

การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววี
ด้วยการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SQUARE DUCT INSERTED
WITH V-SHAPED BAFFLES : A CFD ANALYSIS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววี
ด้วยการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SQUARE DUCT INSERTED
WITH V-SHAPED BAFFLES : A CFD ANALYSIS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SQUARE DUCT INSERTED
WITH V-SHAPED BAFFLES : A CFD ANALYSIS



THIDARAT WATCHARAPONG
MATIMA BOONSARANAPHOL
WARITTHA CHAIYA

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
2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววี ด้วยการวิเคราะห์
พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SQUARE DUCT INSERTED WITH
V-SHAPED BAFFLES : A CFD ANALYSIS

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ชิดารัตน์ วัชรพงษ์ รหัสประจำตัว 61010509
2. นางสาว มติมา บุญสรณผล รหัสประจำตัว 61010855
3. นางสาว วริษฐา ไชยยา รหัสประจำตัว 61010948

W Jatsadaratanachai

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิฑิตา เจษฎารัตนชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววีด้วยการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

| | | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|----------|
| นางสาวธิดารัตน์ | วัชรพงษ์ | 61010509 |
| นางสาวมติมา | บุญสรณาผล | 61010855 |
| นางสาววริษฐา | ไชยยา | 61010948 |
| รศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2564 | | |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน, ลักษณะการไหล และการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี มีการพิจารณาถึงอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิทช์ ($P/H = 1.0, 1.5$ และ 2.0), ความสูงของแผ่นกั้น (แบบติดตั้งที่ผิวท่อ) ต่อความสูงของท่อ ($b_1/H = 0.05 - 0.20$), ความสูงของแผ่นกั้น (แบบติดตั้งกึ่งกลางท่อ) ต่อความสูงของท่อ ($b_2/H = 0.05 - 0.20$) และทิศทางการไหล (V-Downstream และ V-Upstream) ที่มีต่อการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับช่วงการไหลแบบราบเรียบที่ค่าเลขเรย์โนลด์ในช่อง $100 - 2000$ ที่มุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อทดสอบนำเสนอในรูปแบบของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพของการติดตั้งแผ่นกั้นถูกสรุปในรูปแบบของสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (thermal enhancement factor, TEF) มีการนำเสนอพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบ จากผลการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ค่าเลขนัสเซิลท์สำหรับท่อที่ทดสอบมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นและลดค่าอัตราส่วนระยะพิทช์ สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดในช่วงที่ทำการศึกษา มีค่าเท่ากับ 4.503 ที่ $P/H = 1, b_1/H = 0.10$ และ $b_2/H = 0.05$ สำหรับแผ่นกั้นแบบ V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SQUARE DUCT INSERTED WITH V-
SHAPED BAFFLES : A CFD ANALYSIS

Thidarat Watcharapong 61010509

Matima Boonsaranaphol 61010855

Warittha Chaiya 61010948

Assoc.Prof.Dr.Withada Jedsadaratanachai Advisor

Year 2564

ABSTRACT

Heat transfer characteristics, flow visualization and thermal performance improvement in a square duct inserted with V-shaped baffles are numerically investigated. The effects of pitch spacing ratios ($P/H = 1.0, 1.5$ and 2.0), baffle height (on the upper-lower walls) to the duct height ($b_1/H = 0.05 - 0.20$) and baffle height (at the middle of the duct) to the duct height ($b_2/H = 0.05 - 0.20$), flow direction (V-Downstream and V-Upstream) on fluid flow and heat transfer are considered for laminar flow with the Reynolds number in a range of $100 - 2000$ at flow attack angle of 30° . The heat transfer rate and pressure loss in the tested duct are reported in terms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively, while the efficiency of the baffle insertion is concluded in terms of thermal enhancement factor (TEF). The flow and heat transfer mechanisms in the tested duct are also presented. As the numerical results, the baffle insertion brings higher heat transfer rate and thermal performance when compared with the smooth duct. The Nusselt number of the tested duct increases with increasing baffle height and with reducing pitch spacing ratio. In addition, the best thermal performance over the investigated range is found to be around 4.503 at $P/H = 1$, $b_1/H = 0.10$ and $b_2/H = 0.05$ of V-Upstream baffle.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกันรูปตัววีด้วยการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก รศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สามารสำเร็จลุล่วงได้หากไม่ได้รับคำปรึกษา แนะนำ และเอาใจใส่ในการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณพี่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รุ่นที่ 41 ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวข้อมูลเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณสมาชิกผู้ร่วมจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน ช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาต่างๆที่พบเจอแม้จะลำบากแค่ไหนก็สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวซึ่งบุคคลสำคัญที่คอยสนับสนุนทางการศึกษา เลี้ยงดู และสถานที่ในการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งยังให้ข้าพเจ้าได้เติบโตเป็นอย่างดีจนถึงทุกวันนี้

นางสาวธิดารัตน์ วิชาพงษ์
นางสาวมติมา บุญสรณาผล
นางสาววิรัชญา ไชยยา

สารบัญ

| | หน้า |
|-------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 สมมติฐาน..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษา..... | 2 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| บทที่ 3 สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 16 |
| 3.1 บทนำ..... | 16 |
| 3.2 กลศาสตร์ของไหล..... | 16 |
| 3.2.1 สมการการควบคุม..... | 16 |
| 3.2.2 การไหลภายใน..... | 18 |
| บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย..... | 21 |
| 4.1 บทนำ..... | 21 |
| 4.2 การกำหนดเงื่อนไขและสมมติฐาน..... | 21 |
| 4.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 21 |
| 4.3.1 เงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณงานวิจัย..... | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|----------------------------------------------|------|
| 4.3.2 เงื่อนไขการสร้างแบบจำลอง..... | 22 |
| 4.3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... | 23 |
| บทที่ 5 ผลการศึกษา..... | 26 |
| 5.1 บทนำ..... | 26 |
| 5.2 โครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อน..... | 26 |
| 5.2.1 อิทธิพลของความสูง..... | 26 |
| 5.2.2 อิทธิพลของระยะพิทช์..... | 34 |
| 5.2.3 อิทธิพลของทิศทางการไหล..... | 38 |
| 5.3 สมรรถนะเชิงความร้อน..... | 40 |
| 5.3.1 ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์..... | 40 |
| 5.3.2 ตัวประกอบแรงเสียดทาน..... | 44 |
| 5.3.3 สมรรถนะเชิงความร้อน..... | 47 |
| บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... | 52 |
| 6.1 บทนำ..... | 52 |
| 6.2 สรุปผลการศึกษา..... | 52 |
| 6.2.1 อิทธิพลของความสูง..... | 52 |
| 6.2.2 อิทธิพลของระยะพิทช์..... | 52 |
| 6.2.3 อิทธิพลของทิศทางการไหล..... | 53 |
| 6.3 ข้อเสนอแนะ..... | 53 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 54 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ตารางแผนการดำเนินงานช่วงระยะเวลาภาคการศึกษาที่ 1..... | 4 |
| 1.2 ตารางแผนการดำเนินงานช่วงระยะเวลาภาคการศึกษาที่ 2..... | 5 |
| 4.1 ตารางแสดงค่าน้ำเชื้อเพลิงและค่าตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลราบเรียบ แบบปรับตัวเต็มทีในท่อที่มีรูปร่างหน้าตัดแตกต่างกัน..... | 23 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 องค์ประกอบหลักท่อสี่เหลี่ยมของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์..... | 9 |
| 2.2 แบบจำลองสามมิติของส่วนทดสอบที่มีซีโครงรูปตัววีและตัวดับเบิลยู..... | 11 |
| 3.1 ปริมาณการควบคุมส่วนต่างๆสำหรับการอนุรักษ์แบบสองมิติ..... | 16 |
| 3.2 อิทธิพลควบคุมสำหรับสมการโมเมนต์ของการไหลผ่านพื้นผิวสองมิติ..... | 17 |
| 3.3 ชั้นขอบเขตความเร็วของการไหล..... | 18 |
| 4.1 รูปแบบจำลองท่อจัตุรัสและลักษณะรูปร่างของแผ่นกั้นภายในท่อ..... | 22 |
| 4.2 แบบจำลองแสดงภาพด้านข้างของท่อจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ..... | 22 |
| 4.3 รูปแบบจำลองทางฟิสิกส์ของท่อจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ..... | 22 |
| 4.4 การตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียแรงเสียดทานในท่อเรียบที่ไม่มีแผ่นกั้น..... | 24 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/f_0 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์..... | 25 |
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์..... | 25 |
| 5.1 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (a) $b_2/H=0.05$, (b) $b_2/H=0.10$, (c) $b_2/H=0.15$ และ (d) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 28 |
| 5.2 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลท์ ในระนาบ y-z โดยกำหนด (e) $b_2/H=0.05$, (f) $b_2/H=0.10$, (g) $b_2/H=0.15$ และ (h) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 29 |
| 5.3 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (i) $b_2/H=0.05$, (j) $b_2/H=0.10$, (k) $b_2/H=0.15$ และ (l) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 29 |
| 5.4 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (a) $b_1/H=0.05$, (b) $b_1/H=0.10$, (c) $b_1/H=0.15$ และ (d) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 31 |
| 5.5 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลท์ ในระนาบ y-z โดยกำหนด (e) $b_1/H=0.05$, (f) $b_1/H=0.10$, (g) $b_1/H=0.15$ และ (h) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 32 |
| 5.6 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (i) $b_1/H=0.05$, (j) $b_1/H=0.10$, (k) $b_1/H=0.15$ และ (l) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha =30^\circ$ และ $P/H=1$ | 33 |
| 5.7 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (a) $P/H=1$, (b) $P/H=1.5$ และ (c) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$ | 35 |
| 5.8 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลท์ ในระนาบ y-z โดยกำหนด (d) $P/H=1$, (e) $P/H=1.5$ และ (f) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$ | 36 |
| 5.9 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (g) $P/H=1$, (h) $P/H=1.5$ และ (i) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$ | 37 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.10 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 38 |
| 5.11 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์ ในระนาบ y-z โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 39 |
| 5.12 กระแสการไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ | 39 |
| 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 40 |
| 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 41 |
| 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 41 |
| 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 42 |
| 5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 43 |
| 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 44 |
| 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 45 |
| 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 45 |
| 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 46 |
| 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 46 |
| 5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 47 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 47 |
| 5.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 48 |
| 5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 48 |
| 5.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 49 |
| 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$ | 50 |
| 5.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$ | 50 |
| 5.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี่ ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$ | 51 |

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

| | |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| A | พื้นที่การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด, m^2 |
| A_c | พื้นที่หน้าตัด, m^2 |
| c_p | ค่าความจุความร้อนจำเพาะภายใต้กรณีความดันคงที่, $J/kg \cdot K$ |
| D | เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, m |
| D_h | เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m |
| E | พลังงานภายในรวม |
| f | ตัวประกอบเสียดทาน |
| f_0 | ตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบ |
| g | ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2 |
| h | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน |
| h_0 | สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อผนังเรียบ |
| h_f | ความดันสูญเสียวัดเป็นความสูงของของไหลใน, m |
| k | สัมประสิทธิ์การนำความร้อน |
| L | ความยาวของท่อ, m |
| L_c | ความยาวจำเพาะของพื้นผิวรูปทรง, m |
| \dot{m} | อัตราการไหลของของไหล, kg/s |
| Nu | เลขนัสเซลท์ |
| Nu_0 | เลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบ |
| P | ระยะพิตช์ |
| PR | อัตราส่วนระยะพิตช์ต่อขนาดท่อ (P/H) |
| Δp | ความดันตกคร่อมของของไหล, N/m^2 |
| Q | อัตราการถ่ายเทความร้อน, W |
| Re_D | เลขเรย์โนลด์ |
| TEF | ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน |
| T | อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งใดๆ, $^{\circ}C$ |
| T_m | อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ, $^{\circ}C$ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

| | |
|-----------|--------------------------------------------|
| u | ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อที่ตำแหน่งใดๆ, m/s |
| u_m | ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, m/s |
| \bar{V} | ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s |
| α | มุมปะทะการไหล |
| ρ | ความหนาแน่นของของไหล, kg/m_3 |
| μ | ความหนืดของของไหล, $kg/(m \cdot s)$ |
| v | ปริมาตรจำเพาะ, m^3/kg |
| τ | ความเค้นเฉือน, N/m_2 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน วิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม พลังงาน และภาวะโลกร้อน กำลังเพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อประชากรโลก เศรษฐกิจและสังคมอย่างมหาศาล ในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนส่วนใหญ่มีการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลร้อน (Heating) และของไหลเย็น (Cooling) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มาจากการใช้พลังงานความร้อนที่สูงขึ้น เป็นผลให้เกิดปัญหาต่างๆ อย่างที่กล่าวมาอีกด้วย

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ ได้ถูกวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน นักวิจัยหลายท่านทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เกี่ยวกับเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ตัวอย่างการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ประโยชน์ เช่น การนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปประยุกต์ใช้กับระบบหม้อไอน้ำ (Boiler system) และเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนและประหยัดพลังงานในการผลิตภาคอุตสาหกรรม

เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมี 2 วิธีได้แก่ วิธีพาสซีฟเทคนิค (Passive technique) ที่ไม่นำพลังงานจากภายนอกเพิ่มเข้ามาในระบบ เช่น การทำผิวขรุขระ การเพิ่มพื้นที่ผิว และการเพิ่มการไหลควง อีกวิธีคือ วิธีแอกทีฟเทคนิค (Active technique) ที่มีการนำพลังงานจากภายนอกเข้ามาใช้ในระบบ เช่น การฉีดพ่น การใช้สนามแม่เหล็กและการใช้คลื่นเหนือเสียง [1] ซึ่งวิธีพาสซีฟเทคนิคเป็นที่นิยมมากกว่าวิธีแอกทีฟเทคนิค เพราะไม่ต้องอาศัยแรงเข้าไปกระทำ แต่ใช้ตัวสร้างการไหลหมุนวน (Vortex generator) กับ ตัวสร้างการไหลปั่นป่วน (Turbulators) ทำให้เสียต้นทุนในการผลิตในอัตราที่น้อยกว่าแต่ต้องเลือกชนิดของตัวสร้างการไหลหมุนวนที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายชนิดเช่น แบบมีครีบ แผ่นกั้น ปีกและลักษณะต่างๆ รูปร่างมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรูปร่างวีและรูปร่างเอียงจะเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีสามารถติดได้ทั้งด้านบน ด้านล่าง และกึ่งกลาง

สำหรับงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน, ความดันตกคร่อมและสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัดรัศมีด้วยเทคนิคการวางแผ่นกั้นขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ผ่านการจำลองการไหลทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ โดยผู้วิจัยกำหนดตัวแปรของตัวสร้างการไหลหมุนวนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อ

ประกอบด้วย รูปร่างของท่อ, ความสูงของท่อ ระยะห่างของแผ่นกั้น, ความสูงของแผ่นกั้น, มุมปะทะ การไหล เป็นต้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ความดันตกคร่อมและสมรรถนะเชิงความร้อน ในท่อจตุรัสที่มีการเพิ่มตัวสร้างการไหลหมุนวน

1.2.2 ศึกษาตัวแปรของตัวสร้างการไหลหมุนวนเวียนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อ ประกอบด้วย อัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงของท่อ (P/H), อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและด้านล่างต่อความสูงของท่อ (b_1/H) และอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นตรงกลางต่อความสูงของท่อ (b_2/H) เป็นต้น

1.3 สมมติฐาน

เมื่อมีการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนชนิดแผ่นกั้นรูปตัววีบริเวณผนังด้านบน ด้านล่าง และกึ่งกลางของท่อ คาดว่าจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลหมุนวนเวียนทำให้มีความดันตกคร่อมน้อยลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มมากกว่าท่อเดิมที่ลักษณะเรียบ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข

1.4.2 ศึกษาในช่วงการไหลราบเรียบในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 100 ถึง 2000

1.4.3 ศึกษาตัวแปรของตัวสร้างการไหลหมุนวนประกอบด้วยอัตราส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงของท่อ (P/H), อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและด้านล่างต่อความสูงของท่อ (b_1/H) และอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นตรงกลางต่อความสูงของท่อ (b_2/H)

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อจตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นในลักษณะต่างๆ

1.5.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวางแผนและออกแบบแผ่นกั้นในท่อจตุรัสโดยกำหนดตัวแปรในการสร้างตามขอบเขตการศึกษา

1.5.3 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำมาทดสอบ

1.5.4 ศึกษาและทดลองเครื่องมือต่างๆในโปรแกรมเชิงพาณิชย์

1.5.5 ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number) และค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop) เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (TEF)

1.5.6 บันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.7 สรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถนำไปพัฒนาและปรับใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในโรงงาน เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.6.2 สามารถช่วยผู้ประกอบการลดต้นทุนภาคอุตสาหกรรมในกระบวนการการผลิตได้
- 1.6.3 ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและผลกระทบจากการใช้พลังงานความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลากหลายรูปแบบตามความเหมาะสมของงาน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ถูกทิ้งออกมาจากเครื่องจักรเหล่านี้มีปริมาณมากและสิ้นแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างมหาศาลและยังไม่มีกระบวนการนำพลังงานเหล่านี้กลับไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้นักวิจัยจึงให้ความสนใจและมุ่งศึกษาไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดผลกระทบที่ตามมาโดยมีการพัฒนาและปรับปรุงปัจจัยต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันโดยอาศัยการติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนการออกแบบตัวกีดขวางการไหลรูปร่างของตัวท่อ มุมปะทะการไหล และอื่นๆ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบติดแผ่นกั้นในท่อจตุรัสจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมการทำความร้อน ความเย็น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมยานยนต์ พลังงานนิวเคลียร์และอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ อีกทั้ง นวัตกรรมนี้ยังสามารถสร้างความมั่นคงด้านพลังงานได้เพื่อแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานและสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Promvong et al. [2] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะผิวเป็นแบบพลักซ์ความร้อนที่ผิววงที่ โดยใช้ครีบบางเอียงติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความสูง (H) = 40 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความสูงครีบบต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.3 สัดส่วนระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ PR = 1, 2 โดยทำการติดตั้งครีบบที่ผิวบน-ล่างของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 45° การทดลองใช้ความเร็วอากาศในระดับแตกต่างกัน โดยค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number) อยู่ในช่วง 4000 ถึง 40,000 เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าการใช้ครีบบางเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบไม่มีครีบบการติดตั้งครีบบที่ e/H = 0.3 ที่ PR = 1 ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงสุด ตามด้วย e/H = 0.3 ที่ PR = 2 และ e/H = 0.1 ที่ PR = 1, 2 ตามลำดับ แต่ตัวประกอบเสียดทานก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน จึงส่งผลให้ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ e/H = 0.3 ที่ PR = 1 มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

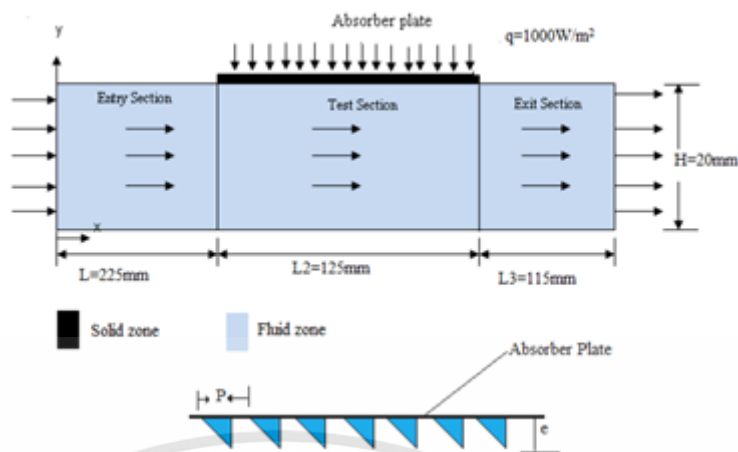
Skullong and Promvong [3] อธิบายของเครื่องกำเนิดกระแสความร้อนรูปตัววี (V-WVG) ที่สอดเข้าไปในท่อพลาซมาความร้อนที่โดยมีคุณลักษณะทางความร้อนต่างกัน ในการทดลองนี้ V-WVG ประกอบด้วย 2 ประเภท: V-shaped รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและ delta-winglets (V-RW และ V-DW) ถูกติดตั้งเป็นระยะๆ ทั้งสองด้านของแถบตรงก่อนที่จะสอดเข้าไปในท่อที่มีปีกนกสี่ส่วนสัมพันธ์กัน ($P_R = P/D = 0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0) และสามอัตราส่วนการอุดตันของปีก ($B_R = b/D = 0.1, 0.15$ และ 0.2) ที่มุมปะทะการไหลคงที่ ($\alpha = 45^\circ$) ผลของพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของ V-WVG ทั้งสองต่อการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้รับการศึกษาโดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะที่ปั่นป่วน ค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 4130 ถึง 25,900 ผลลัพธ์ที่วัดได้แสดงให้เห็นว่า V-RW มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า เช่นเดียวกับการสูญเสียความเสียดทานมากกว่า V-DW และการเพิ่มขึ้นของ B_R ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความเสียดทานเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของ P_R yields มีแนวโน้มการย้อนกลับทั้งคู่ ประเภท V-WVG ผลการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (TEF) เผยให้เห็นว่า V-DW มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในช่วง 1.82–2.0 หรือสูงกว่า V-RW ประมาณ 3% โดยที่จุดสูงสุดถือว่าเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ $B_R = 0.15$ และ $P_R = 1.0$. ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์และค่าความเสียดทาน สามารถประเมินคุณสมบัติที่แท้จริงของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มี V-WVG ได้

Jedsadaratanachai and Boonloi [4] ผลกระทบของมุมปะทะการไหลของแผ่นวีหยัก (V-wavy) ต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจะถูกรวบรวมด้วยวิธีเชิงตัวเลข แผ่นวีหยักที่มีปลายรูปตัววีชี้ให้เห็นว่าไหลตามน้ำและไหลทวนน้ำเรียกว่า V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ จะถูกทดสอบหาค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 3000–10,000 วิธีการจำกัดปริมาณด้วยอัลกอริทึม SIMPLE ถูกเลือกเพื่อใช้แก้ปัญหาในปัจจุบัน ผลลัพธ์เชิงตัวเลขถูกนำเสนอในแง่ของการแสดงภาพการไหลและการถ่ายเทความร้อน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนยังสรุปได้ในรูปแบบของอัตราส่วนนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0), อัตราส่วนปัจจัยแรงเสียดทาน (f/f_0) และปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (TEF) ผลเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าแผ่นคลื่นสามารถทำให้เกิดกระแสหมุนวนผ่านส่วนทดสอบได้ในทุกกรณี การไหลหมุนวนจะรบกวนชั้นขอบเขตความร้อนบนผนังช่องซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในช่วงที่ทำการศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 3-6.5 และ 2.8-6 เท่าของท่อเรียบสำหรับ V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเหมาะสมที่สุดอยู่ที่ตำแหน่ง $\alpha = 20^\circ$ และ $Re = 3000$ มีค่าประมาณ 2.09 สำหรับกรณี V-Upstream

Wanglertpanich and Kittichaikan [5] ในปัจจุบันมีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาดเล็กมาใช้อย่างแพร่หลาย ตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยท่อขนาดเล็กที่เป็นช่องการไหลผ่านของสารที่ต้องการให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน และแผ่นครีบบานเกล็ดซึ่งทำหน้าที่เพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน การเปลี่ยนแปลงมุมและขนาดของครีบบานเกล็ดจะส่งผลให้พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลงไป งานวิจัยนี้จะศึกษาผลการปรับแต่งครีบบานเกล็ด โดยการเพิ่มรอยหยักทั้งหมด 3 รูปแบบต่อประสิทธิภาพทางความร้อนโดยวิธีพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณหรือ CFD เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำมาจากอลูมิเนียม 3003 ภายในผิวท่อบรรจุของน้ำอุณหภูมิคงที่ 10 องศาเซลเซียส อากาศที่ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีความเร็ว 5 เมตร/วินาทีและอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอากาศไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสู่บรรยากาศ จากผลการศึกษาพบว่าการทำรอยหยัก เป็นการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของครีบบานเกล็ดส่งผลให้เพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนและความดันลดด้วย การทำ รอยหยักมากจะทำให้เกิดการไหลวนที่ทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากซึ่งทำให้ความดันลดลงมากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นกับความดันลดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับครีบบานเกล็ดแบบเรียบ ผลปรากฏว่าการทำรอยหยักแบบเว้นช่วงจะให้ค่าประสิทธิภาพ

Ranjan et al. [6] ในงานปัจจุบัน การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและลักษณะแรงเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar air heater) ที่มีรูปร่างเป็นครีบบานสามเหลี่ยมหน้าจั่วบนแผ่นดูดซับโดยใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แผ่นหยาบถูกวางไว้ในลักษณะที่ด้านตรงข้ามมุมฉากหันเข้าหาทิศทางการไหล การออกแบบพารามิเตอร์ที่เลือกสำหรับการศึกษาคือค่าเรย์โนลด์ส ความสูงของแผ่นหยาบ และระยะพิทช์ แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้แก้ปัญหาในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณคือ Renormalization group (RNG) k- ϵ เลือกใช้ความสูงของแผ่นหยาบ (e) เป็น 0.5 มม., 1.0 มม. และ 1.5 มม. ที่ระยะพิทช์ (P) 5 มม. 10 มม. 15 มม. และ 20 มม. อัตราส่วนความสูงของแผ่นหยาบกับระยะพิทช์ ($P/e=3.33-40$) และอัตราส่วนความสูงของแผ่นหยาบกับ ($e/D= 0.015-0.045$) ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้ ผลของรูปทรงลิ่มขวางต่อการถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานถูกทดสอบครอบคลุมช่วงของพารามิเตอร์ความหยาบที่มีค่าเลขเรย์โนลด์สแตกต่างกันตั้งแต่ 3000 ถึง 18000 โปรแกรม ANSYS FLUENT ถูกใช้เพื่อจำลองการไหลของอากาศที่ปั่นป่วนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยใช้แบบจำลอง 5 รูปแบบที่แตกต่างกันในการทดสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติของผลลัพธ์ที่ได้ แบบจำลอง RNG k- ϵ ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับการไหลรูปแบบ 2 มิติผ่านเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดา นอกจากนี้ยังคำนวณประสิทธิภาพเทอร์โมไฮดรอลิกได้อีกด้วย และความสัมพันธ์สำหรับค่านัสเชิลท์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบหลักท่อสี่เหลี่ยมของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ [6]

Jedsadaratanachai and Boonloi [7] การถ่ายเทความร้อนแบบบังคับและประสิทธิภาพทางความร้อน-ไฮดรอลิกในท่อสี่เหลี่ยมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HESC) ที่แทรกด้วยครีบบางเป็นคลื่นด้วยมุม 10° (WTR) จะถูกรายงานด้วยรูปแบบเชิงเลข พิจารณาผลกระทบของความสูงของครีบบาง, ระยะพิทช์ และความเร็วการไหลต่อรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อน ความสูงของครีบบางต่อความสูงของท่อ e/H หรือ H_r จะแปรผันในช่วง 0.05-0.30 ในขณะที่ระยะครีบบางต่อความสูงของท่อ P/H หรือ P_r แปรผันในช่วง 0.50-1.25 ความเร็วลมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่ครีบบางนั้นพิจารณาเป็นค่าเลขเรย์โนลด์สในช่วง 100-2000 สำหรับการทดสอบนี้จะเป็นการวิเคราะห์ที่สภาวะขาเข้า วิธีการจำกัดปริมาณด้วยอัลกอริธึม SIMPLE ถูกเลือกเพื่อใช้แก้ปัญหานี้ แบบจำลองเชิงตัวเลขของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แทรกด้วยครีบบางนั้นได้รับการตรวจสอบสำหรับทั้งความเป็นอิสระของกริดและการตรวจสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเรียบ ผลลัพธ์ที่เชิงตัวเลขของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แทรกด้วยครีบบางจะถูกนำเสนอในรูปแบบของโปรไฟล์การไหลและการถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิภาพ, ปัจจัยความเสียดทาน และปัจจัยประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แทรกด้วยครีบบางจะถูกพล็อตเป็นกราฟ จากผลเชิงตัวเลขพบว่าครีบบางในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถสร้างกระแสปั่น่วนซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มประสิทธิภาพและการถ่ายเทความร้อน ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกตรวจจับเมื่อเพิ่มความสูงของครีบบางและค่าเรย์โนลด์ส นอกจากนี้ ปัจจัยด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุดที่สุดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อแทรกด้วยครีบบาง คือประมาณ 3.43 ที่ $H_r = 0.20$, $P_r = 1$ และ $Re = 2000$

Suwannapan et al. [8] บทความนี้แนะนำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการระบายความร้อนด้วยความร้อนคงที่ ซึ่งสอดแทรกแนวทแยงด้วยเครื่องกำเนิดกระแสปั่น่วน (NS) รูปตัววี การทดลองดำเนินการโดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศผ่านท่อสี่เหลี่ยมที่ทดสอบด้วยครีบบางรูปตัววีสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4000 ถึง 25,000 ผลของเครื่องกำเนิดกระแสปั่น่วนรูปตัววีที่มีปลายวีชี้ไปที่ปลายน้ำที่ n เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ต่างๆ ทั้งการถ่ายเทความร้อนและแรงดันตกคร่อมแสดงในรูปของค่านัสเซลท์และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามลำดับ คุณลักษณะเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ารูปตัววีหลายอย่างถูกนำมาใช้เช่นอัตราส่วน n ระยะห่างต่อความสูงของท่อหรืออัตราส่วนระยะห่าง ($P/H=P_R=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ และ 3.0) อัตราส่วน n ต่อความสูงของท่อหรืออัตราส่วนการอุดตัน ($e/H=B_R=0.2$) และมุมปะทะเป็น 45° ผลการทดลองพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าแฟกเตอร์แรงเสียดทานของครีบกิ่งกำเนิดกระแสไฟฟ้ารูปตัววีเพิ่มขึ้นตามค่า P_R ที่ลดลง ท่อสี่เหลี่ยมที่เสียบไว้สำหรับ $B_R=0.2$ ที่ $P_R=0.5$ ให้การถ่ายเทความร้อนและปัจจัยแรงเสียดทานสูงสุดแต่ท่อที่ $P_R=1.5$ ให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุด

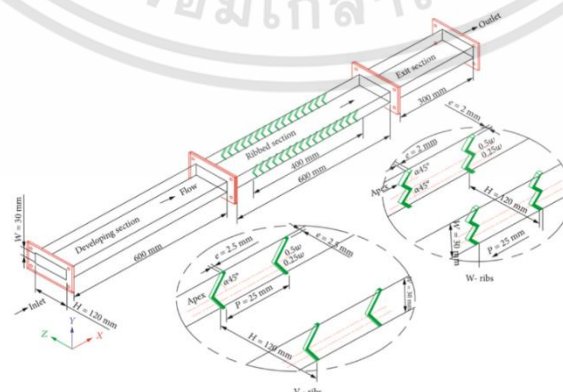
M. JACOB et al.[9] การศึกษานี้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนแบบลามินาร์ในช่องสี่เหลี่ยมที่มีอาร์เรย์ของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ต (VG) และด้วยเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ตหลายเครื่องในเส้นตรงหนึ่งเส้น กรณีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำและสูงที่ 225 และ 1123 ถูกจำลองขึ้น ซึ่งเป็นตัวแทนของขีดจำกัดกลางและบนของช่วงความเร็วลมในระบบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ (ACC) ทั่วไป ผลของกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ตแบบมีปฏิสัมพันธ์และแบบไม่โต้ตอบกับค่านัสเซลท์ และแรงดันตกนั้นสังเกตได้จากค่าเลขเรย์โนลด์ทั้งสองค่า น้ำยาทำความสะอาดไหลผ่านช่องค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำแรงดันตกคร่อมต่ำกว่าเล็กน้อยสำหรับอาร์เรย์เมื่อเทียบกับการสร้างเส้นตรงสำหรับคู่เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ตสองคู่ อย่างไรก็ตามค่านัสเซลท์เพิ่มขึ้นในการกำหนดค่าเส้นตรง สำหรับกรณี Re สูงกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ตที่สร้างขึ้นจะแข็งแกร่งขึ้นและคงอยู่นานขึ้น และปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเดลต้า-วิงเล็ตในการกำหนดค่าอาร์เรย์ทำให้ค่านัสเซลท์เพิ่มขึ้นแต่แรงดันตกคร่อมที่สูงขึ้นก็เพิ่มขึ้น การกำหนดค่าเส้นตรงมีค่านัสเซลท์และแรงดันตกเพิ่มขึ้นเกือบเท่ากัน

R.K. Agarwal and Sharma [10] การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ความหยาบที่ติดกับพื้นผิวของท่อเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานหลายประเภท การศึกษานี้นำเสนอการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบในลักษณะการไหลระหว่างรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูของความหยาบที่มีมุมปะทะการไหลแบบต่างๆในท่อโดยใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โปรแกรมเชิงพาณิชย์ ANSYS FLUENT 12.1 ใช้เพื่อเห็นภาพและวิเคราะห์ธรรมชาติของการถ่ายเทความร้อนและปรากฏการณ์การไหล การจำลองดำเนินการด้วยครีบกิ่งสี่เหลี่ยมคางหมูตามขวางที่วางเป็นระยะ ๆ โดยมีมุมเรียวด้านบนปลายน้ำที่ 00, 50, 100, 150 และ 200 โดยเปรียบเทียบโปรไฟล์ที่แตกต่างกันของโครงตามขวางที่ค่าคงที่ p/e , p/d และค่าเลขเรย์โนลด์ที่ 45000 โปรไฟล์ที่แตกต่างกันของโครงตามขวางจะถูกเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากความต้องการกำลังสูบ พื้นที่อัตราส่วนเลขนัสเซลท์ อัตราส่วนปัจจัยแรงเสียดทาน พบว่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มมุมปะทะหน้าบนจาก 100 เป็น 150 ตัวประกอบความเสียดทานจะลดลงเมื่อเพิ่มมุมปะทะหน้าบน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายมีการตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับโครงสร้างเหลี่ยมคางหมูที่มีมุมปะทะที่หน้าบนเป็น 200

Krishnaswamy et al. [11] การระบายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพของใบพัดด้วยแรงดันตกเล็กน้อยเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเสริมประสิทธิภาพและการจัดการความร้อนของเทอร์โบไบน์ก๊าซ ดังนั้นงานปัจจุบันจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานสำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยูและรูปตัววีภายในช่องระบายความร้อนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) 0.048 ม. และอัตราส่วนกว้างยาว (AR) 1:4 โครงสร้างไปทางปลายน้ำโดยมีมุมปะทะ (α) 45° บนผนังฝั่งตรงข้าม ระยะห่าง (P) ระหว่างโครงสร้างซึ่งติดต่อกันคือ 25 มม. สำหรับทั้งสองกรณีโครงสร้างตัววีและตัวดับเบิลยูแบบต่อเนื่องที่มีอัตราส่วนความสูงต่อช่องไฮดรอลิก (e/D_h) 0.052 และ 0.0416 และอัตราส่วนระยะห่างระหว่างความสูง (P/e) 10 และ 12.5 ตามลำดับ ได้รับการตรวจสอบหมายเลขเรย์โนลด์ช่วง 20000 - 80000 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ $Re=80000$ ทำได้ 1.94 และ 1.8 เท่าสูงกว่า $Re=20000$ สำหรับโครงสร้างตัววีและตัวดับเบิลยูตามลำดับ การแปรผันตามกระแสในอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์ในพื้นที่นั้นสูงที่สุดสำหรับโครงสร้างตัววี ซึ่งประมาณ 31% และ 12% สำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยูคือ 17.5% และ 3.5% เลขนัสเซลท์มีค่าสูงสุดตามความยาวของช่วง $0.5w$ สำหรับโครงสร้างตัววีเนื่องจากการไหลทุติยภูมิที่เกิดจากปลายยอด สำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยู พบว่าเลขนัสเซลท์ตามความยาวของช่วงจะมีความสม่ำเสมอเกือบเท่ากันในการไหลทุติยภูมิ การเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด (Nu/Nu_0) โดยประมาณสำหรับรูปร่างโครงสร้างทั้งสองคือ 3.9 ที่ $Re=20000$ เนื่องจากความสูงของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นการสูญเสียความเสียดทานสำหรับโครงสร้างตัววีจะสูงกว่าโครงสร้างตัวดับเบิลยู การเพิ่มการสูญเสียแรงเสียดทานสูงสุดประมาณ 85% สำหรับโครงสร้างตัววีและ 42% สำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยูระหว่าง Re 20000 ถึง 40000 สำหรับรูปร่างโครงสร้างทั้งสอง พบว่าการกระแทกของโครงสร้างจะมากที่สุดที่ $Re=40000$ ประสิทธิภาพเทอร์โมไฮดรอลิก (THP) สำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยูจะดีกว่าโครงสร้างตัววี THP ที่ดีที่สุดสำหรับโครงสร้างตัวดับเบิลยูและตัววี คือ 3.7 และ 3.4 ที่ $Re=20000$



รูปที่ 2.2 แบบจำลองสามมิติของส่วนทดสอบที่มีซี่โครงสร้างตัววีและตัวดับเบิลยู [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Skullong [12] บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาทดลองเกี่ยวกับแรงเสียดทานของของไหลและลักษณะทางความร้อนในท่อฮีตเตอร์อากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขรุขระด้วยโครงที่ลาดเอียง มีการเสนอแผ่นดูดซับแบบใหม่ที่มีเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าแบบโครงเอียงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อนสำหรับการประหยัดพลังงาน งานทดลองได้ดำเนินการในท่อที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่บนตัวดูดซับโดยการเปลี่ยนแปลงการไหลของอากาศในท่อช่วงเลขเรย์โนลด์เป็น 5300–23,000 ผลของมุมเอียงของโครงสองมุม ($\alpha = 45^\circ$ และ 60°) และความสูงของโครงสัมพัทธ์ 3 ระดับ ($b/H = B_R = 0.1, 0.2$ และ 0.3) ต่อความเสียดทานการไหลและการถ่ายเทความร้อน ผลการทดลองพบว่าการใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าแบบเอียงช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมากกว่าบนท่อพื้นผิวเรียบประมาณ 3.7–4.7 เท่า ในขณะที่ปัจจัยแรงเสียดทาน (f) เพิ่มขึ้นประมาณ 24.4–70.7 เท่า สังเกตได้ว่าจำนวนเลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นตามมุมเอียงและความสูงสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุดสำหรับการใช้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าคือประมาณ 1.4 ที่ $\alpha = 45^\circ$ และ $B_R = 0.2$

DURMUŞ [13] ในการศึกษาปัจจุบันได้ตรวจสอบพฤติกรรมการไหลและคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่ขรุขระด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามเหลี่ยมมุมฉาก สามเหลี่ยมหน้าจั่ว และโครงวงกลม ทำการทดสอบความถูกต้องสำหรับกล่องสี่เหลี่ยมโครงทดลองที่มีอัตราส่วนพิทช์ (P/e) เท่ากับ 9 และอัตราส่วนการอุดตัน (e/H) เท่ากับ 0.1 เพื่อตรวจสอบปัจจัยรูปร่างโครงเท่านั้น ความสูง ความกว้างฐาน และระยะห่างของโครงเท่ากันในทุกกรณี การศึกษาได้ตรวจสอบผลกระทบของรูปร่างโครงต่างๆต่อลักษณะการไหล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวม การกระจายการถ่ายเทความร้อนแบบปกติ และปัจจัยความเสียดทานที่ค่าเรย์โนลด์ 30,000 และ 60,000 จากผลการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่าผลกระทบของรูปร่างโครงไม่ได้ทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมากในคุณสมบัติการไหลเท่ากับอัตราส่วนการอุดตัน (ความสูงของโครง) และผลกระทบของอัตราส่วนระยะห่าง (ระยะห่างของโครง) ในแง่ของการเพิ่มจำนวนเลขนัสเซลล์ท์ โดยเฉลี่ยแบบสามเหลี่ยมด้านขวาทำงานได้ดีที่สุดและโครงแบบวงกลมมีประสิทธิภาพแย่มากที่สุด ในขณะที่เคสแบบโครงหน้าจั่วทำงานได้ดีกว่าเคสแบบโครงสี่เหลี่ยม เคสแบบมีหน้าจั่วและเคสแบบสามเหลี่ยมด้านขวาทำให้เกิดปัจจัยเสียดทานและการสูญเสียแรงดันที่สูงขึ้น ในขณะที่แรงเสียดทานขึ้นต่ำจะเกิดขึ้นในกรณีแบบวงกลมและต่อด้วยโครงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้วยเหตุนี้ในแง่ของประสิทธิภาพในการระบายความร้อนโดยรวมเคสสามเหลี่ยมด้านขวาให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด รองลงมาคือเคสสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เคสแบบวงกลมทำให้เกิดการเสียดสีน้อยกว่าเคสแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของเคสสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้นสูงกว่าของเคสทรงกลมเล็กน้อย

Boonloi and Jedsadaratanachai [14] การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของกลไกการถ่ายเทความร้อนและรูปแบบการไหลของช่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบจัตุรัส (HESC) ที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเอียงคู่ (DIB) เพื่อศึกษาอิทธิพลความสูงของแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ต่อความสูงของท่อ ($b/H = 0.05-0.03$), ระยะห่างของแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ต่อความสูงของท่อ ($P/H = 1-1.5$) และมุมปะทะการไหล ($\alpha = 30^\circ$ และ 45°), คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน และสมรรถนะทางความร้อน โดยวิเคราะห์ตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ $Re = 100-2,000$ โดยเลขนัสเซลท์, ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนของช่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบจตุรัส จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นการเกิดกระแสน้ำวนและกระแสน้ำกระแทกในทุกกรณีของการจำลองจึงทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน สมรรถนะทางความร้อนที่ดีที่สุดในการติดตั้งคือ 3.87 ที่ $P/H = 1$, $\alpha = 30^\circ$, $Re = 2000$ และ $b/H = 0.15$

Suzuki et al. [15] ศึกษาอิทธิพลของการจัดเรียงครีบบางเอียงต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยม โดยทำการจำลองเชิงตัวเลขสามมิติดำเนินการโดยใช้วิธีแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์ (RANS) สำหรับการไหลในท่อลมวนตามยาวและการอภิปรายสำหรับสนามความร้อนที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนสามรูปแบบในการศึกษาที่อ้างอิงจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลองสำหรับการไหลรอบเครื่องกำเนิดกระแสน้ำวนแบบตีปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าและเครื่องบินไอพ่นแบบเอียง โดยแบบจำลองครีบบางเอียงแบบเฉียงกับทิศทางการไหลลงบนผนังด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยมซึ่งมีการสร้างการไหลแบบปั่นป่วนที่พัฒนาเต็มที่ที่ทางเข้ามุมปะทะการไหล ($\beta = 20^\circ-75^\circ$) อัตราส่วนความสูงของซี่โครงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและตัวเลขเรย์โนลด์กำหนดที่ $e/D = 0.15$ และ $Re = 20,000$ ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้คือเมื่อมุมโจมตีการไหลลดลง พื้นที่ของการถ่ายเทความร้อนด้านหลังครีบบางจะลดลงด้วย ซึ่งประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือในกรณีของ $\beta = 45^\circ$

Boonloi and Jedsadaratanachai [16] การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการพาความร้อนแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่มีช่อง V-baffle และช่อง V-orifice แบบแยกส่วนเป็นการพาความร้อนแบบปั่นป่วน การถ่ายเทความร้อน และการปรับปรุงประสิทธิภาพในช่องจตุรัสที่มีแผ่นกั้นรวมแบบไม่ต่อเนื่อง (DCB) ซึ่งรวม V-baffle และ V-orifice เข้าด้วยกัน อิทธิพลของอัตราส่วนการอุดตันของการไหล ($B_R = 0.05, 0.10$ และ 0.15) และทิศทาง V-tip จะถูกตรวจสอบด้วย อัตราส่วนระยะพิทซ์เดียว $P_R = 1$ และมุมปะทะการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$ สำหรับตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ $Re = 5000 - 20,000$ ผลที่ได้คือ DCB ปรับปรุงอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเนื่องจากการรบกวนของชั้นขอบเขตความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นประมาณ $2.8 - 6$ เท่า สูงกว่าช่องเรียบขึ้นอยู่กับ B_R , V-tip, Re และ ปัจจัยการเพิ่มความร้อนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ประมาณ $TEF = 1.72$ ที่ $B_R = 0.1$, $Re = 3000$ และ V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Menni et al. [17] การจำลองแบบไดนามิกของไหลเชิงคำนวณและการเปรียบเทียบลักษณะการถ่ายเทความร้อนของช่องสัญญาณต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของช่องแลกเปลี่ยนความร้อน (CHES) ใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อวิเคราะห์สมบัติคงที่ การไหลของของไหล (อากาศที่คงที่ ปั่นป่วน นิวโทเนียน และอัดตัวไม่ได้) ต่อหน้าเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ารูปทรงโค้ง (VG) ที่มีส่วนขวางตามขวางด้วยสองส่วนโค้งไปทางส่วนขาเข้าและส่วนโค้งไปทางส่วนทางออกซึ่งติดอยู่กับผนังด้านล่างที่ร้อนและผ่านท่อแนวนอนที่ตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ $Re = 12,000 - 32,000$ ลำดับของการแลกเปลี่ยนความร้อนและการสูญเสียแรงดันเปลี่ยนจาก 1.599–3.309 เป็น 3.667–21.103 ครั้งตามลำดับ การกำหนดค่าส่วนโค้ง-ปลายน้ำได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหนือกว่าในแง่ของอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 14% เมื่อเทียบกับแผ่นกันรูปทรงอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่แรงแผ่นกันส่วนโค้งปลายน้ำจึงให้อุณหภูมิของช่องจ่ายออกสูงสุด

Menni et al. [18] การจำลองการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของฟิลด์เทอร์โม-แอโรลิกในช่องที่มีแผ่นกันหลายแผ่นโดยที่แผ่นกันสี่เหลี่ยมแบนสี่แผ่นถูกสอดเข้าไปที่ผนังด้านบนและด้านล่างในถูกตรวจสอบและวิเคราะห์ด้วยตัวเลขโดยใช้วิธีการจำกัดปริมาณโดยใช้ซอฟต์แวร์การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งจะต้องกำหนดลักษณะการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน และการกระจายการสูญเสียความเสียดทานของผิวผนังตลอดจนการมีอยู่และการขยายตัวของการหมุนเวียนซ้ำที่เป็นไปได้ อัตราส่วนความกว้างของช่องต่อความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางช่องต่อความยาวต่อไฮดรอลิก อัตราส่วนระยะห่างระหว่างช่องต่อความสูงของแผ่นกัน และอัตราส่วนการอุดตันของความสูงของแผ่นกันระหว่างความสูงต่อช่องจะคงที่ ผลลัพธ์คือเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นปัจจัยด้านความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นตาม ค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ที่ $Re = 32,000$ ให้ปัจจัยด้านประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูงสุด $TEF = 1.783$ สิ่งนี้บ่งชี้ว่าการนำแผ่นกันสี่เหลี่ยมแบนเข้าไปในการไหลในลักษณะที่เสถียรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในช่องได้

Jedsadaratanachai et al. [19] การศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติสำหรับการไหลราบเรียบความดันตกคร่อมและการ ถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มครีบทวีที่ระยะพิตต์ต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อจัดรูป ที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการติดตั้งครีบทวีที่ผนังของท่อ มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของครีบทวีต่อความสูงของท่อ (Pitch ratio, P_R) เท่ากับ 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 และ 2.00 โดยครีบทวีที่ติดตั้งนั้นมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะการไหลที่ $\alpha = 45^\circ$ จัดวางแบบตรงและมีค่าอัตราส่วนการบล็อกรไหล (Blockage ratio, B_R) คงที่เท่ากับ 0.15 ใน การคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน, การไหลของของ

ไหลและการสูญเสียความดันสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ ในช่วง $Re = 100$ ถึง 1000 โดยค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทานพบว่าการเพิ่มครีบทวีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผิวเรียบ โดยค่า P_R ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม ที่ลดลง ที่ $P_R = 1.00$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด และในขณะเดียวกันก็ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานหรือค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดเช่นกัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ได้มีการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อรูปแบบต่างๆ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการทั้งรูปร่างรูปทรงของท่อ ลักษณะของแผ่นกั้น อัตราส่วนระยะพิทซ์ และปัจจัยอื่นๆล้วนมีผลต่อค่าความดันตกคร่อมและค่านัสเซลท์ซึ่งส่งผลในการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้น ภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุดและนำไปพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สอดคล้องกับประเภทของงานได้ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 3

สมการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

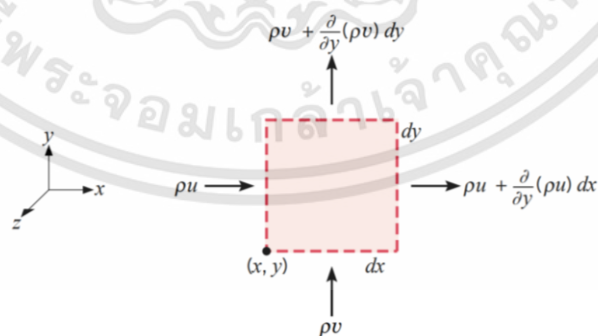
บทนี้จะกล่าวถึงสมการและทฤษฎีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลที่กล่าวด้วยการแก้ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stoke Equation) เป็นสมการควบคุมการไหลอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ซึ่งประกอบด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน สมการเหล่านี้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และมีประสิทธิภาพโดยการใช้วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลภายในท่อเบื้องต้นอันประกอบด้วยค่าความดันตกคร่อม ตัวประกอบแรงเสียดทาน ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน

3.2 กลศาสตร์ของไหล

3.2.1 สมการการควบคุม

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

สมการการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) หรือสมการความต่อเนื่องของการไหล คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของระบบมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.1 ปริมาณการควบคุมส่วนต่างๆสำหรับการอนุรักษ์แบบสองมิติ [20]

จะได้ว่า

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

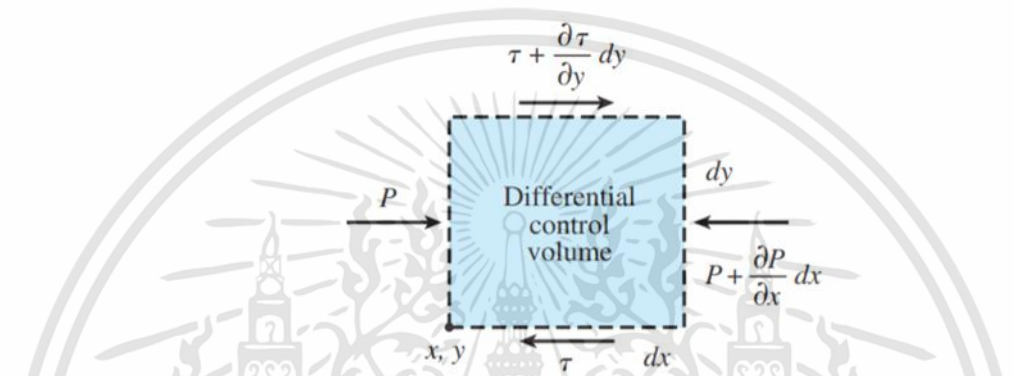
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความต่อเนื่องนี้ใช้กับของไหลชนิดเดียวกัน ถ้าของไหลไม่สามารถบีบอัดได้ ความหนาแน่นจะเป็นค่าคงที่และสมการความต่อเนื่องจะลดลงเป็น

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3.2)$$

สมการโมเมนตัม (The Momentum equation)

จากรูปที่ 3.1 คือแรงที่กระทำต่อพื้นผิวเกิดจากแรงกดและผลของความหนืด ในการไหลแบบ 2 มิติเป็นความสัมพันธ์เชิงโมเมนตัมสำหรับอิริเมนต์ควบคุม 2 มิติ อยู่ในรูปความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 3.2 อิริเมนต์ควบคุมสำหรับสมการโมเมนตัมของการไหลผ่านพื้นผิวสองมิติ (มวล)(ความเร่งในทิศใดๆ) = (แรงสุทธิที่กระทำในทิศทางนั้นๆ) [21]

เมื่อจัดรูปสมการจะได้สมการโมเมนตัมตามแนวแกน x

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.3)$$

สมการพลังงาน (Conservation of energy)

สำหรับปัญหาด้านการถ่ายเทความร้อน การใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้ง่ายขึ้นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะกำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดพื้นที่หน้าตัดและมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับว่าของไหลจะถูกให้ความร้อนหรือความเย็น อุณหภูมิเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ในสมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนโดยของไหลตามแนวพื้นที่หน้าตัดจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่ถ่ายเทในระนาบเดียวกัน [21]

$$\dot{E} = \dot{m} c_p T_m = \int_{\dot{m}} c_p T(r) \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho c_p T(r) u(r) dA_c \quad (3.4)$$

3.2.2 การไหลภายใน

อัตราการไหลเชิงมวล (Mass Flow Rate)

อัตราการไหลเชิงมวล มีนิยามว่า ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดขวาง และความหนาแน่นของของไหลจะเท่ากับอัตราการไหลของมวล

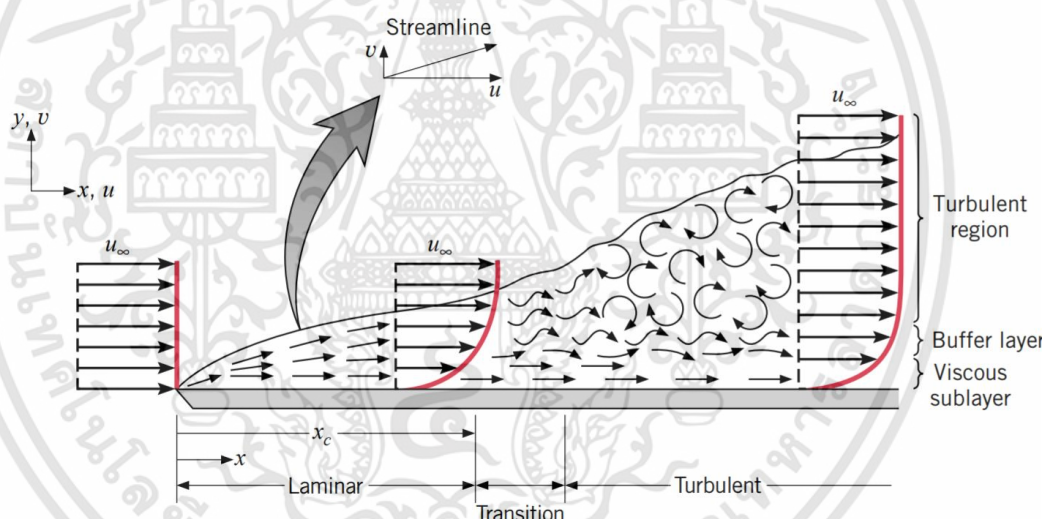
$$\dot{m} = \rho u_m A_c \quad (3.5)$$

ค่าเลขเรย์โนลด์ (Raynold Number)

ค่าเลขเรย์โนลด์ เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติใช้ในการอธิบายแบ่งลักษณะการไหลของของเหลวที่แตกต่างกันโดยมีอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงของความหนืด ซึ่งเป็นตัวเลขสำคัญสำหรับการกำหนดเงื่อนไขการไหล

$$Re_D = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \quad (3.6)$$

โดยการไหลในท่อสามารถแบ่งออกเป็นสภาวะการไหลได้เป็น 3 ประเภทคือ



รูปที่ 3.3 ชั้นขอบเขตความเร็วของของการไหล [22]

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนตัวอย่างเป็นระเบียบ เกิดขึ้นกับการไหลที่มีความเร็วต่ำ หรือความหนืดของของไหลมาก มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำกว่า 500
2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เกิดขึ้นกับการไหลที่มีความเร็วสูง หรือความหนืดของของไหลต่ำ มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มากกว่า 2,000
3. การไหลแบบแปรเปลี่ยน (Transitional flow) เป็นสภาวะการไหลที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นแบบปั่นป่วนหรือราบเรียบ มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 500 ถึง 2,000

ความดันตกคร่อม (Pressure drop)

ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างระยะใดๆ โดยพิจารณาช่วงที่มีการปรับตัวเต็มรูปแบบ การไหลราบเรียบสำหรับท่อจัดรัสมีสมาการดังนี้

$$\Delta p = f \frac{\rho L \bar{V}^2}{2D} \quad (3.7)$$

เลขนัสเซลท์ (Nusselt number)

ในการศึกษาการพาความร้อนเลขนัสเซลท์ที่ตัวแปรไร้มิติที่เป็นอัตราส่วนของการพาความร้อนต่อการถ่ายเทความร้อน สามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความยาวจำเพาะของพื้นผิวรูปทรง

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (3.8)$$

ค่าตัวเลขนัสเซลท์สำหรับการไหลราบเรียบในท่อที่ไม่ใช่ท่อกลมที่มีอุณหภูมิที่ผิวคงที่คำนวณจาก

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (3.9)$$

สำหรับการไหลในท่อคำนวณโดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกซึ่งคำนวณจาก

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (3.10)$$

ความหนืด (viscosity)

ของไหล คือ สสารที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างต่อเนื่อง (Deformation) หากพิจารณาของไหลเป็นก้อนอนุภาคเมื่อถูกกระทำด้วยแรงเค้นเฉือน (shear stress) อนุภาคของไหลแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างอนุภาคของของไหลนั้น ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างอันเนื่องมาจากแรงเค้นเฉือนนี้เราเรียกว่า ความหนืด

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (3.11)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) หรือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) ซึ่งมีมิติ เป็น $FL^{-2}T$ และมีหน่วยคือ Ns/m^2 หรือ $lb \text{ sec}/ft^2$ จากสมการความหนืดของนิวตัน จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นเฉือนกับ $\frac{du}{dy}$ จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ μ ด้วยเหตุนี้เราจึง สามารถสรุปได้ว่าสำหรับ ของไหลที่มีความหนืดสูงจะต้องใช้แรงเฉือนมากเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง [23]

ตัวประกอบแรงเสียดทาน (Friction factor)

สมการที่ใช้ทำนายการสูญเสียหลักคือ สมการของดาร์ซีและไวซบัค (Darcy-Weisbach equation) ซึ่งเขียนในรูปของเฮดได้ดังนี้

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (3.12)$$

โดยของไหลที่ไหลในท่อขนาดคงที่ จะเกิดการสูญเสียหลักซึ่งทำให้ความดันสถิตลดลงโดยความดันที่ลดลงจะแปรผันกับความเร็วในการไหลยกกำลังสองโดยของไหลที่ไหลในท่อขนาดคงที่ จะเกิดการสูญเสียหลักซึ่งทำให้ความดันสถิตลดลง โดยความดันที่ลดลงจะแปรผันกับความเร็วในการไหลยกกำลังสอง

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \xi Q^2 = h_f \quad (3.13)$$

โดย ξ เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความหนืดของของไหล ความหยาบของผิวท่อและขนาดของท่อ ดังนั้นตัวประกอบแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากแรงดันตกคร่อมเขียนได้ดังนี้ [24]

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

ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal efficiency factor, TEF)

สมรรถนะเชิงความร้อนคืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีมีการสร้างพื้นผิวขรุขระ (h) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในท่อเรียบ (h_0) เขียนได้ดังนี้

$$TEF = \frac{h}{h_0} = \frac{Nu}{Nu_0} = \left(\frac{Nu}{Nu_0}\right) \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1/3} \quad (3.15)$$

บทที่ 4

วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำสามสมการพื้นฐานของสมการการไหลจากหัวข้อที่ผ่านมาเพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขและสมมติฐาน อีกทั้งนำมาวิเคราะห์และทำการศึกษาระดับชั้นตอนต่างๆในการวิจัยอันประกอบด้วย การสร้างแบบจำลอง และการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและสามารถยอมรับได้

4.2 การกำหนดเงื่อนไขและสมมติฐาน

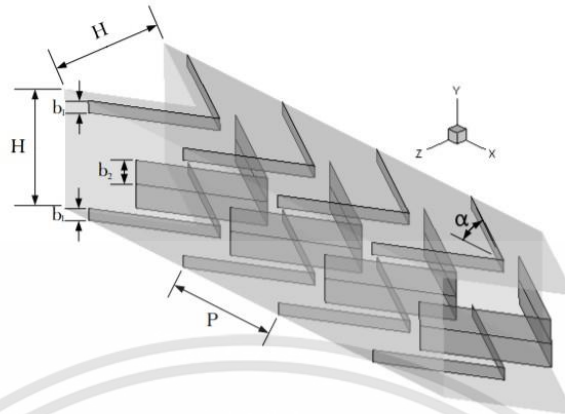
1. ของไหลมีคุณสมบัติคงที่และอัดตัวไม่ได้
2. การไหลของของไหลเป็นแบบราบเรียบ
3. เป็นการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์
4. ไม่พิจารณาเรื่องการแผ่รังสีความร้อน
5. ไม่พิจารณาผลของแรงกระทำภายนอกและความหนืดอันเนื่องมาจากมีความเร็วที่สูง
6. เป็นการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบคงตัวในสามมิติ (3D Steady)

4.3 วิธีดำเนินการวิจัย

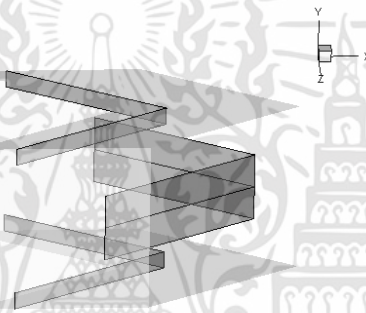
4.3.1 เงื่อนไขขอบในการคำนวณงานวิจัย

1. ด้านทางเข้าและด้านทางออกของท่อเป็น Periodic boundary
2. ผนังด้านนอกของท่อกำหนดให้เป็น walls
3. ของไหลที่ใช้ในการทดสอบคืออากาศ มีค่าเลขพรานด์ 0.707 อุณหภูมิคงที่ 300 K และผนังท่อ (walls) อุณหภูมิคงที่ 310 K
4. ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 100 ถึง 2000
5. เงื่อนไขขอบไม่เกิดการลื่นไถล (no slip condition) ความเร็วที่ขอบมีค่าเป็นศูนย์
6. ผนังเป็นอนุกรมเนียนนวนความร้อน มีฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux) เป็น 0 W/m^2 และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) เท่ากับ 205 W/m K

4.3.2 เงื่อนไขการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 4.1 รูปแบบจำลองท่อจัดรัศและลักษณะรูปร่างของแผ่นกั้นภายในท่อ



รูปที่ 4.2 แบบจำลองแสดงภาพด้านข้างของท่อจัดรัศที่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ



รูปที่ 4.3 รูปแบบจำลองทางฟิสิกส์ของท่อจัดรัศที่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ

ตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างกัน

- ระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยออกแบบลักษณะระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อแตกต่างกัน 3 ค่า คือ 1, 1.5 และ 2

- อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยออกแบบความสูงของแผ่นกั้นแตกต่างกันโดยกำหนดค่าตัวแปรดังนี้ ความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและแผ่นกั้นด้านล่าง, b_1 และความสูงของแผ่นกั้นตรงกลาง, b_2 ดังนั้นค่าอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและด้านล่างต่อความสูงของท่อคือ (b_1/H) และอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นตรงกลางต่อความสูงของท่อคือ (b_2/H)

จึงทำการออกแบบความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและแผ่นกั้นด้านล่าง, b_1 และความสูงของแผ่นกั้นตรงกลาง, b_2 แตกต่างกัน 4 ค่า คือ 0.05 0.1 0.15 และ 0.2


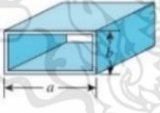
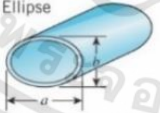

4.3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (validate)

4.3.3.1 การเปรียบเทียบกับตารางสหสัมพันธ์

ในหัวข้อนี้ทางผู้ทำวิจัยเปรียบเทียบค่าตามตารางที่ 8-1 โดยใช้ข้อมูลท่อรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วน a/b คือ 1 มีค่าเลขนัสเซิลท์กรณีท่อกลมที่มีพื้นที่ผิวคงที่คือ 2.98 และมีค่าตัวประกอบเสียดทานคือ $56.92/Re$ กับค่าที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาความคาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยได้ค่าความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.4

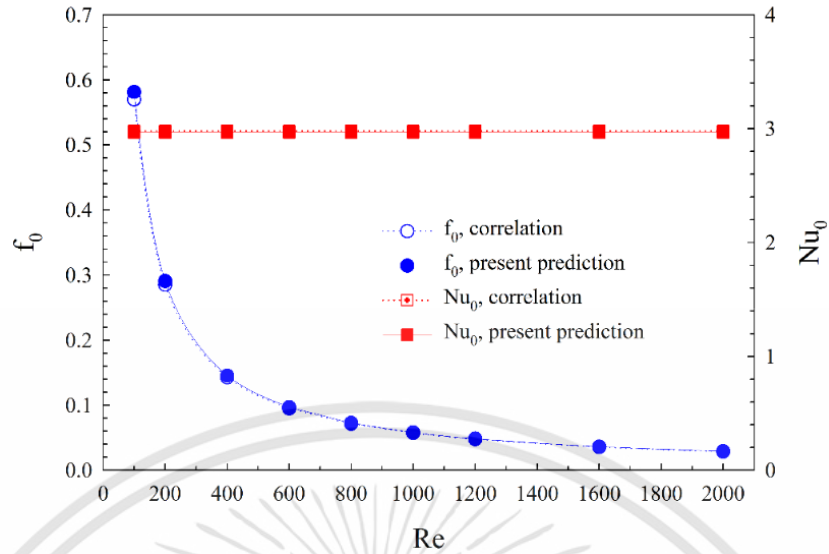
TABLE 8-1

Nusselt number and friction factor for fully developed laminar flow in tubes of various cross sections ($D_h = 4A_c/p$, $Re = V_m D_h/\nu$, and $Nu = hD_h/k$)

| Tube Geometry | a/b or θ° | Nusselt Number | | Friction Factor f |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | $T_w = \text{Const.}$ | $q_w = \text{Const.}$ | |
| Circle  | — | 3.66 | 4.36 | $64.00/Re$ |
| Rectangle  | 1 | 2.98 | 3.61 | $56.92/Re$ |
| | 2 | 3.39 | 4.12 | $62.20/Re$ |
| | 3 | 3.96 | 4.79 | $68.36/Re$ |
| | 4 | 4.44 | 5.33 | $72.92/Re$ |
| | 6 | 5.14 | 6.05 | $78.80/Re$ |
| | 8 | 5.60 | 6.49 | $82.32/Re$ |
| ∞ | 7.54 | 8.24 | $96.00/Re$ | |
| Ellipse  | 1 | 3.66 | 4.36 | $64.00/Re$ |
| | 2 | 3.74 | 4.56 | $67.28/Re$ |
| | 4 | 3.79 | 4.88 | $72.96/Re$ |
| | 8 | 3.72 | 5.09 | $76.60/Re$ |
| | 16 | 3.65 | 5.18 | $78.16/Re$ |
| Isosceles Triangle  | θ | | | |
| | 10° | 1.61 | 2.45 | $50.80/Re$ |
| | 30° | 2.26 | 2.91 | $52.28/Re$ |
| | 60° | 2.47 | 3.11 | $53.32/Re$ |
| | 90° | 2.34 | 2.98 | $52.60/Re$ |
| 120° | 2.00 | 2.68 | $50.96/Re$ | |

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลราบเรียบแบบปรับตัวเต็มที่อยู่ในท่อที่มีรูปร่างหน้าตัดแตกต่างกัน [21]

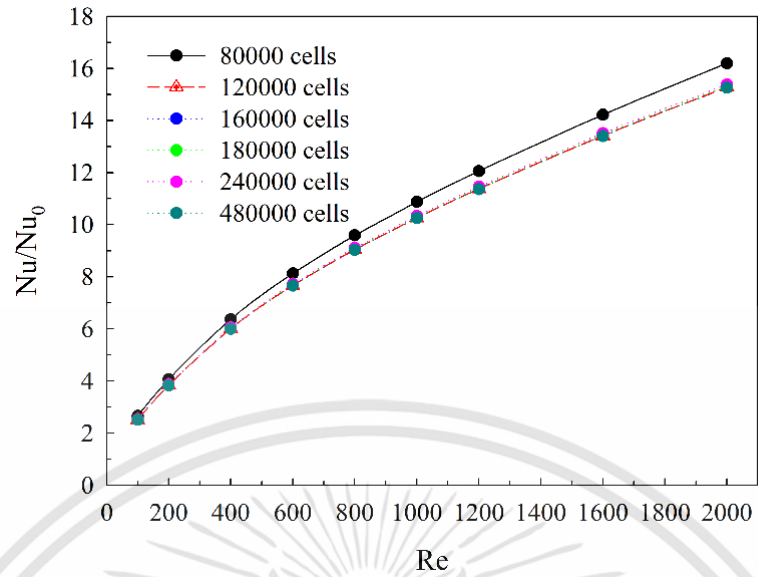
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



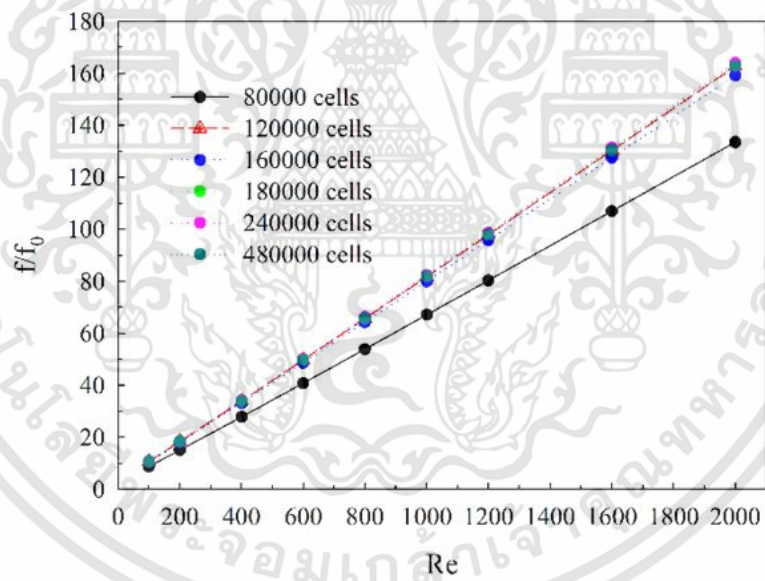
รูปที่ 4.4 การตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียแรงเสียดทานในท่อเรียบที่ไม่มีแผ่นกั้น

4.3.3.2 การตรวจสอบจำนวนกริดอิสระ (Grid Independence)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบจำนวนของกริดอิสระที่ส่งผลให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ โดยได้จัดการเปรียบเทียบจำนวนกริดเซลล์ทั้งหมด 6 ค่า คือ 80000, 120000, 160000, 180000, 240000 และ 480000 ได้ผลดังรูปที่ 4.5 จากผลของการตรวจสอบพบว่าค่ากริดเซลล์ที่ 120000 - 480000 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก และสามารถยอมรับได้ แต่ค่าของกริดที่ 80000 เซลล์มีค่า f/f_0 ห่างจากค่ากริดอื่นๆร้อยละ 18 และค่า Nu/Nu_0 ห่างจากกริดอื่นๆร้อยละ 6 และจากการทดลองพบว่าค่ากริดที่ความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ใช้เวลาในการรันโปรแกรมต่างกันค่อนข้างมากจึงเลือกใช้กริดที่ 120000 เซลล์ในการทำงานวิจัย



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/f_0 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษา

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาของอิทธิพลต่างๆที่ส่งผลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี ด้านบน ด้านล่าง และตรงกลาง ซึ่งแบ่งหัวข้อในการพิจารณาดังนี้ อิทธิพลของความสูง อิทธิพลของระยะพิทช์ และอิทธิพลของทิศทาง การไหล

5.2 โครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อน

อิทธิพลของความสูง อิทธิพลของระยะพิทช์ และอิทธิพลของทิศทาง การไหลซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนจะแสดงในรูปของการกระจายตัวของอุณหภูมิ (Contours Temperature), การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์ (Contours Nusselt number) และโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล (Streamline) ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

5.2.1 อิทธิพลของความสูง

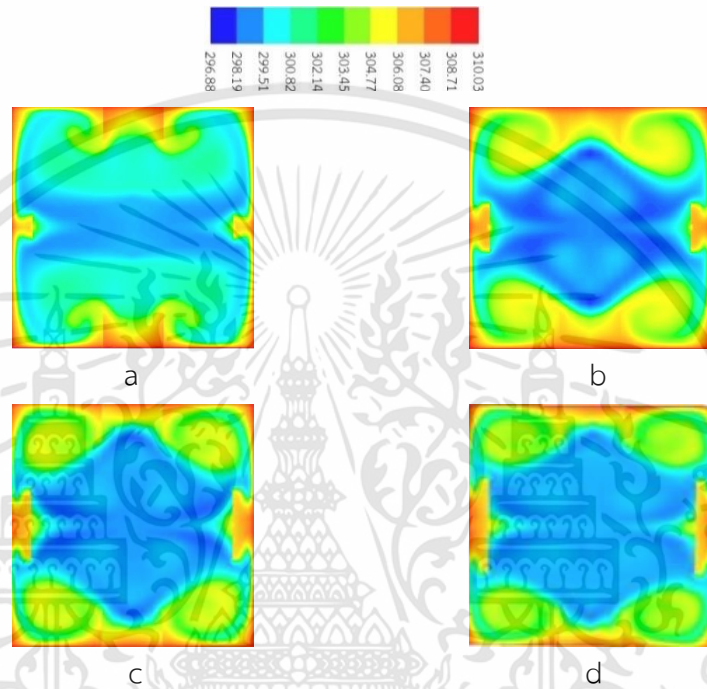
5.2.1.1 สำหรับ $b_2/H=0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $b_1/H = 0.15, Re=1000, \alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

จากรูปที่ 5.1 - 5.3 แสดงโครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อน ที่ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 เมื่อกำหนดให้ $b_1/H = 0.15, Re=1000, \alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream จากรูปที่ 5.1 (a) - (d) แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนในรูปของการกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหล โดยปกติแล้วหากไม่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ คอนทัวร์สีฟ้าคือของไหลเย็นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางท่อและจะไล่ระดับแถบสีขึ้นไปจนเป็นคอนทัวร์สีแดงคือของไหลร้อนซึ่งจะอยู่บริเวณขอบท่อ เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นพบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิดีขึ้นเห็นได้จากคอนทัวร์สีฟ้ากระจายตัวออกจากบริเวณกึ่งกลางส่วนคอนทัวร์สีแดงมีลักษณะบางลง สังเกตได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ $b_2/H=0.05$ การกระจายตัวของอุณหภูมิมี่ความสม่ำเสมอ ส่วนที่ $b_2/H=0.10, 0.15$ และ 0.20 ขอบสีแดงมีขนาดเพิ่มขึ้นแสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่ดีจากรูปที่ 5.2 (e) - (h) แสดงการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์ คอนทัวร์ของค่าเลขนัสเซิลท์แสดงถึงการกระแทกของกระแสการไหล หากเกิดการกระแทกของกระแสการไหลบริเวณผิวท่อคอนทัวร์จะแสดงด้วยสีแดง เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้น พบว่าเกิดการกระแทกของกระแสการไหลในทุกค่าที่นำมาพิจารณา เมื่อเปลี่ยนค่า b_2/H ตำแหน่งของการกระแทกจะเปลี่ยนไปทั้ง V-Downstream และ V-Upstream การกระแทกของกระแสการไหลสูงสุดอยู่บริเวณผนังด้านข้างของท่อที่ค่า $b_2/H=0.20$ ใน V-

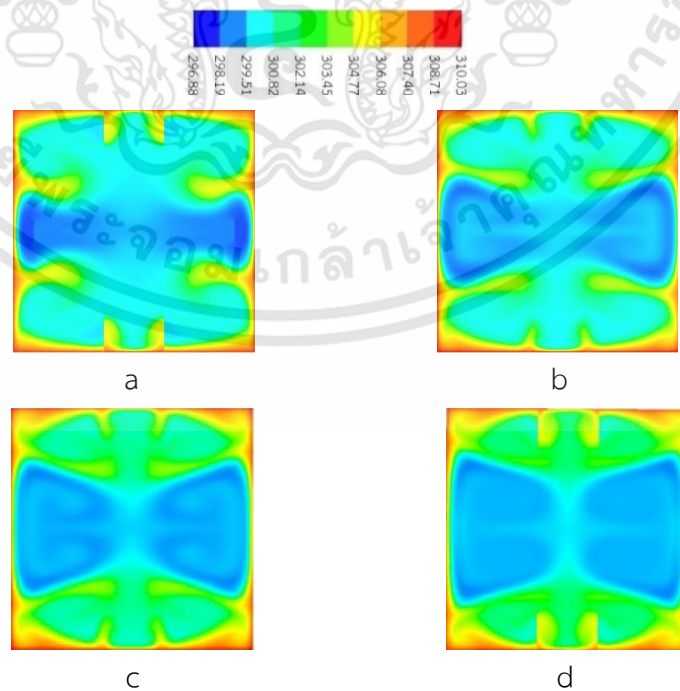
Downstream จากรูปที่ 5.3 (i) - (l) แสดงเส้นกระแสการไหล พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีด้านบนบน ด้านล่าง และตรงกลาง ทำให้เกิดแกนการไหลหมุนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกั้นตรงกลาง (b₂) ส่วนทิศทางการไหลหมุนวนตามแนวขวางใน V-Downstream และ V-Upstream มีทิศทางการไหลสวนทางกัน

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยการกระจายตัวของอุณหภูมิ

Downstream



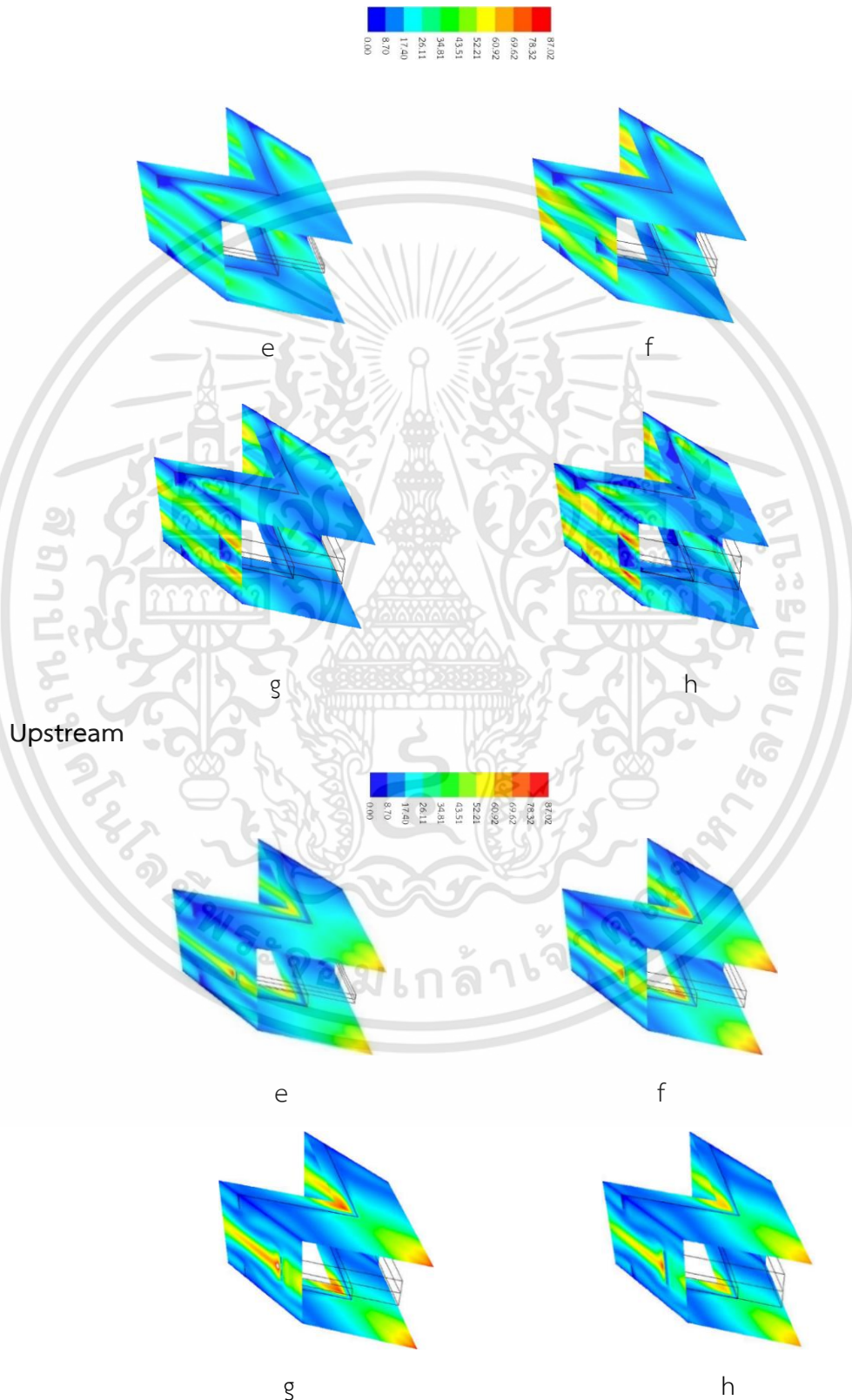
Upstream



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ y-z โดยกำหนด (a) $b_2/H=0.05$, (b) $b_2/H=0.10$, (c) $b_2/H=0.15$ และ (d) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์

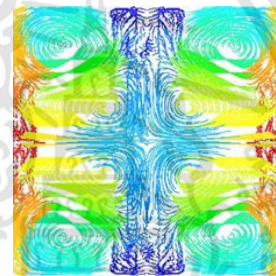
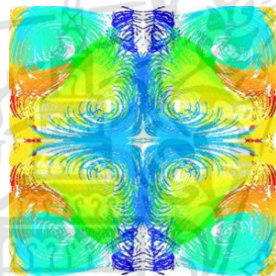
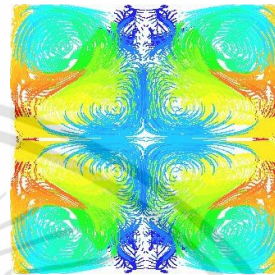
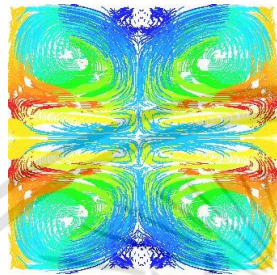
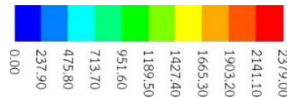
Downstream



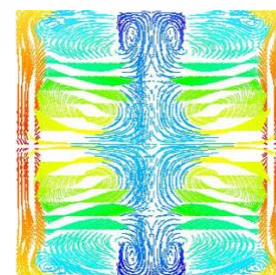
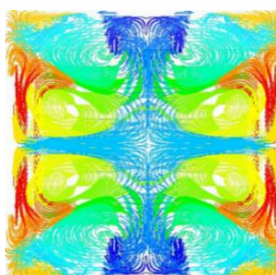
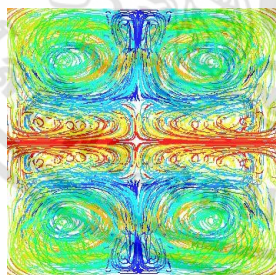
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของเลขนีสเซลล์ ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (e) $b_2/H=0.05$, (f) $b_2/H=0.10$, (g) $b_2/H=0.15$ และ (h) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล

Downstream



Upstream



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

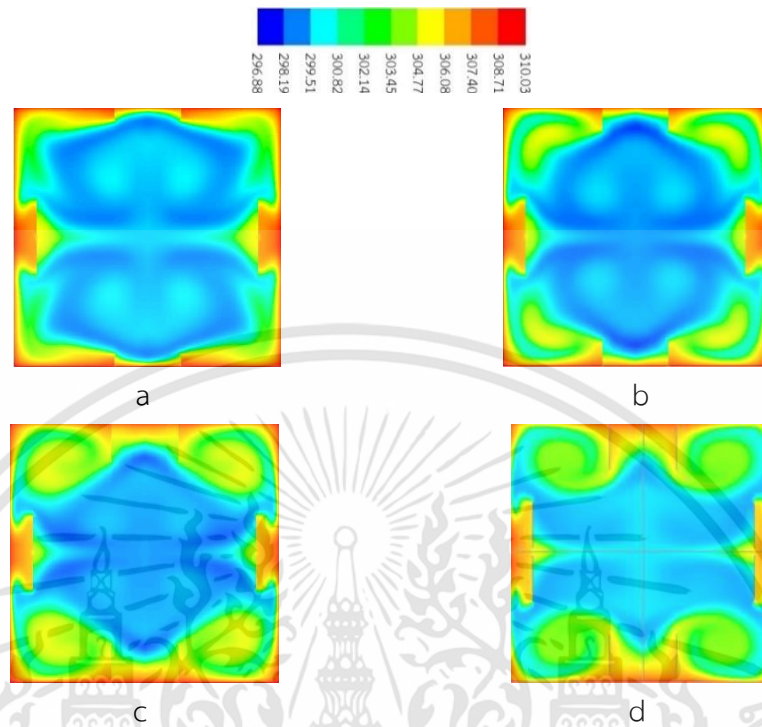
รูปที่ 5.3 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (i) $b_2/H=0.05$, (j) $b_2/H=0.10$, (k) $b_2/H=0.15$ และ (l) $b_2/H=0.20$ ที่ $b_1/H = 0.15$, $Re=1000$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

5.2.1.2 สำหรับ $b_1/H=0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

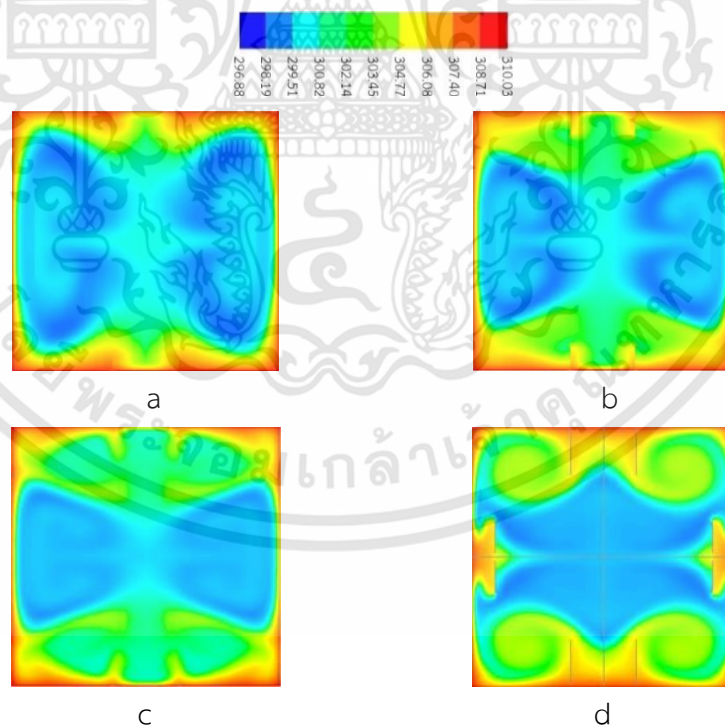
จากรูปที่ 5.4 - 5.6 แสดงโครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อน ที่ $b_1/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 เมื่อกำหนดให้ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream จากรูปที่ 5.1 (a) - (d) แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนในรูปของการกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล โดยปกติแล้วหากไม่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ คอนทิวอร์สี้ฟ้าคือของไหลเย็นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางท่อและจะไล่ระดับแถบสีขึ้นไปจนเป็นคอนทิวอร์สี้แดงคือของไหลร้อนซึ่งจะอยู่บริเวณขอบท่อ เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นพบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิดีขึ้นเห็นได้จากคอนทิวอร์สี้ฟ้ากระจายตัวออกจากบริเวณกึ่งกลางส่วนคอนทิวอร์สี้แดงมีลักษณะบางลง สังเกตได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ $b_1/H=0.05$ การกระจายตัวของอุณหภูมิมี่ความสม่ำเสมอ ส่วนที่ $b_1/H=0.10, 0.15$ และ 0.20 ขอบสีแดงมีขนาดเพิ่มขึ้นและคอนทิวอร์สี้ฟ้าลดลงแสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่ดีแต่ทำให้การไหลดีขึ้นทั้ง V-Downstream และ V-Upstream จึงพิจารณาจากค่าเลขนัสเซลที่สอดคล้องกับการกระจายตัวของอุณหภูมิ จากรูปที่ 5.2 (e) - (h) แสดงการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซล คอนทิวอร์ของค่าเลขนัสเซลที่แสดงถึงการกระแทกของกระแสการไหล หากเกิดการกระแทกของกระแสการไหลบริเวณผิวท่อคอนทิวอร์จะแสดงด้วยสีแดง เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นพบว่าเกิดการกระแทกของกระแสการไหลในทุกค่าที่นำมาพิจารณาทั้งบริเวณผนังด้านบนและด้านข้างของท่อ เมื่อเปลี่ยนค่า b_1/H ตำแหน่งของการกระแทกจะเปลี่ยนไปทั้ง V-Downstream และ V-Upstream การกระแทกของกระแสการไหลสูงสุดอยู่บริเวณผนังด้านบนของท่อที่ค่า $b_1/H=0.05$ ใน V-Downstream จากรูปที่ 5.3 (i) - (l) แสดงเส้นกระแสการไหล พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีด้านบน ด้านล่าง และตรงกลาง ทำให้เกิดแกนการไหลหมุนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกั้นตรงกลาง (b_2) ส่วนทิศทางการไหลหมุนวนตามแนวขวางใน V-Downstream และ V-Upstream มีทิศทางการไหลสวนทางกัน

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยการกระจายตัวของอุณหภูมิ

Downstream



Upstream

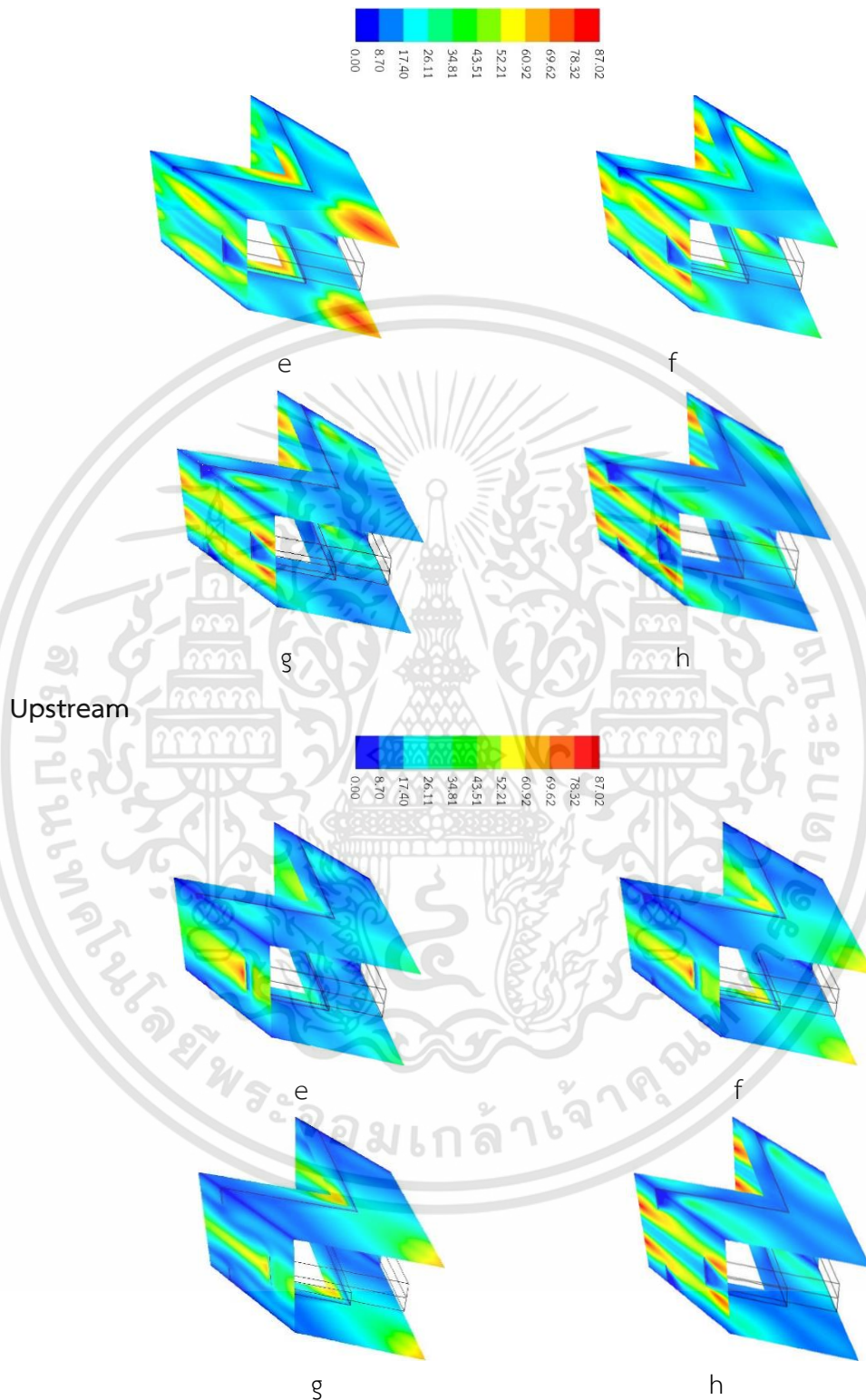


รูปที่ 5.4 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (a) $b_1/H=0.05$, (b) $b_1/H=0.10$, (c) $b_1/H=0.15$ และ (d) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์

Downstream

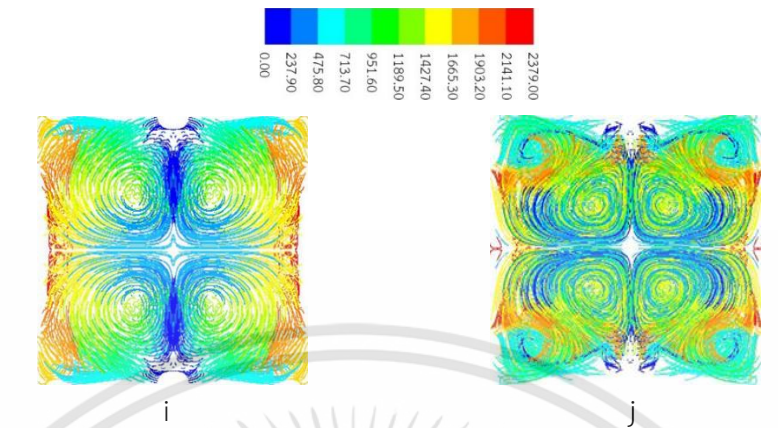


รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์ ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (e) $b_1/H=0.05$, (f) $b_1/H=0.10$, (g) $b_1/H=0.15$ และ (h) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

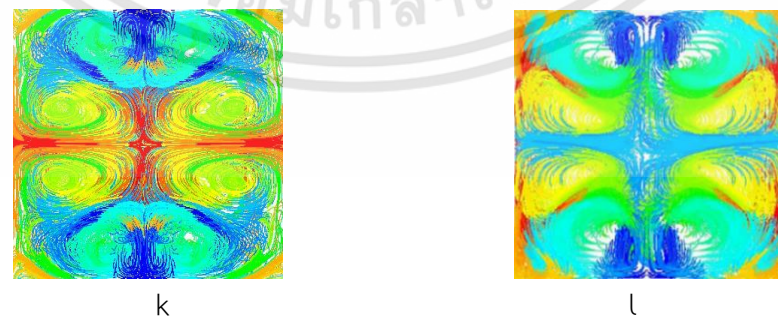
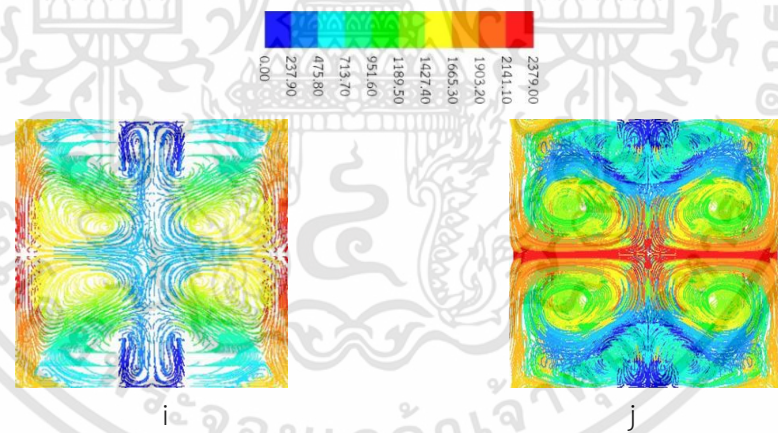
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล

Downstream



Upstream



รูปที่ 5.6 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (i) $b_1/H=0.05$, (j) $b_1/H=0.10$, (k) $b_1/H=0.15$ และ (l) $b_1/H=0.20$ ที่ $b_2/H = 0.15$, $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

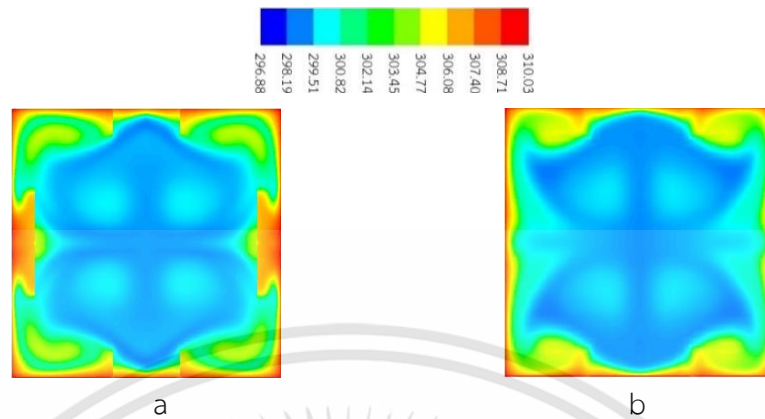
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 อิทธิพลของระยะพิทช์

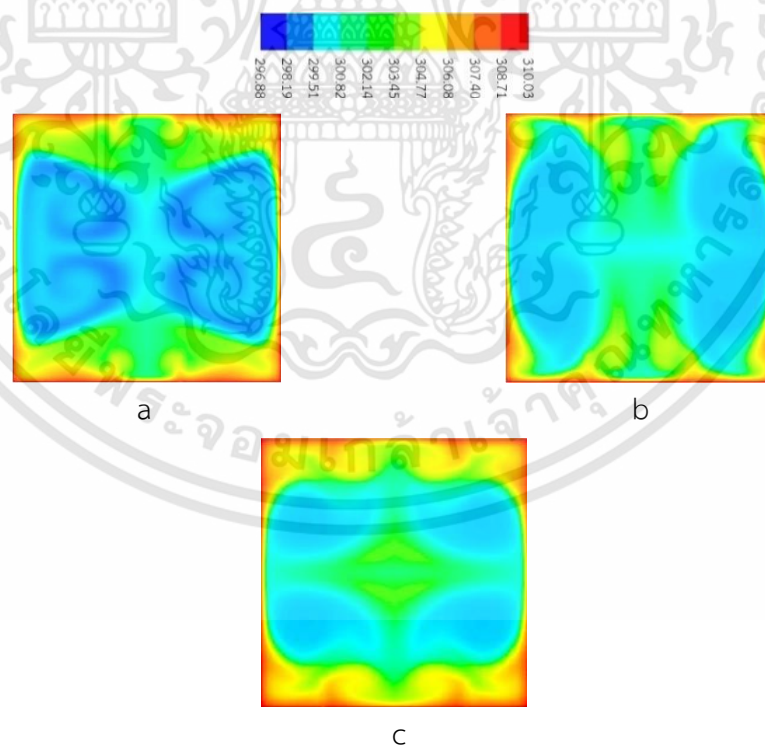
จากรูปที่ 5.7 - 5.9 แสดงโครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อน ที่ $P/H=1, 1.5$ และ 2 ที่ $b_1/H = 0.10, b_2/H = 0.20, Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream จากรูปที่ 5.1 (a) - (c) แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนในรูปของการกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล โดยปกติแล้วหากไม่ติดตั้งแผ่นกันภายในท่อ คอนทิวร์สที่ฟ้าคือของไหลเย็นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางท่อและจะไล่ระดับแถบสีขึ้นไปจนเป็นคอนทิวร์สีแดงคือของไหลร้อนซึ่งจะอยู่บริเวณขอบท่อ เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกัน พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิดีขึ้นเห็นได้จากคอนทิวร์สที่กระจายตัวออกจากบริเวณกึ่งกลางส่วนคอนทิวร์สีแดงมีลักษณะบางลง สังเกตได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ $P/H=1.5$ และ 2 การกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำกว่าส่วนที่ $P/H=1$ ขอบสีแดงมีขนาดใหญ่และคอนทิวร์สที่ฟ้ามีน้อยกว่าแสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่ดีแต่ทำให้การไหลดี เห็นได้จากค่าเลขนัสเซลท์แสดงถึงการระเหยของกระแสการไหลที่รูป (d) และ (e) ใน V-Downstream พบว่าการไหลระเหยในรูป (d) ดีกว่ารูป (e) ส่วนการกระจายตัวของอุณหภูมิใน V-Upstream ที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง $P/H=1$ จากรูปที่ 5.2 (d) - (f) แสดงการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์ คอนทิวร์ของค่าเลขนัสเซลท์แสดงถึงการระเหยของกระแสการไหล หากเกิดการระเหยของกระแสการไหลบริเวณผิวท่อคอนทิวร์จะแสดงด้วยสีแดง เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกันพบว่าเกิดการระเหยของกระแสการไหลในทุกค่าที่นำมาพิจารณาทั้งบริเวณผนังด้านบนและด้านข้างของท่อ เมื่อเปลี่ยนค่า P/H ตำแหน่งของการระเหยจะเปลี่ยนไปทั้ง V-Downstream และ V-Upstream การระเหยของกระแสการไหลสูงสุดอยู่บริเวณผนังด้านบนของท่อที่ค่า $P/H=1$ ใน V-Downstream จากรูปที่ 5.3 (g) - (i) แสดงเส้นกระแสการไหล พบว่าการติดตั้งแผ่นกันรูปตัววีด้านบน ด้านล่าง และตรงกลาง ทำให้เกิดแกนการไหลหมุนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกันตรงกลาง (b_2) ส่วนทิศทางการไหลหมุนวนตามแนวขวางใน V-Downstream และ V-Upstream มีทิศทางการไหลสวนทางกัน

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยการกระจายตัวของอุณหภูมิ

Downstream



Upstream

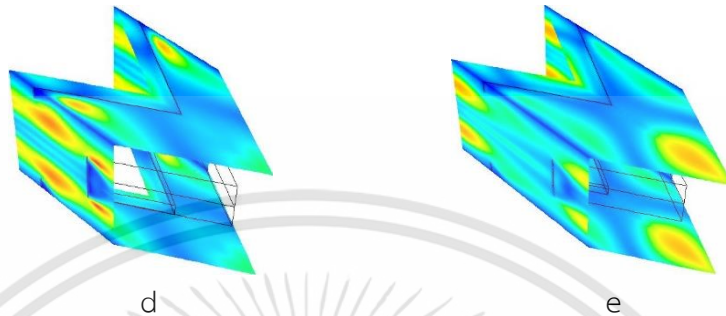
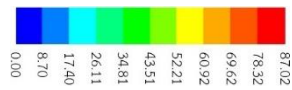


รูปที่ 5.7 การกระจายตัวอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (a) $P/H=1$, (b) $P/H=1.5$ และ (c) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์

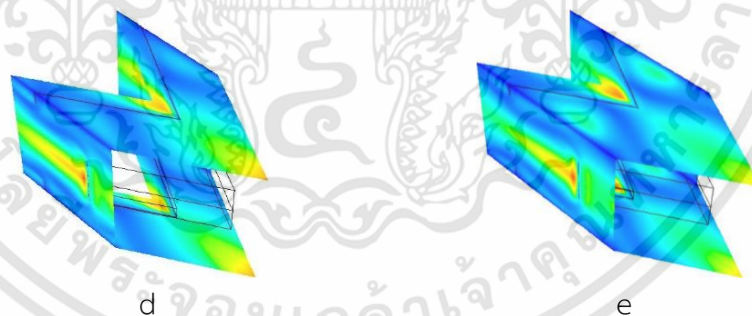
Downstream



d

e

Upstream



d

e

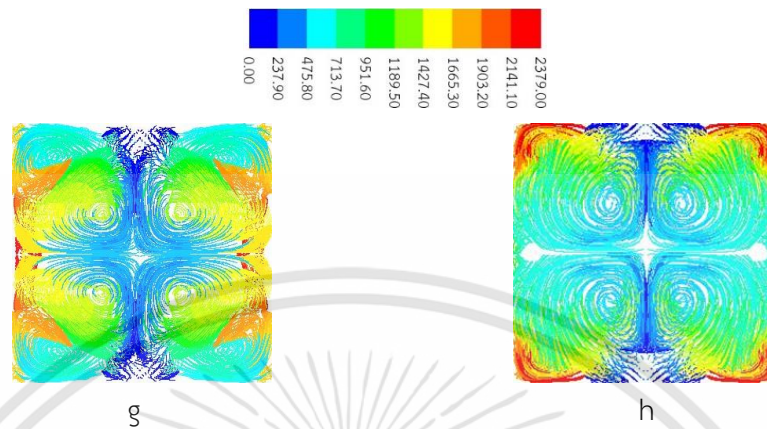
f

รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์ ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (d) $P/H=1$, (e) $P/H=1.5$ และ (f) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$

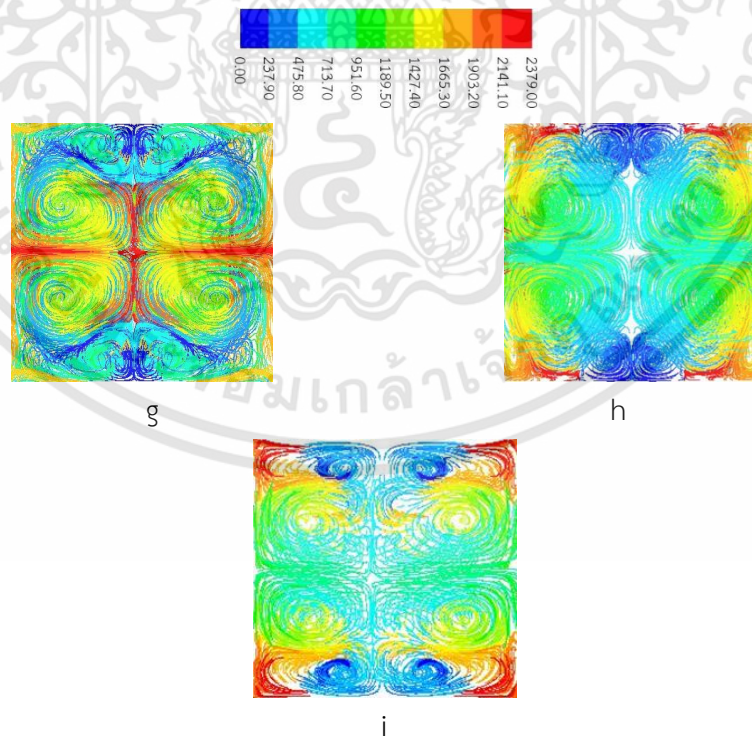
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล

Downstream



Upstream



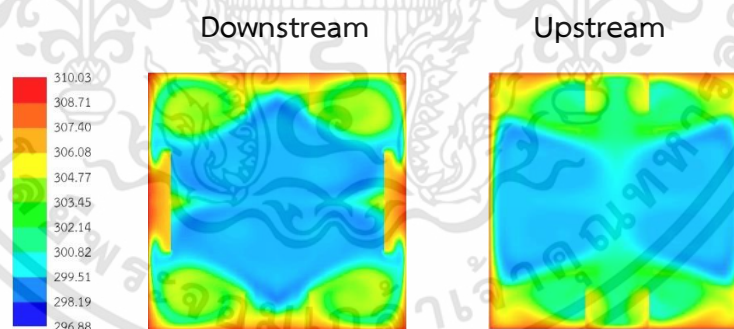
รูปที่ 5.9 เส้นกระแสการไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด (g) $P/H=1$, (h) $P/H=1.5$ และ (i) $P/H=2$ ที่ $b_1/H = 0.10$, $b_2/H = 0.20$, $Re=1000$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 อิทธิพลของทิศทางการไหล

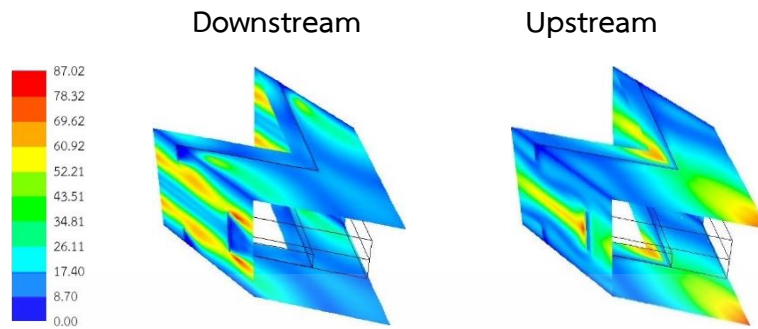
จากรูปที่ 5.10 - 5.12 แสดงโครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อน ที่ $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream จากรูปที่ 5.10 แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนในรูปของการกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหล โดยปกติแล้วหากไม่ติดตั้งแผ่นกั้นภายในท่อ คอนทอร์สรีฟ้าคือของไหลเย็นจะอยู่บริเวณกึ่งกลางท่อและจะไล่ระดับแถบสีขึ้นไปจนเป็นคอนทอร์สรีแดงคือของไหลร้อนซึ่งจะอยู่บริเวณขอบท่อ เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้น พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเห็นได้จากคอนทอร์สรีฟ้ากระจายตัวออกจากบริเวณกึ่งกลางส่วนคอนทอร์สรีแดงมีลักษณะบางลง สังเกตได้จากการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ V-Upstream การกระจายตัวของอุณหภูมิมี่ความสม่ำเสมอ ส่วนที่ V-Downstream ขอบสีแดงมีขนาดใหญ่แสดงถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ไม่ดีแต่ทำให้การไหลดีขึ้น จากรูปที่ 5.11 แสดงการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์ คอนทอร์สรีของค่าเลขนัสเซิลท์แสดงถึงการกระแทกของกระแสการไหล หากเกิดการกระแทกของกระแสการไหลบริเวณผิวท่อคอนทอร์สรีจะแสดงด้วยสีแดง เมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นพบว่าเกิดการกระแทกของกระแสการไหลทั้งบริเวณผนังด้านบนและด้านข้างของท่อใน V-Downstream และ V-Upstream จากรูปที่ 5.12 แสดงเส้นกระแสการไหล พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีด้านบน ด้านล่าง และตรงกลาง ทำให้เกิดแกนการไหลหมุนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกั้นตรงกลาง (b_2) ทิศทางการไหลหมุนวนตามแนวขวางใน V-Downstream และ V-Upstream ส่วนทางกัน

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยการกระจายตัวของอุณหภูมิ



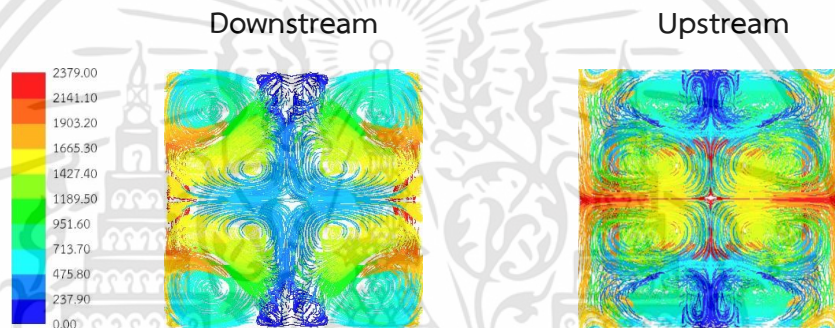
รูปที่ 5.10 การกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์



รูปที่ 5.11 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์ ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

โครงสร้างและลักษณะการถ่ายเทความร้อนแสดงด้วยโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล



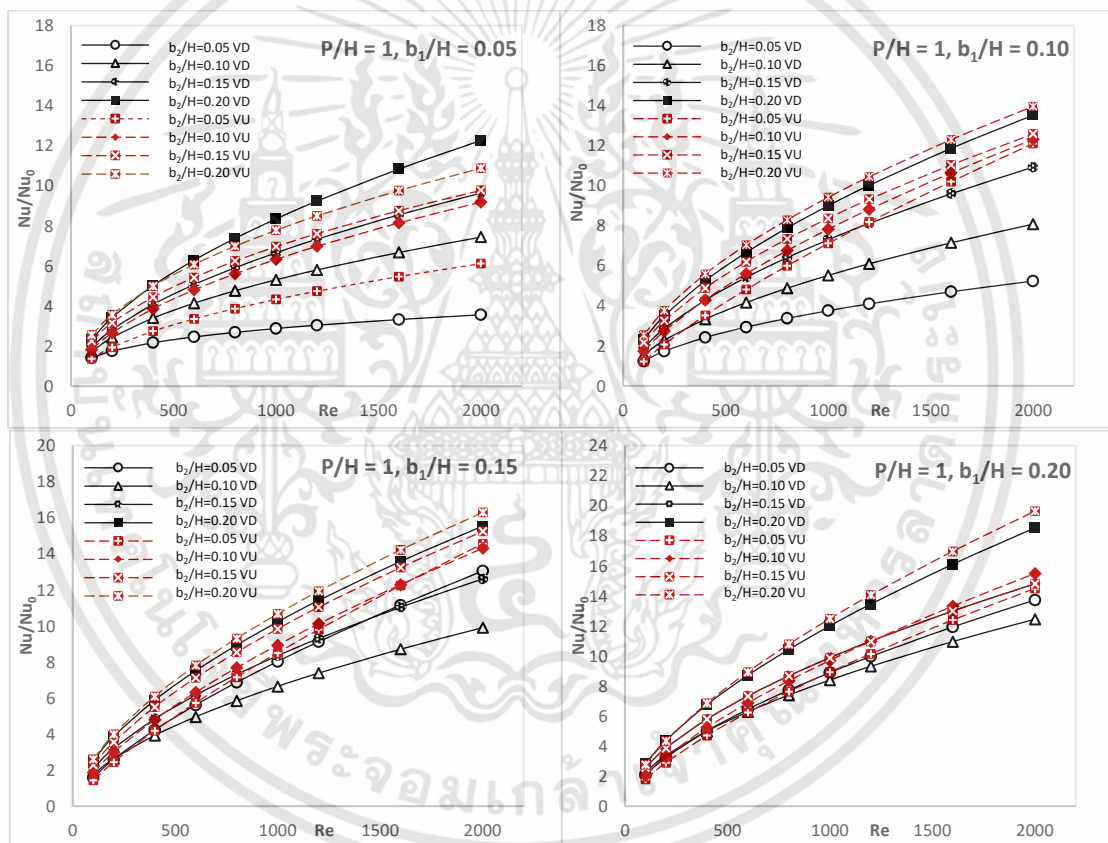
รูปที่ 5.12 กระแสการไหล ในระนาบ $y-z$ โดยกำหนด $b_1/H = 0.15$ และ $b_2/H = 0.20$ ที่ $Re=800$, $\alpha=30^\circ$ และ $P/H=1$

5.3 สมรรถนะเชิงความร้อน

5.3.1 ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์

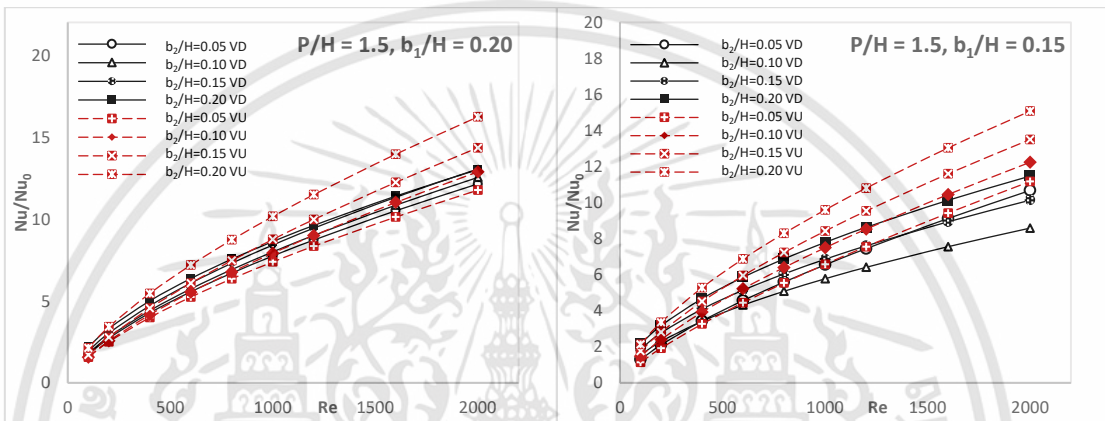
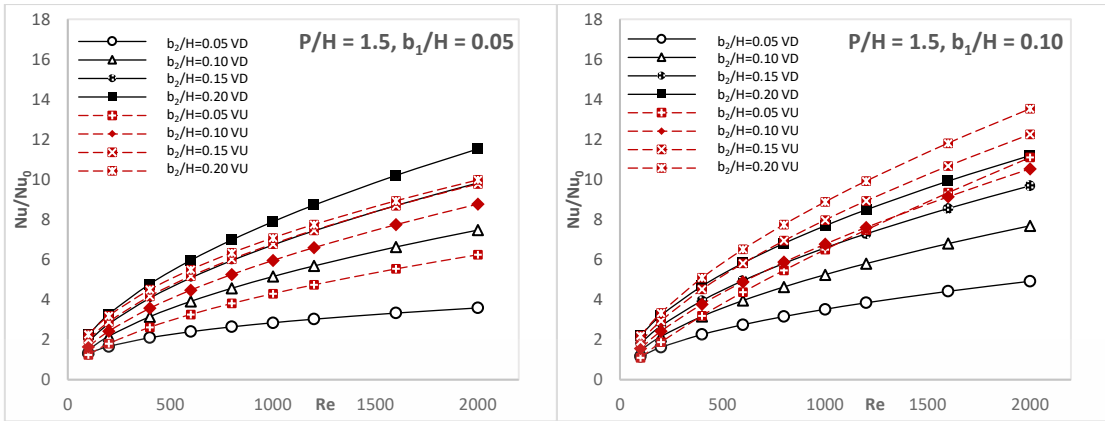
จากรูป 5.13 - 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์สำหรับแผ่นกั้นรูปตัววีที่มีการติดตั้งในท่อจตุรัส ที่ค่า b_1/H และ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ ค่า $P/H = 1, 1.5, 2$ และ $\alpha=30^\circ$ ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ต่างๆ จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงการไหลแบบราบเรียบเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นกั้นจะทำให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งสามารถดูความแตกต่างในแต่ละค่าได้ดังนี้

5.3.1.1 กำหนดให้ $b_1/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $P/H = 1, 1.5$ และ 2

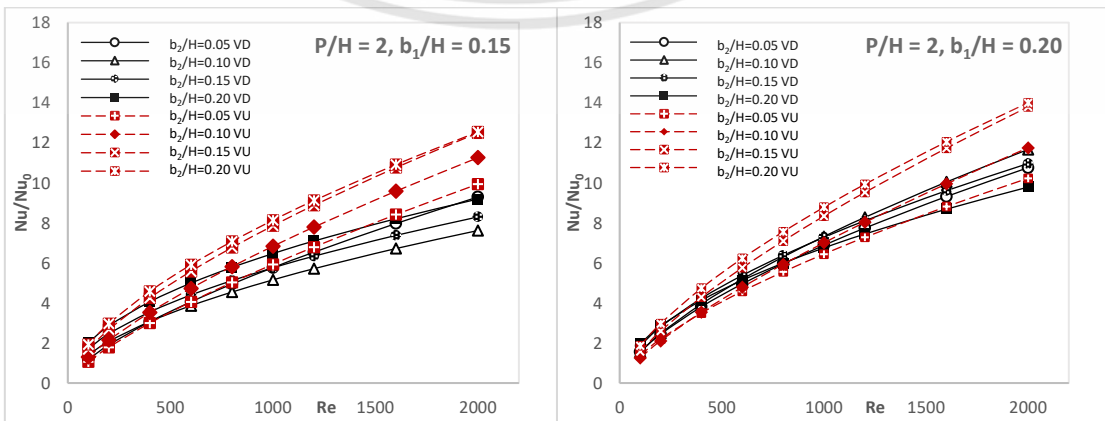
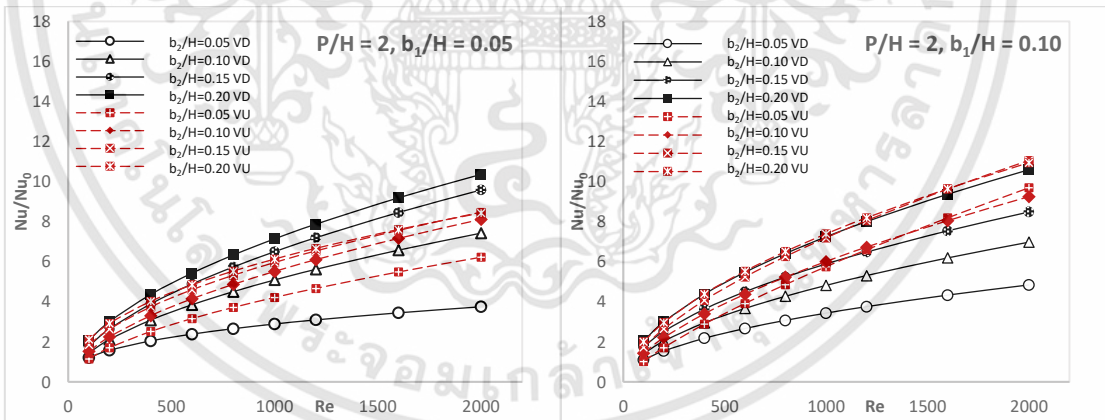


รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



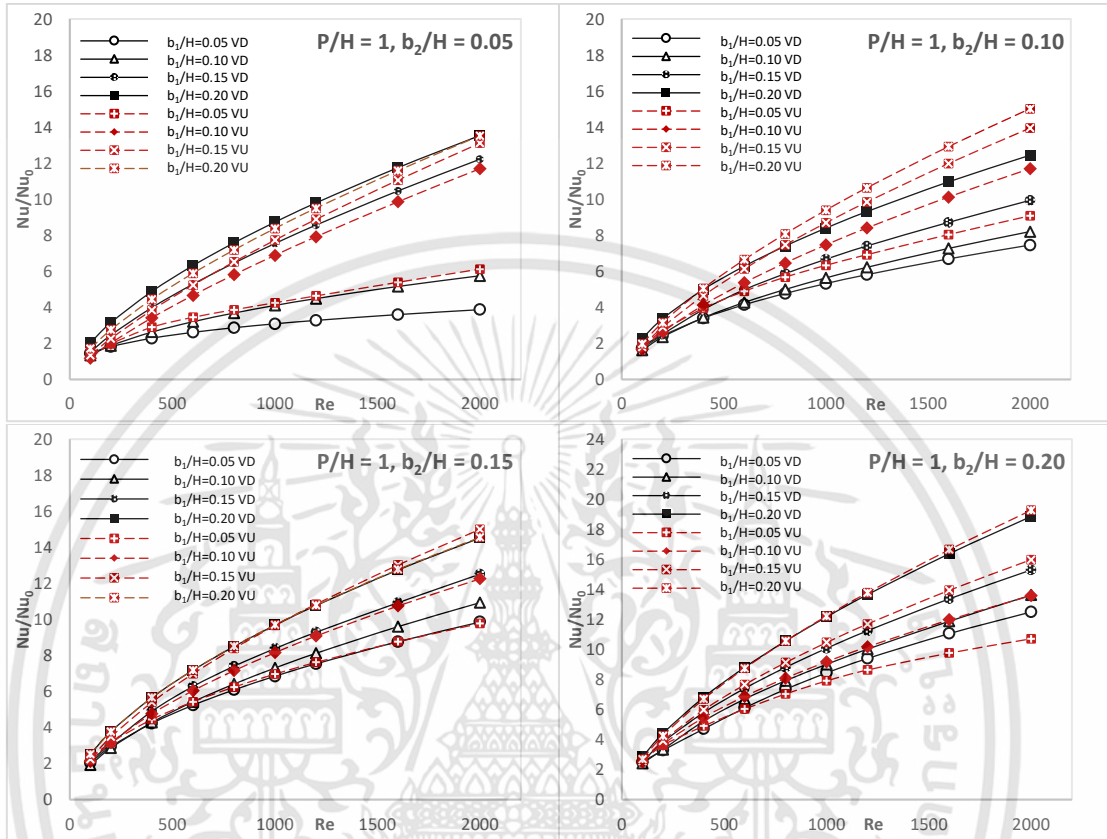
รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

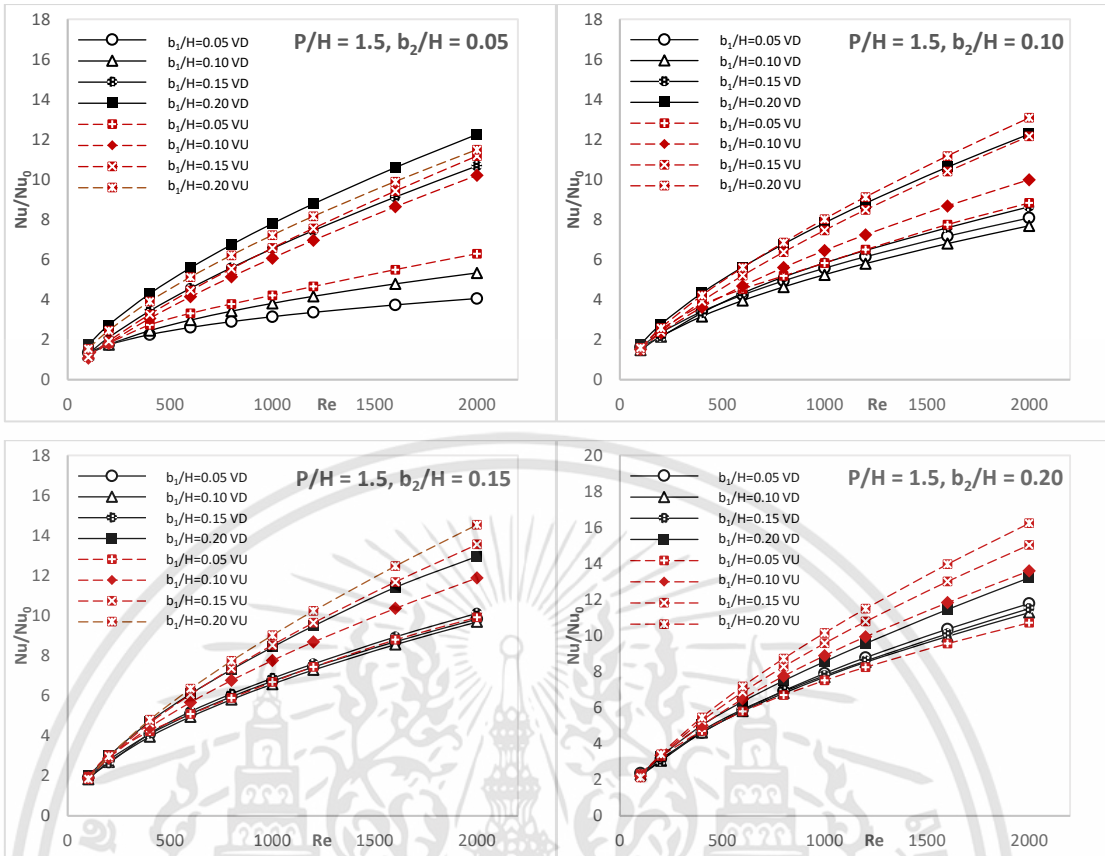
รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี
ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

5.3.1.2 กำหนดให้ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $P/H = 1, 1.5$ และ 2

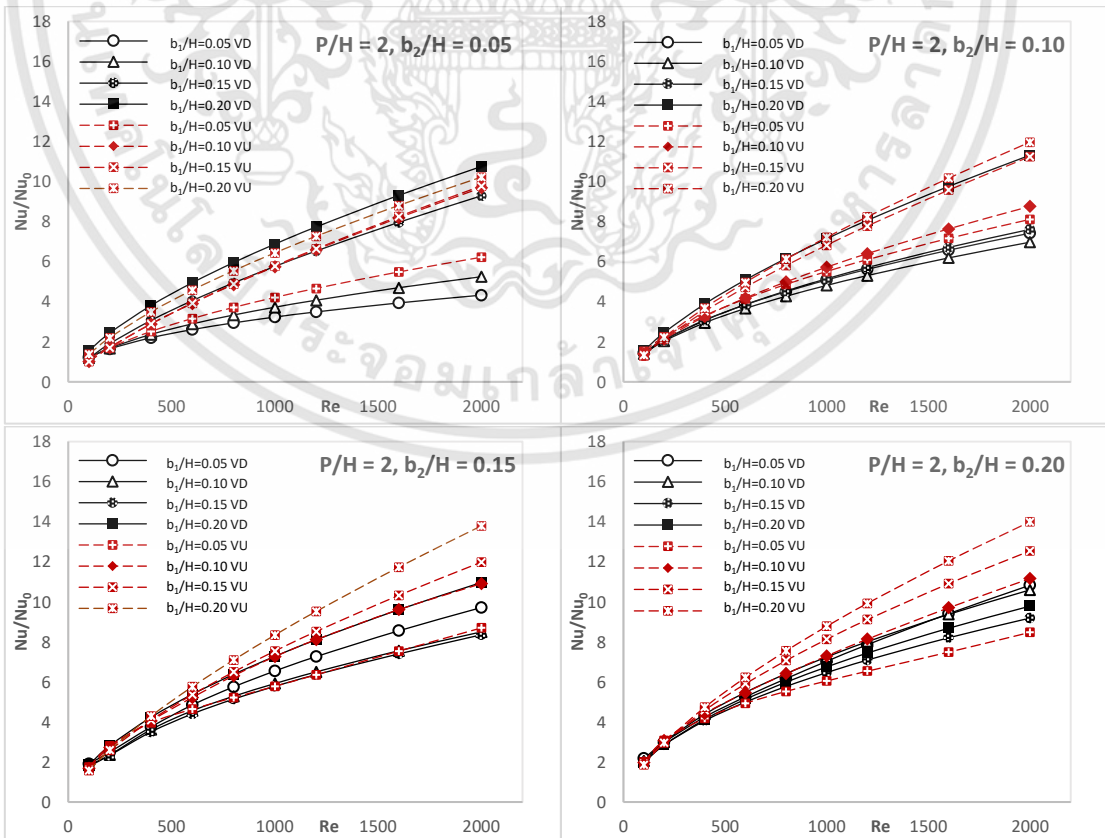


รูปที่ 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี
ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$



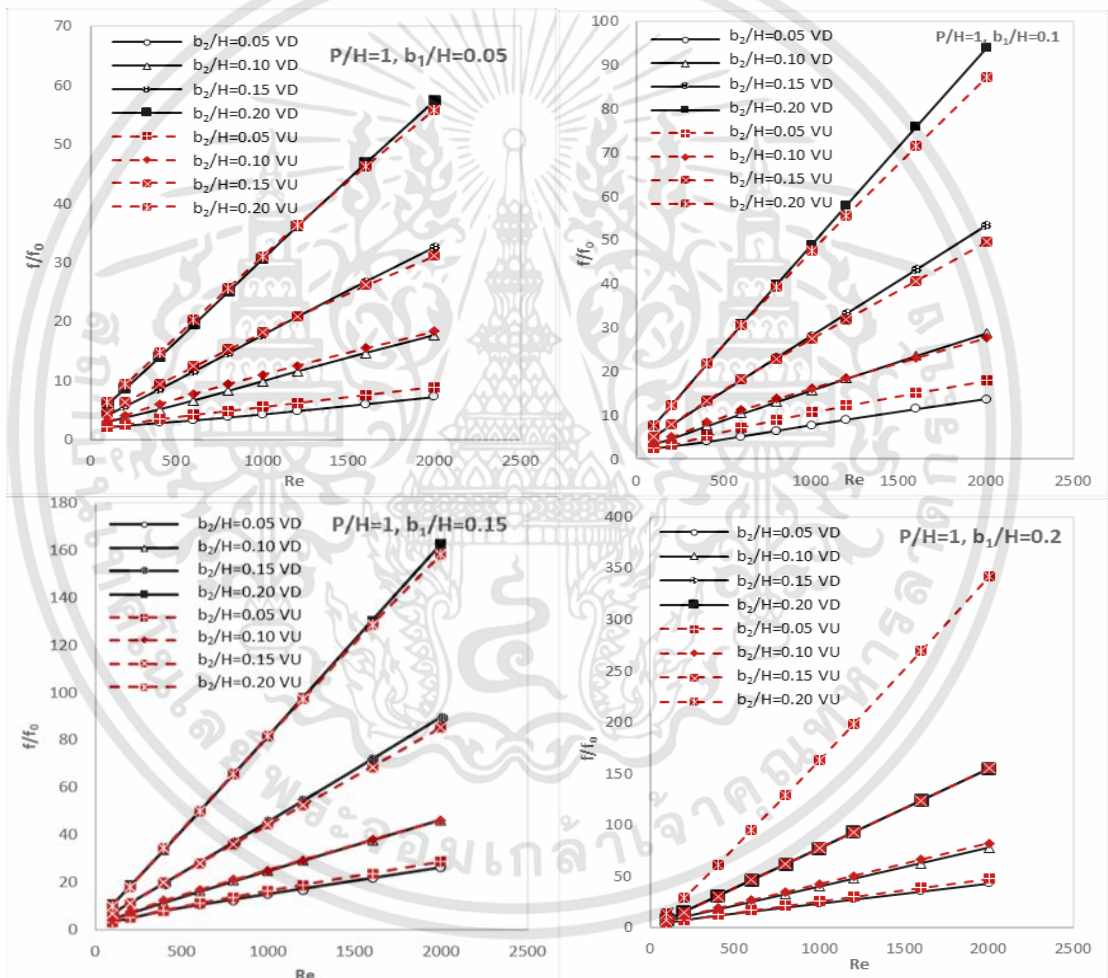
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี
ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

5.3.2. ตัวประกอบแรงเสียดทาน

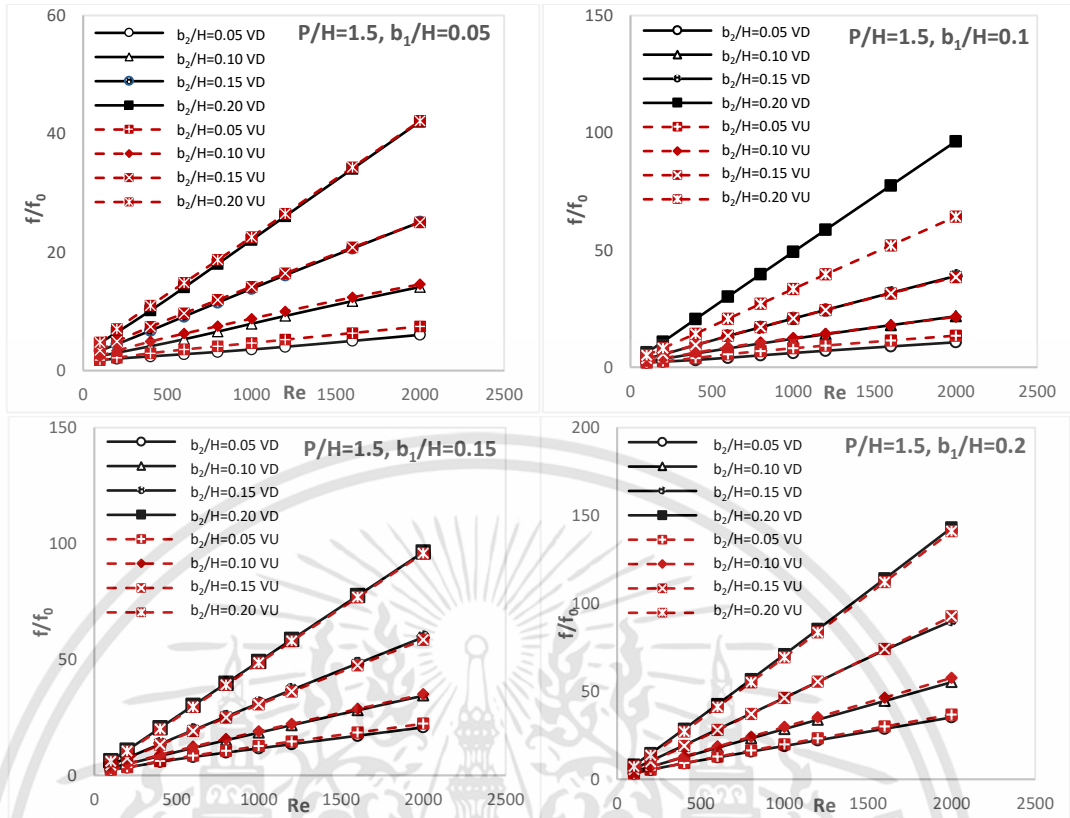
ตัวประกอบแรงเสียดทาน โดยภาพเหล่านี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์สำหรับแผ่นกั้นรูปตัววีที่มีการติดตั้งในท่อจตุรัส ที่ค่า b_1/H และ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ ค่า $P/H = 1, 1.5, 2$ และ $\alpha=30^\circ$ เมื่อพิจารณารูปที่ 5.19 - 5.26 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น

5.3.2.1 กำหนดให้ $b_1/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $P/H = 1, 1.5$ และ 2

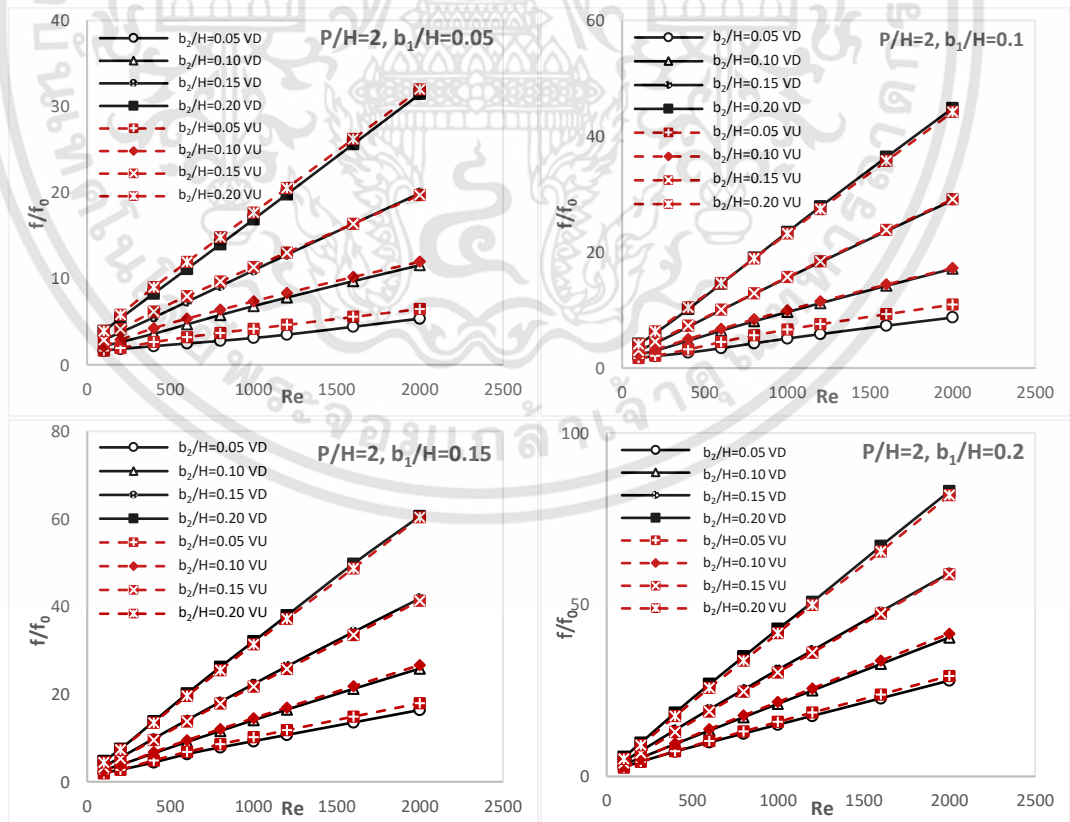


รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น
ตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



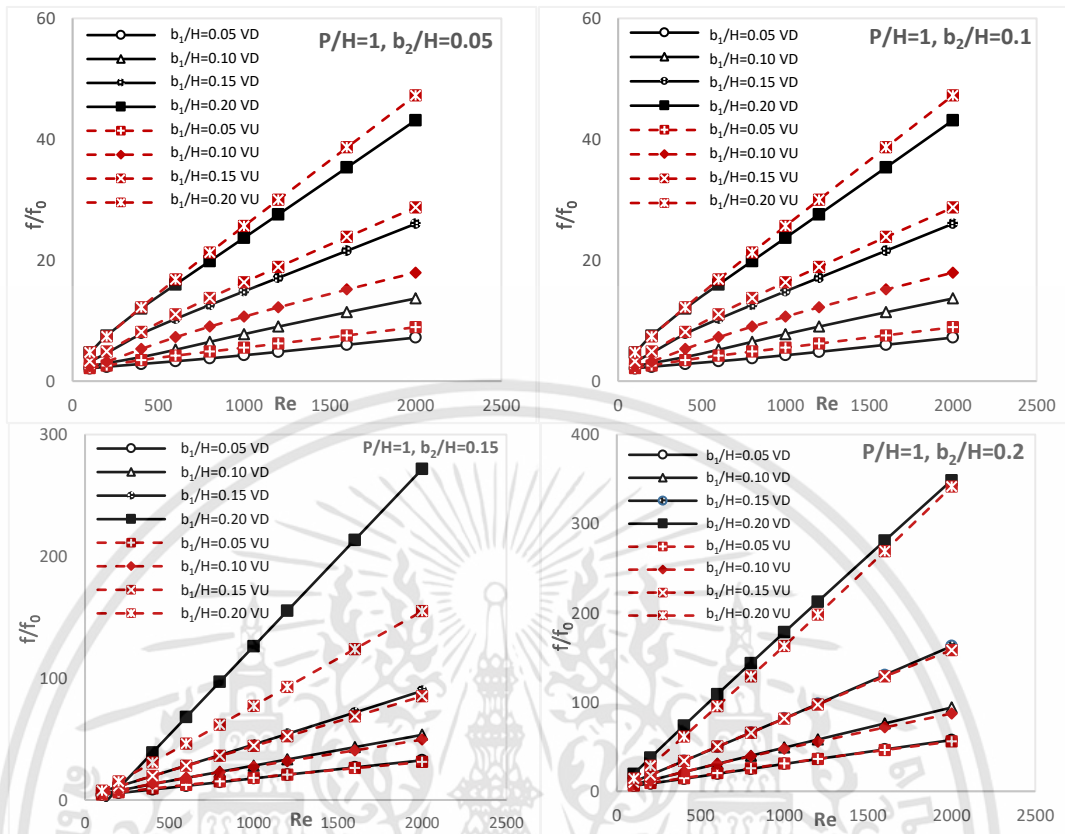
รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$



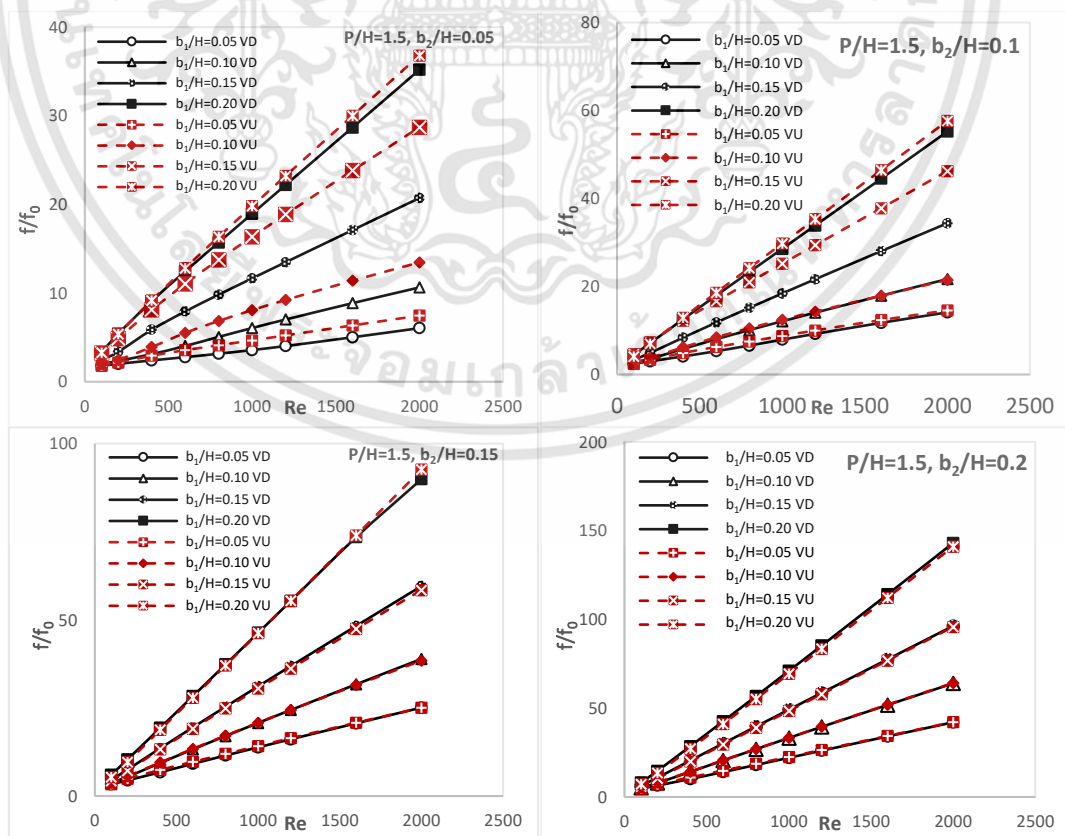
รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.2 กำหนดให้ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $P/H = 1, 1.5$ และ 2

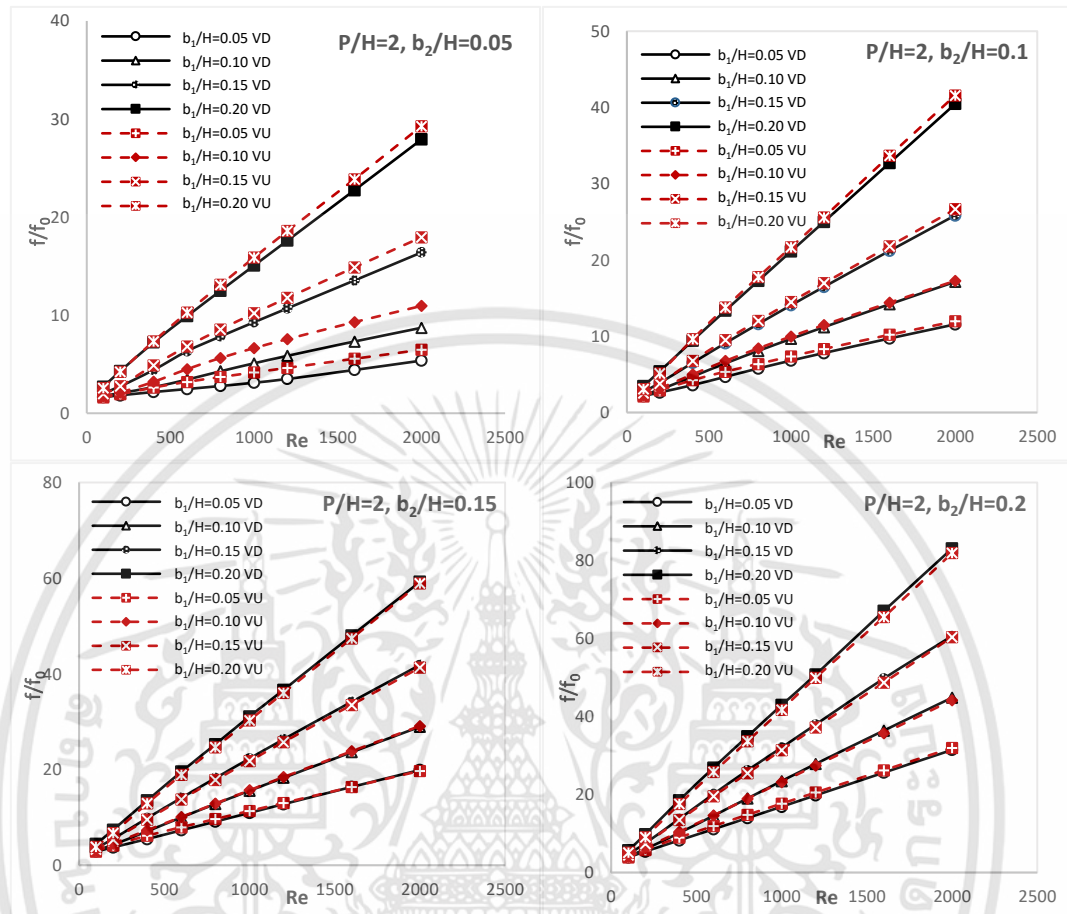


รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น
ตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$

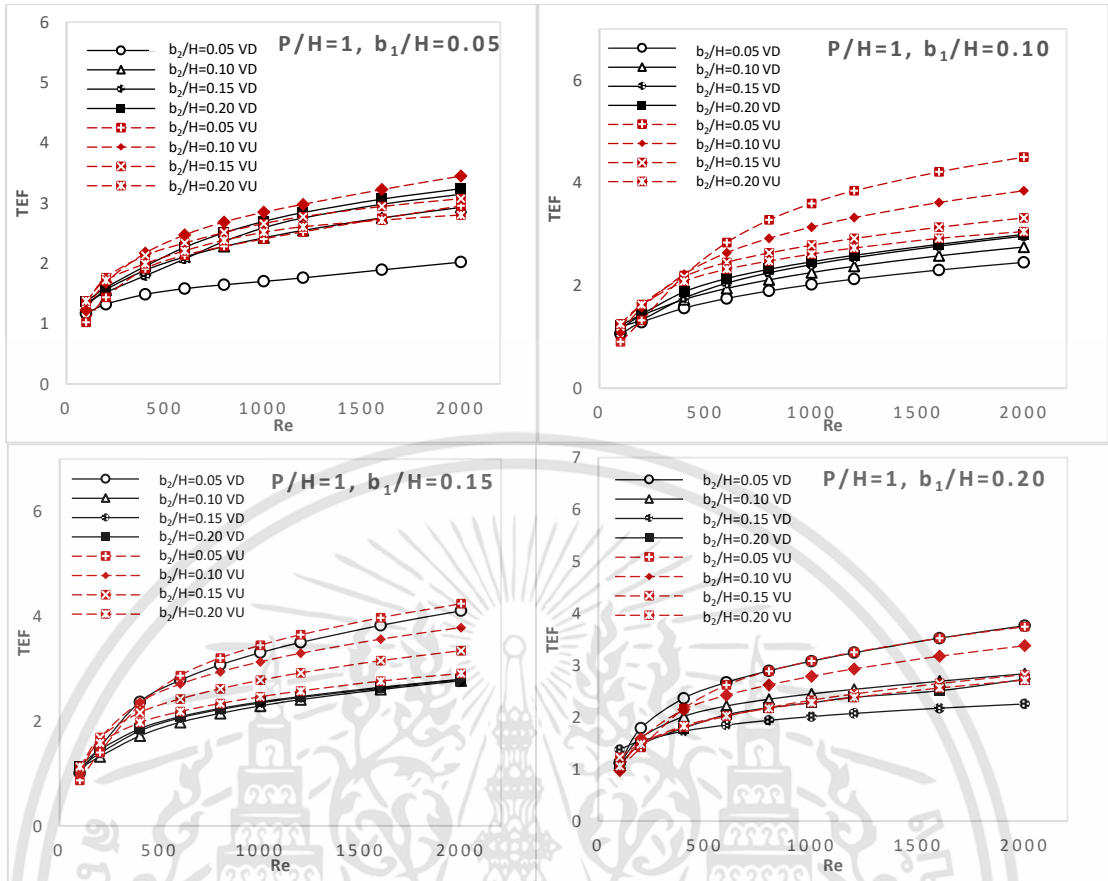


รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบแรงเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น
ตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

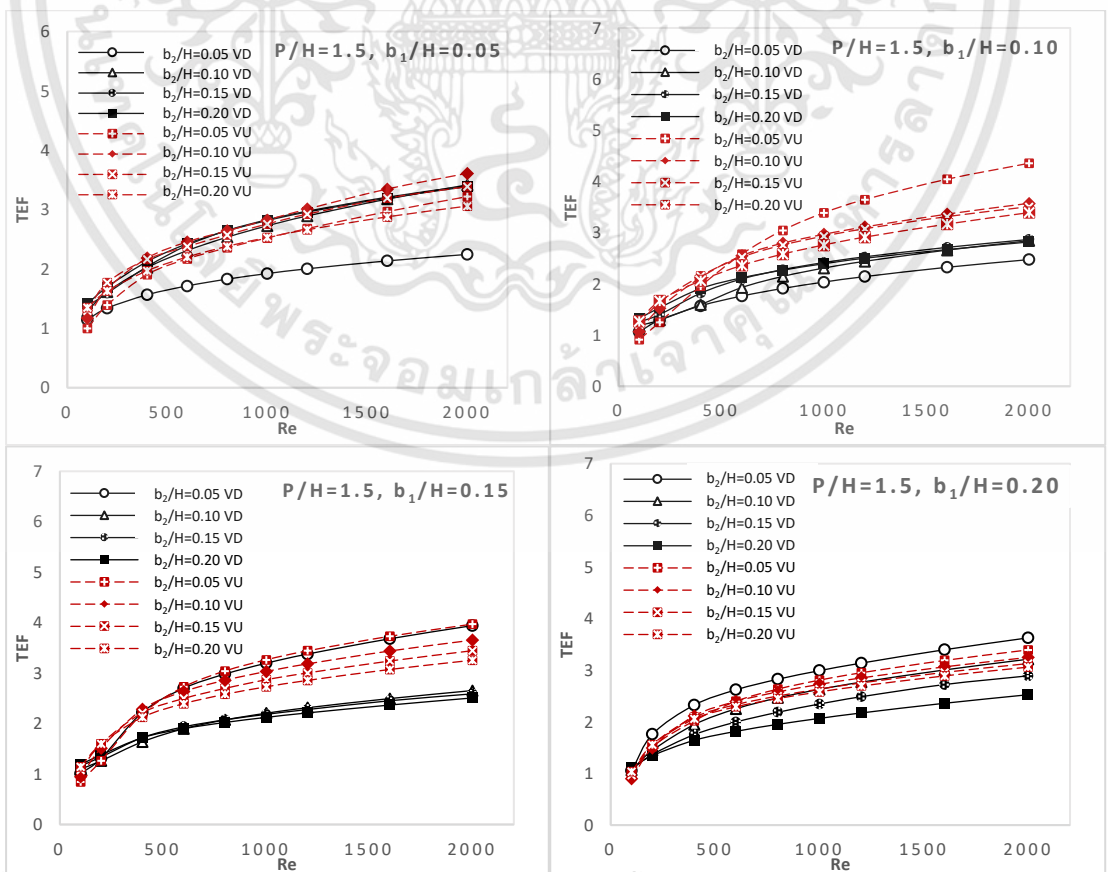
5.3.3 สมรรถนะเชิงความร้อน

สมรรถนะเชิงความร้อนพิจารณาจากจากรูป 5.25 - 5.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์สำหรับแผ่นกั้นรูปตัววีที่มีการติดตั้งในท่อจตุรัส ที่ค่า b_1/H และ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ ค่า $P/H = 1, 1.5, 2$ และ $\alpha=30^\circ$ ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ต่างๆ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่ามากเมื่อความสูงของแผ่นกั้นด้านบน ด้านและตรงกลางอยู่ในช่วง 0.05-0.10

5.3.3.1 กำหนดให้ $b_1/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20

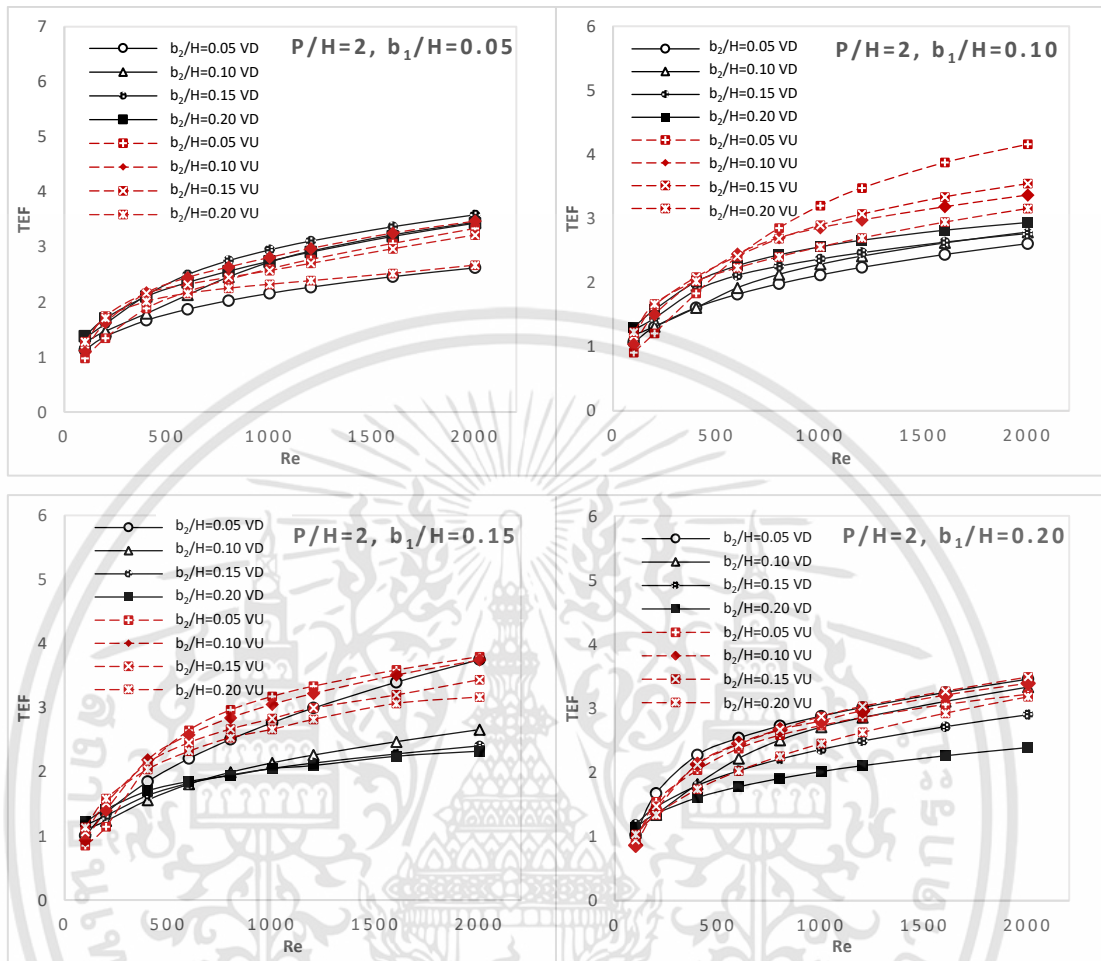


รูปที่ 5.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$



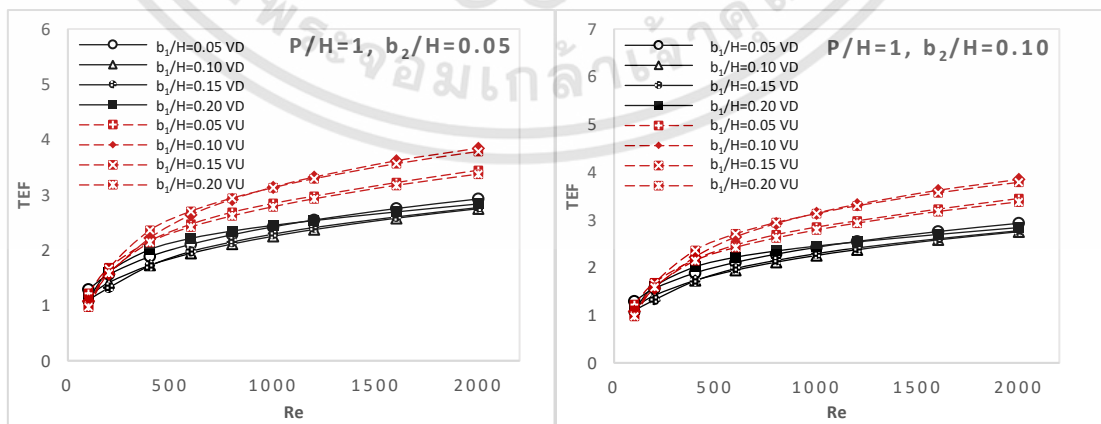
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$

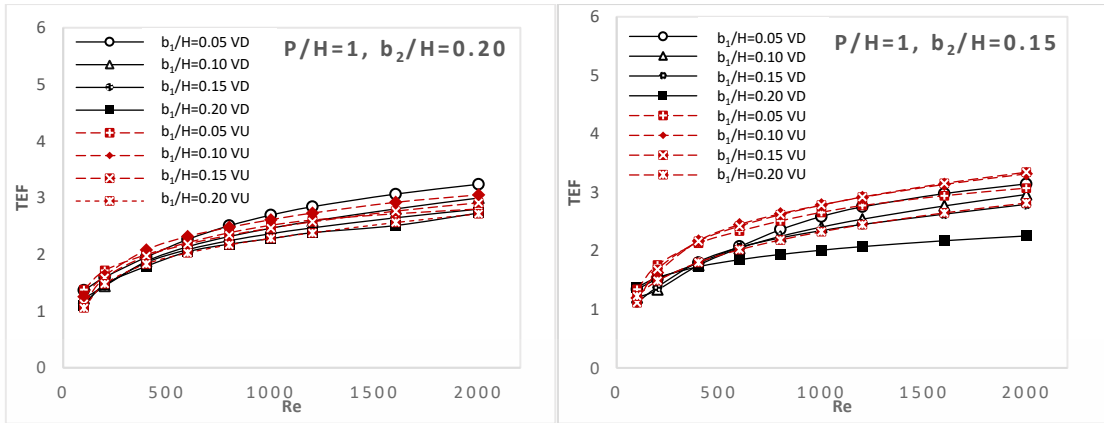


รูปที่ 5.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

5.3.3.2 กำหนดให้ $b_2/H = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ที่ $P/H = 1, 1.5$ และ 2

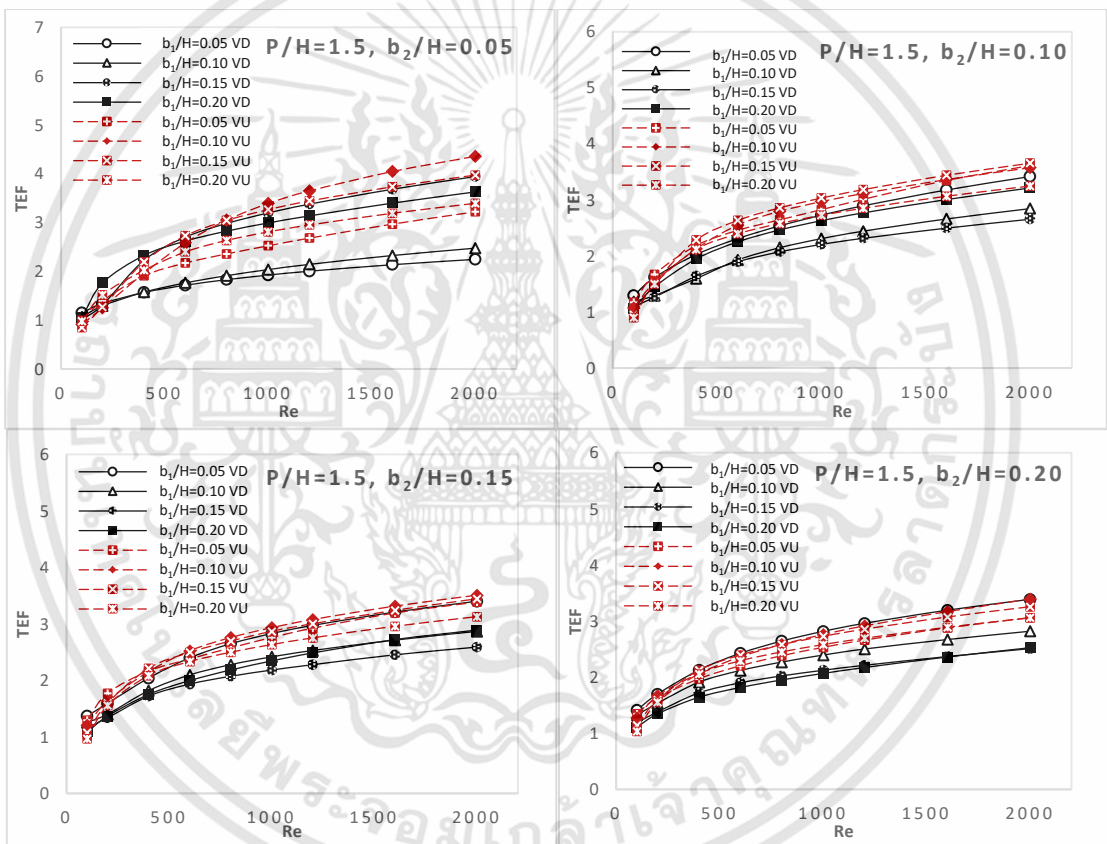


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น

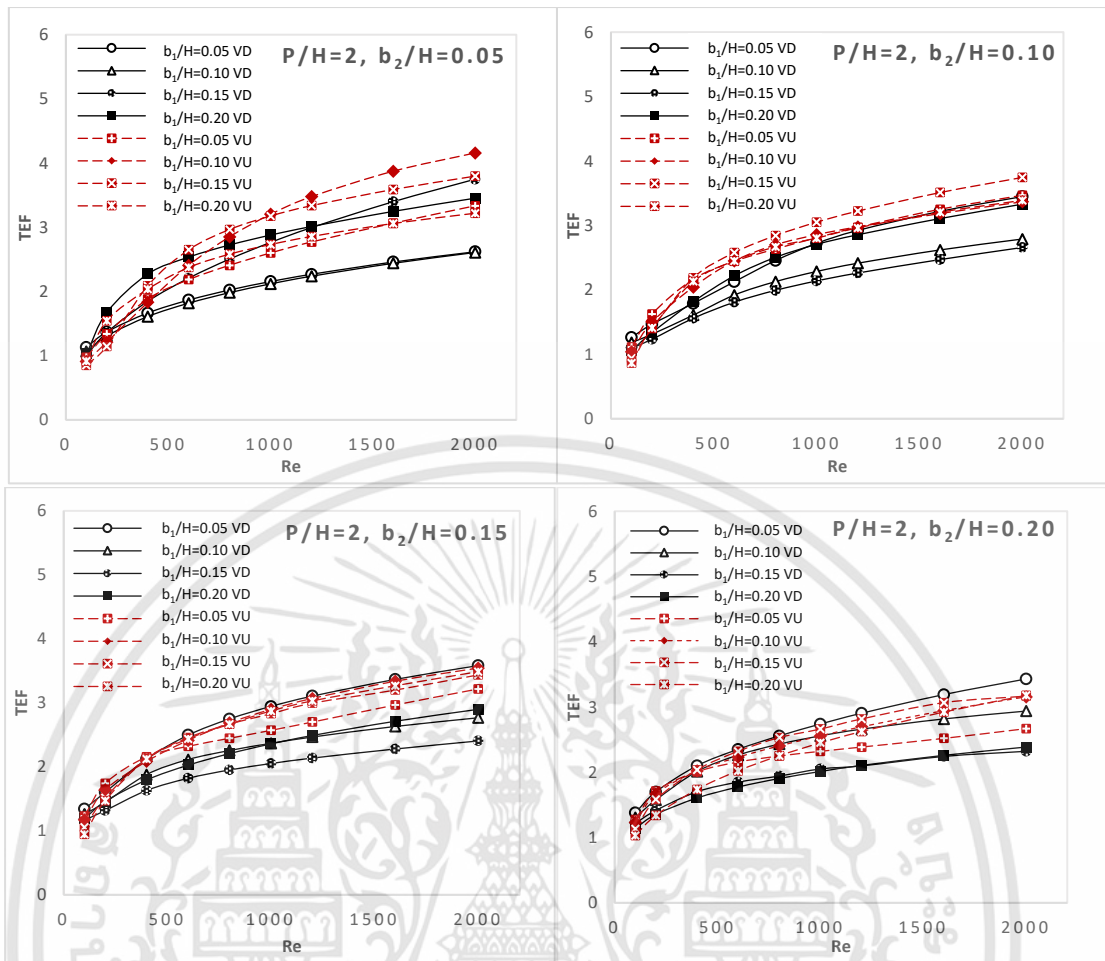
ตัววัด ที่ค่า $P/H=1$ และ $\alpha=30^\circ$



รูปที่ 5.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น

ตัววัด ที่ค่า $P/H=1.5$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้น
ตัววี ที่ค่า $P/H=2$ และ $\alpha=30^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความสูง, อิทธิพลของระยะพิทช์ และอิทธิพลของทิศทางการไหล ที่ส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งถูกแสดงในเทอมของค่าเลขนัสเซิลท์, ค่าตัวประกอบแรงเสียดทานแสดงในเทอมของค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีโดยมีมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่างๆ ได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

6.2 สรุปผลการศึกษา

6.2.1 อิทธิพลของความสูง

จากผลการศึกษาอิทธิพลของความสูงที่ส่งผลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี พบว่าเมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีภายในท่อทำให้ลักษณะการกระแทกของกระแสการไหลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลต่อค่าเลขนัสเซิลท์โดยมีกระแสการไหลกระแทกที่ดีกว่าท่อเรียบ โดยการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีบริเวณด้านบน, ด้านล่าง และตรงกลาง ส่งผลให้เกิดแกนการไหลหมุนวนบริเวณตรงกลางท่อซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกั้นรูปตัววีตรงกลาง (b_2) และเกิดแกนการไหลหมุนวนบริเวณมุมท่อทั้งสองด้านซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงของแผ่นกั้นรูปตัววีด้านบน และด้านล่าง (b_1) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสูงของแผ่นกั้นที่ส่งผลให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าสูงสุด คือ ความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและด้านล่างเท่ากับ 0.15 , ความสูงแผ่นกั้นตรงกลางเท่ากับ 0.05 ใน V-Downstream และ ความสูงของแผ่นกั้นด้านบนและด้านล่างเท่ากับ 0.10 , ความสูงแผ่นกั้นตรงกลางเท่ากับ 0.05 ใน V-Upstream

6.2.2 อิทธิพลของระยะพิทช์

จากผลการศึกษาอิทธิพลของระยะพิทช์ที่ส่งผลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี พบว่าเมื่อระยะพิทช์เพิ่มขึ้นความดันตกคร่อมจะมีค่าลดลงและค่าสมรรถนะเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นทั้ง V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งระยะพิทช์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เป็นระยะพิทช์ที่ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดทั้งใน V-Downstream และ V-Upstream และเนื่องจากค่าตัวประกอบแรงเสียดทานแสดงในเทอมของค่าความดันตกคร่อม พบว่าเมื่อค่าความดันตกคร่อมลดลงทำให้ค่าตัวประกอบแรงเสียดทานมีค่าลดลงเช่นกัน

6.2.3 อิทธิพลของทิศทางการไหล

จากผลการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลที่ส่งผลต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี เมื่อ V-Downstream และ V-Upstream มีทิศทางของการไหลตามปลายวีชี้ตามกระแสการไหลและทิศทางตรงข้ามกระแสการไหล พบว่าทิศทางการไหลที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าสมรรถนะเชิงความร้อนและตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแต่ละกรณีที่ทำการศึกษา

จากผลการวิจัยทำการศึกษาค่าการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววีด้านบน ด้านล่าง และตรงกลางทำมุมปะทะการไหล 30° สำหรับการไหลแบบราบเรียบ โดยใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) พบว่าค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.104 ของกรณี $P/H=1$, $b_1/H=0.15$, $b_2/H=0.05$, $Re=2000$ สำหรับทิศการไหล V-Downstream และ 4.503 ของกรณี $P/H=1$, $b_1/H=0.10$, $b_2/H=0.05$, $Re=2000$ สำหรับทิศการไหล V-Upstream ตรวจสอบช่วงของนัสเซิลท์และตัวประกอบแรงเสียดทานที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี มีค่าสูงกว่าท่อเปล่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.21 - 18.98 และ 2.09 - 1501.1 เท่า ตามลำดับ

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี ด้วยการใช้การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ นับเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการศึกษาวิจัยนี้เนื่องจากสามารถเข้าใจถึงโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้อย่างชัดเจน และให้ค่าผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำ ทั้งยังลดต้นทุนและเวลาในการประดิษฐ์ชุดการทดลอง ซึ่งอาจให้ค่าผลการทดลองที่คลาดเคลื่อนได้สูงกว่าเพราะการสร้างชุดการทดลองที่ไม่ถูกต้องหรือมีการติดตั้งที่ผิดวิธี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bergles A. E. (2001). The implications and challenges of enhanced heat transfer for the chemical process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 79: 437–444.
- [2] Promvonge, P., & Skullong, S., & Hoonpong, P. (2012). Heat Transfer Enhancement in A Square Channel Using Angled Ribs. *The First TSME International Conference on Mechanical Engineering*.
- [3] Promvonge, P., & Skullong, S. (2020). Thermo-hydraulic performance in heat exchanger tube with V-shapedwinglet vortex generator. *Applied Thermal Engineering*, 164 114424.
- [4] Jedsadaratanachai, W., & Boonloi, A. (2018). Effect of Flow Attack Angle for V-Wavy Plate on Flow and Heat Transfer in a Square Channel Heat Exchanger. *Journal of Engineering Volume 9487070*.
- [5] Wanglertpanich, K., & Kittichaikan, C. (2019). An Improvement of Heat Exchanger Efficiency Using Zigzag Louver Fin. *Journal of Engineering Vol. 107 : 1-9*.
- [6] Ranjan, R., & Paswan, M., & Prasad, N. (2017). CFD based analysis of a solar air heater having isosceles right triangle rib roughness on the absorber plate. *International Energy Journal 17(2):57-74*.
- [7] Jedsadaratanachai, W., & Boonloi, A. (2020). Forced convective heat transfer and thermal efficiency assessment in square channel equipped with 10° wavy thin rib. *Advances in Mechanical Engineering Vol. 12(12) 1–15*.
- [8] Suwannapan, S., & Chokphoemphun, S., & Hoonpong, P., & Promvonge, P. (2015, July) Thermal Performance Enhancement in a Heat Exchanger Square-Duct With V-Shaped Fins Vortex Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] Wong,M., & D.Hardy,G., & M.Jacob,A., &Hrnjak,P.(2016). Numerical Simulation (CFD) to Explore Optimal Vortex Generator Array Configurations in Air Cooled Condensers
- [10] Sharma,A.,&Agarwal,R.(2015) Simulation of Rectangular Duct for Performance Analysis of Trapezoidal Transverse Rib of Different Top Faced Tapered Angle *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* ISSN: 2249 – 8958, Volume-5 Issue-2, December 2015
- [11] Krishnaswany,K.,&Sivan,S., & Hafiz,A.(2021). Influence of Narrow Rectangular Channel (AR = 1 : 4) on Heat Transfer and Friction for V-Shaped and W-Shaped Ribs in Turbine Blade Applications *Hindawi International Journal of Photoenergy* Volume 2021, Article ID 5581081, 13 pages.
- [12] Skullong,S.(2017) PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A SOLAR AIR HEATER DUCT WITH INCLINED RIBS MOUNTED ON THE ABSORBER *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering*.
- [13] Durmus,S.(2021) Effect Of Rib Shape On Flow Regime And Heat Transfer *Open Access Journal*, e-ISSN: 2619 – 8991.
- [14] Boonloi, A., & Jedsadaratanachai, W. (2021). Heat Transfer Potentiality and Flow Behavior in a Square Duct Fitted with Double-Inclined Baffles: A Numerical Analysis. *Modelling and Simulation in Engineering*, vol. 2021, Article ID 9957126, 15 pages.
- [15] Suzuki, K., Tatsumi, K., & Iwai, H. (2003). The Effects of Oblique Discrete Rib Arrangement on Heat Transfer Performance of a Square Duct. *Proceedings of the International Gas Turbine Congress*, Kyoto 666-8501.
- [16] Boonloi, A., & Jedsadaratanachai, W. (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, Pages 226-235.

- [17] Menni, Y., Ameer, H., Yao, S., Amraoui, M., Inc, M., Lorenzini, G., & Ahmad, H. (2021). Computational fluid dynamic simulations and heat transfer characteristic comparisons of various arc-baffled channels. *The journal Open Physics*, ISSN: 2391-5471.
- [18] Menni, Y., Azzi, A. & Zidani, C. (2018) CFD Simulation of Thermo-Aeraulic fields in a channel with multiple baffle plates. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 4, No. 6, pp. 2481-2495.
- [19] วิชาดา เจษฎารัตนชัย, อำนวย บุญลอยม ดำริห์ จันทรแสงสุก และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2555). การศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติสำหรับการไหลราบเรียบความดันตกคร่อมและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มครีปตัววีที่ระยะพิตต์ต่างๆ, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5, เมษายน 2555. จังหวัดเชียงใหม่
- [20] Incropera, P.F., & Dewitt, P.D., & Bergman, L.T., & Lavine, S.A. (2007). Sixth Edition Fundamentals of Heat and Mass Transfer.
- [21] Yunus, A. Çengel., & Afshin, J. (2015). Heat and Mass Transfer Fundamentals & Application, Fifth Edition, 2 Penn Plaza, New York
- [22] Banihani, E., & Assad, M. (2018). Boundary-Layer Theory of Fluid Flow past a Flat-Plate: Numerical Solution using MATLAB. *International Journal of Computer Applications* Vol.180(18)
- [23] ธัญธร ออกกะลา (2553). เอกสารประกอบการเรียนกลศาสตร์ของไหล, สาขาวิศวกรรมชลประทานมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [24] ดุลยโชติ ชลศึกษ์ (2557). การออกแบบระบบท่อทางวิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์