

การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน,
การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER POTENTIALITY,
PRESSURE LOSS AND PERFORMANCE ANALYSIS IN TUBE HEAT
EXCHANGER WITH WAVY-BAFFLE VORTEX GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน,
การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น


NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER POTENTIALITY,
PRESSURE LOSS AND PERFORMANCE ANALYSIS IN TUBE HEAT
EXCHANGER WITH WAVY-BAFFLE VORTEX GENERATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER POTENTIALITY,
PRESSURE LOSS AND PERFORMANCE ANALYSIS IN TUBE HEAT
EXCHANGER WITH WAVY-BAFFLE VORTEX GENERATOR

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are two traditional Thai stupas (chedis) flanking a central, more ornate structure. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' and the text at the bottom reads 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง'.

SAOWALUK PHETWICHAR
NAPAPAT SITTHIPHORN
KANOKPHAN APIRATPRACHA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER POTENTIALITY, PRESSURE LOSS AND PERFORMANCE ANALYSIS IN TUBE HEAT EXCHANGER WITH WAVY-BAFFLE VORTEX GENERATOR

ผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------------------|--------------|----------|
| 1. เสาวลักษณ์ เพชรวิเชียร | รหัสประจำตัว | 61011161 |
| 2. ณปภัช สีทธิพร | รหัสประจำตัว | 61011414 |
| 3. กนกพรรณ อภิรัฐประชา | รหัสประจำตัว | 61011451 |

W Jatsadaratanachai

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น

เสาวลักษณ์	เพชรวิเชียร	61011161
ณภัช	สิทธิพร	61011414
กนกพรรณ	อภิรัฐประชา	61011451

รศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดัน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น โดยทำการจำลองภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิผิววงที่ใช้อากาศเป็นของไหลทำงานในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ค่าเลขเรย์โนลด์มีค่าระหว่าง 100 ถึง 2000 แผ่นกั้นรูปคลื่นที่ใช้ในการทดสอบมีมุมปะทะการไหล (α) เท่ากับ 30 องศา และอัตราส่วนระยะพิทช์ (PR) เท่ากับ 1.0 ซึ่งแผ่นกั้นรูปคลื่นนี้ถูกติดตั้งในท่อกลมสำหรับช่วงทดสอบ ตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ใช้ศึกษาแบ่งออกเป็นสองกรณีคือหนึ่งตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและสองตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อ ทั้งสองกรณีการศึกษานี้จะถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง สองแท่ง และสามแท่งตามลำดับ ซึ่งมีอัตราส่วนการวางกั้นการไหล (b/D) อยู่ในช่วง 0.05 – 0.30 ผลการศึกษาของกรณีทั้งหมดจะทำการเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ โดยทำการเปรียบเทียบผลของท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นจากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการวางกั้นการไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แสดงในรูปแบบของเลขนัสเซลท์, การสูญเสียแรงดันในรูปของตัวประกอบความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อน ผลการวิจัยเบื้องต้นพบว่าตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในขณะที่ตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อมีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ผลของอัตราส่วนการวางกั้นการไหลพบว่าที่อัตราการวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.30 นั้นมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดเท่ากับ 20.08 และอัตราการวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 3.48 ซึ่งกรณีทั้งหมดพิจารณาที่ทิศทางไหลภายในท่อแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ

คำหลัก: แผ่นกั้นรูปคลื่น; ตัวสร้างการไหลปั่นป่วน; การถ่ายเทความร้อน; การจำลองเชิงตัวเลข

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT TRANSFER POTENTIALITY, PRESSURE LOSS AND PERFORMANCE ANALYSIS IN TUBE HEAT EXCHANGER WITH WAVY-BAFFLE VORTEX GENERATOR

SAOWALUK PHETWICHAR 61011161

NAPAPAT SITTHIPHORN 61011414

KANOKPHAN APIRATPRACHA 61011451

Assoc.Prof.Dr. Withada Jedsadaratanachai Advisor

Year 2020

Abstract

This paper presents a numerical simulation of heat transfer potentiality, pressure loss and performance analysis of a circular tube inserted with wavy baffles. The experiment is carried out under the constant surface temperature by varying airflow rates to obtain the Reynolds number from 100 to 2000. The wavy baffles with flow attack angle (α) of 30° and pitch ratio (PR) of 1.0 are inserted in the circular tube to augment heat transfer rate and thermal performance. The influences of baffle locations (on the tube wall and at the middle of the test tube), baffle height to the tube diameter ($b/D = 0.05 - 0.30$), V-bar number (1 – 3 bars) and flow direction on heat transfer and flow structures are studied. The numerical results are reported in terms of streamlines, temperature contours, local Nusselt number contours. The thermal performance of the tested tube is also concluded. The heat transfer rate is plotted in terms of Nusselt number (Nu), while the pressure loss and thermal efficiency are summarized in terms of friction factor (f) and thermal enhancement factor (TEF), respectively. As the numerical results, it is found that the baffle addition leads to higher heat transfer rate due to the thermal boundary layer disturbance. The baffle insertion at the middle of the tested tube provides the maximum heat transfer rate, while the baffle placement on the tube wall gives the best thermal performance. The blockage ratio of 0.30 performs the highest heat transfer rate of about 20.08. Additionally, the best TEF is found to be around 3.48 at $b/D = 0.15$. The air flow direction inside the tube is considered at forward and backward direction for all cases.

Keywords: Wavy-baffles; Vortex generators; Heat transfer; Numerical simulation.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน , การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นเล่มนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.วิชาดา เจษฎารัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสและถ่ายทอดความรู้แก่คณะผู้วิจัย คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงอย่างเอาใจใส่ตลอดระยะการดำเนินงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เคารพทุกท่านที่คอยให้ความรู้ แนวทางการศึกษา และประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้วิจัย

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์เพื่อใช้ในการศึกษา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมกลุ่มในคณะวิจัยที่คอยช่วยเหลือและร่วมมือร่วมใจในการทำงาน และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจเสมอมาจนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมถึงขอขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ที่เป็นส่วนหนึ่งของความสำเร็จทั้งหมด

เสาวลักษณ์ เพชรวิเชียร
ณปภัช สิทธิพร
กนกพรธณ อภีรัฐประชา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	16
3.1 สมการควบคุมและสมมติฐาน.....	16
3.2 สมการตัวแปรที่เกี่ยวข้อง.....	17
3.3 สมการควบคุมการไหลและการถ่ายเทความร้อน.....	18
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	19
4.1 กำหนดเงื่อนไขขอบในการคำนวณการไหลสามมิติ.....	19
4.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา.....	19
4.3 การกำหนดลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษา.....	19
4.3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	19
4.4 การตรวจสอบขอบเขตการคำนวณ (Computation Domain).....	22
4.4.1 การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระ (Grid Independence).....	22
4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการศึกษาโครงการสร้างการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อน	24
5.1 โครงการสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อน	24
5.1.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น	24
5.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	27
5.1.3 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ	30
5.1.4 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น	33
5.2 สมรรถนะเชิงความร้อน	35
5.2.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น	35
5.2.2 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ	42
5.2.3 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น	48
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	57
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	57
6.1.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น	57
6.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	57
6.1.3 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ	57
6.1.4 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น	58
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของอากาศ.....	64

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์, หน่วย และค่าของตัวแปรต่างๆXI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4.1	โครงสร้างแบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววี.....	20
รูปที่ 4.2	แบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อซึ่งถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง.....	20
รูปที่ 4.3	แบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อซึ่งถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง.....	21
รูปที่ 4.4	จำนวนกริดอิสระที่มีผลต่ออัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 ในทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า.....	22
รูปที่ 4.5	จำนวนกริดอิสระที่มีผลต่อตัวประกอบความเสียดทาน ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 ในทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้า.....	22
รูปที่ 5.1	เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ.....	24
รูปที่ 5.2	การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 600, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ.....	25
รูปที่ 5.3	การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ.....	26
รูปที่ 5.4	เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	27

รูปที่ 5.5	การกระจายตัวของอนุกรมในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง, ทิศทางการไหลไปข้างหน้า และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	28
รูปที่ 5.6	การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	29
รูปที่ 5.7	เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ.....	30
รูปที่ 5.8	การกระจายตัวของอนุกรมในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1000, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ.....	31
รูปที่ 5.9	การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ.....	32
รูปที่ 5.10	เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง	33
รูปที่ 5.11	การกระจายตัวของอนุกรมในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1200, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ สำหรับจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง	34
รูปที่ 5.12	การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซิลท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1200, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 25 สำหรับแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง	35

รูปที่ 5.13	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัยเซลล์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและตรงกลางหน้าตัดท่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30.....	36
รูปที่ 5.14	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและตรงกลางหน้าตัดท่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30.....	38
รูปที่ 5.15	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและตรงกลางหน้าตัดท่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30.....	40
รูปที่ 5.16	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัยเซลล์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	42
รูปที่ 5.17	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	44
รูปที่ 5.18	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30.....	46

- รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัยเซลล์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 3048
- รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 3051
- รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 3054

รายการสัญลักษณ์

ตัวแปร	สัญลักษณ์/หน่วย	ค่า
อุณหภูมิผิว	T_w /เคลวิน	310
อุณหภูมิอากาศที่ไหลภายในท่อ	T_m /เคลวิน	300
ความหนาแน่นอากาศ	ρ /กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	1.1614
ความร้อนจำเพาะ	c_p /จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน	1007
ความหนืด	η /กิโลกรัมต่อเมตรต่อวินาที	$1.846e^{-05}$
พื้นที่หน้าตัดท่อหน่วยย่อย	A /ตารางเมตร	1
ความยาวท่อหน่วยย่อย	L /เมตร	0.05
ความเร็วทางเข้า	U_{in} /เมตรต่อวินาที	1
เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	D /เมตร	0.05
มุมปะทะการไหล	α /องศา	30
ความหนาของครีป	b /เมตร	$0.025D$
อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล	b/D	0.05 – 0.3
ระยะพิตช์ของท่อ	P /เมตร	0.05
เลขนัสเซิลท์ของท่อกลมเปล่า	Nu_0 /-	3.66

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์, หน่วย และค่าของตัวแปรต่างๆ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานความร้อนเป็นพลังงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่และขนาดย่อม กระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูงในอดีตจะมีความร้อนส่วนหนึ่งที่ถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยเปล่าประโยชน์ จึงมีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลากหลายประเภทมาประยุกต์ใช้เพื่อนำความร้อนดังกล่าวกลับมาใช้ในระบบ และเป็นการใช้พลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะเห็นได้ว่าการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมมีการแข่งขันสูง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพโดยใช้ต้นทุนการผลิตอย่างคุ้มค่าที่สุด ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่เสมอจึงสำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลา การพัฒนาศักยภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ดียิ่งขึ้น เหมาะสมต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม และสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอดีตที่ผ่านมา มีผู้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการปรับปรุงรูปแบบของครีบ ความสูงและการวางตัวของครีบ มุมปะทะการไหลที่ผิวครีบ การติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วน รวมถึงรูปแบบและการวางตัวของท่อ การวิจัยนี้จะกล่าวถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell-and-tube) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้จะมีของไหลชนิดหนึ่งไหลอยู่ในท่อและของไหลอีกชนิดหนึ่งอยู่ในเปลือก มีการจับยึดระหว่างผนังกับท่อโดยใช้แผ่นกั้น วิธีที่นิยมใช้ในการพัฒนาคือ การเพิ่มพื้นที่ผิวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนและการปรับปรุงตัวสร้างการไหลปั่นป่วน

ในการติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น ผู้ทำการศึกษาวิจัยเห็นถึงความสำคัญของอิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น, อิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล, อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แสดงในรูปแบบของเลขนัสเซลท์ (Nu), การสูญเสียแรงดันในรูปของตัวประกอบความเสียดทาน (f) และสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งส่งผลต่อศักยภาพการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จึงเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่จะหาค่าที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้และพัฒนาปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดันและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น มีวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

1.3.2 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ซึ่งประกอบด้วยท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร ที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น ดังนี้

- แผ่นกั้นรูปคลื่นติดตั้งที่ด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ

อัตราส่วนการวางกั้นการไหล (b_1/D) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3

- แผ่นกั้นรูปคลื่นติดตั้งที่ตรงกลางหน้าตัดท่อ

อัตราส่วนการวางกั้นการไหล (b_2/D) = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3

ทั้งสองกรณีการศึกษาจะมีอัตราส่วนระยะพิทช์ ($PR=P/D$) = 1.0 และถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่งตามลำดับ

1.3.3 มุมปะทะการไหล (α) = 30°

1.3.4 จำลองภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังท่อมี่ค่าคงที่

1.3.5 ของไหลที่ใช้ในการทดสอบคืออากาศ

1.3.6 ความเร็วของอากาศอยู่ในช่วงการไหลราบเรียบที่ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) ระหว่าง 100 ถึง 2000

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ

1.4.2 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอัตราการถ่ายเทความร้อน การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน และการลดความดันสูญเสีย

1.4.3 กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขต และวางแผนขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.4 ศึกษาและฝึกฝนการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย
- 1.4.5 สร้างแบบจำลองตามกรณีต่างๆ ที่กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา
- 1.4.6 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- 1.4.7 บันทึกและวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้จากแบบจำลอง
- 1.4.8 สรุปผลการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังน้ำเย็น และในอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำมัน ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ จึงต้องการวิจัยและพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน และการลดความดันสูญเสียของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ เป็นต้น ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาพบว่ามีผู้ทำการวิจัยหลายท่านที่ศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงรูปแบบของครีบอก ความสูงของครีบอก การวางตัวของครีบอก มุมปะทะการไหลที่ผิวครีบอก การติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดต่างๆ เข้าไปภายในท่อ การวางตัวของท่อ รูปร่างของท่อ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนเป็นวิธีที่ผู้ทำวิจัยนิยมนำมาใช้ในการศึกษาและพัฒนาการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงรูปร่างของตัวสร้างการไหลปั่นป่วน ขนาดของตัวสร้างการไหลปั่นป่วน หรือการวางตัวของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่แตกต่างกัน ล้วนมีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสิ้น ซึ่งที่ผ่านมาผู้ทำวิจัยเลือกใช้วิธีการศึกษาทั้งวิธีการทดลอง การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และการสร้างแบบจำลองในการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

Zhai et al. [1] ทำการวิจัยเรื่อง “The effect of delta winglet vortex generator (DWVG) pairs on the thermal and fluidic behavior in a circular tube” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมแบบคู่ต่อพฤติกรรมทางความร้อนและของไหลในท่อกลม พวกเขาพบว่าค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดสำหรับตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมแบบคู่นั้นมีค่ามากกว่าท่อเรียบถึงร้อยละ 73 ในขณะที่ค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) นั้นเพิ่มขึ้น 2.5 เท่า และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) มีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) เพิ่มขึ้น โดยค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 1.44 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5000 เมื่อเทียบกับตัวสร้างการไหลปั่นป่วนประเภทอื่นๆ ในงานวิจัยที่ตีพิมพ์แล้ว การทดลองคู่ตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมในปัจจุบันมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Promvong et al. [2] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical heat transfer in a solar air heater duct with punched delta-winglet vortex generators” เป็นการศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในท่อของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมที่มีการเจาะรู ซึ่งมีระยะพิทซ์สัมพันธ์ (PR) เท่ากับ 1 ถึง 2 และขนาดรูเจาะสัมพันธ์ (DR) เท่ากับ 0 ถึง 0.583 ที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (b/D) เท่ากับ 0.48 ที่มีมุมปะทะการไหล (α) เท่ากับ 30 องศา สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4000 ถึง 24,000 พบว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมแบบเจาะรู ให้ค่าเลขนัสเซลท์ และค่าตัวประกอบความเสียดทานมากกว่าแผ่นเรียบธรรมดา 17.1 ถึง 18.21 เท่า และ 3.92 ถึง 5.9 เท่า ตามลำดับ และให้สมรรถนะสูงสุดประมาณ 2.1 ต่อมาปีกสามเหลี่ยมแบบเจาะรูได้รับการแก้ไขโดยการปิดรูที่เจาะไว้บางส่วนด้วยแผ่นปิดทรงกลม เรียกว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกสามเหลี่ยมแบบปีกนก ซึ่งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดนี้จะให้สมรรถนะสูงสุดประมาณ 2.16 ซึ่งสูงกว่าชนิดปีกสามเหลี่ยมแบบเจาะรูประมาณร้อยละ 2.9

Dogan and Igci [3] ทำงานวิจัยเรื่อง “An experimental comparison of delta winglet and novel type vortex generators for heat transfer enhancement in a rectangular channel and flow visualization with stereoscopic PIV” ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดใหม่กับคู่ปีกสามเหลี่ยม ในแง่ของการปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการทดลอง โดยวางตัวสร้างการไหลปั่นป่วนไว้ที่พื้นผิวด้านล่างของช่องสี่เหลี่ยมและกำหนดพื้นที่ที่คาดการณ์ของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนของแต่ละเครื่องให้เท่ากัน พบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน มีค่าสูงที่สุดสำหรับคู่ปีกสามเหลี่ยมและตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดใหม่อยู่ที่ประมาณ 1.15 และ 1.34 ตามลำดับ

Zhang et al. [4] ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “the effect of the configuration of parallel winglet vortex generators (P-RWVGs) and V-shaped winglet vortex generators (V-RWVGs) on the enhancement of turbulent heat transfer in circular tubes” โดยศึกษาเกี่ยวกับผลของการกำหนดค่าของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกขนาน และตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปตัววี ในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อกลม จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนความยาวของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีก มีส่วนทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมและการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น สำหรับทั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกขนาน และตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปตัววี โดยค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความต้านทานการไหลของท่อที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกขนานมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 54 ถึง 118 และร้อยละ 152 ถึง 568 ตามลำดับ และค่าที่อัตราการถ่ายเทความร้อนและความต้านทานการไหลของท่อที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปตัววีเท่ากับร้อยละ 60 ถึง 118 และร้อยละ 141 ถึง 644 ตามลำดับ นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยรวมของท่อที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกขนาน และตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปตัววียังเพิ่มขึ้นตามความดันตกคร่อมอีกด้วย โดยรวมแล้วทั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกขนานที่มีอัตราส่วนความยาว (LR) เท่ากับ 0.2 และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 75 องศา และตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปตัววีที่มีอัตราส่วนความยาวเท่ากับ 0.2 และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 45 องศา แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะทางความร้อนที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันตกคร่อมเดียวกัน

Promvong and Skullong [5] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “The influence of V-shaped winglet vortex generators (V-WVGs) inserted into a constant heat flux tube on thermal characteristics” เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนรูปตัววีที่สอดเข้าไปในท่อพลั๊กความร้อนคงที่ต่อคุณลักษณะทางความร้อน โดยให้ปีกรูปตัววีสี่เหลี่ยมและปีกสามเหลี่ยม ถูกติดตั้งเป็นระยะทั้งสองด้านของท่อชนิดตรง ก่อนที่จะสอดเข้าไปในท่อด้วยระยะพิตซ์สัมพันธ์ของปีกสี่ระยะ คือ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 และมีอัตราส่วนการวางกั้นการไหลของปีกสามตัว คือ 0.1, 0.15 และ 0.2 ที่มุมปะทะคงที่เท่ากับ 45 องศา พบว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกสามเหลี่ยมมีค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่วง 1.82 ถึง 2.0 หรือประมาณร้อยละ 3 ซึ่งมากกว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนรูปตัววีสี่เหลี่ยม ซึ่งถือว่าเป็นจุดเหมาะสมที่สุดที่อัตราส่วนการวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 และระยะพิตซ์สัมพันธ์เท่ากับ 1

Modi and Rathod [6] ได้ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิจัยเรื่อง “The thermal fluid analysis of finned tube compact heat exchangers with sinusoidal wavy and elliptical curve type of rectangular winglet vortex generator (RWVG)” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ของไหลความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขนาดเล็กที่มีครีบบนผิวและรูปโค้งวงรีของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีก พวกเขาทำการเปรียบเทียบ Common-flow-down (CFD) ที่แตกต่างกันของปีกแบบคลื่นหยักขึ้น, คลื่นหยักลง, โค้งขึ้น, โค้งลง และทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบนด้วยการกำหนดค่าพื้นฐานที่ต่างกัน พวกเขาพบว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกแบบคลื่นมีการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการกำหนดค่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกอื่นๆ ที่พิจารณา อย่างไรก็ตามปีกแบบคลื่นหยักขึ้น มีค่า j/f ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับค่าอื่น และปีกโค้งลงมีค่า j/f ที่สูงกว่าค่าอื่นๆ

Gupta et al. [7] ทำงานวิจัยเรื่อง “The effect of punching a rectangular winglet having hole from fin surface, on the heat transfer and flow resistance characteristics in a finned tube heat exchanger” เป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเจาะรูปีกสี่เหลี่ยมจากผิวครีบบนต่อการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการต้านทานการไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อครีบบน

พวกเขาพบว่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ปีกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเจาะรูในลักษณะการไหลขึ้นที่ตำแหน่งทวนน้ำนั้นสูงกว่าปีกนกที่ไม่เจาะรูในรูปแบบและตำแหน่งเดียวกันถึงร้อยละ 34

Modi et al. [8] ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการศึกษาวิจัยเรื่อง “The thermal performance enhancement of finned tube heat exchangers (FTHEs) using rectangular winglet vortex generators with circular punched holes (1, 2, 4, and 6 holes)” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อครีบ โดยการใช้ตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่มีรูเจาะวงกลม 1, 2, 4 และ 6 รู โดยการเปรียบเทียบระหว่างตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่มีการเจาะรูกับไม่มีการเจาะรู พบว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่มี 6 รู มีค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 45.95 และ 57.37 สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ 400 และ 2000 ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงร้อยละ 13.81 ดังนั้นตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมที่มีการเจาะรู 6 รู ถูกพบว่าดีกว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกรูปสี่เหลี่ยมกรณีอื่นๆ ที่พิจารณา

Jedsadaratanachai et al. [9] ทำการวิจัยเรื่อง “3D numerical study on flow structure and heat transfer in a circular tube with V-baffles” เป็นการศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข 3 มิติเกี่ยวกับโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี ซึ่งศึกษาลักษณะการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 100 ถึง 2000 เพื่อสร้างการไหลปั่นป่วนตามยาวไหลผ่านส่วนที่ทดสอบ โดยให้แผ่นกั้นรูปตัววีที่มีมุมปะทะเท่ากับ 45 องศาถูกติดตั้งแบบเรียงคู่และอยู่ในแถวตรงในตำแหน่งตรงข้ามของท่อกลม พบว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์ และค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้น ผลการศึกษาพบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมคือประมาณ 3.20 ที่ความสูงของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.20 และเท่ากับ 0.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สำหรับแผ่นกั้นรูปตัววีที่ตำแหน่งทวนน้ำ และแผ่นกั้นรูปตัววีที่ตำแหน่งตามน้ำตามลำดับ

Promvong and Skullong [10] ทำงานวิจัยเรื่อง “Augmented heat transfer in tubular heat exchanger fitted with V-baffled tapes” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่ยึดติดด้วยเทปแผ่นกั้นรูปตัววี เพื่อศึกษาผลของการใส่เทปแบบตรงที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีสองด้านเพื่อใช้เป็นตัวสร้างการไหลปั่นป่วนตามยาวบนพฤติกรรมพาความร้อนแบบปั่นป่วนในท่อพลักซ์ความร้อนคงที่ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ 4120 ถึง 25,800 พบว่าการใช้เทปรูปตัววีซึ่งลงโดยทั่วไปจะให้การถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความเสียดทาน และสมรรถนะทางความร้อนสูงกว่าเทปรูปตัววีซึ่งขึ้น และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของเทปรูปตัววีซึ่งลงอยู่ที่ประมาณ 2.07 ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 1.0 ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วสูงกว่าเทปรูปตัววีซี่ขึ้นที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.04 ประมาณร้อยละ 1.4

Jedsadaratanachai and Boonloi [11] ทำงานวิจัยเรื่อง “Effects of blockage ratio and pitch ratio on thermal performance in a square channel with 30° double V-baffles” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับผลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและอัตราส่วนพิทช์ต่อประสิทธิภาพทางความร้อน ในช่องสี่เหลี่ยมด้วยคูแผ่นกั้นรูปตัววีที่ทำมุม 30 องศา พบว่าการใช้คูแผ่นกั้นรูปตัววีให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันมากกว่าในท่อเรียบที่ไม่มีแผ่นกั้น ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลและการลดอัตราส่วนพิทช์นั้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มมากขึ้น โดยค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมที่สุดพบว่าอยู่ที่ประมาณ 3.2 ที่อัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 1 อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.10 และค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 1200

Promvong and Skullong [12] ทำงานวิจัยเรื่อง “Enhanced thermal performance in tubular heat exchanger contained with V-shaped baffles” โดยศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่ประกอบด้วยแผ่นกั้นรูปตัววี ซึ่งการทดลองดำเนินการโดยการปล่อยอากาศผ่านหลอดทดลองในค่าเลขเรย์โนลด์ช่วง 4192 ถึง 25,750 จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานและการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นกั้นรูปตัววีเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่ออัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนพิทช์ลดลง นอกจากนี้แผ่นกั้นรูปตัววีที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 0.5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานและอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมากกว่าท่อธรรมดาประมาณ 18.25 และ 4.46 เท่าตามลำดับ และพบว่าค่าสูงสุดสำหรับแต่ละกรณีปรากฏที่ค่าเลขเรย์โนลด์ที่ต่ำที่สุด โดยค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมที่สุดคือ 2.34 ซึ่งปรากฏที่อัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15

Promvong et al. [13] ทำงานวิจัยเรื่อง “Experimental and numerical heat transfer study of turbulent tube flow through discrete V-winglets” เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนเชิงทดลองและเชิงตัวเลขของการไหลของท่อปั่นป่วนผ่านปีกรูปตัววีแบบแยกส่วน พวกเขาพบว่าที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่กำหนดคือ 0.1, 0.15 และ 0.2 อัตราส่วนพิทช์ที่น้อยที่สุดคือ 0.5 จะให้ค่าตัวประกอบความเสียดทาน และค่าเลขนัสเซลท์สูงสุด ในขณะที่ปีกรูปตัววีแบบแยกส่วนที่มีอัตราส่วนกั้นเท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 0.5 มีค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุดประมาณ 3.8 เท่าและ 18.8 เท่าตามลำดับ ในขณะที่ตัวที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 และอัตราส่วนพิทช์เท่ากับ 1.0 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนสูงสุดที่ประมาณ 1.99 และ 2.02 สำหรับปีกรูปตัววีขึ้น และปีกรูปตัววีลงตามลำดับ นอกจากนี้ปีกรูปตัววีแบบแยกส่วน ยังให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าปีกรูปตัววีทั่วไป

Promvonge and Skullong [14] ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง “Heat transfer in a tube with combined V-winglet and twin counter-twisted tape” เป็นการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนไฮดรอลิกในหลอดพลังความร้อนคงที่ซึ่งแทรกด้วยเทปบิดเกลียวคู่ที่ติดปีกรูปตัววี โดยอากาศถูกใช้เป็นของไหลทดสอบและไหลเข้าสู่ท่อในบริเวณที่มีการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งศึกษาที่ค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 5300 ถึง 24,000 และใช้อุปกรณ์เทปบิดแบบคู่ที่มีอัตราส่วนการบิดที่เท่ากันถูกรวมเข้ากับปีกสี่เหลี่ยมรูปตัววีที่ทำมุม 30 องศา ที่ติดตั้งบนขอบเทป (ต่อไปนี้จะเรียกว่า "VW-CTT") พวกเขาพบว่า VW-CTT สามารถเพิ่มค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขนัสเซลท์ได้มากกว่าท่อเรียบเพียงอย่างเดียว การใช้ VW-CTT ทำให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 1.56 ถึง 2.3 เท่าของท่อแบบธรรมดา ในขณะที่ค่าตัวประกอบความเสียดทานอยู่ที่ประมาณ 2.63 ถึง 5.76 เท่า ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ซึ่ง VW-CTT ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.09 มีสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดที่ประมาณ 1.76 สำหรับกำลังสูบที่เท่ากัน

Krishnaswamy and Sivan [15] ทำงานวิจัยเรื่อง “Improvement in thermal hydraulic performance by using continuous V and W-Shaped rib turbulators in gas turbine blade” ใช้เครื่องสร้างความปั่นป่วนที่มีครีบริบรูปตัววีและรูปตัวดับเบิลยูอย่างต่อเนื่องในการใช้ในการระบายความร้อนด้วยใบพัดกังหันก๊าซ พวกเขาพบว่าอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุดสำหรับ ครีบริบรูปตัววีและครีบริบตัวดับเบิลยู คือ 3.9 และ 3.8 ตามลำดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนตลอดช่วงการไหลสูงขึ้นสำหรับครีบริบรูปตัววีและครีบริบตัวดับเบิลยูตามลำดับ และในทั้งสองกรณีพบว่าอิทธิพลของครีบริบต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน พบว่ามีค่าสูงสุดที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 40,000 และค่าสมรรถนะไฮดรอลิกทางความร้อนที่สูงที่สุดของครีบริบรูปตัววี และครีบริบตัวดับเบิลยูคือ 3.3 และ 3 ตามลำดับ

Promvonge [16] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “Heat transfer and pressure drop in a channel with multiple 60° V-baffles” ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและแรงดันตกในช่องที่มีแผ่นกั้นตัววีที่มีมุม 60 องศาหลายตัว เขาพบว่าแผ่นกั้นรูปตัววีให้ค่าเลขนัสเซลท์ ค่าตัวประกอบความเสียดทาน และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งมีค่ามากกว่าในกรณีช่องผนังเรียบ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลหรือลดค่าอัตราส่วนพิตช์ ซึ่งผลการประเมินสมรรถนะการระบายความร้อนของช่องแผ่นกั้นรูปตัววี ที่ค่าอัตราส่วนพิตช์เท่ากับ 1 และ ค่าอัตราส่วนการขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กั้นการไหลเท่ากับ 0.10 จะทำให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1.87 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ที่ต่ำกว่า

Liang et al. [17] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical investigation of heat transfer and flow characteristics of laminar flow in a tube with center-tapered wavy-tape insert” เป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลแบบราบเรียบในท่อกลมที่มีการแทรกเทปแบบ “center-tapered wavy” เข้าไปภายในท่อ ถูกพบว่าเทปแบบ “center-tapered wavy” มีอิทธิพลอย่างมากต่อการลดความต้านทานการไหลและการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมสำหรับการสร้างโครงสร้างการไหลและสนามอุณหภูมิที่คล้ายกันภายในท่อที่มีการรบกวนเล็กน้อยที่บริเวณแกนกลาง จากการศึกษาพบว่าค่าตัวเลขนัสเซลท์ที่ดีที่สุดเพิ่มขึ้นได้ถึง 5.23 ถึง 8.99 เท่า และสามารถปรับปรุงเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้ถึง 2.62

Wang et al. [18] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical predictions on heat transfer and flow characteristics in a straight channel with different geometric parameters wavy ribs” เป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลในช่องตรงที่มีพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของครีบริบที่ต่างกัน โดยให้ความสูงของครีบริบเท่ากับ $e - 3e$, รัศมีรอบวงครีบริบเท่ากับ 0 ถึง 5 มิลลิเมตร และมุมครีบริบเท่ากับ 20 ถึง 55 องศา และให้ค่าเลขเรย์โนลด์ที่ใช้ในการศึกษาอยู่ที่ 25,000 และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของช่องเท่ากับ 1 ต่อ 1 พบว่าความสูงของครีบริบเป็นปัจจัยเด่นชัดในการปรับปรุงการถ่ายเทความร้อน ในขณะที่รัศมีรอบวงครีบริบ และมุมของครีบริบส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้เพื่อลดการสูญเสียความเสียดทาน ความสูงของครีบริบที่สูงๆและรัศมีรอบวงครีบริบที่มีขนาดใหญ่ สามารถเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน และลดการสูญเสียความเสียดทานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันครีบริบหลังจากได้รับการออกแบบที่เหมาะสมนั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าครีบริบตัวที่มีมุมเท่ากับ 45 องศา ในกรณีที่มีความเสียดทานเท่ากัน

Yu et al. [19] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical study on turbulent heat transfer performance of a new parallel flow shell and tube heat exchanger with sinusoidal wavy tapes using RSM analysis” ซึ่งเป็นการศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแบบป้อนป้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อที่มีการไหลขนานแบบใหม่ด้วยเทปรูปคลื่นไซน์ โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (RMS) พวกเขาพบว่าเทปหัยกรูปคลื่นไซน์ทำให้เกิดการไหลของของไหลในลักษณะที่เป็นคลื่นและทำให้เกิดกระแสน้ำหมุนวนตามยาวที่แตกต่างกันมากกว่าแผ่นกั้นแบบแท่งกลมทั่วไป ซึ่งในช่วงที่ทำการตรวจสอบพบว่าค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ย, ความเสียดทาน และเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ (PEC) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อที่มีแผ่นกั้นหนีบและเทปรูปคลื่นไซน์ (STHX-CPBSWT) คือร้อยละ 2.2, 25.2 และ 0.5 ซึ่งมากกว่าค่าของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อที่มีแผ่นกั้นหนีบและขดลวดตัดขวางรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (STHX-CPBETWC) ตามลำดับ

Zhang et al. [20] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “Performance evaluation of flow resistance and ultrafine particle deposition enhancement in an air duct equipped with V-Shaped winglet vortex generators” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพการต้านทานการไหลและการเพิ่มการสะสมของอนุภาคขนาดเล็กมากในท่อลมที่ติดตั้งตัวสร้างปั่นป่วนชนิดปีกรูปตัววี พวกเขาพบว่าการเพิ่มการสะสมของอนุภาคสูงสุดในท่อที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกรูปตัววี คือ 11.4 เท่าของท่อเปล่า ได้ค่าอัตราส่วนพิทซ์เท่ากับ 0.2 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.6 โดยอัตราส่วนของค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกรูปตัววีต่อท่อเปล่าคือ 1.57 ถึง 3.84 สำหรับการไหลแบบราบเรียบและ 1.25 ถึง 1.99 สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน และการสะสมของอนุภาคต่อดัชนีประสิทธิภาพไฮดรอลิก เปลี่ยนแปลงจาก 1.5 ถึง 9.3 และมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนพิทซ์เท่ากับ 2.0, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.6 และค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 520

Promvong et al. [21] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “Thermal behaviors in heat exchanger channel with V-shaped ribs and grooves” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมทางความร้อนในช่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีบบและร่องรูปตัววี โดยให้อากาศเป็นของไหลที่ใช้ในการทดสอบไหลผ่านช่องของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5300 ถึง 23,000 พวกเขาพบว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีการรวมกันของครีบบและร่องที่มีค่าระยะพิทซ์สัมพัทธ์ของร่องน้อยๆ และค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลมากๆ ทำให้การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความเสียดทานมีค่าสูงกว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีการรวมกันของครีบบและร่องที่มีค่าระยะพิทซ์สัมพัทธ์ของร่องมากๆ และค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลน้อยๆ อย่างไรก็ตามค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากกำลังการปั๊มคงที่แสดงให้เห็นว่าตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีการรวมกันของครีบบและร่องในกรณีที่มีค่าระยะพิทซ์สัมพัทธ์เท่ากับ 1.5 และค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.4 ให้ค่าสูงที่สุดประมาณ 1.907 ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อลดความหนาของครีบบให้กลายเป็นครีบบางมากๆ ที่เรียกว่าแผ่นกั้นนั้น พบว่าที่ค่าระยะพิทซ์สัมพัทธ์เท่ากับ 1.5 และแผ่นกั้นแบบร่องที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนประมาณ 2.12, 2.14 และ 2.11 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแผ่นกั้นแบบร่องมีประสิทธิภาพดีกว่าครีบบแบบร่องถึงร้อยละ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Promvong et al. [22] ทำงานวิจัยเรื่อง “Thermal performance augmentation in round tube with louvered V-winglet vortex generator” เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในท่อกลมด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีปีกบานเกล็ดรูปตัววี สำหรับการศึกษานี้อากาศถูกใช้เป็นของไหลทำงานที่ไหลเข้าสู่ท่อทดลองที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 4200 ถึง 25,800 กำหนดให้ค่าตัวแปรของปีกแตกต่างกันสามค่าคือระยะพิชสัมพัทธ์เท่ากับ 0.5 ถึง 1.5 ทั้งหกบานเกล็ดมีมุม (θ) เท่ากับ 10 องศา ถึง 90 องศา ที่ความสูงสัมพัทธ์เท่ากับ 0.2 และมีมุมปะทะเท่ากับ 30 องศา พวกเขาพบว่าท่ามกลางตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีปีกบานเกล็ดรูปตัววี ในกรณีที่ระยะพิชสัมพัทธ์เท่ากับ 0.5 และบานเกล็ดมุมเท่ากับ 10 องศา ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและค่าเลขนัสเซลล์ท์สูงสุด นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนไฮดรอลิกที่มีค่าสูงสุดที่เกิดจากตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีปีกบานเกล็ดรูปตัววีมีค่าประมาณ 2.48 ที่ระยะพิชสัมพัทธ์เท่ากับ 1 และมุมบานเกล็ดเท่ากับ 30 องศา

Wu et al. [23] ทำงานวิจัยเรื่อง “Thermo-hydraulic performance and exergy analysis of a fin-and-tube heat exchanger with sinusoidal wavy winglet type vortex generators” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะทางความร้อนไฮดรอลิกและการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีปและท่อด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดปีกรูปคลื่นไซน์ โดยใช้การจำลองด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสามมิติในการดำเนินการ เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของเทอร์โมไฮดรอลิกทางด้านอากาศด้วยค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 1027 ถึง 2054 พบว่าช่วงของอัตราส่วนตัวเลขนัสเซลล์ท์และอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานในการศึกษานี้คือ 1.09 ถึง 1.52 และ 1.09 ถึง 2.31 ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นการประเมินระดับของพลังงานและการสำรวจการสูญเสียที่ย้อนกลับไม่ได้ในระหว่างกระบวนการถ่ายเทความร้อนก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน โดยคำนึงถึงกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ และการกระจายความร้อนสามารถลดลงได้ถึงร้อยละ 5.85 เมื่อเทียบกับครีปธรรมดาจากมุมมองของการวิเคราะห์เอ็กเซอร์ยี

Boonloi and Jedsadaratanachai [24] ทำงานวิจัยเรื่อง “Turbulent forced convection in a heat exchanger square channel with wavy-ribs vortex generator” เป็นการศึกษาการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในช่องสี่เหลี่ยมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบครีปรูปคลื่นโดยให้อิทธิพลของมุมปะทะการไหลของครีปรูปคลื่นเท่ากับ 30 องศา และ 45 องศา อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.05 ถึง 0.25 และมีอัตราส่วนพิชเท่ากับ 1 ถูกนำมาวิจัยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 3000 ถึง 20,000 ซึ่งในการวิจัยนี้วิธีไฟไนต์วอลุ่มและอัลกอริทึมอย่างง่ายถูกนำมาใช้กับการจำลองด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข พบว่าการใช้ครีปรูปคลื่นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความเสียดทานสูงกว่าในช่องเรียบ การปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอยู่ที่

ประมาณ 1.97 ถึง 5.14 และ 2.04 ถึง 5.27 เท่าของช่องแบบเรียบสำหรับมุมปะทะ 30 องศา และ 45 องศาตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าการสูญเสียความเสียดทานสำหรับมุมปะทะ 30 องศา และ 45 องศา มีค่าสูงกว่าช่องสี่เหลี่ยมแบบเรียบประมาณ 4.26 ถึง 86.55 และ 5.03 ถึง 97.98 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การเพิ่มความร้อนที่เหมาะสมที่สุดในทั้งสองกรณีพบได้ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.10 และค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำสุดเท่ากับ 3000 มีค่าประมาณ 1.47 และ 152 สำหรับครีบริปูปลิ้น 30 องศา และ 45 องศา ตามลำดับ

Luo et al. [25] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “Thermo-hydraulic performance optimization of wavy fin heat exchanger by combining delta winglet vortex generators” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของเทอร์โมไฮดรอลิกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบริปูปลิ้น โดยการรวมกับตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบปีกสามเหลี่ยม พวกเขาพบว่าสัมประสิทธิ์ด้านประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่มากที่สุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.4 อันเนื่องมาจากการผสมผสานของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนและครีบริปูปลิ้น ซึ่งมุมปะทะที่เหมาะสมที่สุดของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ครีบริปูปลิ้น เท่ากับ 45 องศา

Boonloi and Jedsadaratanachai [26] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical assessments of flow pattern and heat transfer profile for the round tube equipped with different configurations of the dual-inclined baffle” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของรูปแบบการไหลและรูปแบบการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าท่อเรียบ เนื่องจากการสร้างกระแสน้ำวนและกระแสนวน ลักษณะการไหลที่แตกต่างกันจะถูกตรวจพบเมื่อมีการเปลี่ยนประเภทแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ที่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงของลักษณะการถ่ายเทความร้อน นอกจากนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งกับแผ่นกั้นแบบเอียงคู่มีค่าสูงกว่าท่อธรรมดาประมาณ 1.03 ถึง 17.46 เท่า ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ การกั้นแผ่นกั้นเอียงคู่ และค่าเลขเรย์โนลด์ และยังพบค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.70 สำหรับแผ่นกั้นแบบเอียงคู่ประเภทที่สอง ที่ความสูงแผ่นกั้นต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ท่อเท่ากับ 0.25 และค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000

Xiao et al. [27] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “A novel wavy-tape insert configuration for pipe heat transfer augmentation” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อด้วยการแทรกเทปครีบริปูปลิ้นแบบใหม่เข้าไป โดยดำเนินการจำลองแบบเต็มรูปแบบในเขตทางเข้าทางความ

ร้อนภายใต้เงื่อนไขสภาวะอุณหภูมิคงที่ ด้วยค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 200 ถึง 2000 พวกเขาพบว่า อัตราส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยรวมสูงสุดของเทปรูปคลื่นที่แทรกเข้าไป เพิ่มขึ้นเป็น 1.82 และยังพบว่าเทปรูปคลื่นที่แทรกเข้าไปนั้นแสดงประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าแบบอื่นๆ ในระบบการไหลแบบราบเรียบ

Salhi et al. [28] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical study of the thermo-energy of a tubular heat exchanger with longitudinal baffles” ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เพื่อศึกษาพลังงานความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาว การศึกษานี้ ดำเนินการสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 2×10^4 ถึง 3×10^4 ในขั้นแรกศึกษากรณีของท่อเรียบ (ไม่มีแผ่นกั้น) จากนั้นศึกษากรณีของท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาวที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยม และกรณีสุดท้ายคือท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาวที่มีหน้าตัดรูปสามเหลี่ยม พบว่าท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อนได้ร้อยละ 32.37 สำหรับท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาวที่มีหน้าตัดรูปสามเหลี่ยม และร้อยละ 44.37 สำหรับกรณีของท่อที่มีแผ่นกั้นตามยาวที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยม

Fawaz et al. [29] ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical investigation of fully developed periodic turbulent flow in a square channel fitted with 45° in-line V-baffle turbulators pointing upstream” เป็นการศึกษาด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิจัยการไหลปั่นป่วนในช่วงระยะเวลาที่พัฒนาอย่างเต็มที่ในช่องสี่เหลี่ยมที่ติดตั้ง แผ่นกั้นรูปตัววีในแนวทำมุม 45° องศาของตัวสร้างความปั่นป่วนที่จุดต้นน้ำ พวกเขาพัฒนาการไหลปั่นป่วนและลักษณะความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานที่ค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5000 ถึง 25,000 ผลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.2, 0.4 และ 0.6 และอัตราส่วนพิทช์ของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 ต่อพฤติกรรมของการไหลและการถ่ายเทความร้อน พวกเขาพบว่าแผ่นกั้นรูปตัววีที่จุดต้นน้ำ ทำให้อัตราค่าเลขนัสเซลท์สูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่สูงขึ้น หรืออัตราส่วนพิทช์ที่ต่ำกว่า ส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนการขวางกั้นการไหลลดลงเท่ากับ 0.2 ซึ่งให้ค่าเท่ากับ 0.78 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 5000 นอกจากนี้ค่าของอัตราส่วนพิทช์ที่มีค่าต่ำเท่ากับ 0.5 ยังส่งผลให้สัมประสิทธิ์การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนสูงขึ้นเช่นกัน

Sawhney et al. [30] ทำงานวิจัยเรื่อง “Experimental investigation of heat transfer and friction factor characteristics of solar air heater using wavy delta winglets” ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อวิจัยลักษณะการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ปีกรูปคลื่นสามเหลี่ยม ค่าเลขเรย์โนลด์ที่ศึกษามีค่าตั้งแต่ 4000 ถึง 17,300 โดยจำนวนคลื่น (Φ) ที่ใช้ในการวิจัยปีกรูปคลื่นสามเหลี่ยมคือ 0, 3, 5 และ 7 และระยะพิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์เท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ ที่มุมปะทะคงที่เท่ากับ 60 องศา พวกเขาพบว่าการจัดเรียงในแถวเดียวกันให้ค่าเลขนัสเซลล์ที่สูงกว่าการเรียงแบบสลับสลับ นอกจากนี้นี้ยังพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของค่าเลขนัสเซลล์สูงสุดร้อยละ 223 ซึ่งมีความมากกว่าแผ่นแบบเรียบ ที่มีค่าระยะพิตซ์สัมพันธ์ตามยาวเท่ากับ 3 และจำนวนคลื่นของปีกเท่ากับห้าคลื่นที่ ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4000 โดยมีค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้น 10.3 เท่า และประสิทธิภาพทางความร้อนไฮดรอลิกเท่ากับ 2.09

Maithani et al. [31] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง “Numerical analysis of heat transfer and fluid flow of a wavy delta winglets in a rectangular duct” ซึ่งเป็นการศึกษาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลของปีกสามเหลี่ยมที่เป็นคลื่นในท่อสี่เหลี่ยม สำหรับการศึกษานี้ ค่าเลขนัสเซลล์ และค่าตัวประกอบความเสียดทานจะถูกหาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 3000 ถึง 18,000 พบว่าค่าเลขนัสเซลล์เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2.23 เท่าของแผ่นเรียบ โดยใช้ระยะพิตซ์สัมพันธ์ตามยาวเท่ากับ 3 และจำนวนคลื่นเท่ากับห้าคลื่นที่ค่า เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5000 โดยมีค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้น 10.3 เท่า และประสิทธิภาพทางความร้อนไฮดรอลิกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.08

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ผู้ทำการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายปัจจัยด้วยกันไม่ว่าจะเป็น รูปร่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จำนวนท่อที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดตัวสร้างการไหลปั่นป่วน การจัดเรียงตัวของตัวสร้างการไหลปั่นป่วน มุมปะทะการไหลที่ผิวครีบ ความสูงของครีบ และตำแหน่งการวางตัวของครีบล้วนมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อทั้งสิ้น ผู้ทำการวิจัยจึงศึกษาและเรียนรู้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น (Wavy-baffle) ภายในท่อกลมต่อไป

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 สมการควบคุมและสมมติฐาน

การวิจัยการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดัน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การไหลของของไหลเป็นแบบราบเรียบ
- การไหลและการถ่ายเทความร้อนของของไหลเป็นแบบคงตัวสามมิติ
- ของไหลที่ใช้ทดสอบคืออากาศมีคุณสมบัติคงที่ ณ อุณหภูมิเฉลี่ยและเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้
- ไม่คำนึงถึงแรงที่มาจากน้ำหนักและความหนืด
- เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการพาความร้อนแบบบังคับและไม่คำนึงถึงการแผ่รังสีความร้อน
- ไม่คำนึงถึงการสั่นสะเทือนและการเสียรูปของตัวสร้างการไหลปั่นป่วน

จากสมมติฐานข้างต้นจะได้สมการควบคุมสามสมการได้แก่ สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation), สมการโมเมนตัม (Momentum equation) และสมการพลังงาน (Energy equation) ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (3.1)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3.2)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สมการตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

สมการตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re), ค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะที่ (Local Nusselt number; Nu_x), ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Average Nusselt number; Nu), ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor; f), ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) แสดงสมการได้ดังนี้

ค่าเลขเรย์โนลด์

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (3.4)$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะที่

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \quad (3.5)$$

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ย

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x \partial A \quad (3.6)$$

ตัวประกอบความเสียดทาน คำนวณจากสมการ Fanning friction factor

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{1}{2} \rho u^2\right) \left(\frac{L}{D}\right)} \quad (3.7)$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม และ ρ คือความหนาแน่นของของไหล

ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน คืออัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$TEF = \frac{Nu/Nu_0}{(ff_0)^{1/3}} \quad (3.8)$$

3.3 สมการควบคุมการไหลและการถ่ายเทความร้อน

การคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการไหลโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) คำนวณเพื่อประมวลผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อน ซึ่งมีความยุ่งยากในการหาผลเฉลยด้วยวิธีแมนตรง ดังนั้นในการคำนวณพลศาสตร์ของไหลต้องเกี่ยวข้องกับสมการบังคับ ซึ่งสมการบังคับพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลได้แก่ สมการความต่อเนื่อง

สำหรับการวิเคราะห์การไหลของของไหลในท่อจะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะเกิดการไหล ดังนั้นจึงใช้เพียงกฎการอนุรักษ์มวลและกฎอนุรักษ์โมเมนตัม



บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 กำหนดเงื่อนไขขอบในการคำนวณการไหลสามมิติ

1. การไหลและการถ่ายเทความร้อนของของไหลเป็นแบบคงตัวสามมิติ
2. เงื่อนไขขอบที่ทางเข้าและทางออกท่เป็นแบบคาบ (periodic boundary)
3. จำลองภายใต้เงื่อนไขสภาวะอุณหภูมิผิวคงที่
4. เงื่อนไขขอบที่ด้านข้างทั้งสองด้านของท่เป็นแบบสมมาตร (symmetry)
5. เงื่อนไขขอบที่พื้นผิวของผนังท่เป็นแบบไม่ลื่นไถล (no slip wall condition) และผนังอยู่กับที่ (stationary wall)
6. ของไหลที่ใช้ทดสอบคืออากาศ มีอุณหภูมิ 300 เคลวิน และมีเลขพรันด์เทิล (Prandtl number) อยู่ที่ 0.707
7. ความเร็วของอากาศอยู่ในช่วงการไหลราบเรียบที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 100 ถึง 2000
8. ผิวของตัวสร้างการไหลปั่นป่วนเป็นฉนวน ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่เท่ากับ 0 W/m^2 และไม่เกิดการลื่นไถล

4.2 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

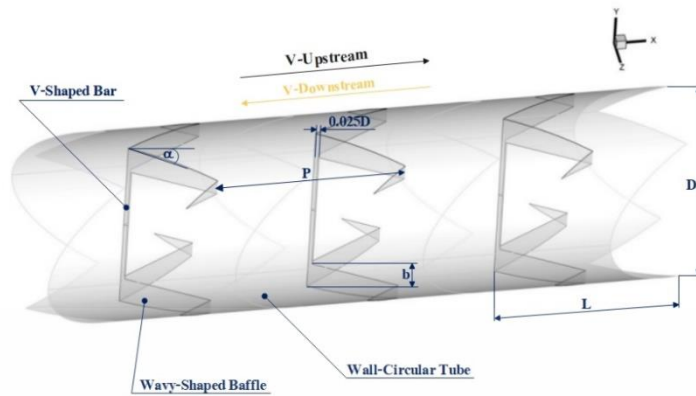
ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re), ค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะที่ (Local Nusselt number; Nu_x), ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Average Nusselt number; Nu), ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor; f), ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF)

4.3 การกำหนดลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษา

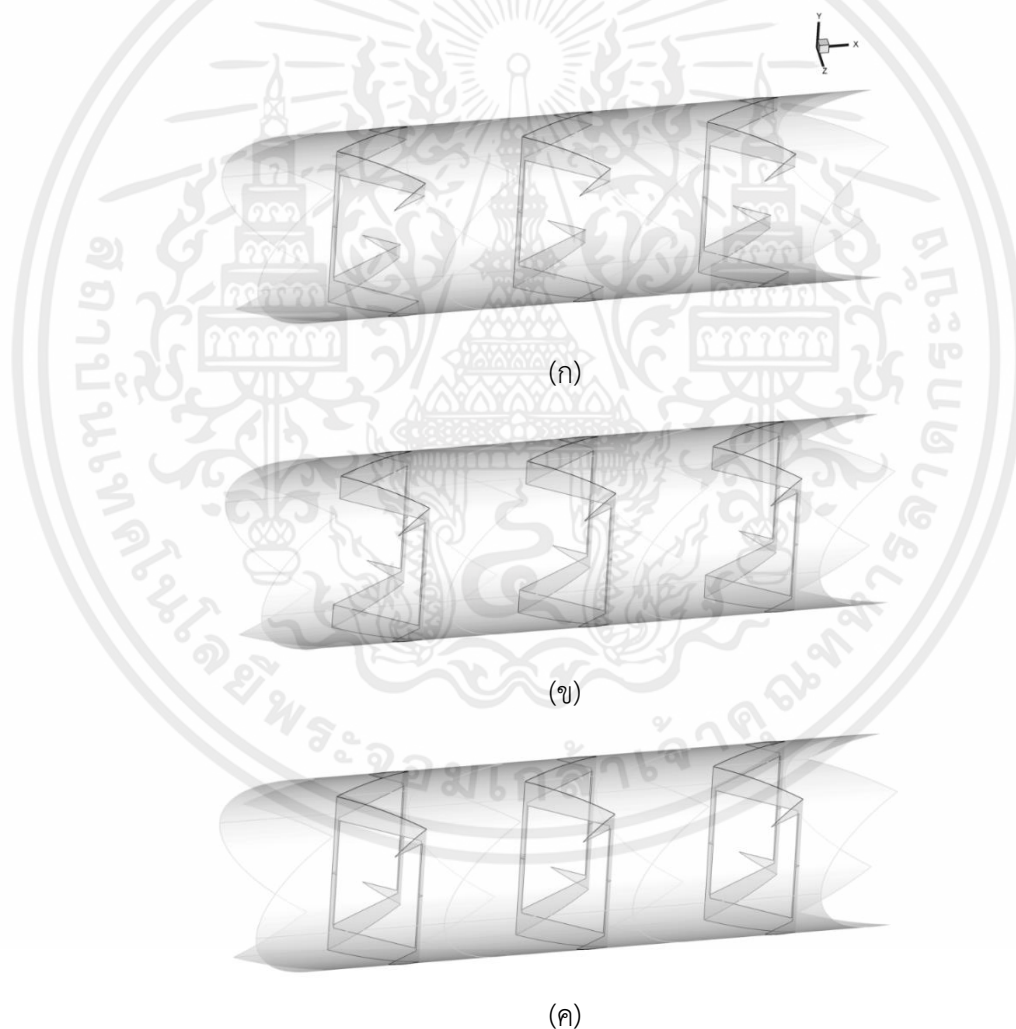
4.3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพการถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียแรงดัน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น ซึ่งแผ่นกั้นรูปคลื่นจะถูกติดตั้งในท่อกลมช่วงทดสอบ โดยตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่จะศึกษาแบ่งออกเป็นสองกรณีคือ กรณีที่หนึ่งอยู่ที่ด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและกรณีที่สองอยู่ที่บริเวณตรงกลางหน้าตัดท่อ ซึ่งทั้งสองกรณีการศึกษาจะถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง สองแท่ง และสามแท่งตามลำดับ กำหนดให้มีอัตราส่วนการวางกั้นการไหลของท่อที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

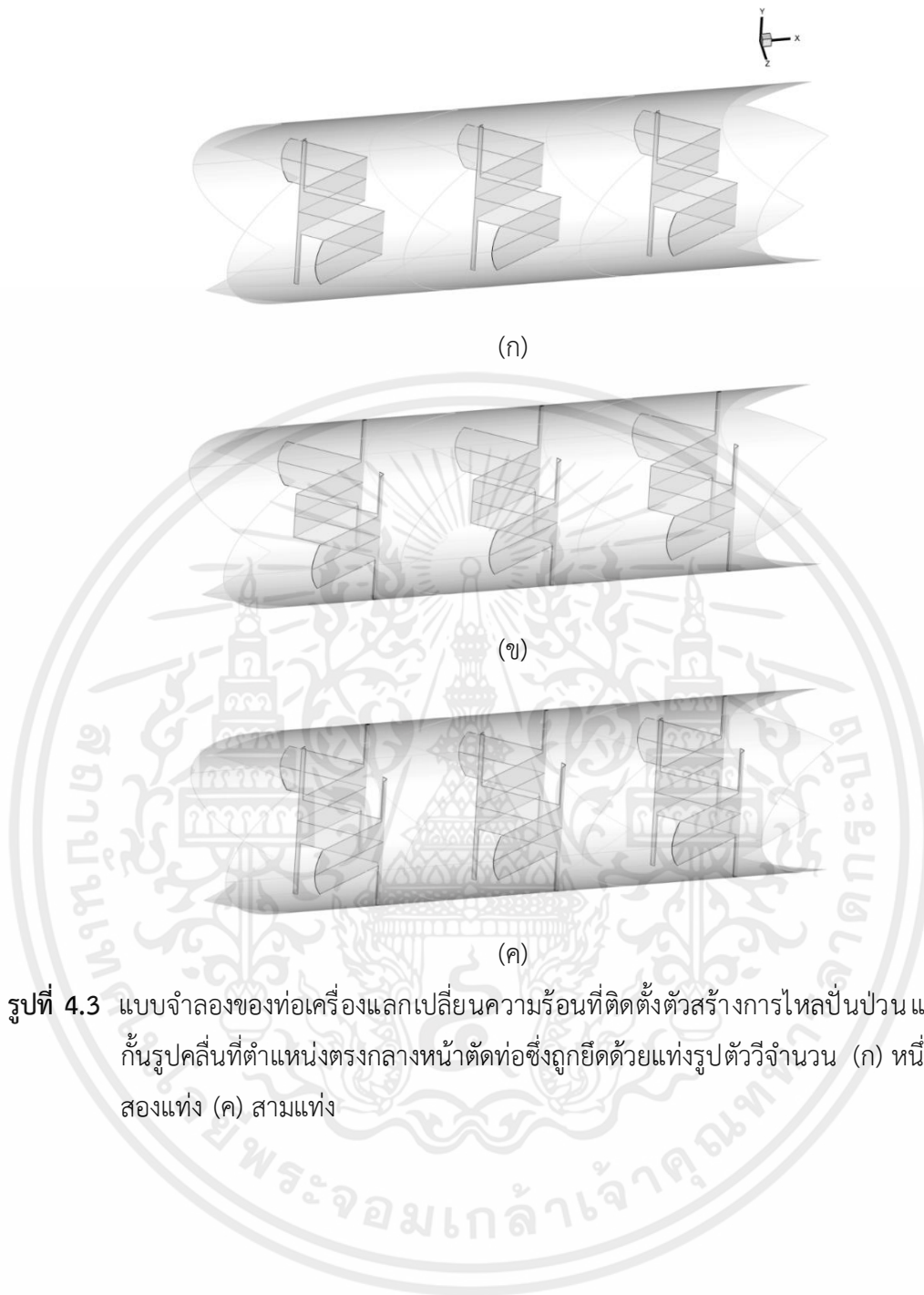


รูปที่ 4.1 โครงสร้างแบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววี



รูปที่ 4.2 แบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อซึ่งถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง

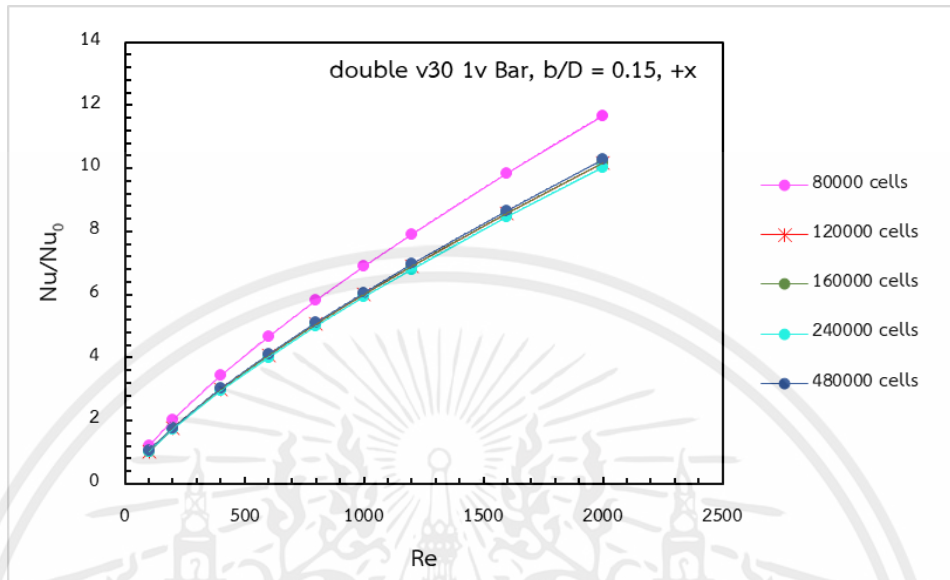
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



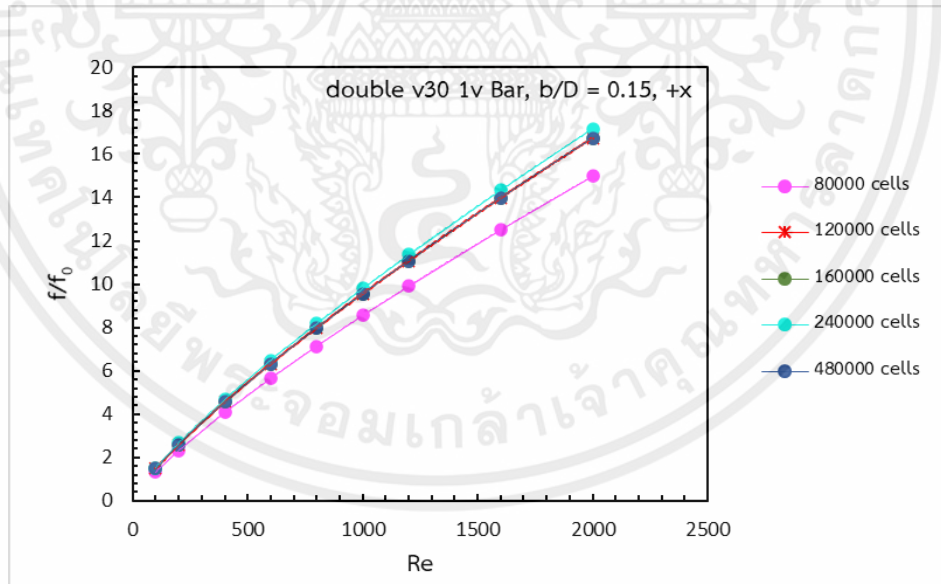
รูปที่ 4.3 แบบจำลองของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อซึ่งถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง

4.4 การตรวจสอบขอบเขตการคำนวณ (Computation Domain)

4.4.1 การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระ (Grid Independence)



รูปที่ 4.4 จำนวนกริดอิสระที่มีผลต่ออัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 ในทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า



รูปที่ 4.5 จำนวนกริดอิสระที่มีผลต่อตัวประกอบความเสียดทาน ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15 ในทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้า

4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

จากการศึกษาและวิจัยโดยใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ในการสร้างแบบจำลองได้เปรียบเทียบใช้จำนวนกริดเซลล์ 80000, 120000, 180000, 240000 และ 360000 ของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น เมื่อเปรียบเทียบทั้งการไหลและการถ่ายเทความร้อนพบว่า การเพิ่มจำนวนกริดจาก 120000 ถึง 180000 ไม่ส่งผลต่อค่าเลขนัสเซลล์ท์และตัวประกอบความเสียหาย ดังนั้นกริดจำนวน 120000 เซลล์จึงถูกนำมาใช้ในการวิจัย เพื่อแก้ปัญหาและได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของท่อกลมเรียบที่ไม่มีแผ่นกั้นรูปคลื่นได้ตรวจสอบทั้งการไหลและการถ่ายเทความร้อน โดยการเปรียบเทียบค่าจากการทำนายปัจจุบันและค่าสหสัมพันธ์ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าค่าเลขนัสเซลล์ท์มีความคลาดเคลื่อนของตัวเลขอยู่ที่ประมาณ $\pm 0.03\%$ และค่าตัวประกอบความเสียหายมีความคลาดเคลื่อนประมาณ $\pm 0.05\%$ ของการไหลแบบราบเรียบ



บทที่ 5

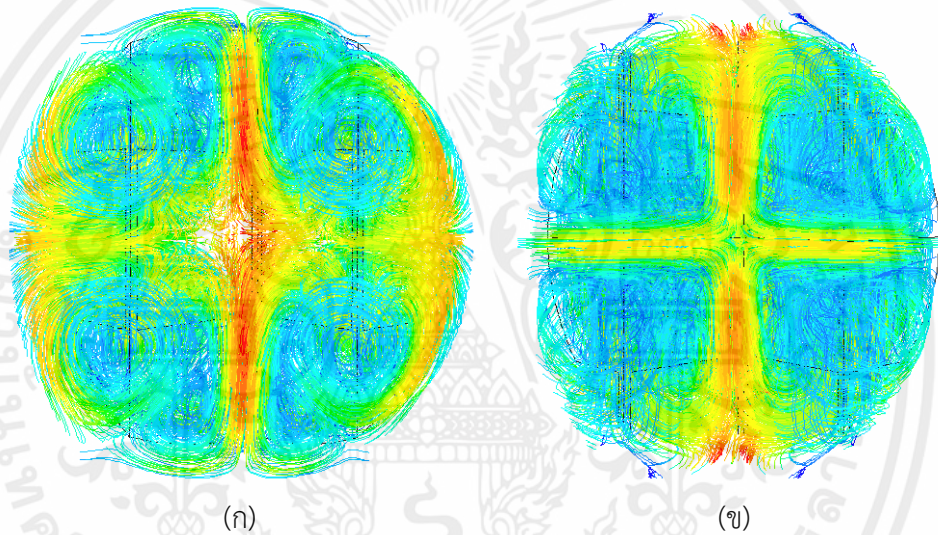
ผลการศึกษาโครงสร้าง

การถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อน

5.1 โครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อน

5.1.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น

5.1.1.1 เส้นกระแสการไหล

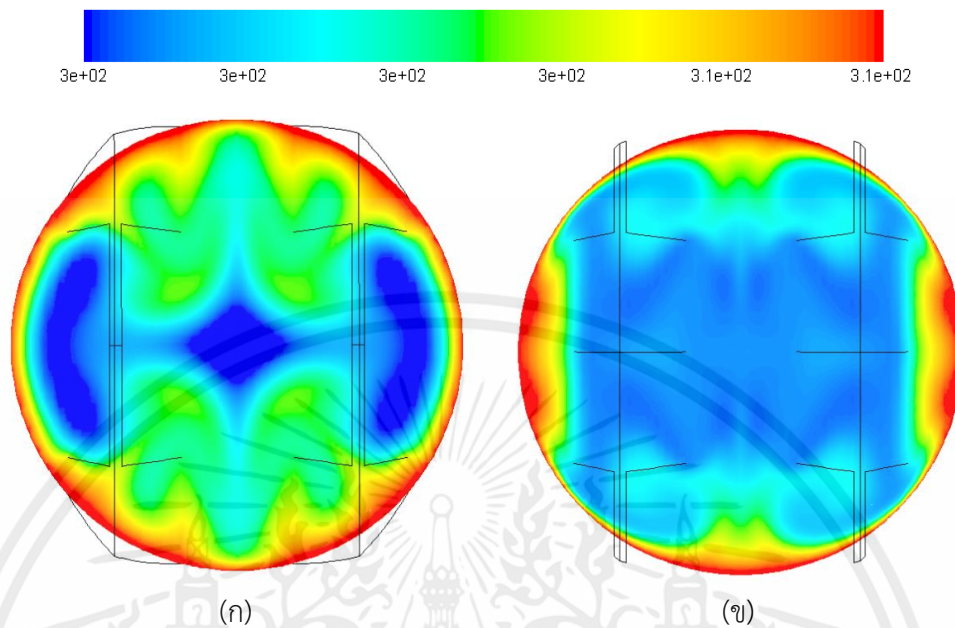


รูปที่ 5.1 เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นเส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งภายในท่อแตกต่างกันสองตำแหน่ง โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้อยู่ในแผ่นกั้นรูปคลื่น และทิศทางการไหลของอากาศคงที่แล้ว พบว่าท่อที่ถูกติดตั้งด้วยแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อมีเส้นกระแสการไหลหมุนวนที่หนาแน่นและมีปริมาณมากบริเวณปีกของแผ่นกั้น มากกว่าตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณปีกของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อมีการไหลกระแทกของกระแสที่รุนแรงมากกว่าอีกตำแหน่ง นั้นหมายความว่าสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

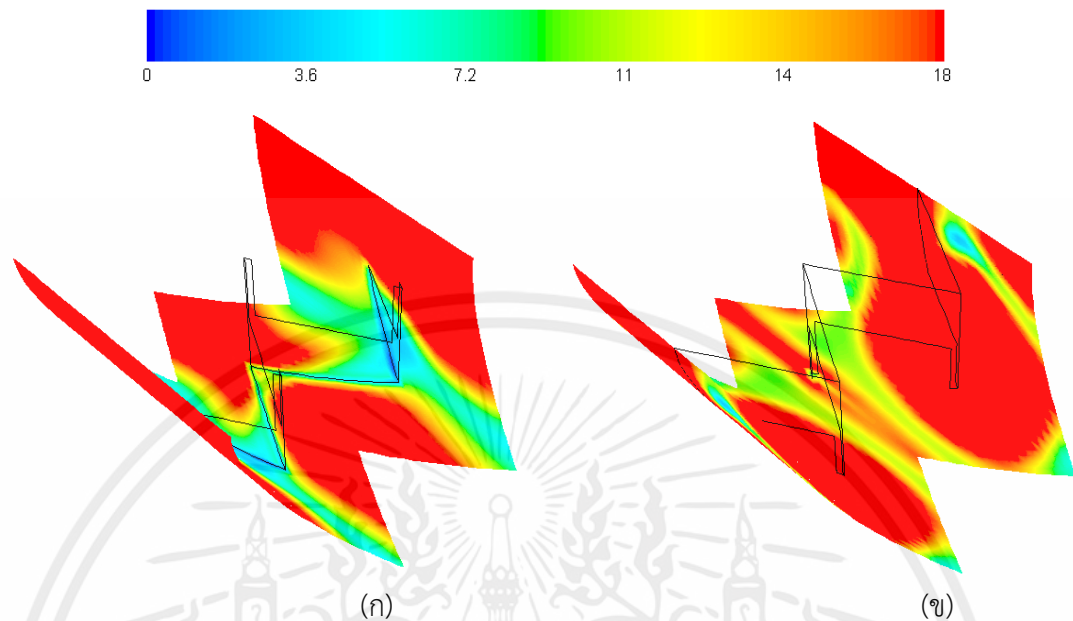
5.1.1.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 600, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นติดตั้งภายในท่อแตกต่างกันสองตำแหน่ง โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และทิศทางการไหลของอากาศคงที่แล้ว พบว่าท่อที่ถูกติดตั้งด้วยแผ่นกั้นรูปคลื่นตรงกลางหน้าตัดท่อมีการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำกว่าท่อที่ถูกติดตั้งด้วยแผ่นกั้นรูปคลื่นด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ สังเกตได้จากการผสมผสานของอุณหภูมิที่ดีกว่า

5.1.1.3 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์

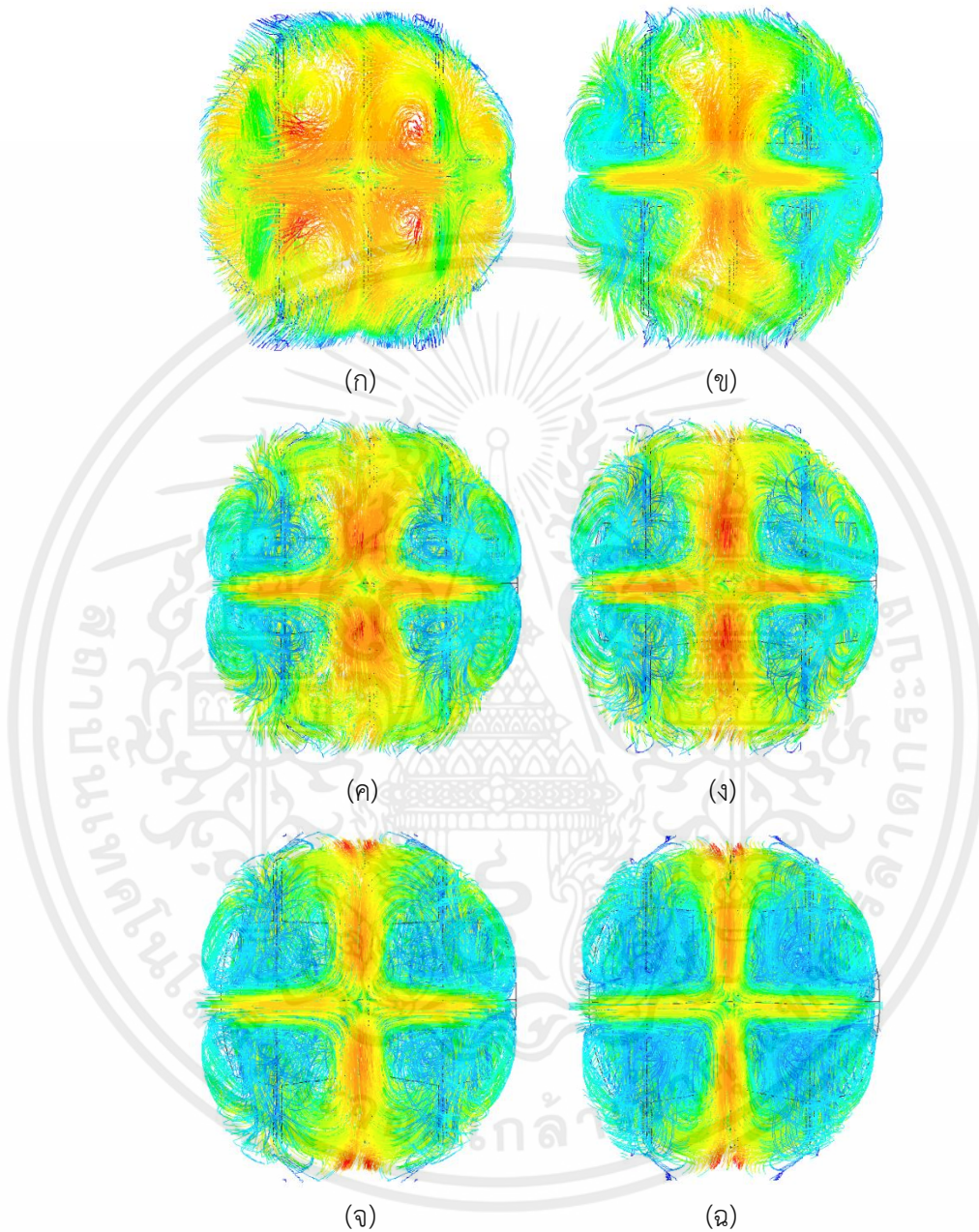


รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้ง (ก) ด้านบนและด้านล่าง (ข) ตรงกลางหน้าตัดท่อ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งภายในท่อแตกต่างกันสองตำแหน่ง โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และทิศทางการไหลของอากาศคงที่แล้ว พบว่าท่อที่ถูกติดตั้งด้วยแผ่นกั้นรูปคลื่นตรงกลางหน้าตัดท่อมีบริเวณสีแดงและสีเหลืองมากกว่ากรณีที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อที่ปรากฏสีฟ้าเป็นส่วนใหญ่ นั่นแสดงว่าการติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นไว้ตรงกลางหน้าตัดท่อ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่านั่นเอง

5.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

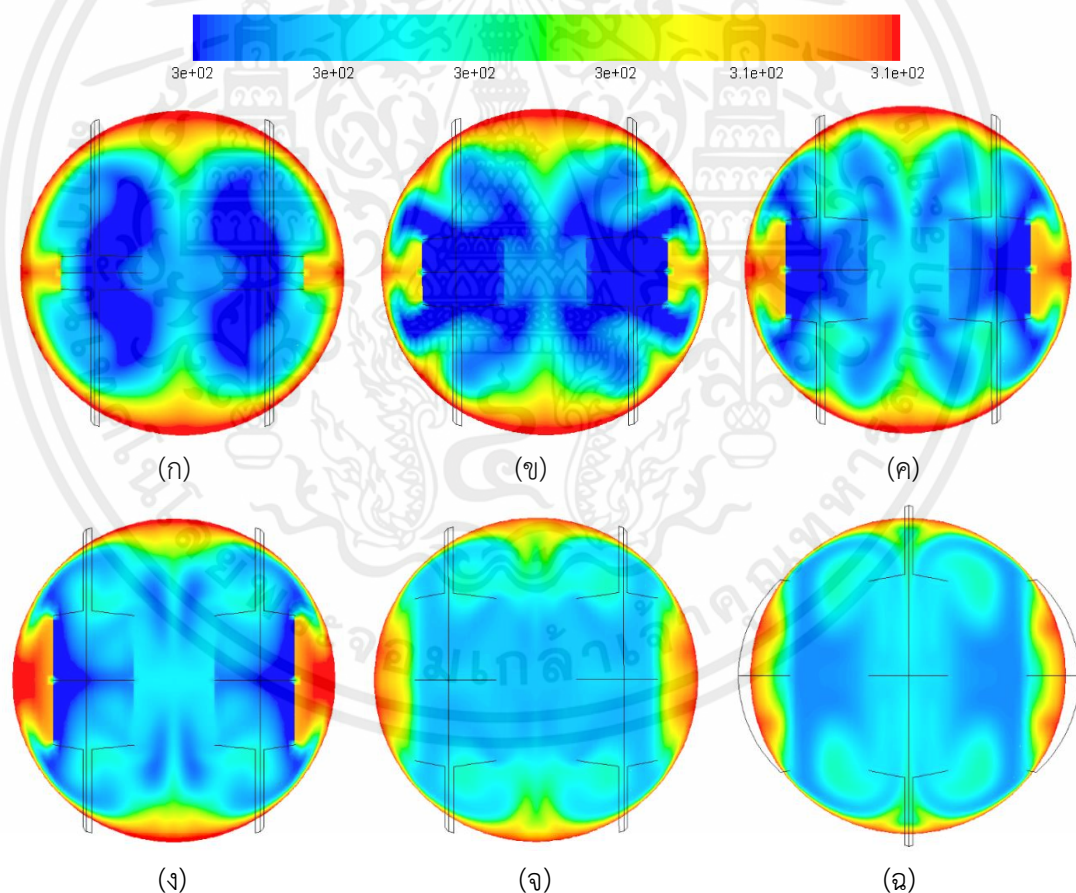
5.1.2.1 เส้นกระแสการไหล



รูปที่ 5.4 เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นเส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์, ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และทิศทางการไหลของอากาศคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ทำให้เกิดเส้นกระแสการไหลหมุนวนที่หนาแน่นและมีปริมาณมากบริเวณปีกของแผ่นกั้น อีกทั้งยังพบว่าการไหลกระแทกของกระแสบริเวณปีกของแผ่นกั้นที่รุนแรงมากที่สุดที่ค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลนี้ รองลงมาคือแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, 20, 15, 10 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดกระแสการไหลหมุนวนมากขึ้นเช่นกัน จึงสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นนั่นเอง

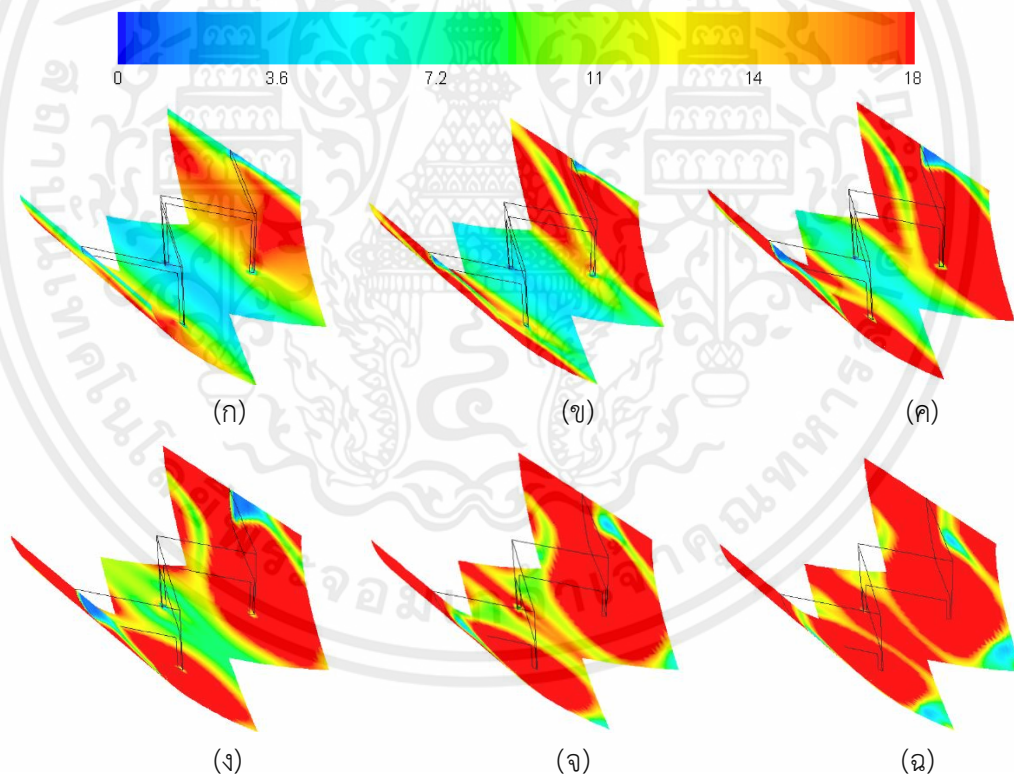
5.1.2.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง, ทิศทางการไหลไปข้างหน้า และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่น ถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น ทิศทางการไหลของอากาศ และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งภายในท่อคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 นั้นมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีกว่าแบบอื่น สังเกตได้จากการผสมผสานกันของอุณหภูมิที่ดีกว่า และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 25 ให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตรงลงมา ในขณะที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 5 ให้การกระจายตัวของอุณหภูมิได้ด้อยที่สุด จึงกล่าวได้ว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่ทำให้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิมากที่สุดคือร้อยละ 30 และจะด้อยลงเมื่อลดค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลลง

5.1.2.3 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์

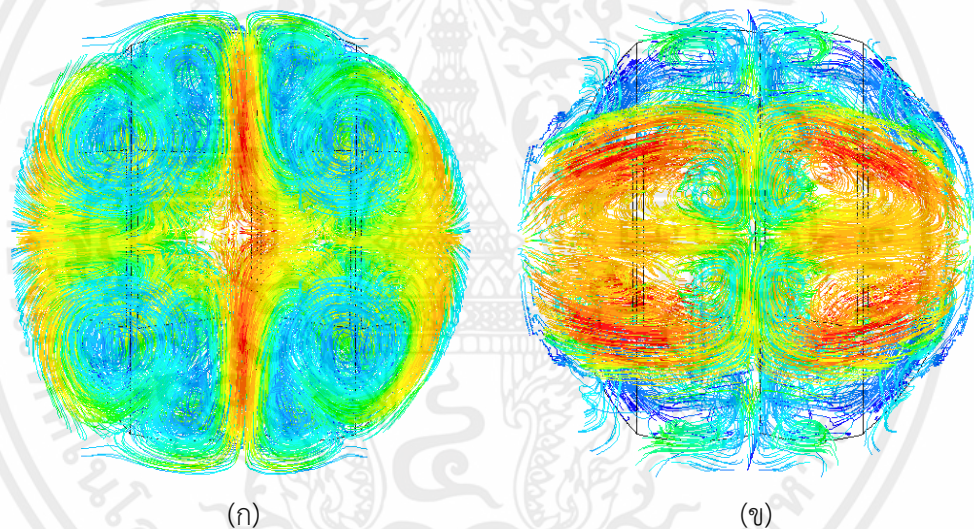


รูปที่ 5.6 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 800, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และทิศทางการไหลไปข้างหน้า สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.6 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของค่าเลขนัยเซลล์บนผิวทอของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และทิศทางการไหลของอากาศคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 ปรากฏบริเวณที่เป็นสีแดงและสีเหลืองมากที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 25, 20, 15, 10 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแผ่นกั้นที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีบริเวณสีแดงและสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น นั่นแสดงว่าค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลที่มากส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีมากขึ้นนั่นเอง

5.1.3 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ

5.1.3.1 เส้นกระแสการไหล

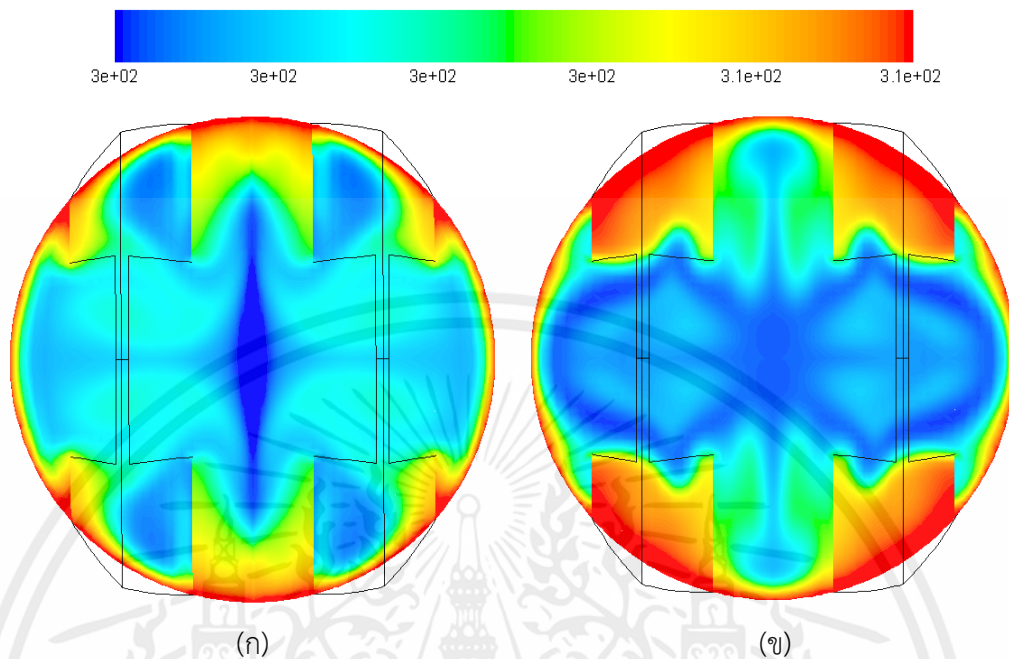


รูปที่ 5.7 เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นเส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีทิศทางการไหลของอากาศแตกต่างกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลคงที่แล้ว พบว่าท่อที่อากาศมีทิศทางการไหลไปข้างหน้า ทำให้เกิดเส้นกระแสการไหลหมุนวนบริเวณปีกของแผ่นกั้นที่หนาแน่นและมีปริมาณมากกว่าทิศทางการไหลแบบย้อนกลับอย่างเห็นได้ชัด นั่นหมายความว่าทิศทางการไหลแบบไปข้างหน้าสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากกว่านั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

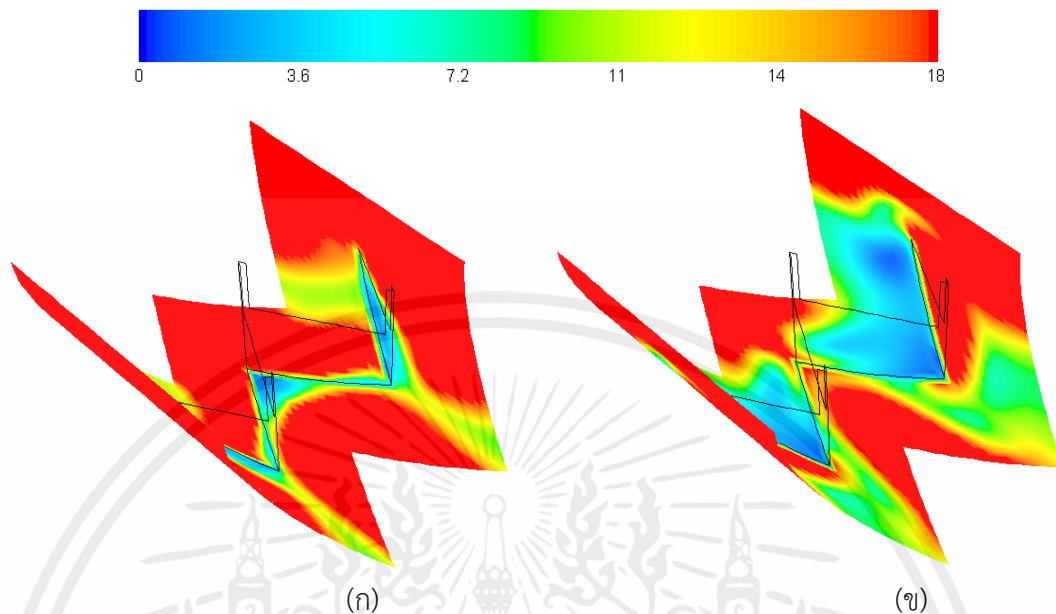
5.1.3.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 5.8 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1000, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีทิศทางการไหลของอากาศแตกต่างกันสองทิศทาง โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งภายในท่อคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้านั้นมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีกว่าทิศทางการไหลของอากาศแบบย้อนกลับ สังเกตได้จากการผสมผสานกันของอุณหภูมิที่ดีกว่า และบริเวณส่วนสีน้ำเงินของท่อที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นให้ทิศทางการไหลไปข้างหน้าสามารถเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองและสีเขียวได้มากกว่าอีกทิศทาง นั่นหมายความว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำมากขึ้นเมื่อติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นในทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า

5.1.3.3 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์

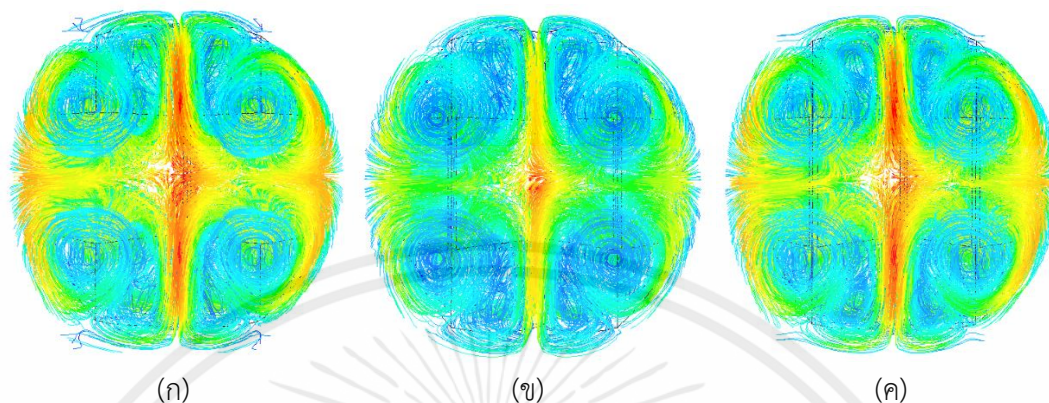


รูปที่ 5.9 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับทิศทางการไหลของอากาศ (ก) ไปข้างหน้า (ข) ย้อนกลับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีทิศทางการไหลของอากาศแตกต่างกัน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลคงที่แล้ว พบว่าท่อที่อากาศมีทิศทางการไหลไปข้างหน้าปรากฏบริเวณที่เป็นสีเหลืองและสีแดงมากกว่าอีกทิศทางอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการปรากฏสีเหลืองและสีแดงบนผิวท่อจำนวนมากนั้นหมายความว่าท่อนั้นสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากนั่นเอง

5.1.4 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น

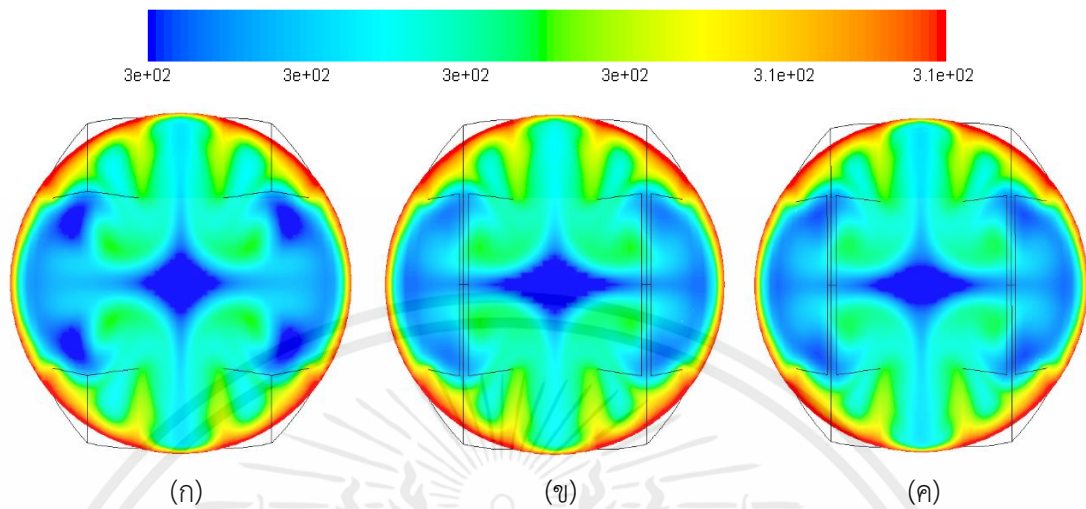
5.1.4.1 เส้นกระแสการไหล



รูปที่ 5.10 เส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 2000, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 สำหรับแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นเส้นกระแสการไหลของอากาศในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ในการยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นแตกต่างกันสามจำนวน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ทิศทางการไหลของอากาศ และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งภายในท่อคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีทั้งสามจำนวน ปรากฏเส้นกระแสการไหลหมุนวนที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะแท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งและสามแท่งนั้นทำให้เกิดเส้นกระแสการไหลหมุนวนที่มีปริมาณและความหนาแน่นบริเวณปีกของแผ่นกั้นที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนจำนวนแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่งนั้นเกิดเส้นกระแสการไหลหมุนวนน้อยที่สุด นั้นหมายความว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งและสามแท่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าจำนวนหนึ่งแท่งนั่นเอง

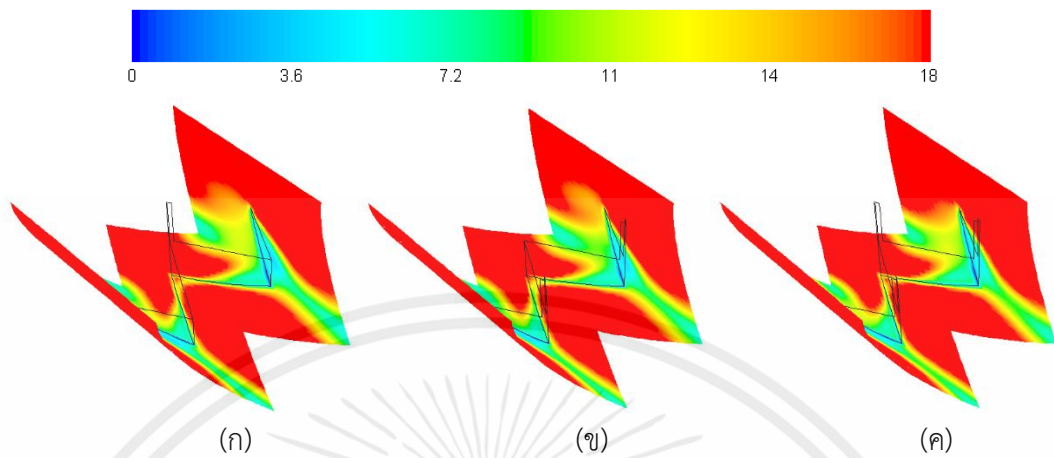
5.1.4.2 การกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 5.11 การกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่น ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1200, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ สำหรับจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ในการยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นแตกต่างกันสามจำนวน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ทิศทางการไหลของอากาศ และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งภายในท่อคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่งนั้นทำให้มีการกระจายตัวของอุณหภูมิตีใกล้เคียงกันมาก สังเกตได้จากการผสมผสานกันของอุณหภูมิที่ดีใกล้เคียงกัน และส่วนสีน้ำเงินเข้มสามารถเปลี่ยนเป็นสีเขียว เหลือง และแดงที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก จึงอาจกล่าวได้ว่าจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นไม่ได้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีมากกว่ากันอย่างชัดเจน

5.1.4.3 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์



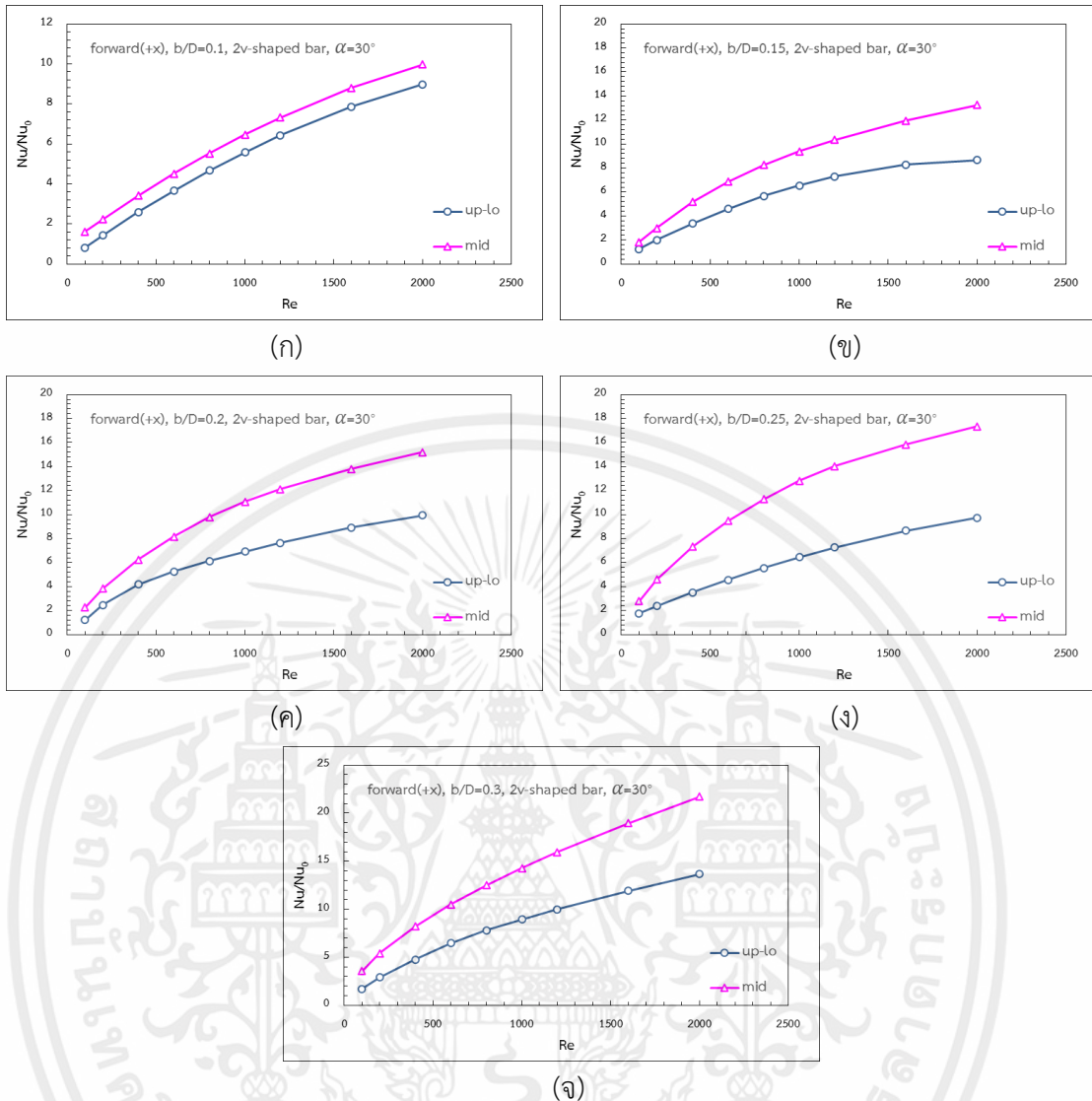
รูปที่ 5.12 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ค่าเลขเรย์โนลด์ 1200, แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 25 สำหรับแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นจำนวน (ก) หนึ่งแท่ง (ข) สองแท่ง (ค) สามแท่ง

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ท์บนผิวท่อของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่มีจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ในการยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นแตกต่างกันสามจำนวน โดยที่ค่าเลขเรย์โนลด์ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ทิศทางการไหลของอากาศ และตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่น ถูกติดตั้งภายในท่อคงที่แล้ว พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่งและสองแท่งนั้น ปรากฏบริเวณที่เป็นสีเหลืองและสีแดงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันมาก และจากการสังเกตพบว่าทั้งสองแบบแรกมีปริมาณสีเหลืองและสีแดงที่ปรากฏบนผิวท่อมากกว่า แผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสามแท่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นไม่ได้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีแตกต่างกันอย่างชัดเจน

5.2 สมรรถนะเชิงความร้อน

5.2.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น

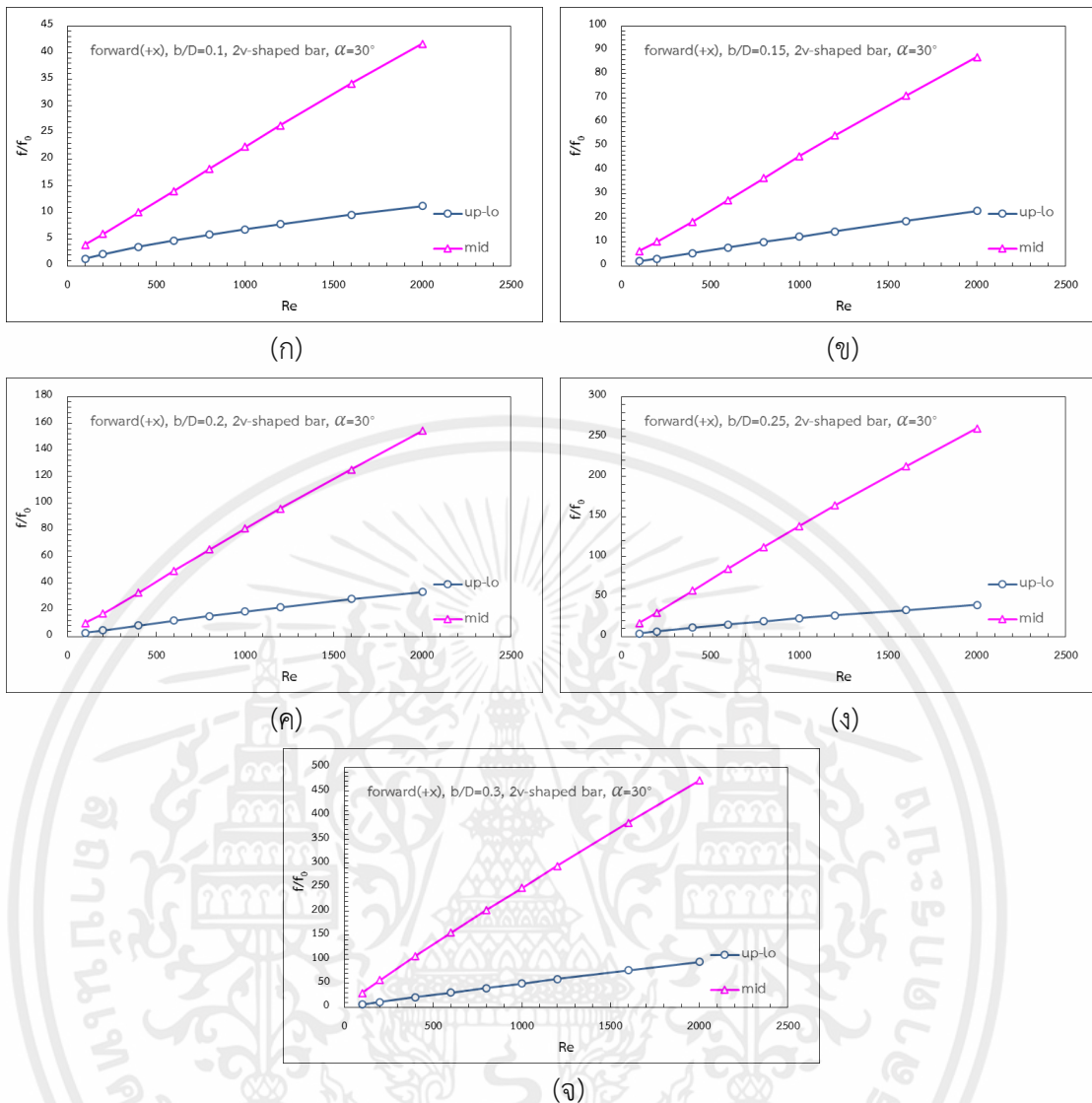
จากการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น พบว่า ตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ ส่งผลต่ออัตราส่วนค่าเลขนัสเซลล์ท์ (Nu/Nu_0) อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียหาย (f/f_0) และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ที่แตกต่างกันดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 5.13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและตรงกลางหน้าตัดท่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30

จากรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อและตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าสำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัสเซลท์เท่ากับ 0.96, 1.08, 2.36, 3.89,

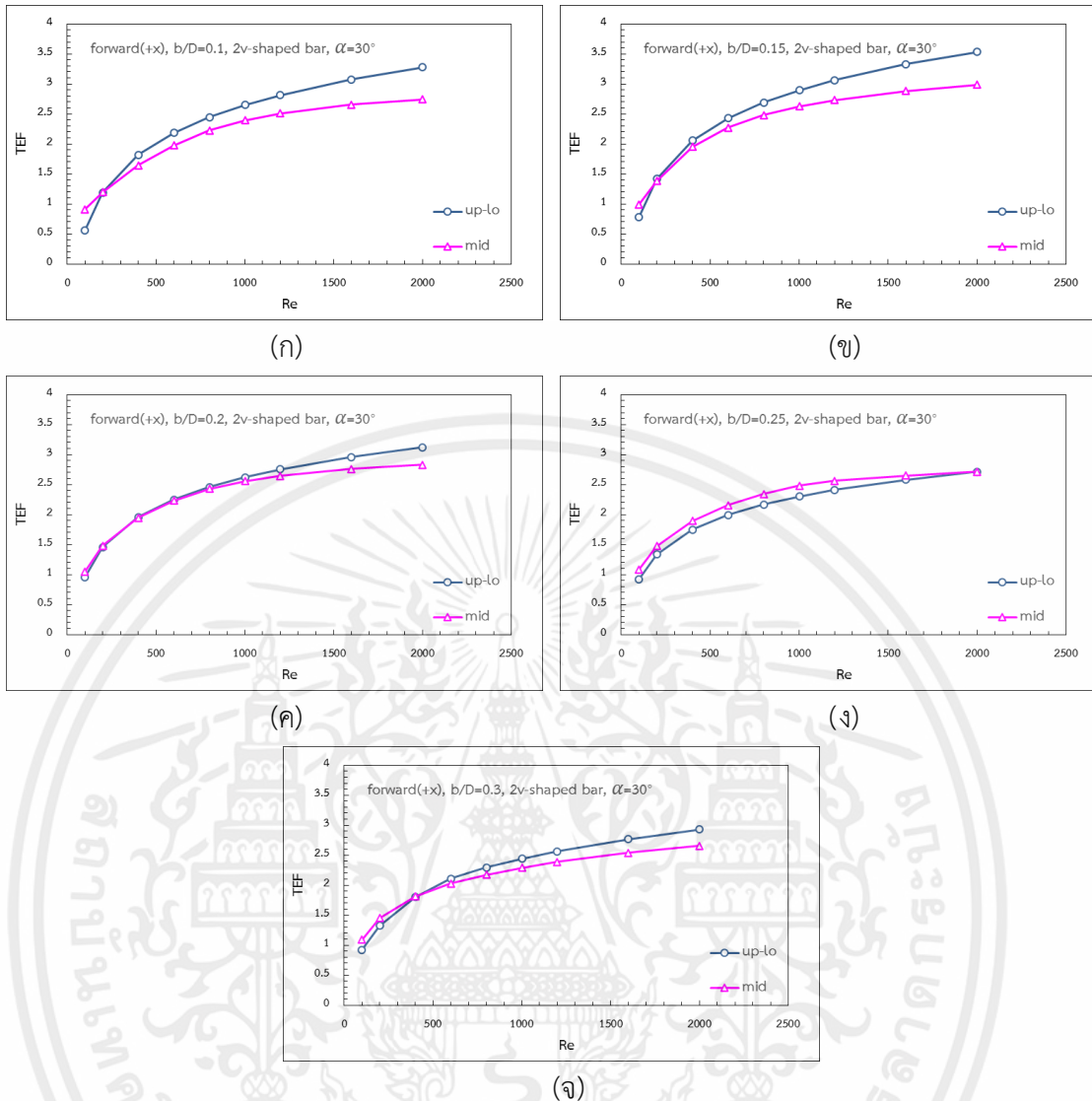
4.60, 5.13, 5.62, 6.56 และ 7.46 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.01, 1.82, 3.78, 4.96, 5.91, 6.70, 7.41, 8.70 และ 9.89 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.21, 2.47, 4.18, 5.27, 6.14, 6.92, 7.65, 8.91 และ 9.93 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.48, 2.65, 3.84, 4.34, 5.41, 6.40, 7.36, 8.85 และ 9.68 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.71, 2.89, 4.74, 6.44, 7.78, 8.94, 1.00, 11.91 และ 13.66 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.45, 2.17, 3.55, 4.76, 5.85, 6.74, 7.47, 8.63 และ 9.52 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 1.82, 3.00, 5.17, 6.85, 8.23, 9.39, 10.36, 11.94 และ 13.24 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 2.26, 3.82, 6.24, 8.18, 9.79, 11.07, 12.11, 13.81 และ 15.19 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 2.77, 4.58, 7.31, 9.47, 11.28, 12.82, 14.04, 15.84 และ 17.35 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัสเซลล์เท่ากับ 3.36, 5.32, 8.48, 11.37, 13.02, 14.66, 16.01, 18.24 และ 20.08 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลล์เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลล์สำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีค่าสูงกว่าตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อในทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ซึ่งให้ค่าเลขนัสเซลล์สูงสุดเท่ากับ 20.08 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ ร้อยละ 30



รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียหายและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อและตรงกลางหน้าตัดต่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30

จากรูปที่ 5.14 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียหายและค่าเลขเรย์โนลด์ช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อและตรงกลางหน้าตัดต่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นและมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าสำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียหาย

เท่ากับ 1.69, 1.78, 3.19, 4.62, 5.83, 6.93, 7.98, 9.98 และ 11.93 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.00, 2.97, 5.40, 7.69, 9.95, 12.17, 14.35, 18.67 และ 22.97 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.72, 4.57, 8.39, 11.94, 15.34, 18.69, 21.96, 28.06 และ 33.42 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 4.03, 6.83, 11.07, 12.21, 16.83, 21.57, 26.59, 36.49 และ 46.57 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.33, 10.46, 18.28, 28.46, 38.89, 49.19, 59.40, 79.84 และ 101.19 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ในขณะที่แผนกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.98, 6.00, 10.04, 14.02, 18.20, 22.35, 26.38, 34.17 และ 41.68 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.19, 10.16, 18.47, 27.42, 36.65, 45.68, 54.38, 70.96 และ 87.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 5.82, 8.41, 13.18, 17.72, 22.18, 26.64, 31.12, 40.15 และ 49.20 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 16.74, 29.88, 57.54, 84.92, 111.76, 138.20, 163.84, 212.92 และ 260.45 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 30.28, 55.30, 106.53, 147.38, 204.03, 251.43, 297.45, 386.62 และ 473.86 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานสำหรับแผนกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อมียค่าสูงกว่าตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่ออย่างเห็นได้ชัดในทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ซึ่งค่าตัวประกอบความเสียดทานมีค่าสูงสุดเท่ากับ 473.86 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 เมื่อติดตั้งแผนกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อ



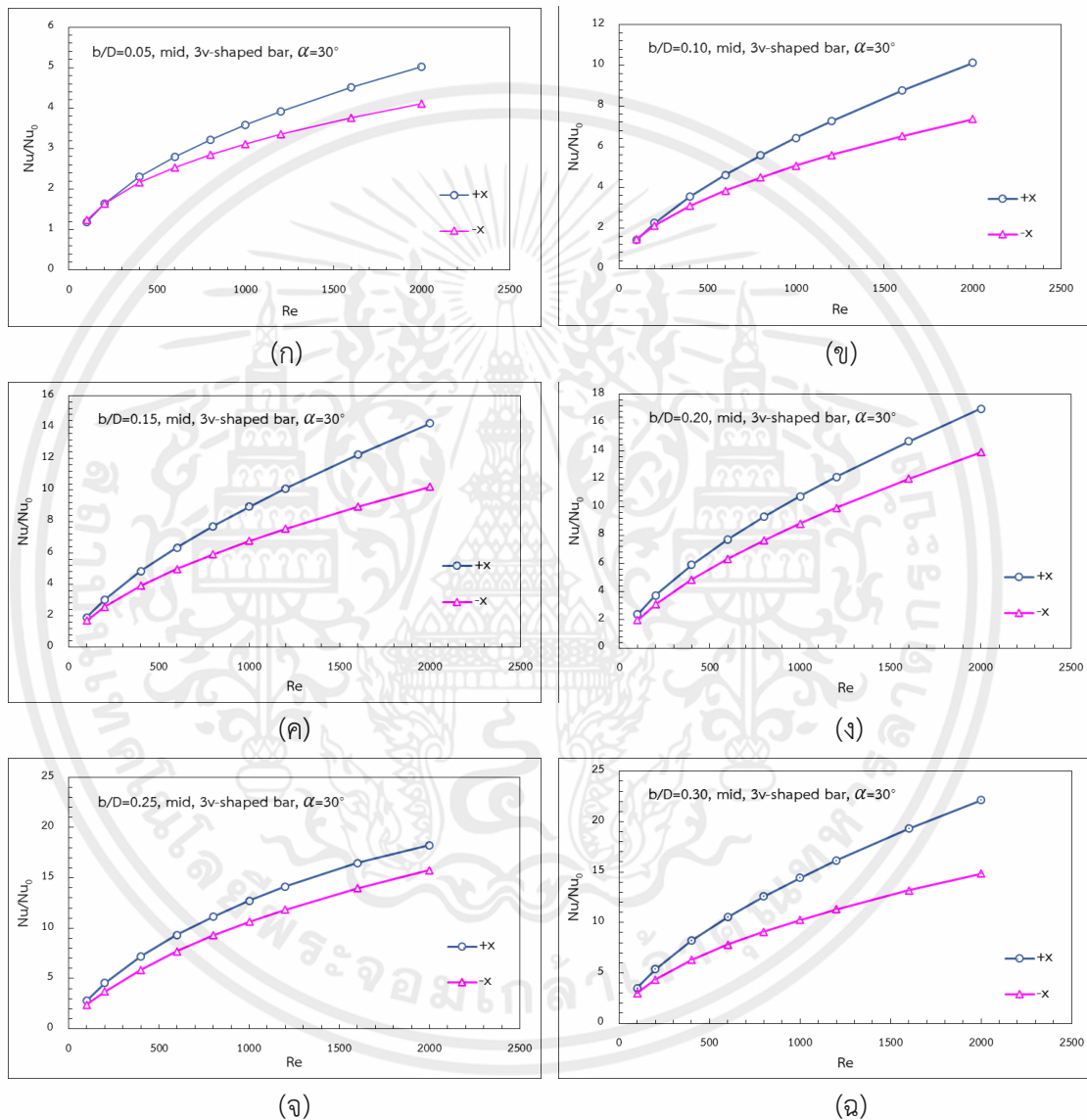
รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อและตรงกลางหน้าตัดต่อ ที่มีทิศทางการไหลไปข้างหน้า, จำนวนแท่งรูปตัววีสองแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 10 (ข) 15 (ค) 20 (ง) 25 (จ) 30

จากรูปที่ 5.15 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างตำแหน่งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อและตรงกลางหน้าตัดต่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นและมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าสำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดต่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่ม

การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.80, 0.89, 1.61, 2.34, 2.56, 2.69, 2.81, 3.04 และ 3.27 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.80, 1.26, 2.15, 2.51, 2.75, 2.91, 3.05, 3.28 และ 3.48 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.86, 1.49, 2.05, 2.30, 2.47, 2.61, 2.73, 2.93 และ 3.09 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.93, 1.40, 1.72, 1.89, 2.11, 2.30, 2.47, 2.67 และ 2.69 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.93, 1.32, 1.80, 2.11, 2.30, 2.44, 2.56, 2.77 และ 2.93 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.91, 1.20, 1.64, 1.97, 2.22, 2.39, 2.51, 2.66 และ 2.75 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.99, 1.38, 1.95, 2.27, 2.48, 2.63, 2.73, 2.88 และ 2.99 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.05, 1.48, 1.95, 2.23, 2.43, 2.56, 2.65, 2.76 และ 2.83 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.08, 1.48, 1.89, 2.16, 2.34, 2.48, 2.56, 2.65 และ 2.72 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.08, 1.40, 1.79, 2.15, 2.21, 2.32, 2.40, 2.50 และ 2.58 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกติดตั้งตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อที่มีแนวโน้มสูงกว่าตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อเกือบทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ยกเว้นกรณีที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 25 นั้นแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อที่มีแนวโน้มสูงกว่า นอกจากนี้พบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.48 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 15 เมื่อติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อ

5.2.2 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ

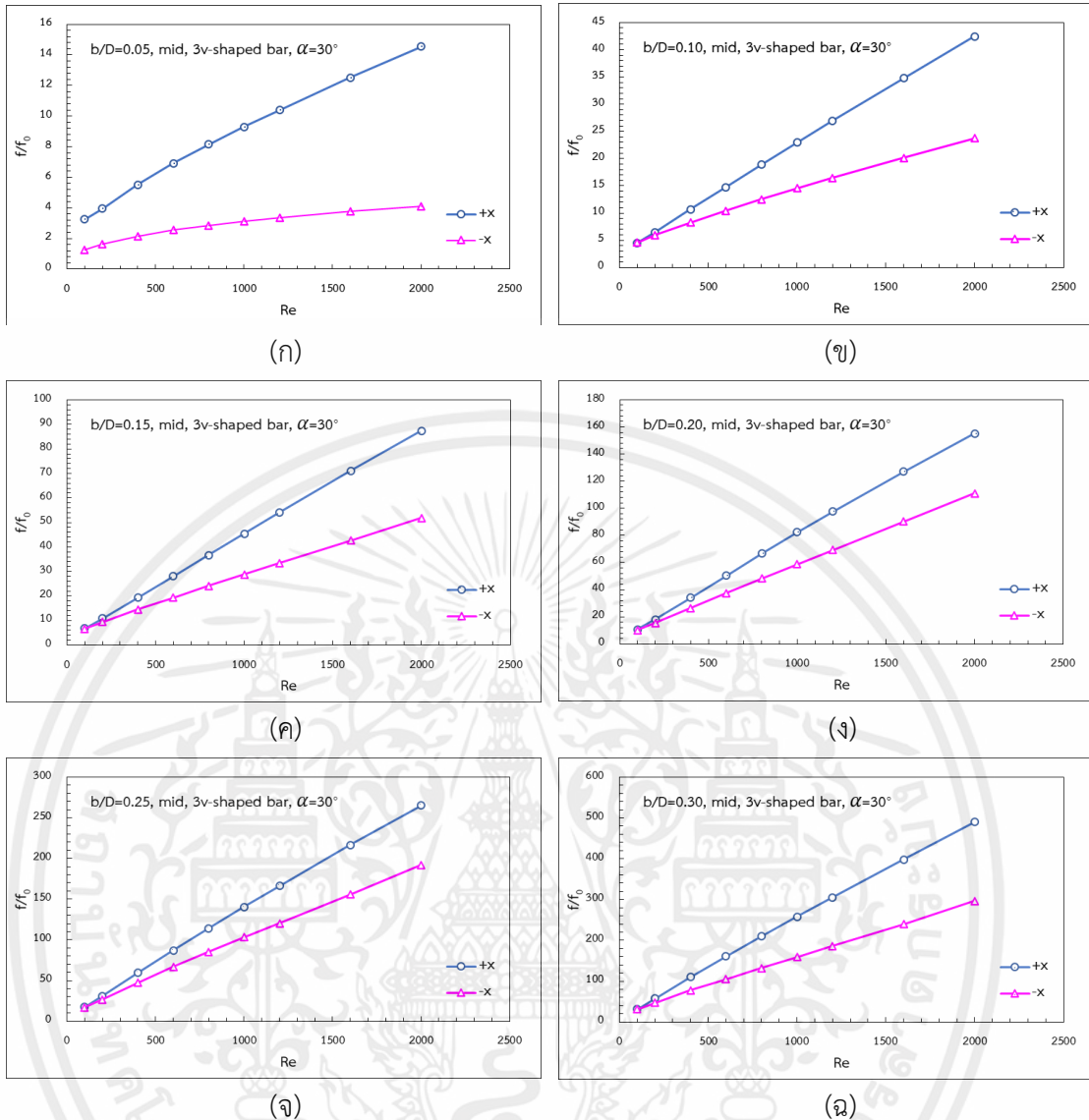
จากการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกั้นรูปคลื่น พบว่า ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับส่งผลต่ออัตราส่วนค่า เลขนัสเซลท์ อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทาน และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน ดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัยสเซลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าในกรณีที่ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อไปข้างหน้า ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.24, 1.52, 2.27, 2.89, 3.33, 3.67, 3.96, 4.45 และ 4.89 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.48, 2.17, 3.45, 4.61, 5.69, 6.63, 7.42, 8.75 และ 9.88 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.82, 2.99, 5.11, 6.69, 7.98, 9.12, 10.16, 11.88 และ 13.30 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 2.23, 3.80, 6.13, 8.01, 9.64, 11.07, 12.30, 14.26 และ 15.80 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 2.79, 4.56, 7.21, 9.34, 11.15, 12.73, 14.15, 16.50 และ 18.26 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 3.38, 5.31, 8.36, 10.88, 13.00, 14.81, 16.34, 18.87 และ 20.92 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อเป็นแบบย้อนกลับ ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.33, 1.52, 2.08, 2.57, 2.92, 3.19, 3.41, 3.77 และ 4.05 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.54, 2.00, 3.01, 3.88, 4.58, 5.16, 5.66, 6.51 และ 7.28 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 1.78, 2.47, 3.89, 4.98, 5.90, 6.75, 7.53, 9.00 และ 10.37 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 2.04, 3.00, 4.75, 6.24, 7.63, 8.91, 10.08, 12.14 และ 13.90 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 2.41, 3.70, 5.86, 7.72, 9.29, 10.64, 11.86, 13.96 และ 15.76 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัยสเซลท์เท่ากับ 2.88, 4.41, 6.49, 7.88, 9.14, 10.30, 11.37, 13.05 และ 14.41 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนค่าเลขนัยสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนค่าเลขนัยสเซลท์สำหรับทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้ามีค่าสูงกว่าทิศทางการไหลของอากาศแบบย้อนกลับในทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.92 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ และแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นมีจำนวนเท่ากับสามแท่ง

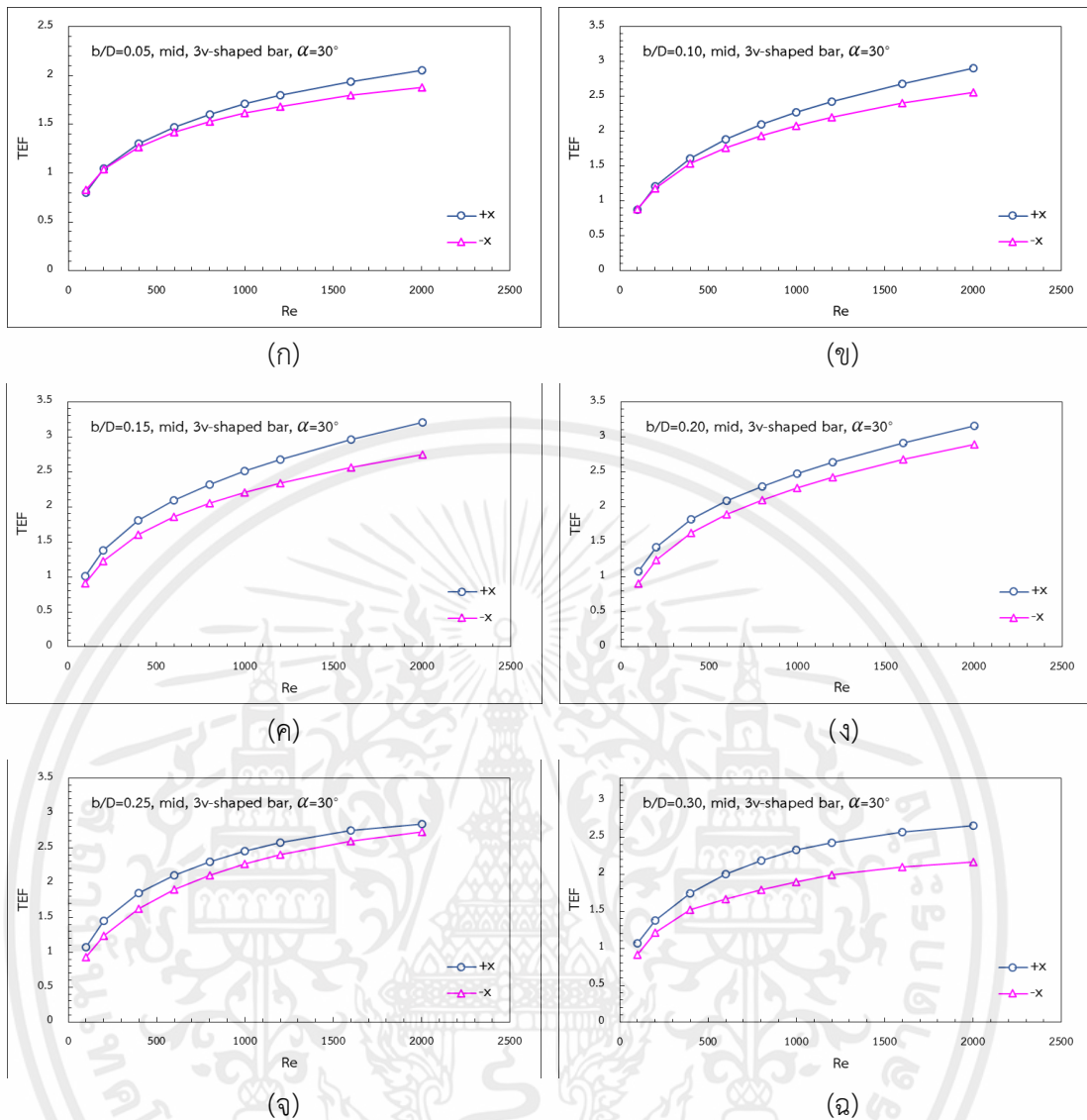


รูปที่ 5.17 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่ง และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

จากรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น, จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าในกรณีที่ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อไปข้างหน้า ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.25, 3.95, 5.51, 6.92, 8.15, 9.29, 10.39, 12.52 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.55 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 4.51, 6.52, 10.72, 14.74, 18.87, 23.00, 27.00, 34.80 และ 32.46 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.76, 10.85, 19.35, 28.02, 36.71, 45.44, 54.15, 71.12 และ 87.40 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 10.67, 18.16, 34.05, 50.37, 66.54, 82.31, 97.63, 126.98 และ 155.22 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 17.67, 31.23, 59.41, 87.24, 114.22, 140.40, 166.04, 216.41 และ 264.97 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 31.61, 57.39, 110.10, 161.00, 209.84, 257.67, 304.88, 397.93 และ 489.57 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ส่วนกรณีทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อเป็นแบบย้อนกลับ ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.42, 3.97, 5.00, 5.80, 6.53, 7.22, 7.90, 9.21 และ 10.48 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 4.61, 5.96, 8.24, 10.45, 12.55, 14.55, 16.46, 20.15 และ 23.76 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.68, 9.41, 14.54, 19.38, 24.11, 28.79, 33.43, 42.66 และ 51.84 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 10.35, 15.51, 26.39, 37.46, 48.24, 58.85, 69.36, 90.23 และ 111.10 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 17.13, 26.58, 47.24, 66.92, 85.32, 103.02, 120.51, 155.74 และ 192.06 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 31.69, 47.67, 78.10, 105.34, 132.32, 159.25, 185.92, 239.60 และ 296.68 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราค่าส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานสำหรับทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้ามีค่าสูงกว่าทิศทางการไหลของอากาศแบบย้อนกลับในทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 489.57 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ และแบ่งรูปตัววีที่ใช้อยึดแผ่นกั้นมีจำนวนเท่ากับสามแห่ง



รูปที่ 5.18 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างทิศทางการไหลไปข้างหน้าและทิศทางการไหลแบบย้อนกลับเมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, จำนวนแท่งรูปตัววีสามแท่งและมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (ฉ) 25 (ฉ) 30

จากรูปที่ 5.18 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ระหว่างทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปคลื่น จำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าในกรณีที่ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อไปข้างหน้า ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.83, 0.96, 1.28,

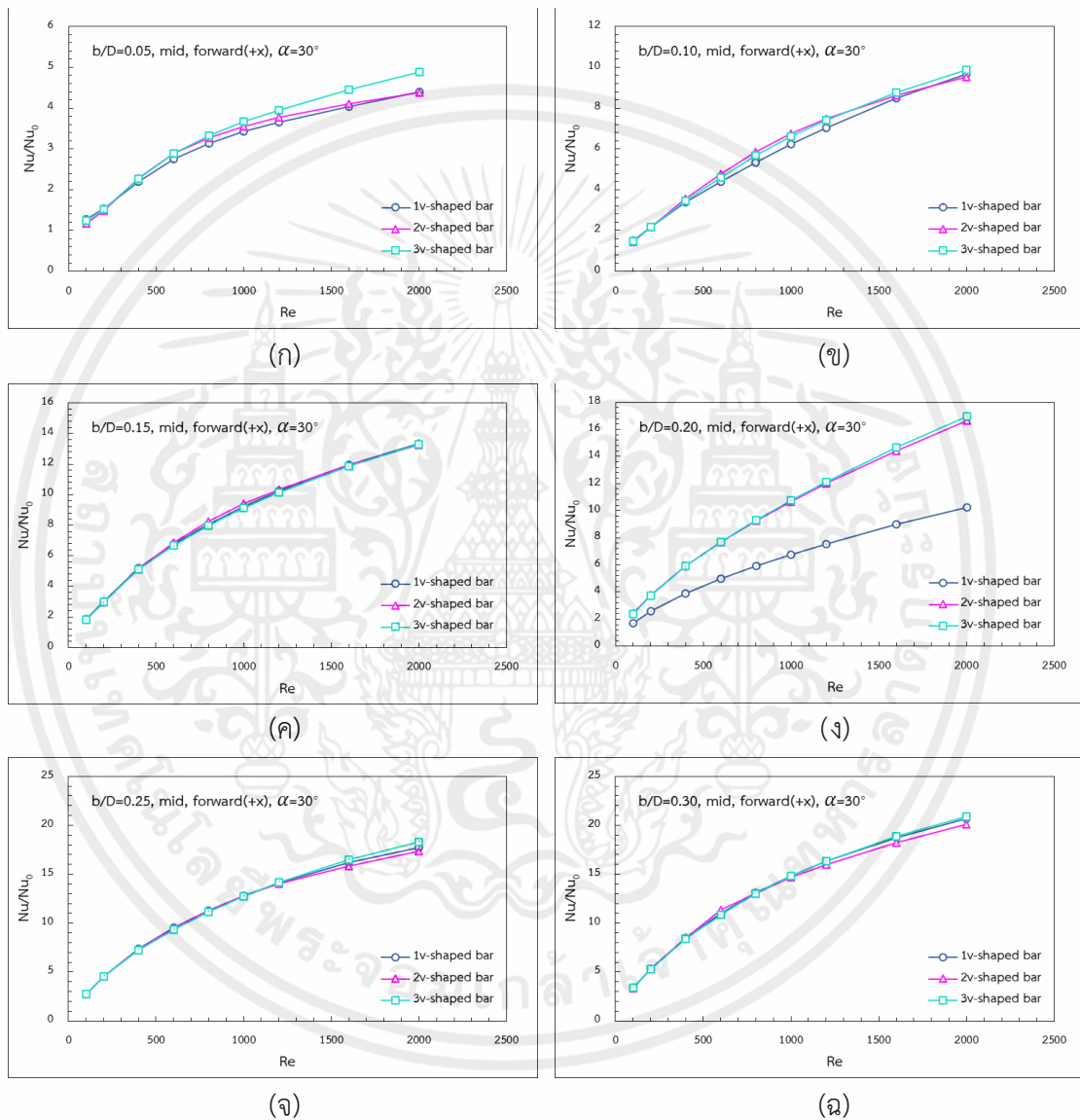
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.52, 1.65, 1.74, 1.81, 1.92 และ 2.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.90, 1.16, 1.57, 1.88, 2.14, 2.33, 2.47, 2.68 และ 2.83 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.96, 1.35, 1.90, 2.20, 2.40, 2.56, 2.68, 2.87 และ 2.99 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.01, 1.44, 1.89, 2.17, 2.38, 2.54, 2.67, 2.84 และ 2.94 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.07, 1.45, 1.85, 2.11, 2.30, 2.45, 2.57, 2.75 และ 2.84 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.07, 1.38, 1.74, 2.00, 2.19, 2.33, 2.43, 2.57 และ 2.65 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบสำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อเป็นแบบย้อนกลับนั้น ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.88, 0.96, 1.22, 1.43, 1.56, 1.65, 1.71, 1.80 และ 1.85 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.93, 1.11, 1.49, 1.77, 1.97, 2.11, 2.22, 2.39 และ 2.53 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.95, 1.17, 1.59, 1.85, 2.04, 2.20, 2.34, 2.58 และ 2.78 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.94, 1.20, 1.60, 1.87, 2.10, 2.29, 2.45, 2.71 และ 2.89 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.94, 1.24, 1.62, 1.90, 2.11, 2.27, 2.40, 2.59 และ 2.73 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.91, 1.22, 1.52, 1.67, 1.79, 1.90, 1.99, 2.10 และ 2.16 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับทิศทางการไหลของอากาศแบบไปข้างหน้ามีค่าสูงกว่าทิศทางการไหลของอากาศแบบย้อนกลับในทุกค่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.99 เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 15 เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ และแบ่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นมีจำนวนเท่ากับสามแห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกันรูปคลื่น

จากการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนด้วยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนแบบแผ่นกันรูปคลื่น พบว่าจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกันรูปคลื่นจำนวนหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และ สามแท่ง ส่งผลต่ออัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทาน และค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่แสดงต่อไปนี้



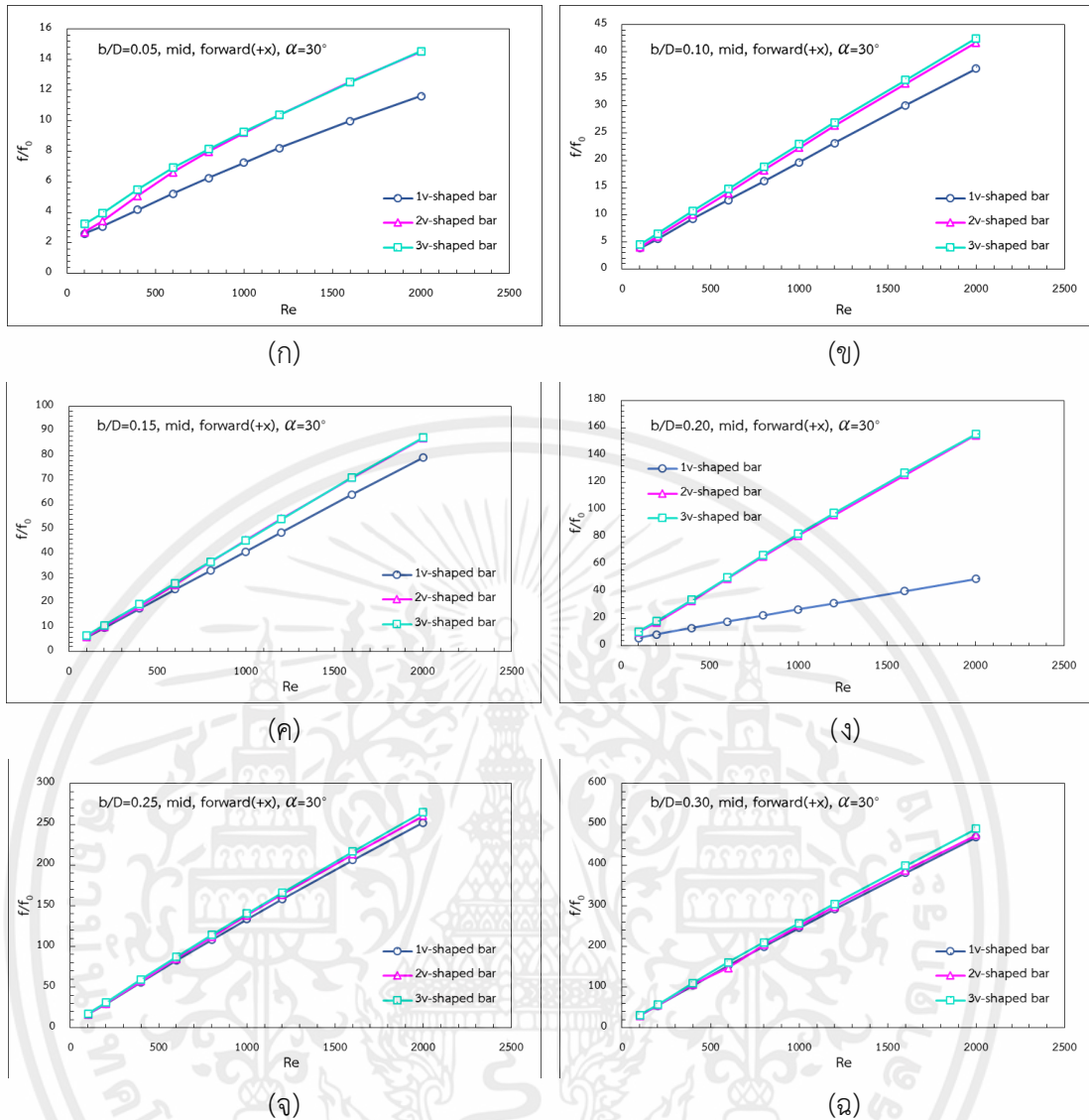
รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกันรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกันรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

จากรูปที่ 5.19 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าเลขนัยเซลล์และค่าเลขเรย์โนลด์ช่วง 100 ถึง 2000 ของแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนแตกต่างกันสามจำนวนคือ หนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้น ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าในกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.28, 1.54, 2.19, 2.74, 3.14, 3.43, 3.66, 4.04 และ 4.39 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.51, 2.17, 3.39, 4.39, 5.33, 6.22, 7.05, 8.49 และ 9.66 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.86, 3.03, 5.18, 6.78, 8.07, 9.21, 10.25, 11.96 และ 13.36 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.77, 2.47, 3.90, 4.99, 5.90, 6.74, 7.53, 9.03 และ 10.44 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 2.73, 4.59, 7.35, 9.53, 11.29, 12.81, 14.13, 16.21 และ 17.69 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 3.40, 5.35, 8.47, 10.97, 13.06, 14.86, 16.38, 18.76 และ 20.67 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ส่วนกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสองแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.17, 1.48, 2.28, 2.88, 3.27, 3.56, 3.78, 4.10 และ 4.38 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.45, 2.17, 3.55, 4.76, 5.85, 6.74, 7.47, 8.63 และ 9.52 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.82, 3.00, 5.17, 6.85, 8.23, 9.39, 10.36, 11.94 และ 13.24 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 2.26, 3.82, 6.24, 8.18, 9.79, 11.07, 12.11, 13.81 และ 15.19 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 2.77, 4.58, 7.31, 9.47, 11.28, 12.82, 14.04, 15.84 และ 17.35 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 3.36, 5.32, 8.48, 11.37, 13.02, 14.66, 16.01, 18.24 และ 20.08 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสามแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.24, 1.52, 2.27, 2.89, 3.33, 3.67, 3.96, 4.45 และ 4.89 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.48, 2.17, 3.45, 4.61, 5.69, 6.63, 7.42, 8.75 และ 9.88 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 1.82, 3.00, 5.11, 6.69, 7.98, 9.12, 10.16, 11.88 และ 13.30 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 2.23, 3.80, 6.13, 8.01, 9.64, 11.07, 12.30, 14.26 และ 15.80 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าเลขนัยเซลล์เท่ากับ 2.79, 4.56, 7.21, 9.34, 11.15, 12.73, 14.15, 16.50 และ 18.26 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลร้อยละ 30 ให้ค่าเลขน้สเซลท์เท่ากับ 3.38, 5.31, 8.36, 10.88, 13.00, 14.81, 16.34, 18.87 และ 20.92 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนค่าเลขน้สเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเลขน้สเซลท์สำหรับแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสามแท่งมีแนวโน้มสูงกว่าแบบอื่น ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.92 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 และแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งทำให้มีอัตราส่วนค่าเลขน้สเซลท์สูงรองลงมา ซึ่งค่าไม่ได้แตกต่างจากจำนวนสามแท่งมากนัก ส่วนแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่งให้อัตราส่วนค่าเลขน้สเซลท์ที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ และมีทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า





รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่งตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

จากรูปที่ 5.20 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ของแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนแตกต่างกันสามจำนวนคือ หนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้น ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้นแล้ว พบว่าในกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.62, 3.08, 4.19, 5.23, 6.25,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

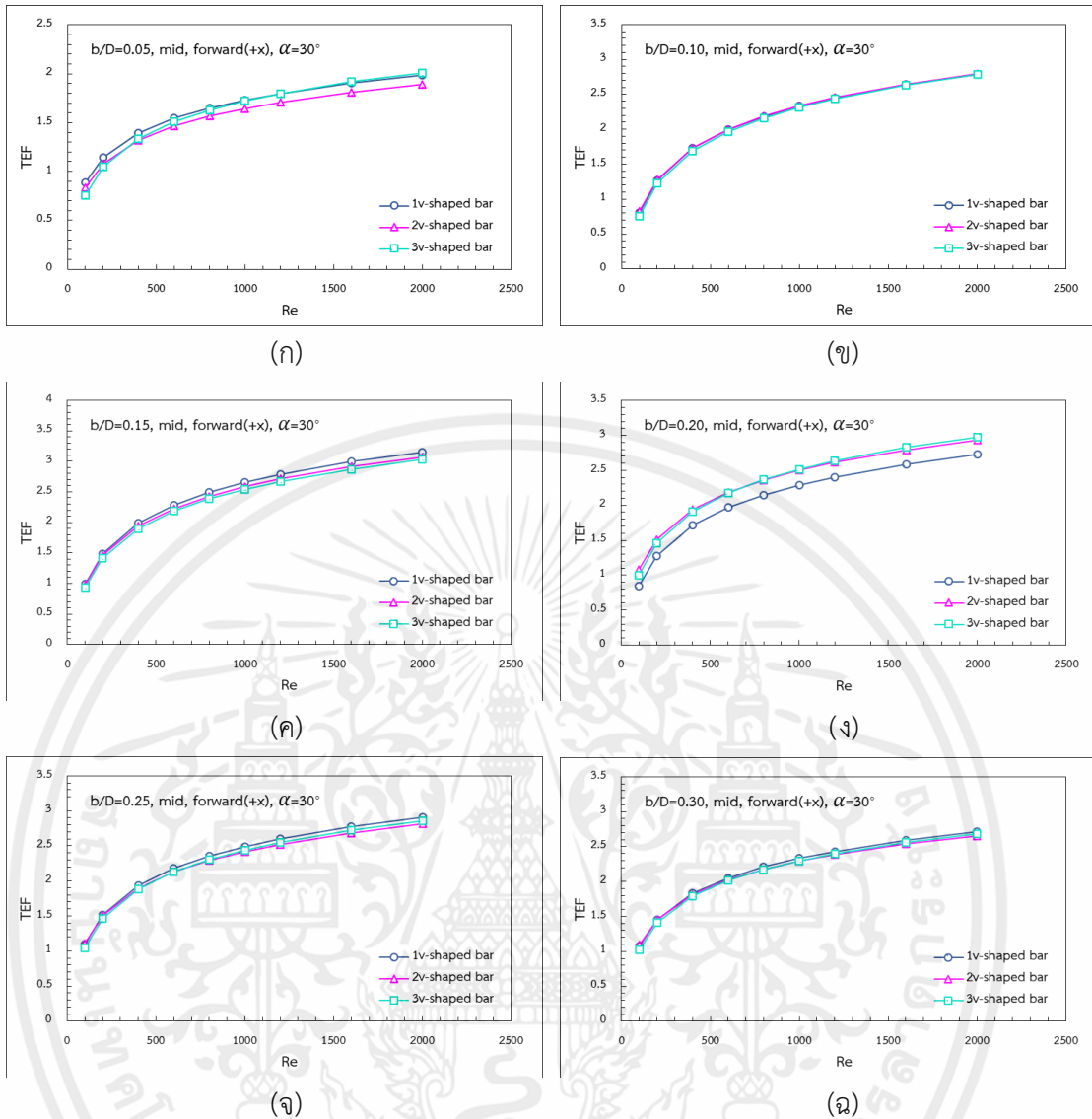
7.25, 8.22, 9.99 และ 11.61 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.83, 5.57, 9.30, 12.71, 16.14, 19.66, 23.21, 30.18 และ 33.90 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.00, 9.79, 17.62, 25.47, 33.19, 40.88, 48.66, 64.22 และ 79.13 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 5.97, 8.84, 13.31, 17.84, 22.32, 26.80, 31.27, 40.25 และ 49.29 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 16.60, 29.48, 56.22, 82.58, 108.23, 133.28, 157.89, 206.06 และ 252.16 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 29.95, 5.35, 8.47, 10.97, 13.06, 14.86, 16.38, 18.76 และ 20.67 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ส่วนกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสองแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 2.70, 3.42, 5.09, 6.61, 7.97, 9.22, 10.39, 12.55 และ 14.52 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.98, 6.00, 10.04, 14.02, 18.20, 22.35, 26.38, 34.17 และ 41.68 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.19, 10.16, 18.47, 27.42, 36.65, 45.68, 54.38, 70.96 และ 87.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 9.98, 17.25, 32.96, 49.35, 65.45, 80.97, 96.03, 125.35 และ 154.34 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 16.74, 29.88, 57.54, 84.92, 111.76, 138.20, 163.84, 212.92 และ 260.45 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 30.28, 55.30, 106.53, 147.38, 204.03, 251.43, 297.45, 386.62 และ 473.86 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสามแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 3.25, 3.95, 5.51, 6.92, 8.15, 9.29, 10.39, 12.52 และ 14.55 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 4.51, 6.52, 10.72, 14.74, 18.87, 22.99, 27.00, 34.80 และ 42.46 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 6.76, 10.85, 19.35, 28.02, 36.71, 45.44, 54.15, 71.12 และ 87.40 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 10.67, 18.16, 34.05, 50.37, 66.54, 82.31, 97.63, 126.98 และ 155.22 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 17.67, 31.23, 59.41, 87.24, 114.22, 140.40, 166.04, 216.41 และ 264.97 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบความเสียดทานเท่ากับ 31.61, 57.39, 110.10, 161.00, 209.84, 257.67, 304.88, 397.93 และ 489.57 เท่าของท่อเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานสำหรับแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสามแท่งมีแนวโน้มสูงกว่าแบบอื่น ซึ่งค่าตัวประกอบความเสียดทานมีค่าสูงสุดเท่ากับ 489.57 เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับ ร้อยละ 30 และแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งให้อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานที่สูงรองลงมาจากแท่งรูปตัววีจำนวนสามแท่ง ซึ่งค่าของทั้งคู่ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ส่วนแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่งให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่างแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้แผ่นกั้นรูปคลื่นถูกติดตั้งตรงกลางหน้าตัดท่อ, ทิศทางการไหลของอากาศไปข้างหน้า และมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30 องศา สำหรับ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ (ก) 5 (ข) 10 (ค) 15 (ง) 20 (จ) 25 (ฉ) 30

จากรูปที่ 5.21 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 100 ถึง 2000 ของแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีแตกต่างกันสามจำนวนคือ หนึ่งแท่ง, สองแท่ง และสามแท่ง ที่มีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นกั้น ทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อ และมุมปะทะการไหลมีค่าคงที่ดังรูปข้างต้น พบว่าในกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.93, 1.06, 1.36, 1.58, 1.70, 1.77, 1.81, 1.87 และ 1.94 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.97, 1.22, 1.61, 1.88, 2.11, 2.30, 2.47, 2.73 และ 2.90 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.02, 1.42, 1.99, 2.30, 2.51, 2.67, 2.81, 2.99 และ 3.11 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.98, 1.21, 1.65, 1.91, 2.10, 2.25, 2.39, 2.64 และ 2.85 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.11, 1.50, 1.92, 2.18, 2.37, 2.52, 2.63, 2.78 และ 2.85 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และ อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.10, 1.41, 1.80, 2.05, 2.23, 2.37, 2.47, 2.59 และ 2.66 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ ส่วนกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสองแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.84, 0.99, 1.33, 1.54, 1.64, 1.70, 1.73, 1.77 และ 1.79 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.91, 1.20, 1.64, 1.97, 2.22, 2.39, 2.51, 2.66 และ 2.75 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.99, 1.38, 1.95, 2.27, 2.48, 2.63, 2.73, 2.88 และ 3.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.05, 1.48, 1.95, 2.23, 2.43, 2.56, 2.65, 2.76 และ 2.83 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.08, 1.48, 1.89, 2.16, 2.34, 2.48, 2.56, 2.65 และ 2.72 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.08, 1.40, 1.79, 2.15, 2.21, 2.32, 2.40, 2.50 และ 2.58 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และกรณีที่ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีสามแท่ง ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 5 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.83, 0.96, 1.28, 1.52, 1.65, 1.74, 1.81, 1.92 และ 2.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 10 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.90, 1.16, 1.57, 1.88, 2.14, 2.33, 2.47, 2.68 และ 2.83 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 15 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.96, 1.35, 1.90, 2.20, 2.40, 2.56, 2.68, 2.87 และ 3.00 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 20 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.01, 1.44, 1.89, 2.17, 2.38, 2.54, 2.67, 2.84 และ 2.94 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ, อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 25 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.07, 1.45, 1.85, 2.11, 2.30, 2.45, 2.57, 2.75 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.84 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลร้อยละ 30 ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.07, 1.38, 1.74, 2.00, 2.19, 2.33, 2.43, 2.57 และ 2.65 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ สำหรับค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600 และ 2000 ตามลำดับ จากการสังเกตผลพบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีทั้งสามจำนวนนั้นให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมาก โดยค่าที่สูงที่สุดเท่ากับ 3.11 เท่าของท่อเปล่าผิวเรียบ เมื่อยึดแผ่นกั้นรูปคลื่นด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2000 และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 15



บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 อิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น

จากผลการศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งของแผ่นกั้นรูปคลื่น พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งตำแหน่งตรงกลางหน้าตัดท่อ นั้นมีอัตราการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากเส้นกระแสการไหล รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์ และอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) และอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (b/D) ต่างๆ ประกอบกัน แต่เมื่อพิจารณาความดันตกคร่อมในรูปแบบอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) พบว่าแผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อมียุทธศาสตร์น้อยกว่าอีกแบบมาก จึงส่งผลให้แผ่นกั้นรูปคลื่นที่ติดตั้งตำแหน่งด้านบนและด้านล่างหน้าตัดท่อมียุทธศาสตร์การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal Enhancement Factor : TEF)

6.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล

จากผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล ส่งผลโดยตรงต่อการกระจายของกระแสที่ปีกของแผ่นกั้น พบว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 นั้นมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าค่าอื่น เมื่อพิจารณาจากเส้นกระแสการไหล รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์ และอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่างๆ ประกอบกัน เช่นเดียวกันในส่วนของความดันตกคร่อมเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานนั้น ที่อัตราส่วนการขวางกั้นการไหลเท่ากับร้อยละ 30 ก็มีค่ามากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากมีส่วนที่ขวางกั้นการไหลสูงมากกว่าแบบอื่น แต่เมื่อพิจารณาจากค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแล้วนั้น พบว่าอัตราส่วนการขวางกั้นการไหลของแผ่นกั้นรูปคลื่นร้อยละ 15 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด

6.1.3 อิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศ

จากผลการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของอากาศซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกระแสการไหลของอากาศภายในท่อ พบว่าอากาศที่มีทิศทางการไหลภายในท่อแบบไปข้างหน้ามีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าทิศทางการไหลแบบย้อนกลับ เมื่อพิจารณาจากเส้นกระแสการไหล รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์ และอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลท์ที่ค่าเลขเรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โนลด์และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลต่างๆ ประกอบกัน และหากพิจารณาความดันตกคร่อมใน รูปแบบของอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานแล้วนั้น ทิศทางการไหลของอากาศแบบไป ข้างหน้ามีค่ามากกว่าแบบย้อนกลับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำอัตราส่วนค่าเลขนัสเซลล์และอัตราส่วน ค่าตัวประกอบความเสียดทานมาคำนวณหาค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน พบว่าทิศทางการไหลของอากาศภายในท่อแบบไปข้างหน้าส่งผลให้มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน มากที่สุด

6.1.4 อิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น

จากผลการศึกษาอิทธิพลของจำนวนแท่งรูปตัววีที่ใช้ยึดแผ่นกั้นรูปคลื่น เมื่อพิจารณาจากเส้น กระแสการไหล รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิ รูปแบบการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลล์ และ อัตราส่วนค่าเลขนัสเซลล์ที่ค่าเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการวางกั้นการไหลที่ค่าต่างๆ ประกอบกัน พบว่าแผ่นกั้นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งและสามแท่งนั้น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ สูงใกล้เคียงกันมากซึ่งมากกว่าแบบจำนวนหนึ่งแท่ง เช่นเดียวกันหากพิจารณาที่ความดันตกคร่อมจาก อัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานแล้วนั้น แท่งรูปตัววีจำนวนสองแท่งและสามแท่งก็มีค่าสูง ใกล้เคียงกันมาก และยิ่งมากกว่าจำนวนแท่งรูปตัววีหนึ่งแท่งเช่นเดียวกัน แต่เมื่อนำอัตราส่วนค่า เลขนัสเซลล์และอัตราส่วนค่าตัวประกอบความเสียดทานมาคำนวณหาค่าตัวประกอบสมรรถนะการ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนแล้วนั้นพบว่าจำนวนแท่งรูปตัววีทั้งสามแท่งให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกันมาก อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน พบว่ามีค่ามากที่สุดที่แผ่นกั้นรูปคลื่นที่ถูกยึดด้วยแท่งรูปตัววีจำนวนหนึ่งแท่ง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาที่มุมปะทะการไหลที่ 30° และค่าอัตราส่วนระยะพิตซ์ของ แผ่นกั้นรูปคลื่นเท่ากับ 0.1 เท่ากันทุกกรณีที่ทำการศึกษา ดังนั้นหากเพิ่มมุมปะทะการไหลและค่า อัตราส่วนระยะพิตซ์อาจจะส่งผลให้เพิ่มค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นได้

6.2.2 จำนวนกริดเซลล์ที่ใช้คือ 12000 นั้นเป็นจำนวนถูกเฉลี่ยอย่างทั่วถึงกันของทุก แบบจำลองแต่หากมีการศึกษาเมื่อแผ่นกั้นรูปคลื่นมีอัตราส่วนระยะพิตซ์ที่เปลี่ยนไปจึงอาจจะต้องใช้ จำนวนกริดเซลล์ที่แตกต่างกันอาจจะส่งผลให้เกิดความเบี่ยงเบนในการเปรียบเทียบผลการทดลองได้ ซึ่งหากกำหนดจำนวนกริดเซลล์ที่แผ่นกั้นในแต่ละกรณีให้มีค่าเท่ากันอาจจะทำให้เกิดความเบี่ยงเบน น้อยลงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhaia, C., Islamb, M. D., Simmons, R., & Barsoum, I. (2019). Heat transfer augmentation in a circular tube with delta winglet vortex generator pairs. *International Journal of Thermal Sciences*, 140, 480-490.
- [2] Promvongea, P., Promthaisongb, P., & Skullong, S. (2021). Numerical heat transfer in a solar air heater duct with punched delta-winglet vortex generators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101088.
- [3] Dogan, M., & İgci, A. A. (2021). An experimental comparison of delta winglet and novel type vortex generators for heat transfer enhancement in a rectangular channel and flow visualization with stereoscopic PIV, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 164, 120592.
- [4] Zhang, K., Sun, Z., Zheng, N., & Chen, Q. (2020). Effects of the configuration of winglet vortex generators on turbulent heat transfer enhancement in circular tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 157, 119928.
- [5] Promvongea, P., & Skullong, S. (2020). Thermo-hydraulic performance in heat exchanger tube with V-shaped winglet vortex generator, *Applied Thermal Engineering*, 164, 114424.
- [6] Modi, A. J., & Rathod, M. K. (2019). Comparative study of heat transfer enhancement and pressure drop for fin-and-circular tube compact heat exchangers with sinusoidal wavy and elliptical curved rectangular winglet vortex generator, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 141, 310-326.
- [7] Gupta, A., Roy, A. Gupta, S., & Gupta, M. (2020). Numerical investigation towards implementation of punched winglet as vortex generator for performance improvement of a fin-and-tube heat exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 149, 119171.
- [8] Modi, A. J., Kalel, N. A., & Rathod, M. K. (2020). Thermal performance augmentation of fin-and-tube heat exchanger using rectangular winglet vortex generators having circular punched holes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 158, 119724.

- [9] Jedsadaratanachai, W., Jayranaiwachira, N., & Promvong, P. (2015). 3D numerical study on flow structure and heat transfer in a circular tube with V-baffles, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23(2), 342-349.
- [10] Promvong, P., & Skullong, S. (2020). Augmented heat transfer in tubular heat exchanger fitted with V-baffed tapes, *International Journal of Thermal Sciences*, 155, 106429.
- [11] Jedsadaratanachai, W., & Boonloi, A. (2014). Effects of blockage ratio and pitch ratio on thermal performance in a square channel with 301 double V-baffles, *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 118–128.
- [12] Promvong, P., & Skullong, S. (2021). Enhanced thermal performance in tubular heat exchanger contained with V-shaped baffles. *Applied Thermal Engineering*, 185, 116307.
- [13] Promvong, P., Promthaisong, P., & Skullong, S. (2020). Experimental and numerical heat transfer study of turbulent tube flow through discrete V-winglets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 151, 119351.
- [14] Promvong, P., & Skullong, S. (2021). Heat transfer in a tube with combined V-winglet and twin counter-twisted tape. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101033.
- [15] Krishnaswamy, K., & Sivan, S. (2021). Improvement in thermal hydraulic performance by using continuous V and W-Shaped rib turbulators in gas turbine blade cooling application. *Case Studies in Thermal Engineering*, 24, 100857.
- [16] Promvong, P., & Skullong, S. (2021). Heat transfer in a tube with combined V-winglet and twin counter-twisted tape. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101033.
- [17] Liang, Y., Liu, P., Zheng, N., Shan, F., Liu, Z., & Liu, W. (2019). Numerical investigation of heat transfer and flow characteristics of laminar flow in a tube with center-tapered wavy-tape insert. *Applied Thermal Engineering*, 148, 557-567.
- [18] Wang, L., Wang, S., Liu, W., Wen, F., Zhou, X., & Wang, Z. (2018). Numerical predictions on heat transfer and flow characteristics in a straight channel with different geometric parameters wavy ribs. *Applied Thermal Engineering*, 140, 245-265.

- [19] Yu, C., Chen, J., Zeng, M., & Gao, B. (2019). Numerical study on turbulent heat transfer performance of a new parallel-flow shell and tube heat exchanger with sinusoidal wavy tapes using RSM analysis. *Applied Thermal Engineering*, *150*, 875-887.
- [20] Zhang, H., Nunayon, S. S., & Lai, A. C. (2020). Performance evaluation of flow resistance and ultrafine particle deposition enhancement in an air duct equipped with V-Shaped winglet vortex generators. *Building and Environment*, *183*, 107194.
- [21] Promvong, P., Tongyote, P., & Skullong, S. (2019). Thermal behaviors in heat exchanger channel with V-shaped ribs and grooves. *Chemical Engineering Research and Design*, *150*, 263-273.
- [22] Promvong, P., Promthaisong, P., & Skullong, S. (2022). Thermal performance augmentation in round tube with louvered V-winglet vortex generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *182*, 121913.
- [23] Wu, J., Liu, P., Yu, M., Liu, Z., & Liu, W. (2022). Thermo-hydraulic performance and exergy analysis of a fin-and-tube heat exchanger with sinusoidal wavy winglet type vortex generators. *International Journal of Thermal Sciences*, *172*, 107274.
- [24] Boonloi, A., & Jedsadaratanachai, W. (2015). Turbulent forced convection in a heat exchanger square channel with wavy-ribs vortex generator. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *23*(8), 1256-1265.
- [25] Luo, C., Wu, S., Song, K., Hua, L., & Wang, L. (2019). Thermo-hydraulic performance optimization of wavy fin heat exchanger by combining delta winglet vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, *163*, 114343.
- [26] Boonloi, A., & Jedsadaratanachai, W. (2021). Numerical assessments of flow pattern and heat transfer profile for the round tube equipped with different configurations of the dual-inclined baffle. *Case Studies in Thermal Engineering*, *27*, 101242.
- [27] Xiao, W. Z., Yun, H. F., & Jing, Q. Z. (2016). A novel wavy-tape insert configuration for pipe heat transfer augmentation. *Energy Conversion and Management*, *127*, 140-148.
- [28] Salhi, J. E., Zarrouk, T., & Salhi, N. (2021). Numerical study of the thermo-energy of a tubular heat exchanger with longitudinal baffles. *Materials Today Proceedings*, *45*(8), 7306-7313.

- [29] Fawaz, H. E., Badawy, M. T. S., Rabbo, M. F. A., & Elfeky, A. (2018). Numerical investigation of fully developed periodic turbulent flow in a square channel fitted with 45° in-line V-baffle turbulators pointing upstream. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 633-642.
- [30] Sawhney, J. S., Maithani, R., & Chamoli, S. (2017). Experimental investigation of heat transfer and friction factor characteristics of solar air heater using wavy delta winglets. *Applied Thermal Engineering*, 117, 740-751.
- [31] Maithani, R., Silori, A., Rana, J., & Chamoli, S. (2017). Numerical analysis of heat transfer and fluid flow of a wavy delta winglets in a rectangular duct. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2, 15-25.
- [32] Liang, Y., Liu, P., Zheng, N., Shan, F., Liu, Z., & Liu, W. (2019). Numerical investigation of heat transfer and flow characteristics of laminar flow in a tube with center-tapered wavy-tape insert. *Applied Thermal Engineering*, 148, 557-567.
- [33] Chanyut Kolutawong (2019). Conservation law governing equations in fluid mechanics. *The Journal of Applied Science*, 18, 135-156.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases

(a) At 300 K

Gas	Formula	Gas constant, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Air	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argon	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butane	C ₄ H ₁₀	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Carbon dioxide	CO ₂	0.1889	0.846	0.657	1.289
Carbon monoxide	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Ethane	C ₂ H ₆	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Ethylene	C ₂ H ₄	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helium	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hydrogen	H ₂	4.1240	14.307	10.183	1.405
Methane	CH ₄	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrogen	N ₂	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octane	C ₈ H ₁₈	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxygen	O ₂	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propane	C ₃ H ₈	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Steam	H ₂ O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Note: The unit kJ/kg · K is equivalent to kJ/kg · °C.

Source: *Chemical and Process Thermodynamics 3/E* by Kyle, B. G., © 2000. Adapted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases (Continued)

(b) At various temperatures

Temperature, K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k
	kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K		
	<i>Air</i>			<i>Carbon dioxide, CO₂</i>			<i>Carbon monoxide, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hydrogen, H₂</i>			<i>Nitrogen, N₂</i>			<i>Oxygen, O₂</i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Table A-4M. Originally published in *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้