

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มี
มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวเส้นทแยงมุม

Numerical Analysis on Flow Configuration and Heat Transfer in a Square
Channel Installed Diagonally with Diamond Shaped Baffles



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มี
มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวเส้นทแยงมุม

Numerical Analysis on Flow Configuration and Heat Transfer in a Square
Channel Installed Diagonally with Diamond Shaped Baffles



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Numerical Analysis on Flow Configuration and Heat Transfer in a Square
Channel Installed Diagonally with Diamond Shaped 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
2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2566

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวเส้นทแยงมุม

Numerical Analysis on Flow Configuration and Heat Transfer in a Square Channel
Installed Diagonally with Diamond Shaped Baffles

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------------|
| 1. นาย ฐิติวุฒิ | ศกุนะสิงห์ | รหัสประจำตัว 63010269 |
| 2. นาย ธนวิชัย | ชื่นตะโก | รหัสประจำตัว 63010435 |
| 3. นาย ปวริศ | ศิริพิพัฒน์ถาวร | รหัสประจำตัว 63010579 |

วิฑิตา เจษฎารัตนชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิตา เจษฎารัตนชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวเส้นทแยงมุม

นายฐิติวุฒติ ศกุนะสิงห์ 63010269

นายธนนวิษญ์ ชื่นตะโก 63010435

นายปวิศ ศิริพิพัฒน์ถาวร 63010579

รศ.ดร. วิหิตา เจษฎารัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม การออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิศวกรรม งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวเส้นทแยงมุมในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรูปสี่เหลี่ยมโดยที่มีอากาศไหลผ่าน ซึ่งการไหลของอากาศภายในท่อจะเป็นการไหลแบบราบเรียบมีค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ตั้งแต่ 100 ถึง 2000 และมีมุมปะทะการไหลของของไหลกับแผ่นกั้น ($\alpha = 30^\circ$) ค่าความสูงของท่อต่อความสูงของแผ่นกั้นมีทั้งหมด 4 ค่า ($b/D_h = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) และอัตราส่วนระยะต่อความสูง ($P/D_h = 1$) ทำการทดลองทั้งในรูปแบบที่มีทิศทางการไหลที่เป็นปลายวิธีตามกระแสการไหลและในทิศทางการไหลที่เป็นปลายวิธีทวนกระแสการไหลด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขตามระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนำไปสู่การหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะเชิงความร้อนโดยทำการเปรียบเทียบกับท่อแบบราบเรียบ จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยพบว่า ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 2.69 สำหรับ V-Downstream (+x) และที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 2.95 สำหรับ V-Upstream (-x) เมื่อเทียบกับกรณีท่อแบบราบเรียบ

Numerical Analysis on Flow Configuration and Heat Transfer in a Square Channel Installed Diagonally with Diamond Shaped Baffles

Thitiwut Sakunasing 63010269

Thananwit cheuntago 63010435

Pawarit Siripipatthaworn 63010579

Assoc.Prof.Dr. Withada Jedsadaratanachai Advisor

Year 2023

Abstract

Heat exchangers are one of the most important and widely used devices in the industrial sector. Design and development to increase the efficiency of heat exchangers have received great attention in engineering. This research study and design of a diagonal diamond-shaped baffle in a square heat exchanger pipe with air flowing through it. The airflow inside the pipe is a laminar flow with a Reynolds number (Re) ranging from 100 to 2000 and the attack angle of the fluid flow with the baffle ($\alpha = 30^\circ$) the height of the pipe-to-baffle ratio total of 4 values ($b/D_h = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) and the distance-to-height ratio ($P/D_h = 1$) Experiments were carried out both in the flow direction with the flow direction following the flow stream and in the flow direction with the counterflowing. Using numerical simulation based on the finite volume method. The values obtained from the experiments, including heat transfer rates and friction factors, are utilized to determine the heat transfer coefficient in comparison with a plain duct. The study reveals that the baffle height ratio significantly affects both the heat transfer rate and the friction factor. Specifically, with a baffle height ratio of 0.10, the maximum Thermal Enhancement Factor (TEF) is 2.69 for V-Downstream (+x). Similarly, with a baffle height ratio of 0.15, the maximum TEF is 2.95 for V-Upstream (-x), compared to the plain duct case.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสำเร็จของอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลปริญญานิพนธ์ รศ.ดร. วิฑาดา เจษฎารัตนชัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการทำวิจัย ข้อเสนอแนะ ข้อผิดพลาด รวมทั้งตรวจสอบและให้คำแนะนำในการปรับปรุง แก้ไขปัญหาต่างๆในการทำวิจัยฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และปัจจัยอื่นๆที่จำเป็นแก่คณะผู้จัดทำ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆผู้ร่วมจัดทำวิจัยฉบับนี้ทุกคน ที่รวมแรงรวมใจ ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แก้ไขปัญหา ร่วมกันตลอดช่วงเวลาในการทำวิจัยฉบับนี้ ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา ได้แก่ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ส่งเสริมใจจนทำให้การทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงในที่สุด

ฐิติวุฒิ ศกุนะสิงห์
ธนนวิษญ์ ชื่นตะโก
ปวีรศ ศิริพิพัฒน์ถาวร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
รายการสัญลักษณ์และตัวแปร	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง.....	7
3.1 บทนำ.....	7
3.2 สมการควบคุมและสมมติฐาน	7
3.3 การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อน	8
3.3.1 สภาวะการไหลภายในท่อ	8
3.3.2 ความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลเชิงมวล	8
3.3.3 ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number).....	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4	ตัวเลขนัสเซลส์ (Nusselt number)	10
3.3.5	ความดันสูญเสีย (pressure loss).....	10
3.3.6	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.....	11
3.3.7	สัมประสิทธิ์สมรรถนะเชิงความร้อน (TEF)	11
บทที่ 4	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	12
4.1	บทนำ.....	12
4.2	แผนการปฏิบัติงาน.....	12
4.3	ออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม และค่าตัวแปรต่างๆ.....	13
4.3.1	ออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม.....	13
4.3.2	ค่าตัวแปรต่างๆ.....	13
4.4	เขียนแบบจำลองในโปรแกรม.....	14
4.5	พื้นที่ตาข่าย (mesh)	15
4.6	ระบุตัวแปรที่ใช้สำหรับกระบวนการวิเคราะห์.....	15
4.7	การตรวจสอบแบบจำลอง	15
4.8	Grid Independence.....	16
บทที่ 5	การจำลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ผล	18
5.1	โครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ.....	18
5.1.1	อิทธิพลของความสูงแผ่นกั้น.....	18
5.1.2	อิทธิพลของทิศทางการไหล.....	24
5.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	26
5.2.1	ตัวเลขนัสเซลส์.....	26
5.2.2	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.....	29
5.2.3	สมรรถนะเชิงความร้อน.....	32
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	36

6.1 บทนำ.....	36
6.2 สรุปผลการวิจัย	36
6.2.1 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น.....	36
6.2.2 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ.....	37
6.3 ข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง.....	38



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปภาพที่ 3.1 การก่อตัวของบาวนด์คาร์เลเยอร์ภายในท่อสำหรับการไหลของของไหลแบบราบเรียบ.....	8
รูปภาพที่ 3.2 การหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกในรูปแบบท่อต่างๆ	10
รูปภาพที่ 4.1 แผนการปฏิบัติงาน	12
รูปภาพที่ 4.2 ออกแบบแบบจำลอง	13
รูปภาพที่ 4.3 แสดงมุมมอง Top view และ Pitch Ratio ของโมเดล	13
รูปภาพที่ 4.4 ค่าความสูงของแผ่นกั้น	14
รูปภาพที่ 4.5 รูปแบบของโมเดลในมุมมองต่างๆ.....	14
รูปภาพที่ 4.6 ค่าสัมพัทธ์สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อเปล่ารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส	15
รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 และ Reynolds number.....	16
รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 และ Reynolds number	17
รูปภาพที่ 5.1 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)	18
รูปภาพที่ 5.2 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x).....	19
รูปภาพที่ 5.3 โครงสร้างตัวเลขชั้นเสลส์บนพื้นผิวของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x).....	20
รูปภาพที่ 5.4 โครงสร้างตัวเลขชั้นเสลส์บนพื้นผิวของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)	21
รูปภาพที่ 5.5 โครงสร้างความเร็วอากาศของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x).....	22
รูปภาพที่ 5.6 โครงสร้างความเร็วอากาศของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)	23

รูปภาพที่ 5.7 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ $b/D_h=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x).....	24
รูปภาพที่ 5.8 โครงสร้างตัวเลขนี้สเซลส์บนพื้นผิวการไหลที่ $b/D_h=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x).....	25
รูปภาพที่ 5.9 โครงสร้างความเร็วของอากาศของการไหลที่ $b/D_h=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x).....	26
รูปภาพที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเลขนี้สเซลส์และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x).....	27
รูปภาพที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเลขนี้สเซลส์และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x).....	29
รูปภาพที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x).....	30
รูปภาพที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x).....	32
รูปภาพที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x).....	33
รูปภาพที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x).....	35

รายการสัญลักษณ์และตัวแปร

A_c	พื้นที่หน้าตัด	m^2
b	ความสูงของแผ่นกั้น	m
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก/ความสูงของท่อ	m
f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	-
f_0	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อราบเรียบ	-
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$w/m^2 \cdot K$
h_0	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อราบเรียบ	$w/m^2 \cdot K$
H	ความสูงของท่อ	m
k	ค่าสภาพการนำความร้อน	$w/m \cdot K$
L	ความยาวของท่อ	m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
Nu	ตัวเลขนัสเซลส์	-
Nu_0	ตัวเลขนัสเซลส์บนท่อราบเรียบ	-
P	ระยะห่างของแผ่นกั้น	m
ΔP_L	ความดันตกคร่อมตลอดความยาวท่อ	Mpa
Re	ค่าเลขเรย์โนลด์	-
V_{avg}	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล	m/s
α	มุมปะทะ	องศา
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
μ	ความหนืด	$kg / m \cdot s$
ν	ความหนืดจลน์	m^2/s
TEF	สัมประสิทธิ์สมรรถนะเชิงความร้อน	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) คือเครื่องมือที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง โดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างมากในทางอุตสาหกรรมและเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง อุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการพาสเจอร์ไรส์, ระบบการแปรรูปด้วยความร้อนสูง (UHT), อุตสาหกรรมปุ๋ย, เส้นใย, อาหารกระป๋อง หรือตามโรงงานต่างๆ เช่น ระบบทำความร้อน, ระบบทำความเย็น, โรงไฟฟ้า, โรงงานยา, อุตสาหกรรมน้ำมัน, อุตสาหกรรมเคมี, อุตสาหกรรมเรือ เป็นต้น และเนื่องจากกระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนกระบวนการ ซึ่งสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลต่อปริมาณพลังงานที่ใช้โดยตรง การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นเรื่องที่ควรค่าแก่การศึกษาและวิจัย ทำให้การใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาโดยทั่วไปสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มการทำให้เกิดการผสมระหว่างของไหลและพื้นผิวสัมผัสความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ อุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานเพิ่มเติม (active method) และ อุปกรณ์ที่ไม่ต้องการพลังงานเพิ่มเติม (passive method) โดยที่อุปกรณ์แบบไม่ต้องการพลังงานเพิ่มเติมคือวิธีที่มีความนิยมกันอย่างแพร่หลายที่สุด เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมพลังงานใด ๆ มากขึ้นในการเดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากการศึกษาและวิจัยอุปกรณ์เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนเชิงรับ จะทำให้เกิดการปั่นป่วนในระหว่างการไหลมากขึ้น เช่น ครีป (ribs), แผ่นกั้น (baffle), ร่อง (grooves) และ อุปกรณ์กำเนิดน้ำวน (vortex generators) ซึ่งแผ่นกั้นของไหลนั้นสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและรูปแบบของแผ่นกั้นของไหลที่มีลักษณะแตกต่างกันจะให้ รูปแบบการไหลของของไหล, ประสิทธิภาพ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลที่แตกต่างกันไป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการศึกษาออกแบบและจำลองการไหลของของไหลโดยใช้แผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม (diamond baffle) หารูปแบบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงขึ้น เพิ่มขีดความสามารถของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขณะที่ไม่เพิ่มต้นทุนของวัสดุและ

จะสามารถนำรูปแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยมไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมหรือศึกษาวิจัยออกแบบในรูปแบบใหม่ที่ดัดแปลงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1. เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสี่เหลี่ยม (square duct) ด้วยแผ่นกั้นรูปเพชร (diamond baffle)
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (blockage ratio) และทิศทางการไหลของอากาศที่มีผลต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขตามระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method)
2. ศึกษาในช่วงการไหลแบบราบเรียบ
 - ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ตั้งแต่ 100 ถึง 2000
 - ความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (b/D_h) ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.20
 - มุมปะทะการไหลของของไหลกับแผ่นกั้นเท่ากับ 30 องศา
 - อัตราส่วนระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (P/D_h) เท่ากับ 1
 - ตามทิศทางการไหลที่เป็นปลายวิธีตามกระแสการไหล หรือ V-Downstream (+x) และเป็นปลายวิธีทวนกระแสการไหล หรือ V-Upstream (-x)

1.4 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ

1. การวิจัยออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม จะนำไปสู่การช่วยปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของของไหล ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน เพิ่มการผสมระหว่างของไหลและพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อเทียบกับท่อแบบราบเรียบ และแผ่นกั้นรูปเพชรดัดแปลงจะสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนได้เมื่อเทียบกับแผ่นกั้นรูปเพชร

2. การออกแบบโมเดลแผ่นกั้นรูปเพชรจะได้อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (blockage ratio) ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ค่า Thermal Efficiency Factor (TEF) ที่สูงขึ้น

1.5 แผนงานวิจัย

หัวข้อ	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาเกี่ยวกับหลักการหน้าที่และความสำคัญของแผ่นกั้นในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน	↔							
ศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบพัฒนาแผ่นกั้น หรือ Vortex generator	↔							
กำหนดหัวข้องานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขต และวิธีดำเนินงานวิจัย		↔						
ศึกษาและเพิ่มทักษะในการใช้โปรแกรมออกแบบแผ่นกั้นและโปรแกรมจำลองการไหล		↔↔↔						
ออกแบบโมเดลแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม				↔				
ทำการจำลองการไหลบนโปรแกรมตามรูปแบบต่างๆที่ได้ออกแบบการทดลอง						↔↔↔		
บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์และอภิปรายผล รวมถึงการปรับปรุงรูปแบบแผ่นกั้นรูปเพชร							↔↔↔↔↔	
สรุปผลการวิจัยและนำเสนอ								↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การกำหนดค่าตำแหน่ง ขนาด ฯลฯ ของท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน กระแสการไหลที่เหมาะสมกับการใช้งานอาจนำมาซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุด มีรายงานมากมายเกี่ยวกับการทดลองและการตรวจสอบเชิงตัวเลขสำหรับท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมประเภทต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sripattanapipat และ Promvong [1] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นรูปเพชร (diamond-shaped baffles) กับแผ่นกั้นแบบเรียบ ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 600 ซึ่งผลการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมอยู่ที่มุม 5 องศา สำหรับความสูงแผ่นกั้น และระยะห่าง 0.5 และ 1 เท่าของความสูงช่องตามลำดับ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นเพชร 5 – 10 องศา พบว่าสูงกว่าแผ่นกั้นแบบเรียบทั้งหมด

Kwankaomeng และ Promvong [2] ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการไหลแบบราบเรียบ และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผนังไอโซเทอร์มอลสามมิติที่ติดตั้งแผ่นกั้นมุม 30° บนผนังท่อด้านล่างเท่านั้น โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 2000 ผลคำนวณพบว่าอัตราส่วนค่านัสเซลส์ และตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนสูงสุด มีค่าประมาณ 7.9 และ 3.1 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 อัตราส่วนการติดขัดการไหลเท่ากับ 0.3 และอัตราส่วนระยะห่าง 1.5

Promvong และคณะ [3] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นเอียง 45 องศา เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแผ่นกั้นขวางหรือแผ่นกั้น 90 องศา ที่ติดตั้งที่ผนังท่อด้านล่างเท่านั้น ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 1200 , อัตราส่วนการติดขัดการไหลอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 พบว่าการใช้แผ่นกั้นเอียง 90 องศา ส่งผลให้ค่านัสเซลส์ และค่าเสียดทาน เพิ่มขึ้นอย่างมาก เผยให้เห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนั้นเกิดจากการปะทะกันของกระแสตามแนวยาว ทำให้เกิดตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดประมาณ 2.2 ที่อัตราส่วนการติดขัดการไหลเท่ากับ 0.4 ที่ค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 1200 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้น 45 องศา พบว่ามีค่าสูงกว่าแผ่นกั้น 90 องศาทั้งหมด

Promvong และคณะ [4] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นเอียง 30 องศา ติดตั้งที่ผนังท่อด้านบน และด้านล่าง ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100

– 2000 โดยผลของการคำนวณพบว่าตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดสำหรับแผ่นกั้นเอียง 30 องศา โดยค่าอัตราส่วนระยะห่างคือ 1, 1.5 และ 2 มีค่าประมาณ 3.6, 3.8 และ 4 ที่อัตราส่วนการติดขัดการไหล เท่ากับ 0.2, 0.2 และ 0.15 ตามลำดับ

Promvonge และคณะ [5] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นเอียง 45 องศา ติดตั้งที่ผนังท่อด้านบน และด้านล่าง เปรียบเทียบกับแผ่นกั้นขวาง หรือแผ่นกั้น 90 องศา ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 1000 โดยผลของการคำนวณพบว่า ตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดของแผ่นกั้นเอียง 45 องศา ในช่วง ค่าเรย์โนลด์ ที่ศึกษาพบว่าสูงกว่าแผ่นกั้นขวาง 90 องศา ประมาณ 2.6

Boonloi และ Jedsadaratanachai [6] ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมโดยเทคนิคแบบพาสซีฟ โดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววี เป็นตัวควบคุมกระแส น้ำวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพื่อเร่งการผสมกันของของไหล และ เพื่อลดการสูญเสียของแรงเสียดทานในท่อ โดยใช้อัตราส่วนการติดขัดการไหลเท่ากับ 0.05 - 0.2 และค่าอัตราส่วนระยะห่างเท่ากับ 1 – 2 , เส้นทางการไหล +x และ -x ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนที่ดีที่สุดอยู่ประมาณ 4.5 ในขณะที่อัตราส่วนคานัสเซลล์ สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 19.39

Zhanga และคณะ [7] ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววีขนาดเล็ก และร่องนูน ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบไฮบริด โดยกระแส น้ำที่ไหลแรงที่เกิดจากแผ่นกั้นรูปตัววีขนาดเล็ก และร่องนูนที่ทำหน้าที่ขยายกระแส น้ำวน ซึ่งสร้างคู่กระแส น้ำวนตามยาวที่แรงกว่ามาก กระบวนการนี้ช่วยเพิ่มทั้งการผสมแบบปั่นป่วนและการพาความร้อน ดังนั้นโครงสร้างแบบไฮบริดแบบร่องนูนแผ่นกั้นรูปตัววีขนาดเล็กจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

Jedsadaratanachai และ Boonloi [8] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นรูปทรงตัววีคู่ ทำมุม 30 องศา โดยอัตราส่วนการติดขัดการไหลเท่ากับ 0.05 – 0.25 และอัตราส่วนระยะห่างเท่ากับ 1 – 2 ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 1200 โดยจัดเรียงแบบวางตรง และปลายตัววีชี้ตามกระแสการไหล พบว่าการใช้แผ่นกั้นรูปตัววีคู่ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันสูงกว่าช่องเรียบที่ไม่มีแผ่นกั้น การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการขวางการไหล และการลดอัตราส่วนของพิทช์ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียแรงดันเพิ่มขึ้น ตัวประกอบสมรรถนะทางความร้อนที่เหมาะสมพบว่าอยู่ที่ประมาณ 3.2 ที่อัตราส่วนระยะห่างเท่ากับ 1 และอัตราส่วนการติดขัดการไหลเท่ากับ 0.10 และค่าเรย์โนลด์เท่ากับ 1200

Polat และ Cadirci [9] ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นรูปเพชรกับแผ่นกั้นแบบเรียบ ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้ค่าเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 – 600 ซึ่งผลการคำนวณพบว่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมอยู่ที่มุม 5 องศา สำหรับความสูงแผ่นกั้น และระยะห่าง 0.5 และ

1 เท่าของความสูงช่อง ตามลำดับ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นรูปเพชร 5 – 10 องศา พบว่าสูงกว่าแผ่นกั้นแบบเรียบทั้งหมด ในโครงการนี้ได้มีการเลือกการออกแบบท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมแบบใหม่ที่เรียกว่า “แผ่นกั้นรูปเพชร” เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน แผ่นกั้นแบบเพชรถูกดัดแปลงจากแผ่นกั้นแบบเอียง โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือ เพื่อเพิ่มจำนวนกระแสน้ำวน และ เพื่อลดแรงดันตกคร่อม และเมื่อเทียบกับแผ่นกั้นแบบเอียงเดี่ยว การเพิ่มแกนน้ำวน และลดการสูญเสียแรงดันอาจส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มแกนน้ำวนยังช่วยปรับปรุงการกระจายอุณหภูมิของของไหล จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าความสูงของเครื่องกำเนิดกระแสน้ำวนเป็นปัจจัยสำคัญของความแรงของกระแสน้ำวน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการกล่าวถึงผลกระทบของความสูง ต่อกระแสของของไหล และรูปร่างของอุณหภูมิของของไหล นอกจากนี้ยังพิจารณาตำแหน่ง และประเภทของแผ่นกั้นด้วย

บทที่ 3

ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลและการถ่ายเทความร้อน อธิบาย โดยสมการควบคุมการไหล กฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน สมการนาเวียร์-สโตกส์สำหรับของไหล แบบนิวโทเนียน ทฤษฎีการไหลของของไหลและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนตามตำรากลศาสตร์ของไหล (Cengel and Ghajaret al. [10]) ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางอ้างอิงในการศึกษาและวิจัยในเล่มนี้รวมถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับสมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อน

3.2 สมการควบคุมและสมมติฐาน

ในการออกแบบและจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อรูปสี่เหลี่ยมโดยมีแผ่นกั้นรูปเพชร จะเป็นไปตามสมมติฐานดังนี้

- การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัวและพิจารณาใน 3 มิติ
- การไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบ และอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการจำลองโมเดลมีค่าคงที่
- ไม่พิจารณาผลจากความหนืดของของไหล
- ไม่พิจารณาการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานที่ได้กล่าวมา นำไปสู่สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง โมเมนตัม และ พลังงานซึ่งอยู่ในระบบสมการ PDEs (partial differential equations) ในพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3-1)$$

สมการโมเมนตัมซึ่งมีทั้งหมด 3 ทิศทาง

ทิศทางตามแนวแกน x :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3-2)$$

ทิศทางการตามแนวแกน y :

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3-3)$$

ทิศทางการตามแนวแกน z :

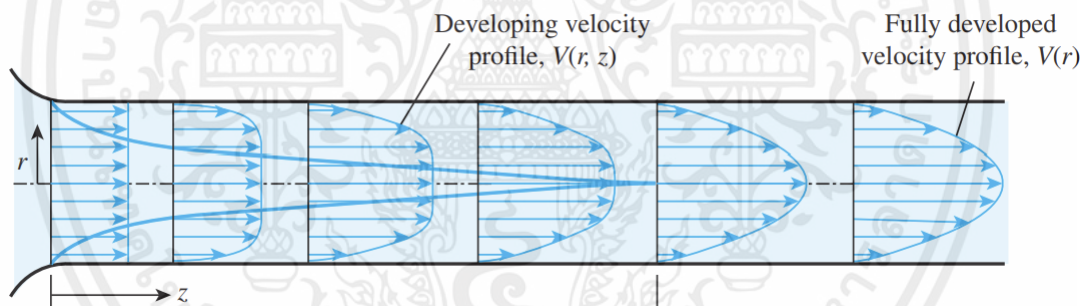
$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3-4)$$

สมการพลังงาน :

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3-5)$$

3.3 การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อน

3.3.1 สถานะการไหลภายในท่อ



รูปภาพที่ 3.1 การก่อตัวของบาวนด์รีเลเยอร์ภายในท่อสำหรับการไหลของของไหลแบบราบเรียบ

(รูปจาก : Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications 5th Ed, Cengel and Ghajaret, P.477)

การไหลภายในท่อเป็นการไหลที่ของไหลจะมีการก่อตัวของบาวนด์รีเลเยอร์ซึ่งของไหลจะมีการพัฒนา รูปแบบของบาวนด์รีเลเยอร์ตั้งแต่ช่วงทางเข้าท่อ (Entrance region) จนถึงรูปแบบพัฒนาเต็มที่ (Fully developed region)

3.3.2 ความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลเชิงมวล

การไหลในท่อ ของไหลจะมีความเร็วที่พื้นผิวแข็งเป็น 0 เนื่องจากเงื่อนไขการไม่ลื่นไถลไปจนความเร็ว สูงสุดที่บริเวณตรงกลางของท่อ ดังนั้นจึงมีการใช้ความเร็วเฉลี่ย (V_{avg}) ในการอธิบายความเร็วการไหลของของไหล ภายในท่อซึ่งสำหรับการไหลแบบอัดตัวไม่ได้และพื้นที่หน้าตัดท่อไม่เปลี่ยนแปลง โดยค่าความเร็วเฉลี่ยสามารถหา ได้พื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวล นั่นคือ

$$\dot{m} = \rho V_{\text{avg}} A_c \quad (3-6)$$

3.3.3 ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)

การไหลภายในท่อสามารถเป็นได้แบบราบเรียบและปั่นป่วนขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการไหล โดยทั่วไปแล้วจะถูก อธิบายได้โดยค่าเลขเรย์โนลด์ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์จะหาได้จาก

$$\text{Re} = \frac{4\dot{m}}{\mu\pi D_h} \quad (3-7)$$

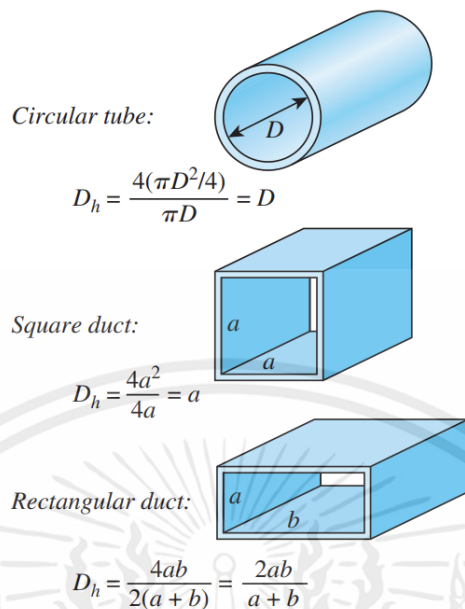
สำหรับการไหลในท่อไม่เป็นทรงกลม ค่าเลขเรย์โนลด์, ค่าเลขนัสเซลส์ รวมถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จะต้องใช้เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (3-8)$$

ซึ่งตัวแปร p คือ wetted perimeter

สำหรับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส :

$$D_h = \frac{4a^2}{4a} = H \quad (3-9)$$



รูปภาพที่ 3.2 การหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกในรูปแบบท่อต่างๆ

(รูปจาก : Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications 5th Ed, Cengel and Ghajaret, P.476)

โดยในเงื่อนไขทั่วไปแล้ว การไหลในท่อสำหรับการไหลแบบราบเรียบค่าเลขเรย์โนลด์ ($Re < 2,300$) การไหลแบบปั่นป่วน ($Re > 10,000$) และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล (transition flow) จะอยู่ระหว่างค่าเลขเรย์โนลด์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

3.3.4 ตัวเลขนัสเซลส์ (Nusselt number)

เป็นตัวแปรไร้มิติในการอธิบายสัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อไม่กลมแล้ว บนเงื่อนไขอุณหภูมิผิวแข็งคงที่จะสามารถหาได้จาก

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (3-10)$$

3.3.5 ความดันสูญเสีย (pressure loss)

ความดันสูญเสียเป็นผลมาจากแรงเสียดทานจากการไหลภายในท่อโดยในท่อราบเรียบทั่วไปจะขึ้นอยู่กับ ปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ความเร็วเฉลี่ย, สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ความยาววิกฤติของท่อ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ยังมีค่ามาก ก็จะทำให้เกิดความดันตกคร่อมมากขึ้นเช่นกัน โดยความดันสูญเสียตลอดความยาวท่อสามารถหาได้จาก สมการดังนี้

$$f = \frac{2\Delta P_L D_h}{L\rho V_{\text{avg}}^2} \quad (3-11)$$

3.3.6 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

โดยสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อราบเรียบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะขึ้นอยู่กับตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งภายใต้เงื่อนไขที่ได้กล่าวมาข้างต้นและเป็นการไหลในท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเท่ากับ

$$f_0 = \frac{56.92}{\text{Re}} \quad (3-13)$$

3.3.7 สัมประสิทธิ์สมรรถนะเชิงความร้อน (TEF)

ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อที่ติดตั้งแผ่นกั้น (h) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อราบเรียบ (h_0) โดยเปรียบเทียบบนกำลังของปั๊มที่เท่ากัน สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{TEF} = \frac{h}{h_0} = \frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0} = \left(\frac{\text{Nu}}{\text{Nu}_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-\frac{1}{3}} \quad (3-14)$$

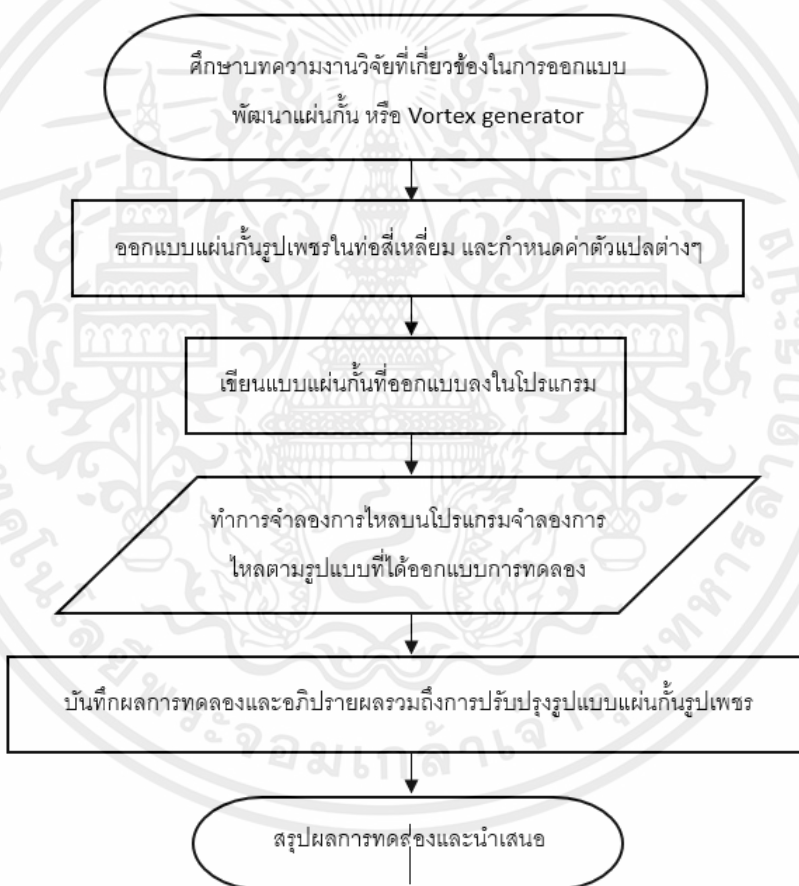
บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจำลองการไหลของของไหลโดยใช้แผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม และ ออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชร โดยจะมีรายละเอียดดังนี้

4.2 แผนการปฏิบัติงาน

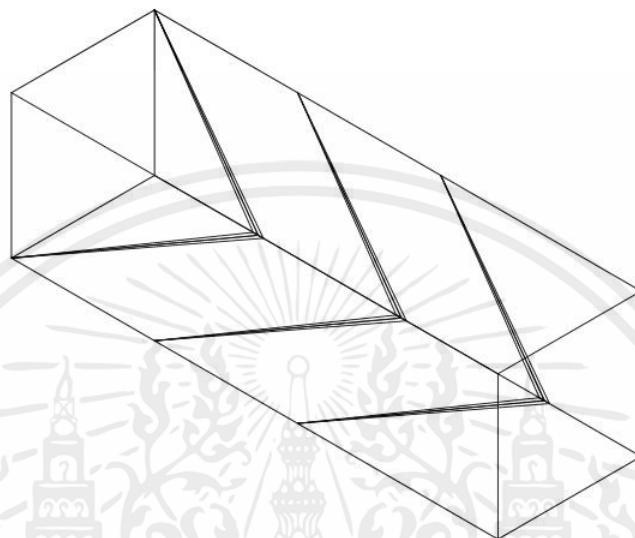


รูปภาพที่ 4.1 แผนการปฏิบัติงาน

4.3 ออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม และค่าตัวแปลต่างๆ

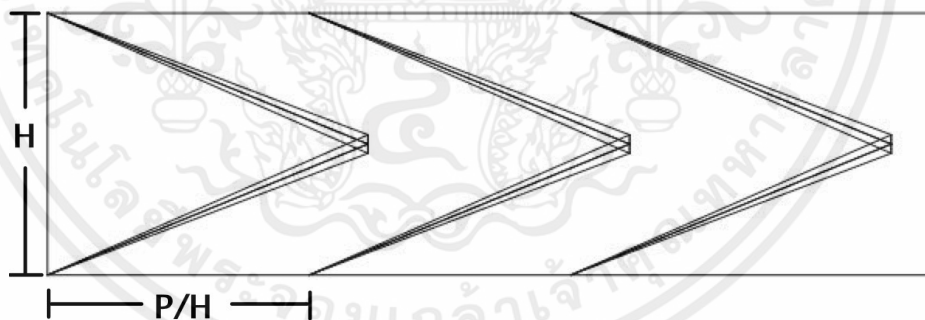
4.3.1 ออกแบบแผ่นกั้นรูปเพชรในท่อสี่เหลี่ยม

ออกแบบให้แผ่นกั้น เป็นแผ่นกั้นรูปเพชรติดตั้งอยู่ในท่อสี่เหลี่ยมตามแนวทแยงมุม



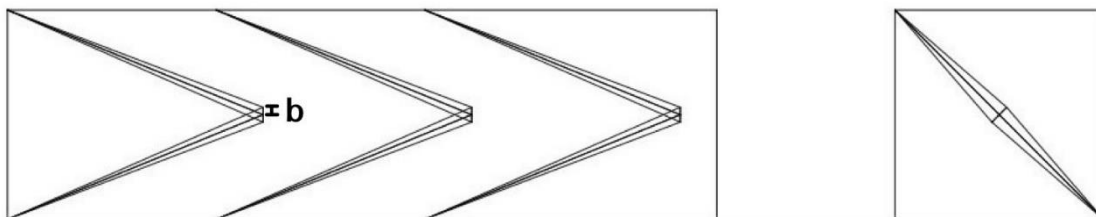
รูปภาพที่ 4.2 ออกแบบแบบจำลอง

4.3.2 ค่าตัวแปลต่างๆ



รูปภาพที่ 4.3 แสดงมุมมอง Top view และ Pitch Ratio ของโมเดล

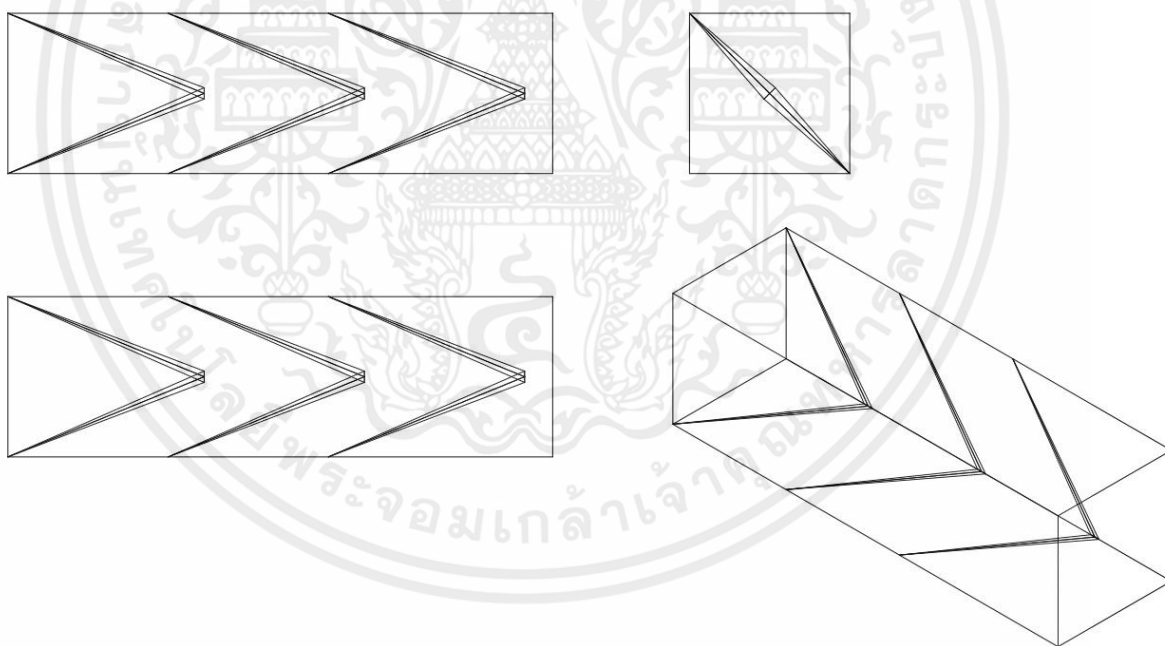
1. การไหลของอากาศภายในท่อจะเป็นการไหลแบบราบเรียบที่มีค่าเรย์โนลด์ตั้งแต่ 100 ถึง 2000
2. อัตราส่วนระยะต่อความสูงจะมีค่าเท่ากับ 1
3. ค่าความสูงของท่อต่อแผ่นกั้นอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 ค่า คือ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20
4. มุมปะทะการไหลของของไหลกับแผ่นกั้นรูปเพชร 30 องศา



รูปภาพที่ 4.4 ค่าความสูงของแผ่นกั้น

4.4 เขียนแบบจำลองในโปรแกรม

เราเขียนแบบจำลองทั้งหมด 8 แบบ มาจากค่าความสูงของแผ่นกั้น ($b = 0.05$ 0.10 0.15 และ 0.20) 4 แบบ และ 2 ทิศทางการไหล (ทิศทางการไหลที่เป็นปลายวิธีตามกระแสการไหล และเป็นปลายวิธีทวนกระแสการไหล) จึงรวมทั้งหมดเป็น 8 แบบ ยกตัวอย่างดังนี้



รูปภาพที่ 4.5 รูปแบบของโมเดลในมุมมองต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พื้นที่ตาข่าย (mesh)

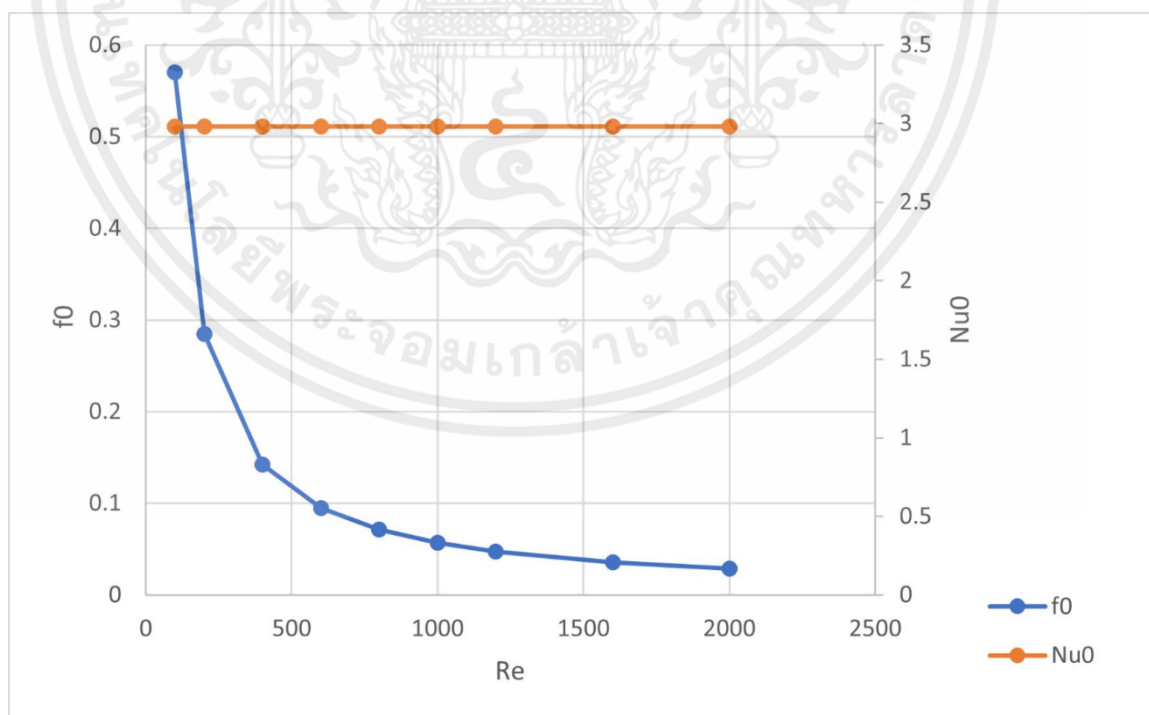
หลังจากเขียนแบบจำลองและแบ่งขอบเขตพื้นผิวของแบบจำลองออกเป็นพื้นที่ตาข่ายขนาดเล็กบนพื้นผิวของโมเดล เพื่อใช้ในการศึกษาด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขตามระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method) โดยที่พื้นที่ที่มีการไหลเข้าและไหลออกของอากาศกำหนดให้เป็นพื้นที่ที่ชื่อว่า “Inlet” และพื้นที่ที่มีความสมมาตรจะกำหนดให้เป็นพื้นที่ที่ชื่อว่า “Symmetry” และพื้นที่ที่เป็นกำแพงจะกำหนดให้เป็นพื้นที่ที่ชื่อว่า “Wall” จากนั้นทำการสร้างพื้นที่ตาข่ายเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างพื้นที่ตาข่ายบนพื้นผิวแบบจำลอง

4.6 ระบุตัวแปรที่ใช้สำหรับกระบวนการวิเคราะห์

ตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนคือเลขเรย์โนลด์ (Re) หมายเลขพื้นผิวนัสเซลส์ (Nu) สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะเชิงความร้อน (TEF)

4.7 การตรวจสอบแบบจำลอง

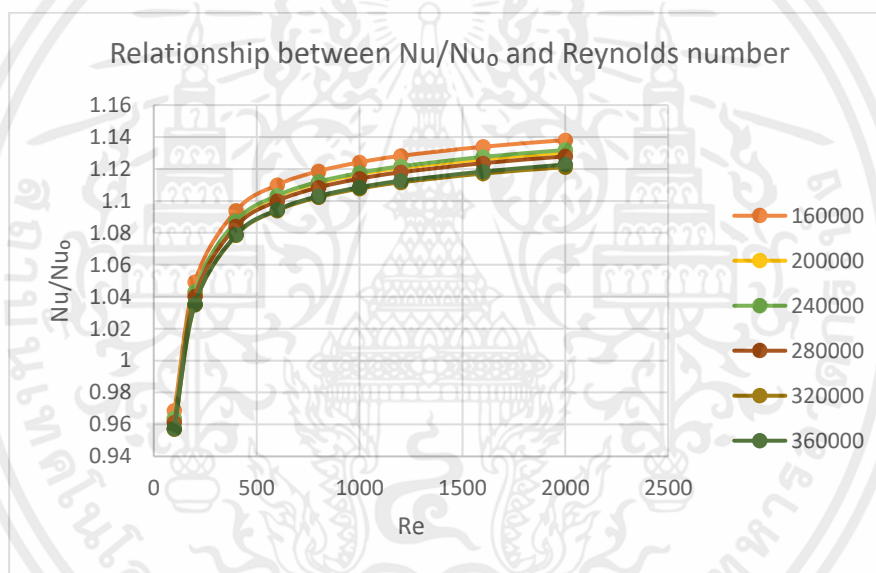
การตรวจสอบความถูกต้องของหมายเลขนัสเซลส์และความเสียดทานในท่อเรียบเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลของท่อสี่เหลี่ยม เลขนัสเซลส์เท่ากับ 2.98 ในกรณีที่อุณหภูมิพื้นผิวดวงที่ และค่าแรงเสียดทานเท่ากับ $56.92/Re$ กับข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาข้อผิดพลาดในการจำลอง



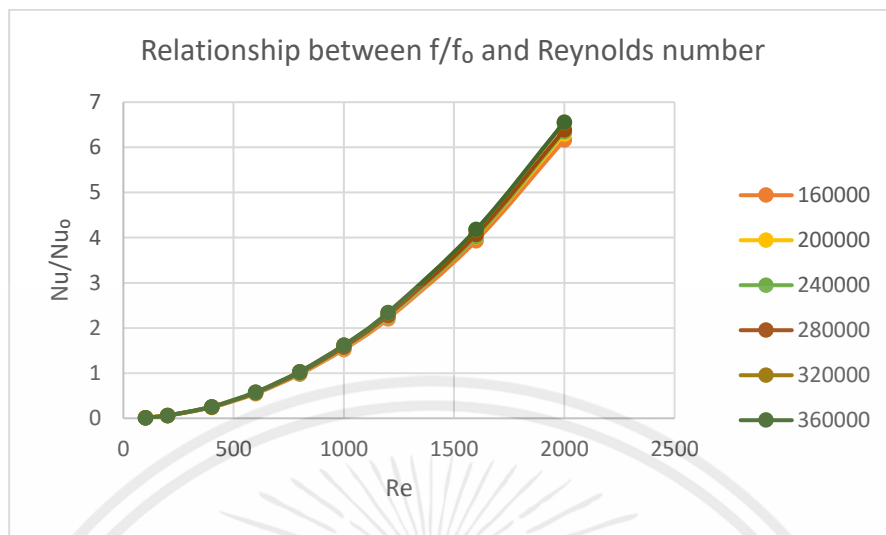
รูปภาพที่ 4.6 ค่าสหสัมพันธ์สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อเปล่ารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.8 Grid Independence

จากการทดสอบองค์ประกอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independence Element) เพื่อหาค่าจำนวนของส่วนประกอบของกริดที่ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองนั้นมีความเหมาะสมที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยจะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีจำนวนส่วนประกอบแตกต่างกันทั้งหมด 6 ค่า ซึ่งประกอบไปด้วย 160000 200000 240000 280000 และ 320000 โดยจากรูปภาพที่ 4.7 และรูป 4.8 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่า f/f_0 ของทั้ง 6 ค่า นั้นมีความใกล้เคียงกัน เราจึงพิจารณาในส่วนของค่า Nu/Nu_0 ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแนวโน้มของแบบจำลองที่มีจำนวนส่วนประกอบ 320000 นั้นให้ค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองที่มีจำนวนส่วนประกอบ 360000 ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นโมเดลที่เหมาะสมที่สุดจึงเป็นโมเดลที่มีจำนวนส่วนประกอบ 320000



รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 และ Reynolds number



รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 และ Reynolds number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

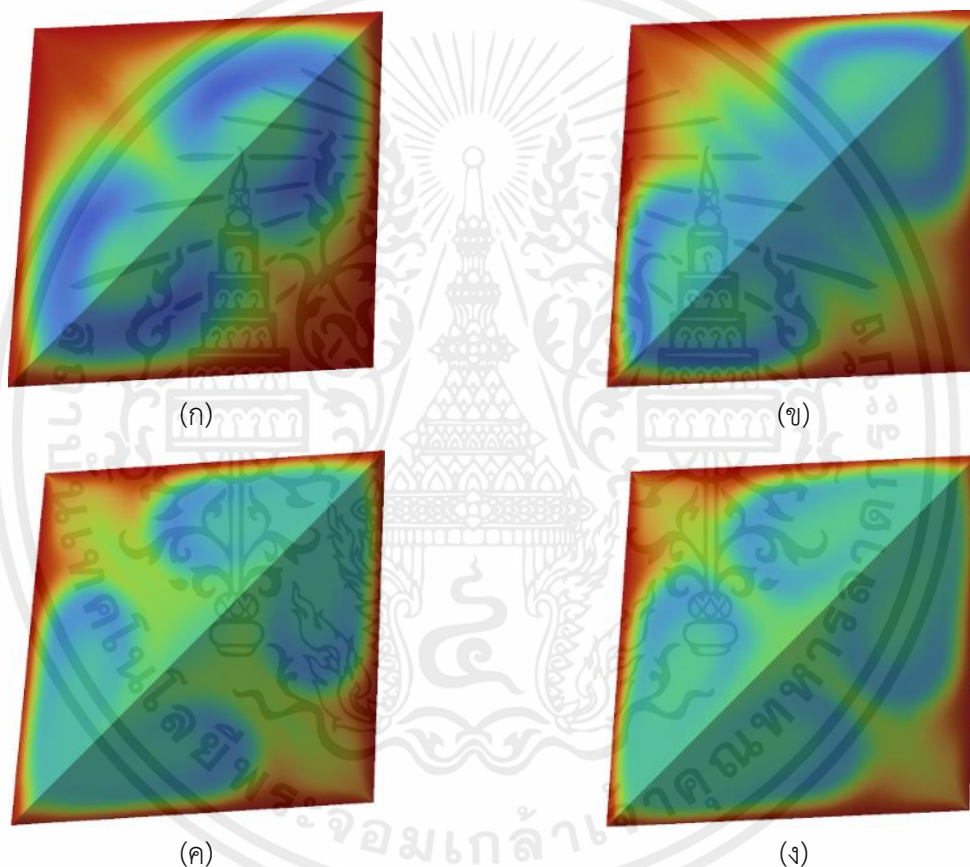
บทที่ 5

การจำลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ผล

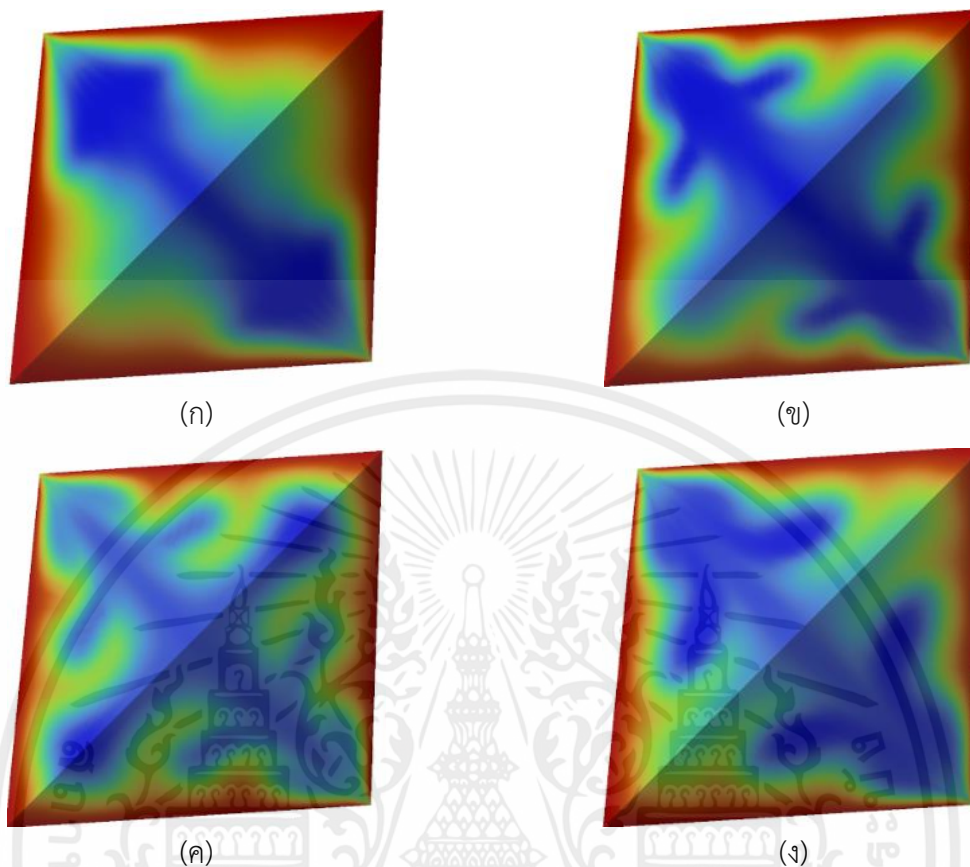
5.1 โครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ

5.1.1 อิทธิพลของความสูงแผ่นกั้น

โครงสร้างของอุณหภูมิ



รูปภาพที่ 5.1 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ (ก) $b/D_n=0.05$, (ข) $b/D_n=0.10$, (ค) $b/D_n=0.15$, และ (ง) $b/D_n=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_n=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)

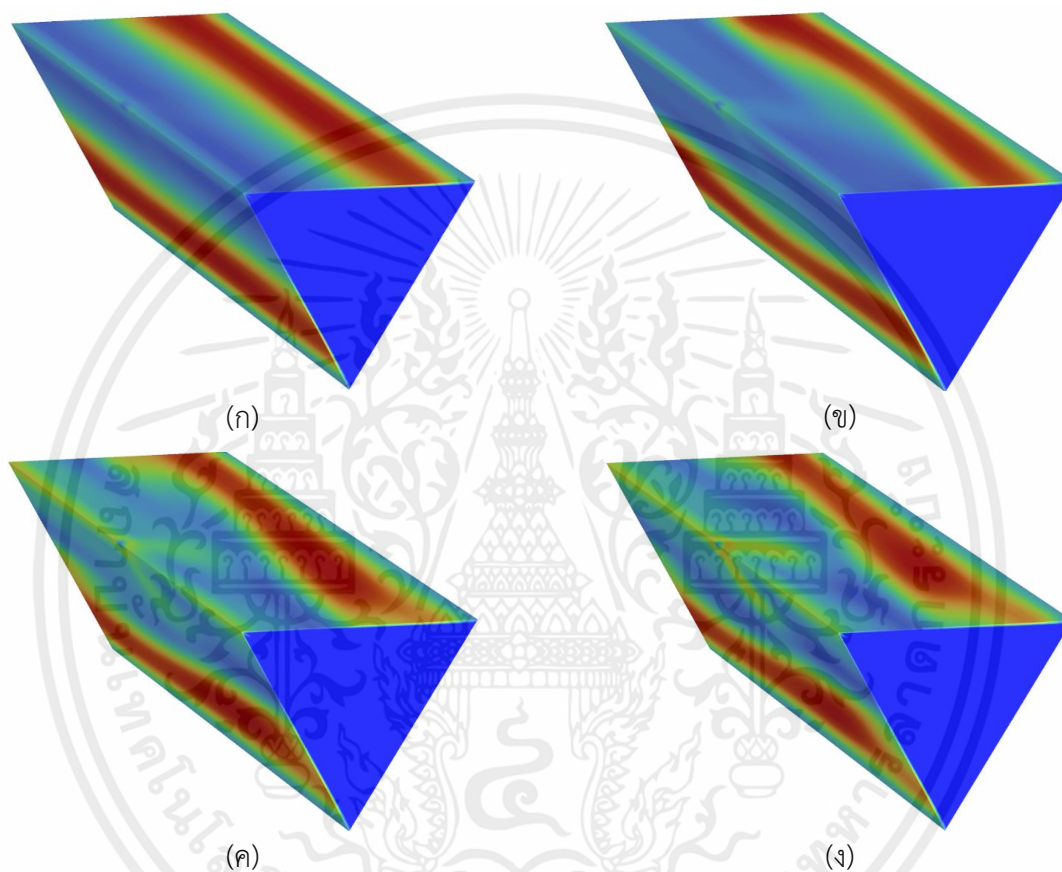


รูปภาพที่ 5.2 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ (ก) $b/D_n=0.05$, (ข) $b/D_n=0.10$, (ค) $b/D_n=0.15$, และ (ง) $b/D_n=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_n=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

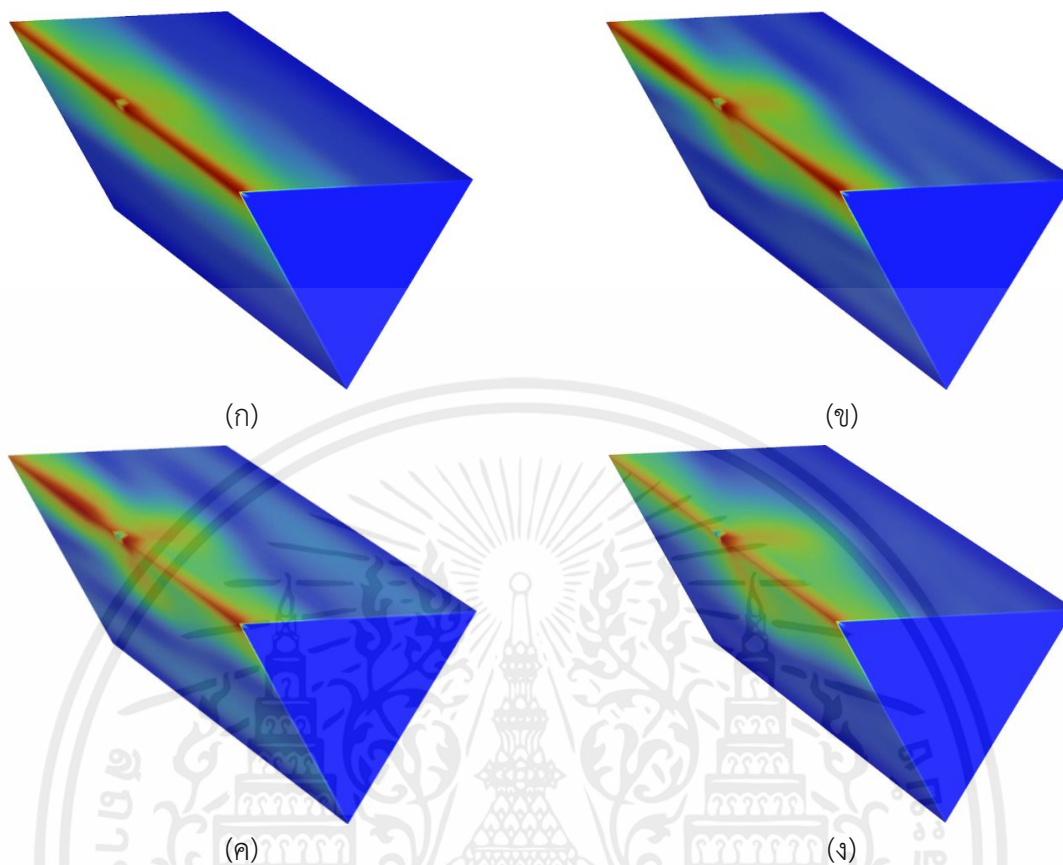
จากรูปภาพที่ 5.1 และรูปภาพที่ 5.2 ลักษณะโครงสร้างของอุณหภูมิที่ค่าความสูงของแผ่นกั้นที่แตกต่างกัน โดยแถบสีจะแสดงค่าอุณหภูมิของอากาศในแต่ละบริเวณของหน้าตัดท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้น เมื่อเราพิจารณาถึงแถบสีน้ำเงินหมายถึงอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำกว่าและบริเวณแถบสีแดงหมายถึงอุณหภูมิของอากาศที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นภายในท่อ ดังนั้นเราจะสังเกตได้ว่าอากาศที่บริเวณตรงกลางท่อจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณขอบพื้นผิวภายในท่อซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ถ้าพิจารณาถึงท่อแบบราบเรียบที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกั้นบริเวณแถบสีน้ำเงินจะกระจุกตัวอยู่ที่บริเวณตรงกลางท่อเพียงเท่านั้น โดยเมื่อเราติดตั้งแผ่นกั้นลงภายในท่อ จากรูปจะสังเกตได้ว่าบริเวณแถบสีน้ำเงินภายในท่อมีการเพิ่มขึ้นตามแนวทแยงของท่ออย่างชัดเจน และเมื่อค่าความสูงของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นบริเวณสีน้ำเงินภายในผิวท่อก็จะเพิ่มขึ้น รวมถึงมีการลดลงของบริเวณแถบสีแดงบริเวณขอบพื้นผิวภายในท่อเช่นเดียวกัน โดยค่าความสูงของแผ่นกั้นที่ทำให้เกิดโครงสร้างของอุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ รูปภาพที่ 5.1 (ง) ซึ่งเป็นความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20

สำหรับ V-Downstream (+x) และ รูปภาพที่ 5.2 (ง) ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 เช่นเดียวกันกับ V-Upstream (-x)

โครงสร้างของตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิว



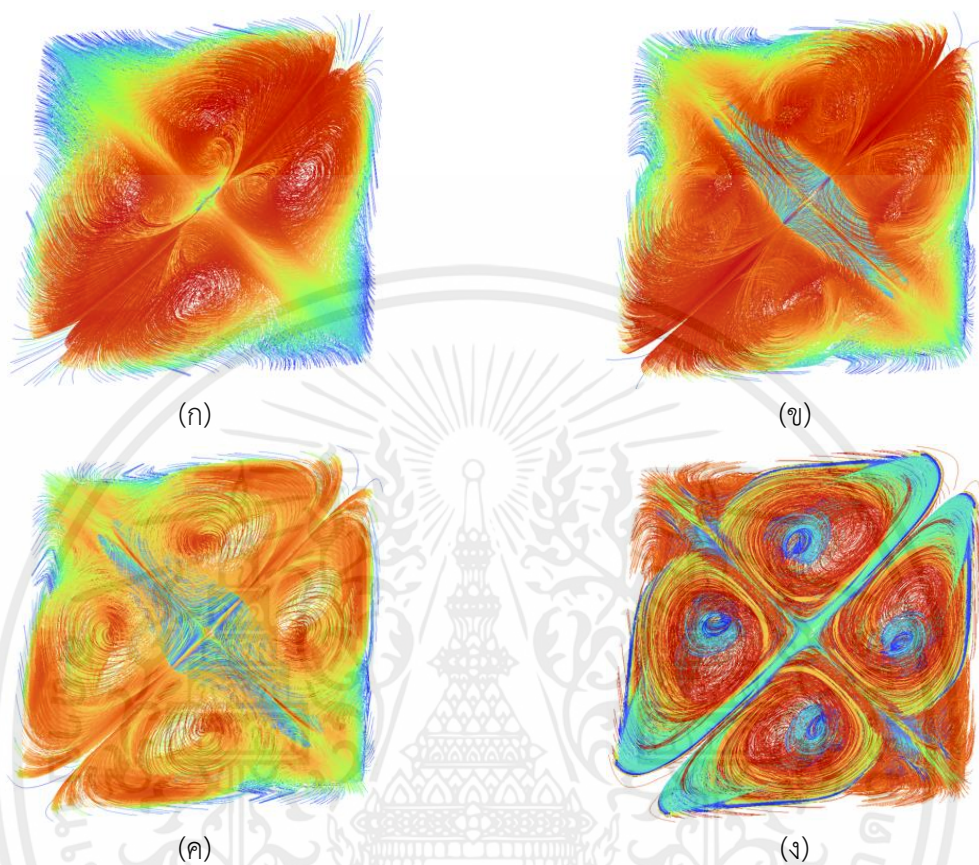
รูปภาพที่ 5.3 โครงสร้างตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)



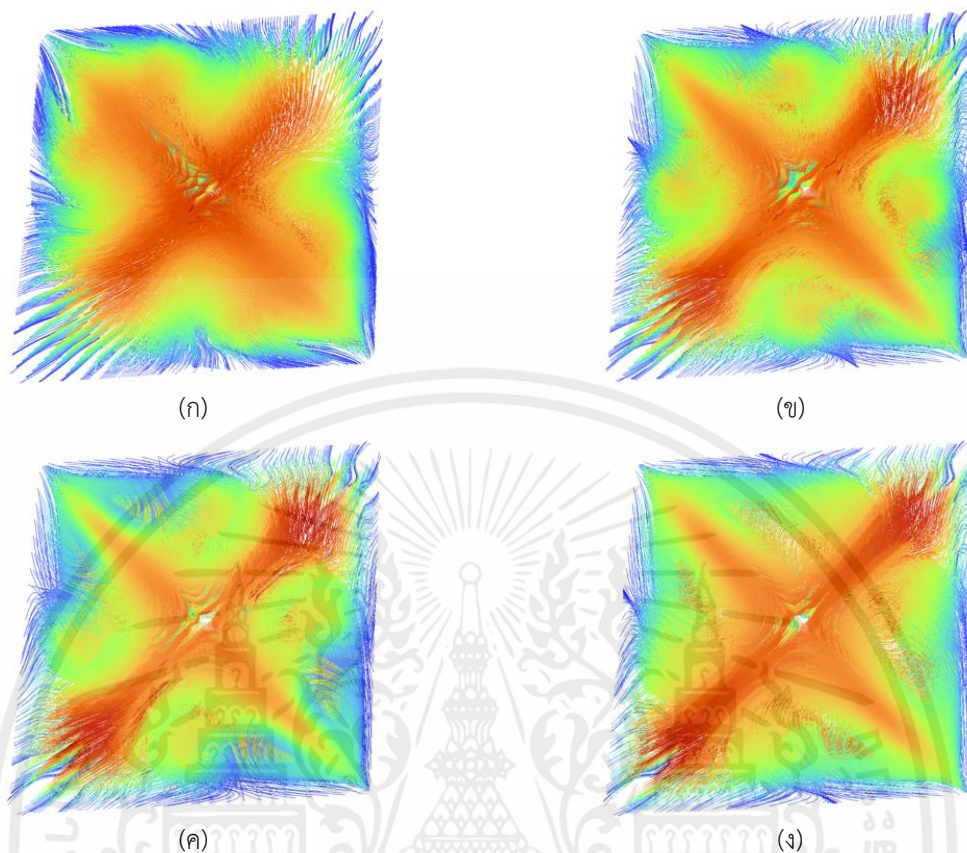
รูปภาพที่ 5.4 โครงสร้างตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวของการไหลที่ (ก) $b/D_h=0.05$, (ข) $b/D_h=0.10$, (ค) $b/D_h=0.15$, และ (ง) $b/D_h=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

จากรูปภาพที่ 5.3 และรูปภาพที่ 5.4 โครงสร้างตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวของท่อ โดยเมื่อเราพิจารณาถึงแถบสีของบริเวณต่างๆของผิวท่อ สีน้ำเงินหมายถึงบริเวณที่เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่า และสีแดงหมายถึงบริเวณที่เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆภายในท่อ ซึ่งช่วยให้สามารถบ่งบอกได้ว่าบริเวณใดที่การไหลของอากาศมีการแลกเปลี่ยนความร้อนหนาแน่น บริเวณใดมีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เบาบางที่บริเวณผิวท่อ โดยพบว่าจากลักษณะโครงสร้างตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวของท่อที่ดีที่สุดคือ รูปภาพที่ 5.3 (ง) ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 สำหรับ V-Downstream (+x) และรูปภาพที่ 5.4 (ค) ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 สำหรับ V-Upstream (-x)

โครงสร้างของความเร็วอากาศ



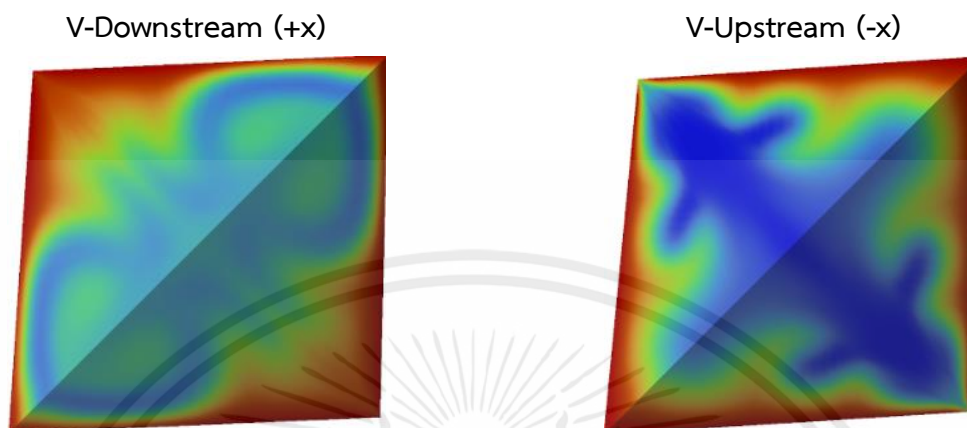
รูปภาพที่ 5.5 โครงสร้างความเร็วอากาศของการไหลที่ (ก) $b/D_n=0.05$, (ข) $b/D_n=0.10$, (ค) $b/D_n=0.15$, และ (ง) $b/D_n=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_n=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)



รูปภาพที่ 5.6 โครงสร้างความเร็วอากาศของการไหลที่ (ก) $b/D_n=0.05$, (ข) $b/D_n=0.10$, (ค) $b/D_n=0.15$, และ (ง) $b/D_n=0.20$ โดย $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_n=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

จากรูปภาพที่ 5.5 และรูปภาพที่ 5.6 โครงสร้างความเร็วของอากาศ โดยบริเวณแถบสีแดงหมายถึงบริเวณที่มีความเร็วของอากาศสูงเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ และสีน้ำเงินหมายถึงบริเวณที่มีความเร็วของอากาศต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ โดยเมื่อเราพิจารณาถึงบริเวณแถบสีแดงจะสามารถบ่งบอกได้ว่าบริเวณใดภายในหน้าตัดของท่อมีอัตราการปั่นป่วนของอากาศสูงซึ่งส่งผลทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น สำหรับกรณี V-Downstream (+x) จะสังเกตได้ว่าโครงสร้างความเร็วของอากาศบริเวณแถบสีแดงจะมีความหนาแน่นตามแนวตัดกับระนาบของแผ่นกั้นภายในท่อ และยังเห็นได้อีกว่าเมื่อความสูงของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของบริเวณแถบสีแดงยังเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับกรณี V-Upstream (-x) สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าการไหลของอากาศมีความปั่นป่วนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณี V-Downstream (+x) โดยบริเวณที่มีความหนาแน่นของแถบสีแดงคือแนวทแยงตามแนวของแผ่นกั้นภายในท่อและตามแนวทแยงที่ตัดกับระนาบของแผ่นกั้น

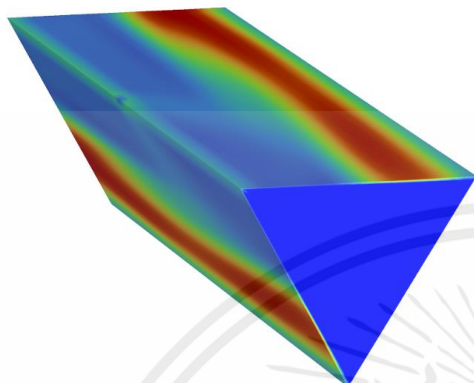
5.1.2 อิทธิพลของทิศทางการไหล



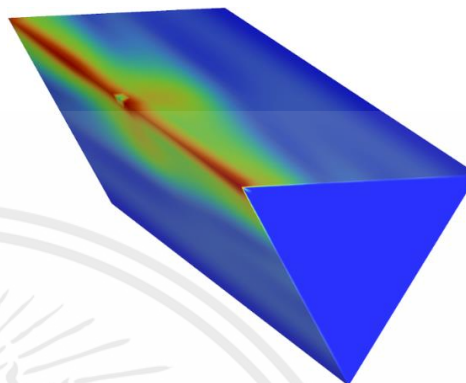
รูปภาพที่ 5.7 โครงสร้างอุณหภูมิของการไหลที่ $b/D_n=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_n=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x)

จากรูปภาพที่ 5.7 ซึ่งเป็นรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบแผนภาพคอนทัวร์ของอุณหภูมิ โดยหลังจากได้ทำการติดตั้งแผ่นกั้นรูปทรงเพชรลงไปในห้องรูปทรงสี่เหลี่ยมจะสามารถสังเกตได้จากแผนภาพคอนทัวร์ของอุณหภูมิว่าแถบสีแดงซึ่งแสดงถึงของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงปรากฏบริเวณขอบของห้องรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยจะมีขนาดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรและสามารถสังเกตเห็นได้อีกว่าจะพบแถบสีน้ำเงินแถบสีฟ้าและแถบสีเขียวได้บริเวณกึ่งกลางของท่อสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชร และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างทิศทางการไหล V-Downstream (+x) กับ V-Upstream (-x) ที่มีความสูงของแผ่นกั้นรูปเพชรเท่ากันจะสามารถสังเกตได้ว่าแถบสีแดงของการไหลในทิศ V-Downstream (+x) มีขนาดเล็กกว่าแถบสีแดงของการไหลในทิศ V-Upstream (-x) และแถบสีน้ำเงินของการไหลในทิศ V-Downstream (+x) มีขนาดใหญ่กว่าแถบสีน้ำเงินของการไหลในทิศ V-Upstream (-x)

V-Downstream (+x)

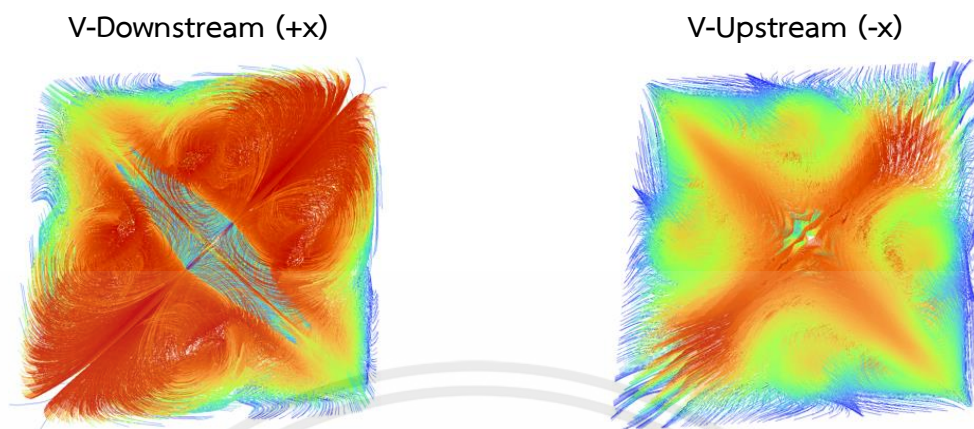


V-Upstream (-x)



รูปภาพที่ 5.8 โครงสร้างตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวการไหลที่ $b/D_h=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x)

จากรูปภาพที่ 5.8 แลบสีแดงของแผนภาพคอนทัวร์ของโครงสร้างตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวหมายถึงมีการไหลปั่นป่วนพุ่งเข้าชนกับผนังของท่อรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าที่สูงขึ้น ดังนั้นหากมีแลบสีแดงที่มากกว่าจะส่งผลให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่านั่นเอง จากการเปรียบเทียบระหว่างทิศทางการไหล V-Downstream (+x) กับ V-Upstream (-x) ที่มีความสูงของแผ่นกั้นรูปเพชรเท่ากันจะสามารถสังเกตได้ว่าแลบสีแดงของทิศทางการไหลแบบ V-Downstream (+x) มีขนาดใหญ่และแดงกว่าแลบสีแดงของทิศทางการไหลแบบ V-Upstream (-x) จึงส่งผลกรณีการของทิศทางการไหลแบบ V-Downstream (+x) เป็นกรณีที่ให้ผลลัพธ์ของตัวเลขสเกลส์บนพื้นผิวดีกว่ากรณีทิศทางการไหลแบบ V-Upstream (-x)



รูปภาพที่ 5.9 โครงสร้างความเร็วของอากาศของการไหลที่ $b/D_h=0.10$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x) และ V-Upstream (-x)

จากรูปภาพที่ 5.9 ซึ่งเป็นแผนภาพโครงสร้างของความเร็วในการไหลของของไหลภายในท่อ แถบสีแสดงถึงการไหลปั่นป่วนเนื่องจากของไหลภายในท่อมีความเร็วที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรไหลแบบปกติที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชร จากการเปรียบเทียบระหว่างทิศทางการไหล V-Downstream (+x) กับ V-Upstream (-x) ที่มีความสูงของแผ่นกั้นรูปเพชรเท่ากัน จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแถบสีแดงของทิศทางการไหลแบบ V-Downstream (+x) มีขนาดใหญ่และแดงกว่าแถบสีแดงของทิศทางการไหลแบบ V-Upstream (-x) จึงส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลแบบ V-Downstream (+x) เป็นกรณีที่ทำให้ผลลัพธ์ดีกว่ากรณีทิศทางการไหลแบบ V-Upstream (-x)

5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

5.2.1 ตัวเลขนัสเซลล์

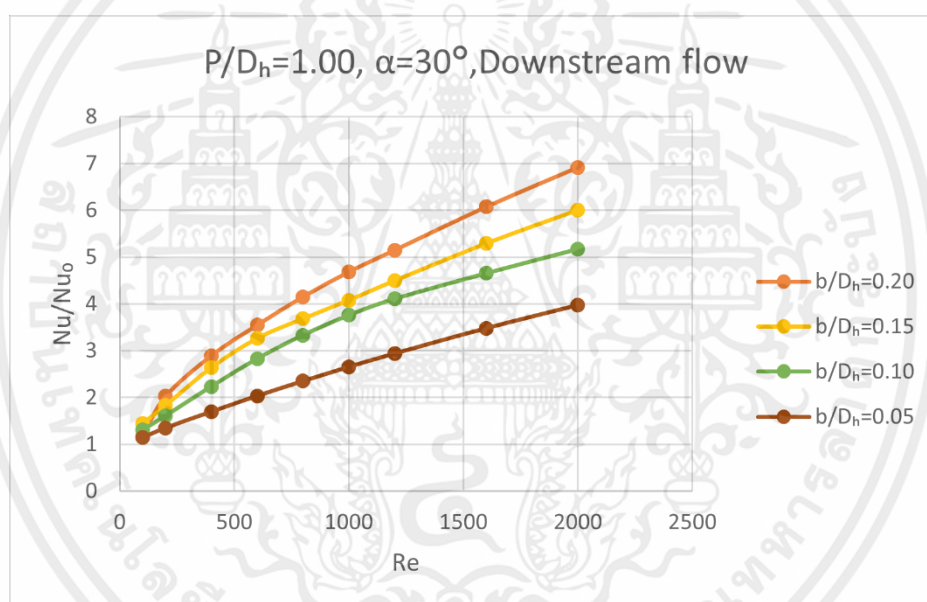
รูปภาพที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นกับในท่อสี่เหลี่ยมแบบราบเรียบ (อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลล์) และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 ผลการจำลองการไหลเป็นไปดังนี้

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.1439 ถึง 3.9769

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.3032 ถึง 5.1717

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.4447 ถึง 6.0056

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.1740 ถึง 6.9182



รูปภาพที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)

โดยในภาพรวมแล้วสำหรับ V-Downstream (+x) ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นกับในท่อสี่เหลี่ยมแบบราบเรียบ (อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์) และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อเหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 พบว่า อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์ (Nu/Nu_0) จะมีค่าเพิ่มตาม 2 ตัวแปรดังนี้คือ ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) และ ความสูงของแผ่นกั้น (b/D_h) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงของแผ่นกั้นมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหล โดยอัตราการ

ถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 6.9182

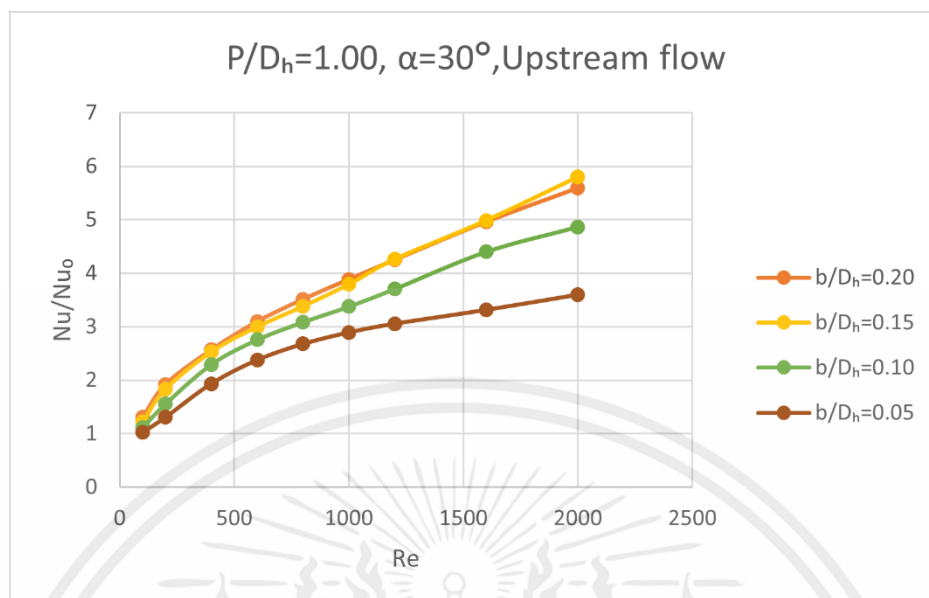
รูปภาพที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นกับในท่อสี่เหลี่ยมแบบราบเรียบ (อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์) และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 ผลการจำลองการไหลเป็นไปดังนี้

สำหรับ V-Downstream (-x) โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.0221 ถึง 3.5998

สำหรับ V-Downstream (-x) โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.1123 ถึง 4.8654

สำหรับ V-Downstream (-x) โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.2182 ถึง 5.8007

สำหรับ V-Downstream (-x) โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า Nu/Nu_0 ระหว่าง 1.3057 ถึง 5.5927



รูปภาพที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

สำหรับ V-Upstream (-x) ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นกับในท่อสี่เหลี่ยมแบบราบเรียบ (อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์) และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อเหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 พบว่า ค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์ (Nu/Nu_0) ยังคงเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์และความสูงของแผ่นกั้น แต่จะมีลักษณะของกราฟที่แตกต่างกับ V-Downstream โดยตั้งแต่ค่าเลขเรย์โนลด์ 100-1200 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 ผลจำลองการไหลจะได้ค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์ที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงของแผ่นกั้นอื่นๆ แต่เมื่อถึงพิจารณาถึงช่วงค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 1600 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 จะพบว่าค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์มีค่ามากกว่าความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 เล็กน้อย จากนั้นเมื่อพิจารณาค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 จะมีค่าอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลส์มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและยังมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูงแผ่นกั้นอื่นๆ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.15$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ จะได้ค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 5.5927

5.2.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

รูปภาพที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นกับในท่อสี่เหลี่ยมแบบราบเรียบ และค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อเหลี่ยม โดยมี

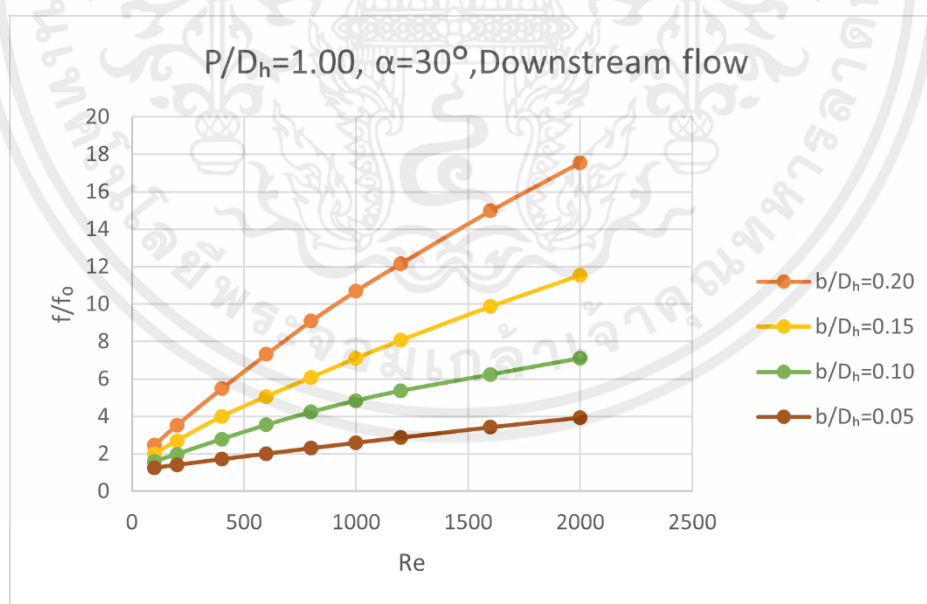
ค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 ผลการจำลองการไหลเป็นไปดังนี้

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.2565 ถึง 3.9498

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.5875 ถึง 5.3724

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.9923 ถึง 11.5420

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 2.4856 ถึง 17.5601



รูปภาพที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)

สำหรับ **V-Downstream (+x)** ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(f/f_0)ในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 พบว่า อัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน(f/f_0) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม 2 ตัวแปรดังนี้คือ ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) และ ความสูงของแผ่นกั้น (b/D_h) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสูงของแผ่นกั้นมีผลต่ออัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลของอากาศภายในท่อ โดยอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า f/f_0 เท่ากับ 17.5601

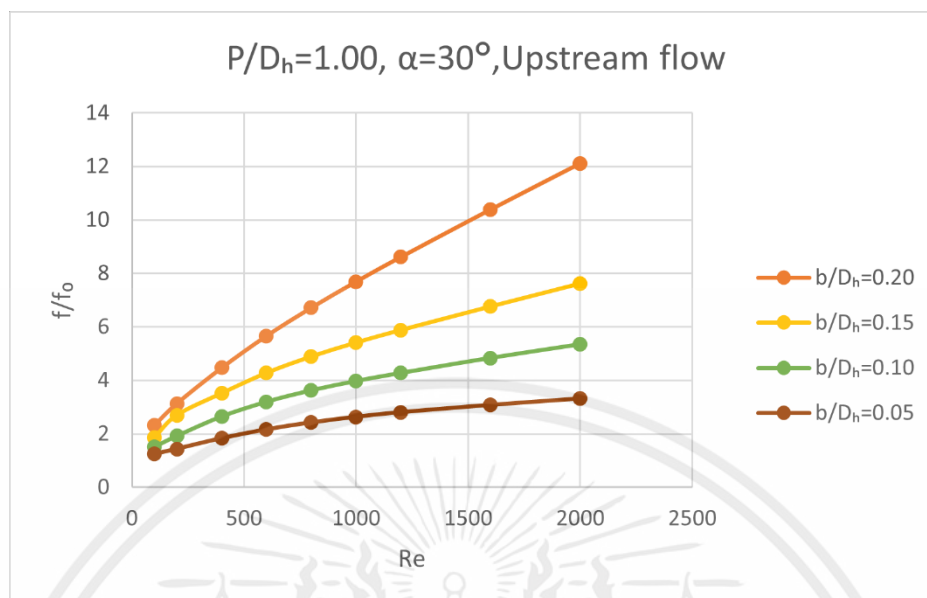
รูปภาพที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 มีผลการจำลองการไหลเป็นไปดังนี้

สำหรับ **V-Upstream (-x)** โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.2395 ถึง 3.3192

สำหรับ **V-Upstream (-x)** โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.5193 ถึง 5.3431

สำหรับ **V-Upstream (-x)** โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 1.8513 ถึง 7.6183

สำหรับ **V-Upstream (-x)** โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า f/f_0 ระหว่าง 2.3228 ถึง 12.1115



รูปภาพที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

โดยในส่วนของ V-Upstream (-x) ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f/f_0) ในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลของอากาศในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 พบว่า ลักษณะของกราฟเป็นไปตามความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างชัดเจน และไม่แตกต่างจากการจำลองการไหลแบบ V-Downstream (+x) เพียงแต่จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 มีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f/f_0) มากกว่าที่ความสูงอื่นๆ อย่างมีนัยยะสำคัญ โดยอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.20$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า f/f_0 เท่ากับ 12.1115

5.2.3 สมรรถนะเชิงความร้อน

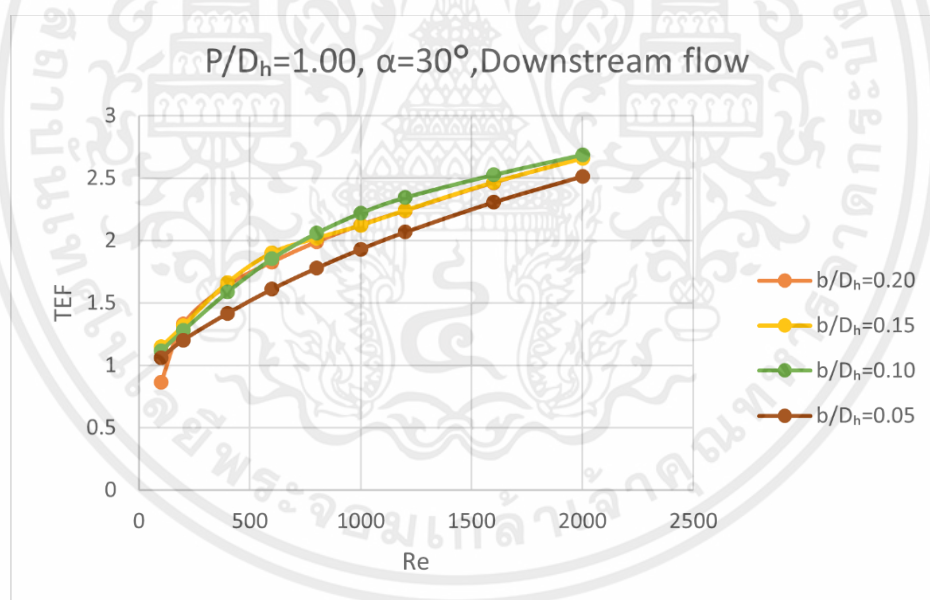
รูปภาพที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลในท่อสี่เหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 ผลการจำลองการไหลเป็นไปดังนี้

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 1.0601 ถึง 2.5159

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 1.1171 ถึง 2.6879

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 1.1481 ถึง 2.6574

สำหรับ V-Downstream (+x) โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 0.8667 ถึง 2.6617



รูปภาพที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Downstream (+x)

สำหรับ V-Downstream (+x) ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลของอากาศในท่อเหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30° องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง

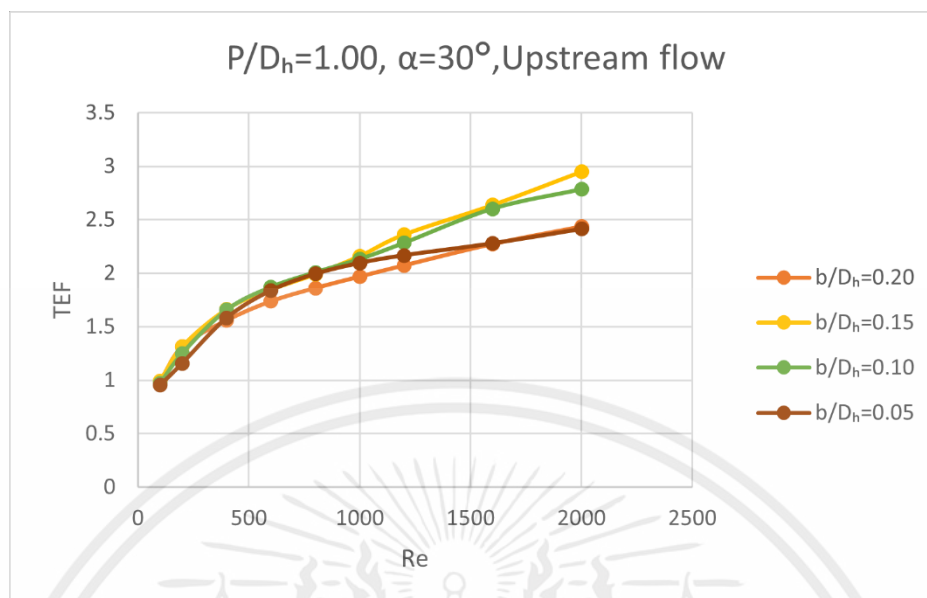
2000 พบว่า TEF มีการเพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ในแต่ละความสูงของแผ่นกั้น โดยเมื่อพิจารณาแต่ละความสูงของแผ่นกั้น ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05 จะเห็นได้ว่า TEF เฉลี่ยจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับความสูงอื่นๆ ยกเว้นที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100 ที่ความสูงของแผ่นกั้นมีค่า TEF มากกว่าความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 ต่อไปพิจารณาที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 จะเห็นว่าที่ค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 600 จะมีค่า TEF เฉลี่ยน้อยกว่าความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 และ 0.20 แต่เมื่อพิจารณาถึงช่วงค่าเลขเรย์โนลด์มากกว่า 800 จนถึง 2000 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 จะมีค่า TEF มากที่สุดในทุกค่าเลขเรย์โนลด์เมื่อเทียบกับความสูงอื่น สำหรับที่ความสูงแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 และ 0.20 โดยเฉลี่ยแล้วค่า TEF จะมีความใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก โดยสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า TEF เท่ากับ 2.6879

สำหรับ V-Upstream (-x) โดย $b/D_h = 0.05$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 0.9515 ถึง 2.4132

สำหรับ V-Upstream (-x) โดย $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 0.9676 ถึง 2.7830

สำหรับ V-Upstream (-x) โดย $b/D_h = 0.15$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 0.9921 ถึง 2.9480

สำหรับ V-Upstream (-x) โดย $b/D_h = 0.20$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$
ที่ค่า Re ตั้ง 100 จนถึง 2000 จะมีค่า TEF ระหว่าง 0.9859 ถึง 2.4353



รูปภาพที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลที่ $b/D_h=0.05$, $b/D_h=0.10$, $b/D_h=0.15$, และ $b/D_h=0.20$ โดย $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h=1$ สำหรับ V-Upstream (-x)

สำหรับ V-Upstream (-x) ผลการจำลองการไหลในท่อของความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นและค่าเลขเรย์โนลด์ของการไหลของอากาศในท่อเหลี่ยม โดยมีค่า b/D_h เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มุมปะทะการไหลที่ 30 องศา มีค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 100 ถึง 2000 พบว่าค่า TEF จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจนคือ กลุ่มแรกที่มีความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05 และ 0.20 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ค่าความสูงของแผ่นกั้นดังที่กล่าวมาข้างต้นจะให้ค่าที่ TEF ที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 และ 0.15 ซึ่งเป็นผลมาจากที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05 ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับที่ความสูงอื่นๆ และที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับที่ความสูงอื่นๆ สำหรับค่า TEF เฉลี่ยจะเห็นว่าที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05 จะให้ค่า TEF ที่สูงกว่า 0.20 เล็กน้อย ต่อไปเรามาดูพิจารณาถึงกลุ่มที่ 2 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 และ 0.15 ซึ่งให้ค่า TEF เฉลี่ยออกมาสูงกว่ากลุ่มที่ 1 อย่างชัดเจน อันเป็นผลเนื่องมาจากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เหมาะสม และสำหรับความสูงของแผ่นกั้นที่สามารถให้ค่า TEF ได้ดีที่สุดคือ 0.15 โดยสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุดเกิดขึ้นที่ $Re = 2000$, $b/D_h = 0.10$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า TEF เท่ากับ 2.9480

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทนำ

จากการศึกษาและจำลองการไหลของอากาศภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวทแยงมุม โดยทำการวิเคราะห์อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นและทิศทางการไหลของอากาศซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนมีตัวแปรชี้วัดได้แก่ อัตราการถ่ายเทความร้อนหรือตัวเลขนัสเซลส์, สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อน ทำการศึกษาที่ความสูงของแผ่นกั้นรูปเพชร, ทิศทางการไหลของอากาศ และค่าเลขเรย์โนลด์ที่แตกต่างกัน เพื่อหารูปแบบของแผ่นกั้นรูปเพชรติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน จากการจำลองการไหลและการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.2 สรุปผลการวิจัย

6.2.1 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น

จากผลการจำลองพบว่าความสูงของแผ่นกั้นรูปเพชรส่งผลต่อโครงสร้างการไหลของอากาศและการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าความสูงของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น และส่งผลในทางเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงความต้านทานการไหลของอากาศภายในท่อซึ่งหมายถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เป็นที่แน่นอนว่าที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 จะเกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าสมรรถนะเชิงความร้อน หรือ TEF พบว่าที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 และ 0.15 จะเกิดค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05 แต่ก็ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่าค่าความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 ซึ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีกว่า 2 ค่าความสูงของแผ่นกั้นที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยค่าความสูงของแผ่นกั้นที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุดได้แก่ ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.10 ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 2.69 หรือเพิ่มขึ้น 169% สำหรับ V-Downstream (+x) และที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.15 ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 2.95 หรือเพิ่มขึ้น 195% สำหรับ V-Upstream (-x) เมื่อเทียบกับกรณีท่อแบบราบเรียบ

6.2.2 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ

พบว่าทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปเพชรตามแนวทแยงมุมส่งผลต่อโครงสร้างการไหลของอากาศและการถ่ายเทความร้อน จากผลวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า กรณี V-Downstream (+x) ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า แต่ในทางเดียวกันก็เกิดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงกว่าเช่นกันเมื่อเทียบกับกรณี V-Upstream (-x) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการไหลของอากาศปะทะเข้ากับด้านหน้าของแผ่นกั้นรูปเพชรภายในท่อ กรณี V-Downstream (+x) จากรูปโครงสร้างการไหลจะเห็นว่าอากาศภายในท่อเกิดความปั่นป่วนมากกว่ากรณี V-Upstream (-x) ซึ่งเป็นการไหลของอากาศปะทะทางด้านหลังของแผ่นกั้นรูปเพชร ซึ่งค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่ V-Upstream (-x) โดยมีค่า $Re = 2000$, $b/D_h = 0.10$, $\alpha = 30^\circ$ และ $P/D_h = 1$ จะได้ค่า TEF เท่ากับ 2.95 หรือเพิ่มขึ้น 195% เมื่อเทียบกับท่อแบบราบเรียบ

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของวิจัยฉบับจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่ออุปกรณ์กำเนิดน้ำวน (Vortex generator) ยิ่งทำให้เกิดความปั่นป่วนของของไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากเท่าไร ก็จะทำให้เกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้นเช่นกัน แต่ในทางกลับกันต้องแลกมากับความต้านทานการไหลของของไหลที่มากขึ้นซึ่งหมายถึงจะนำไปสู่การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกรณีของวิจัยฉบับนี้ซึ่งรูปแบบของแผ่นกั้นที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงที่สุดก็คือค่าความสูงแผ่นกั้นที่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงและมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ไม่มากจนเกินไป โดยผู้อ่านสามารถใช้แนวคิดนี้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์กำเนิดน้ำวนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรควบคุมซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละการศึกษา ผู้อ่านจึงต้องคำนึงในจุดนี้ด้วยเช่นกัน

2. การศึกษาและวิจัยฉบับนี้เป็นการทดลองด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมเพื่อความง่ายต่อการศึกษาและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา ดังนั้นผลการทดลองและการสรุปผลที่ได้ออกมานี้อาจจะใช้เป็นแนวทางในการทำผลิตภัณฑ์จริงได้ แต่เนื่องด้วยในการจำลองด้วยโปรแกรมนั้นสามารถควบคุมตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดลองได้อย่างแม่นยำต่างจากการทดลองในชีวิตจริงซึ่งอาจจะมีตัวแปรอิสระที่ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองไม่ตรงตามการจำลองในโปรแกรม ในจุดนี้ผู้เขียนเห็นว่าเราสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์จากการออกแบบและจำลองเพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการทำผลิตภัณฑ์ออกมาใช้งานจริงๆในภาคอุตสาหกรรมหรือในด้านอื่นๆเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดและเกิดความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sripattanapipat, P., Promvongse, P. (2008). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36, 32-38.
- [2] Kwankaomeng, S., Promvongse, P. (2010). Numerical prediction on laminar heat transfer in square duct with 30° angled baffle on the wall, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 857-866.
- [3] Promvongse, P., Sripattanapipat, S., Tamna, S., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2009). Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45° inclined baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 170-177.
- [4] Promvongse, P., Jedsadaratanachai, W., Kwankaomeng, S. (2010). Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30-degree inline angled baffle turbulators, *Applied Thermal Engineering*, 30, 1292-1303.
- [5] Promvongse, P., Sripattanapipat, S., Kwankaomeng, S. (2010). Laminar periodic flow and heat transfer in square channel with 45 degree inline baffles on two opposite walls, *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 963-975.
- [6] Boonloi, A., Jedsadaratanachai, W. (2022). Numerical predictions of flow topology and heat transfer in a square duct with staggered V-ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 139, 106483.
- [7] Zhanga, P., Raoa, Y., Xie, Y., Zhang, M. (2021). Turbulent flow structure and heat transfer mechanisms over surface vortex structures of micro V-shaped ribs and dimples, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 178, 121611.
- [8] Jedsadaratanachai, W., Boonloi, A. (2014). Effects of blockage ratio and pitch ratio on thermal performance in a square channel with 30° double V-baffles, *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 118-128.
- [9] Polat, M., Cadirci, S. (2022). Artificial neural network model and multi-objective optimization of microchannel heat sinks with diamond-shaped pin fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 194, 123015.
- [10] Y. Cengel, A. Ghajar, *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*. McGraw Hill. 5th Ed. 2014.