthaisong et al. [10] ทำการทดลองเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อน และพฤติกรรม การไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแยกส่วน (Broken V-ribs, B-VR) ด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข โดยใช้โมเดลความปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$ และพิจารณาที่ค่าเรย์โนลด์ตั้งแต่ 3,000 ถึง 20,000 การติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วนจะติดกับแผ่นที่วางตัววีแยกส่วนกับท่อสี่เหลี่ยมและติดตั้งทั้งสองด้าน ในการทดลองนั้นจะเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เฉพาะค่า Corner ratio = 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 และให้ค่าตั้งนี้คงที่ ค่า PR และค่า BR เท่ากับ 1.0 และ 0.15 ตามลำดับ ทีมงานผู้ศึกษาได้นำเสนอผลการทดลองว่าท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วน (B-VRs) สามารถช่วยทำให้เกิดการไหลวนตามแนวของท่อสี่เหลี่ยมซึ่งการไหลวนนี้ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น ผลกระทบจากการเพิ่มค่า Corner ratio ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนน้อยลง สำหรับการทดลองครั้งนี้สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากถึง 346% - 539% และในทางเดียวกันจะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานมากขึ้นถึง 28.03 - 37.89 เท่า เมื่อเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกั้น กรณีที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือที่ค่า Corner ratio เท่ากับ 0 ซึ่งมีค่ามากกว่าท่อสี่เหลี่ยมแบบเรียบเท่ากับ 1.6 เท่า

จากการศึกษาและรวบรวมบทความที่เกี่ยวข้องกับท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า การนำแผ่นกั้นหรือที่เรียกว่า Vertex generator (VGs) สามารถช่วยทำให้เกิดการไหลวนของอากาศเมื่อไหลผ่านแผ่นกั้นนั้นๆตามแนวยาว และการไหลวนของอากาศในทิศตั้งฉากกับกระแสการไหลหรือที่เรียกว่า Secondary flow ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้สามารถไปทำลายชั้นขอบเขตของความร้อนที่ผนังได้อย่างมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังไปสู่อากาศ ดังนั้นลักษณะพิเศษของแผ่นกั้นแต่ละชนิดสามารถทำให้เกิดการไหลวนดังกล่าวที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ในการติดตั้งแผ่นกั้นเข้าไปในท่อสี่เหลี่ยมนั้นย่อมก่อให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน หรือความดันลงภายในท่อด้วย แต่อย่างไรก็ตามการจะพิจารณาว่าการติดตั้งแผ่นกั้นนั้นมีประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของการใส่พลังงานที่สูงขึ้นนั้น สามารถพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ทางผู้ศึกษาได้สรุปผลงานจากบทความข้างต้นทั้งหมดไว้ในตารางที่ 2.1

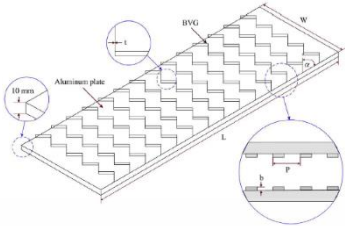
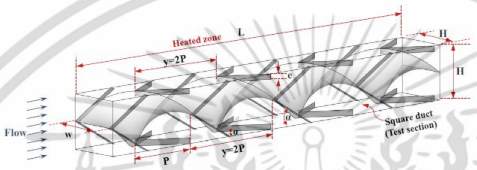
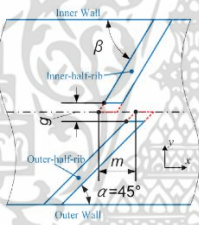
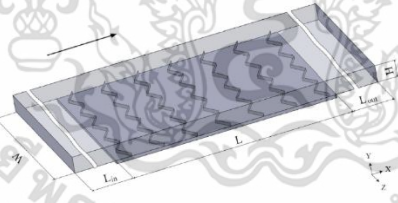
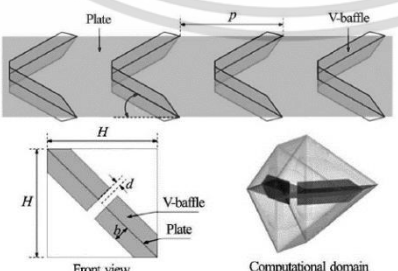
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบค่า TEF ของแบบจำลองจากงานวิจัยที่ผ่านมา

Researcher	VGs type	Range of Re	TEF
Promvong et al. [1]	V-shaped discrete rib 	10,000 – 25,000	1.13 – 1.81
Peng et al. [2]	1. 90° rib-bed plate  2. V-shaped rib-bed plate 	6,000 – 15,000	0.8 – 1.1 1.02 – 1.48
Liu et al. [3]	1. Traditional Continuous Ribs (TCR)  2. Two Sides Truncated Ribs (TSTR)  3. Three Sides Truncated Ribs (TSTR)  4. Five Sides Truncated Ribs (FSTR) 	20,000 – 80,000	- 1.56 – 2.03 1.53 – 2.16 1.48 – 2.13
Promthaisong and Eiamsa-ard [4]	Wavy-triangular ribs 	3,000 – 20,000	0.95 – 2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบค่า TEF ของแบบจำลองจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ต่อ)

Researcher	VGs type	Range of Re	TEF
Tamna et al. [5]	Multiple V-baffle	4,000 – 21,000	1.1 – 1.83
			
Promvong et al. [6]	Combined Twisted-tape and winglet	2,000 – 30,000	1.24 - 1.62
			
Wang et al. [7]	Variouly-shaped discrete ribs	10,000	1.22 - 1.53
			
Li et al [8]	Multi V-shaped baffles	8,000 – 20,000	1.16 - 1.735
			
Promthaisong et al. [10]	Discrete broken V-rib	3,000 – 20,000	1.16 – 1.60
			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากบทที่แล้วได้กล่าวและแสดงให้เห็นถึงการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากผลกระทบจากค่าพารามิเตอร์ของแผ่นกั้นลักษณะต่างๆ รวมไปถึงการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียแรงดันภายในท่อสี่เหลี่ยม เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ จึงใช้วิธีการแบ่งปริมาตรควบคุมย่อย จากนั้นนำปริมาตรควบคุมย่อยๆ นั้นมาอินทิเกรตและแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ให้เป็นสมการผลต่างและคำนวณหาผลเฉลยที่จุดต่อต่างๆ โดยใช้วิธีคำนวณซ้ำจนมีค่าเปลี่ยนแปลงเข้าใกล้ศูนย์มากๆ หรือการลู่เข้า (convergence) ซึ่งวิธีนี้เราเรียกว่า วิธีการหาผลเฉลยแบบไฟไนต์โวลุ่ม (Finite Volume Method)

ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอสมมติฐานของการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม และสมการควบคุมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด รวมไปถึงการนำสมการหลักของการไหลแบบปั่นป่วนที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรมเพื่อมาวิเคราะห์และหาผลเฉลยจากแบบจำลอง

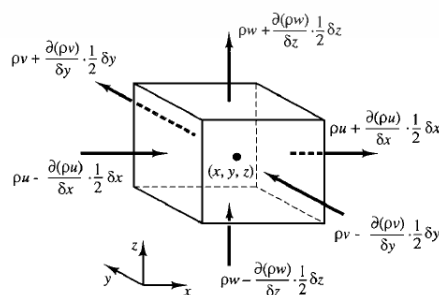
3.1 สมมติฐานของการไหลและสมการควบคุม

ในการทดลองเพื่อหาผลเฉลยด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขในครั้งนี้ได้กำหนดสมมติฐานของแบบจำลองสำหรับการไหล และการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมดังนี้

- (1) กำหนดให้เป็นการไหลและถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงที่ใน 3 มิติ
- (2) เป็นการไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา
- (3) เป็นลักษณะการไหลแบบต่อเนื่องและซ้ำเป็นช่วง (periodic flow)
- (4) อากาศไหลแบบเต็มท่อและปั่นป่วน
- (5) สมมติให้อากาศไม่สามารถกดอัดได้
- (6) สมมติให้ไม่มีแรงกระทำกับก้อนมวล (body force)
- (7) ไม่คิดผลกระทบจากการแพร่ความร้อน

3.1.1 สมการอนุรักษ์มวล

กฎการอนุรักษ์มวลหรือสมมูลมวลคือหลักการสังเกตแบบเอลิเมนต์หยุดนิ่งไปวิเคราะห์การไหลของมวล พบว่าการไหลของมวลสุทธิเข้าสู่เอลิเมนต์ มีค่าเท่ากับอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลภายในเอลิเมนต์



รูปที่ 3.1 การไหลของมวลผ่านเข้าออกเอลิเมนต์ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.1 สามารถหาอัตราการเพิ่มของมวลในเอลิเมนต์ของของไหลได้ดังนี้

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

และสามารถหาอัตราการไหลของมวลสุทธิได้จากสมดุลของมวลที่ผ่านเข้าออกดังนี้

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

จากหลักอนุรักษ์มวลที่กล่าวว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในเอลิเมนต์ (สมการที่ 3.1) เท่ากับ อัตราของมวลสุทธิที่ไหลผ่านเข้าสู่เอลิเมนต์ (สมการที่ 3.2) ซึ่งเขียนได้เป็นดังนี้

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

หรือเขียนได้ในรูปดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (3.4)$$

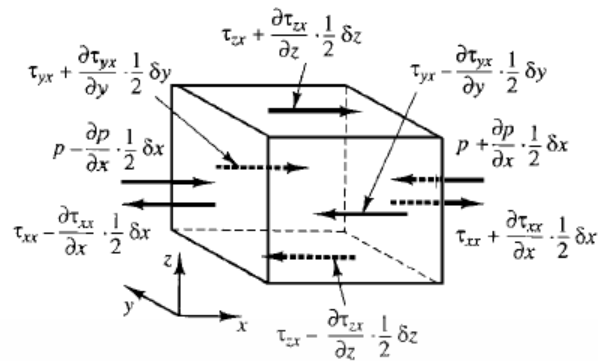
จากสมมติฐานการไหลตามข้อ 3.1 และเมื่อมีการไหลในทิศทางเฉพาะแกน X สามารถเขียนสมการที่ 3.3 ได้เป็นดังนี้

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \quad (3.5)$$

$$\text{เมื่อ } \nabla \equiv \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$$

3.1.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันกล่าวว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม เท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำกับอนุภาคนั้นๆ



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบความเค้นในทิศทาง X [17]

จากรูปที่ 3.2 หากพิจารณา โมเมนต์ในทิศทาง X โดยอาศัยกฎข้อที่สองของนิวตัน จะได้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ในทิศทาง X มีค่าเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำกับเอลิเมนต์ในทิศทาง X สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p+\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (3.6)$$

โดยที่ S_{Mx} คือผลจากแรงกระทำต่อก้อนมวล เช่น ผลของแรงโน้มถ่วง จากสมการที่ 3.6 นำมาพิจารณาบนสมมติฐานตามข้อ 3.1 และตามทฤษฎีของนาเวียร์-สโตกส์ จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$\nabla \cdot (\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nabla \cdot (\mu \nabla u) \quad (3.7)$$

3.1.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน

สมการพลังงานวิเคราะห์ที่ได้จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ กล่าวว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานเท่ากับผลรวมของอัตราความร้อนกับอัตราของงานสุทธิที่กระทำต่ออนุภาค โดยนำสมมติฐานตามข้อ 3.1 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

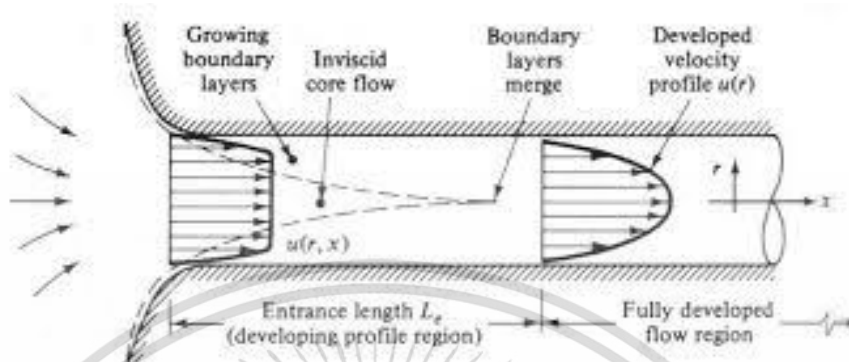
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) \quad (3.8)$$

โดยที่ Γ คือสัมประสิทธิ์การแพร่เชิงความร้อน และ $\Gamma = \mu/Pr$

3.1.4 การไหลแบบภายในและการถ่ายเทความร้อน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมของการไหลภายในท่อ หรือการไหลภายใต้แรงดัน (flow in pressure conduit) จากสมมติฐานในหัวข้อที่ 3.1 เราจะพิจารณาการไหลแบบคงที่ภายในท่อของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ และไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยจะถือว่าอุณหภูมิตลอดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉือน ซึ่งทำให้เกิดชั้นขอบเขตขึ้น การไหลในช่วงนี้จะมีแบ่งออกเป็น 2 ส่วนชัดเจน เราเรียกระยะทางที่ของไหล ไหลเข้าว่าเป็นช่วงทางเข้า (entrance length, L_e) หลังจากช่วงนี้การไหลจะเปลี่ยนเป็นแบบการไหลเต็มท่อ หรือช่วงปรับตัวสมบูรณ์ fully developed flow ซึ่งการไหลในช่วงนี้ความเร็วจะไม่เปลี่ยนแปลงกับระยะทางตามแนวการไหล x



รูปที่ 3.3 การไหลบริเวณปากทางเข้าของท่อในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน [18]

การคำนวณหาระยะที่เกิดการไหลช่วงปรับตัวสมบูรณ์ สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{L_e}{D} = 0.06 Re \quad ; \text{ไหลแบบราบเรียบ} \quad (3.11)$$

$$\frac{L_e}{D} = 4.4 Re^{1/6} \quad ; \text{ไหลแบบปั่นป่วน} \quad (3.12)$$

เมื่อ L_e คือ ระยะช่วงทางเข้า มีหน่วยเป็นเมตร

3.1.4.2 ตัวประกอบความเสียดทาน

การไหลภายในท่อนั้นการสูญเสียทั้งหมดจะเกิดขึ้นมาจากแรงเสียดทานระหว่างชั้นของของไหลที่อยู่ชิดกับผนังของท่อ หรือความหนืดโดยความดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน ΔP สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2} \quad (3.13)$$

จากสมการที่ 3.13 สามารถแปลงรูปสมการเพื่อหาค่าตัวประกอบ หรือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (friction factor) ได้ดังนี้

$$f = \frac{2(\frac{\Delta P}{L})D}{\rho u_0^2} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.3 สภาวะการถ่ายเทความร้อน

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

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ถ้า $Pr > 1$ การพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความร้อนจะขยายตัวเร็วกว่าชั้นขีดผิวเชิงความร้อน และกลับกัน ถ้า $Pr < 1$ และสำหรับอากาศการพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความร้อนและชั้นขีดผิวเชิงความร้อนจะใกล้เคียงกัน และจากการทดลองสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเงื่อนไขทั้งสองเกือบจะเป็นอิสระไม่ขึ้นกับ Pr ซึ่งอาจจะประมาณได้ว่า $L_{e,th}/D \approx 10$ ฟลักซ์ความร้อน q_s'' ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ หาได้จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \quad (3.15)$$

เมื่อ	q_s''	คือฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)
	T_s	คืออุณหภูมิพื้นผิว
	T_m	คืออุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัดของช่องทางไหล

ฟลักซ์ความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างผนังกับของไหล ซึ่ง h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาบางครั้งเรียกว่าการนำผ่านฟิล์ม เพราะความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการนำความร้อนในชั้นบางๆ ของของไหลที่บริเวณผิวของผนัง ค่า T_m จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการไหลนั่นคือ dT_m/dx จะไม่เป็นศูนย์ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ค่าของ T_m จะเพิ่มขึ้นไปตามระยะทางการไหล, x ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนจากผิวสู่ของไหล

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่มักจะพิจารณาในรูปของเลขนัสเซลท์ โดยค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (3.16)$$

สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนนั้น เราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความดันตกคร่อมที่สูงขึ้นภายในท่อ เพื่อที่จะได้มาซึ่งการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นด้วยนั่นเอง ซึ่งการเกิดความดันตกที่สูงขึ้นนั้น ในทางปฏิบัติจริงจำเป็นต้องใส่พลังงานเข้าไปเพื่อเอาชนะความดันตกนี้ แต่เราไม่สามารถรู้ได้เลยว่าจะต้องใส่พลังงานเท่าไรเพื่อให้ได้ความคุ้มค่ากับการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับ ดังนั้นจึงนำค่าตัวประกอบของการเพิ่มทางความร้อนหรือค่าสมรรถนะของการเพิ่มขึ้นทางความร้อน, TEF ซึ่งคำนวณได้จาก

$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0}\right) / \left(\frac{f}{f_0}\right)^{1/3} \quad (3.17)$$

โดยที่ Nu_0 และ f_0 คือค่าเลขนัสเซลท์ และตัวประกอบแรงเสียดทานของท่อเปล่า

ผิวเรียบซึ่งจะอธิบายสมการไว้ในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีไฟไนต์โวลุ่มสำหรับการพา และการแพร่

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขโดยใช้วิธีการของไฟไนต์โวลุ่ม โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการไฟไนต์โวลุ่มสำหรับการพาและการแพร่ เนื่องจากการไหลของของไหลผ่านเข้าออกปริมาตรควบคุมจะเกิดกระบวนการแพร่ และการพาควบคู่ไปด้วยกันเสมอ เช่น ในขณะที่เกิดการไหลของของไหลจาก จุดที่ 1 ไปยัง จุดที่ 2 อนุภาคของของไหลที่เคลื่อนตัวจะนำพาเอาคุณสมบัติของการไหลให้เคลื่อนย้ายไปด้วย ในขณะที่เดียวกันความแตกต่างของค่าคุณสมบัติระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะทำให้เกิดการแพร่ระหว่างจุดสองจุดดังกล่าว เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้นจึงแทนคุณสมบัติของการไหลเป็นอนุกรม อนุภาคของของไหลที่เคลื่อนตัวจะนำเอาอนุกรมจากจุดที่ 1 ให้เคลื่อนไปยังจุดที่ 2 เรียกการขนส่งในส่วนนี้ว่าการพาในขณะเดียวกันความแตกต่าง ของค่าอนุกรมระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะทำให้เกิดการแพร่ของอนุกรมไปมาระหว่างจุด เรียกการขนส่งส่วนนี้ว่าการแพร่

ในการขนส่งคุณสมบัติจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 สามารถเขียนสมการในรูปอนุพันธ์ได้เป็นดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\phi\vec{u}) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S_\phi \quad (3.18)$$

โดยที่ ϕ เป็น $1, u, v, w$ หรือ i (T หรือ h_0) หรือเมื่อกลับไปพิจารณาตามสมมติฐานตามข้อที่ 3.1 จะสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 3.18 นั้นเอง ซึ่งเราเรียกสมการนี้ว่า “สมการขนส่ง” และเป็นสมการหลักในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์โวลุ่ม

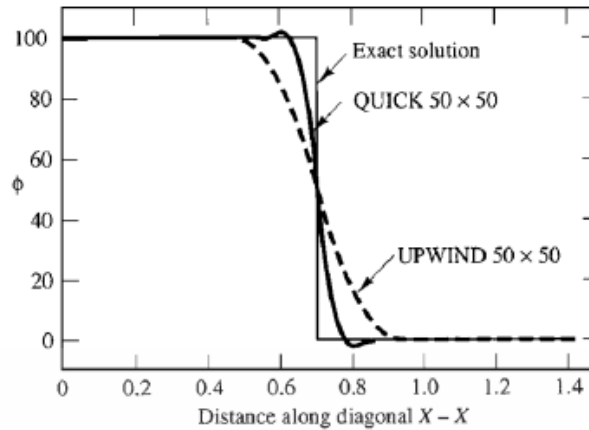
คุณสมบัติของแผนวิธีการประมาณค่า

ในการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งความแม่นยำและเสถียรภาพนั้นขึ้นอยู่กับการใช้วิธีประมาณค่าแบบใด จากการศึกษาพบว่าแผนวิธีการประมาณค่าที่ดีควรมีองค์ประกอบทั้ง 3 อย่าง ดังนี้ 1. การอนุรักษ์ 2. การจำกัดขอบเขต 3. การขนส่ง ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีแผนวิธีการประมาณค่าแบบ QUICK ดังที่จะได้อธิบายหลักการดังนี้

แผนวิธีผลต่างต้นกระแสกำลังสอง (แผนวิธี QUICK) เป็นแผนวิธีที่พัฒนาต่อมาจากแผนวิธีต้นลม และแผนวิธีผลต่างผสม เนื่องจากแผนวิธีทั้ง 2 นี้ เป็นแผนวิธีที่มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเพราะว่าเป็นการตัดทอนของอนุกรมเทเลอร์ที่อันดับ 1 เท่านั้น นอกจากนี้แผนวิธีผลต่างต้นลมก็มักประสบปัญหากับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแพร่ไม่จริงเกิดขึ้นเสมอ ความคลาดเคลื่อนเช่นนี้สามารถทำให้มีขนาดเล็กลงได้ถ้าใช้แผนวิธีอันดับสูงขึ้น ส่วนแผนวิธีผลต่างกลางซึ่งให้ความแม่นยำอันดับ 2 มีข้อด้อยคือไม่ค่อยมีเสถียรภาพในการคำนวณเพราะมีเงื่อนไขที่ไม่สอดคล้องกับหลักการขนส่ง เนื่องจากไม่สามารถกำกับทิศทางการไหลให้เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้แผนวิธีที่มีความถูกต้องมากขึ้นและสามารถกำกับทิศทางการไหลซึ่งจะทำให้การคำนวณมีเสถียรภาพและได้ผลเฉลยที่มีความสมจริง จึงได้มีผู้พัฒนาแผนวิธี QUICK ขึ้นมา

แผนวิธี QUICK เป็นแผนวิธีที่ใช้โปรไฟล์กำลังสองประมาณค่าฟังก์ชันที่ด้านของปริมาตรควบคุมการประมาณค่าใช้จุดต่อวงเล็บสองจุดและจุดต่อต้นกระแสอีกหนึ่งจุด จึงทำให้ฟังก์ชันที่ผ่านเข้าออกแต่ละด้านของปริมาตรควบคุมสมดุลกันตลอด แผนวิธี QUICK จึงสอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์ และให้ความแม่นยำสูงถึงอันดับ 3 สำหรับการคำนวณบนกริดที่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบระหว่างผลเฉลยวิธี QUICK และวิธีผลต่างต้นลมกับผลเฉลยแม่นยำ [17]

อย่างไรก็ตามตามวิธี QUICK มักจะประสบปัญหาการเกิด Overshoots / Undershoots ขึ้นดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 3.4 การใช้แผนวิธี QUICK กับกริดที่ขับซ้อนมักมีความยุ่งยาก และอาจไม่สามารถแก้หาผลเฉลยออกมาได้ เช่น เมื่อ ประยุกต์แก้แบบจำลอง $k - \varepsilon$ ของการไหลปั่นป่วน การเกิด Overshoots/Undershoots จะเป็นสาเหตุให้ค่า k มีค่าติดลบ ซึ่งจะทำให้การคำนวณลู่ออกได้ ซึ่งแบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วนจะถูกอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.3 วิธีไฟไนต์โวลุ่มสำหรับปฏิสัมพันธ์ความดัน-ความเร็ว

จากหัวข้อที่แล้วในการหาผลเฉลยของค่าสมบัติต่างๆ ที่ได้รับอิทธิพลจากการพาเป็นการสมมุติให้ค่าความเร็วของสนามการไหลมีค่าคงที่และเท่ากันทุกจุดบนโดเมน เพื่อทำให้ง่ายต่อการคำนวณหาตัวแปรอื่น แต่อย่างไรก็ตามในการสมมุติดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้กับสนามการไหลจริงที่มีค่าความเร็วแต่ละจุดต่อในสนามการไหลมีค่าไม่เท่ากัน และไม่สามารถทราบค่าได้แต่แรก ซึ่งการหาค่าความเร็วจะต้องเข้าสู่กระบวนการคำนวณไปพร้อมกับการหาค่าสมบัติอื่นๆ ในสนามการไหล ดังนั้นจึงมีผู้นำเสนอขั้นตอนในการหาผลเฉลยของค่าตัวแปรต่างๆ รวมทั้งความเร็วบนสนามการไหลดังนี้

SIMPLE ย่อมาจาก Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation เป็นขั้นตอนวิธีแก้ระบบสมการการไหล โดยหลักการของขั้นตอนวิธีนี้อาศัยการสมมุติค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่างๆ ในสนามการไหล จากนั้นค่าที่สมมุติจะได้รับการปรับแก้ให้ค่าให้ความถูกต้องขึ้นในระหว่างรอบการคำนวณซ้ำ โดยประยุกต์ใช้ SIMPLE กับกริดแบบคงตัวบนระบบพิกัดฉาก 2 มิติ ซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้

1. สมมุติค่าความเร็ว ความดัน และตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ให้กับสนามการไหล ค่าความเร็วดังกล่าวจะถูกใช้เป็นค่าเริ่มต้นและใช้คำนวณหาค่าฟังก์ชันการพา F ในพจน์สัมประสิทธิ์ของสมการโมเมนตัม (p^*, u^*, v^*, ϕ^*)

2. แก้สมการโมเมนตัมเพื่อให้ได้ค่าความเร็วในสนามการไหล จากสมการดังนี้

$$a_{i,j}u_{i,j}^* = \sum a_{nb}u_{nb}^* + (p_{i-1,j}^* - p_{i,j}^*)A_{i,j} + b_{i,j} \quad (3.19)$$

$$a_{i,j}v_{i,j}^* = \sum a_{nb}v_{nb}^* + (p_{i,j-1}^* - p_{i,j}^*)A_{i,j} + b_{i,j} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แก้สมการความดันค่าแก้ไขเพื่อให้ได้ค่าสำหรับนำไปแก้ไขความดัน และความเร็ว โดยความเร็วที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จะถูกนำไปคำนวณหาความไม่สมดุลมวลซึ่งจะถูกใช้เป็นพจน์ข้อสมการ ซึ่งสามารถเขียนสมการความดันได้ดังนี้

$$a_{I,J}p'_{I,J} = a_{I-1,J}p'_{I-1,J} + a_{I+1,J}p'_{I+1,J} + a_{I,J-1}p'_{I,J-1} + a_{I,J+1}p'_{I,J+1} + b'_{I,J} \quad (3.21)$$

หลังจากที่ได้ค่าความดันและความเร็วค่าแก้ไขจากสมการที่ 3.10, 3.11 และ 3.12 (u^*, v^*, p') แล้ว นำไปแทนค่าในชุดสมการเพื่อหาค่าความดันและความเร็วจริงต่อไป ชุดสมการสามารถเขียนได้ดังนี้

$$p_{I,J} = p_{I,J}^* + \alpha_p p'_{I,J} \quad (3.22)$$

$$u_{I,J} = u_{I,J}^* + d_{I,J}(p'_{I-1,J} - p'_{I,J}) \quad (3.23)$$

$$v_{I,J} = v_{I,J}^* + d_{I,J}(p'_{I,J-1} - p'_{I,J}) \quad (3.24)$$

4. แก้สมการส่งถ่ายสำหรับตัวแปรอื่น (ถ้ามี) เช่น สมการพลังงานในรูปตัวแปร อุณหภูมิ สมการสำหรับแบบจำลองความปั่นป่วน เป็นต้น

5. ตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบ

6. หากคำตอบยังไม่ลู่เข้าให้ทำการทวนวงผลเฉลยเพื่อสร้างเสถียรภาพให้กับการคำนวณ จากนั้นนำค่าแทนเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับคำนวณซ้ำ ในรอบถัดไป

7. การคำนวณจะดำเนินตามขั้นตอนที่ 1 – 6 จนกระทั่งได้ผลเฉลยที่ลู่เข้าสู่คำตอบตามเงื่อนไขที่ต้องการ

จากข้อที่ 2. ในการแก้สมการเพื่อหาค่าความเร็วในสนามการไหล ณ ครั้งๆหนึ่งสามารถแก้สมการ โดยการสมมติค่าความเร็ว ความดันและค่าคุณสมบัติอื่นๆ

3.4 การไหลแบบต่อเนื่องและซ้ำเป็นช่วง (periodic flow)

การไหลซ้ำเป็นช่วงนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดลักษณะของไหลและความร้อนในรูปแบบเดียวกันซ้ำเป็นช่วงๆ อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วในการวิเคราะห์และคำนวณเพื่อหาผลเฉลยของการไหลมักจะใช้วิธีการสมมุติว่าการไหลในแต่ละช่วงเกิดผลกระทบจากการไหลเหมือนกันทั้งเชิงความเร็วและความร้อน เพื่อเป็นการลดขนาดแบบจำลองและจำนวนของกริดเซลล์ ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ดังที่กล่าวมาสามารถจำแนกการไหลซ้ำเป็นช่วงได้ 2 แบบดังนี้

1) การไหลที่ไม่มีการเกิดความดันลดระหว่าง 2 ขอบเขต

2) การไหลที่มีการเกิดความดันลดระหว่าง 2 ขอบเขต

สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีการไหลซ้ำเป็นช่วงที่ไม่มีการเกิดความดันลดระหว่าง 2 ขอบเขต ตามทิศทางของของไหลและเป็นการไหลแบบเต็มท่อ ซึ่งในการกำหนดรูปทรงของแบบจำลองที่ซ้ำกันตามทิศทางของการไหลนั้น จะทำให้เกิดการไหลแบบเต็มท่อในรูปแบบซ้ำๆ เป็นวัฏจักร แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ทำให้เกิดการไหลเต็มท่อและลักษณะของการไหลซ้ำนั้นจำเป็นต้องมีระยะความยาวของทางเข้าที่เพียงพอด้วย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าเลขเรย์โนลด์และรูปแบบของแบบจำลอง สำหรับการไหลซ้ำเป็นช่วงมีข้อจำกัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

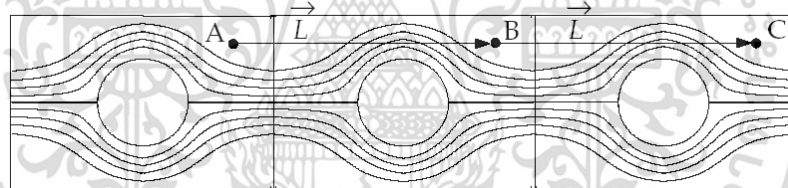
- 1) จะต้องเป็นการไหลของของไหลที่กีดกันไม่ได้
- 2) สามารถใช้กับสถานะคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ หากใช้กับสถานะไม่คงที่จำเป็นต้องกำหนดค่าตัวประกอบความดันไว้ด้วย
- 3) ต้องไม่มีการเพิ่มมวลเข้า/ขาออก หรือ แหล่งกำเนิดอื่นๆ
- 4) ไม่สามารถแยกช่วงของแบบจำลองได้
- 5) เมื่อกำหนดให้เป็นการไหลแบบซ้ำเป็นช่วงแล้ว จะสมมติให้อัตราการไหลบริเวณทางเข้าผ่านเพียงหน้าตัดเดียวแบบต่อเนื่อง

3.4.1 บทนิยามของความเร็วที่เกิดซ้ำเป็นช่วง

สมมติฐานของการไหลซ้ำเป็นช่วง มีความหมายว่าส่วนประกอบของความเร็วจะเกิดซ้ำเป็นช่วงด้วยตัวของมันเอง ซึ่งสามารถนิยามได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 u(\vec{r}) &= u(\vec{r} + \vec{L}) = u(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots \\
 v(\vec{r}) &= v(\vec{r} + \vec{L}) = v(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots \\
 w(\vec{r}) &= w(\vec{r} + \vec{L}) = w(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots
 \end{aligned}
 \tag{3.25}$$

เมื่อ \vec{r} คือเวกเตอร์บอกตำแหน่ง และค่า \vec{L} คือเวกเตอร์ของความยาวที่ซ้ำเป็นช่วงของโดเมนการไหลที่พิจารณา สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของรูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง [15]

จากรูปที่ 3.5 สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

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

3.4.2 บทนิยามของทิศทางการไหลที่เกิดซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการไหลแบบมีความหนืด ค่าของความดันจะไม่ซ้ำเป็นช่วงตามนิยามของความเร็วดังในสมการที่ (3.25) แต่ค่าของความดันตกคร่อมช่วงของการไหลหรือโมดูลจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถนิยามได้ดังนี้

$$\Delta p = p(\vec{r}) - p(\vec{r} + \vec{L}) = p(\vec{r} + \vec{L}) - p(\vec{r} + 2\vec{L}) = \dots
 \tag{3.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเกรเดียนต์ของความดันเฉพาะที่สามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนของเกรเดียนต์ที่ซ้ำเป็นช่วง, และส่วนของเกรเดียนต์ของการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้น, โดยแสดงได้ดังสมการ

$$\vec{\nabla} p(\vec{r}) = \beta \frac{\vec{L}}{|\vec{L}|} + \vec{\nabla} \tilde{p}(\vec{r}) \quad (3.27)$$

เมื่อค่า $\tilde{p}(\vec{r})$ คือความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วง (periodic pressure) และค่า $\beta|\vec{r}|$ คือ ส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน โดยที่ค่าความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วงคือผลต่างของความดันทางด้านซ้ายกับความดันที่ทางออกซึ่งเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น และส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดันเป็นผลของแรงที่กระทำต่อของไหลในสมการโมเมนตัม ซึ่งค่า β นั้นจะเป็นค่าที่ไม่ทราบมาก่อนและได้ค่ามาจากการคำนวณซ้ำจนกระทั่งการไหลมีค่าของอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้น

3.5 แบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วน

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหลของของไหลแบบปั่นป่วน นั้นเป็นการปรับปรุงสมการมาจากสมการของ นาเวียร์-สโตกส์ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนได้โดยตรง จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาสมการแบบจำลองความปั่นป่วนอย่างต่อเนื่อง และมีหลายรูปแบบ แต่ในที่นี้เราจะอธิบายเฉพาะแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\varepsilon$

แบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ แตกต่างจากแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน 2 ข้อคือ

- 1) แบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ มีการกำหนดทางเลือกสำหรับความหนืดปั่นป่วน
- 2) ปรับปรุงสมการเคลื่อนย้ายสำหรับการกระจายของ ε ซึ่งได้มาจากสมการผลเฉลยแม่นยำตรงสำหรับการเคลื่อนย้ายของการผันแปรความเร็วเฉลี่ย

คำว่า ‘Realizable’ หมายความว่าแบบจำลองที่เป็นไปตามข้อจำกัดบางข้อในทางคณิตศาสตร์บน Reynolds stresses ซึ่งสอดคล้องกับฟิสิกส์ของการไหลปั่นป่วน

เพื่อเข้าใจถึงหลักคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นพื้นฐานของแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ จะพิจารณาการรวมความสัมพันธ์ Boussinesq และนิยามของความหนืดไหลวนในสมการ (3.42) ต่อไปนี้สำหรับของไหลที่อัดตัวไม่ได้

$$\overline{u^2} = \frac{2}{3}k - 2\nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.28)$$

การใช้สมการ (3.28) สำหรับ $\nu_t \equiv \mu_t/\rho$ จะได้ผลลัพธ์ซึ่งอยู่ในรูปของ normal stress, $\overline{u^2}$, ซึ่งโดยความหมายแล้วจะทำให้ปริมาณบวกกลายเป็นปริมาณลบ นั่นคือ “non-realizable” เมื่อแรงตึงมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะให้การตอบสนอง

$$\frac{k}{\omega} \frac{\partial u}{\partial x} > \frac{1}{3c_\mu} \approx 3.7 \quad (3.29)$$

ในการทำงานเดียวกันก็ยิ่งแสดงให้เห็นว่าความไม่เท่ากันของ Schwarz สำหรับ shear stresses $\overline{u_\alpha u_\beta} \leq \overline{u_\alpha^2} \overline{u_\beta^2}$ มีผลบวกไม่เกิน α และ β และสามารถใช้ได้เมื่ออัตราความเครียดเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ วิธีการที่ง่ายที่สุดเพื่อให้สามารถเข้าใจได้ (ค่าบวกของ normal stresses และ Schwarz มีความไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากันของความเค้นเฉือน) คือการทำให้ตัวแปร C_μ ให้เป็นการไหลเฉื่อย (การเสีรูปร่างเฉื่อย) และความปั่นป่วน (k, ε) ความคิดของตัวแปร C_μ ถูกนำเสนอโดยการสร้างแบบจำลองจำนวนมากรวมทั้ง เรย์โนลด์ส์ และมีการพิสูจน์อย่างละเอียดจากการทดลอง ตัวอย่างเช่น พบว่า C_μ จะอยู่ที่ประมาณ 0.09 ในชั้นลอการิทึมของความสมดุลของชั้นบาวดาร์ และ 0.05 ในการไหลเฉือนซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน แบบจำลอง Realizable ได้แสดงให้เห็นการปรับปรุงที่สำคัญมากกว่าแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน เมื่อลักษณะการไหลรวมถึงความโค้งของกระแสการไหลที่รุนแรง การไหลวน และการหมุน เนื่องจากรูปแบบนี้ยังค่อนข้างใหม่ซึ่งยังไม่ชัดเจนในความถูกต้องเหมือนกรณีของแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ อย่างไรก็ตามการศึกษาเริ่มต้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Realizable ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง C_μ ทั้งหมด ด้วยการตรวจสอบการแยกกันของกระแสการไหลและการไหลที่ซับซ้อน

แบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบจำลอง $k-\varepsilon$ ดั้งเดิม โดยการนำเสนอรูปแบบต่อไปนี้

1. สูตรความหนืดหมุนวนแบบใหม่ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปร C_μ
2. สมการรูปแบบใหม่สำหรับการกระจาย (ε) ตามสมการไดนามิกของการผันผวนความเร็ว

เฉื่อย

หนึ่งในข้อจำกัดของแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ คือจะก่อให้เกิดความหนืดปั่นป่วนแบบ non-physical ในสถานการณ์เมื่อโดเมนการคำนวณมีทั้งการหมุนและการอยู่นิ่งของโซนการไหล เพราะนี่คือความจริงที่ว่าแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ จะรวมผลกระทบของการหมุนเฉื่อยในความหมายของความหนืดปั่นป่วนในสมการ (3.32) และ (3.34) ผลการหมุนนี้ได้ถูกตรวจสอบในระบบการเคลื่อนไหวในหนึ่งพิกัดและแสดงพฤติกรรมชัดเจนมากกว่าแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากธรรมชาติของการปรับเปลี่ยนนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ในระบบอ้างอิงหลายพิกัด

สมการการเคลื่อนย้ายของแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ สำหรับ k และ ε คือ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b + \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (3.30)$$

และ

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \\ + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (3.31)$$

เมื่อ

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

ในสมการเหล่านี้ G_k แสดงให้เห็นถึงการสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากการเฉื่อยความเร็วเฉื่อยที่คำนวณตามที่ได้อธิบายไว้ในการสร้างแบบจำลองการสร้างความปั่นป่วนในแบบจำลอง $k-\varepsilon$ ซึ่ง G_b คือพลังงานจลน์ปั่นป่วนเนื่องจากการลอยตัวซึ่งคำนวณตามที่ได้อธิบายไว้ในผลกระทบของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยตัวบนความปั่นป่วนในแบบจำลอง $k-\varepsilon$ ส่วน Y_m คือการเกี่ยวข้องของการขยายตัวผันผวนในการปั่นป่วนอัดตัวกับอัตราการกระจายซึ่งสามารถคำนวณได้ตามที่ได้อธิบายไว้ในผลกระทบของการอัดปั่นป่วนในแบบจำลอง $k-\varepsilon$ เมื่อ C_2 และ $C_{1\varepsilon}$ คือค่าคงที่ σ_k และ σ_ε คือเลขพราวน์ปั่นป่วนสำหรับ k และ ε ตามลำดับ S_k และ S_ε คือซอคเทอม

สมการ k ในสมการ (3.31) คือสมการเดียวกันในแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐานและแบบจำลอง RNG $k-\varepsilon$ ยกเว้นค่าคงที่ อย่างไรก็ตามรูปแบบของสมการ ε ค่อนข้างจะแตกต่างในแบบจำลองมาตรฐานเหล่านั้นและแบบจำลอง RNG พื้นฐานและ $k-\varepsilon$ หนึ่งในคุณสมบัติที่น่าสังเกตคือเทอมของการสร้างสมการ ε (เทอมที่สองทางด้านขวามือของสมการ 3.32) ไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างค่า k นั่นคือมันไม่มีเทอม G_k ดังในแบบจำลอง $k-\varepsilon$ อื่นๆ เป็นที่เชื่อกันว่ารูปแบบที่ดีกว่าในปัจจุบันแสดงให้เห็นถึงการถ่ายโอนพลังงานสเปกตรัม อีกหนึ่งของคุณลักษณะที่เป็นที่น่าพอใจคือเทอมของการทำลาย (เทอมที่สามด้านขวามือของสมการ 3.32) ซึ่งไม่ได้มีความผิดปกติใดๆ ที่ตัวหารไม่เคยหายไปถึงแม้ว่า k จะหายไปหรือมีค่าน้อยกว่าศูนย์ คุณลักษณะนี้แตกต่างกับแบบจำลอง $k-\varepsilon$ ดั้งเดิม ซึ่งมีความเป็นลักษณะเฉพาะตัวเนื่องจากมี k เป็นตัวหาร

การสร้างแบบจำลองความหนืดปั่นป่วน
แบบจำลอง $k-\varepsilon$ อื่นๆ ความหนืดไหลวนจะคำนวณจาก

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3.32)$$

ความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ และแบบจำลอง $k-\varepsilon$ มาตรฐานคือค่า C_μ จะไม่คงที่ ซึ่งคำนวณจาก

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{ku^*}{\varepsilon}} \quad (3.33)$$

เมื่อ

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij} S_{ij} \tilde{\Omega}_{ij} \tilde{\Omega}_{ij}} \quad (3.34)$$

และ

$$\begin{aligned} \tilde{\Omega}_{ij} &= \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \\ \Omega_{ij} &= \overline{\Omega_{ij}} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \end{aligned}$$

เมื่อ $\overline{\Omega_{ij}}$ คืออัตราการหมุนเฉลี่ยสำหรับการเคลื่อนที่ในพิกัดอ้างอิงกับความเร็วเชิงมุม ω_k โดยค่าคงที่ A_0 และ A_s กำหนดโดย

$$A_0 = 4.04, A_s = \sqrt{6} \cos \phi \quad (3.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6}W), W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{S^3}, \tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.36)$$

จะเห็นได้ว่า C_μ เป็นฟังก์ชันของความเครียดเฉื่อยและอัตราการหมุนซึ่งมีความเร็วเชิงมุมของระบบการหมุนและสนามความปั่นป่วน (k และ ε) และ C_μ ในสมการ (3.33) สามารถแสดงให้เห็นอีกครั้งว่ามีค่ามาตรฐานคือ 0.09 สำหรับเงื่อนไขขอบเขตในสมดุลชั้นบาวตารี

ค่าคงที่ C_2, σ_k และ σ_ε ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่ารูปแบบของการไหลนั้นมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าคงที่สำหรับแบบจำลองคือ

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_2 = 1.9, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.2$$

การสร้างความปั่นป่วนสำหรับแบบจำลอง $k-\varepsilon$

เทอม G_k แสดงถึงการสร้างพลังงานจลน์ปั่นป่วน เป็นรูปแบบเหมือนกันสำหรับมาตรฐาน RNG และแบบจำลอง Realizable $k-\varepsilon$ จากสมการแม่นยำสำหรับการเคลื่อนย้ายของ k เทอมนี้อาจจะถูกกำหนดเป็น

$$G_k = -\overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3.37)$$

เพื่อประเมิน G_k ในลักษณะที่สอดคล้องกับสมมติฐาน Boussinesq

$$G_k = \mu_t S^2 \quad (3.38)$$

เมื่อ S เป็นโมดูลัสของอัตราความเครียดเฉื่อย กำหนดโดย

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (3.39)$$

บทที่ 4

ขั้นตอนการวิจัยและแบบจำลอง

หลังจากที่ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยครีบริบบแบบต่างๆในบทที่ 2 และกำหนดสมมุติฐานและสมการที่เกี่ยวข้องในบทที่ 3 รวมไปถึงวิธีการหาผลเฉลยด้วยการคำนวณเชิงตัวเลขแล้วนั้น ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการนำเสนอแบบจำลองที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้และทำการตรวจสอบความแม่นยำในการหาผลเฉลยโดยการเปรียบเทียบจากทฤษฎีหลักและงานวิจัยอื่นๆ รวมไปถึงความละเอียดของแบบจำลองและจำนวนกริดเซลล์ที่ใช้ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

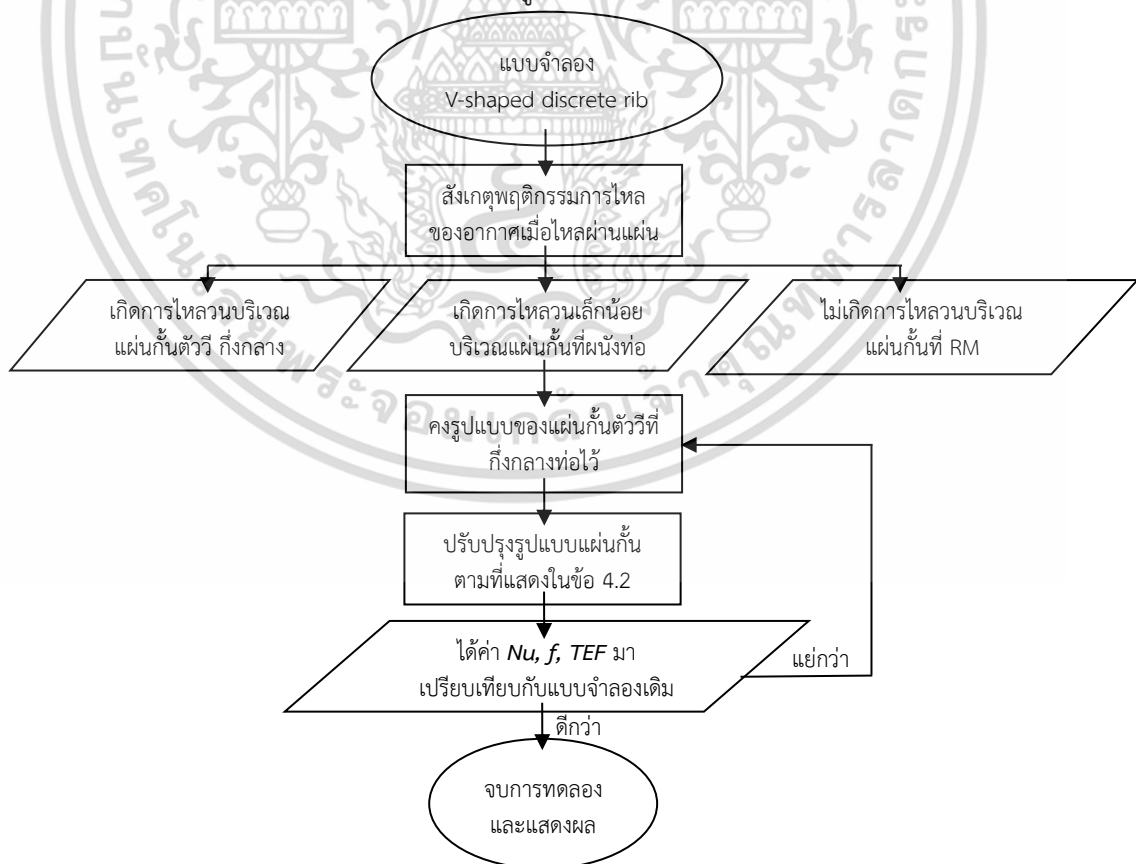
4.1 ขั้นตอนการวิจัย

4.1.1 กำหนดเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

4.1.2 สืบค้นข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1.3 เปรียบเทียบข้อได้เปรียบเสียเปรียบของแบบจำลองต่างๆ จากงานวิจัยท่านอื่น

4.1.4 นำแบบจำลองที่เหมาะสมมาปรับปรุงและพัฒนาต่อ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกแบบจำลองของ Promvong et al. [1] มาพัฒนาต่อ ด้วยหลักการปรับปรุงลักษณะแผ่นกั้นในตำแหน่งที่ไม่ทำให้เกิดการไหลวน โดยจะอธิบายเป็นแผนผัง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการทดลองและแนวคิดในการปรับปรุงแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลองของแต่ละแบบจำลองตามหลักทฤษฎีของการไหล และการถ่ายเทความร้อน

4.1.6 เปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละแบบจำลอง

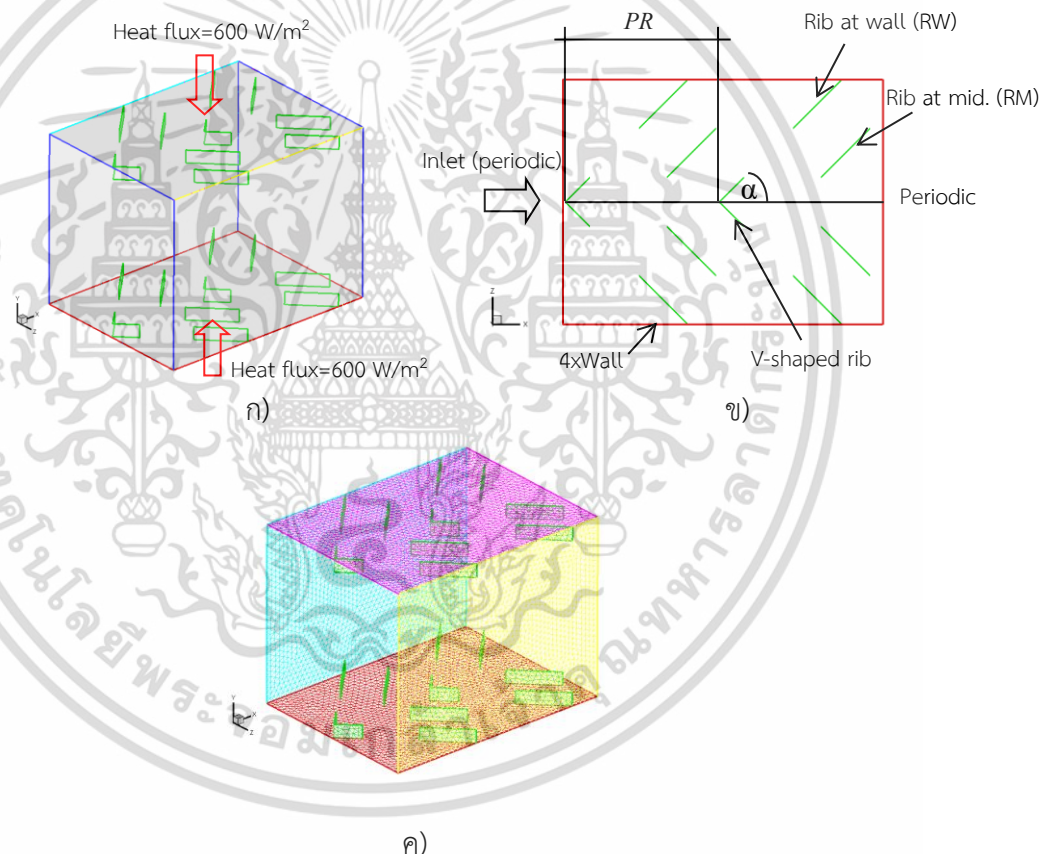
4.1.7 สรุปผลการทดลอง

4.1.8 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไป

4.2 แบบจำลองและโครงสร้างการไหล

4.2.1 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (VO)

แบบจำลองที่นำมาศึกษานี้เป็นการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีความสูง (H) เท่ากับ 0.04 เมตร และความสูงของแผ่นกั้นภายในท่อต่อความสูงท่อหรือ Blockage ratio (BR) เท่ากับ 0.05, 0.075 และ 0.10 โดยที่แผ่นกั้นตัววีแยกตัวทำมุมกับแนวท่อ (α) เท่ากับ 30, 45 และ 60 องศา ระยะ Pitch ratio (PR) เท่ากับ 0.625 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2



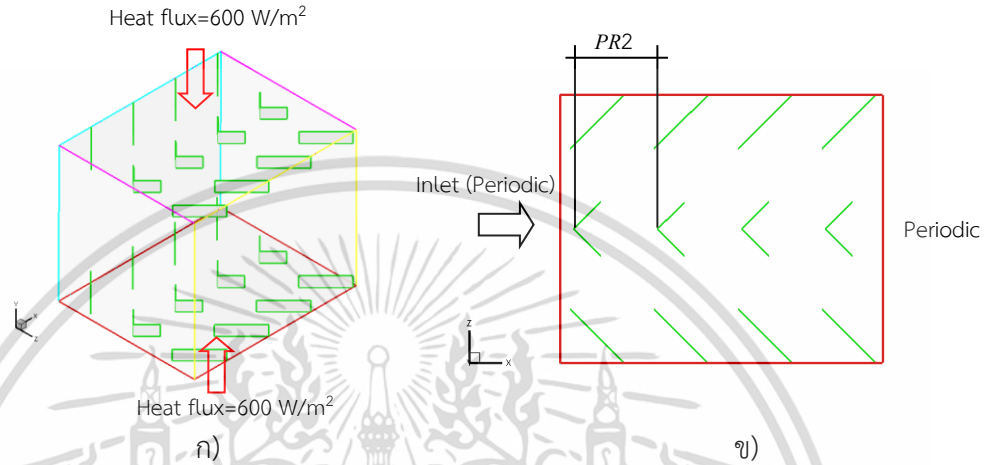
รูปที่ 4.2 ก) แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว
ข) แบบจำลองมุมมองบน ค) ลักษณะเมชของแบบจำลอง

หลังจากทดลองของแบบจำลองที่ 4.2.1 เราจะนำแบบจำลองนี้ไปพัฒนารูปแบบการวางตัวของแผ่นกั้นต่อซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อที่ 4.2.2 ถึง 4.2.9 เพื่อจะศึกษาพฤติกรรมกรรมการไหล และการถ่ายเทความร้อนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแยกตัววางตัวแนวเดียว (in-line, VI)

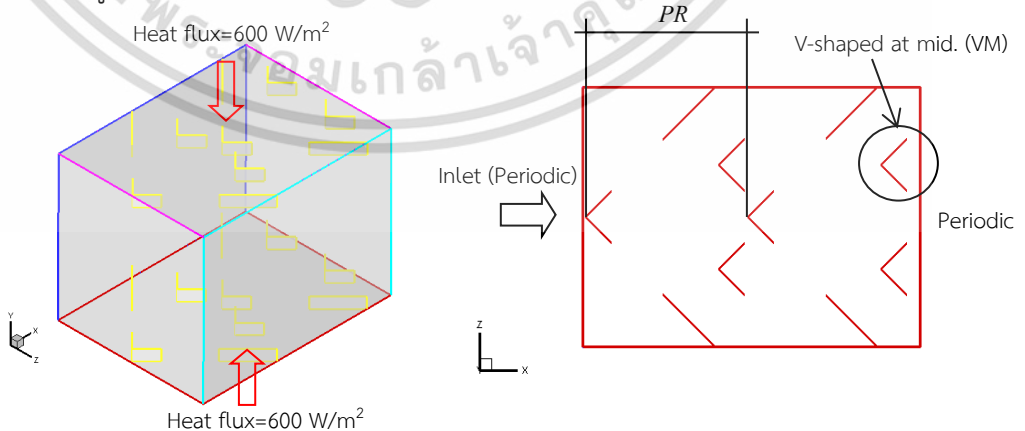
แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RM ออกจากแบบจำลองและกำหนดให้ $PR2 = 0.3125$ ($PR/2$) และจะทดลองโดยเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อหรือ $BR = 0.05, 0.075$ และ 0.10 และให้ $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ก) แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว
ข) แบบจำลองมุมมองบน

4.2.3 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้น RM มาหักลงให้เป็นรูปตัววี และจะทดลองโดยเปลี่ยนแปลงค่า $BR = 0.05, 0.075$ และ 0.10 และให้ $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° เนื่องจากผลกระทบเนื่องจากมุมที่กระทำต่อการไหลนั้นยังคงแสดงให้เห็นยังไม่ชัดเจนและจะทำการอธิบายในบทถัดไปถึงสาเหตุและพฤติกรรมของของไหลที่เกิดขึ้น แบบจำลองนี้สามารถดูได้ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.4

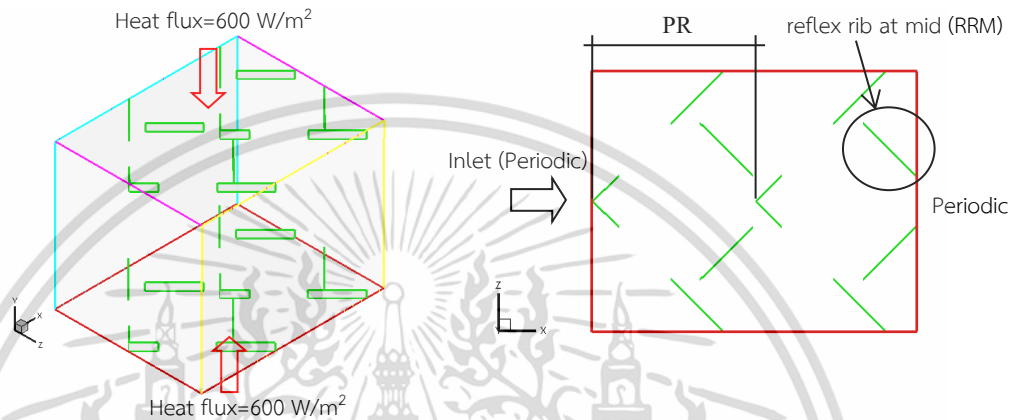


รูปที่ 4.4 แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM)

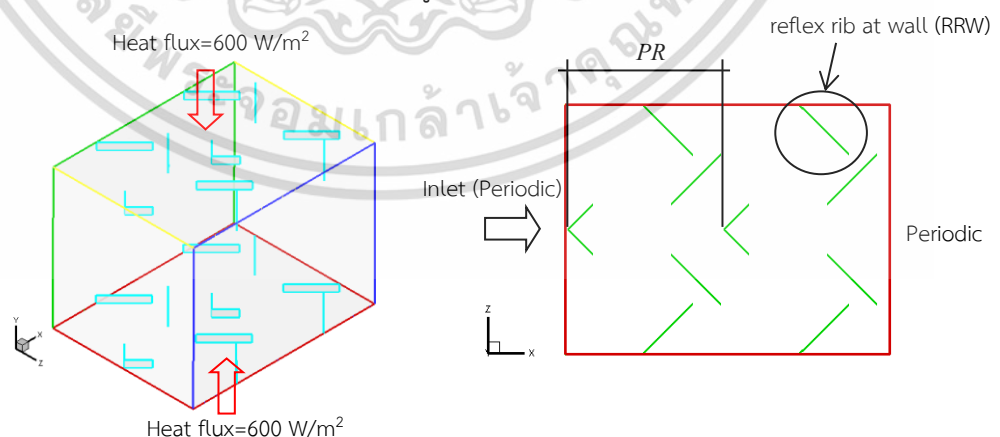
แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RM มาหมุนทำมุมตรงข้ามกับแผ่นเก่า หลังจากที่ได้ทำการทดลองของแบบจำลองที่ 4.1.1, 4.1.2 และ 4.1.3 แล้วพบว่าแผ่นกั้นที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากที่สุดคือ แผ่นกั้นที่มีค่า $BR = 0.05$ ดังนั้นในการปรับปรุงแบบจำลองในครั้งต่อไปจะกำหนดให้แบบจำลองมีค่า $BR = 0.05$ เท่านั้น แต่ยังคงเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM)

4.2.5 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RW มาหมุนทำมุมตรงข้ามกับแผ่นเก่า จะทำการทดลองโดยการกำหนดค่า $BR = 0.05$ และเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.6

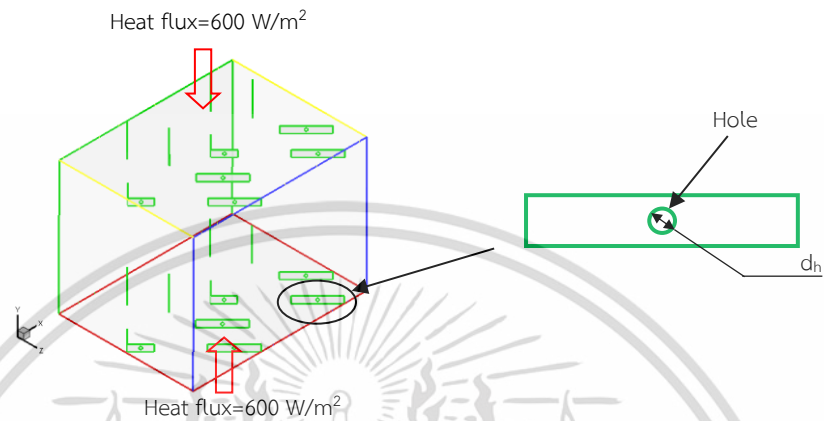


รูปที่ 4.6 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู (VH)

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการเจาะรูที่บริเวณกลางแผ่นกั้นทั้งหมดด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงท่อ (d_h/H) = 0.005, 0.0125 และ 0.025 และจะทำการทดลองโดยการกำหนดค่า $BR = 0.05$ และเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.7

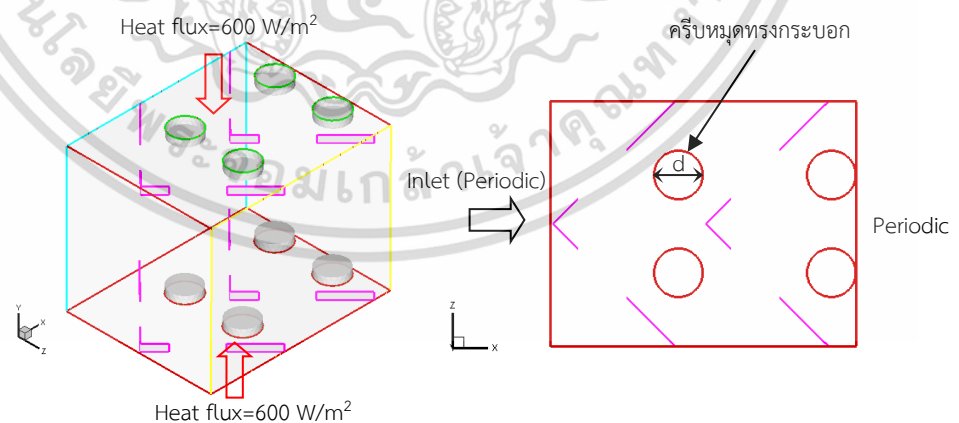


รูปที่ 4.7 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู

4.2.7 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบริบหมุดทรงกระบอก

ทรงกระบอก

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RM ออก และเพิ่มครีบริบหมุดทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.2 และจะทำการทดลองโดยการกำหนดค่า $BR = 0.05$ รวมถึงความสูงของของครีบริบหมุดทรงกระบอกด้วย และเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.8

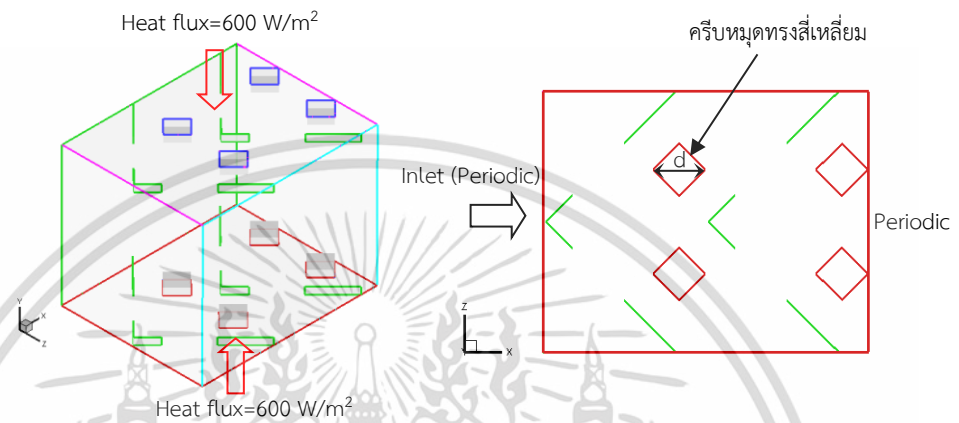


รูปที่ 4.8 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบริบหมุดทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบบุมทรงแท่งสี่เหลี่ยม

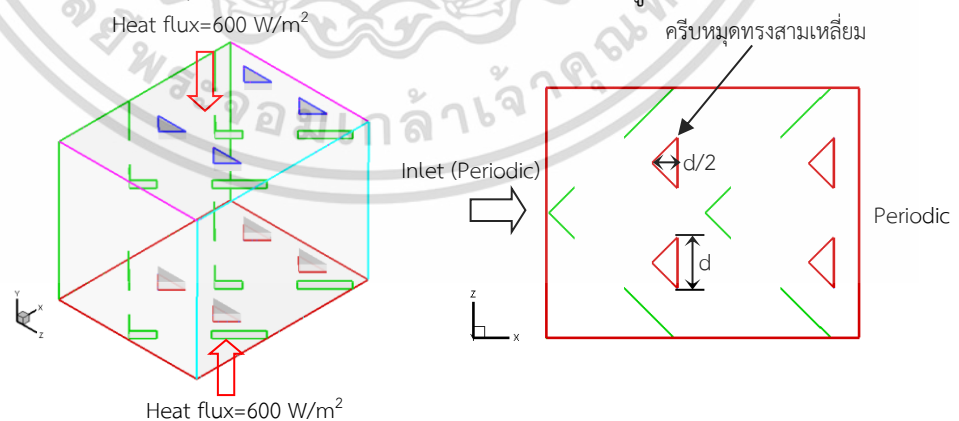
แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RM ออก และเพิ่มครีบบุมทรงแท่งสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.2 และจะทำการทดลองโดยการกำหนดค่า $BR = 0.05$ รวมถึงความสูงของของครีบบวมทรงแท่งสี่เหลี่ยมด้วย และเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบบุมทรงแท่งสี่เหลี่ยม

4.2.9 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบบวมทรงแท่งสามเหลี่ยม

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 4.2.1 มาปรับปรุงต่อโดยการนำแผ่นกั้นที่ RM ออก และเพิ่มครีบบวมทรงแท่งสามเหลี่ยมที่มีขนาดความยาวฐานต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.2 และจะทำการทดลองโดยการกำหนดค่า $BR = 0.05$ รวมถึงความสูงของของครีบบวมทรงแท่งสามเหลี่ยมด้วย และเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ดังแสดงแบบจำลองไว้ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบบวมทรงแท่งสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองตามหัวข้อที่ 4.2.1 ถึง 4.2.9 สามารถสรุปจำนวนการทดลองทั้งหมดได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปแบบจำลอง พารามิเตอร์ และจำนวนการทดลอง

แบบจำลองที่	พารามิเตอร์				จำนวนการทดลอง
	Blockage ratio (BR)	มุม (α)	Re	PR	
4.2.1	0.05, 0.075, 0.10	30, 45, 60	5000-20000	0.625	63
4.2.2	0.05, 0.075, 0.10	30, 45, 60	5000-20000	0.625	63
4.2.3	0.05, 0.075, 0.10	30, 45, 60	5000-20000	0.625	63
4.2.4	0.05	30, 45, 60	5000-20000	0.625	21
4.2.5	0.05	30, 45, 60	5000-20000	0.625	21
4.2.6	0.05 ($d_n/H=0.005, 0.0125, 0.025$)	30, 45, 60	5000-20000	0.625	63
4.2.7	0.05	30, 45, 60	5000-20000	0.625	21
4.2.8	0.05	30, 45, 60	5000-20000	0.625	21
4.2.9	0.05	30, 45, 60	5000-20000	0.625	21
			รวม		357

4.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

4.3.1 โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

ในงานวิจัยนี้จะใช้การสร้างอีลิเมนต์ด้วย Tet/Hybrid, TGrid type เมื่อทำการทดสอบการไหลผลเฉลยโดยเปรียบเทียบจำนวนกริด เท่ากับ 73,517 90,799 130,027 และ 205,821 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 10,000 $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ พบว่าได้ค่าเลขนี้สเชิลท์ และตัวประกอบแรงเสียดทานต่างกันไม่ถึง 1% ดังนั้นจึงเลือกใช้จำนวนกริดเพียง 130,027 เพื่อลดเวลาในการหาผลเฉลยค่าเลขนี้สเชิลท์ และตัวประกอบแรงเสียดทานของแต่ละชุดจำนวนกริดสามารถดูได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบความคาดเคลื่อนจากจำนวนกริดที่แตกต่าง

จำนวนกริด	Nu/Nu_0	Diff. (%)	ff_0	Diff. (%)
73,517	3.3615	2.043	4.9268	0.044
90,799	3.4301	1.091	4.9247	0.869
130,027	3.4676	0.627	4.9675	0.183
205,821	3.4893	-	4.9584	-

4.3.2 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียบ

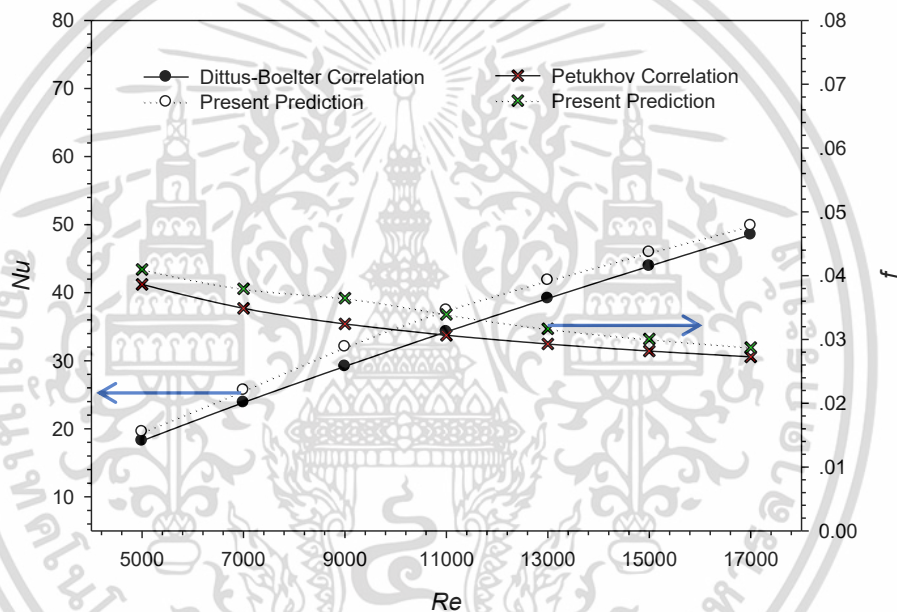
ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองนั้นสามารถทำได้โดยนำผลจากการหาคำตอบด้วยวิธีการกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลขมาเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณตามสมการความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Petukhov สำหรับค่าเลขนี้สเชิลท์ และค่าตัวประกอบแรงเสียดทานตามลำดับ โดยวิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบกันอย่างแพร่หลาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Promvongse et al. [6] ได้ทำการเปรียบเทียบ ระหว่างความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter, Gnielinski สำหรับค่านี้สเชิลท์ และความสัมพันธ์ของ Blasius, Petukhov สำหรับค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน เปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้วิธีการกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลขซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Petukhov ให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับแบบจำลองมากที่สุด สมการความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu_0 = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad ; \text{สำหรับการให้ความร้อน} \quad (4.1)$$

สมการความสัมพันธ์ของ Petukhov

$$f_0 = 0.316 Re^{-0.25} \quad ; 3,000 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Nu_0 และ f_0 สำหรับท่อเรียบ

จากรูปที่ 3 จะได้ว่าค่าความแตกต่างจากผลเฉลยแม่นยำตรงอยู่ในช่วง $\pm 10.87\%$ และ $\pm 11.2\%$ สำหรับผลเฉลยแม่นยำตรงของค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบแรงเสียดทานตามลำดับ ซึ่งสามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการอภิปราย

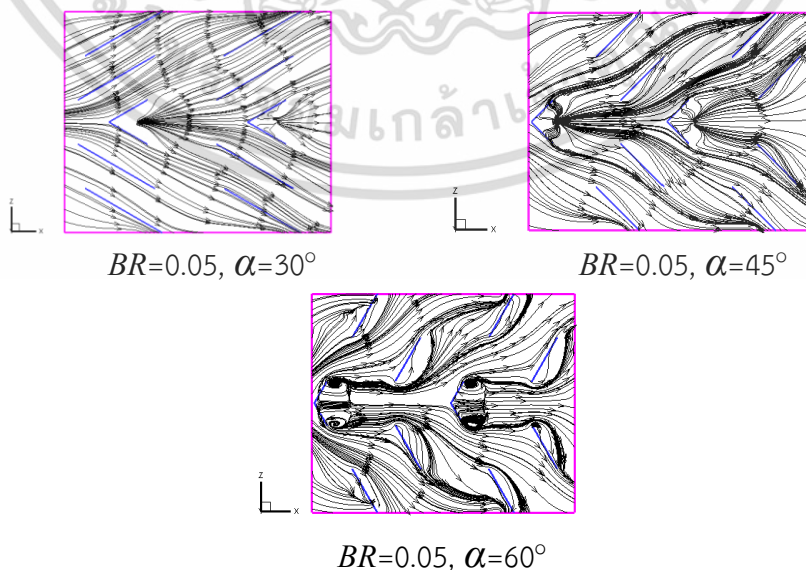
ในบทนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผลการทดลอง โดยจะทำการแบ่งตามแบบจำลองตามบทที่ 4 ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะกล่าวถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อไหลผ่านแผ่นกั้นหรือครีบลักษณะต่างๆ ที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากค่า blockage ratio (BR) ค่ามุมที่ปะทะการไหลของอากาศ (α) ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) รวมไปถึงการปรับเปลี่ยนการจัดวางแผ่นกั้นใหม่ โดยแสดงผลจากการศึกษาด้วยรูปภาพพฤติกรรมการไหลของแบบจำลองต่างๆ ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม เช่น การแสดงทิศทางการไหลในแนวแกนต่างๆ คอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิ และการกระจายตัวของค่าสเกลลาร์ เป็นต้น ซึ่งการแสดงผลในลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้สามารถอธิบายถึงการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้ง่ายขึ้น

ในการแสดงผลนั้นจำเป็นต้องมีค่าตัวเลขที่แสดงถึงความมากกว่า น้อยกว่าอย่างชัดเจนตั้งนั้นจากบทที่ 3 ที่ได้นำเสนอตัวแปรที่สำคัญในการแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนด้วยค่าสัดส่วนสเกลลาร์ (Nu/Nu_0) ตัวแปรที่แสดงถึงการสูญเสียแรงดันภายในท่อหรือความดันลดด้วยค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทาน (f/f_0) และตัวแปรที่แสดงถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยค่า TEF สุดท้ายจะเป็นการสรุปค่าดังกล่าวทั้ง 3 ของแต่ละแบบจำลองด้วยตารางสรุปผลในบทสุดท้าย

5.1 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (VO)

5.1.1 ผลกระทบจากการติดตั้งครีบลักษณะวีและพฤติกรรมการไหล

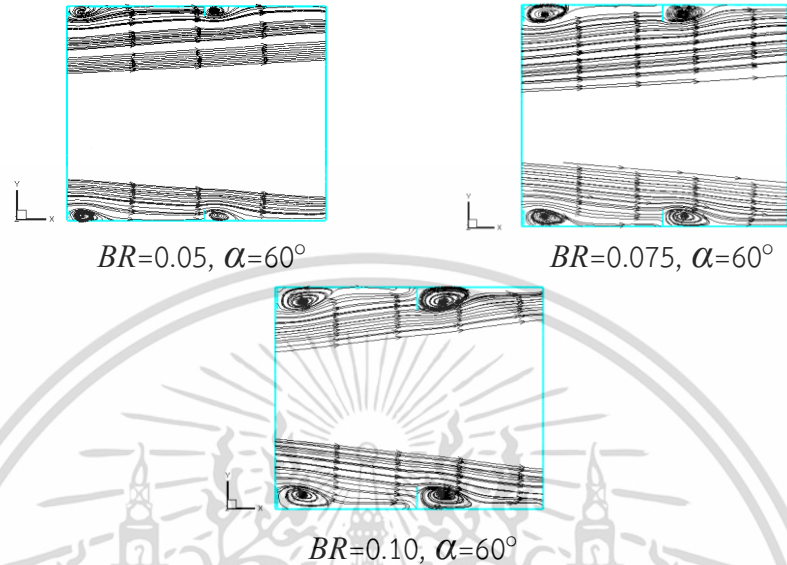
จากการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่า BR ค่ามุมที่ปะทะการไหลของอากาศ และค่าเลขเรย์โนลด์ ล้วนแล้วส่งผลต่อลักษณะการไหลของทั้งหมดซึ่งลักษณะการไหลที่เปลี่ยนไปนั้นส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันไปดังที่แสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีบริเวณกลางท่อจะทำให้เกิดการไหลวนกลับของอากาศ ในการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวจะส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลโดยตรงดังเช่น เมื่อค่า α มีค่าสูงขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดการไหลวนมากขึ้นที่บริเวณปลายของแผ่นกั้น นอกจากนี้ยังเป็นตัวที่ทำให้อากาศไหลเบนไปในทิศทางแกน Z มากขึ้นด้วย

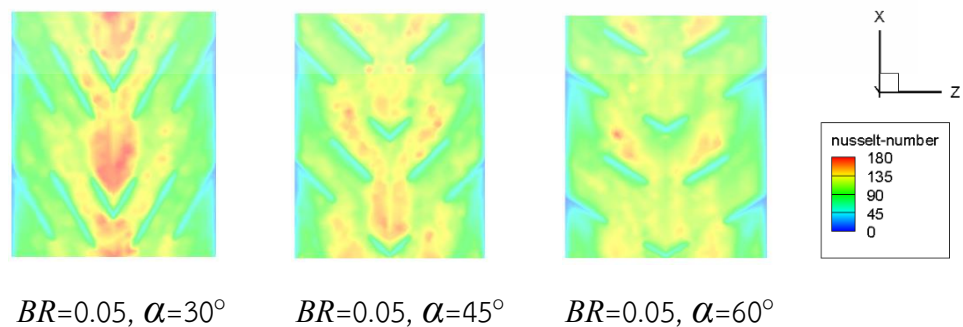


รูปที่ 5.2 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว หน้าตัด Y-X บริเวณกลางท่อ ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

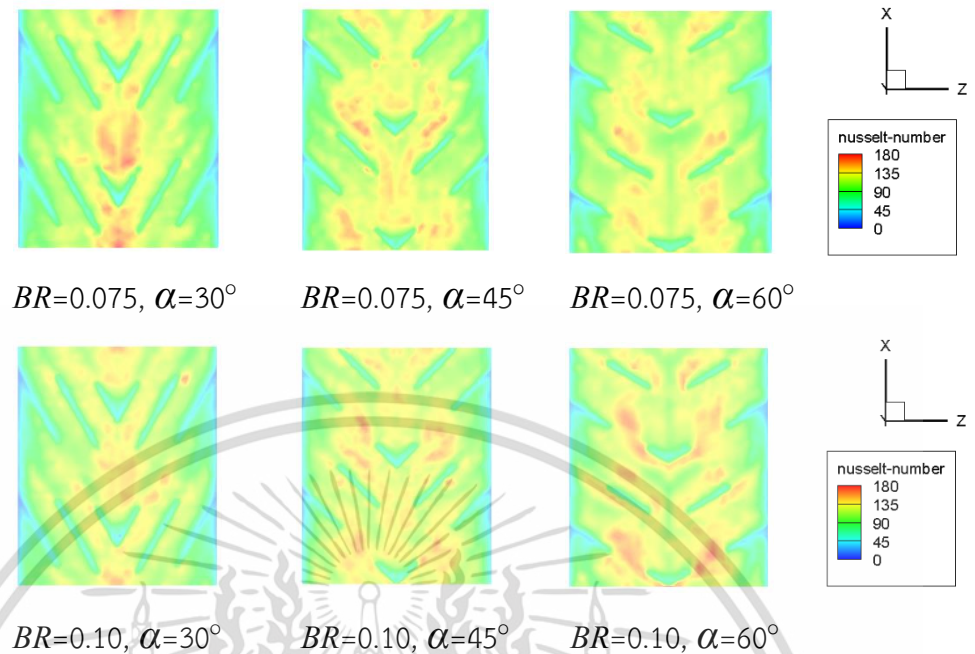
เมื่อค่า BR มีค่าสูงขึ้นจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าหลังแผ่นกั้นตัววีเกิดการไหลวนกลับมากขึ้นเมื่อค่า BR มีค่าสูงขึ้น

5.1.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน หรือการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถพิจารณาได้จากเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยของผนังทั้งสองด้าน (บน-ล่าง) หลังจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้ว รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าค่านัสเซิลท์ที่มีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น อันเนื่องมาจากการไหลของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้น จะมีความเร็วสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีค่านัสเซิลท์สูงขึ้นด้วย และลักษณะการไหลวนจะทำให้อากาศสามารถสัมผัสกับผิวท่อได้มากขึ้น

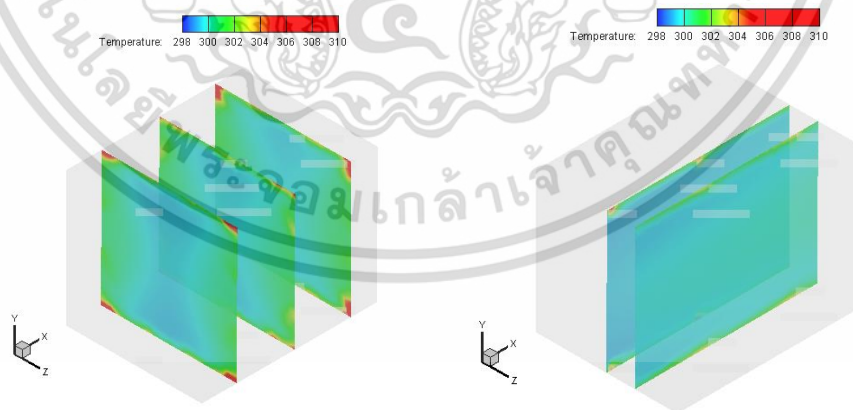


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเซลท์ของผนังที่ด้านกลางที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

ผลกระทบของค่านัสเซลท์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่า α จากรูปที่ 5.3 และ 5.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้มีการกระจายตัวของค่านัสเซลท์มากขึ้นด้วย จากการสังเกตจะเห็นว่าท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ ทำให้เกิดการไหลวนเฉพาะบริเวณกลางท่อจึงส่งผลให้มีค่านัสเซลท์สูงเฉพาะบริเวณนั้น และมีค่านัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าแผ่นกั้นที่มีมุม 60° แต่น้อยกว่า 45° เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า BR จะเห็นว่าเมื่อมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ได้ค่านัสเซลท์เฉลี่ยมากขึ้นด้วย ซึ่งจะแสดงค่าในรูปของกราฟต่อไป

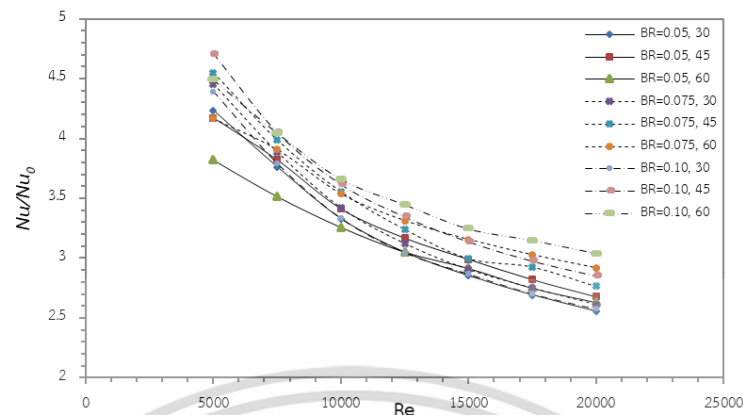


รูปที่ 5.4 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดแกน X และ Z

จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่ามีชั้นอุณหภูมิสูงอยู่ที่บริเวณมุมทางด้านหน้าของแผ่นกั้นของทั้งสี่มุมเนื่องจากความเร็วของอากาศที่บริเวณนั้นมีค่าน้อยมากจึงทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อย แต่เมื่อลองพิจารณาชั้นอุณหภูมิบริเวณมุมที่ถัดจากแผ่นกั้นระยะหนึ่งจะเห็นว่าชั้นของอุณหภูมินั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกทำลายไปด้วยการไหลของอากาศ และที่บริเวณใดมีการไหลแบบวนกลับก็จะส่งผลให้มีอุณหภูมิ ต่ำลงด้วยเช่นกัน

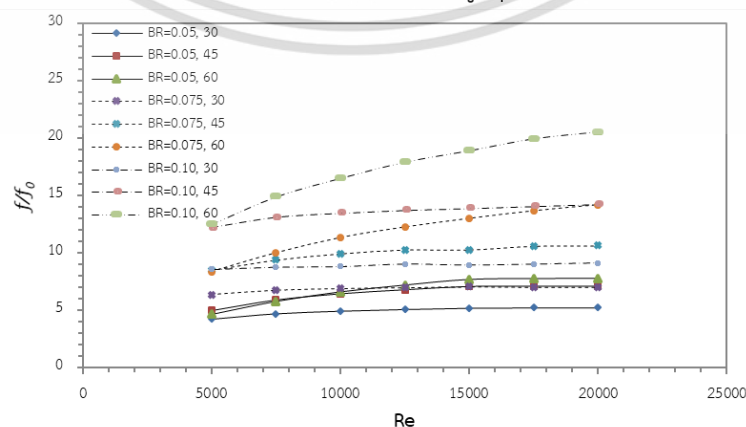


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของท่อติดแผ่นกั้นตัววิแยกตัว ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าเมื่อเราเพิ่มค่าเรย์โนลด์จะส่งผลให้ค่าสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ มีแนวโน้ม ที่ลดน้อยลง เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์จากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะ การไหล และค่า BR ที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นจะเห็นว่าท่อที่มีแผ่นกั้นทำมุม 60° และ $BR = 0.10$ ให้ค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 และท่อที่มีแผ่นกั้นทำมุม 30° และ $BR = 0.05$ ให้ค่าน้อยที่สุด แต่เนื่องจากเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหลจะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้น ของแต่ละแผ่นเปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงส่งผลให้ค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์ของท่อที่แผ่นกั้นทำมุม 30° บางช่วง ของค่าเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 45° และ 60°

5.1.3 การสูญเสียความดัน

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน หรือค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้น ถึงแม้ว่าเมื่อเพิ่มค่า BR และ α แล้วจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มากขึ้นก็ตาม แต่เราจะต้องสูญเสียค่าความดันในระบบไปอันเนื่องมาจากแผ่น กั้นที่ขวางการไหลของอากาศทำให้ความเร็วบริเวณแผ่นกั้นมีค่าลดลง จึงส่งผลให้ค่าตัวประกอบแรง เสียดทานเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของแผ่นกั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.6 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่า ff_0 ของท่อที่มีแผ่นกั้น $BR = 0.10$ และ $\alpha = 60^\circ$ มีค่า ff_0 สูงสุด ที่ $Re = 20,000$

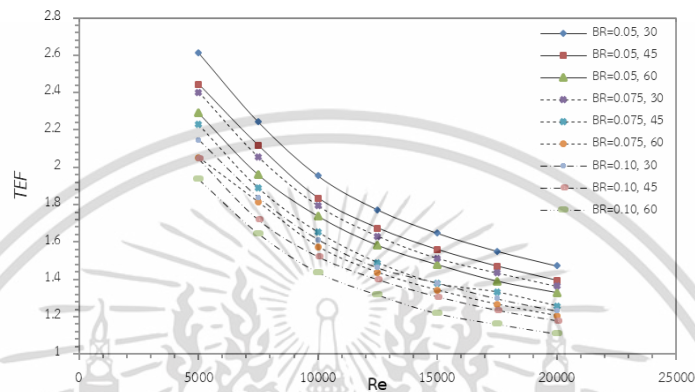


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลกระทบของค่า α แสดงให้เห็นว่าแผ่นกั้นที่ทำมุม 60° ของแต่ละค่า BR มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีความชันมากที่สุดหากเปรียบเทียบกับค่ามุมอื่นๆ และแผ่นกั้นที่ทำมุม 30° แนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นโดยมีความชันน้อยที่สุดเมื่อเพิ่มค่าเรย์โนลด์ สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าจากพฤติกรรมการไหลที่อธิบายในหัวข้อที่ 5.1.1 เมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นที่มีค่ามุมปะทะการไหลมากจะทำให้เกิดการไหลวนกลับ และเปลี่ยนทิศทางการไปทางผนังด้านข้างอีกด้วย

5.1.4 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



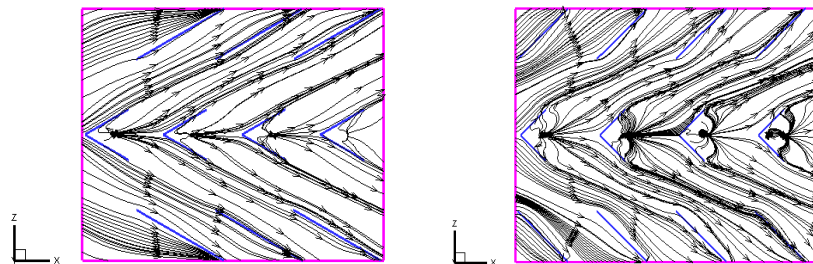
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ของท่อที่ติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัว มีค่าสูงสุด ที่ $Re = 5,000$ $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ มีค่าเท่ากับ 2.613 และครีปที่มีค่า $BR = 0.10$ และ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $Re = 20,000$ มีค่า TEF น้อยที่สุดเท่ากับ 1.09 จะเห็นว่าผลกระทบอันเนื่องมาจากค่า BR มีแนวโน้มที่เหมือนกับ [1] นั่นคือเมื่อเพิ่มค่า BR จะทำให้มีค่า Nu และ f สูงขึ้น แต่จะส่งผลให้ค่า TEF ลดน้อยลง

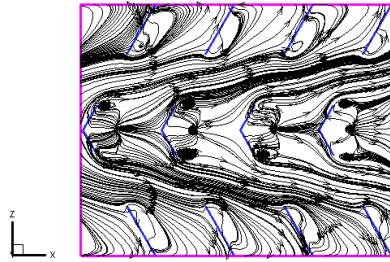
5.2 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว (in-line, VI)

5.2.1 ผลกระทบจากการติดครีป และพฤติกรรมกรการไหล

จากผลการทดลองของแบบจำลองที่ 5.1 เมื่อพิจารณาพฤติกรรมกรการไหลของอากาศแล้วจะพบว่าเกิดการไหลวนส่วนมากที่บริเวณแผ่นกั้นแบบตัววีเท่านั้น จะมีเพียงแผ่นกั้นที่ทำมุม 60° ที่จะทำให้เกิดการไหลวนกลับบริเวณปลายแผ่นกั้นบางแผ่น ดังนั้นจึงทำการทดลองกับแบบจำลองที่ติดด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียวตามที่ได้อธิบายแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



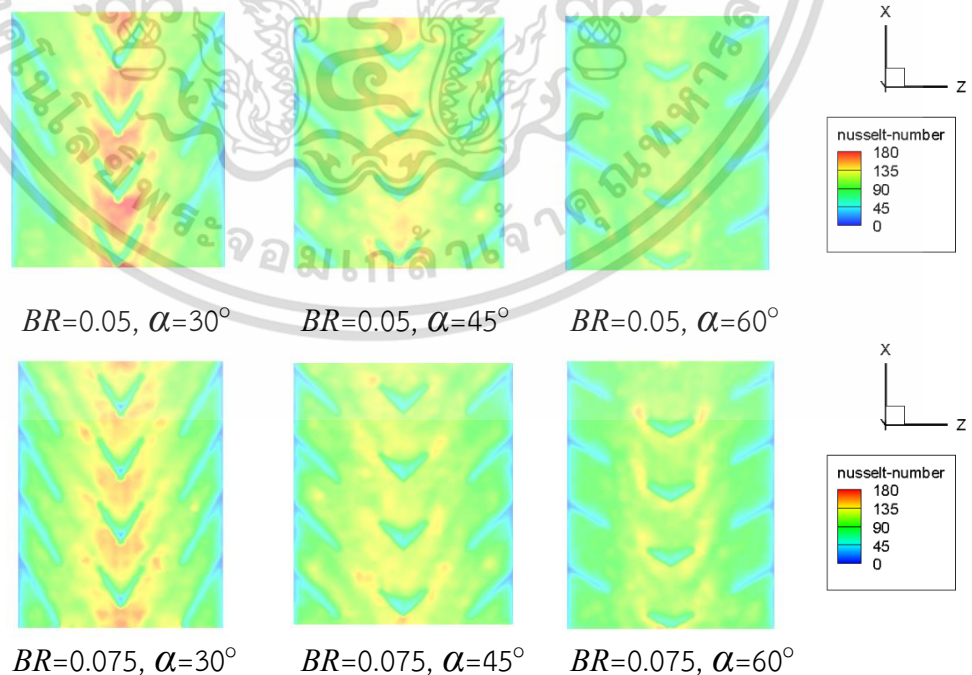
$$BR=0.05, \alpha=60^\circ$$

รูปที่ 5.8 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัววางตัวแนวเดียว
ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

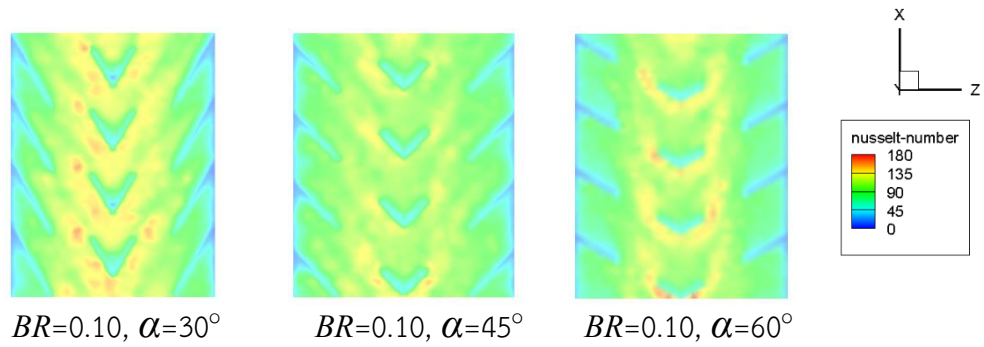
จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าพฤติกรรมการไหลของอากาศในแบบจำลองนี้มีความปั่นป่วนน้อยกว่าแบบจำลองที่ 5.1 เนื่องจากไม่มีแผ่นกั้นที่ RM แต่เพิ่มแผ่นกั้นตัววีที่บริเวณกลางท่อขึ้นอีก ช่วงละ 1 แผ่นกั้น ($PR2 = PR/2$) และนอกจากนี้แผ่นกั้นที่มีค่า $\alpha = 60^\circ$ ทำให้เกิดการไหลวนที่บริเวณ RW อีกด้วย สำหรับการไหลบริเวณกลางท่อมุมมองด้านข้างเกิดการไหลวนกลับด้วยเช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 5.1 ดังแสดงในรูปที่ 5.2

5.2.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

จากการทดลองเพื่อหาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่นำเสนอด้วยค่าสัดส่วนนัสเซิลท์นั้นจะพบว่าท่อที่ติดแผ่นกั้นที่ทำมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° จะมีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่มากอยู่เพียงบริเวณของหลังแผ่นกั้นตัวที่กลางท่อเหมือนกับแบบจำลองที่ 5.1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 45^\circ$ เพียงเล็กน้อย แต่มีค่ามากกว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 60^\circ$

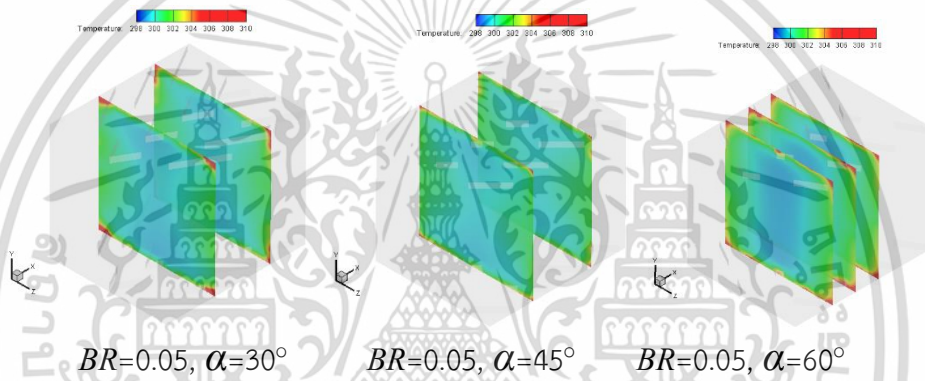


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



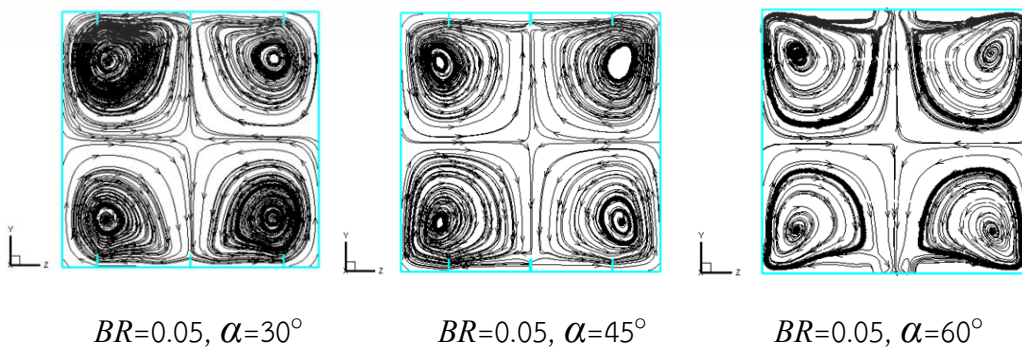
รูปที่ 5.9 รูปแสดงการกระจายตัวของค่าตัวเลขของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

ผลกระทบของค่าสัดส่วนนัสเซิลท์จากการเปลี่ยนแปลงค่า BR ของแบบจำลองนี้จำเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมาก หรือใกล้เคียงกันมากซึ่งสามารถดูได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ต่อค่าเลขเรย์โนลด์ในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัด Y-Z ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

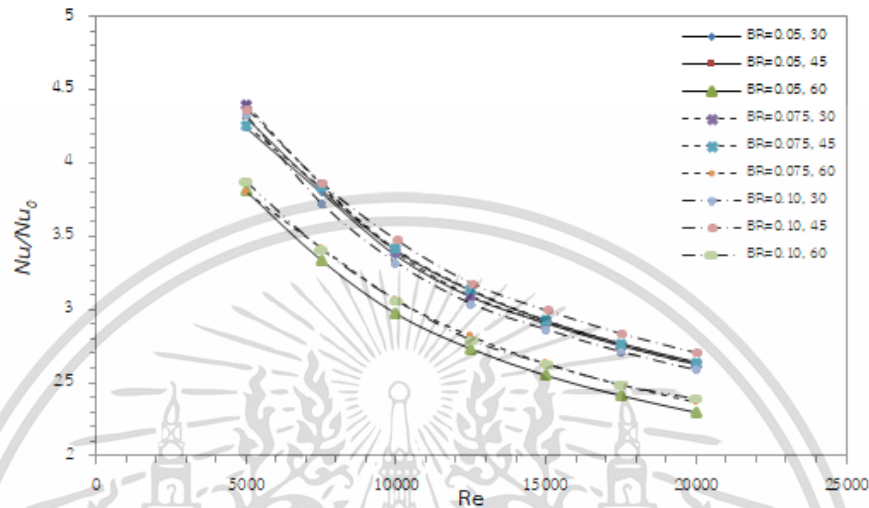
จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 45^\circ$ มีชั้นขอบเขตของอุณหภูมิสูงหรือที่แสดงเป็น contour สีแดงที่บริเวณมุมที่อบางที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่ามุมอื่นๆ นั้นแสดงว่าอากาศที่ไหลผ่านแผ่นกั้นนั้นสามารถนำความร้อนที่บริเวณผิวท่อด้านล่างและ ด้านบนออกไปได้มากที่สุด และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของอุณหภูมิของแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 60^\circ$ จะเห็นว่าพฤติกรรมการไหลของอากาศแบบไหลวนกลับนั้นนำความร้อนจากบริเวณผิวท่ออย่างบริเวณกลางท่อในหน้าตัดแกน X ได้มากกว่าแบบจำลองอื่นดังที่แสดงเวกเตอร์การไหลของอากาศของแต่ละค่ามุมปะทะการไหลในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้อธิบายข้างต้น และพิจารณาเวกเตอร์การไหลของอากาศของแบบจำลองที่มีค่ามุมปะทะการไหลต่างๆจะเห็นว่าสาเหตุที่แบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 60^\circ$ มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์น้อยที่สุดเนื่องจากเมื่อเกิดการไหลวนเป็นบริเวณที่กว้างและหลายแห่งไปส่งผลกระทบต่ออากาศไปสามารถสัมผัสกับผิวท่อด้านบนและด้านล่างได้มากเท่ากับแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 45^\circ$ จึงทำให้ไม่สามารถทำลายชั้นขอบเขตของอุณหภูมิมากเท่ากับอีก 2 แบบจำลอง

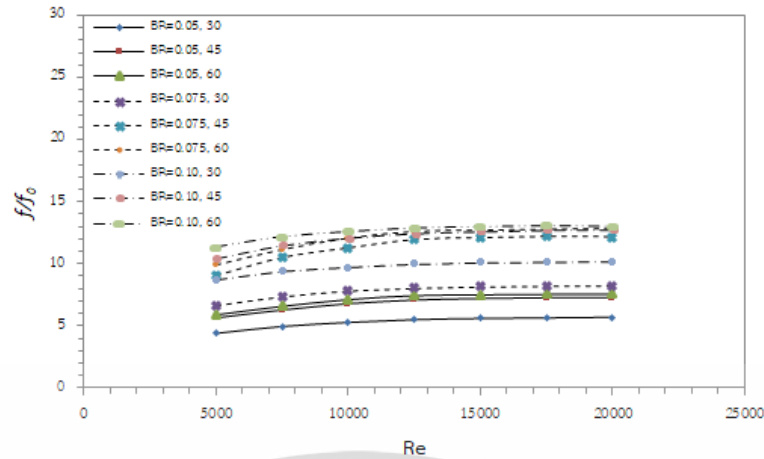


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหล การกระจายอุณหภูมิ และการกระจายของค่านัสเซิลท์จะสรุปได้ว่าท่อที่ติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วนวางตัวแนวเดียวกันที่มีค่า $BR = 0.075$, $\alpha = 30^\circ$ และที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์สูงที่สุด เนื่องจากความเหมาะสมของพฤติกรรมการไหลมีความเหมาะสมที่สุด แต่เมื่อเพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์สูงขึ้นตั้งแต่ 7,500 ถึง 20,000 จะทำให้แบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.10$, $\alpha = 45^\circ$ มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์สูงที่สุด ในทางกลับกันแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 60^\circ$ มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์น้อยที่สุดสำหรับทุกค่าเลขเรย์โนลด์

5.2.3 การสูญเสียความดัน

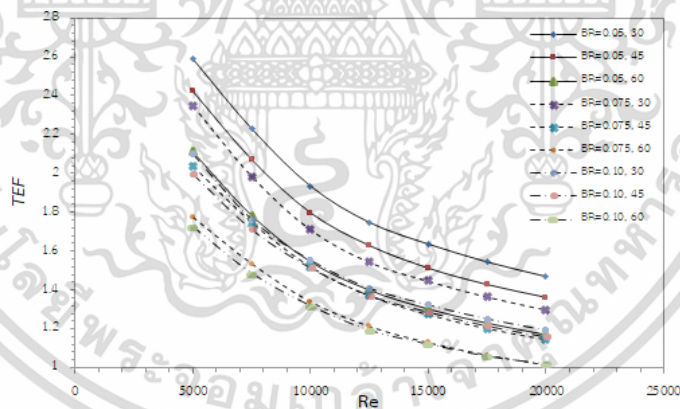
เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นการนำแผ่นกั้นบริเวณ RW ออกทั้งผิวท่อด้านบนและด้านล่างดังนั้นจะทำให้มีค่าความดันลดน้อยกว่าแบบจำลองที่ 5.1 ซึ่งจะได้อธิบายเปรียบเทียบค่า f/f_0 ของทั้งสองแบบจำลองในหัวข้อถัดไป จากการทดลองจะเห็นว่าทิศทางการไหลของอากาศไม่ได้ถูกเปลี่ยนมากเท่ากับแบบจำลองที่แล้วในแต่ละค่ามุมปะทะการไหล ดังนั้นค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานของแบบจำลองที่ค่ามุมปะทะการไหลต่างมีค่าไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบจากความชันของกราฟในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ ค่า Blockage ratio และมุมปะทะการไหลมากขึ้นแปรผันตามค่าการสูญเสียความดันที่มากขึ้นเหมือนกันทั้ง 3 พารามิเตอร์ สำหรับแบบจำลองที่มีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานมากที่สุดคือ แบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.10$ และ $\alpha = 60^\circ$ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 และแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 ให้ค่าน้อยที่สุด

5.2.4 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ของท่อที่ติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัววางตัวแนวเดียวกันมีค่าสูงสุด ที่ $Re = 5,000$ $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ มีค่าเท่ากับ 2.588 และ ครีบที่มีค่า $BR = 0.10$ และ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $Re = 20,000$ มีค่า TEF น้อยที่สุดเท่ากับ 1.017 ซึ่งแนวโน้มของผลกระทบอันเนื่องมาจากค่า BR และค่า α ของแบบจำลองนี้มีแนวโน้มที่เหมือนกับแบบจำลองที่ 5.1

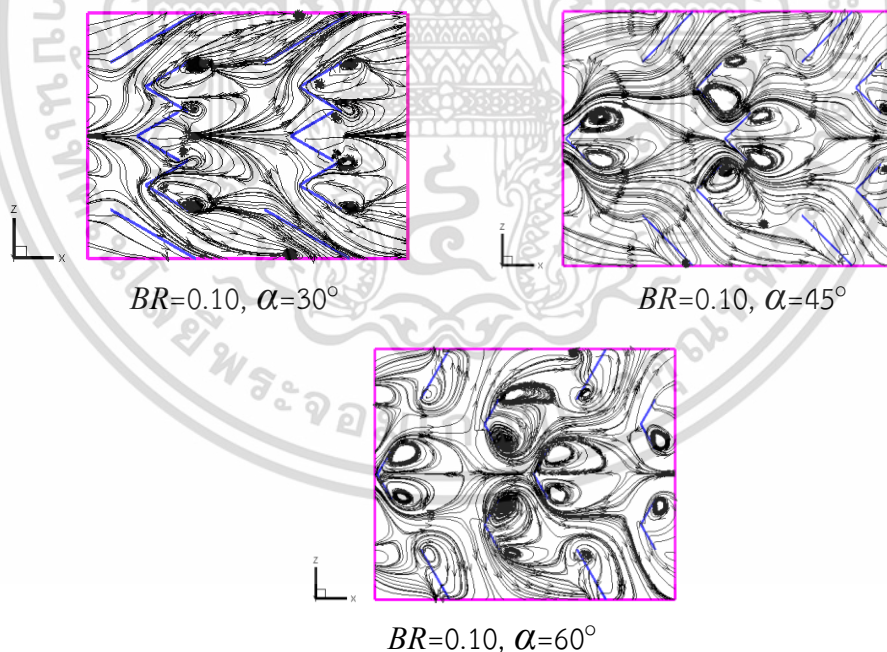
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM)

หลังจากได้ทำการทดลองด้วยแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวในแบบจำลองที่ 5.1 และแบบวางตัวแนวเดียวกันแบบจำลองที่ 5.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าแบบจำลองที่แผ่นกั้นมีค่า $BR = 0.05$ มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้มีค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์สูงที่สุดในแต่ละช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ และในทางเดียวกันยังส่งผลให้มีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานน้อยที่สุดอีกด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าสมรรถนะในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.14 แต่เมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่าง 2 แบบจำลองแล้วจะเห็นว่าแบบจำลองที่ 5.1 มีข้อได้เปรียบมากกว่า ด้วยเหตุนี้เองจึงทำการปรับปรุงแบบจำลองที่ 5.1 ต่อไป ที่จะได้นำเสนอผลการทดลองในหัวข้อนี้ โดยจะยังคงการเปลี่ยนแปลงค่า BR และ α อยู่เช่นเดิม

5.3.1 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมการไหล

จากการทดลองจะพบว่า การหักแผ่นกั้นให้เป็นแบบตัววีที่บริเวณ RM จะส่งผลให้อากาศไหลวนกลับที่ด้านหลังแผ่นนี้ด้วย โดยจะเกิดขึ้นกับทุกแบบจำลอง จากรูปที่ 5.15 จะเห็นว่าเกิดการไหลวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นตัววีเป็นวงกว้างมากที่สุด แต่จากที่ได้อธิบายผลกระทบของการเกิดการไหลวนไปในแบบจำลองที่แล้วนั้น จะส่งผลให้อากาศสัมผัสกับผิวท่อด้านบนและด้านล่างได้น้อยกว่าแบบจำลองที่มีการไหลวนแบบวงแคบซึ่งจะสามารถพิจารณาได้จากการกระจายตัวของค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์ในหัวข้อถัดไป

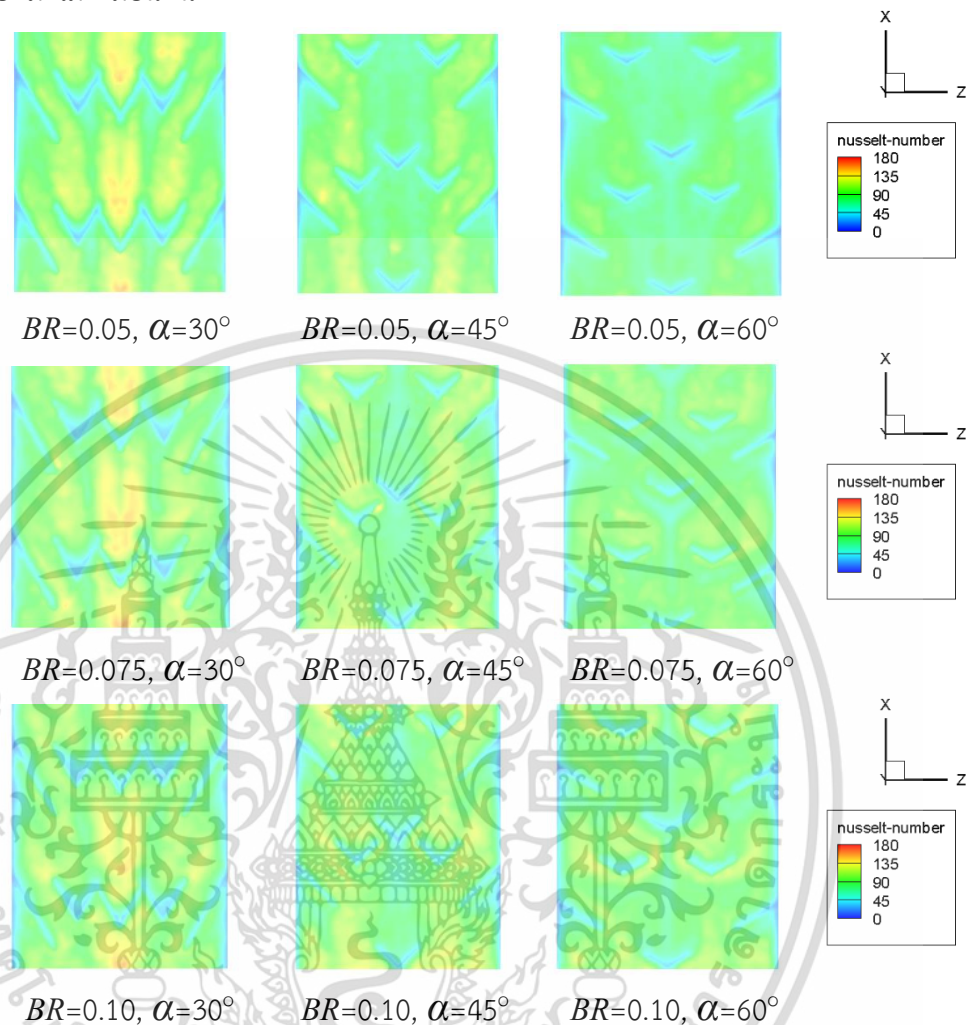


รูปที่ 5.15 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกแยกตัว และแผ่นกั้นตัววีที่ rib at mid (VM) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

5.3.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

สำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนนั้นจะให้แนวโน้มเดียวกันกับทั้ง 2 แบบจำลองที่แล้ว คือ เมื่อเพิ่มค่า BR จะส่งผลให้มีค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์สูงขึ้น แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อเพิ่มค่ามุมปะทะการไหลของอากาศที่บริเวณหลังการหักแผ่นกั้นตัววีในเพื่อการไหลวน เมื่ออยู่ในตำแหน่งที่การไหลวนกว้างกว่านั้น ยิ่งเพิ่มค่ามุมปะทะการไหลของอากาศที่บริเวณหลังการหักแผ่นกั้นตัววีในเพื่อการไหลวน ยิ่งเพิ่มค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์สูงขึ้น ยิ่งเพิ่มค่ามุมปะทะการไหลของอากาศที่บริเวณหลังการหักแผ่นกั้นตัววีในเพื่อการไหลวน ยิ่งเพิ่มค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์สูงขึ้น

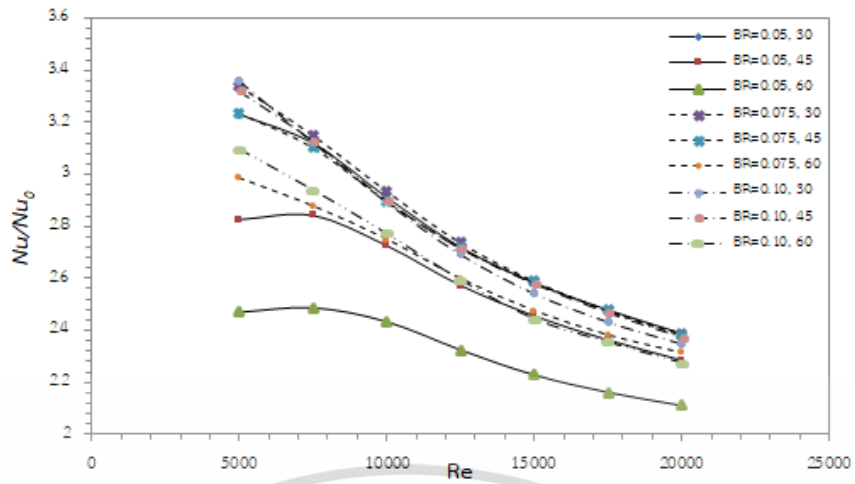
ไหลแล้วจะส่งผลให้มีค่าสัดส่วนนัสเซลล์ต์น้อยลง เหตุที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้เนื่องจากรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองเมื่อเพิ่มค่า α ให้สูงขึ้นแล้วจะทำให้แผ่นกันต่างๆ มีระยะห่างมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ได้ผลเฉลยออกมาไม่เหมือนกัน



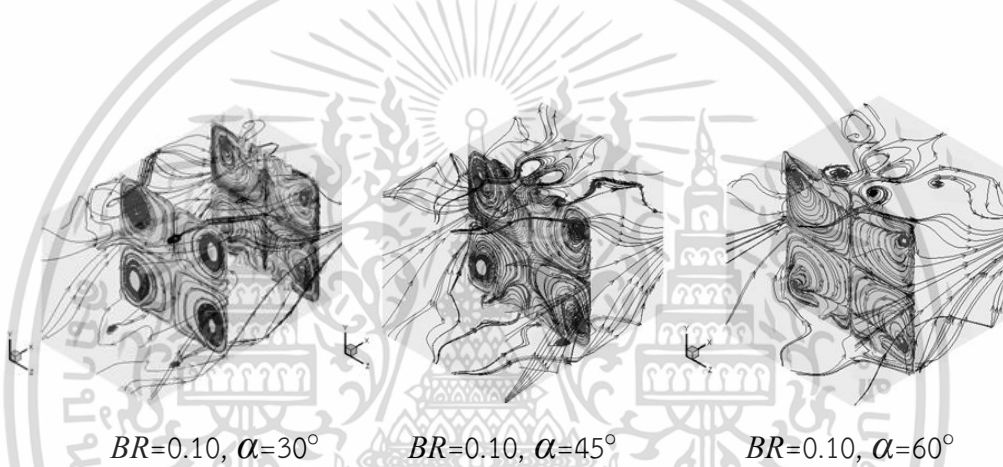
รูปที่ 5.16 รูปแสดงการกระจายตัวของค่านัสเซลล์ต์ของผนังทางด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากรูปที่ 5.16 ค่าสัดส่วนนัสเซลล์ต์แปรผันตามการเพิ่มค่า BR แต่แปรผกผันกับการเพิ่มขึ้นของค่ามุมปะทะการไหล จากการสังเกตการกระจายตัวของค่านัสเซลล์ต์จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ มีค่านัสเซลล์ต์สูงอยู่บริเวณกลางท่อ แต่อีก 2 แบบจำลองมีค่านัสเซลล์ต์ที่ค่อนข้างกระจายตัวมากกว่า และเมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนนัสเซลล์ต์ตามกราฟรูปที่ 5.17 จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ ของแต่ละค่า BR มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ ตามลำดับ จุดด้อยของแบบจำลองที่มี $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ คือการถ่ายเทความร้อนบริเวณหลังจากการไหลวนกลับด้านหลังแผ่นกันตัวแล้วนั้นอากาศจะถูกเปลี่ยนทิศทางให้ไหลไปตามแนวแกน Z และเวกเตอร์ของกระแสการไหลหลักจะอยู่เหนือแผ่นกันจึงส่งผลให้ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้มากเท่าแบบจำลอง $\alpha = 30^\circ$ สามารถดูเวกเตอร์การไหลของอากาศบนหน้าตัด Y-Z ได้ดังรูปที่ 5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

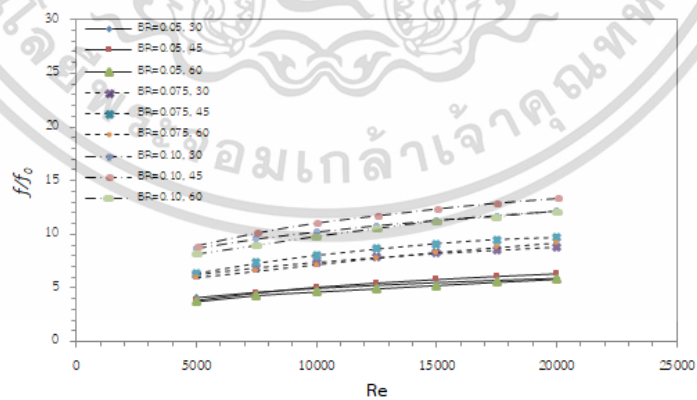


รูปที่ 5.17 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าตัวเลขเฉื่อย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ



รูปที่ 5.18 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

5.3.3 การสูญเสียความดัน

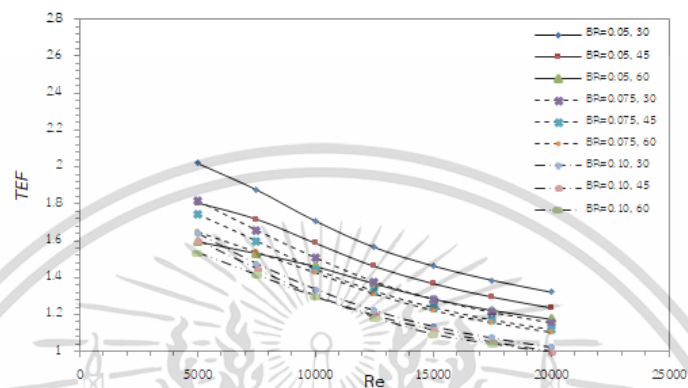


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการเพิ่มค่า BR จะส่งผลให้มีค่าการสูญเสียความดันมากขึ้น แต่ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงมุมการปะทะการไหลของอากาศนั้นไม่ได้แปรผันอย่างเช่นเดียวกับค่า BR เพราะเนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมจะทำให้รูปแบบของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเปลี่ยนไปด้วยโดยเฉพาะความยาวและระยะห่างของของแผ่นกั้น ดังนั้นจากการทดลองหาผลเฉลยของค่าสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานของแบบจำลองนี้พบว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.10$, $\alpha = 45^\circ$ มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกๆ เลขเรย์โนลด์ ส่วนแบบจำลองที่มีค่าน้อยที่สุดนั่นคือ $BR = 0.05$, $\alpha = 60^\circ$

5.3.4 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกๆ ช่วงของเลขเรย์โนลด์ นั่นเป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของแบบจำลองสามารถทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุดที่แสดงเป็นค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ และยังคงทำให้มีการสูญเสียความดันภายในท่อได้น้อยด้วยเช่นกันดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงมีความเหมาะสมมากที่สุดโดยมีค่า TEF สูงสุดที่ค่าเรย์โนลด์ 5,000 มีค่าเท่ากับ 2.019 และแบบจำลองที่ให้ค่า TEF น้อยที่สุดคือแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.10$, $\alpha = 60^\circ$ โดยมีค่าเพียง 0.990 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000

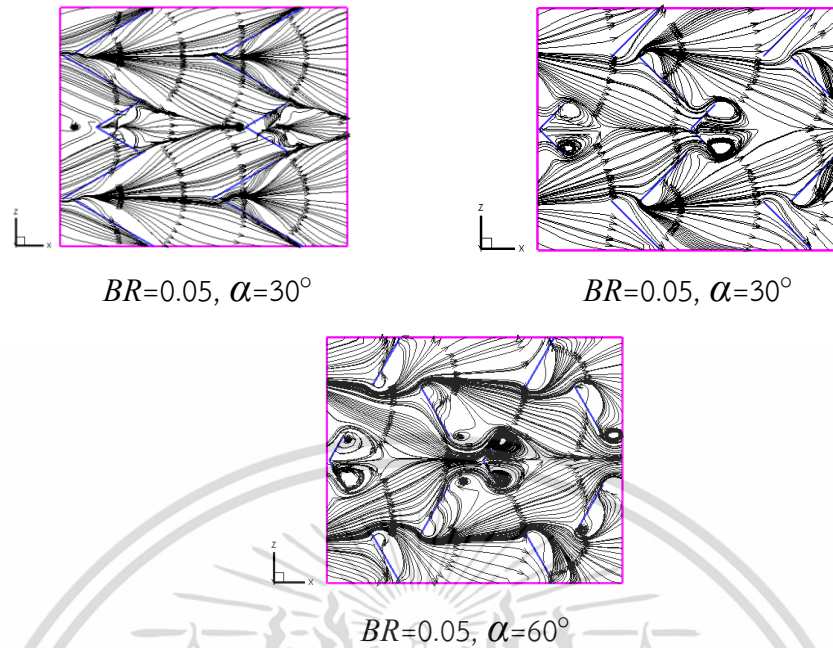
5.4 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM)

แนวคิดของแบบจำลองนี้คือการสังเกตพฤติกรรมของการไหลของอากาศในแบบจำลองที่ 5.1 พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีกลางท่อ ไปยังแผ่นกั้นที่ RM แล้วไม่ทำให้เกิดการไหลวนอีกจึงทำการหมุนมุมของแผ่นกั้นที่ RM ให้มีมุมตรงกันข้ามเพื่อทำให้แผ่นกั้นนี้ขวางทางการไหลเพิ่มขึ้น โดยทำการคงที่ค่าของ $BR = 0.05$ และเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหล และค่าเลขเรย์โนลด์เท่านั้น

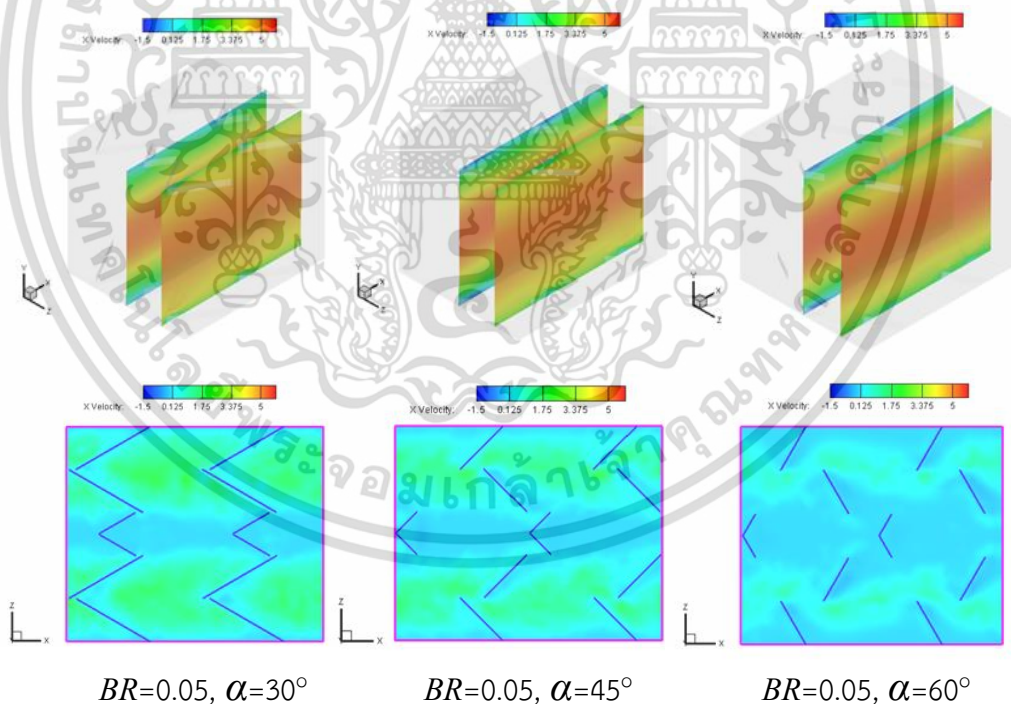
5.4.1 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมของการไหล

เมื่อเปลี่ยนมุมของแผ่นกั้นที่ RM แล้วจะเห็นว่าลักษณะของแผ่นกั้นสำหรับแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ มีลักษณะเป็นตัววีทั้งหมดและมีขนาดยาวกว่าตัววีที่อยู่กลางท่อเนื่องจากแผ่นกั้นที่ค่ามุมนี้มีความยาวมากกว่าอีก 2 แบบจำลอง จึงทำให้กระแสการไหลหลักอยู่ที่แผ่นกั้นที่เปลี่ยนแปลงนี้ ไปทำให้เกิดการไหลวนกลับที่บริเวณกลางท่อโดยที่มีทิศทางการไหลสวนทางหรือบางจุดทำให้อากาศอยู่ในสถานะหยุดนิ่งซึ่งสาเหตุนี้เองจะเป็นผลกระทบต่อค่านัสเซิลท์ ณ จุดๆ นั้นให้มิต่างน้อยซึ่งสถานการณ์หยุดนิ่งของอากาศนี้สามารถดูได้จากการกระจายความเร็วที่ผิวท่อด้านล่างตามรูปที่ 5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูทิตเห็นแจ้งประสงค์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัวแบบแยกตัวและ rib at mid ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at mid, RRM) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000



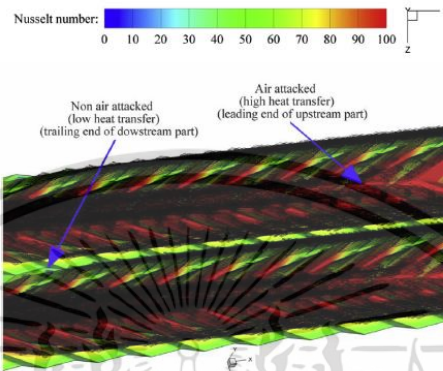
รูปที่ 5.22 รูปแสดงการกระจายความเร็วตามแนวแกน X ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากรูปที่ 5.21 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงมุมของแผ่นกั้นที่ RM ของแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ ส่งผลให้เกิดการไหลวนเพิ่มขึ้นที่บริเวณปลายแผ่นกั้น แต่จะให้อากาศมีความเร็ว น้อยลงอย่างมีนัยซึ่งจะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

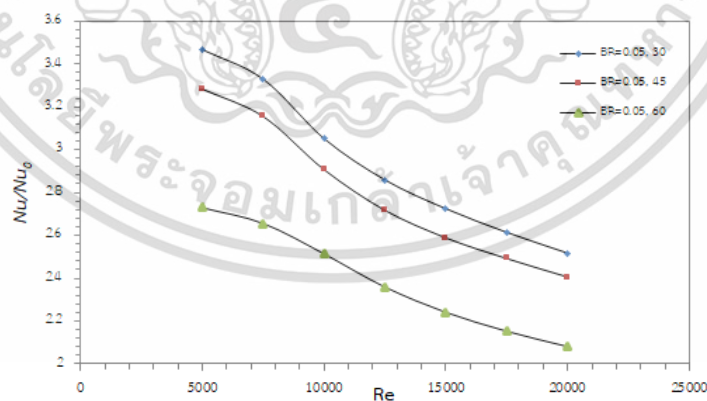
5.4.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมกรไหลของอากาศในหัวข้อที่แล้วจะส่งผลโดยตรงกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจากงานวิจัยของ Promthaisong and Eiamsa-ard [4] ได้นำเสนอผลกระทบของการถ่ายเทความร้อนจากพฤติกรรมการไหลของอากาศแบบไหลวนไว้ว่าบางช่วงที่ไม่มีมีการกระทบของกระแสการไหล หรือที่เรียกว่าความเร็วของอากาศมีค่าน้อยมากจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 5.23



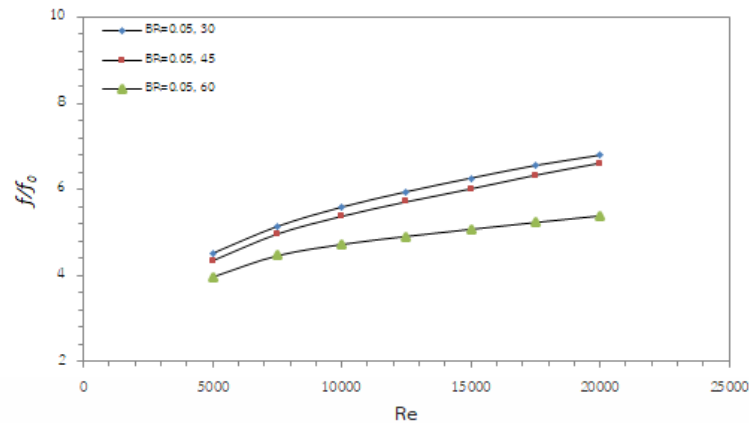
รูปที่ 5.23 รูปแสดงตัวอย่างของการไหลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน [4]

จากการทดลองหาค่านัสเซิลท์เฉลี่ยเพื่อดูพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแบบจำลองนี้ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มค่ามุมปะทะการไหลจะส่งผลให้มีค่านัสเซิลท์เฉลี่ยน้อยลงซึ่งเป็นผลกระทบมาจากลักษณะการไหลที่แตกต่างจากแบบจำลองก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามได้กล่าวไว้ข้างต้น รวมไปถึงค่าการสูญเสียความดันภายในด้วย จากรูปที่ 5.24 แสดงค่านัสเซิลท์ที่เลขเรย์โนลด์ต่างๆ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับรูปที่ 5.25 ที่ให้ผลลัพธ์ในแนวโน้มเดียวกัน



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

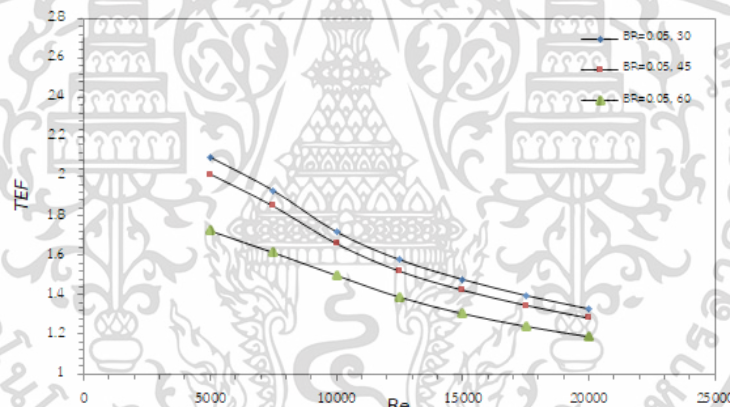
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 5.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าของมุมปะทะการไหลจะส่งผลให้มีการสูญเสียความดันภายในลดลงเนื่องจากแบบจำลองที่มีค่ามุมเท่ากับ 60° จะมีระยะห่างของแผ่นกั้นมากกว่าแบบจำลองอีก 2 แบบ จึงทำให้อากาศสามารถไหลผ่านแผ่นกั้นได้ง่ายกว่า

5.4.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.26 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกๆ ช่วงของเลขเรย์โนลด์ ถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียความดันภายในเยอะที่สุดแต่แบบจำลองนี้สามารถทำให้มีค่าสัดส่วนนี้สเกลท์ที่มากพอที่จะทำให้ได้ค่า TEF ที่สูงที่สุด นั่นเป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของแบบจำลอง ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่า TEF สูงสุดที่ค่าเรย์โนลด์ 5,000 มีค่าเท่ากับ 2.098 และแบบจำลองที่ให้ค่า TEF น้อยที่สุดคือ แบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 60^\circ$ โดยมีค่าเท่ากับ 1.187 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000

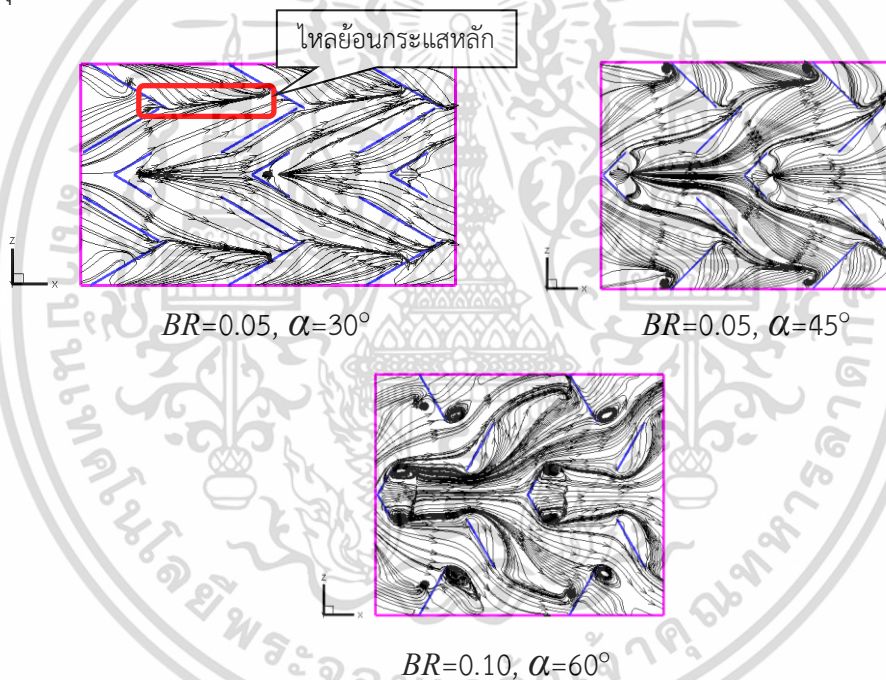
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW)

แบบจำลองนี้เป็นการนำแบบจำลองที่ 5.1 มาปรับปรุงต่อจากการสังเกตเห็นว่าแผ่นกั้นที่บริเวณ RW ไม่สามารถทำให้เกิดการไหลวนของอากาศ จึงทำการปรับมุมของแผ่นกั้นเพื่อให้ขวางกระแสการไหลของอากาศมากขึ้น และทำการทดลองโดยการคงที่ค่า $BR = 0.05$ แต่ยังคงเปลี่ยนแปลงค่า $\alpha = 30^\circ$ 45° และ 60°

5.5.1 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมกรไหล

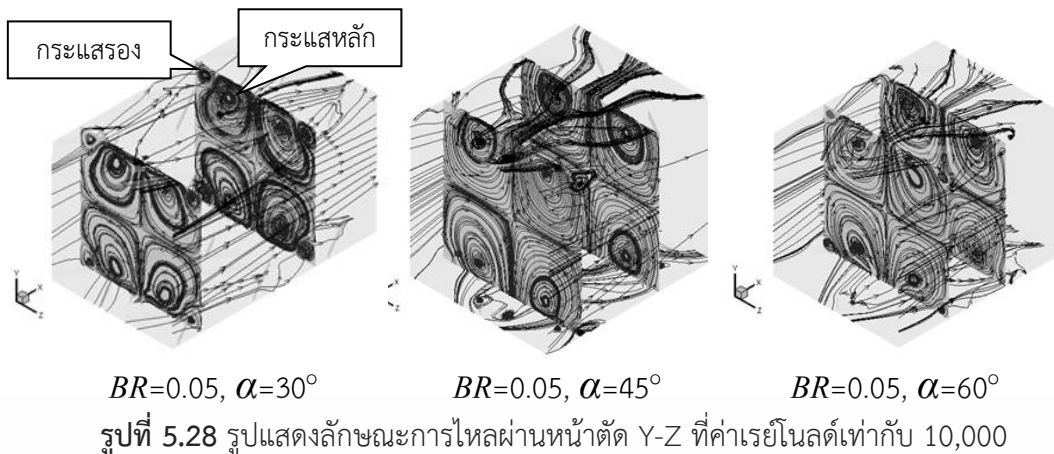
จากการสันนิษฐานว่าเมื่อปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นกั้นที่บริเวณ RW แล้วจะทำให้เกิดการไหลวนกลับของอากาศที่บริเวณนั้น พบว่าเกิดการไหลวนที่บริเวณนั้นตามข้อสันนิษฐาน แบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ เกิดการไหลย้อนกับกระแสหลักตามที่วงในรูปที่ 5.27 ซึ่งจากผลการทดลองของแบบจำลองก่อนหน้านี้เมื่อเกิดการไหลย้อนกระแสหลักแล้วจะทำให้อากาศอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งจากจุดนี้เองจะเป็นผลทำให้มีค่านัสเซลล์ที่น้อยเนื่องจากการไหลของอากาศและถ่ายเทความร้อนน้อย



รูปที่ 5.27 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและ rib at wall ทำมุมตรงข้าม (reflex rib at wall, RRW) ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

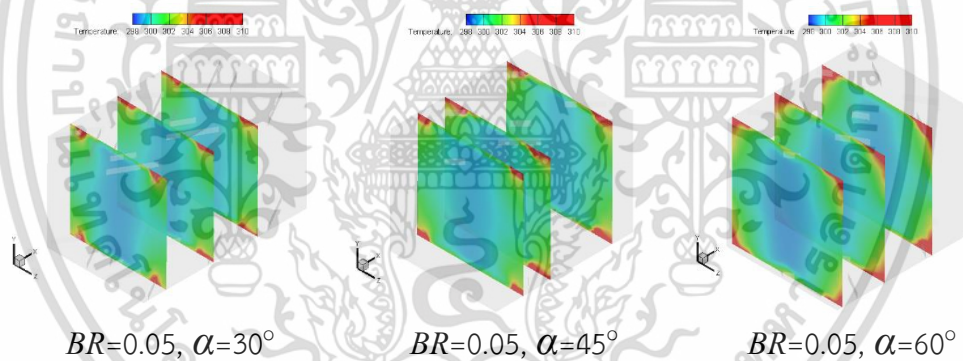
จากการวิเคราะห์พฤติกรรมกรไหลของแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 45^\circ$ และ $BR = 0.10$, $\alpha = 60^\circ$ จะเห็นว่าพฤติกรรมคล้ายๆกัน ยิ่งไปกว่านั้นแผ่นกั้นที่ RW สามารถทำให้เกิดการไหลวนของอากาศได้หลายจุดโดยเฉพาะที่บริเวณด้านหน้า และที่ปลายแผ่นกั้นบริเวณ RW ซึ่งจะเกิดขึ้นมากเมื่อแบบจำลองมีค่า $\alpha = 60^\circ$ แต่การเกิดการไหลวนเป็นจำนวนที่เยอะและมีบริเวณกว้างนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนั้นมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาและวิเคราะห์การไหลในระนาบ Y-Z และการกระจายตัวของค่านัสเซลล์ที่ประกอบด้วยดังที่แสดงในรูปต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

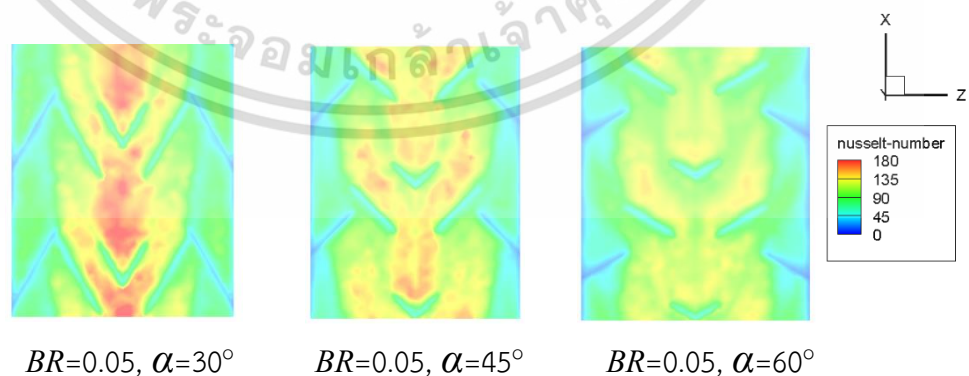


จากรูปที่ 5.28 จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05, \alpha = 30^\circ$ มีการไหลกระทบกันระหว่างกระแสหลักและกระแสรองซึ่งจะทำให้อากาศมีความเร็วเป็นศูนย์หรืออยู่ในสภาวะหยุดนิ่งตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ ส่วนแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05, \alpha = 45^\circ$ และ $BR = 0.10, \alpha = 60^\circ$ เกิดการไหลวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นที่ RW แต่การไหลวนที่บริเวณนี้อากาศไม่มีพลังงานที่จะไหลต่อจึงทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่น้อย และมีชั้นขอบเขตของอุณหภูมิสูงขึ้นนั่นเอง

5.5.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน



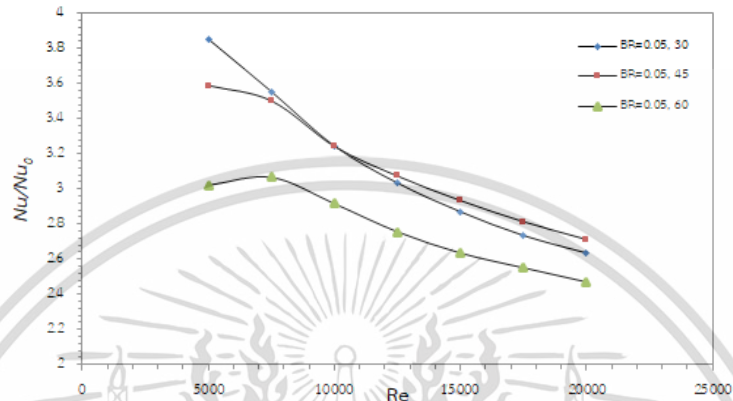
รูปที่ 5.29 รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัด Y-Z ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000



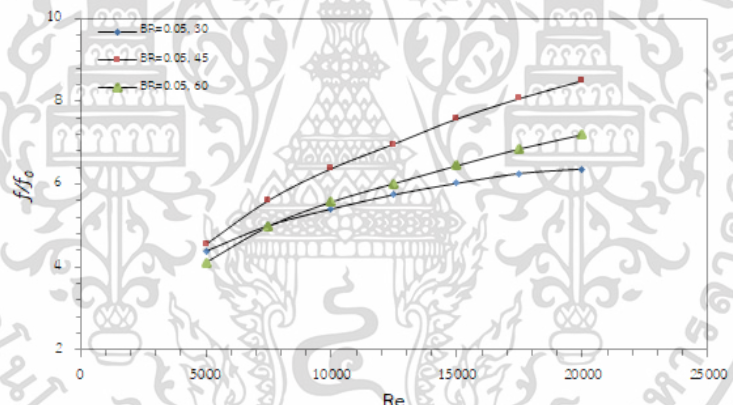
รูปที่ 5.30 รูปแสดงการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ของผนังที่ด้านกลางที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากรูปที่ 5.29 จะเห็นว่าแบบจำลองที่มี $BR = 0.05, \alpha = 30^\circ$ มีชั้นขอบเขตของอุณหภูมิบางที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 แบบจำลอง เนื่องจากพฤติกรรมการไหลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และเมื่อพิจารณาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงวิชาการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายตัวของค่านัสเซิลท์จากรูปที่ 5.30 จะเห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถให้ค่านัสเซิลท์สูงที่สุดอยู่ที่บริเวณกลางท่อและมีค่าน้อยที่สุดอยู่ที่บริเวณที่เกิดการกระทบกันของกระแสการไหลหลักและรอง ซึ่งเป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศก่อนหน้านั้นแล้ว พฤติกรรมการไหลวนของอากาศที่มีพลังงานจลน์น้อยที่เกิดขึ้นบริเวณหลังแผ่นกั้นของ RW ได้แสดงให้เห็นว่าทำให้มีค่านัสเซิลท์ที่น้อยในบริเวณนั้นโดยทั้ง 2 แบบจำลองนี้แสดงพฤติกรรมที่คล้ายกันจึงมีลักษณะของกราฟของค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ออกมาแบบเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

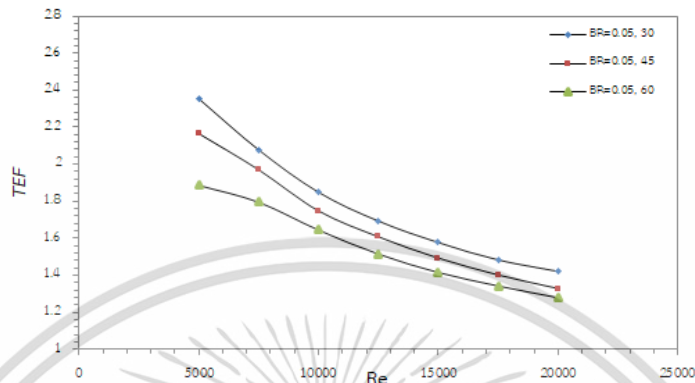
จากรูปที่ 5.31 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการลดลงของค่าสัดส่วนนัสเซิลท์เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นของแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ และอีก 2 แบบจำลองมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลแตกต่างกัน และเป็นผลมาจากรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงมุมของแผ่นกั้นแล้วทำให้มีความยาวของแผ่นกั้นและระยะห่างที่ไม่เท่ากันนั่นเอง แต่เมื่อลองพิจารณาอีก 2 แบบจำลองแล้วเห็นว่ามีลักษณะที่คล้ายกันแต่เมื่อแผ่นกั้นมีค่ามุมปะทะการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 60° จะส่งผลให้มีค่านัสเซิลท์เฉลี่ยน้อยลง โดยสรุปแล้วแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่านัสเซิลท์เฉลี่ยสูงที่สุดที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 และแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 60^\circ$ มีค่านัสเซิลท์เฉลี่ยต่ำที่สุดที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของอากาศที่ว่าเมื่อเกิดการไหลวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นของ RW แล้วจะทำให้พลังงานจลน์ของอากาศเหลือน้อยลงจึงส่งผลให้มีค่าการสูญเสียความดันภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นดังที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนที่แบบจำลองที่มีค่ามุมปะทะการไหลเท่ากับ 60° ดังที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ ของแต่ละแบบจำลองในรูปที่ 5.32

5.5.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.33 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกช่วงของเลขเรย์โนลด์ ถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียความดันภายในเยื่อที่ สุดแต่แบบจำลองนี้สามารถทำให้มีค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์ที่มากพอที่จะทำให้ได้ค่า TEF ที่สูงที่สุด นั้นเป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของแบบจำลอง ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่า TEF สูงสุดที่ค่าเรย์โนลด์ 5,000 มีค่าเท่ากับ 2.354 และแบบจำลองที่ให้ค่า TEF น้อยที่สุด คือ แบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$, $\alpha = 60^\circ$ โดยมีค่าเท่ากับ 1.279 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000

5.6 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู (VH)

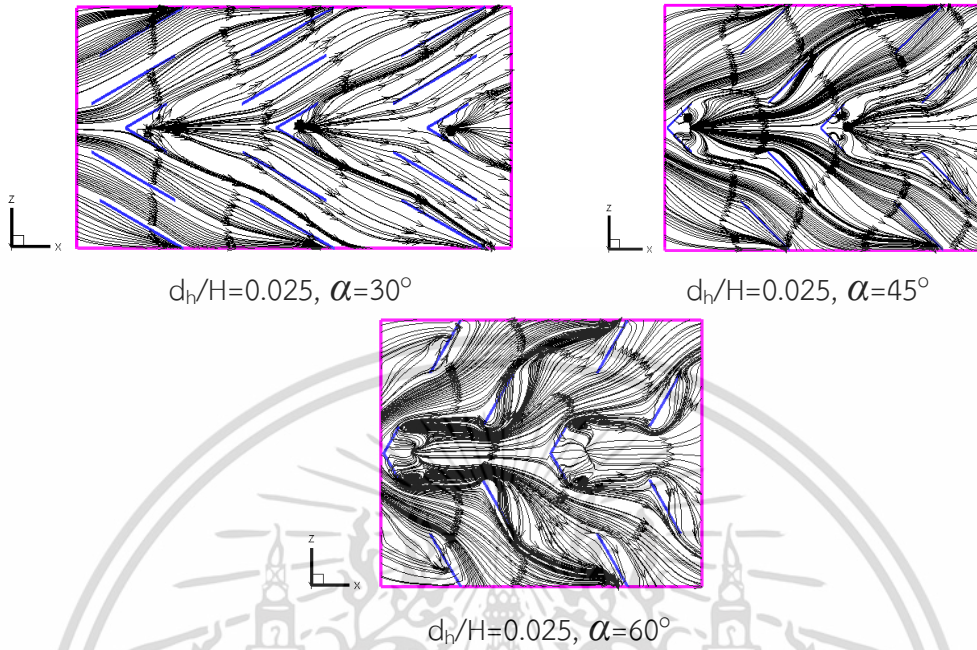
หลังจากที่ได้นำแบบจำลองที่ 5.1 มาเป็นต้นแบบในการพัฒนาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนแผ่นกั้นที่ไม่ทำให้เกิดการไหลวนแต่ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบจำลองทุกแบบไม่สามารถให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากเท่าแบบจำลองต้นแบบ ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงเป็นการนำแบบจำลองต้นแบบมาทดลองโดยการเจาะรูที่กลางแผ่นกั้นทุกแผ่นตามงานวิจัยของ Han et al. [9] เนื่องจากพฤติกรรมการไหลของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นที่เจาะรูจะทำให้เกิด punch jet ที่จะไปดันอากาศที่ไหลกลับ และอากาศที่อยู่ฝั่งด้านหลังแผ่นกั้นให้ไหลง่ายขึ้นจึงส่งผลให้มีค่าการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นอีกด้วย โดยทำการคงที่ค่า $BR = 0.05$ ปรับเปลี่ยนค่ามุมปะทะการไหลและค่าเลขเรย์โนลด์ และปรับเปลี่ยนค่า $d_r/H = 0.005$, 0.0125 และ 0.025

5.6.1 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมการไหล

จากการทดลองพบว่าอากาศสามารถผ่านรูเจาะได้มากที่สุดเมื่อแบบจำลองมีค่า $\alpha = 60^\circ$ และ สามารถผ่านรูเจาะได้น้อยสำหรับ $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 45^\circ$ เนื่องจากรูเจาะจะทำมุมกับกระแสการไหลตามแผ่นกั้นดังนั้นรูปแบบการไหลของอากาศจึงมีลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองต้นแบบอย่าง

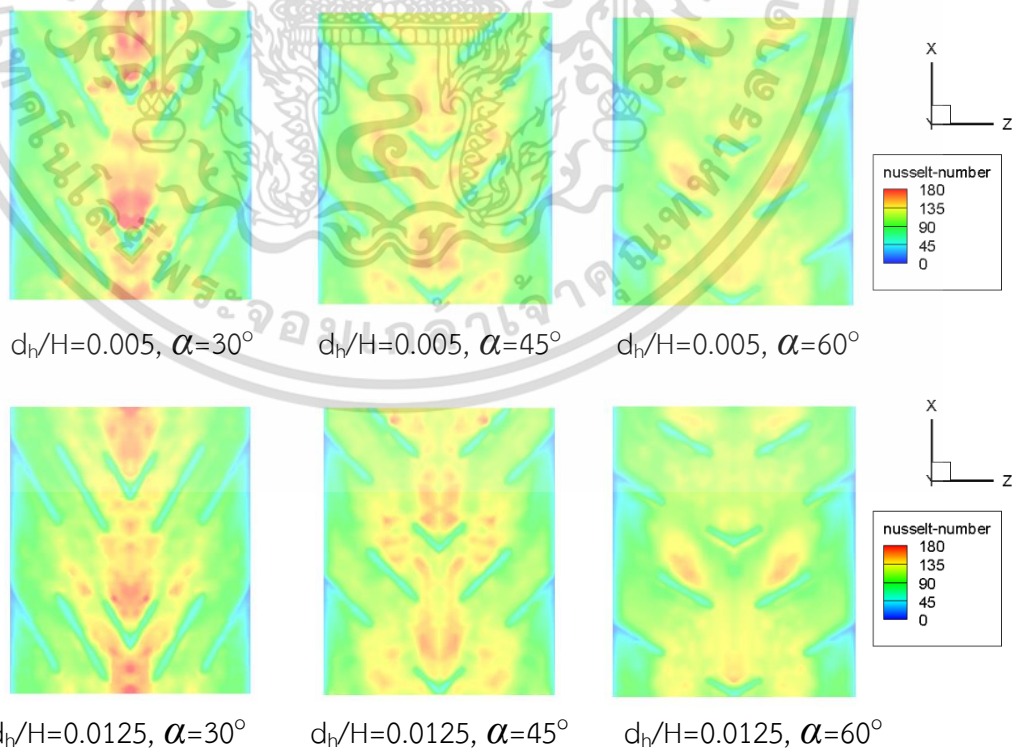
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากยกเว้นแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 60^\circ$ ที่อากาศสามารถผ่านรูเจาะได้ ซึ่งอากาศที่ผ่านรูเจาะนี้ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

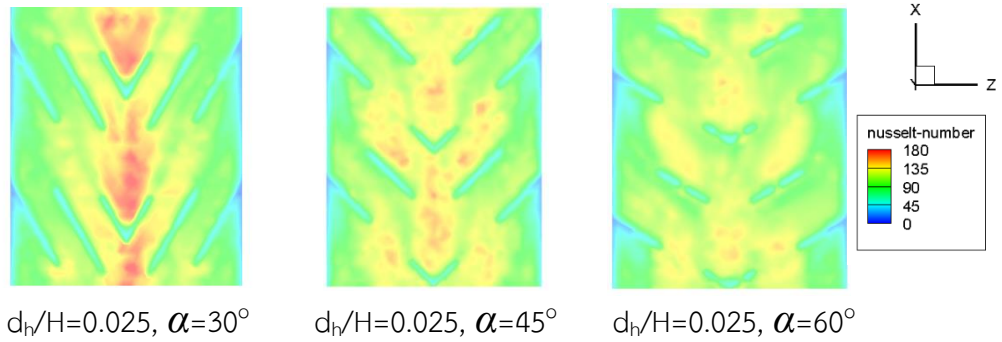


รูปที่ 5.34 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวเจาะรู ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

5.6.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน

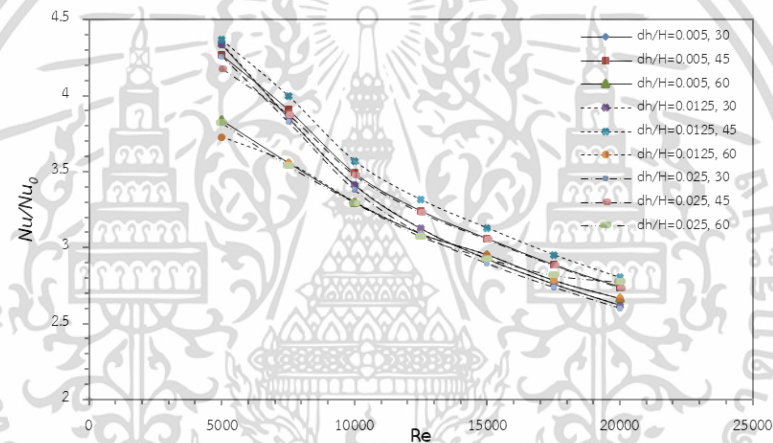


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

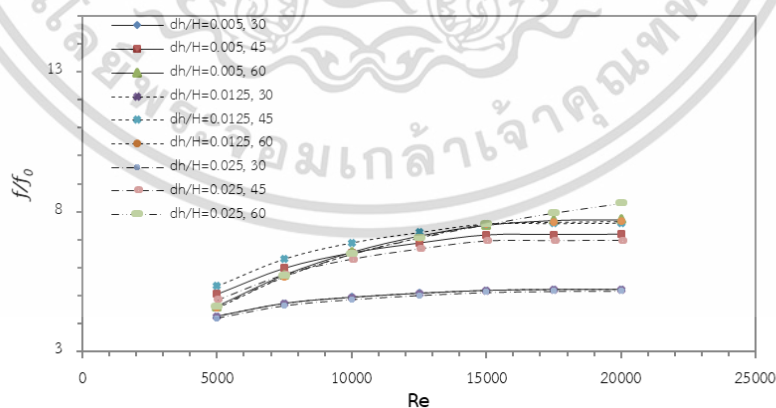


รูปที่ 5.35 รูปแสดงการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ของผนังท่อด้านล่างที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนของแบบจำลองนี้มีลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองต้นแบบ เพียงแต่มีการไหลผ่านรูเจาะเพิ่มขึ้นมา จึงส่งผลให้ที่บริเวณรูเจาะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่าดังที่เห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 5.35 นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีความดันตกที่น้อยกว่าแบบจำลองต้นแบบอีกด้วย โดยสามารถดูได้จากกราฟตามรูปที่ 5.36 และ 5.37



รูปที่ 5.36 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

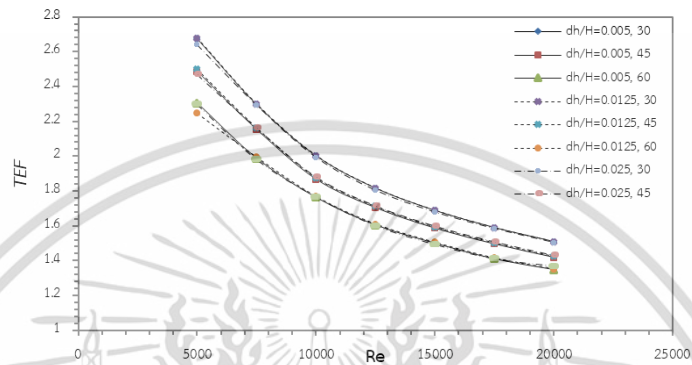


รูปที่ 5.37 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.36 แบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ มีรูปแบบของการลดลงของค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์ตามการเปลี่ยนแปลงของเลขเรย์โนลด์ไม่ต่างกับอีก 2 แบบจำลองอันเนื่องมาจากรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในผลการทดลองที่ 5.1 เช่นเดียวกับค่าสัดส่วนตัวประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเสียดทาน เมื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนนัสเซลล์ท์ของทั้ง 9 แบบ กับแบบจำลองต้นแบบ ที่ค่า $BR = 0.05$ เท่ากันพบว่าทั้ง 9 แบบจำลองนี้มีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อยซึ่งจะเปรียบเทียบค่าในบทถัดไป และนอกจากนี้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่า d_r/H ทั้ง 3 ค่า จะพบว่าให้ผลเฉลยไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมากซึ่งแบบจำลองที่มี $d_r/H=0.0125$ ให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 ที่มากที่สุด

5.6.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

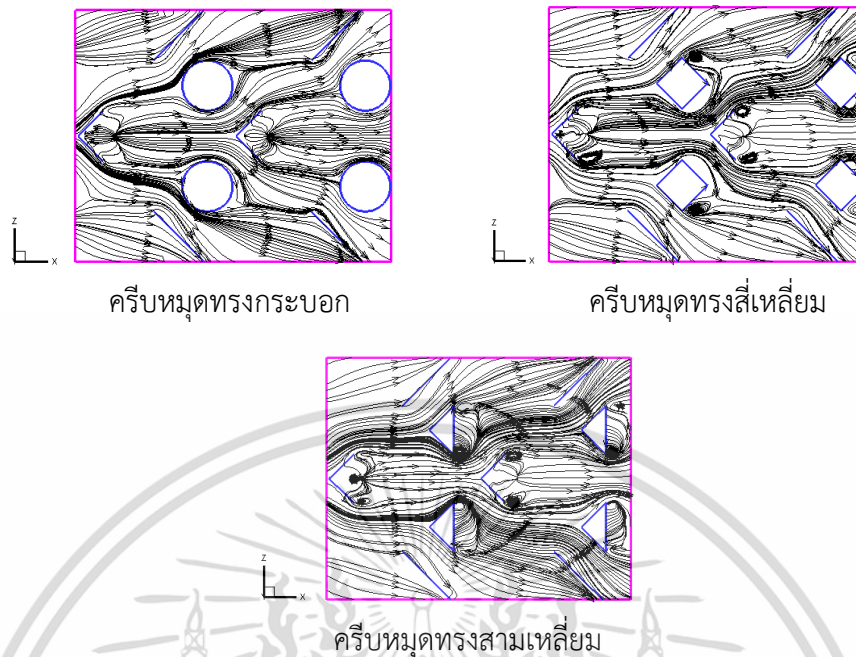
จากรูปที่ 5.38 แสดงให้เห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ของท่อที่ติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัวเจาะรู มีค่าสูงสุด ที่ $Re = 5,000$ $d_r/H = 0.0125$ และ $\alpha = 30^\circ$ มีค่าเท่ากับ 2.679 เมื่อเปรียบเทียบค่า TEF จากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงค่า d_r/H พบว่าแบบจำลองที่มีค่า $d_r/H = 0.0125$ มีให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือ $d_r/H = 0.005$ และ $d_r/H = 0.025$ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่า TEF ของแต่ละแบบจำลองมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบค่า TEF จากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหลจะพบว่าเมื่อเพิ่มค่า α ให้สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่า TEF ที่น้อยลง

5.7 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบบนรูปทรงต่างๆ

หลังจากทำการทดลองโดยการปรับปรุงลักษณะของแผ่นกั้นในหลายรูปแบบ เช่นการปรับมุมของแผ่นกั้นทั้งที่บริเวณ RM และ RW หรือรวมไปถึงการเจาะรูแผ่นกั้น แต่ยังไม่สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้มากหรือส่วนใหญ่จะทำให้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าแบบจำลองต้นแบบ ดังนั้นจึงนำครีบบนรูปทรงเข้ามาติดตั้งร่วมกับแผ่นกั้นตัววีเพื่อให้แบบจำลองมีค่าการสูญเสียความดันภายในน้อยลง และเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยรูปแบบเฉพาะของครีบบนรูปทรงสามเหลี่ยม ทำให้อากาศไหลผ่านได้ง่ายกว่าแผ่นกั้นรูปสี่เหลี่ยม โดยจะทำการทดลองและเปรียบเทียบครีบบนรูปทรง 3 รูปทรง คือ 1. รูปทรงกระบอก 2. รูปทรงสี่เหลี่ยม 3. รูปทรงสามเหลี่ยม ซึ่งจะคงที่ค่า $BR = 0.05$ และ เปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหล 3 ค่า

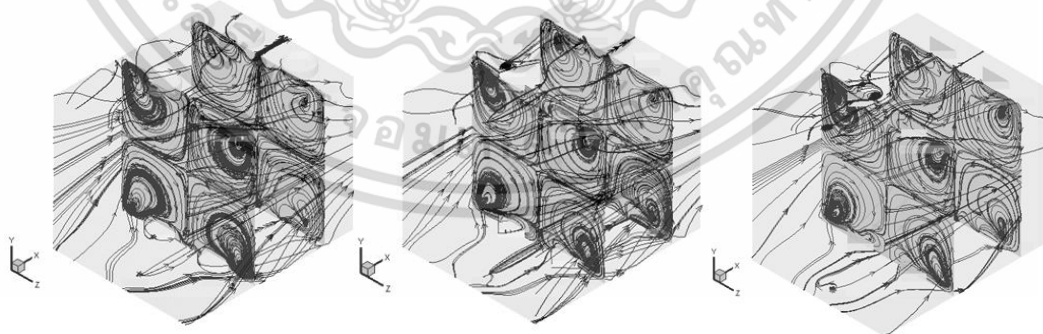
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7.1 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมการไหล



รูปที่ 5.39 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวร่วมกับครีบหมุดรูปทรงต่างๆ ที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากการสังเกตพฤติกรรมการไหลของครีบทรงกระบอกพบว่า ครีบทรงกระบอกไม่สามารถทำให้อากาศเกิดการไหลวนได้ยกเว้นถ้าปรับให้แผ่นกั้นตัววีทำมุมปะทะการไหลเท่ากับ 60° แต่เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองต้นแบบแล้วจะเห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถทำให้อากาศเปลี่ยนทิศทางได้มากขึ้นตามแนวพื้นผิวของครีบ สำหรับครีบรูปทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมสามารถทำให้เกิดการไหลวนที่บริเวณด้านหลังของครีบ และทั้งสามแบบจำลองนี้ยังคงทำให้เกิดการไหลวนของอากาศที่บริเวณหลังแผ่นกั้นตัววีที่กลางท่ออีกด้วย



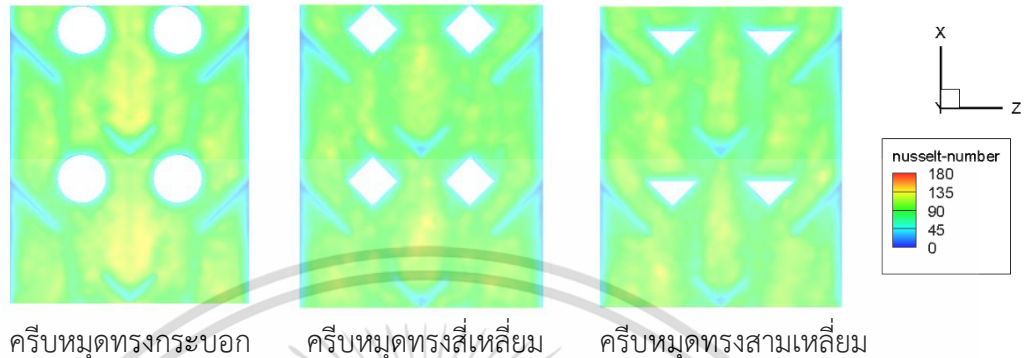
รูปที่ 5.40 รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านหน้าตัด Y-Z ที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากการเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอากาศในหน้าตัด Y-Z พบว่าแบบจำลองทั้ง 3 ส่งผลให้เกิดการไหลที่คล้ายกันมากๆ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหลของแผ่นกั้นตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

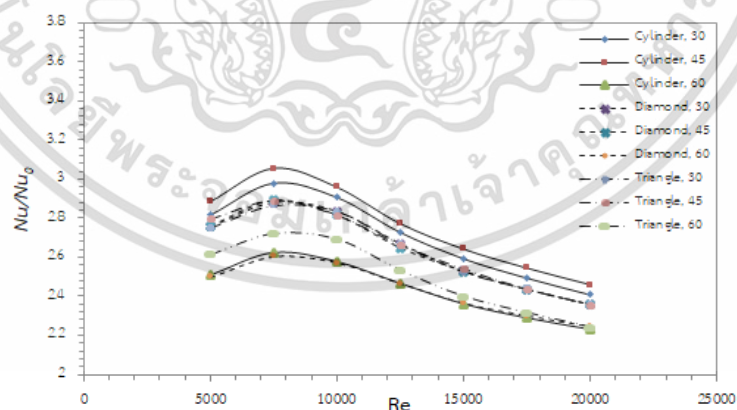
ยังคงส่งผลกระทบต่อเรื่องระยะห่างของแผ่นกั้นกับครีบบนแบบหมุดเช่นเดียวกับแบบจำลองต้นแบบ จึงอาจทำให้มีการไหลที่แตกต่างออกไปนั่นเอง

5.7.2 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน



รูปที่ 5.41 รูปแสดงการกระจายตัวของค่าตัวเลขของผนังท่อด้านล่างที่ค่า $\alpha=45^\circ$ และเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000

จากรูปที่ 5.41 จะเห็นว่าครีบบนทรงกระบอกสามารถทำให้มีค่าตัวเลขเฉลี่ยมากกว่าอีก 2 แบบจำลอง และผลกระทบจากการติดครีบบนแบบหมุดนั้นสามารถช่วยทำให้ค่าตัวเลขกระจายตัวได้ดีกว่าแบบจำลองต้นแบบ แต่อาจจะได้ค่าที่น้อยกว่า เนื่องจากการติดครีบบนแบบหมุดนั้นเสียพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนไปตามขนาดของครีบบนจึงอาจส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่าแบบจำลองต้นแบบ และเมื่อเปรียบเทียบค่าตัวเลขเฉลี่ยกับแบบจำลองต้นแบบแล้วพบว่าการติดครีบบนแบบหมุดร่วมกับแผ่นกั้นตัววีนนั้นส่งผลให้มีค่าสัดส่วนตัวเลขที่น้อยลงอย่างมีนัยดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.42

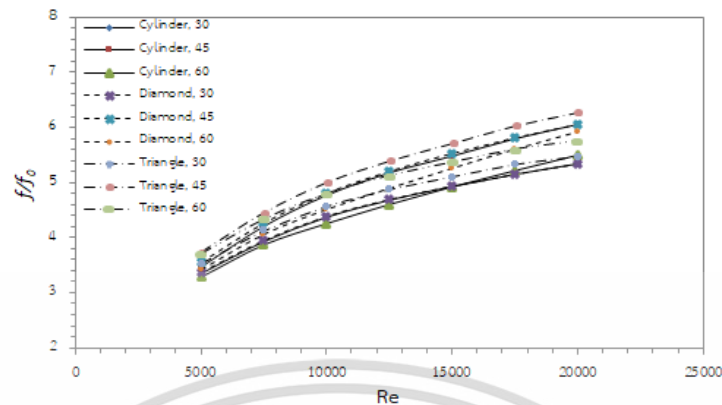


รูปที่ 5.42 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าตัวเลขเฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 5.42 จะเห็นว่าแบบจำลองที่ติดครีบบนทรงกระบอกมีค่าสัดส่วนตัวเลขที่สูงที่สุด รองลงมาคือแบบจำลองที่ติดครีบบนทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงสามเหลี่ยมตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบที่ค่ามุมปะทะการไหลเท่ากับ 45° และเรย์โนลด์เท่ากับ 7,500 แต่เมื่อเทียบที่ค่ามุมของตัววีนเท่ากับ 60°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

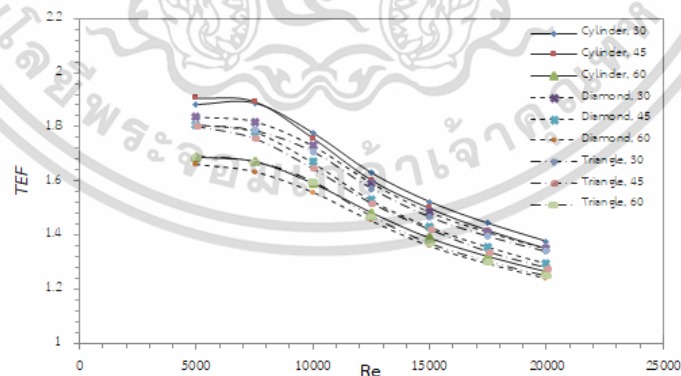
จะเห็นว่ารูปทรงสามเหลี่ยมสามารถให้ค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่สูงที่สุดเนื่องจากแบบจำลองนี้สามารถทำให้เกิดการไหลวนของอากาศได้มากกว่านั่นเอง



รูปที่ 5.43 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากการทดลองจะพบว่าแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยครีบริบรูปทรงกระบอกจะมีการสูญเสียความดันภายในน้อยที่สุดอันเนื่องมาจากรูปร่างเฉพาะของทรงกระบอกที่ไม่ทำให้อากาศเปลี่ยนทิศทางการไหลในทันทีเมื่อไหลผ่านเหมือนกับรูปทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม ที่เมื่ออากาศไหลผ่านปลายครีบลแล้วจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศในทันทีและเกิดการไหลวนในเวลาต่อมา นอกจากนี้กราฟในรูปที่ 5.43 ยังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีครีบริบรูปทรงสามเหลี่ยมมีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานมากที่สุดรองลงมาคือรูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงกระบอกตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบเป็นชนิดของครีบบแบบมุม ซึ่งมีแนวโน้มที่เหมือนกันเมื่อเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหล เมื่อพิจารณาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุมปะทะการไหลของแต่ละแบบจำลองจะเห็นว่า มุมเท่ากับ 45° ส่งผลให้มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ 30° และ 60° ตามลำดับ

5.7.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

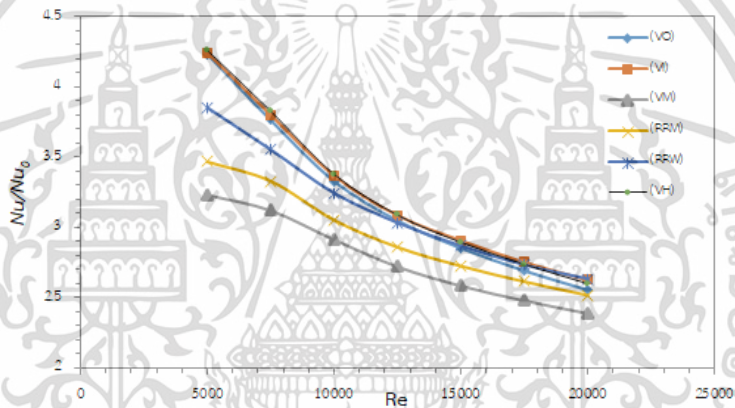
จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหล ค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ และการสูญเสียความดันของแต่ละแบบจำลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าแบบจำลองที่มีครีบริบเป็นรูปทรงกระบอกสามารถให้ค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่สูงที่สุด และยังมี การสูญเสียความดันภายในน้อยที่สุดอีกด้วย ซึ่งผลลัพธ์เช่นนี้เกิดมาจากลักษณะของรูปทรงกระบอกไม่ทำให้การไหลของอากาศไปรบกวนการไหลในบริเวณกลางท่อที่ผ่านแผ่นกั้นตัวที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อนที่สูงอยู่แล้วจึงส่งผลให้มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่สูง และพฤติกรรมการไหลผ่านครีบนี้อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางที่กระทันหันจึงทำให้มีค่าการสูญเสียความดันภายในที่น้อยได้อีกด้วย ดังนั้นเมื่อมาเปรียบเทียบกราฟค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจึงจะเห็นว่าครีบบรูปทรงกระบอกมีค่าที่สูงที่สุด รองลงมาคือรูปทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.905 และน้อยที่สุดเท่ากับ 1.241 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 และ 20,000 ตามลำดับ

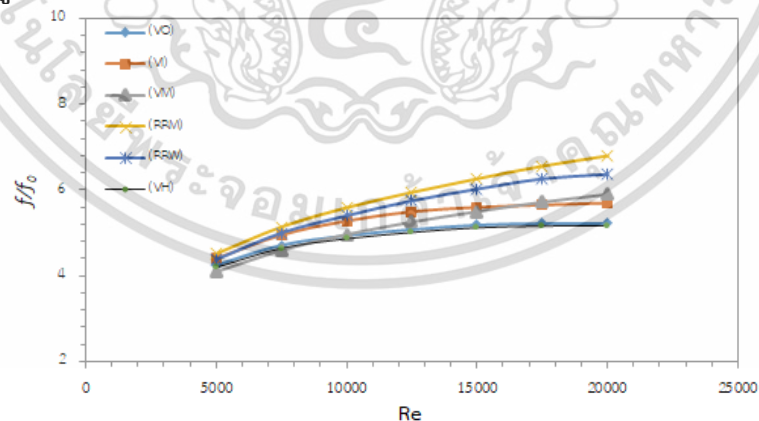
5.8 การเปรียบเทียบแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองปรับปรุง

การเปรียบเทียบของแบบจำลองนี้จะเป็นการนำเอาแบบจำลองย่อยที่มีแนวโน้มของค่า TEF สูงที่สุดนั่นคือแบบจำลองย่อยที่มีค่า $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ มาเปรียบเทียบกัน โดยการนำเสนอข้อมูลแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 ff_0 และ TEF กับค่า Re

5.8.1 การถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน



รูปที่ 5.45 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่านัสเซิลท์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ



รูปที่ 5.46 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

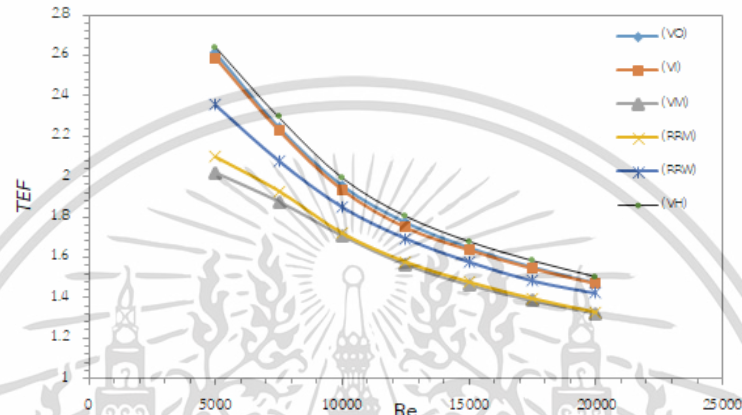
จากการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนนัสเซิลท์พบว่าแบบจำลองแผ่นกั้นตัววีแยกตัวเจาะรูมีค่าสูงที่สุด และมีค่ามากกว่าแบบจำลองต้นแบบ เพียงเล็กน้อย เนื่องจากอิทธิพลจาก punch jet ที่เกิดขึ้นหลังแผ่นกั้นและรูเจาะ สำหรับแบบจำลองที่มีค่าน้อยที่สุดคือแบบจำลอง VM เนื่องจากผลกระทบของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบกันของกระแสอากาศที่ผ่านแผ่นกั้นตัววีตรงกลางและที่ VM ส่งผลให้อากาศมีพลังงานจลน์ลดลงที่บริเวณกึ่งของของทั้งสองแผ่นกั้น

แบบจำลองที่มีการสูญเสียความดันภายในมากที่สุดคือแบบจำลอง RRW เนื่องจากการไหลของอากาศในแบบจำลองนี้เกิดการกระทบกันของหลายๆกระแสที่ผ่านแผ่นกั้นจึงทำให้อากาศสูญเสียพลังงานจลน์ไปเยอะที่สุดดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.4 และแบบจำลองที่มีการสูญเสียความดันภายในที่น้อยที่สุดและใกล้เคียงกันคือแบบจำลองแผ่นกั้นตัววีแยกตัวเจาะรู และแบบจำลองต้นแบบตามลำดับ

5.8.2 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

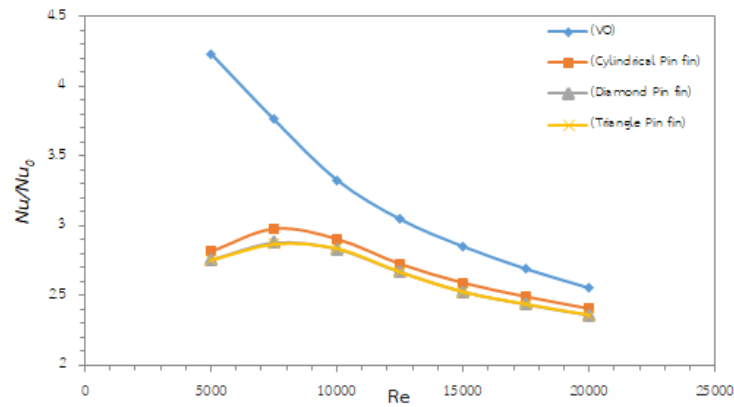
จากรูปที่ 5.47 จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดคือแบบจำลองแผ่นกั้นตัววีแยกตัวเจาะรู เนื่องจากแบบจำลองนี้มีค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ที่สูงที่สุด และยังมีการสูญเสียแรงดันที่น้อยที่สุดอีกด้วย สำหรับแบบจำลองที่มีค่าน้อยที่สุดคือแบบจำลอง VM

5.9 การเปรียบเทียบแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัว (ต้นแบบ) และแบบจำลองที่ติดตั้งร่วมกับครีบบวม

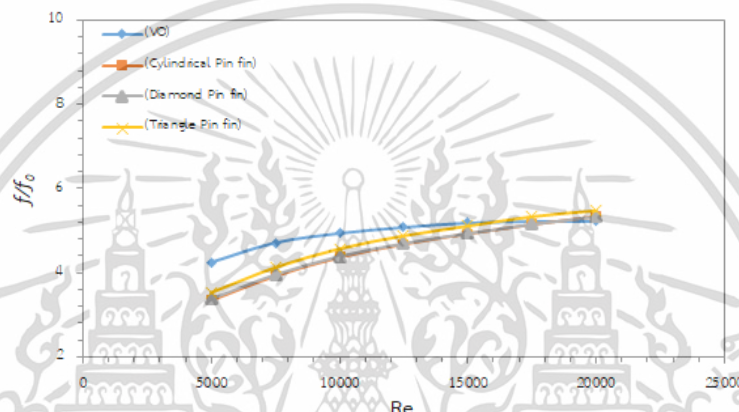
หัวข้อนี้เป็นการนำแบบจำลองต้นแบบมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ติดตั้งร่วมกับครีบบวมทุกทั้ง 3 รูปทรง นั่นคือ รูปทรงกระบอก รูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงสามเหลี่ยม โดยการนำเอาแบบจำลองย่อยที่มีแนวโน้มของค่า TEF สูงที่สุดนั่นคือแบบจำลองย่อยที่มีค่า $BR = 0.05$ และ $\alpha = 30^\circ$ มาเปรียบเทียบกับ และนำเสนอข้อมูลแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 f/f_0 และ TEF กับค่า Re

5.9.1 การถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดัน

จากรูปที่ 5.48 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองต้นแบบมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดสำหรับทุกช่วงของค่าเรย์โนลด์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความแตกต่างจากแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยครีบบวมอย่างมาก เนื่องจากครีบบวมทำให้อากาศไหลผ่านปั่นป่วนน้อยกว่าและมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่าด้วยเช่นกัน



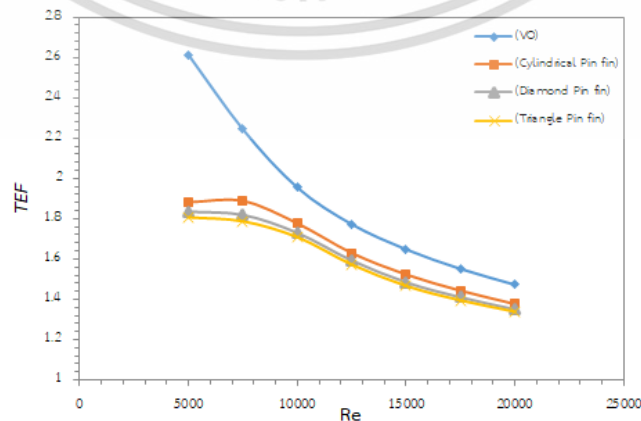
รูปที่ 5.48 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าสเกลต์เฉลี่ย ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ



รูปที่ 5.49 กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

นอกจากแบบจำลองต้นแบบสามารถให้ค่าสัดส่วนสเกลต์ที่สูงที่สุดอย่างมากแล้ว ก็ยังส่งผลให้มีการสูญเสียความดันภายในเยื่อกว่าแบบจำลองที่ติดครีบบแบบหมุนรวมอีกด้วย โดยมีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานสูงกว่าแต่เป็นอัตราที่ไม่มากเท่ากับ ความแตกต่างของค่า Nu/Nu_0 และกราฟของแบบจำลองต้นแบบมีอัตราที่เพิ่มน้อยกว่าอีกแบบจำลองอีกด้วยซึ่งจะเห็นว่าที่ค่าเรย์โนลด์ตั้งแต่ 15,000 ขึ้นไป จะเริ่มมีแนวโน้มที่มีค่าน้อยกว่า

5.9.2 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความแตกต่างของอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าสัดส่วนหนี้เฉลี่ยและตัวประกอบแรงเสียดทานของแบบจำลองต้นแบบกับแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยวิธีแบบหมุนวนนั้นส่งผลให้ แบบจำลองต้นแบบมีค่า *TEF* ที่สูงที่สุดอย่างเห็นได้ชัดตามที่แสดงในรูปที่ 5.50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นและครีบริบบรูปแบบต่างๆสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี รวมไปถึงมีการสูญเสียความดันภายในที่น้อย กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงค่า Blockage ratio ค่ามุมของแผ่นกั้นที่ปะทะการไหล และค่าเลขเรย์โนลด์ นั้นล้วนแต่ทำให้โอกาสมีพฤติกรรมการไหลที่แตกต่างออกไปบ้างส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น แต่มีค่าการสูญเสียความดันภายในที่มาก บ้างก็มีการถ่ายเทความร้อนที่น้อย จะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางกายภาพของครีบริบบทรงนั้นๆ ซึ่งจะทำการแยกเป็นหัวข้อย่อยตามปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตามที่ได้กำหนดไว้ในบทก่อนหน้าดังนี้

6.1.1 อิทธิพลของการปรับปรุงรูปแบบของแผ่นกั้นและครีบริบต่าง

ในการปรับปรุงรูปแบบของแบบจำลองโดยการคำนึงถึงการทำให้เกิดการไหลวนให้ได้มากที่สุดแล้วจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นอย่างมีนัยนั้น การศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถสรุปได้ดังเช่นนั้น แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงการสูญเสียพลังงานจลน์ของอากาศหลังจากที่กระแสการไหลมากระทบกันด้วย เนื่องจากจะทำให้อากาศตกอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งจึงทำให้ชั้นขอบเขตของความร้อนที่บริเวณนี้สะสมให้สูงขึ้น รวมไปถึงการทำให้เกิดการไหลวนที่บริเวณมุมท่อซึ่งที่บริเวณมุมท่อนี้เองเป็นจุดที่มีค่าแรงเสียดทานมากที่สุดจึงอาจจะทำให้อากาศที่มาไหลวน ณ จุดนี้เสียพลังงานจลน์ไปค่อนข้างมาก และทำให้อากาศหยุดนิ่งที่บริเวณนี้ด้วยเช่นกัน นอกจากการที่ทำให้อากาศมีการไหลวนมากขึ้นแล้วจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นในบางแบบจำลอง แล้วยังมีวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการเจาะรูแผ่นกั้นเพื่อให้เกิด punch jet ที่บริเวณกลางแผ่นซึ่งสามารถช่วยให้อากาศที่หยุดนิ่งด้านหลังของแผ่นกั้นมีการไหลเพิ่มขึ้นจากการกระแทกของกระแส punch jet

6.1.2 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงเลขเรย์โนลด์

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่า Re พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มที่น้อยลงแต่เมื่อพิจารณาเพียงค่า Nu เดี่ยวจะเห็นว่า Nu เพิ่มขึ้นตามค่า Re แต่เมื่อค่าเพิ่มค่า Re ให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า f/fo มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สำหรับทุกกรณีการศึกษา ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลถึงค่าอัตราของการสูญเสียความดันภายในที่เพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับกรณีที่นำมาศึกษา พบว่าที่ $Re = 5,000$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงที่สุด แต่ f/fo น้อยที่สุด และที่ $Re = 20,000$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ต่ำที่สุด แต่ f/fo มากที่สุด นอกจากค่า Re จะมีผลต่อ Nu/Nu_0 และ f/fo แล้วค่า Re ยังมีผลต่อเกลียวการไหลของไหลก่อนการกระแทกและหลังการกระแทกตามระนาบ Y-Z ที่บริเวณผนังท่ออีกด้วย เนื่องจากค่า Re ที่เพิ่มสูงขึ้นคือการเพิ่มความเร็วของอากาศ จึงทำให้เกลียวของการหมุนวนก่อนการกระแทกและหลังการกระแทกจะสั้นลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อระดับความรุนแรงในการกระแทกอีกด้วย เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ความรุนแรงในการกระแทกก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อและของไหลในท่อได้ดีขึ้นแต่อย่างไรก็ตามเราจะสูญเสียเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นหลังการพิจารณาแล้วจึงสรุปได้ว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนหรือมีค่า Nu ที่สูงขึ้น และยังมีการสูญเสียความดันหรือค่า f/fo ที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

6.1.3 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงค่า Blockage ratio (BR)

จากผลการทดลองที่ได้นำเสนอและอธิบายไปในบทที่แล้ว เราได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงค่า BR สำหรับแบบจำลองที่ 5.1 5.2 และ 5.3 จะพบว่าเมื่อเพิ่มค่า BR ให้สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่า Nu/Nu_0 และ f/fo สูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มค่า BR จะช่วยทำให้อากาศมีช่องในการไหลวนที่กว้างกว่าแบบจำลองที่มีค่า BR ที่น้อย และมีความรุนแรงในการปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งแนวโน้มนี้เกิดขึ้นเหมือนกันกับทั้ง 3 แบบจำลอง สำหรับแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.10$ จะมีค่า Nu/Nu_0 และ f/fo ที่สูงที่สุด และ $BR = 0.05$ จะมีค่า Nu/Nu_0 และ f/fo ที่ต่ำที่สุด

6.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะการไหล (α)

สำหรับอิทธิพลของมุมปะทะการไหลนั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น หรือน้อยลงแล้วจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนแปรผันตาม เนื่องแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นตัววีแยกส่วนนั้นเมื่อถูกเปลี่ยนแปลงค่ามุมแล้วจะส่งผลให้มีค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ระยะห่างของแต่ละแผ่นกั้น ความยาวของแผ่นกั้น เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เองจึงทำให้แบบจำลองต่างๆ ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไป โดยเห็นได้ชัดจากแบบจำลองที่มีค่ามุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° ส่วนใหญ่จะเห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 45^\circ$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/fo ที่สูงที่สุด และ $\alpha = 60^\circ$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุด และเมื่อแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ จะให้ค่า f/fo ที่น้อยที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะเชิงความร้อนแล้วจะพบว่าแบบจำลองที่มีค่า $\alpha = 30^\circ$ จะให้ค่าสูงที่สุดในทุกกรณี

6.1.5 ความเหมาะสมในการนำครีบบนรูปมาติดตั้งร่วม

หลักการและแนวคิดในการนำครีบบนรูปมาติดตั้งร่วมกับแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วนคือเพื่อลดการสูญเสียความดันภายในจากลักษณะเฉพาะของรูปทรงของครีบบนรูปนั้น จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าผลลัพธ์เป็นเช่นนั้นจริง โดยครีบบนรูปทุกรูปทรงส่งผลให้มีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทาน หรือการสูญเสียความดันภายในที่น้อยกว่าแบบจำลองที่ติดตั้งเฉพาะแผ่นกั้นตัววีแบบแยกส่วน รวมไปถึงแบบจำลองที่ดัดแปลงทุกแบบจำลองก็เช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าการถ่ายเทความร้อน หรือค่าสัดส่วนนัสเซิลท์แล้วพบว่าแบบจำลองที่ติดตั้งด้วยครีบบนรูปนั้นมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัย เนื่องจากการสูญเสียพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนไป และแผ่นกั้นตัววีแยกส่วนสามารถสร้างความปั่นป่วนของอากาศได้มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด และโดยเฉพาะค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ที่เกิดขึ้นจากครีบบนรูปนั้นมีค่าน้อยกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งครีบบนรูปร่วมกับแผ่นกั้นตัววีนั้นสามารถลดการสูญเสียความดันภายในได้ แต่ไม่สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้มากเท่าที่ควรจึงไม่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.6 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากแบบจำลองค่อนข้างมีความหลากหลายและมีจำนวนเยอะ ดังนั้นจะนำเสนอค่า Nu/Nu_0 , f/f_0 และ TEF เป็นตารางและแสดงถึงค่าสูงสุดต่ำสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,000 ถึง 20,000 ดังแสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 ตารางสรุปผลค่าสัดส่วนนัสเซิลท์ ตัวประกอบแรงเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของแต่ละแบบจำลอง

ชื่อย่อแบบจำลอง	Nu/Nu_0	f/f_0	TEF	Highest model
VO	2.55 – 4.23	4.25 – 5.21	1.47 – 2.61	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
VI	2.62 – 4.24	4.40 – 5.70	1.47 – 2.58	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
VM	2.38 – 3.23	4.09 – 5.89	1.23 – 2.01	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
RRM	2.51 – 3.46	4.51 – 6.79	1.32 – 2.09	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
RRW	2.63 – 3.85	4.38 – 6.36	1.42 – 2.35	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
VH	2.60 – 4.34	4.19 – 5.16	1.50 – 2.68	$d_p/H=0.0125, \alpha=30^\circ$
V-shaped + Cylindrical pin fin	2.40 – 2.97	3.34 – 5.34	1.37 – 1.88	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
V-shaped + Diamond pin fin	2.35 – 2.87	3.38 – 5.33	1.35 – 1.83	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$
V-shaped + Triangle pin fin	2.36 – 2.86	3.53 – 5.47	1.33 – 1.80	$BR=0.05, \alpha=30^\circ$

จากตารางที่ 6.1 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีค่า $BR = 0.05$ และค่า $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าม่อื่นๆ ของแต่ละแบบจำลอง และแบบจำลองที่มีค่า TEF สูงที่สุดคือ แบบจำลองแผ่นกั้นตัววีแยกตัวเจาะรู (VH) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.678 ถ้านำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองต้นแบบจะพบว่ามีค่ามากกว่า 1.027 เท่า และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อผิวเรียบถึง 4 เท่า

6.2 ข้อเสนอแนะการพัฒนางานวิจัย

จากการศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อบกพร่องเรื่องการเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหลแล้วไปส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องควบคุมเปลี่ยนแปลงไปด้วยจึงไม่สามารถนำการเปลี่ยนแปลงค่ามุม 30° , 45° และ 60° นี้มาเปรียบเทียบกัน ดังนั้นควรที่จะคงที่ค่าความยาว และระยะห่างของแผ่นกั้นก่อนที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงค่ามุมปะทะการไหลซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีแนวโน้มของกราฟที่เหมือนกัน

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นตัววีแยกส่วน หรือแผ่นกั้นแบบอื่นๆสามารถนำวิธีการเจาะรูไปใช้ได้ เนื่องจากรูเจาะนี้สามารถทำให้อากาศที่อยู่บริเวณด้านหลังแผ่นกั้นนั้นเคลื่อนที่ต่อไปได้จากการกระแทกของกระแส punch jet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Promvonge, Changcharoen, Kwankaomeng, Thianpong. 2011. "Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs." **International Communications in Heat and Mass Transfer**. (38): 1392-1399.
- [2] Peng, Jiang, Wang, Wei. 2011. "Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in channels with different types of ribs." **Applied Thermal Engineering**. (31): 2702-2708.
- [3] Liu, Wang, Hussain, Wang, Xie, Sunden. 2018. "Application of fractal theory in the arrangement of truncated ribs in a rectangular cooling channel (4:1) of a turbine blade." **Applied Thermal Engineering**. (139): 488-505.
- [4] Promthaisong, Eiamsa-ard. 2019. "Fully developed periodic and thermal performance evaluation of a solar air heater channel with wavy-triangular ribs placed on an absorber plate." **International Journal of Thermal Sciences**. (140): 413-428.
- [5] Tamma, Skullong, Thiapong, Promvonge. 2014. "Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators." **Solar Energy**. (110): 720-735.
- [6] Promvonge, Suwannapan, Pimsarn, Thianpong. 2014. "Experimental study on heat transfer in square duct with combined twisted-tape and winglet vortex generators." **International Communications in Heat and Mass Transfer**. (59): 158-165.
- [7] Wang, Liu, Wang, Sunden, Wang. 2018. "Numerical investigation of heat transfer and fluid flow in a rotating rectangular channel with variously-shaped discrete ribs." **Applied Thermal Engineering**. (129): 1369-1381.
- [8] Li, Tang, Yang. 2018. "Numerical simulation and thermal performance optimization of turbulent flow in a channel with multi V-shaped baffles." **International Communications in Heat and Mass Transfer**. (92): 39-50.
- [9] Han, Xu, Wang. 2018. "Numerical simulation on heat transfer characteristics of rectangular vortex generators with a hole." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. (126): 991-1001.
- [10] Promthaisong, Eiamsa-ard, Jedsadaratanachai. 2016. "Turbulent heat transfer and pressure loss in a square channel with discrete broken V-rib turbulator." **Journal of Hydrodynamics**. 28(2): 275-283.
- [11] Zhao, Liu, Zhang, Guan, Zhao. 2016. "Pressure drop and friction factor of a rectangular channel with staggered mini pin fins of different shapes." **Experimental Thermal and Fluid Science**. (71): 57-69.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Wang, Zhang, Wang. 2012. "Investigation on flow and heat transfer characteristics in rectangular channel with drop-shaped pin fins." **Propulsion and Power Research**. 1(1): 64-70.
- [13] Caliskan, Baskay. 2012. "Experimental investigation of impinging jet array heat transfer from a surface with V-shaped and convergent-divergent ribs." **International Journal of Thermal Sciences**. (59): 234-246.
- [14] Pandit, Thompson, Ekkad, Huxtable. 2014. "Effect of pin fin to channel height ratio and pin fin geometry on heat transfer performance for flow in rectangular channels." **International Journal of Heat and Mass Transfer**. (77): 359-368.
- [15] ANSYS. Inc., "ANSYS Fluent Theory Guide", Release 18.0, (2017).
- [16] พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2542. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 167-252.
- [17] กীরติ สุลักษณ์. 2553. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 13-122.
- [18] จันทกานต์ ทวีกุล. กลศาสตร์ของไหล 1. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 215-241.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

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	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	67.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	296	137	589	0.672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงตัวเลขสำหรับการไหลปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีการเพิ่มครีบริงทรงกระบอกและครีบริงตัววีแยกส่วน

Numerical study on turbulent flow and heat transfer in square duct with cylindrical pin fin and V-shaped discrete rib

วิทาตา เจษฎารัตนชัย¹ และ นราพล แดนป่ากลาง^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: E-mail: naraphon.dan@gmail.com, โทร: 097-079-1818

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการไหลแบบปั่นป่วน และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมโดยการศึกษาเชิงตัวเลข และใช้การคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite volume method) และ SIMPLE algorithm ในการหาคำตอบ ซึ่งวิเคราะห์ผลกระทบของค่า Blockage Ratio (BR=0.05, 0.075, และ 0.125) ครีบริงตัววีทำมุม ($\alpha=30, 45,$ และ 60 องศา) และ Pitch ration (PR) เท่ากับ 0.625 โดยใช้อากาศไหลผ่านที่ค่าเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 5,000 ถึง 17,000 ผลการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น และเมื่อค่า BR สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน (f/f_0) เพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) เป็นสำคัญ สำหรับงานวิจัยนี้ครีบริงที่มี BR=0.05 ทำมุม $\alpha=45$ องศา ที่ค่าเรย์โนลด์ เท่ากับ 5,000 มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด เท่ากับ 2.07 และมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อเรียบ 3.32 เท่า

คำหลัก: ครีบริงตัววี, การไหลแบบต่อเนื่อง, ท่อสี่เหลี่ยม, การไหลแบบปั่นป่วน, การแลกเปลี่ยนความร้อน

Abstract

The turbulent flow and heat transfer in a square channel heat exchanger with cylindrical pin fin and V-shaped discrete rib were studied numerically. The finite volume method with SIMPLE algorithm was selected to solve the present problem. The effects of blockage ratio (BR=0.05, 0.075 and 0.125) and flow attack angle ($\alpha=30^\circ, 45^\circ$ and 60°) were investigated with single pitch ratio (PR) of 0.625 and Reynolds number range between 5,000 to 17,000. The results showed that the heat transfer rate has a down trend when Reynolds number is increased. The raise of BR values leads to increase the heat transfer rate and friction loss. Therefore the thermal performance should be mainly considered. This inserting duct at BR=0.05, $\alpha=45$ degree, and Re=5,000 provides the highest thermal performance is around 2.07 and there is heat transfer rate higher than the smooth duct about 3.32 times.

Keywords: V-shaped discrete rib, Periodic flow, Square duct, Turbulent flow, Heat transfer

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ได้ถูกนำมาพัฒนากันอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่จะพัฒนาในส่วนของคุณสมบัติการไหลของสารเพื่อให้เกิดการไหลวนให้มากที่สุด และมีค่าการสูญเสียแรงเสียดทานน้อยอย่างเหมาะสม หลักการการทำให้สารไหลวนนั้นคือการติดตั้งด้วย Vortex Generators เช่น ครีบ (fins), แผ่นกั้น (baffles), ribs, ใบบิด (twisted tapes), ขดลวด (wire coils), และ ปีก (winglets) เข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในบทความนี้เราจะกล่าวถึงเครื่องยนต์ของเครื่องบิน (Gas Turbine Engine) ก็จำเป็นต้องมีการระบายความร้อน จากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างที่เครื่องยนต์กำลังทำงานให้กับใบพัดโดยใช้อากาศไหลผ่านช่องภายในใบพัดเพื่อหลีกเลี่ยงให้อุณหภูมิของใบพัดไม่ร้อนถึงจุดหลอมเหลวของวัสดุ ดังนั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจึงมีการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทั่วไปเทคนิคการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนได้แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม [1-3] คือ กลุ่มที่ 1 แบบ active techniques แต่ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน วิธีที่ได้รับความนิยมกันส่วนมากก็คือ วิธีการแบบ passive techniques เป็นการออกแบบลักษณะพื้นผิวของท่อแบบพิเศษต่างไปจากผิวเรียบและปรับปรุงของไหลหรือสารทำงานเพื่อให้มีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีมากขึ้นโดยไม่มีพลังงานภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง

สำหรับ Vortex generators ที่นำมาพัฒนานั้นมีหลากหลายรูปแบบ Promvong et al. [4] ได้ทำการทดลองคำนวณเชิงตัวเลข หรือ Computation Fluid Dynamics สำหรับการไหลในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดครีบแบบ V-shaped discrete ribs โดยใช้ค่า $Re=10,000$ ถึง $25,000$ และเปลี่ยนแปลงค่า Blockage ratio (BR) ผลการทดลองพบว่าที่ $BR=0.0725$ มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่าสูงถึง 4.0 เท่า เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้น จึงมีการนำครีบต่างๆ เข้ามาติดร่วมกัน เช่น ครีบแบบปีกร่วมกับใบบิด (Twisted-tape) Promvong et al. [5] ในท่อบรรจุสี่เหลี่ยม ทดลองโดยกำหนดค่าเรย์โนลด์ในช่วง 4,000 ถึง 30,000 ค่า twist ratio $Y=4$ และ 5 ค่าอัตราส่วนความสูงของท่อ $BR=0.1, 0.15$ และ 0.2 , มีค่าอัตราส่วนของระยะห่างของครีบแบบปีก $PR=2, 2.5, 4$ และ 5 พบว่าที่ $BR=0.1, PR=2$ และ $Y=4$ ให้ค่าสมรรถนะเชิง

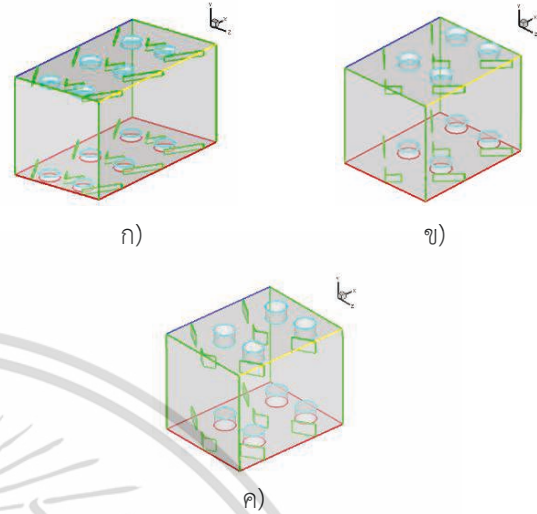
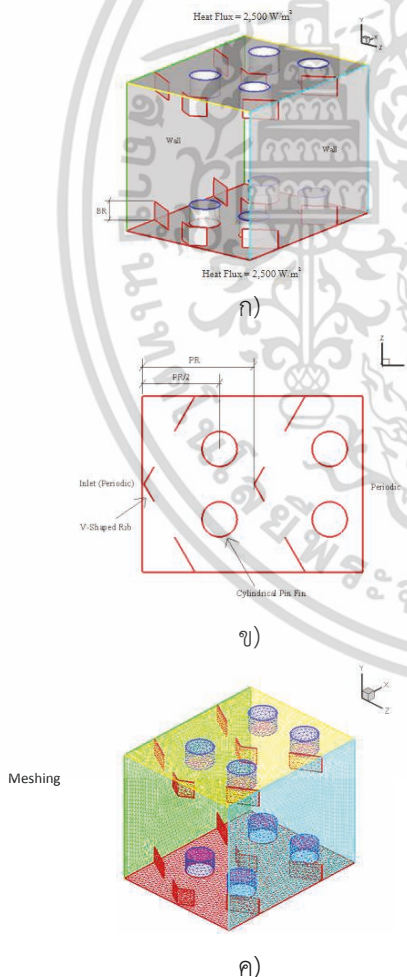
ความร้อนสูงสุด และการติดตั้งใบบิดร่วมกับครีบแบบปีกให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่า การติดเฉพาะใบบิดอย่างเดียวถึง 17% และยังมีนักวิจัยหลายๆท่านที่ได้คิดลักษณะของครีบแบบใหม่ๆขึ้นมาเช่น Caliskan [6] ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ (Channel) ด้วยครีบแบบปีก (Winglet-type) มี 2 แบบคือ Punched triangular vortex generators (PTVGs) และ Punched rectangular vortex generators (PRVGs) ผลการทดลองพบว่าได้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อเปล่าเท่ากับ 23-55% สำหรับการติดตั้งครีบแบบชนิดนั้นได้มีนักวิจัยได้ทำการทดลองไว้แล้ว แต่นำมาใช้ในท่อแบบกลม Eiamsa-ard et al. [7] ได้ทำการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมด้วยแผ่นบิด โดยที่วิเคราะห์อยู่ในช่วง $Re=2,300$ ถึง $8,800$ ผลการทดลองได้ว่ามีค่าประสิทธิภาพมากกว่าท่อเรียบเท่ากับ 50% สำหรับครีบแบบหมุด (Pin fin) ก็ได้ถูกนำมาพิจารณาในการติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมด้วยเช่นกัน [8] Fengming et al. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความดันลดภายในระบบของครีบแบบหมุด ในรูปแบบต่างๆ เช่น แบบกลม วงรี และนำการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าหาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขด้วย ซึ่งผลที่ได้คือ ครีบแบบหมุดทรงกระบอกมีการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำครีบตัววีแยกส่วนมาติดตั้ง ร่วมกับครีบทรงกระบอก เนื่องจากลักษณะของครีบทรงกระบอกมีแนวโน้มที่จะช่วยให้มีค่าตัวประกอบแรงเสียดทานน้อยลงถ้าเทียบกับการติดครีบตัววีแยกส่วนอย่างเดียว และมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนใกล้เคียงกับครีบที่ไม่ได้นำมาพิจารณา ซึ่งรูปแบบที่นำมาติดตั้งร่วมกันตาม รูปที่ 1 และพิจารณาการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม เพื่อหาสมรรถนะเชิงความร้อน โดยใช้กระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข (Computation Fluid Dynamics) หาผลเฉลยของค่าประสิทธิภาพ และตัวประกอบแรงเสียดทาน มาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบระหว่างค่าเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,000 ถึง 17,000

2. โครงสร้างการไหลและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมที่มีการใส่ครีบทัววีแยกส่วนร่วมกับครีบทรงกระบอก

แบบจำลองที่นำมาศึกษานี้เป็นการไหลในท่อสี่เหลี่ยม ที่มีความสูง (H) เท่ากับ 0.04 เมตร และความสูงของครีบทัววีในท่อต่อความสูงท่อหรือ Blockage ratio (BR) เท่ากับ 0.05, 0.075 และ 0.125 โดยที่ครีบทัววีแยกส่วนทำมุมกับแนวท่อ (α) เท่ากับ 30, 45 และ 60 องศา ระยะ Pitch ratio (PR) เท่ากับ 0.625 และ ครีบทรงกระบอกมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.2 โดยที่ระยะห่างระหว่าง ครีบทัววีแยกส่วนและจุดศูนย์กลางของครีบทรงกระบอก เท่ากับ PR/2 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 2. ก) BR=0.05, $\alpha=30$ องศา ข) BR=0.075, $\alpha=45$ องศา ค) BR=0.125, $\alpha=60$ องศา

2.2 สมการควบคุม

สมมติฐานของแบบจำลองสำหรับการไหล และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยม โดยกำหนดให้เป็นการไหลและถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะคงที่ ไม่ขึ้นกับเวลา ลักษณะการไหลของอากาศเป็นแบบ Periodic และไหลเต็มท่อ โดยสมมติให้อากาศไม่สามารถกดอัดได้

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

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}[\mu(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j})] \quad (2)$$

สมการพลังงาน:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j}((\Gamma + \Gamma_t) \frac{\partial T}{\partial x_j}) \quad (3)$$

เมื่อ Γ และ Γ_t คือการแพร่ทางความร้อน และการแพร่ทางความร้อนแบบปั่นป่วน ตามลำดับ ซึ่งถูกกำหนดโดย

$$\Gamma = \mu/Pr \text{ และ } \Gamma_t = \mu_t/Pr_t \quad (4)$$

การไหลแบบปั่นป่วนจำเป็นต้องมีเทอมของความเค้นของเรย์โนลด์ $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ ในสมการที่ (2) ข้อสมมติฐานของบู-สเินส์ เกี่ยวข้องกับความเค้นของเรย์โนลด์ คือการเทียบของความเร็วเฉลี่ย

รูปที่ 1. ก) แบบจำลองท่อทรงสี่เหลี่ยมที่มีการใส่ด้วยครีบทัววี
ข) แบบจำลองมุมมองบน ค) ลักษณะเมชของแบบจำลอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กำหนดโดย

$$-\rho \overline{u'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} (\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i}) \delta_{ij} \quad (5)$$

เมื่อ k คือ พลังงานจลน์ปั่นป่วน กำหนดโดย $k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$ และ δ_{ij} คือ เดลต้าไครเนกเกอร์, μ_t คือ ความหนืดปั่นป่วน กำหนดโดย $\mu_t = \rho c_\mu k^2 / \varepsilon$ ($c_\mu = \frac{1}{A_0 + A_S \frac{kU^*}{\varepsilon}}$) ซึ่งแบบจำลองนี้จะใช้การคำนวณหา

คำตอบด้วยวิธีการของ Realizable $k - \varepsilon$ [9] และ สมการ Transport กำหนดโดย

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (7)$$

สมการข้างต้น σ_k และ σ_ε คือ ประสิทธิภาพเลขพรานด์สำหรับ k และ ε ตามลำดับ G_k คือ ค่าพลังงานจลน์แบบปั่นป่วนเนื่องจากค่าความเร็วเฉลี่ย G_b คือ ค่าพลังงานจลน์แบบปั่นป่วนเนื่องจากการลอยตัว ซึ่งทั้งสองตัวแปรสามารถหาได้จากโมเดลแบบ Standard k-epsilon โดยที่ $c_1 = \max[0.43, \frac{\eta}{\eta+5}]$ และ $C_2, C_{1\varepsilon}, \sigma_k$ และ σ_ε คือค่าคงที่

สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาทั้งหมด 4 ตัวแปร นั่นคือ เลขเรย์โนลด์ เลขนัสเซิลท์ ตัวประกอบแรงเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อน ค่าเลขเรย์โนลด์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Re = \frac{\rho u_0 D_h}{\mu} \quad (8)$$

ค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของค่าการกระจายนัสเซิลท์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \quad (9)$$

ค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน f สามารถคำนวณได้จากความดันตกคร่อม ΔP ของทางเข้าและออกจากตลอดความยาวของท่อ L ดังสมการ

$$f = \frac{2(\Delta P) D_h}{\rho u_0^2} \quad (10)$$

ค่าเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (11)$$

ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน TEF

$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{1/3} \quad (12)$$

โดยที่ Nu_0 และ f_0 คือ ค่าเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบแรงเสียดทานของท่อเปล่าผิวเรียบตามลำดับ

2.3 โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

ในงานวิจัยนี้จะใช้การสร้างอิเลเมนต์ด้วย Tet/Hybrid, TGrid type เมื่อทำการทดสอบการไหลเฉลี่ยโดยเปรียบเทียบจำนวนกริด เท่ากับ 196,445 314,095 และ 402,385 ที่ค่าเรย์โนลด์ เท่ากับ 5,000 BR=0.05 และ $\alpha=60$ องศา พบว่า ได้ค่าเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบแรงเสียดทานต่างกันเพียง 0.3% ดังนั้นจึงเลือกใช้จำนวนกริดเพียง 314,095 เพื่อลดเวลาในการไหลเฉลี่ย

2.4 เงื่อนไขและขอบเขต

กำหนดให้อากาศทางเข้าและทางออกเป็นแบบ Periodic translation ที่อุณหภูมิ 300K และค่าเลขพรานด์ เท่ากับ 0.707 ด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ที่กำหนดด้วยค่าของเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5,000 ถึง 17,000 ผนังของท่อทั้งสองด้านถูกกำหนดให้ไม่มีการลื่นไถล (No-slip condition) หรือความเร็วที่ผนังมีค่าเป็นศูนย์เป็นผนังที่อยู่กับที่ (Stationary wall) รวมไปถึงแผ่นครีบริบที่ใส่เข้าไปด้วย และให้ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวของท่อสองด้าน (บน และ ล่าง) คงที่ด้วย $2,500 \text{ W/m}^2$ และไม่มีการถ่ายเทความร้อนสำหรับผิวท่อด้านซ้ายและขวา ในการคำนวณหาค่าตอบจะใช้ SIMPLE algorithm และ QUICK scheme

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

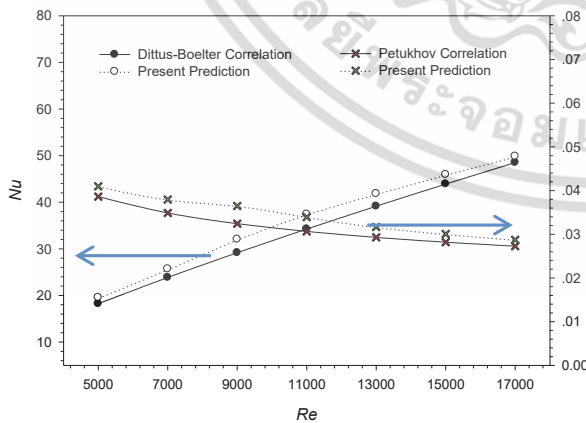
3.1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียบ

ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองนั้นสามารถทำได้โดยนำผลจากการหาค่าตอบด้วยวิธีการกระบวนกรคำนวณเชิงตัวเลขมาเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณตามสมการความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Petukhov สำหรับค่าเลขนัสเซลท์ และค่าตัวประกอบแรงเสียดทานตามลำดับ โดยวิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบกันอยู่อย่างแพร่หลาย Promvong et al. [5] ได้ทำการเปรียบเทียบ ระหว่างความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter, Gnielinski สำหรับค่าเลขนัสเซลท์ และความสัมพันธ์ของ Blasius, Petukhov สำหรับค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน เปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้วิธีการกระบวนกรคำนวณเชิงตัวเลขซึ่งพบว่า ความสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Petukhov ให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับแบบจำลองมากที่สุด

$$Nu_0 = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} ; \text{Heating} \quad (13)$$

สมการความสัมพันธ์ของ Petukhov

$$f_0 = 0.316Re^{-0.25}; 3,000 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (14)$$



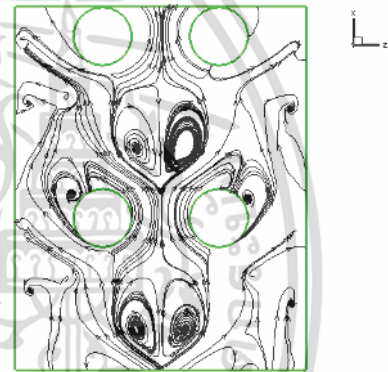
รูปที่ 3. กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Nu₀ และ f₀ สำหรับท่อเรียบ

จากรูปที่ 3 จะได้ว่าค่าความแตกต่างจากผลเฉลยแม่นยำอยู่ในช่วง ±10.87% และ ±11.2% สำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

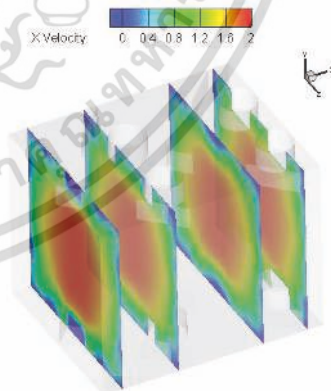
ผลเฉลยแม่นยำตรงของค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบแรงเสียดทานตามลำดับ ซึ่งสามารถยอมรับได้

3.2 ผลกระทบจากการติดครีบ และพฤติกรรมกรไหล

รูปที่ 4ก แสดงให้เห็นว่าเมื่ออากาศไหลผ่านครีบลักษณะการไหลจะเป็นแบบหมุนวน หรือที่เรียกว่า Swirl โดยเฉพาะที่ตำแหน่งกลางครีบของครีบตัววิแยกส่วน ซึ่งการไหลวนนี้จะช่วยทำให้มีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น สำหรับการไหลผ่านครีบทรงกระบอก มีการไหลวนเล็กน้อยในส่วนท้ายของครีบ และสามารถช่วยทำให้อากาศ เนื่องจากลักษณะรูปทรงเฉพาะของครีบที่เป็นทรงกระบอก

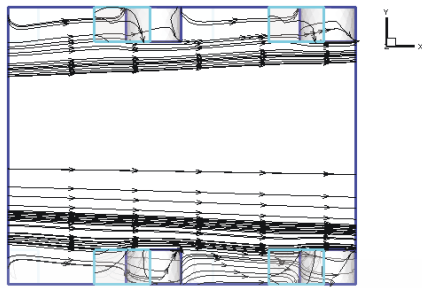


(ก)

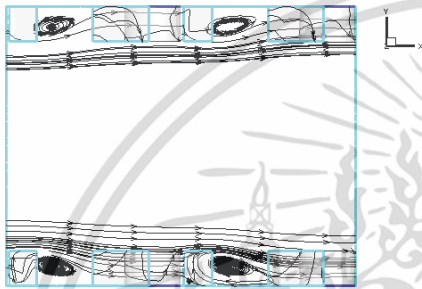


(ข)

รูปที่ 4. (ก) รูปแสดงลักษณะการไหลผ่านครีบ (ข) รูปแสดงการกระจายความเร็วของอากาศ



ก)



ข)

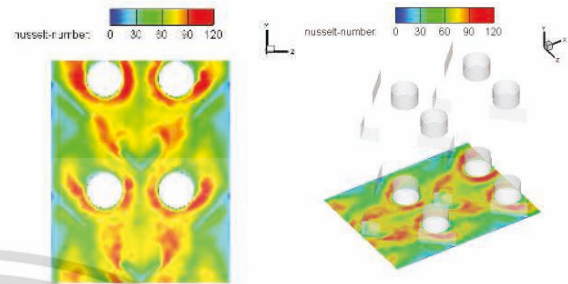
รูปที่ 5. (ก) ลักษณะการไหลผ่านครีบทรงกระบอกตามแนวแกน X (ข) ลักษณะการไหลผ่านครีบทวิแยกส่วนตามแนวแกน X

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออากาศไหลผ่านครีบทวิแยกส่วน จะทำให้เกิดการไหลวนของอากาศ ทั้งทางด้านข้าง และด้านบนของครีบจึงส่งผลให้ในบริเวณด้านหลังของครีบ ตัววิแยกส่วน มีการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุด ซึ่งจะสามารถดูได้จากค่า Nusselt ในหัวข้อถัดไป แต่สำหรับครีบทรงกระบอก นั้นเมื่ออากาศไหลผ่านจะเกิดการไหลวนเพียงบริเวณด้านข้างของครีบเท่านั้น

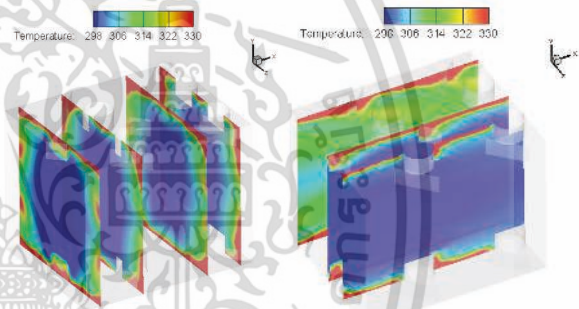
3.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน หรือการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถพิจารณาได้จากเลข Nusselt เฉลี่ยของผนังทั้งสองด้าน (บน-ล่าง) หลังจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศแล้ว รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าค่า Nusselt มีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณด้านหน้าของครีบ อันเนื่องมาจากการไหลของอากาศเมื่อผ่านครีบจะมีความเร็วสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีค่า Nusselt สูงขึ้นด้วย และการลักษณะการไหลวนจะทำให้อากาศสามารถสัมผัสผิวท่อได้มากขึ้น

ซึ่งสังเกตได้จากค่า Nusselt บริเวณของครีบทรงกระบอกในแถวที่สองตามรูปที่ 6 ว่ามีค่าสูงที่สุด



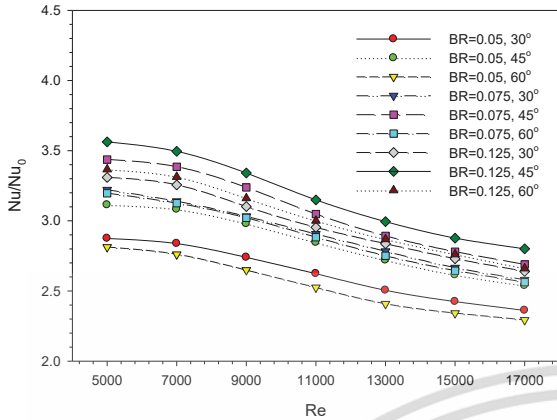
รูปที่ 6. รูปแสดงการกระจายตัวของค่า Nusselt ของผนังท่อด้านล่าง ที่ค่า $Re=5,000$ $BR=0.125$ และ $\alpha=45$ องศา



รูปที่ 7. รูปแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่หน้าตัดแกน X และ Z ที่ค่า $Re=5,000$ $BR=0.125$ และ $\alpha=45$ องศา

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งหลังครีบทวิแยกส่วน มีชั้นการกระจายอุณหภูมิสูงทั้งทางด้านหน้าตัดแกน X และ Z อันเนื่องมาจากผลของการเกิดการไหลวนด้านหลังของครีบ แต่ครีบทรงกระบอกจะมีชั้นการกระจายอุณหภูมิที่สูงเฉพาะหน้าตัดแกน Z ตามหัวข้อที่ 3.2

สำหรับค่า Nusselt สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ โดยนำ ค่า Nusselt เฉลี่ยของผนังท่อสองด้านหารด้วยค่า Nusselt ที่ท่อเปล่าที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 8



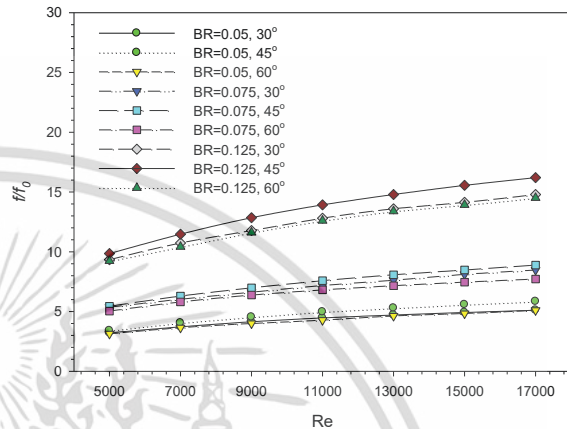
รูปที่ 8. กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของท่อติดครีบ และท่อเรียบ ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าเมื่อเราเพิ่มค่าเรย์โนลด์จะส่งผลให้ค่าสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ที่มีแนวโน้มที่ลดน้อยลงสำหรับผลกระทบของค่า BR นั้น เมื่อค่า BR มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ค่าสัดส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ สูงขึ้นสำหรับที่ α มีค่าคงที่ สำหรับผลกระทบของมุมของครีบ (α) พบว่าเมื่อมีค่าสูงขึ้น ส่งผลทำให้มีค่า Nu/Nu_0 สูงขึ้นด้วยสำหรับ $\alpha = 45$ องศา และมีค่าน้อยลงสำหรับ $\alpha = 60$ องศา เมื่อเทียบกับ $\alpha = 30$ องศา จากการวิเคราะห์ลักษณะของการไหลพบว่า ครีบที่มี $\alpha = 60$ องศา มีการต้านการไหลมากที่สุดหากพิจารณาเฉพาะครีบตัววิแยกส่วน แต่เมื่อพิจารณาครีบทรงกระบอกรวมด้วยจะเห็นว่าระยะห่างของ ครีบตัววิแยกส่วน และครีบทรงกระบอกมีระยะที่ห่างที่สุด รองลงมาคือ 45 และ 30 องศา ตามลำดับ จะส่งผลให้มีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด แต่เหตุที่ $\alpha = 45$ องศา มีค่าสูงที่สุดนั้นเพราะว่าระยะห่างและความสูงของครีบมีความเหมาะสมมากที่สุดจึงมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด เมื่อเทียบค่าสัดส่วนเลขนัสเซิลท์ของครีบมีค่า BR, α , และ Re ต่างๆพบว่า ครีบที่มีค่า BR=0.125, $\alpha = 45$ องศา ที่ Re=5,000 มีค่ามากที่สุด

3.4 การสูญเสียความดัน

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน หรือค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้น ถึงแม้ว่าเมื่อเพิ่มค่า BR และ α แล้วจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีขึ้นมากก็ตาม แต่เราจะต้องสูญเสียค่าความดันในระบบไปอันเนื่องมาจากครีบที่ขวางการไหล

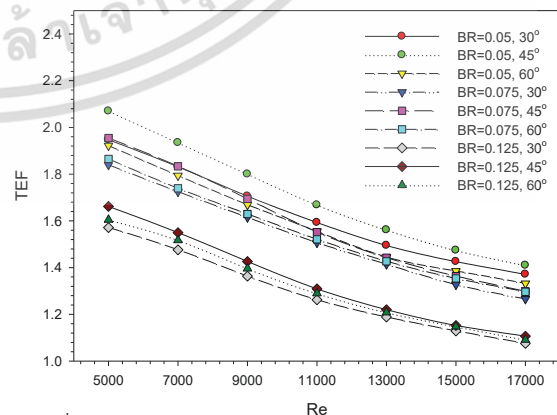
ของอากาศ จึงส่งผลให้ค่าตัวประกอบแรงเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดของครีบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่า f/f_0 ของท่อที่มีครีบ BR=0.125 และ $\alpha = 45$ องศา มีค่า f/f_0 สูงสุด ที่ Re=17,000



รูปที่ 9. กราฟแสดงสัดส่วนระหว่างตัวประกอบแรงเสียดทานของท่อติดครีบและท่อเรียบ ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ

สำหรับผลกระทบของค่า α แสดงแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า Nu/Nu_0 นั่นคือ เมื่อ $\alpha = 45$ องศา มีค่าสัดส่วนตัวประกอบแรงเสียดทานมากที่สุด รองลงมาคือ 30 และ 60 องศา จากการวิเคราะห์การจัดเรียงตัวของครีบภายในท่อจะเห็นว่า ครีบทรงกระบอกจะอยู่ที่ตำแหน่งเดิมเสมอแต่เมื่อครีบตัววิลดมุมของครีบลดลงจะส่งผลให้ครีบตัววิและครีบทรงกระบอกมีระยะที่ใกล้ที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2

3.5 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 10. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ที่ค่าเรย์โนลด์ต่างๆ



จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ของท่อติดครีบบีค่าสูงสุดที่ $Re=5,000$ $BR=0.05$ และ $\alpha=45$ องศา มีค่าเท่ากับ 2.0697 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่า TEF กับท่อเรียบนั้นพบว่าท่อติดครีบบีค่า TEF สูงกว่าท่อเรียบถึง 1.97 เท่า และครีบบีค่า $BR=0.125$ และ $\alpha=30$ องศา ที่ $Re=17,000$ มีค่า TEF น้อยที่สุดเท่ากับ 1.075 จะเห็นว่าผลกระทบอันเนื่องมาจากค่า Blockage ratio มีแนวโน้มที่เหมือนกับ [4] นั่นคือเมื่อเพิ่มค่า BR จะทำให้มีค่า Nu และ f สูงขึ้น แต่จะส่งผลให้ค่า TEF ลดน้อยลง

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดครีบบีค่า เมื่ออากาศไหลผ่านครีบบีค่าทำให้เกิดความต่างของความดันด้านหน้า และหลังครีบบีค่าทำให้เกิดการไหลวนกลับของอากาศ ทั้งที่บริเวณด้านบนและด้านข้างของครีบบีค่า แต่สำหรับครีบบีค่าทรงกระบอกนั้นจะเกิดการไหลวนเพียงบริเวณด้านข้างของครีบบีค่าเท่านั้น สำหรับการเกิดการไหลวนของอากาศจะส่งผลให้อากาศสัมผัสกับท่อได้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นด้วย

ผลกระทบของค่า Blockage ratio เมื่อเพิ่มค่า BR จะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นแต่อย่างไรก็ตามเมื่อค่า BR ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลให้มีค่าแรงเสียดทานในระบบสูงขึ้นด้วย นั้นหมายความว่าเราจะต้องใช้พลังเพิ่มขึ้นเพื่อเอาชนะความเสียดทานนี้ สำหรับท่อติดครีบบีค่า $BR=0.125$ และ $\alpha=45$ องศา ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 5,000 มีค่า $Nu/Nu_0=3.5624$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนกับท่อเรียบนั้น พบว่าท่อติดครีบบีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าถึง 3.32 เท่า และมีค่าตัวประกอบแรงเสียดทาน $f/f_0 = 16.2$ ที่ $Re=17,000$ ซึ่งมากกว่าท่อเรียบถึง 15.37 เท่า แต่เมื่อพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อน TEF สำหรับท่อติดครีบบีค่า TEF สูงสุดที่ $Re=5,000$ $BR=0.05$ และ $\alpha=45$ องศา มีค่าเท่ากับ 2.0697

ผลกระทบของการติดครีบบีค่าวิแยกส่วนร่วมกับครีบบีค่าทรงกระบอกส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมของระบบมีค่าน้อยกว่า การติดครีบบีค่าวิแยกส่วนอย่างเดียวถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกันที่ $Re=15,000$ และ $BR=0.125$, $\alpha=60$ องศา [4] แต่ครีบบีค่ารวมจะมีค่านี้สเกลที่น้อยกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Incropera and P.D. Dewitt, 2007. "Introduction to heat transfer", 6th edition, John Wiley & Sons.
- [2] R. L. Webb, 1992. "Principles of Enhanced Heat Transfer", New York: John-Wiley & Sons.
- [3] A. Bejan and A.D. Kraus, 2003. "Heat Transfer handbook", New Jersey: John-Wiley & Sons.
- [4] P. Promvong, W. Changcharoen, S. Kwankaomang and C. Thianpong, "Numerical heat transfer study of turbulent square-duct flow through inline V-shaped discrete ribs", International Communications in Heat and Mass Transfer 38 (2011) 1392-1399.
- [5] P. Promvong, S. Suwannapan, M. Pimsarn and C. Thianpong, "Experimental study on heat transfer in square duct with combined twisted-tape and winglet vortex generators", International Communications in Heat and Mass Transfer 59 (2014) 158-165.
- [6] S. Caliskan, "Experimental investigation of heat transfer in a channel with new winglet-type vortex generators", International Communications in Heat and Mass Transfer 78 (2014) 604-614.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[7] S. Eiamsa-ard and P. Promvonge, "Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators", Solar Energy 78 (2005) 483-494.

[8] Fengming Wang, Jingzhou Zhang, and Suofang Wang, "Investigation on flow and heat transfer characteristics in rectangular channel with drop-shaped pin fin", Propulsion and Power Research (2012) 64-70.

[9] ANSYS. Inc., "ANSYS Fluent Theory Guide", Release 18.0, (2017).



ประวัติผู้เขียน

ประวัติส่วนตัว :

ชื่อ-สกุล นายนราพล แดนปากกลาง
 วัน เดือน ปีเกิด 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2534
 ที่อยู่ 400/285 หมู่บ้านวังทองธานี ซอยธานี 4 ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัด
 ปทุมธานี 12130 โทร 097-0791818

ความชำนาญเฉพาะด้าน:

1. การวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ CFD
2. การออกแบบระบบปรับอากาศระบายอากาศสำหรับอาคารทั่วไป

ประวัติการศึกษา :

พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา
 วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน ที่ บริษัท อินเทลลิเมค จำกัด ตำแหน่งวิศวกรโครงการ ที่อยู่ 30/285
 ซอยงามวงศ์วาน 47 แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทร 02-5807412-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้