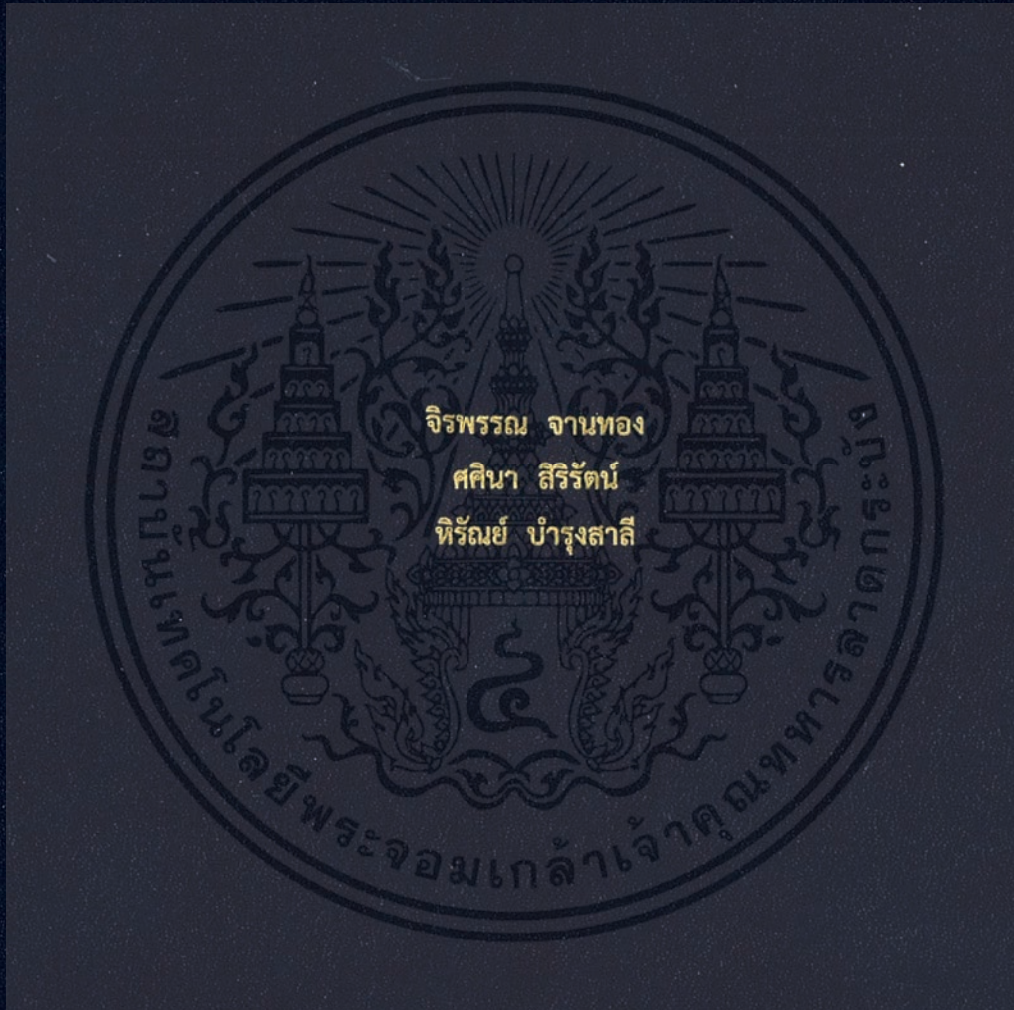


การหาค่าการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขที่เหมาะสมที่สุดในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มี
แผ่นกั้นรูปตัววี

NUMERICAL HEAT TRANSFER OPTIMIZATION IN SQUARE DUCT
WITH V-BAFFLES



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การหาค่าการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขที่เหมาะสมที่สุดในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มี
แผ่นกั้นรูปตัววี

NUMERICAL HEAT TRANSFER OPTIMIZATION IN SQUARE DUCT
WITH V-BAFFLES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL HEAT TRANSFER OPTIMIZATION IN SQUARE DUCT
WITH V-BAFFLES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

สาขาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาค่าการถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขที่เหมาะสมที่สุดในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี
NUMERICAL HEAT TRANSFER OPTIMIZATION IN SQUARE DUCT WITH V-BAFFLES

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจิรพรรณ จานทอง รหัสประจำตัว 58010185
2. นางสาวศศิณา สิริรัตน์ รหัสประจำตัว 58011201
3. นายหิรัญย์ บำรุงสาส์น รหัสประจำตัว 58011387



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าที่เหมาะสมในการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

จิรพรรณ	งานทอง	58010185
ศศิณา	สิริรัตน์	58011201
หิรัญย์	บำรุงสาส์	58011387
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ ANSYS (FLUENT) ในการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนของอากาศทั้งสามแนวแกนการเคลื่อนที่ภายในท่อที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีทั้งข้างบนและข้างล่างของท่อ โดยที่ผนังท่อมียุทธศาสตร์ความร้อนคงที่ และเป็นการไหลแบบสวนกระแส ซึ่งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อและนำของไหลเย็นไปสัมผัสผนังท่อ โดยในการทดสอบใช้ของไหลเป็นอากาศ ที่มีอัตราการไหลในช่วงค่าเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) ระหว่าง 4,000 ถึง 16,000 ของไหลจะถูกทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction factor, f) โดยแผ่นกั้นการไหลถูกทดสอบโดยใช้มุมปะทะ (Angle of attack, α) 3 ค่า คือ 30° , 45° และ 60° อัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลต่อความยาวด้านของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรืออัตราส่วนพิทช์ (Pitch ratio, PR) 3 ค่า คือ 0.5, 1.0 และ 1.5 อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นการไหลกับความยาวด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรืออัตราส่วนขัดขวาง (Blockage ratio, BR) 3 ค่า คือ 0.05, 0.1 และ 0.15 และปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี โดยการตัดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วทำการเปิดแผ่นกั้นการไหลที่ถูกตัดออกเป็นหน้าต่ามต่าง ๆ ซึ่งมุมที่เปิดคือ 20° , 25° และ 30° ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดูจากค่าตัวประกอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) จากการศึกษานี้จะพบว่าท่อที่ทำการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อแบบไม่มีแผ่นกั้นการไหล และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.45 ที่มุมปะทะเท่ากับ 30° อัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 1 อัตราส่วนกั้นขวางเท่ากับ 0.05 ที่ค่าเรย์โนลด์ 4,000 และช่องสี่เหลี่ยมเปิดด้วยมุม 20°

คำหลัก: แผ่นกั้นการไหลรูปตัววี ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส การถ่ายเทความร้อน เลขนัสเซลท์

Abstract

This project presents the behaviors of 3-dimensional turbulent flow and heat transfer in a square duct with perforated V-baffles on the upper and lower duct walls, pointing upstream flow. Flows and heat transfer are simulated by using a commercial software, ANSYS FLUENT 19.1. The duct walls have a constant heat flux. The perforated V-baffle causes vortex flows within the duct. The working fluid is air flowing inside in the range of Reynolds number from 4,000 to 16,000. Effects of various baffle blockage ratios ($BR = 0.05, 0.1, 0.15$), baffle pitch ratios ($PR = 0.5, 1, 1.5$), angles of attack ($\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$), rotated angle of the plate ($20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$) on flow and thermal behaviors are investigated. Flows and heat transfer are simulated by using a commercial software, ANSYS FLUENT 19.1. The computation results are reported in terms of Nusselt number, friction factor, thermal enhancement factor (TEF). The computational results reveal that the optimum TEF is about 3.45 at $Re = 4000, BR = 0.05, PR = 1, \alpha = 30^\circ$ and rotated angle of the plate (β) = 20°



กิติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่แผ่นกั้นการไหลรูปตัววี สำเร็จลุล่วงไปได้โดยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งทางกลุ่มผู้ทำงานวิจัยต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ ดร.สมบัติ ทำานา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการศึกษาวิจัยซึ่งเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆน้องๆผู้ร่วมงานจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆด้านที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญกราฟ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน.....	4
2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการไหล	4
2.2.2 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน.....	4
2.2.3 การไหลแบบช่วงทางเข้า	5
2.2.4 ตัวประกอบความเสียดทาน.....	6
2.2.5 พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน	7
2.2.5.1 กลไกการถ่ายเทความร้อนพื้นฐาน	7
2.2.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน.....	8
2.2.5.3 สภาวะการพัฒนาย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน.....	8
2.2.5.4 การพาความร้อน.....	9
2.3 การคำนวณการไหลแบบชั่วเป็นช่วง	10
2.3.1 การไหลชั่วเป็นช่วงเชิงความเร็ว.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1.1	11
2.3.1.2	11
2.3.2	12
2.4	12
2.4.1	12
2.4.2	13
2.4.3	14
บทที่ 3	15
3.1	15
3.2	16
3.2.1	16
3.2	16
3.3	18
3.4	20
3.5	21
3.6	22
3.6.1	22
3.6.2	24
3.6.3	27
3.6.4	30
3.7	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการศึกษา	36
4.1 การหาขนาดของช่องแผ่นสีเหลี่ยมที่เหมาะสม.....	37
4.2 อิทธิพลของแผ่นกั้นการไหลแบบปรับปรุงโดยการทำให้เป็นช่องสีเหลี่ยมที่ เปิดด้วยมุมต่าง ๆ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	51
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย.....	51
บรรณานุกรม.....	52



สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu จากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Sombat ^[1]	16
2 แสดงการเปรียบเทียบ f จากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Sombat ^[1]	17
3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อเปล่า และ Gnielinski correlation.....	18
4 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อเปล่า และ Phetukhov correlation.....	19
5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ $PR=1, BR=0.1, \alpha=45^\circ$	22
6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ $PR=1, BR=0.1, \alpha=45^\circ$	23
7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ $PR=1, BR=0.1, \alpha=45^\circ$	23
8 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05, BR=0.1$ และ $BR=0.15$	25
9 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05, BR=0.1$ และ $BR=0.15$	26
10 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05, BR=0.1$ และ $BR=0.15$	26
11 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5, PR=1$ และ $PR=1.5$	28
12 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5, PR=1$ และ $PR=1.5$	29
13 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$ และ $PR=1.5$	29
14 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=0.5, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$	31
15 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=0.5, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$	32
16 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=0.5, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$	32

17	แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=1$, $BR=0.05$, 0.1 , 0.15 $\alpha=30^\circ$	40
18	แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=1$, $BR=0.05$, 0.1 , 0.15 $\alpha=30^\circ$	41
19	แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=1$, $BR=0.05$, 0.1 , 0.15 , $\alpha=30^\circ$	42
20	แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$, $\alpha=25^\circ$, 30° , 45°	43
21	แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$, $\alpha=25^\circ$, 30° , 45°	44
22	แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$, $\alpha=25^\circ$, 30° , 45°	45
23	แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, 1.0 , 1.5 , $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$	46
24	แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, 1.0 , 1.5 , $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$	47
25	แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, 1.0 , 1.5 , $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$	48

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- 1 ตารางแสดงผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05, \alpha=30^\circ$37
- 2 ตารางแสดงผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมแล้วหมุนเปิดด้วยมุม 20 องศา ($\beta=20^\circ$) ที่ $PR=1, BR=0.05, \alpha=30^\circ$39



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการพัฒนาความเร็วชั้นขีดผิวของการไหลภายในท่อ.....	5
2.2 แสดงการพัฒนาชั้นขีดผิวความร้อนของการไหลภายในท่อ.....	6
2.3 แผนภาพของ Moody	7
2.4 แสดงรูปทรงเรขาคณิตที่เข้าเป็นช่วง.....	11
2.5 แสดงรูปทรงของท่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี	13
2.6 แสดงส่วนที่ทำการทดลองด้วยแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี BWG	
2.7 แสดงท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลในรูปแบบต่าง ๆ	14
3.1 รูปร่างกริดเซลล์ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลแบบปรับปรุง.....	20
3.2 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี แบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.1 และ $\alpha = 45^\circ$	22
3.3 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha = 45^\circ$	24
3.4 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.10 และ $\alpha = 45^\circ$	24
3.5 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.15 และ $\alpha = 45^\circ$	25
3.6 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=0.5, BR=0.05 และ $\alpha = 45^\circ$	27
3.7 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha = 45^\circ$	27
3.8 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=1.5, BR=0.05 และ $\alpha = 45^\circ$	28
3.9 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี ที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha = 30^\circ$	30
3.10 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี ที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha = 45^\circ$	31
3.11 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี ที่ PR=1, BR=0.05 และ $\alpha = 60^\circ$	31
3.12 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ไม่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี.....	34
3.14	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ไม่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี.....	34
3.15	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี.....	35
4.1	แสดงแผ่นกั้นการไหลที่มีการเจาะเป็นแผ่นที่เหลี่ยมแล้วทำการเปิดด้วยมุมต่าง ๆ.....	36
4.2	แสดงภาพด้าน side view ของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเมื่อตัดแผ่นออกเป็นช่องสี่เหลี่ยมแล้วเปิดด้วยมุม 20°, 30° และ 35°.....	37
4.3	แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$	37
4.4	แสดงภาพด้านหน้าของครึ่งหนึ่งของแผ่นกั้นการไหลที่ทำการเจาะช่องสี่เหลี่ยม.....	38
4.5	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติมุมมองด้านหน้าของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา.....	49
4.6	เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติมุมมองด้านหน้าของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบปรับปรุง.....	49
4.7	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา.....	50
4.8	คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบปรับปรุง.....	50



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_c	พื้นที่หน้าตัด, m^2
A_s	พื้นที่ผิว, m^2
b	ความสูงของแผ่นกั้นการไหล, mm
BR	อัตราส่วนการบล็อกการไหล
C	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, $J/kg \cdot K$
C_f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
C_p	ความร้อนจำเพาะของของไหลที่ความดันคงที่, $J/kg \cdot K$
C_v	ความร้อนจำเพาะของของไหลที่ปริมาตรคงที่, $J/kg \cdot K$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, m
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter), m
f	ตัวประกอบแรงเสียดทาน
f_0	ตัวประกอบแรงเสียดทานของท่อเปล่า
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
H	ความยาวด้านของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m
i	พลังงานภายใน, J/kg
k	ค่าการนำความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
L	ความยาวครึ่งหนึ่งของแผ่นกั้นการไหล, m
\dot{m}	อัตราการไหลของของไหล, kg/s
Nu	เลขนัสเซลท์
Nu_0	เลขนัสเซลท์ของท่อเปล่า
p	เส้นรอบรูป, m
p_i	ระยะพิตช์, mm
Pr	พลาหน์นัมเบอร์
PR	อัตราส่วนพิตช์

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

ΔP	ความดันลดของของไหล, N/m ²
Q	อัตราการไหลของของไหล, m ³ /s
q_{conv}	อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งหมด, W
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิว, W/m ²
R	ค่าคงที่ของก๊าซ, J/kg·K
Re	เลขเรย์โนลด์ส์
T	อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งใดๆ, °C
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล, °C
T_m	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ, °C
$T_{m,i}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อทางเข้า, °C
$T_{m,o}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อทางออก, °C
T_s	อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวท่อ, °C
u	ความเร็วตามแนวแกน x, m/s
u_m	ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, m/s
V	ความสูงของหน้าตัด, mm
W	ความกว้างของหน้าตัด, mm
x	ระยะห่างจากด้านข้างของแผ่นกั้นการไหล, mm
y	ระยะห่างจากพื้นของแผ่นกั้นการไหล, mm
\bar{V}	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s
ρ	ความหนาแน่นของของไหล, kg/m ³
μ	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล, N·s/m ²
μ_s	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหลที่ผิว, N·s/m ²
ν	ประมาณจำเพาะ, m ² /s
τ_r	ความเค้นเฉือนในแนวรัศมี, N/m ²
τ_s	ความเค้นเฉือนบนผิว, N/m ²

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

β

แผ่นกั้นการไหลที่ถูกตัดออกเป็นหน้าต่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
XIV
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โลกในปัจจุบันจึงมีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งในภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางความร้อน ดังนั้นการพัฒนาและการเพิ่มศักยภาพของอุปกรณ์เครื่องมือ และเครื่องจักรต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อพัฒนาระบบแลกเปลี่ยนความร้อนให้ดีขึ้น การนำความร้อนมาใช้เป็นพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นจะมีผลอย่างมากต่อการประหยัดพลังงาน การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อน มีด้วยกัน 2 วิธีหลักๆ คือ 1) วิธีที่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเข้ามาช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (active technique) คือ การเพิ่มการสั่นสะเทือนและเพิ่มความปั่นป่วนของของไหล โดยการนำอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาช่วย เช่น อุปกรณ์ทางกล อุปกรณ์ทางไฟฟ้า เป็นต้น 2) วิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเข้ามาช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (passive technique) คือ การสร้างการเหนี่ยวนำและสร้างความปั่นป่วนให้กับของไหล โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายในท่อหรือทำการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อ แต่การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายในท่อจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในท่อด้วยเช่นกัน

วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ passive technique เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด ด้วยเหตุผลที่ว่าสามารถปรับเปลี่ยนพัฒนาได้หลายรูปแบบ มีต้นทุนในการผลิตต่ำ การเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วน โดยการติดตั้งกั้นการไหลรูปตัววีที่ผนังท่อ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีของ passive technique จะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน หากแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในท่อด้วยเช่นกัน ดังนั้นการคำนึงถึงการเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนให้เหมาะสมกับงาน และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดคุ้มค่าแก่การลงทุนนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ การเลือกใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนภายในท่อที่เหมาะสมจะต้องพิจารณา รูปทรง ขนาด มุมของการปะทะ ระยะห่างระหว่างตัวสร้างความปั่นป่วน และตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทาน งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเข้ามาช่วยในการศึกษา เพื่อลดปัญหา และเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการศึกษาอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งกั้นการไหลรูปตัววี (V-Baffles) ที่ผนังด้านบนและผนังด้านล่างภายในท่อ โดยติดตั้งกั้นรูปตัววีชี้ทวนกระแสการไหล ซึ่งกำหนดให้ผนังท่อมี่ลักษณะความร้อนคงที่ การจำลองการไหลและการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม ANSYS (FLUENT) 19 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางและเป็นที่ยอมรับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อนโดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

1.2.2 เพื่อศึกษาหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ค่าความดันตกคร่อม ค่าตัวประกอบเสียดทาน และประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีรูปแบบต่าง ๆ

1.2.3 พัฒนาและปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น

1.3 สมมุติฐาน

1.3.1 สามารถอธิบายถึงพฤติกรรมการไหล และการถ่ายเทความร้อนจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

1.3.2 ทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่มีสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนสูงสุดภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี เพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงต่อไป

1.3.3 พัฒนาและปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีให้มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ

1.4.2 ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อน โดยศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัสเซลล์ท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน บนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite volume method)

1.4.3 ใช้คู่ควบของความเร็วและความดันโดยใช้วิธีแบบ COUPLED

1.4.4 ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Realizable $k - \epsilon$

1.4.5 เทอมของการพาความร้อนใช้การคำนวณแบบ QUICK

1.4.6 พิจารณาเฉพาะความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

1.4.7 ศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนที่มีเลขเรย์โนลด์สในช่วง ตั้งแต่ 4,000 ถึง 16,000

1.4.8 มีการให้ความร้อนที่ผนังท่อแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ 600 W/m^2

1.4.9 อัตราส่วนระหว่างความสูงของแผ่นกั้นการไหลกับความยาวด้านของท่อ (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.05, 0.1 และ 0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.10 อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลกับความยาวด้านของท่อ (Pitch ratio, PR) เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5
- 1.4.11 มุมปะทะ (Angle of attack, α) เท่ากับ 30° , 45° และ 60°
- 1.4.12 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่า ($H \times H$) 50 mm \times 50 mm

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- 1.5.2 กำหนดรูปร่างและลักษณะของแผ่นกั้นการไหลโดยอ้างอิงรูปแบบพื้นฐานจากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา
- 1.5.3 สร้างแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบพลศาสตร์ของไหล และหาขนาดและจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม
- 1.5.4 คำนวณเชิงตัวเลขจากการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ ซึ่งจัดวางแผ่นกั้นการไหลซี่ทวนกระแส โดยเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ เลขเรย์โนลด์ส์ (Re), อัตราส่วนพิทช์ (PR), อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) และ มุมของการปะทะ (α)
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณโดยการเปรียบเทียบค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนโดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบ
- 1.5.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

- 1.6.1 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้งสร้างความปั่นป่วนภายในท่อสี่เหลี่ยม
- 1.6.2 ได้ฝึกการใช้โปรแกรม ANSYS ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข
- 1.6.3 ได้เรียนรู้ถึงอิทธิพลของค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี
- 1.6.4 ได้พัฒนาและออกแบบรูปแบบแผ่นกั้นรูปตัววี ให้มีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 1.6.5 เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป
- 1.6.6 เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยด้านการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เครื่องมือในระบบทำความร้อนที่มีอุณหภูมิที่ต่างกัน ในขณะเดียวกันจะมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง หรือถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่ผสมกัน เรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานวิศวกรรมหลายประเภท เพราะเป็นงานที่ต้องอาศัยกระบวนการการถ่ายเทความร้อน การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องมีการพิจารณาและเลือกใช้อย่างระมัดระวัง เพราะต้องนำเอาพลังงานมาใช้อย่างถูกหลักการและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด และลดต้นทุนกระบวนการการผลิต ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการ ทฤษฎี สมการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการศึกษาการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีภายในท่อสี่เหลี่ยม เพื่อทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการไหล

ของไหลคือ สสารที่มีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีความเค้นเฉือนมากกระทำจะทำให้สสารเกิดการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ของเหลวและก๊าซจัดว่าเป็นรูปแบบของของไหลชนิดหนึ่ง แต่ก๊าซเป็นของไหลที่อัดตัวได้ ส่วนของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ หรือสามารถอัดตัวได้ภายใต้ความดันสูง ของไหลอัดตัวได้เป็นของไหลที่มีความหนาแน่นไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายๆตัวแปร เช่น ก๊าซที่อยู่ในสถานะปิดสนิท เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น แต่เมื่อสูญเสียความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซจะลดลง ในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้

2.2.2 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วนพิจารณาจากความเร็วของของไหล ที่ความเร็วต่ำจะทำให้ของไหลเกิดการไหลแบบราบเรียบ ถ้าค่าความเร็วสูงจะทำให้ของไหลเกิดการไหลแบบปั่นป่วน หรือ พิจารณาจากความหนืดภายในท่อ ถ้าของไหลมีความหนืดสูง มักจะเกิดการไหลแบบราบเรียบเพราะแรงต้านความเร็วในการไหลมาก ในทางกลับกันถ้าของไหลมีความหนืดต่ำ จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนเพราะแรงต้านความเร็วในการไหลน้อย ซึ่งการไหลแบบปั่นป่วนไม่สามารถเกิดขึ้นได้ทันที ต้องมีการปรับตัวที่ทางเข้า นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาจากอัตราการไหลเชิงมวลได้ ยิ่งท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกสั้นๆ จะทำให้เกิดการไหลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั่นป่วนได้เร็วขึ้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1 ภายใต้เงื่อนไขการไหลในท่อ สำหรับการไหลแบบราบเรียบจะเกิดที่ $Re < 2,300$ และการไหลแบบปั่นป่วนจะเกิดที่ $Re > 2,300$

การคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ส์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Re = \frac{V_{avg} D}{\nu} = \frac{\rho V_{avg} D}{\mu} = \frac{\rho D}{\mu} \left(\frac{\dot{m}}{\frac{\rho \pi D^2}{4}} \right) = \frac{4\dot{m}}{\mu \pi D} \quad (2.1)$$

Re คือ ตัวแปรไร้มิติที่บ่งชี้ชนิดของไหลว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

V_{avg} คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยของของไหล

ρ คือ มวลของสารนั้น ๆ ส่วนด้วยปริมาตร

ν คือ ความหนืดของของไหล หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

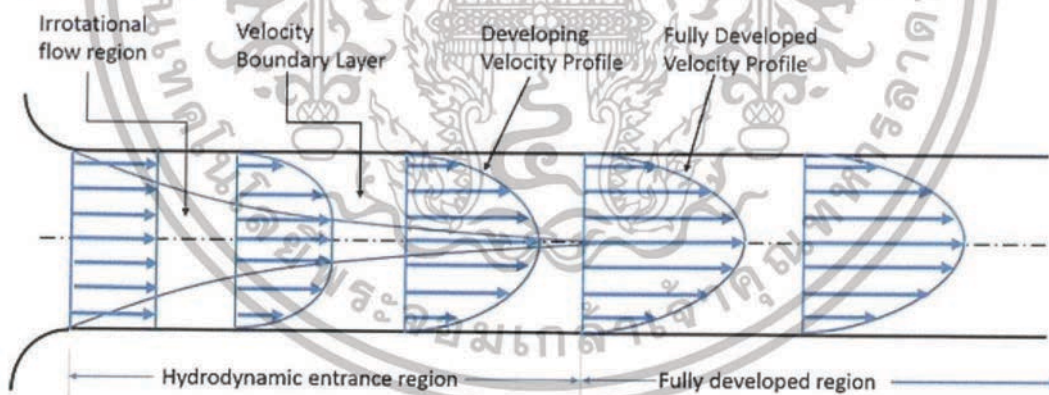
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.2)$$

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$D = D_h = \frac{4A}{p} \quad (2.3)$$

2.2.3 การไหลช่วงทางเข้า

อิทธิพลของคุณสมบัติของของไหลมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และพฤติกรรมการไหลในช่วงทางเข้ามีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาการไหลของของไหลในช่วงทางเข้านั้น โดยพฤติกรรมการปรับตัวของของไหลสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ พฤติกรรมปรับตัวส่วนของความเร็วจึง และพฤติกรรมปรับตัวส่วนของอุณหภูมิ

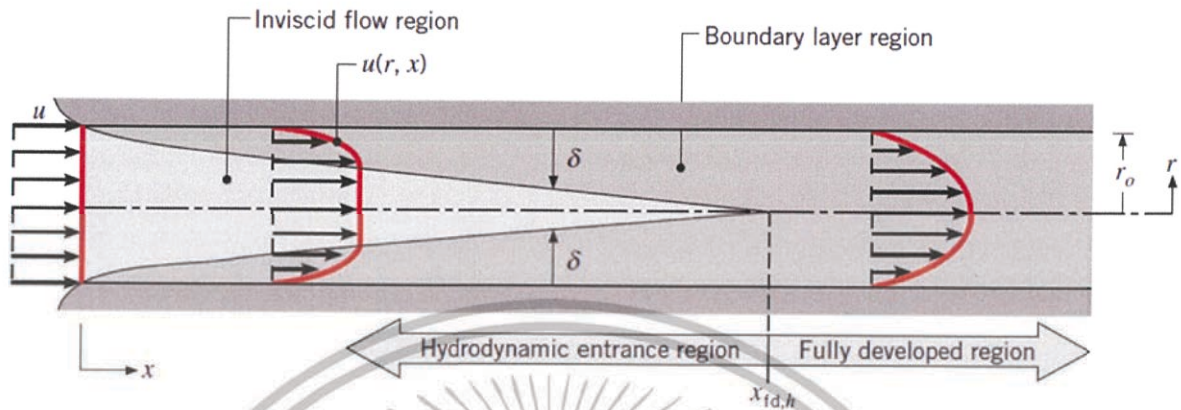


ภาพที่ 2.1 แสดงการพัฒนาความเร็วชั้นขีดผิวของการไหลภายในท่อ [1]

จากภาพ 2.1 แสดงถึงพฤติกรรมปรับตัวของของไหลในส่วนของความเร็วจึง เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ท่อ ชั้นของของไหลที่ติดอยู่กับผิวท่อ จะได้รับอิทธิพลเนื่องจากคุณสมบัติความหนืดของของไหลซึ่งทำให้ความเร็วของชั้นของของไหลที่ติดอยู่กับผิวท่อมีความเร็วเป็นศูนย์ ชั้นของของไหลที่ถัดออกมาจากผิวท่อจะมีค่าความเร็วเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ กระทั่งมีความเร็วเท่ากับความเร็วอิสระของของไหล โดยระยะทางจากทางเข้าถึงช่วงปรับตัวจนมีความเร็วเต็มๆ เรียกว่า ช่วงปรับตัวที่ทางเข้า (Hydrodynamic entrance region) แทนด้วย L_h โดยระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากช่วงปรับตัวที่ทางเข้า ความเร็วของของไหลจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงปรับตัวเต็มที่ (Fully developed region)



ภาพที่ 2.2 แสดงการพัฒนาชั้นขีดผิวความร้อนของการไหลภายในท่อ^[2]

พิจารณาของไหลที่ไหลเข้าท่อที่มีรัศมีภายในเท่ากับ r_0 ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ (u) และความเร็วเริ่มต้นขนานกับแกน x ดังที่แสดงในภาพ 2.2 อัตราการไหลของของไหลที่ทางเข้าถูกจำกัดด้วยแรงเสียดทานที่ผิวท่อ ผลของความหนืดจะเพิ่มขึ้นและตอบสนอง ส่งผลให้ชั้นขอบเขตการไหลที่ทางเข้าเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การไหลในบริเวณซึ่งความหนาของชั้นขอบเขตและรูปร่างของความเร็วส่งผลให้ $u(r, x)$ เปลี่ยนตามแนวแกน x เรียกว่า ช่วงกำลังพัฒนารูปร่างของความร้อน (Thermally developing region) ในทางกลับกันถ้าช่วงการไหลในบริเวณที่รูปร่างของการไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามแกน x แล้ว จะเรียกว่า ช่วงปรับตัวเต็มที่ของอุณหภูมิ (Thermally fully developed region)

อย่างไรก็ตามการไหลภายในท่อเรียบ ค่าเรย์โนลด์ส์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการไหลแบบราบเรียบไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนคือ $Re_D > 4,000$ และระยะจากทางเข้าสำหรับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างการปรับตัวของของไหลทั้งในส่วนของความเร็วและอุณหภูมิจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_{h, \text{trub}} \approx 10D \quad (2.4)$$

2.2.4. ค่าตัวประกอบเสียดทาน

ค่าตัวประกอบเสียดทานของ Moody หรือ Darcy เป็นตัวแปรไร้มิติที่สามารถกำหนดได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$f_{\text{Darcy}} \equiv \frac{(\Delta p)D}{\rho u^2/2} \quad (2.5)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของท่อที่วัดความดันตกคร่อมได้

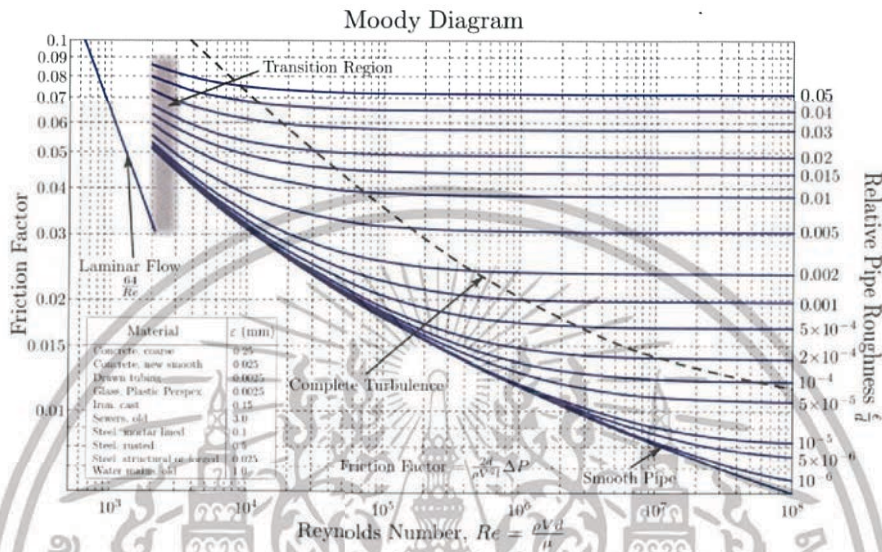
สำหรับการไหลภายในท่อผิวเรียบ ที่ค่าเรย์โนลด์ส์สูงๆ สามารถหาค่าตัวประกอบเสียดทานได้จากการพัฒนาของ Petukhov ดังสมการต่อไปนี้

$$f = (0.79 \ln Re_D - 1.64)^{-2} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่าเรย์โนลด์สในช่วง $3,000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$

แผนภาพของ Moody แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าตัวประกอบเสียดทานของ Darcy-Weisbach ค่าเรย์โนลด์ส และค่าความขรุขระของพื้นผิว สำหรับช่วงการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ภายในท่อ ซึ่งสามารถใช้ทำนายความดันตกคร่อมหรืออัตราการไหลในท่อได้



ภาพที่ 2.3 แผนภาพของ Moody^[3]

2.2.5 พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน

2.2.5.1 กลไกการถ่ายเทความร้อน

ความร้อน คือพลังงานที่สามารถถ่ายโอนจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ต่างกัน ในทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการถ่ายโอนพลังงานดังกล่าวคือการถ่ายเทความร้อน โดยจะถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ และจะหยุดการถ่ายเทความร้อนเมื่อบริเวณทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน

วิธีการถ่ายเทพลังงานความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้จำเป็นต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิ

1. การนำความร้อน

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคหนึ่งไปยังอีกอนุภาคหนึ่ง ทำให้อนุภาคมีพลังงานมากขึ้นจึงเกิดการสั่น แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงที่มีพลังงานน้อยกว่า ซึ่งการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานโดยไม่มีกรเคลื่อนที่ของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การพาความร้อน

การพาความร้อน เป็นรูปแบบของการถ่ายเทพลังงานระหว่างพื้นผิวที่เป็นของแข็งกับของไหลที่เคลื่อนที่ และเกี่ยวข้องกับผลรวมของการนำความร้อนและการเคลื่อนที่ของของไหล การเคลื่อนที่ของของไหลมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ยิ่งของไหลมีความเร็วมาก การถ่ายเทความร้อนก็ยิ่งมีมากขึ้นตาม การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นพาความร้อนแบบอิสระ และพาความร้อนแบบบังคับ

3. การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากสสารในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือโฟตอน) อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของการกำหนดค่าทางอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งการแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง ในความเป็นจริงการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเร็วที่สุด (ที่ความเร็วแสง)

แผนภาพของ Moody แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้มิติซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าตัวประกอบเสียดทานของ Darcy-Weisbach ค่าเรย์โนลด์ส และค่าความขรุขระของพื้นผิว สำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่ภายในท่อ ซึ่งสามารถใช้ทำนายความดันตกคร่อมหรืออัตราการไหลภายในท่อได้

2.2.5.2 สภาวะการถ่ายเทความร้อน

เมื่ออุณหภูมิของของไหลและทอมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยที่ผิวทอมีอุณหภูมิสูงกว่าของไหล การพาความร้อนจะเกิดขึ้น เมื่อความร้อนที่ผิวของท่อเป็นอุณหภูมิผิว (T_s) คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อน (q_s) คงที่ สภาวะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (Thermally fully developed condition) จะเกิดขึ้น

จากการทดลองการไหลแบบปั่นป่วน ค่า Pr จะไม่มีผลกับการพัฒนาชั้นขีดผิวเชิงความเร็ว และชั้นขีดผิวเชิงความร้อน ซึ่งประมาณได้ว่า $L_{e,th} / D \approx 10$

ฟลักซ์ความร้อน (q_s) สามารถหาได้จากกฎของนิวตัน ดังนี้

$$q_s = h(T_s - T_m)$$

เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิผิว

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัด

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

(2.7)

2.2.5.3 สภาวะการพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน

สภาวะการพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (Thermally fully developed) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิไร้มิติไม่มีการเปลี่ยนแปลง การพาความร้อนจะเกิดขึ้นระหว่างชั้นขีดผิวกับของไหล อุณหภูมิของของไหลจึงเปลี่ยนแปลงตามระยะ x เพื่อให้ได้ตามเงื่อนไขของการพัฒนาเชิงความร้อน กำหนดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิแบบไร้มิติในรูป $(T_s - T)/(T_s - T_m)$ อัตราส่วนนี้เป็นอิสระกับ x หมายความว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไร้มิตินี้จะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกรูปแบบนี้ว่าการไหลแบบพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน และจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right] \quad (2.8)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใด ๆ

เงื่อนไขที่กำหนดสำหรับสมการ (2.8) อาจจะเป็น q_s'' คงที่ หรือ T_s คงที่

2.2.5.4 การพาความร้อน

หลักการพื้นฐานของการพาความร้อน

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ การพาความร้อนเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติจากความแตกต่างของอุณหภูมิเรียกว่า การพาความร้อนโดยธรรมชาติ ส่วนการพาความร้อนที่เกิดจากความหนาแน่นของการไหลจากเครื่องส่งกำลังต่าง ๆ จะเรียกว่า การพาความร้อนโดยการบังคับ ในที่นี้จะกล่าวถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวของวัตถุ

ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน

เมื่อของไหลมีอุณหภูมิแตกต่างกับท่อที่มีอุณหภูมิที่ผิวสูงกว่า การพาความร้อนจะเกิดขึ้น เมื่อความร้อนที่ผิวของท่อเป็นอุณหภูมิผิว (T_s) คงที่ หรือฟลักซ์ความร้อน (q_s'') คงที่ สภาวะพัฒนาอย่างสมบูรณ์เชิงความร้อน (Thermally fully developed condition) จะเกิดขึ้น

$$q_s'' = h(T_s - T_m)$$

เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิผิว (2.9)

T_m คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัด

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การถ่ายเทความร้อนในของไหลขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ประเภทของของไหล อย่างไรก็ตามเราสามารถหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในรูปของปริมาณทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$] ความเร็วกระแสหลัก (u) [m/s] ระยะทาง (D) [m] สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล (μ) [Pa · s] ความหนาแน่น (ρ) [kg / m^3] ความร้อนจำเพาะ (C_p) [J / kg · K] และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) [kg / m^3] สามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันปริมาณต่าง ๆ ต่อไปนี้

$$\left(\frac{hD}{k} \right) = f \left\{ \left(\frac{uD}{\mu/\rho} \right), \left(\frac{C_p \mu}{k} \right) \right\} \quad (2.10)$$

จากทั้ง 3 พจน์ในสมการ (2.10) ขึ้นอยู่กับปริมาณทางฟิสิกส์หลายตัว ดังนี้

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2.11)$$

$$Re = \frac{uD}{\mu/\rho} = \frac{uD}{\nu} \quad (2.12)$$

$$Pr = \frac{C_p\mu}{k} = \frac{u/\rho}{k/C_p\mu} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.13)$$

เมื่อ ν คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์

α คือ Thermal diffusivity

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (2.14)$$

กล่าวคือ Nu สามารถแสดงด้วยฟังก์ชันของ Re กับ Pr

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน

ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวที่ทดสอบ (h) กับ ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวเรียบ (h_0) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.15 และ 2.16

$$TEF = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (2.15)$$

$$TEF = \frac{(Nu/Nu_0)}{(f/f_0)^{1/3}} \quad (2.16)$$

เมื่อ Nu คือ เลขนัสเซิลท์

Nu_0 คือ เลขนัสเซิลท์ของท่อผิวเรียบ

f คือ ค่าตัวประกอบเสียดทาน

f_0 คือ ค่าตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ

2.3 การคำนวณการไหลแบบซ้ำเป็นช่วง

สำหรับการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนนี้ การลดภาระและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ นอกจากนี้ยังมีความแม่นยำ และความถูกต้องในการคำนวณ โดยใช้วิธีการคำนวณแบบซ้ำเป็นช่วง (periodic flow) เข้ามาช่วย ซึ่งการวิเคราะห์การไหลลักษณะนี้จะใช้เป็นแบบรูปทรงเรขาคณิต การคำนวณแบบไหลซ้ำเป็นช่วงนี้สามารถแบ่งได้เป็นการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความเร็ว และการไหลซ้ำเป็นช่วงเชิงความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็ว

การไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็วเป็นลักษณะการไหลเมื่อมีค่าความดันตกคร่อมเกิดขึ้นข้ามขอบเขตการไหลไปในทิศทางที่พัฒนาสมบูรณ์แล้ว สภาวะการไหลช้าเป็นช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากมีช่วงความยาวทางเข้าที่เพียงพอ

2.3.1.1 นิยามของความเร็วเมื่อมีการไหลช้าเป็นช่วง

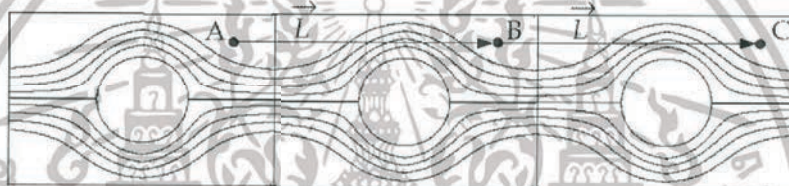
เมื่อรูปแบบการไหลเกิดขึ้นในช่วงการไหล L โดยมีค่าความดันตกคร่อมคงที่ในช่วงโมดูลนั้น ๆ ตามทิศทางของการไหล นิยามของการไหลช้าเป็นช่วงเชิงความเร็วโดยค่าความเร็วย่อยจะซ้ำกันในตัวมันเอง ดังสมการที่ 2.17 และภาพที่ 2.4

$$u_i(\bar{r}) = u_i(\bar{r} + \bar{L}) = u_i(\bar{r} + 2\bar{L}) = \dots \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.17)$$

เมื่อ

\bar{r} คือ เวกเตอร์บอกตำแหน่ง

\bar{L} คือ เวกเตอร์ความยาวที่ซ้ำเป็นช่วงของขอบเขตการไหล



ภาพที่ 2.4 แสดงรูปทรงเรขาคณิตที่ซ้ำเป็นช่วง^[4]

จากภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$u_A = u_B = u_C$$

$$\tilde{p}_A = \tilde{p}_B = \tilde{p}_C$$

$$v_A = v_B = v_C$$

$$p_B - p_A = p_C - p_B$$

2.3.1.2 นิยามของความดันเมื่อมีการไหลช้าเป็นช่วง

สำหรับการไหลแบบมีความหนืดรวมด้วยนั้น ค่าความดันตกคร่อมในช่วงการไหลหรือโมดูลนั้น ๆ จะมีค่าเท่ากัน แสดงดังสมการ 2.18

$$\Delta p = p(\bar{r}) - p(\bar{r} + \bar{L}) = p(\bar{r} + \bar{L}) - p(\bar{r} + 2\bar{L}) = \dots \quad (2.18)$$

ค่าเกรเดียนต์ของความดันเฉพาะ สามารถแยกได้เป็นสองส่วน คือส่วนเกรเดียนต์ที่ซ้ำเป็นช่วง ($\nabla \tilde{p}(\bar{r})$)

และส่วนเกรเดียนต์ความเปลี่ยนแปลงเชิงเส้น ($\beta \frac{\bar{L}}{|\bar{L}|}$) โดยแสดงได้ดังสมการ 2.19

$$\nabla p(\bar{r}) = \beta \frac{\bar{L}}{|\bar{L}|} + \nabla \tilde{p}(\bar{r}) \quad (2.19)$$

เมื่อ

$\tilde{p}(\bar{r})$ คือ ความดันที่ซ้ำกันเป็นช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\beta|\bar{r}|$ คือส่วนของการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นของความดัน

2.3.2 การไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อน

นิยามการไหลเข้าเป็นช่วงเชิงความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อให้ความร้อนที่ผนังท่อที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่ ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างขอบเขตของการเข้าเป็นช่วงจะมีค่าคงที่ เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นแบบเข้าเป็นช่วง จะอธิบายได้ดังสมการนี้

$$\frac{T(\bar{r} + \bar{L}) - T(\bar{r})}{L} = \frac{T(\bar{r} + 2\bar{L}) - T(\bar{r} + \bar{L})}{L} = \sigma \quad (2.20)$$

$$\sigma = \frac{Q}{mc_p L} = \frac{T_{\text{bulk,exit}} - T_{\text{bulk,inlet}}}{L} \quad (2.21)$$

$$T_{\text{bulk}} = \frac{\int_A T|\rho\bar{u}| \cdot d\bar{A}}{\int_A |\rho\bar{u}| \cdot d\bar{A}} \quad (2.22)$$

เมื่อ

σ

คือ เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ

m

คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่กำหนดให้

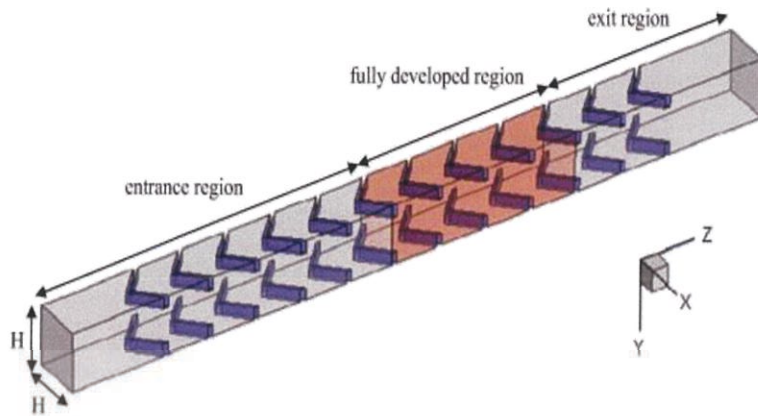
T_{bulk}

คือ อินทิเกรตตลอดพื้นที่หน้าตัดของโดเมนการไหลที่เข้าเป็นช่วง, A

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

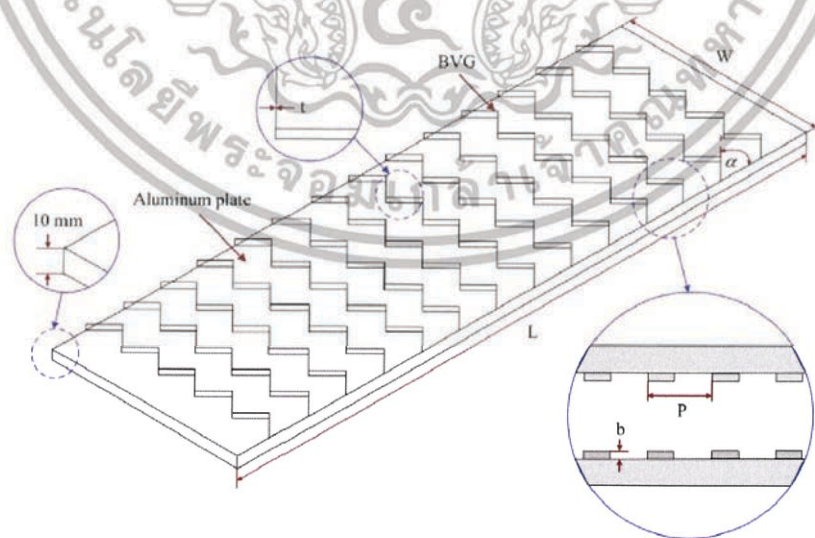
2.4.1 H.E. Fawaz, M.T.S Badawy, M.F. Abd Rabbo, Amr Elfeky [2018] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและพฤติกรรมของความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ซึ่งติดตั้งแผ่นกั้นการไหลทั้งบนและล่างของผนังท่อ กำหนดอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR เท่ากับ 0.2, 0.4 และ 0.6) และอัตราส่วนพิตช์ (PR เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5) เพื่อหาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีมีส่วนกระแสรอบการไหล เมื่อค่าอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) สูงขึ้น หรือค่าอัตราส่วนพิตช์ (PR) ลดลง จะส่งผลให้เลขนัสเซลล์ที่มีค่าสูงขึ้น จากการทดลองค่า BR เท่ากับ 0.2 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 0.78 ที่ค่าเรย์โนลด์ส์ต่ำกว่า 5,000 นอกจากนี้ค่าอัตราส่วนพิตช์ต่ำ (PR เท่ากับ 0.5) จะทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงรูปทรงของท่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี^[5]

2.4.2 Sombat Tamna, Sompol Skullong, Chinarak Thianpong, Pongjet Promvong [2014] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการส่งเสริมประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนในท่อเพิ่มความร้อนในอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบหลายชั้น โดยทดลองในช่วงของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ระหว่าง 4000 ถึง 21000 อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นการไหล (BR) เท่ากับ 0.25, มุมของการปะทะที่ 45° และศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนพิทซ์ (PR) ที่ 0.5, 1, 2 ซึ่งจะศึกษาสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทาน ในการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีจะติดในแนวด้านบนและด้านล่างเป็นแนวยาว ผลของการทดลองเปิดเผยว่ายิ่งค่าอัตราส่วนพิทซ์ (PR) มีค่าน้อย จะให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด



ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนที่ทำการทดลองด้วยแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี BVG^[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Amnart Boonloi, Withada Jedsadaratanachai [2016] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพาความร้อนแบบบังคับของการไหลแบบปั่นป่วน อัตราการถ่ายเทความร้อน และ การปรับปรุงสมรรถนะของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยครีป DCB อิทธิพลของอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR เท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15) และ ครีปซี่ตามกระแสการไหล ถูกทดลองโดยอัตราส่วนพิตซ์ (PR) เท่ากับ 1 และมุมของการปะทะ (α) เท่ากับ 30° สำหรับเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ในช่วง 5,000 ถึง 20,000 ได้แสดงผลการคำนวณในรูปของแผนภาพการไหล พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน และการประเมินประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับท่อผิวเรียบและ งานทดลองก่อนหน้า ผลลัพธ์ของการทดลอง DCB อัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการรบกวนการขึ้นขอบเขตความร้อนเพิ่มมากขึ้น การปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อนประมาณ 2.8-6 เท่า ซึ่งมีค่าสูงกว่าท่อผิวเรียบซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) นอกจากนี้ผลจากการคำนวณเผยให้เห็นว่าปัจจัยที่เหมาะสมของการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน (*TEF*) อยู่ที่ประมาณ 1.72 ที่อัตราส่วนบล็อกการไหลเท่ากับ 0.10 ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 3,000 และติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบซี่สวนกระแส



ภาพที่ 2.7 แสดงท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลในรูปแบบต่าง ๆ^[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แบบจำลองและขั้นตอนการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของแบบจำลองท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี โดยคำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเป็นหลัก การหาค่าที่เหมาะสมของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีโดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หลักๆ ดังนี้ อัตราส่วนพิตซ์ (PR), อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR), องศาของมุมปะทะ (α), ขนาดของแผ่นสี่เหลี่ยมที่เหมาะสม และองศาของการเปิดแผ่นสี่เหลี่ยม

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยเลขนัสเซลท์ (Nu) ค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) เลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ซึ่งมีการไหลแบบ Steady ในการวิจัยนี้ใช้ 4 สมการดังต่อไปนี้

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Average Nusselt Number)

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_s dA \quad (3.1)$$

ค่าตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor)

$$f = \frac{(\Delta p)D}{0.5\rho Lu_0^2} \quad (3.2)$$

เมื่อ Δp คือค่าความดันตกคร่อม และ L คือความยาวช่วงหนึ่งของการไหล

ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor)

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = (Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3} \quad (3.3)$$

เลขเรย์โนลด์ส์ (Reynolds Number)

$$Re = \rho u_0 D / \mu \quad (3.4)$$

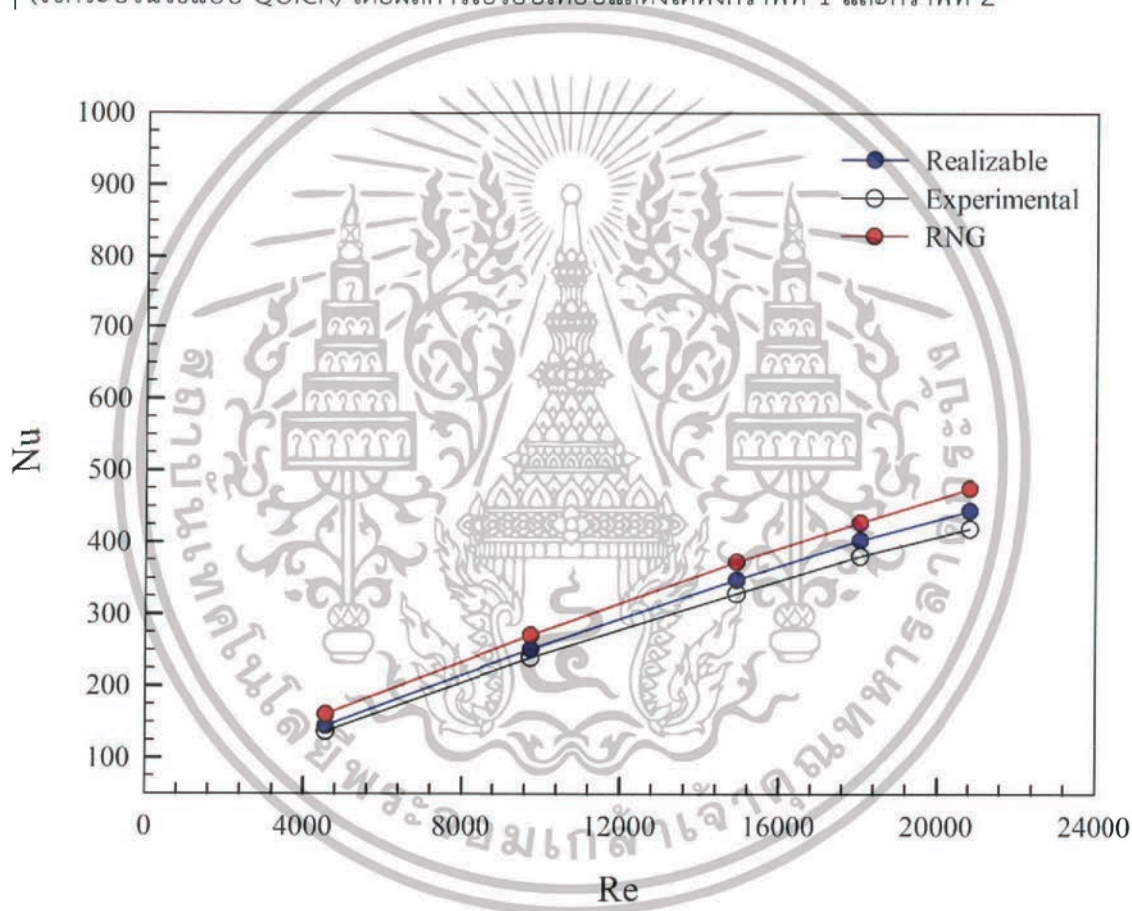
จากตัวแปรหลักข้างต้นสามารถนำผลมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี เพื่อเป็นตัวชี้วัดรูปแบบที่เหมาะสมของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนหรือค่านัสเซลท์ควรที่จะมีค่าสูง ค่าตัวประกอบเสียดทานควรที่จะมีค่าต่ำ และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนควรจะมีค่าสูง ซึ่งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเป็นตัวชี้วัดว่าแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีจะเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

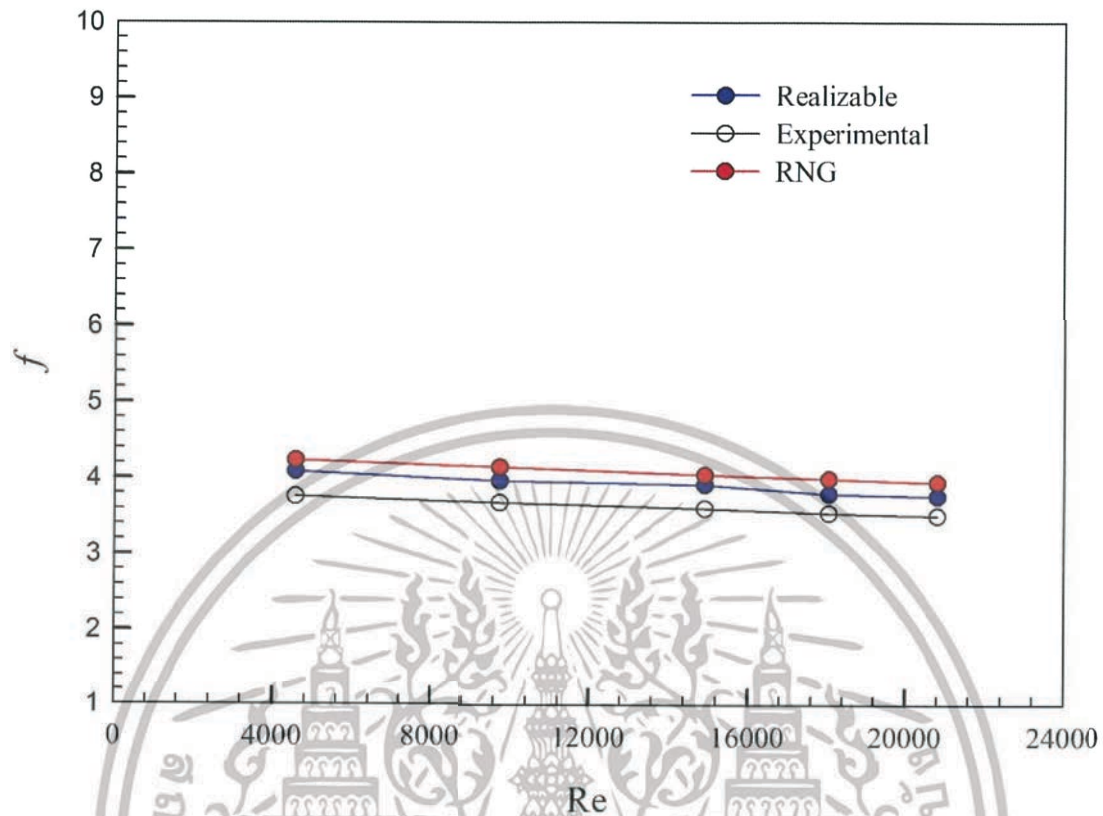
3.2 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลข

3.2.1 การตรวจสอบแบบจำลองปั่นป่วน

ก่อนที่จะนำแบบจำลองเชิงตัวเลขไปใช้ในการหาคำตอบในการทดลองนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองปั่นป่วนที่ใช้เสียก่อน เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองปั่นป่วนที่ใช้มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเลือกเปรียบเทียบผลของแบบจำลองปั่นป่วนกับงานวิจัยในอดีตของ Sombat^[6] ซึ่งเป็นท่อที่มีการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี ที่มีอัตราส่วนของความสูงของแผ่นกั้นการไหล (BR) เท่ากับ 0.25, มุมประทะที่ 45° และศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนพิตซ์ (PR) ที่ 0.5 เปรียบเทียบกับแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ ในรูปแบบต่าง ๆ (ใช้กระบวนการวิธีแบบ QUICK) โดยผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังกราฟที่ 1 และกราฟที่ 2



กราฟที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu จากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Sombat^[6]



กราฟที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบ f จากแบบจำลองปั่นป่วน $k-\epsilon$ และผลการทดลองของ Sombat^[6]

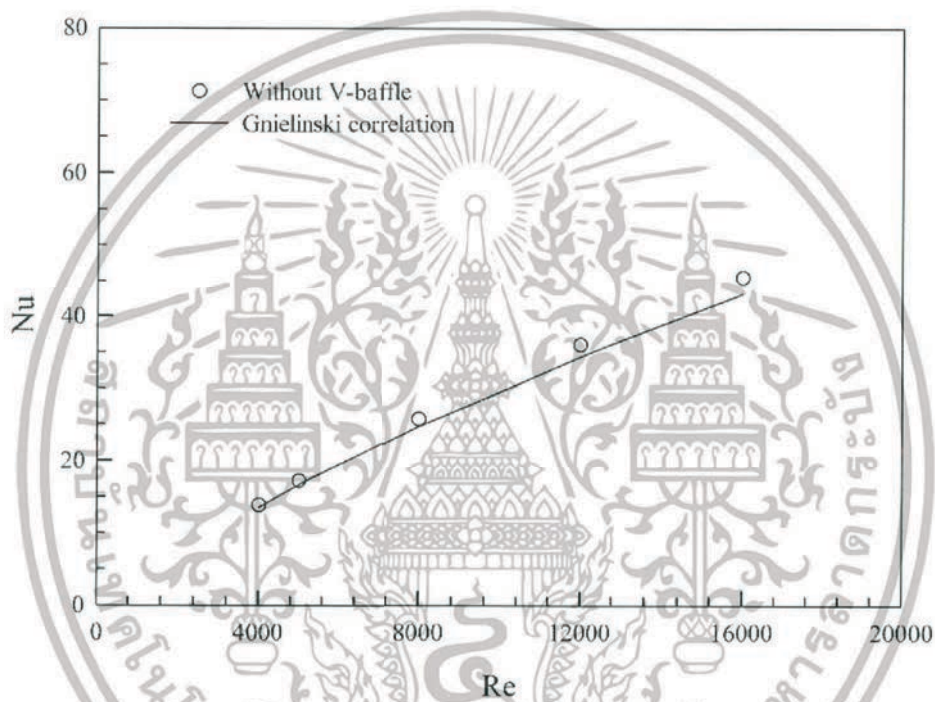
จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขและผลจากการทดลองของ Sombat^[6] พบว่าแบบจำลองปั่นป่วน Realizable $k-\epsilon$ ให้ผลของเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบเสียดทานใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Sombat^[6] มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วนอื่น ๆ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเลขนัสเซิลท์ และตัวประกอบเสียดทานเมื่อเทียบกับผลการทดลองอยู่ที่ 6% และ 8.2% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนเชิงตัวเลขนี้จึงเหมาะสมกับการนำไปทดลองต่อไป

3.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองเชิงตัวเลขของท่อเปล่า

ผลการทดลองปัจจุบันของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและค่าความเสียหายในท่อเปล่าถูกตรวจสอบในรูปแบบของเลขนัสเซลต์ และค่าตัวประกอบเสียหาย โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Gnielinski และ Petukhov สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ

Correlation of Gnielinski,

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad \text{for } 3000 < Re < 5 \times 10^6$$

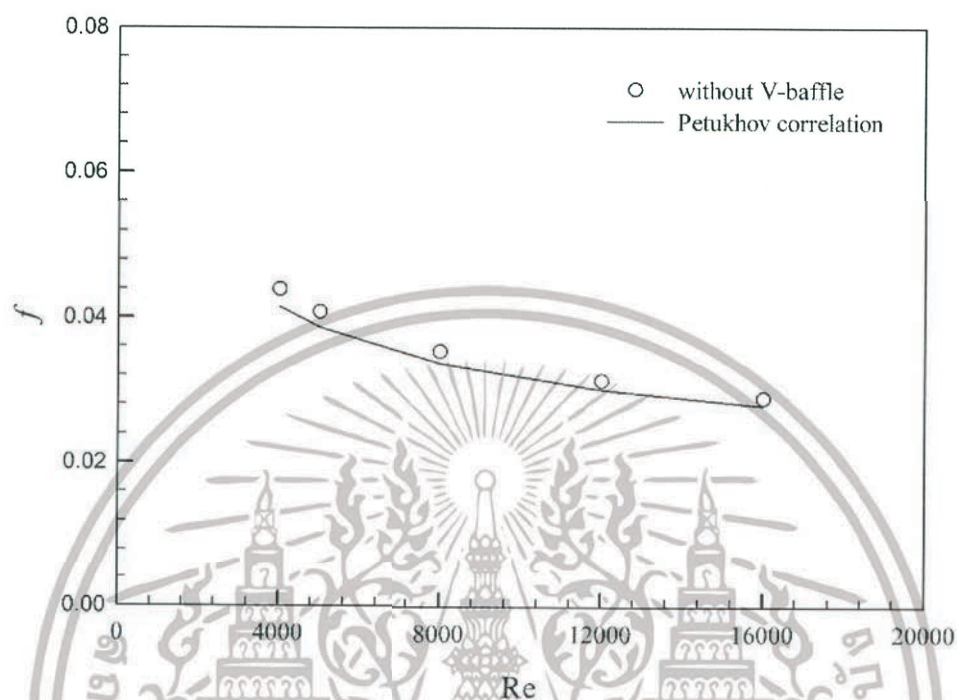


กราฟที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อเปล่า และ Gnielinski correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Correlation of Petukhov,

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad \text{for} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6$$



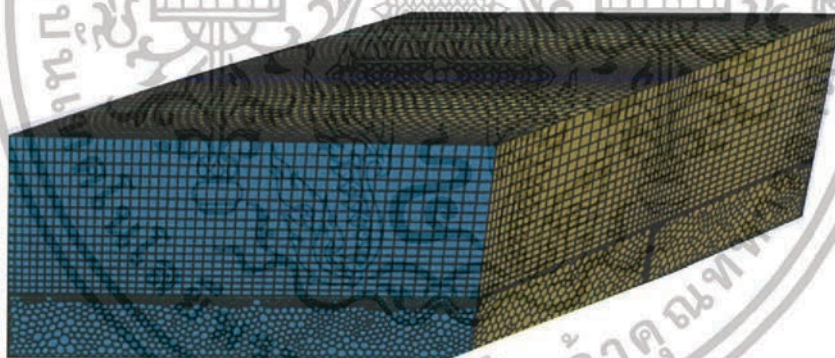
กราฟที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อเปล่า และ Petukhov correlation

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขของท่อเปล่า สำหรับเลขนีสเซลล์ท์ของ Gnielinski correlation และตัวประกอบเสียดทานของ Petukhov correlation ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเลขนีสเซลล์ท์ และตัวประกอบเสียดทานอยู่ที่ 5% และ 6% ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

3.4 การตรวจสอบกริดเซลล์ที่เหมาะสม

รูปแบบกริดเซลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการแบ่งกริดเซลล์แบบทรงหกหน้า และทรงสี่หน้าซึ่งพิจารณาบริเวณกริดเซลล์ที่ติดผนังให้มีจำนวนกริดเซลล์ที่หนาแน่น และบริเวณที่ห่างจากผนังมีจำนวนกริดเซลล์ที่มีความหนาแน่นเบาบางลงตามลำดับ

ส่วนการตรวจสอบจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสมนั้นทำได้โดยการหาจำนวนกริดเซลล์ที่มีผลต่อเลขนัสเซลล์และค่าตัวประกอบเสียดทาน โดยการเปรียบเทียบเลขนัสเซลล์และค่าตัวประกอบเสียดทานที่คำนวณผลมาจากจำนวนกริดเซลล์ที่ต่างกันทั้งหมด 7 ช่วง ได้แก่ 4,800, 9,600, 19,200, 38,400, 76,800, 153,600, 307,500 โดยค่าอัตราส่วนบล็อกการไหล (BR) เท่ากับ 0.1 ค่าอัตราส่วนพิตซ์ (PR) เท่ากับ 1 ค่ามุมของการปะทะ (α) เท่ากับ 45° และมีเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) เท่ากับ 4,000 พิจารณาจากความคลาดเคลื่อนของค่าเลขนัสเซลล์และค่าความดันตกคร่อม ซึ่งทั้งสองค่าต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม โดยช่วงกริดเซลล์เริ่มตั้งแต่จำนวน 32,000 ถึง 240,000 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้จำนวนกริดเซลล์ที่ 150,000 สำหรับอัตราส่วนพิตซ์ (PR) ที่ 0.5, 300,000 สำหรับอัตราส่วนพิตซ์ (PR) ที่ 1, 450,000 สำหรับอัตราส่วนพิตซ์ (PR) ที่ 1.5 และไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนกริดเซลล์ที่มากกว่านี้เพื่อเป็นการลดภาระในการคำนวณให้น้อยลง



ภาพที่ 3.1 รูปร่างกริดเซลล์ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลแบบปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณ

สำหรับการคำนวณการไหลใน 3 มิติ ขอบเขตที่ใช้มีเงื่อนไขดังนี้

3.5.1 ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ

3.5.2 ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล และการถ่ายเทความร้อน โดยศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทาน บนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite volume method)

3.5.3 ใช้คู่ควบของความเร็วและความดันโดยใช้วิธีแบบ COUPLED

3.5.4 ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Realizable $k - \epsilon$

3.5.5 เทอมของการพาความร้อนใช้การคำนวณแบบ QUICK

3.5.6 พิจารณาเฉพาะความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

3.5.7 ศึกษาการไหลแบบปั่นป่วนที่มีเลขเรย์โนลด์สในช่วง ตั้งแต่ 4,000 ถึง 16,000

3.5.8 มีการให้ความร้อนที่ผนังท่อแบบพลั๊กความร้อนคงที่ 600 W/m^2

3.5.9 อัตราส่วนระหว่างความสูงของแผ่นกั้นการไหลกับความยาวด้านของท่อ (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.05, 0.1 และ 0.15

3.5.10 อัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลกับความยาวด้านของท่อ (Pitch ratio, PR) เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5

3.5.11 มุมปะทะ (Angle of attack, α) เท่ากับ 30° , 45° และ 60°

3.5.12 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่า ($H \times H$) 50 mm x 50 mm

3.5.13 ขนาดของแผ่นสี่เหลี่ยมจะห่างจากจุดกึ่งกลางของแผ่นกั้นการไหล 30% ของความยาวแผ่นกั้นการไหล และห่างจากพื้นเป็น 45% ของความสูงแผ่นกั้นการไหล

3.5.14 มุมของการเปิดแผ่นสี่เหลี่ยมเท่ากับ (β) 20° , 25° และ 30°

3.5.15 มุมปะทะ (Angle of attack, α) เท่ากับ 30° , 45° และ 60°

3.6 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบเสียดทาน

3.6.1 แผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐาน

ในการศึกษาครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาแผ่นกั้นรูปตัววีแบบพื้นฐาน โดยกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

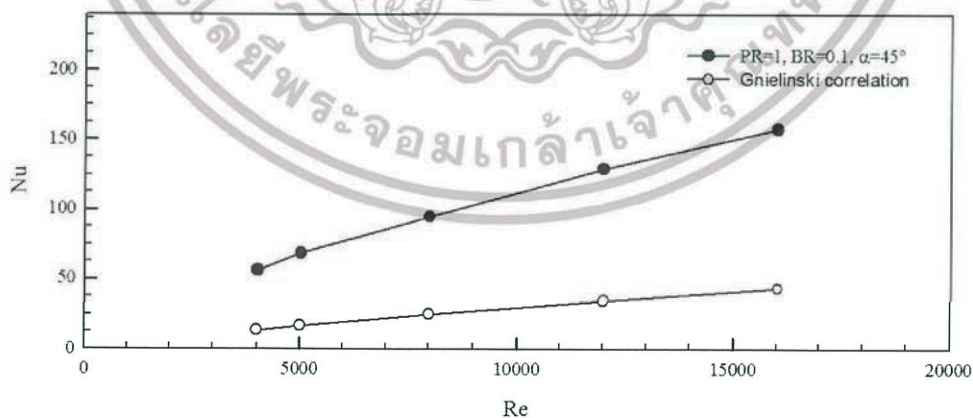
1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR, p_i/H) = 1.0
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR, b/H) = 0.1
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
4. ขนาดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = 0.05 m \times 0.05 m

โดย b คือ ความสูงของแผ่นกั้นการไหล, p คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

เมื่อนำแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีพื้นฐานติดภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.2

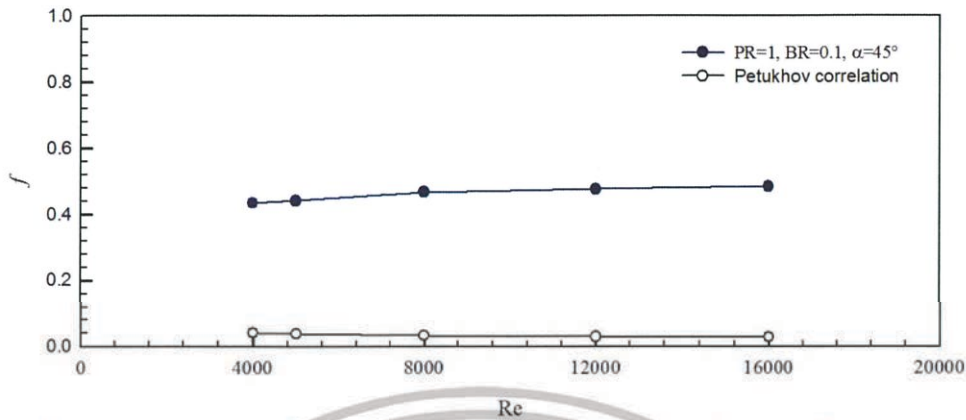


ภาพที่ 3.2 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.1 และ $\alpha=45^\circ$

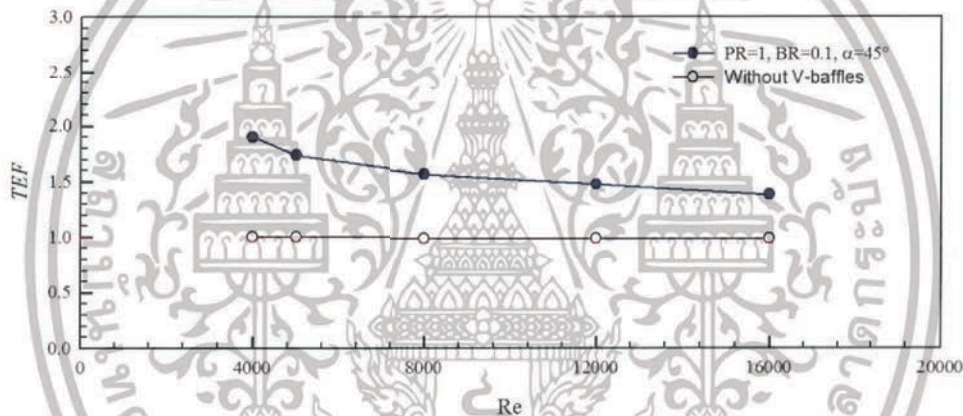


ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐานที่ PR=1, BR=0.1, $\alpha=45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี แบบพื้นฐานที่ $PR=1, BR=0.1, \alpha=45^\circ$



กราฟที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี แบบพื้นฐานที่ $PR=1, BR=0.1, \alpha=45^\circ$

จากการศึกษาแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐาน พบว่าเมื่อติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนและทำลายชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal Boundary Layer) จึงส่งผลให้การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลและผนังท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ อย่างไรก็ตามการติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทาน (f) เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ยังได้ค่าที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเพื่อลดค่าตัวประกอบเสียดทานและเพื่อให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

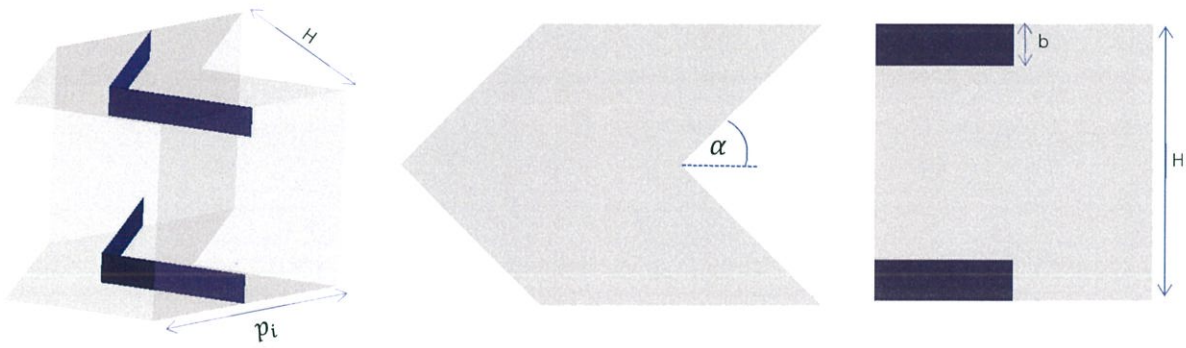
3.6.2 อิทธิพลของความสูง

การศึกษาอิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นการไหล ในรูปของอัตราส่วนบล็อกการไหล มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมให้มีค่าลดลงจากแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบพื้นฐาน โดยปรับเปลี่ยนความสูงของแผ่นกั้นรูปตัววีที่จาก $PR=1$, $BR=0.1$, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

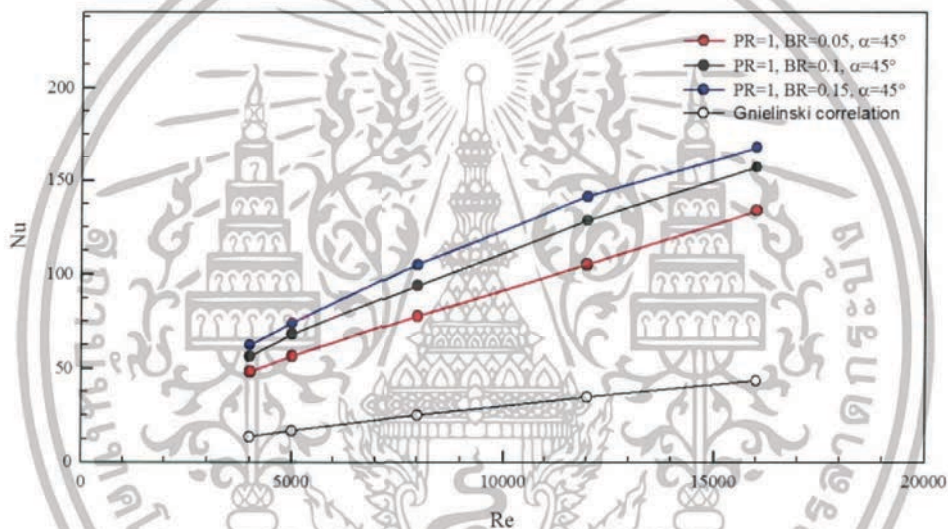
1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR , p_i/H) = 1
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR , b/H) = 0.05, 0.1, 0.15
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
4. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = 0.05 m x 0.05 m

โดยที่ b คือ ความสูงของแผ่นกั้นการไหล, p คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี การปรับค่าอัตราส่วนบล็อกการไหล สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.3 ภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5



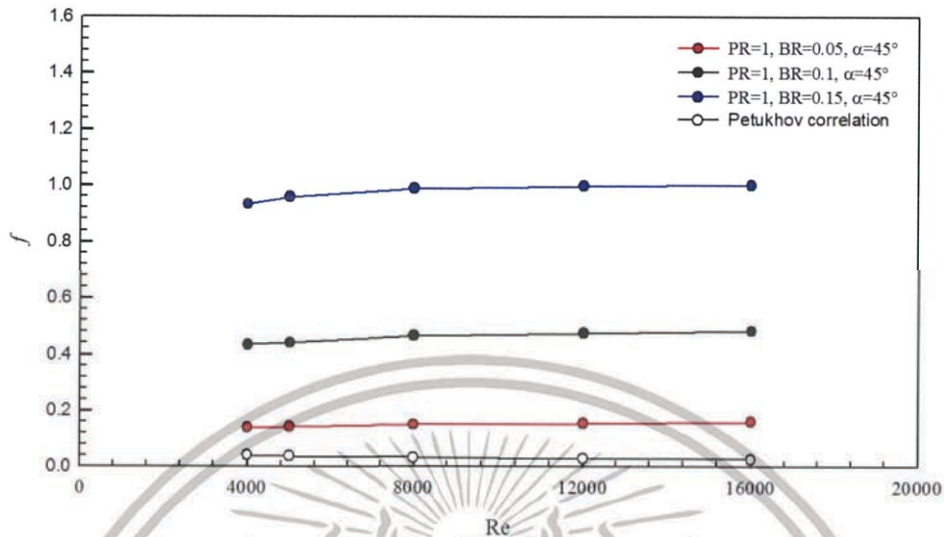


ภาพที่ 3.5 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.15$, $\alpha=45^\circ$

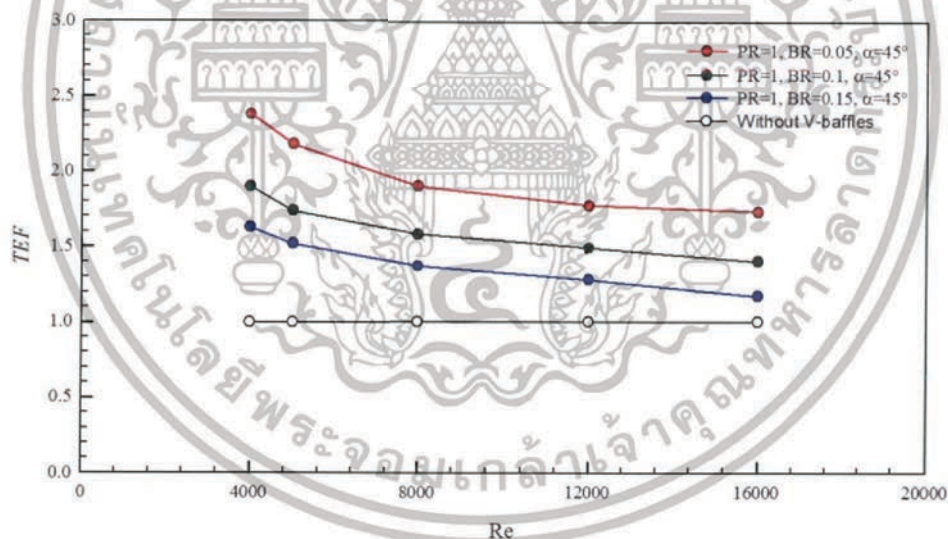


กราฟที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.1$ และ $BR=0.15$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.1$ และ $BR=0.15$



กราฟที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $BR=0.05$, $BR=0.1$ และ $BR=0.15$

เมื่อศึกษาอิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นการไหล ในรูปของอัตราส่วนบล็อกการไหล พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีอัตราส่วนการบล็อกการไหลน้อย จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่า และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีอัตราส่วนการบล็อกการไหลมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 อิทธิพลของพิตช์

จากการศึกษาอิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นการไหล พบว่าเมื่ออัตราส่วนบล็อกการไหลน้อยจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นแต่ก็เกิดความดันสูญเสียมากเช่นกัน ดังนั้นจึงศึกษาอิทธิพลของพิตช์ในรูปของอัตราส่วนพิตช์ โดยปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นรูปตัววีจาก $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR , p_i/H) = 0.5, 1.0, 1.5
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR , b/H) = $b/H = 0.05$
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 45°
4. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = $0.05 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$

โดยที่ b คือ ความสูงของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี, p คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี การปรับค่าอิทธิพลของพิตช์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.6 ภาพที่ 3.7 และภาพที่ 3.8

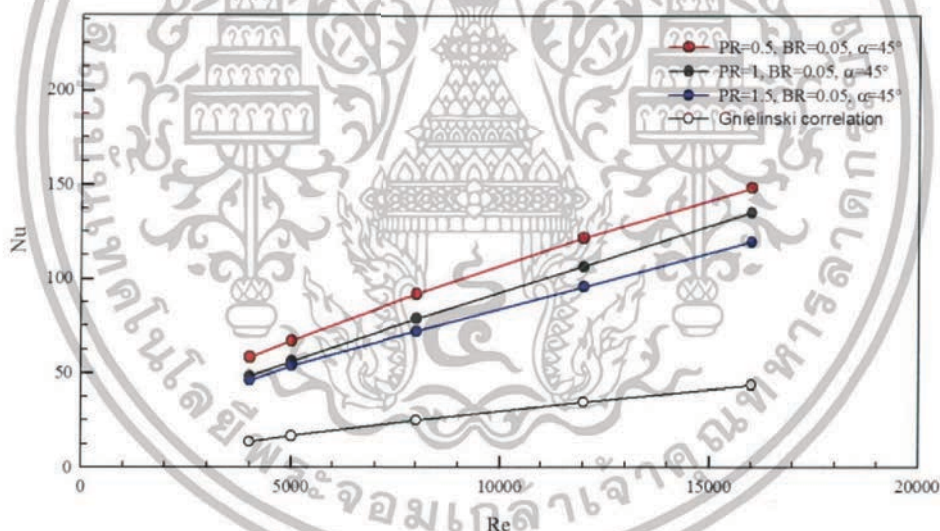


ภาพที่ 3.6 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$

ภาพที่ 3.7 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดที่แผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$

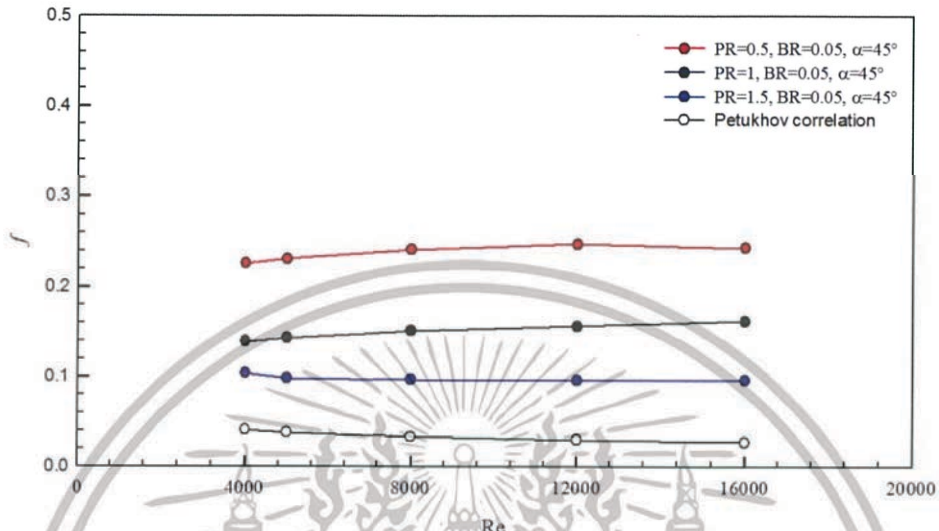


ภาพที่ 3.8 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันการไหลรูปตัววีที่ $PR=1.5$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$

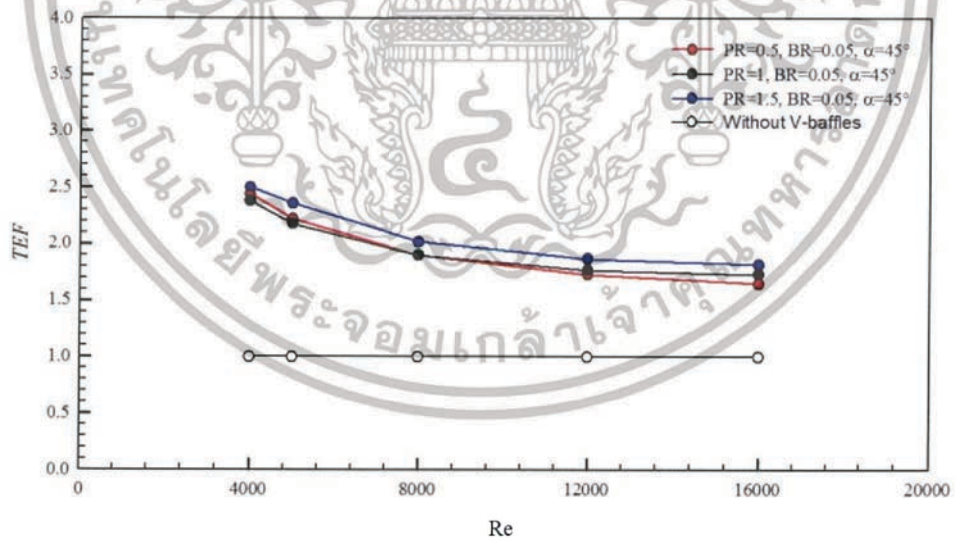


กราฟที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกันการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5$, $PR=1$ และ $PR=1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5, PR=1$ และ $PR=1.5$



กราฟที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $BR=0.05, \alpha=45^\circ$ ระหว่าง $PR=0.5, PR=1$ และ $PR=1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาอิทธิพลของพิตช์ ในรูปของอัตราส่วนพิตช์ พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันการไหล รูปตัววีที่มีอัตราส่วนพิตช์น้อย จะมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลและผนังท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่ามากขึ้น แต่ค่าตัวประกอบเสียดทานยังมีค่าที่สูง และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันการไหล รูปตัววีที่มีอัตราส่วนพิตช์มาก

3.6.4 อิทธิพลของมุมปะทะ

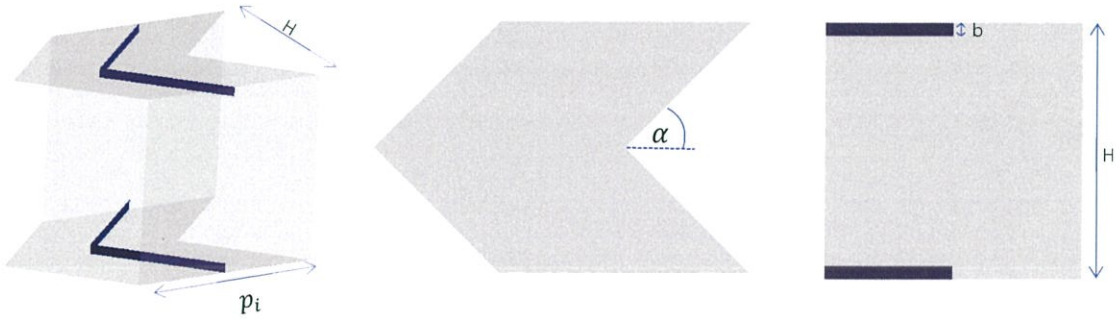
จากการศึกษาอิทธิพลของความสูง และอิทธิพลของพิตช์ของแผ่นกันการไหลรูปตัววี พบว่าเมื่ออัตราส่วน บล็อกการไหลและอัตราส่วนพิตช์น้อย จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นแต่ก็เกิดความดันสูญเสียมาก เช่นกัน ดังนั้นจึงทำการศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะ (α) เพื่อลดความดันตกคร่อม และเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน โดยปรับเปลี่ยนมุมปะทะของแผ่นกันรูปตัววีจาก $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=45^\circ$ ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR , p_i/H) = 1
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR , b/H) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30° , 45° , 60°
4. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = $0.05 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$

โดยที่ b คือ ความสูงของแผ่นกันการไหล, p คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกันการไหลรูปตัววี การปรับมุมของการปะทะ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.9 ภาพที่ 3.10 และภาพที่ 3.11



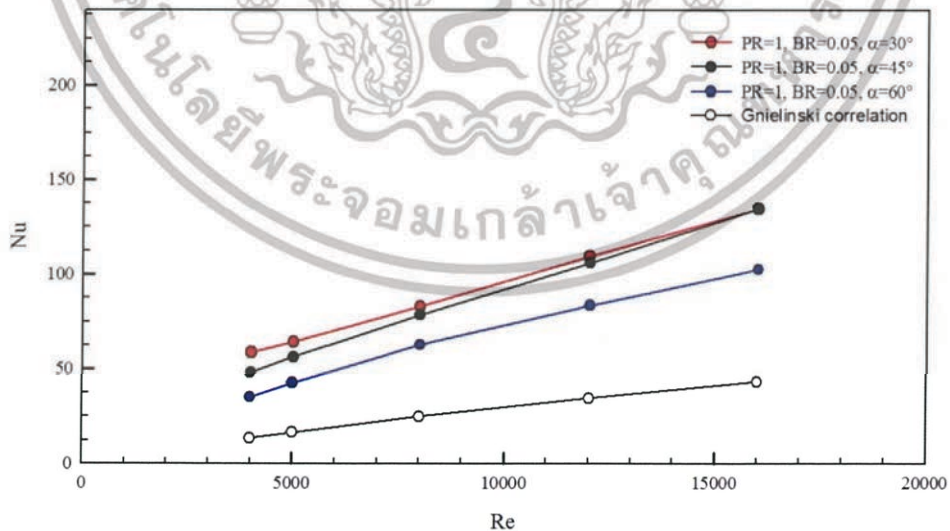
ภาพที่ 3.9 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05, \alpha =45^\circ$

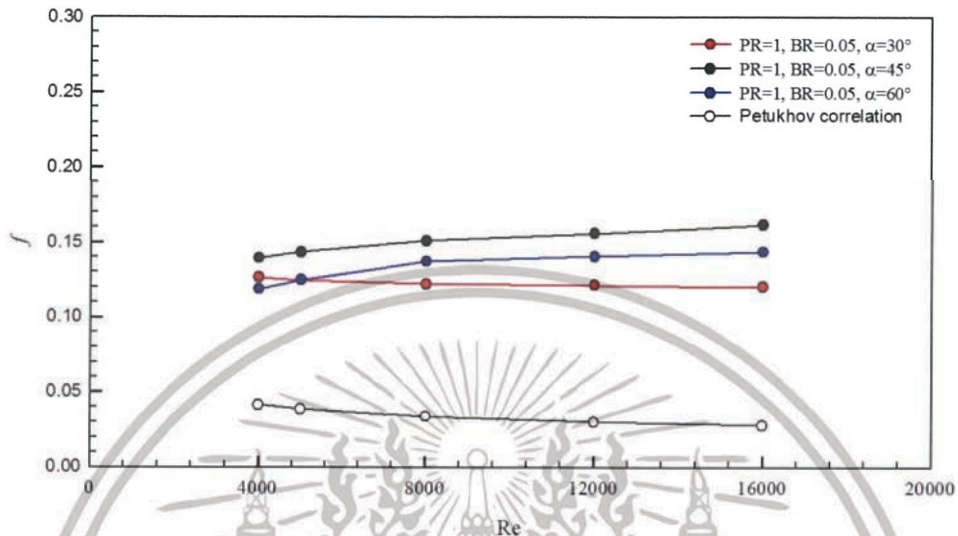


ภาพที่ 3.11 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05, \alpha=60^\circ$

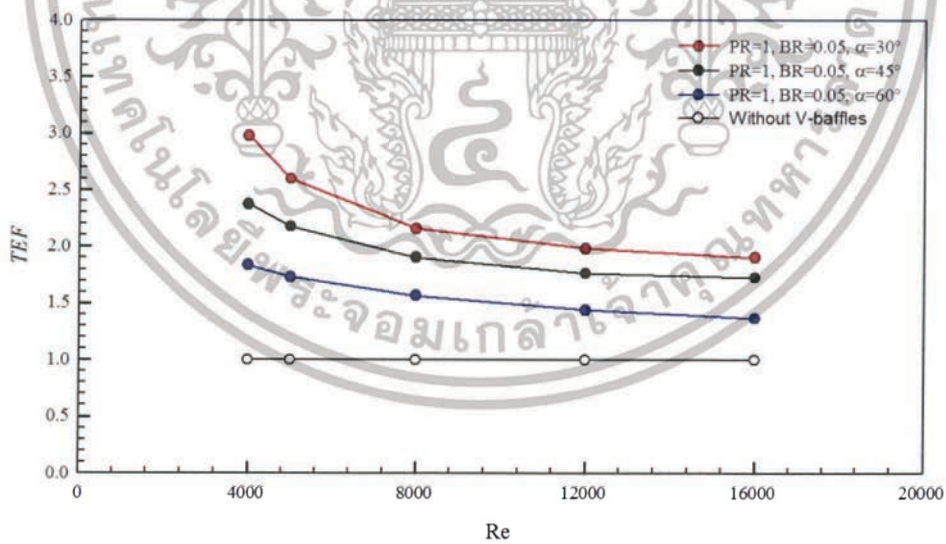


กราฟที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$

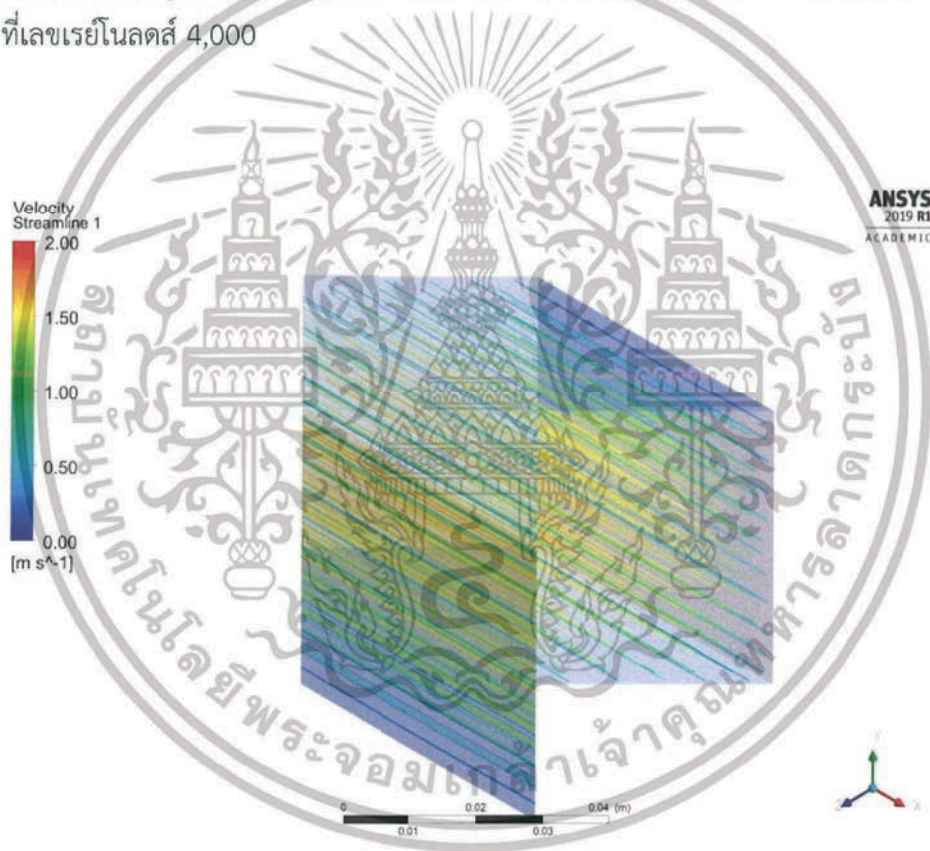


กราฟที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1, BR=0.05$ ระหว่าง $\alpha=30^\circ, \alpha=45^\circ$ และ $\alpha=60^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

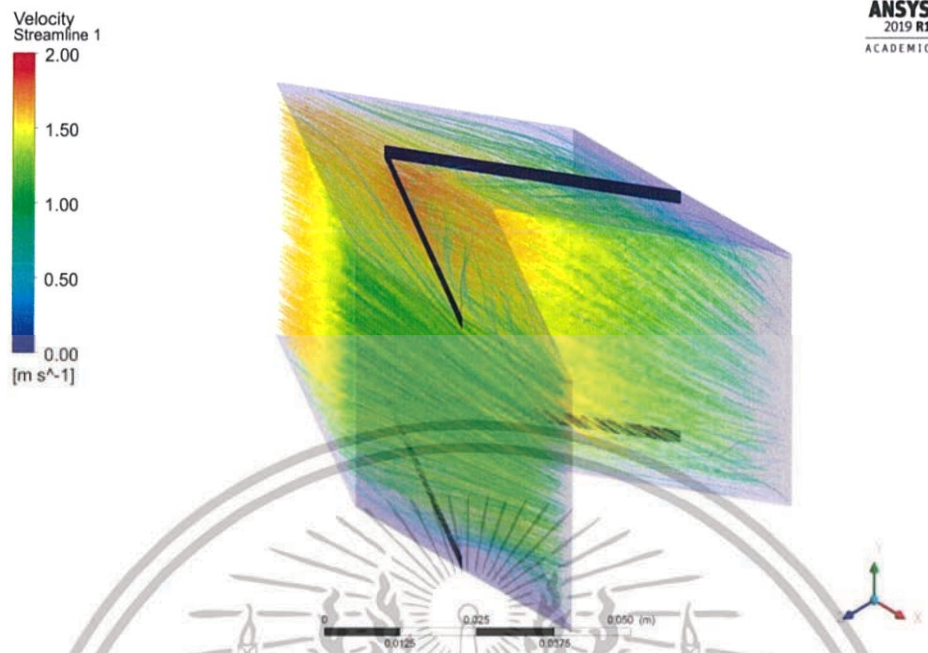
เมื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะ พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีมุมของการปะทะน้อย จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่า และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีมุมปะทะมากกว่า

จากการศึกษาอิทธิพลต่าง ๆ ของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีทำให้ทราบว่า แผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีอัตราส่วนบล็อกการไหลน้อย ($BR=0.05, 0.1, 0.15$) จะช่วยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อได้ดี แผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีอัตราส่วนพิตช์น้อย ($PR=0.5, 1.0, 1.5$) จะช่วยทำให้ของไหลไหลแบบปั่นป่วนได้มากขึ้นแต่ก็จะทำให้เกิดตัวประกอบเสียดทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน และแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีมุมของการปะทะน้อย ($\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) จะช่วยลดค่าตัวประกอบความเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยผลที่ได้จากการศึกษารูปแบบของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีพบค่าที่เหมาะสมคือ $PR=1, BR=0.05, \alpha=30^\circ$ ซึ่งมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 2.98 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ 4,000

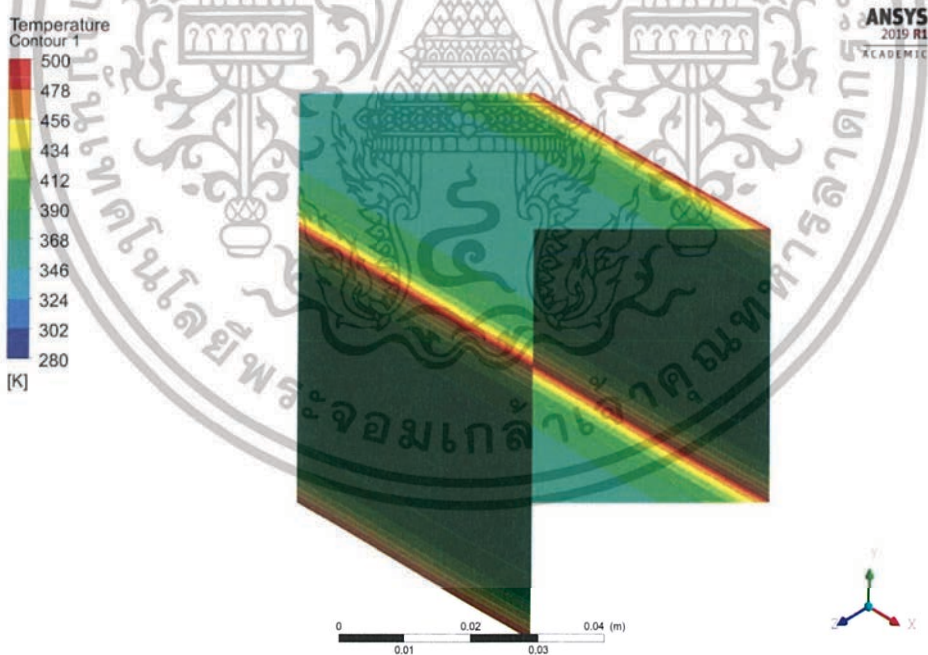


ภาพที่ 3.12 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ไม่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

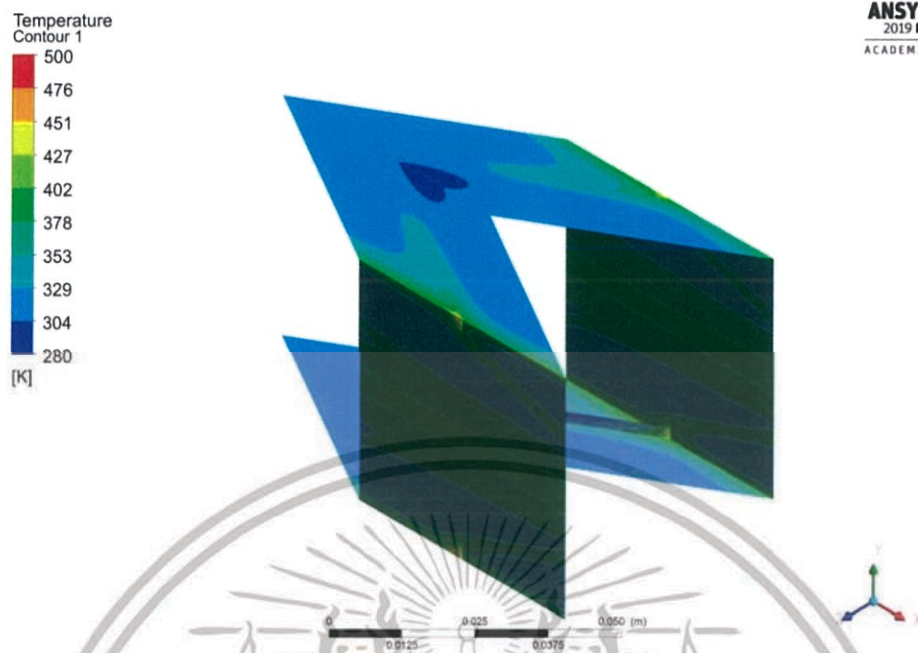


ภาพที่ 3.13 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี



ภาพที่ 3.14 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ไม่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.15 คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี

3.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

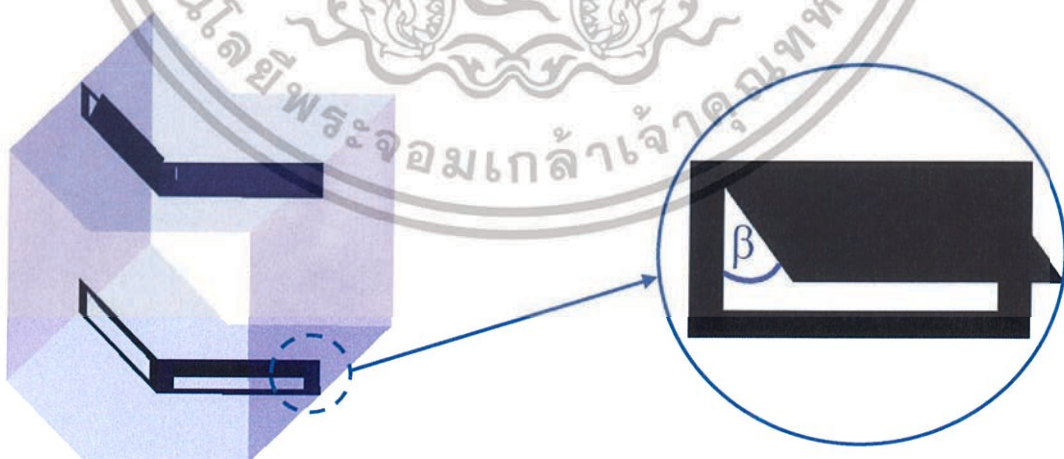
- 3.7.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส
- 3.7.2 กำหนดรูปร่างและลักษณะของแผ่นกั้นการไหลโดยอ้างอิงรูปแบบพื้นฐานจากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา
- 3.7.3 สร้างแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบพลศาสตร์ของไหล และหาขนาดและจำนวนกริดเซลล์ที่เหมาะสม
- 3.7.4 คำนวณเชิงตัวเลขจากการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนสามมิติ โดยจัดวางแผ่นกั้นการไหลชี้ทวนกระแส โดยเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ได้แก่ Re , PR , BR , α , β
- 3.7.5 วิเคราะห์ผลวิจัยที่ได้จากการคำนวณโดยการเปรียบเทียบค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการถ่ายเทความร้อน ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนโดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการศึกษา

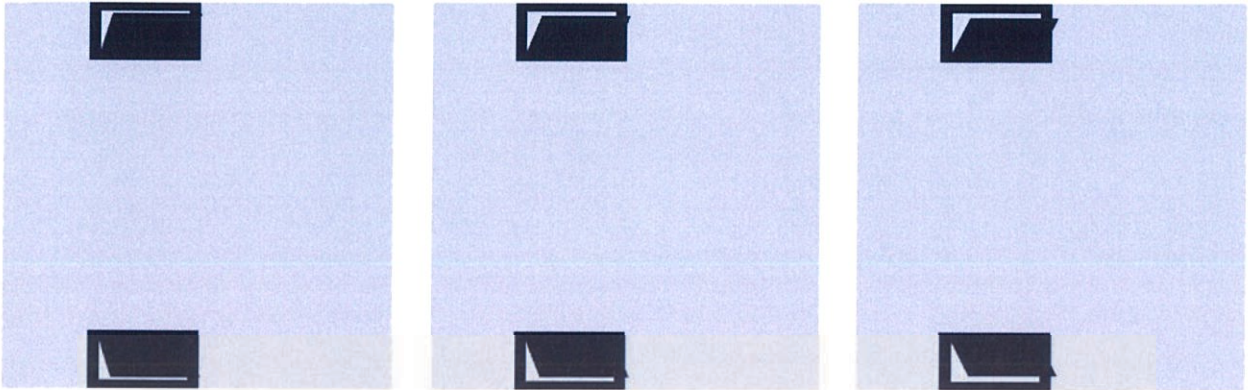
จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานก็มีค่ามากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงเป็นที่มาของการปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ด้วยโปรแกรม ANSYS fluent 19.1 สำหรับการปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีจะทำการตัดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วทำการเปิดแผ่นกั้นการไหลที่ถูกตัดออกมาเป็นหน้าต่างเป็นมุมต่าง ๆ โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อม เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง ผลที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและการเปรียบเทียบ โดยจะแสดงผลที่ได้ทั้งแบบพื้นฐานและแบบปรับปรุงในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์เลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) กราฟความสัมพันธ์ของประกอบแรงเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) และอธิบายถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างและสรุปผลรูปทรงที่เหมาะสมจากผลการศึกษา

จากการปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี โดยการตัดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วทำการเปิดแผ่นกั้นการไหลที่ถูกตัดออกเป็นหน้าต่างมุมต่าง ๆ ซึ่งมุมที่เปิดคือ 20° , 25° และ 30° โดยจะแสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 ก-ค



ภาพที่ 4.1 แสดงแผ่นกั้นการไหลที่มีการเจาะเป็นแผ่นที่เหลี่ยมแล้วทำการเปิดด้วยมุมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก ข ค
 ภาพที่ 4.2 ก-ค แสดงภาพด้าน side view ของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีเมื่อตัดแผ่นออกเป็นช่องสี่เหลี่ยมแล้วเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° ตามลำดับ

4.1 การหาขนาดของช่องแผ่นสี่เหลี่ยมที่เหมาะสม

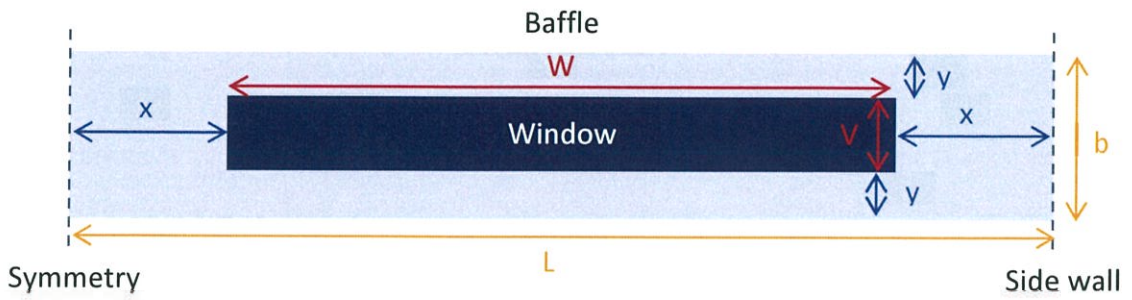


ภาพที่ 4.3 แสดงภาพ 3 มิติ ภาพด้านบน และภาพด้านข้างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$

ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลแบบไม่เจาะช่องสี่เหลี่ยม		
$PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$, $Re=4000$		
Nu	f	TEF
58.505545	0.12638	2.98

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ $PR=1$, $BR=0.05$, $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 แสดงภาพด้านหน้าของครึ่งหนึ่งของแผ่นกั้นการไหลที่ทำการเจาะช่องสี่เหลี่ยม

$$V = b - 2y \tag{4.1}$$

$$W = L - 2x \tag{4.2}$$

เมื่อ

- x คือ ระยะห่างจากด้านข้างของแผ่นกั้นการไหล
- y คือ ระยะห่างจากพื้นของแผ่นกั้นการไหล
- b คือ ความสูงของแผ่นกั้นการไหล
- L คือ ความยาวครึ่งหนึ่งของแผ่นกั้นการไหล
- W คือ ความกว้างของหน้าต่าง
- V คือ ความสูงของหน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลแบบเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาดต่าง ๆ					
PR=1, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$, $\beta=20^\circ$, Re=4000					
x	y	VxW	Nu	f	TEF
0%	0%	2.5 × 50	58.505545	0.12638	2.98
10%	10%	2 × 40	56.899298	0.11390	3.00
10%	20%	1.5 × 40	57.331238	0.11146	3.04
10%	30%	1.25 × 40	59.592698	0.11595	3.12
10%	40%	1 × 40	62.348566	0.12246	3.21
10%	45%	0.5 × 40	65.567583	0.12463	3.35
20%	45%	0.25 × 40	66.890887	0.12473	3.42
30%	45%	0.25 × 30	67.43255	0.12512	3.45
40%	45%	0.25 × 20	67.23416	0.12526	3.43
45%	45%	0.25 × 15	67.451086	0.12556	3.44

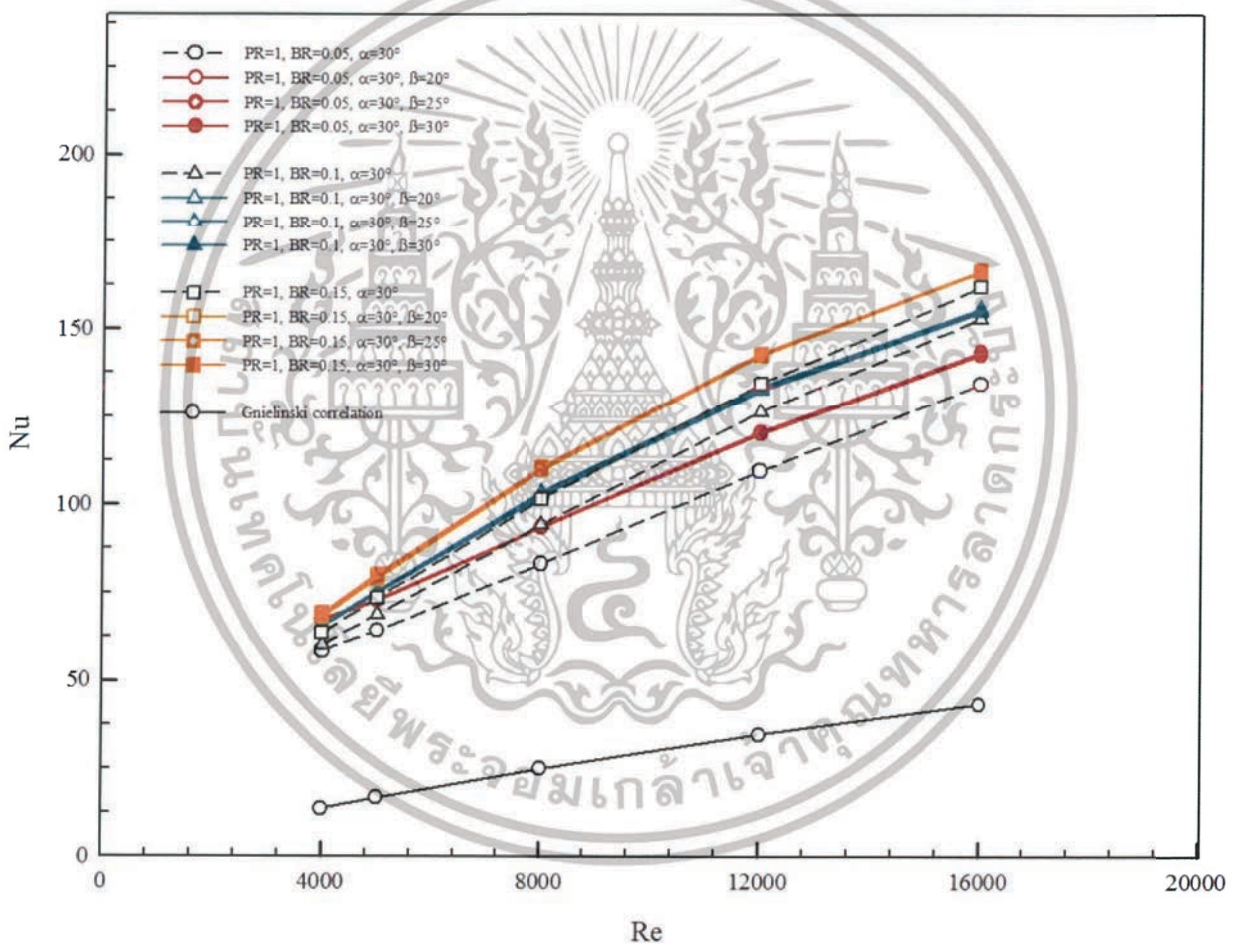
ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมแล้วหมุนเปิดด้วยมุม 20 องศา ($\beta=20^\circ$) ที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$

จากการศึกษาแผ่นกั้นการไหลแบบที่ไม่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมและแบบที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมด้วยขนาดต่าง ๆ ที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$, $\beta=20^\circ$ ที่ Re=4000 ทำให้ทราบว่าแผ่นกั้นการไหลแบบที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า โดยระยะห่างจากด้านข้างของแผ่นกั้นการไหล (a) เป็น 30% ของความยาวแผ่นกั้นการไหล และระยะห่างจากพื้นด้านล่างของแผ่นกั้นการไหล (b) สามารถหาได้จาก 45% ของความสูงแผ่นกั้นการไหลในแต่ละรูปแบบของแผ่นกั้นการไหล ทำให้ทราบขนาดของหน้าตัด (VxH) ที่ให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

4.2 อิทธิพลของแผ่นกั้นการไหลแบบปรับปรุงโดยการทำให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมที่เปิดด้วยมุมต่าง ๆ

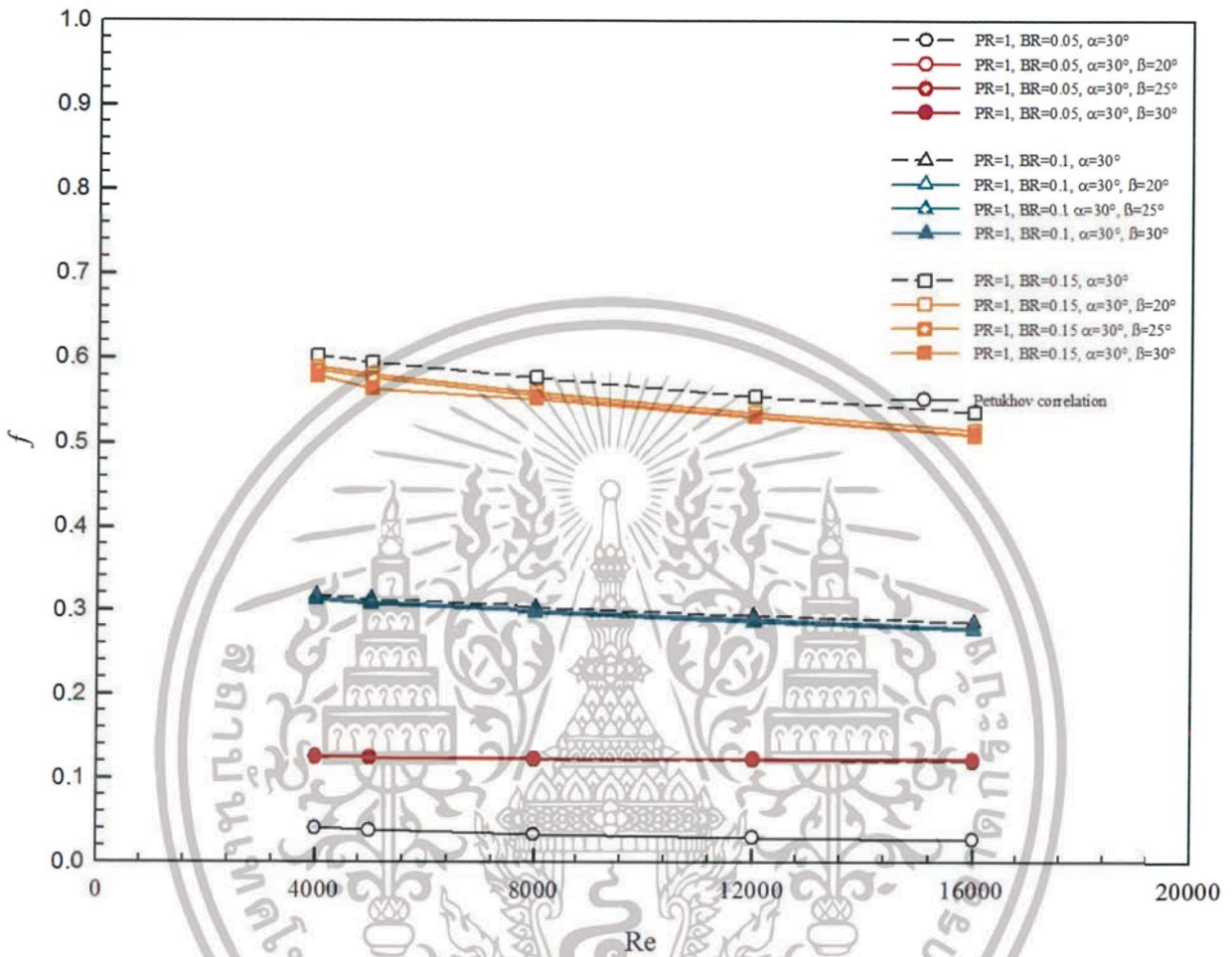
การศึกษาอิทธิพลของความสูงแผ่นสี่เหลี่ยม มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมให้มีค่าลดลง และเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงมุมของแผ่นสี่เหลี่ยม ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิทช์ (PR, p_i/H) = 1
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR, b/H) = 0.05, 0.1, 0.15
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°
4. มุมของหน้าต่าง (β) = 20° , 25° , 30°
5. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = 0.05 m x 0.05 m



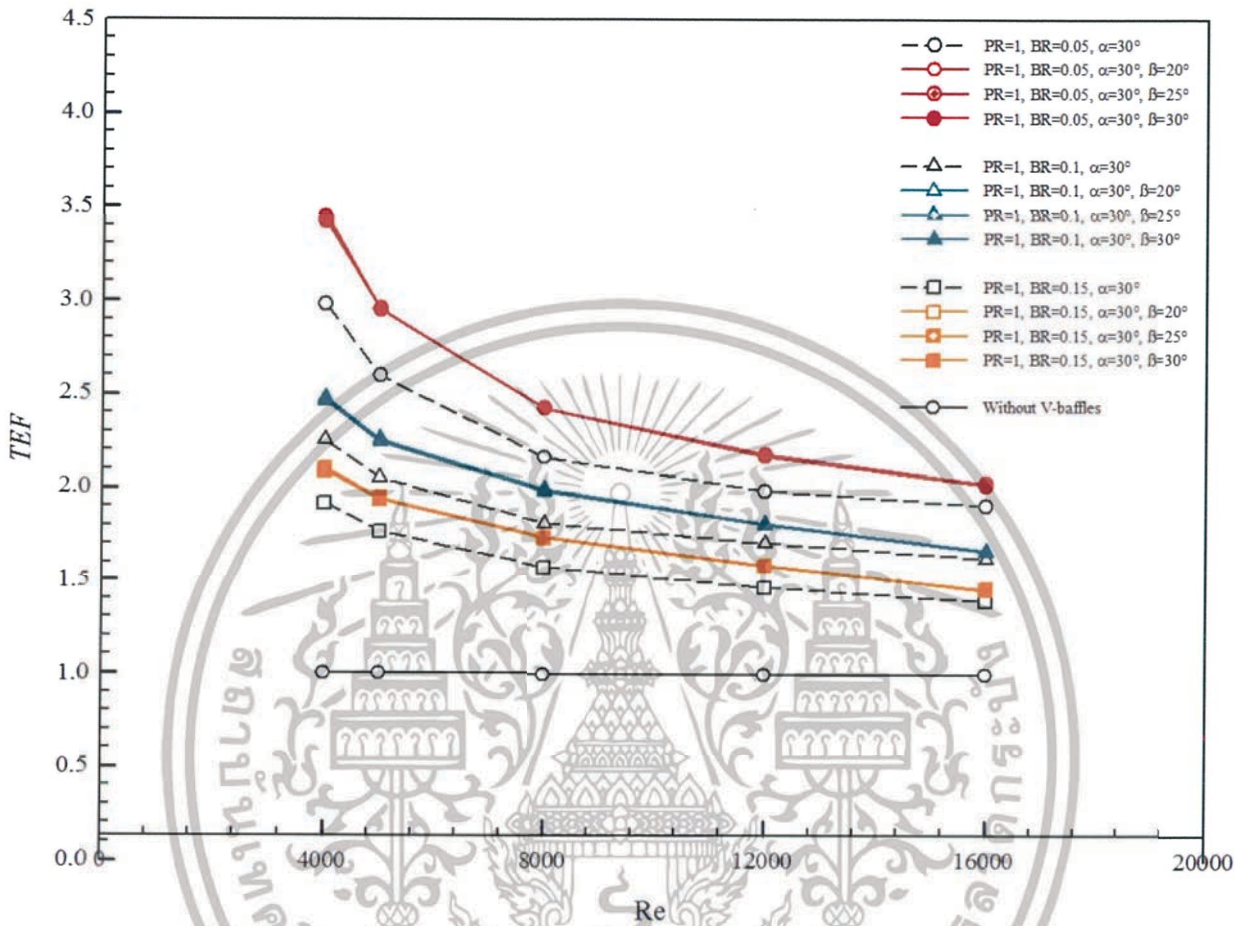
กราฟที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ PR=1, BR=0.05, 0.1, 0.15 $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=1$, $BR=0.05, 0.1, 0.15$ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

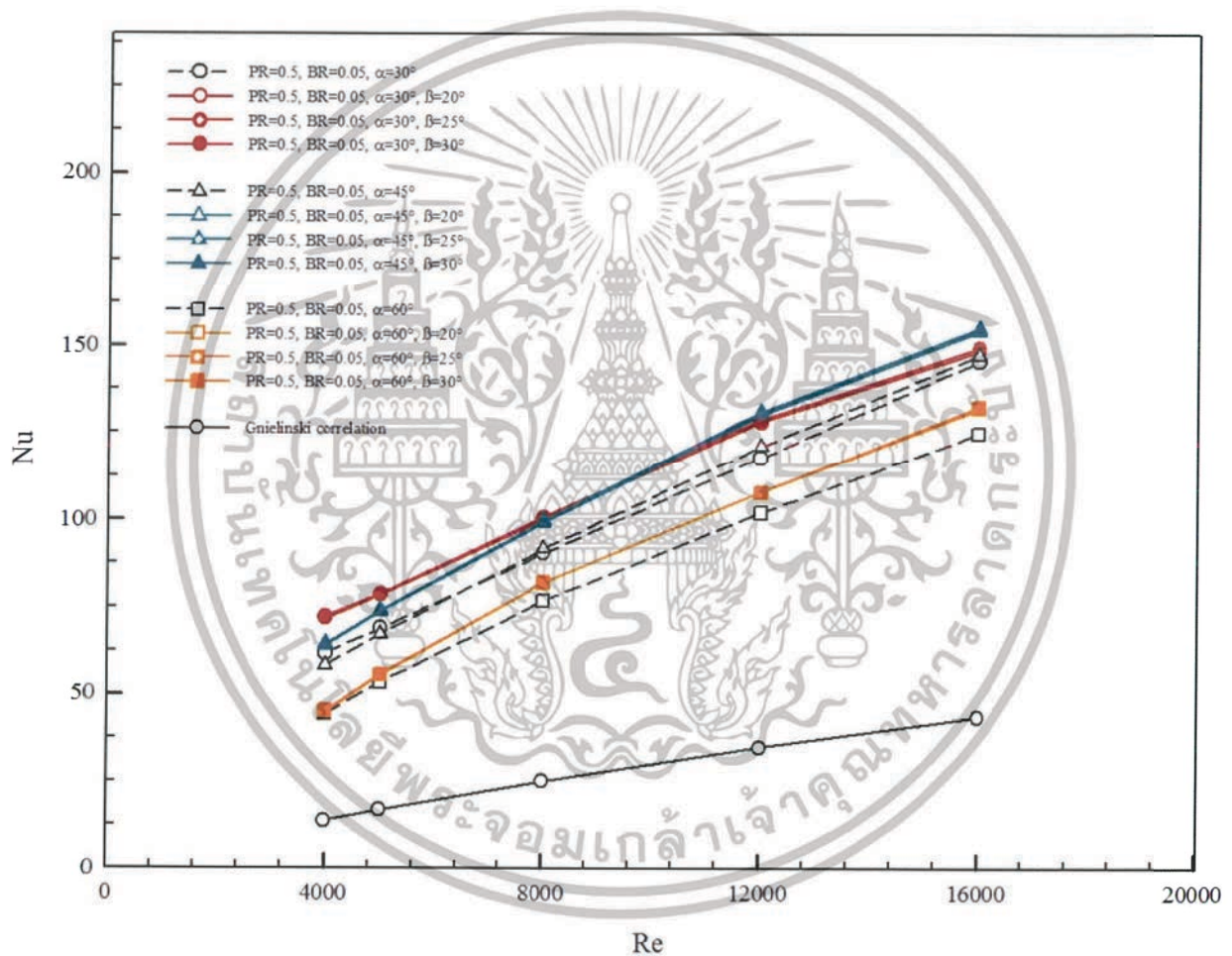


กราฟที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=1$, $BR=0.05$, 0.1 , 0.15 , $\alpha=30^\circ$

เมื่อศึกษาอิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นการไหลที่มีการเจาะรูเป็นช่องสี่เหลี่ยม พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะรูที่มีอัตราส่วนการบล็อกการไหลน้อย จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่าแบบธรรมดาไม่มาก แต่สมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าเดิมเมื่อเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา

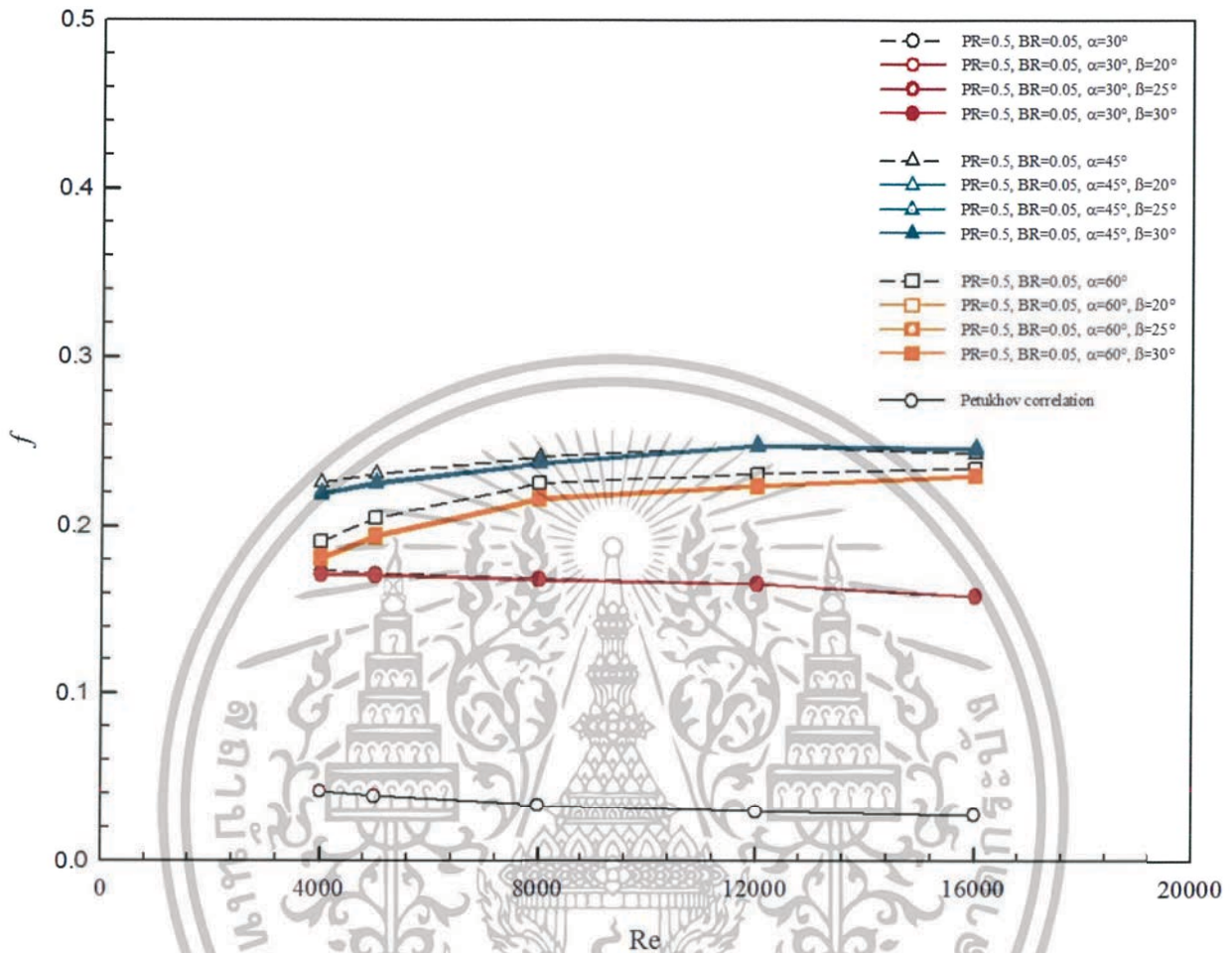
การศึกษาอิทธิพลของมุมแผ่นสี่เหลี่ยม มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมให้มีค่าลดลง และเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นสี่เหลี่ยม ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราส่วนส่วนพิตช์ (PR, p_i/H) = 0.5
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR, b/H) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°, 45°, 60°
4. มุมของหน้าตาต่าง (β) = 20°, 25°, 30°
5. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = 0.05 m x 0.05 m

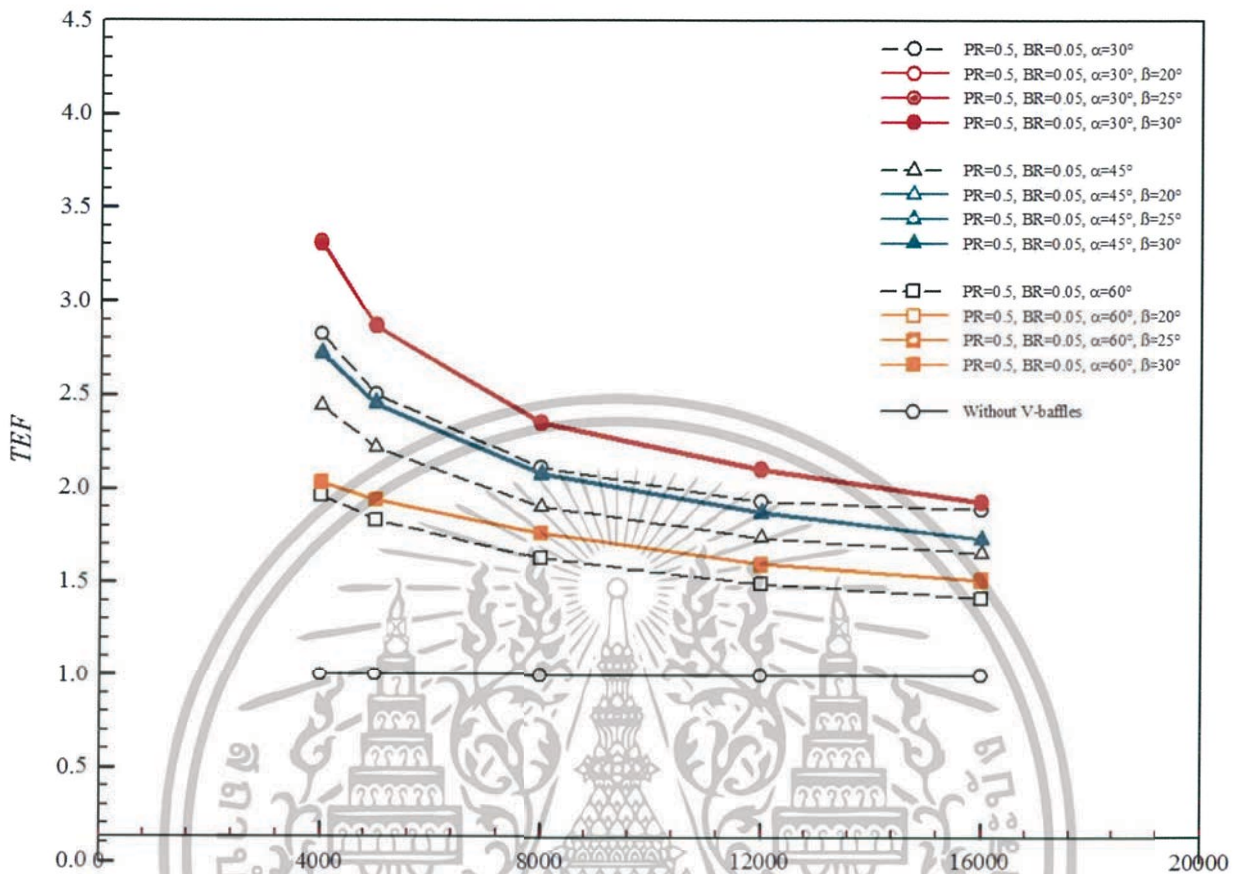


กราฟที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20°, 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ PR=0.5, BR=0.05, $\alpha=25^\circ, 30^\circ, 45^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม $20^\circ, 25^\circ$ และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5, BR=0.05, \alpha=25^\circ, 30^\circ, 45^\circ$



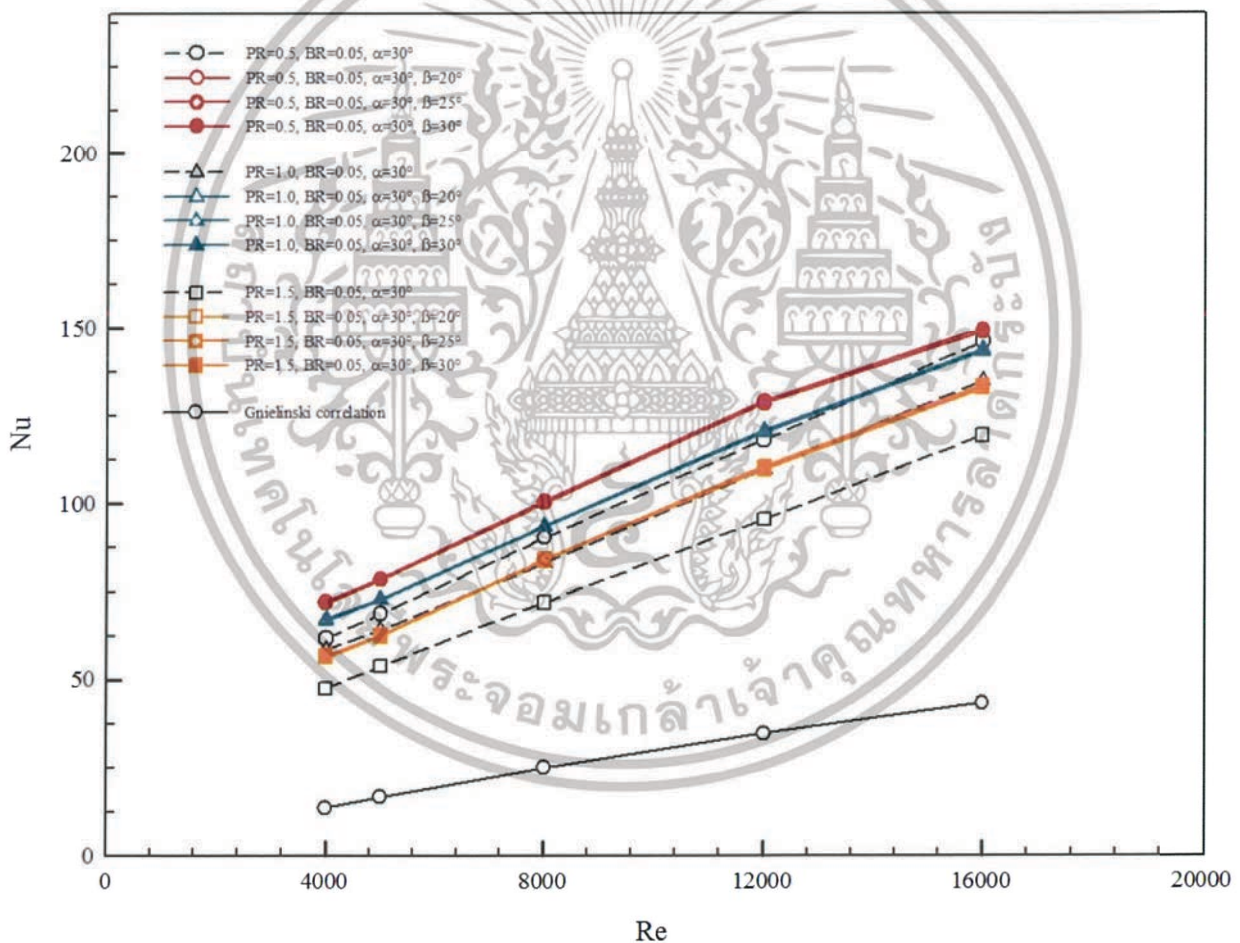
กราฟที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5$, $BR=0.05$, $\alpha=25^\circ$, 30° , 45°

เมื่อศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะ พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบเจาะรูเป็นช่องสี่เหลี่ยมสามารถลดความดันตกคร่อมได้ ซึ่งมุมของการปะทะน้อย จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่า และมีสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา

การศึกษาอิทธิพลของพิทช์แผ่นสี่เหลี่ยม มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความปั่นป่วน ลดค่าความดันตกคร่อมให้มีค่าลดลง และเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการปรับเปลี่ยนมุมของแผ่นสี่เหลี่ยม ซึ่งการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

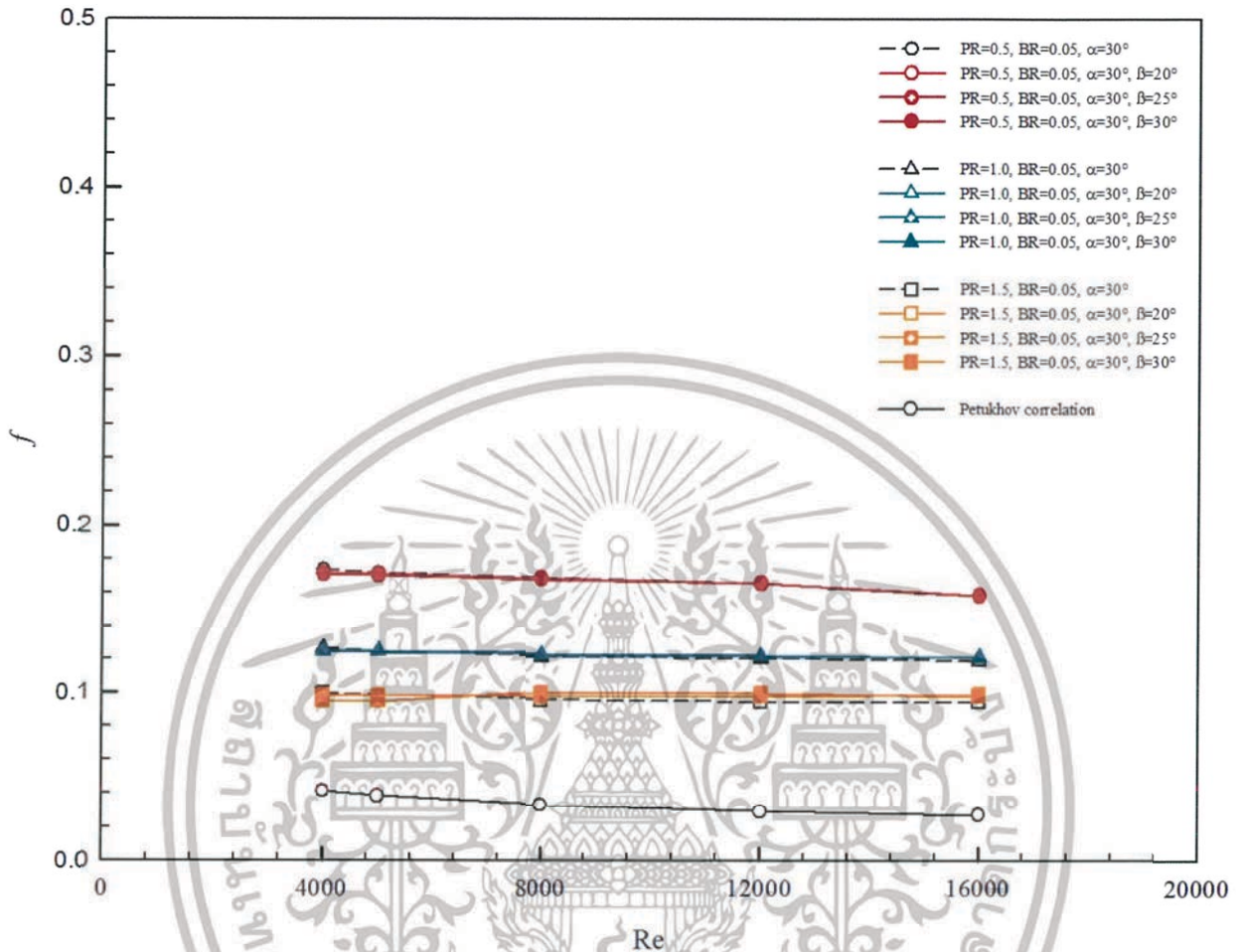
1. อัตราส่วนส่วนพิทช์ (PR, p_i/H) = 0.5, 1.0, 1.5
2. อัตราส่วนบล็อกการไหล (BR, b/H) = 0.05
3. องศาของมุมปะทะ (α) = 30°
4. มุมของหน้าตาต่าง (β) = 20° , 25° , 30°
5. พื้นที่หน้าตัดของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($H \times H$) = 0.05 m x 0.05 m

โดยที่ b คือ ความสูงของแผ่นกั้นการไหล, p คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นการไหลรูปตัววี



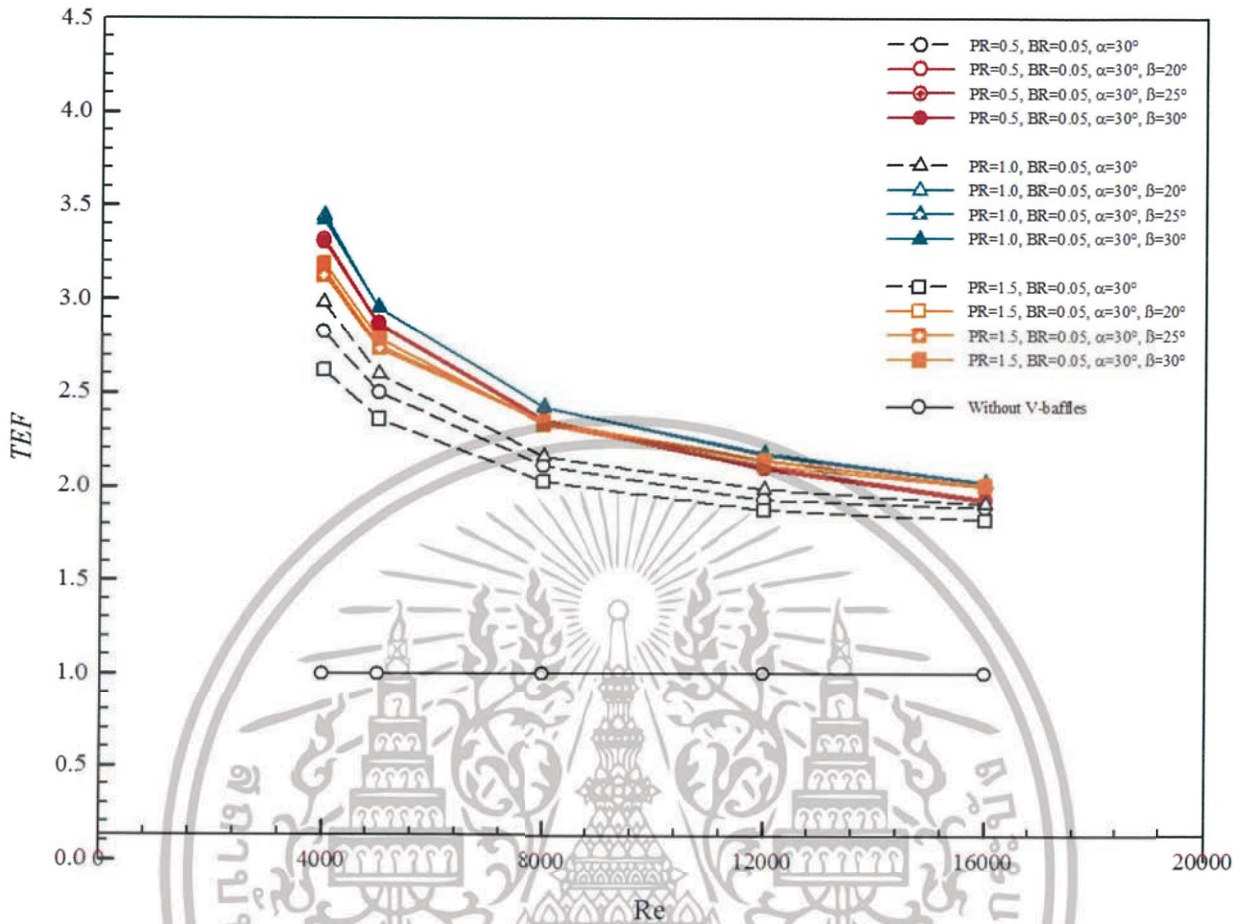
กราฟที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ PR=0.5, 1.0, 1.5, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



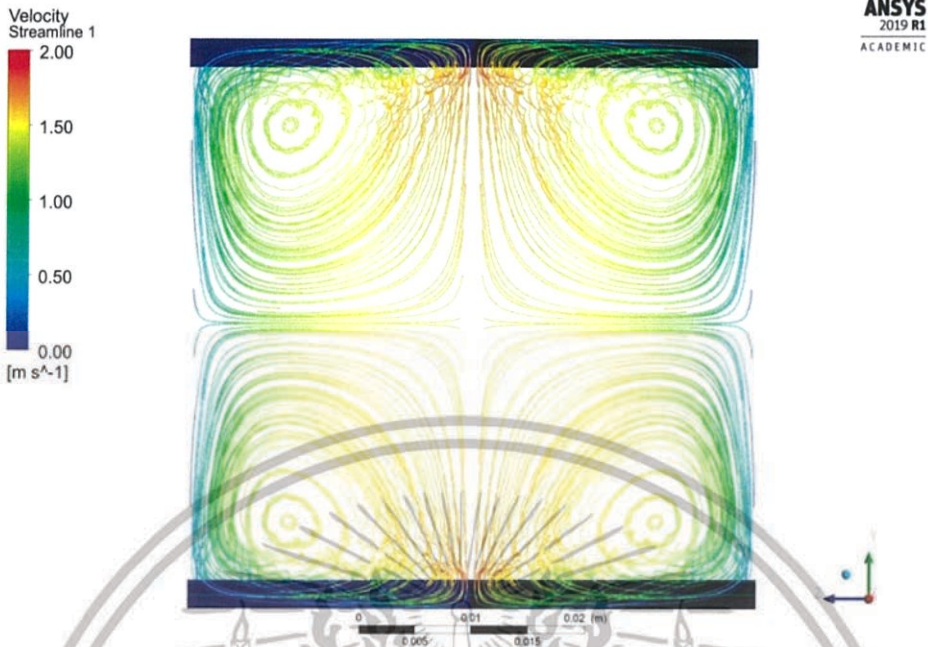
กราฟที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบค่า f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5, 1.0, 1.5, BR=0.05, \alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

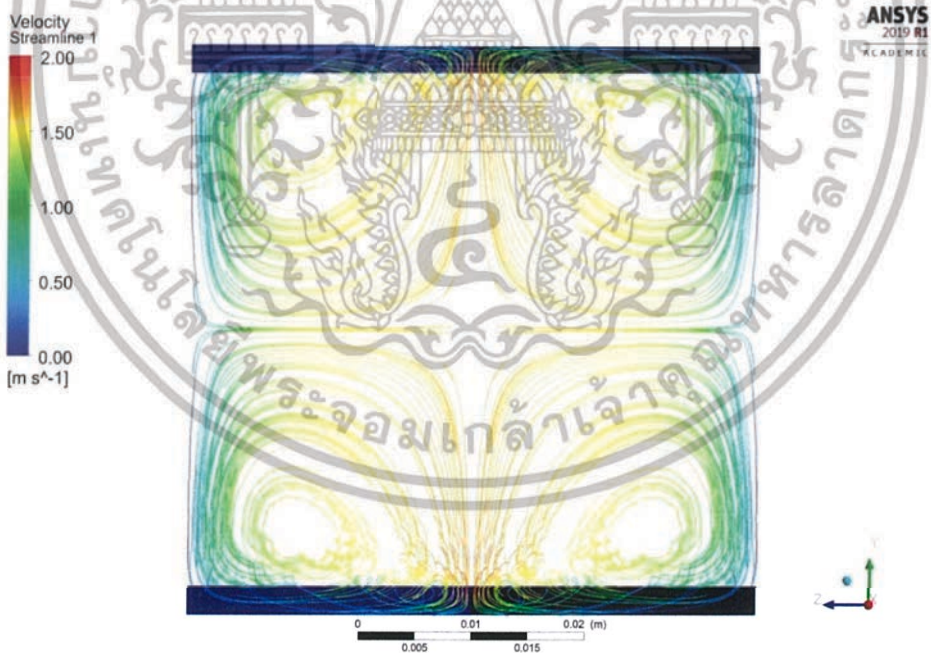


กราฟที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่า TEF ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเปิดด้วยมุม 20° , 25° และ 30° กับติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา ที่ $PR=0.5, 1.0, 1.5, BR=0.05, \alpha=30^\circ$

เมื่อศึกษาอิทธิพลของพิตซ์ พบว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบเจาะรูเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนพิตซ์ที่ 1.0 จะมีการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิของของไหลและผนังท่อที่มีค่ามากขึ้น และสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ติดแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา

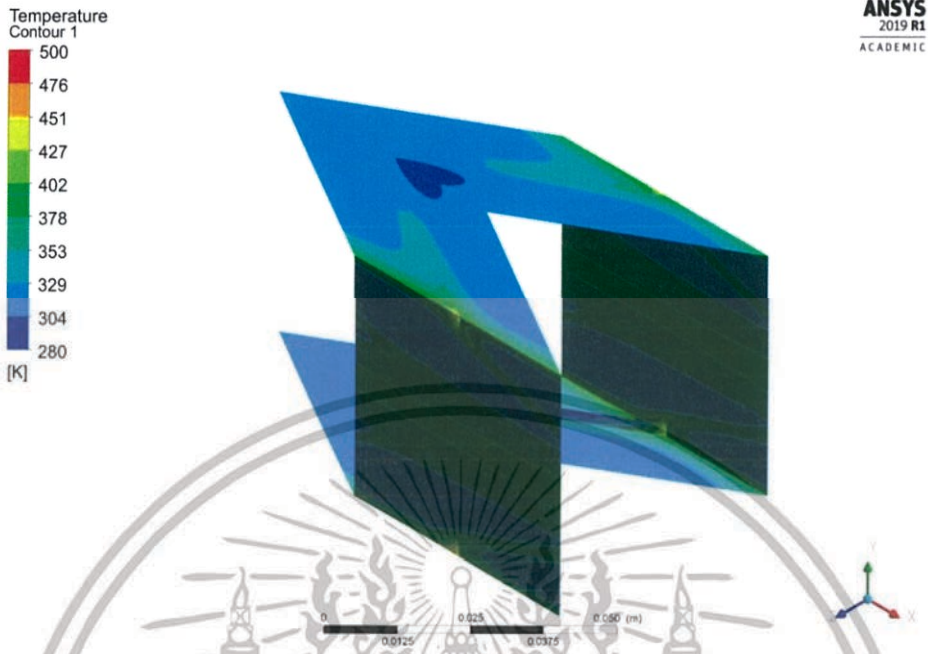


ภาพที่ 4.5 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติมุมมองด้านหน้าของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา



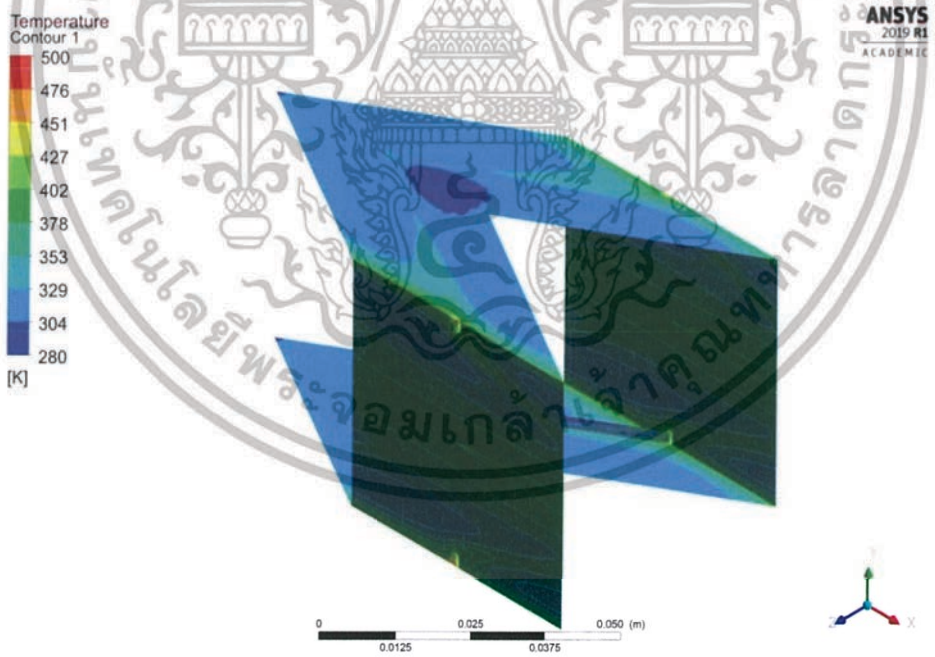
ภาพที่ 4.6 เส้นกระแสการไหลแบบ 3 มิติมุมมองด้านหน้าของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7

คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบธรรมดา



ภาพที่ 4.8

คอนทัวร์ของการกระจายอุณหภูมิบนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีทำให้ทราบว่า อิทธิพลของอัตราส่วนแผ่นกั้นการไหล (BR) อัตราส่วนพิทช์ (PR) และมุมของการปะทะ (α) มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบเสียดทาน พบว่าเมื่ออัตราส่วนแผ่นกั้นการไหลน้อย จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น และมีค่าความดันตกคร่อมน้อย เมื่ออัตราส่วนพิทช์มีค่าน้อยจะทำให้ของไหลไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น แต่จะทำให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อมีมุมปะทะน้อย จะช่วยลดค่าความดันตกคร่อม ทำให้ทราบค่าที่เหมาะสมในการทำให้มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดเท่ากับ 2.98 ที่ PR=1, BR=0.05, $\alpha=30^\circ$

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีที่ทำการเจาะช่องเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมแล้วเปิดด้วยมุมต่าง ๆ แล้วหาค่าที่เหมาะสมโดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ PR, BR, α , β ซึ่งพบว่าการปรับปรุงแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีทำให้มีค่าเลขนีสเชิลท์มากขึ้น และค่าตัวประกอบความเสียดทานลดลง จึงส่งผลให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมากขึ้น แต่มุมของการเปิดหน้าต่าง (β) ในแต่ละมุม ให้ค่าเลขนีสเชิลท์ ค่าตัวประกอบเสียดทาน และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนใกล้เคียงกันมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองศาของการเปิดแผ่นสี่เหลี่ยมที่ต่างกันไม่มากนัก และพบว่าค่าที่เหมาะสมของแผ่นกั้นการไหลรูปตัววีแบบปรับปรุง คือ PR = 1, BR = 0.05, $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 20^\circ$ โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน เท่ากับ 3.45 ซึ่งมากกว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นการไหลเป็นรูปตัววีแบบธรรมดา

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย

จากงานวิจัยที่กล่าวมา การใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับจำลองหาพฤติกรรมการไหล ทำให้ทราบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม ซึ่งมีข้อดีคือสามารถช่วยลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ในการทำทดลอง และประหยัดเวลาในการจำลองพฤติกรรมการไหล แต่การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงการทำนายถึงผลการจำลองพฤติกรรมการไหลที่มีความเป็นไปได้ และในการพัฒนางานวิจัยต่อไปอยากเสนอแนะเรื่องรูปแบบของการเปิดช่องสี่เหลี่ยม หากมีจำนวนการเปิดช่องที่เพิ่มขึ้น และการจัดวางช่องสี่เหลี่ยมในลักษณะต่าง ๆ จะส่งผลต่อพฤติกรรมการไหล และการถ่ายเทความร้อนอย่างไร

บรรณานุกรม

- [1] Wikipedia. Entrance length, สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2562. จาก.
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Entrance_length
- [2] Convection heat transfer, สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2562. จาก.
<https://www.learnpick.in/prime/documents/ppts/details/733/convection-heat-transfer>
- [3] Wikipedia. Moody chart, สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2562. จาก.
https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart
- [4] Sharcnet (2016). Physics of Periodic Flows, สืบค้นเมื่อ 13 กุมภาพันธ์ 2562. จาก.
https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/16.2.3/en-us/help/flu_th/flu_th_sec_periodic_theory.html
- [5] H.E. Fawaz, M.T.S Badawy, M.F. Abd Rabbo, Amr Elfeky, 2018. Numerical investigation of fully developed periodic turbulent flow in a square channel fitted with 45° in-line V-baffle turbulators pointing upstream, Alexandria Engineering Journal, Volume 57, 633-642.
- [6] Tamna, S.,Skullong, S.,Promvongse, P.,Thianpong, C., 2014. Heat transfer behaviors in a solar air heater chanel with multiple V-baffle vortex generators, Solar Energy, Volume 110, 720-735.
- [7] Amnart Boonloi, Withada Jedsadaratanachai.2016. Numerical investigation on turbulent forced convection and heat transfer characteristic in a square channel with discrete combined V-baffle and V-orifice, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 8, 226-235.