

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงตัวเลขของคุณลักษณะการไหลราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อจตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววี

NUMERICAL INVESTIGATION OF LAMINAR FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN A SQUARE CHANNEL WITH V-BAFFLES



T123097



อพ.
ว569ก
2555

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 123097
วัน,เดือน,ปี 18 ต.ค. 2555

b. 12/8/89
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2555

KMITL-2012-EN-D-058-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL INVESTIGATION OF LAMINAR FLOW AND HEAT TRANSFER
CHARACTERISTICS IN A SQUARE CHANNEL WITH V-BAFFLES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012

KMITL-2012-EN-D-058-006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2012

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงตัวเลขของคุณลักษณะการไหลราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อจตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววี

Thesis Title Numerical Investigation of Laminar Flow and Heat Transfer Characteristics in a Square Channel with V-baffles

นักศึกษา นางสาววิฑิตา เจษฎารัตนชัย

รหัสประจำตัว 51060103

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

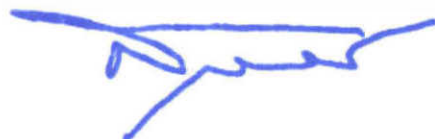
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-D-058-006

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
พอ.รศ.ดร.อโณทัย	สุขแสงพนมรุ่ง	
รศ.ดร.ชินวักษ์	เจียรพงษ์	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงตัวเลขของคุณลักษณะการไหลราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววี
นักศึกษา	นางสาววิฑาดา เจษฎารัตนชัย
รหัสนักศึกษา	51060103
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผิวท่อคงที่ โดยมีการติดตั้งตัวสร้างการไหลแบบหมุนควงด้วยแผ่นกั้นตัววี ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ซึ่งการศึกษานี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ช่วงจาก $Re = 100$ ถึง 2000 ค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในท่อจัตุรัสนำเสนอในรูปของเลขนัสเซล (Nu) และตัวประกอบเสียดทาน (f) ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างของแผ่นกั้นตัววีได้ถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนดังต่อไปนี้

ในส่วนแรกทำการศึกษาอิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งทั้งด้านบนและด้านล่างของผนัง โดยมีมุมปะทะ (α) เท่ากับ 20° , 30° , 45° , และ 60° กับทิศทางการไหลและมีอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นหรืออัตราส่วนการบล็อกการไหล $BR = b/H = 0.10 - 0.30$, ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นหรืออัตราส่วนระยะพิตต์, $PR = 1.00 - 2.00$ สำหรับแต่ละมุมปะทะ แผ่นกั้นตัววีจะถูกติดตั้งที่ผนังในด้านตรงข้ามของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบตรงกัน (In-line) สำหรับทุก ๆ มุมปะทะและแบบเยื้อง (Staggered) โดยเฉพาะมุมปะทะ 30° โดยแผ่นกั้นตัววีมีการจัดวางแบบปลายวีชี้ตามการไหล (V-Downstream) และปลายวีชี้ทวนการไหล (V-Upstream) พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีส่งผลให้เกิดการหมุนควงหรือการหมุนวนแบบคู่ (Pair-vortex, P-vortex) ที่มีทิศทางสวนทางกันและเกิดการเหนี่ยวนำของการไหลส่งผลให้เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังท่อ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อมีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นตัววีสำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษาทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ โดยค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.30 สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววี $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $PR = 1.50$ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ที่มากที่สุดในการศึกษา

ส่วนที่สองได้ศึกษาอิทธิพลของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววีมุมปะทะ 30° มีการติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อแบบตรงกัน โดยมีการศึกษาสำหรับค่าความสูงของแผ่นกั้นและระยะพิตต์ที่แตกต่างกันทั้งห้า ($BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30) และสามค่า ($PR = 1.00, 1.50$ และ 0.20) ตามลำดับ จัดวางแบบปลายวีชี้ตามการไหลและปลายวีชี้ทวนการ

ไหลในท่อจัตุรัส ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการตัดขอบแผ่นกั้นตัววิมูมปะทะ 30° ส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบ

ส่วนสุดท้ายศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนของแผ่นกั้นตัววิมูมปะทะเท่ากับ 30° ที่มีการจัดวางบนแผ่นบางผิวเรียบทั้งสองหน้าและการจัดวางโดยการยึดขอบ (ไม่มีแผ่นเรียบ) ติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อจัตุรัสโดยมีค่าความสูง ($BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30) และระยะพิตต์ ($PR = 1.00, 1.50$ และ 0.20) ของแผ่นกั้นที่แตกต่างกัน จากผลการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นตัววิมูมปะทะ 30° ติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบและท่อที่มีการแผ่นกั้นตัววีที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ แต่อย่างไรก็ตามแผ่นกั้นตัววิมูมปะทะการไหล 30° ที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อจะช่วยให้ลดระยะเวลาและมีความสะดวกสบายในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีมากกว่ากรณีอื่น ๆ ทั้งนี้สมการสหสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาทั้งในรูปของ $Nu/Nu_0, f/f_0$ และการหาจุด optimization ได้ถูกนำเสนอ



Thesis Title	Numerical investigation of laminar flow and heat transfer characteristics in a square channel with V-baffles
Student	Ms. Withada Jedsadaratanachai
Student ID.	51060103
Degree	Doctor of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pongjet Promvonge

ABSTRACT

The thesis presents a numerical study on heat transfer enhancement and flow structure in a constant temperature-surfaced square channel with V-baffle vortex generators. The computations based on the finite volume method, and the SIMPLE algorithm has been implemented. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds number (Re) values, based on the hydraulic diameter of the square duct, ranging from $Re = 100$ to 2000. The heat transfer and pressure drop characteristics in the square channel are shown in terms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively. The thesis outlines are divided into three sections as follows:

Firstly, effects of V-baffles with the baffle inclination angle or attack angle (α) of 20°, 30°, 45°, and 60°; the baffle height ratio or blockage ratio, $BR = b/H = 0.10 - 0.30$; and baffle spacing or pitch ratio, $PR = 1.00-2.00$ for each the angle on thermal performance are numerically investigated. The V-baffles are mounted on the opposite walls of the square channel with in-line arrangement for all the attack angles and with staggered arrangement for only $\alpha = 30^\circ$ and the baffle V-tip in the study is pointing on both downstream (V-Downstream) and upstream (V-Upstream). It appears that P-vortex or Pair-vortex flows exist and help to induce impinging flows over the baffle leading end side and the inter-baffle cavity walls resulting in drastic increase in heat transfer rate over the test channel. The results show that the V-baffles provide higher heat transfer and friction loss than the smooth square channel for all cases. The maximum value of the thermal enhancement factor, η is found to be 4.30 for using the 30° V-baffle with $BR = 0.20$ and $PR=1.50$ at the highest Reynolds number.

Secondly, effect of end-trimmed 30°V-baffles on thermal behaviors of five baffle height ($BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ and 0.30), three longitudinal pitches ($PR =$

1.00, 1.50 and 0.20) and pointing downstream (V-Downstream) and upstream (V-Upstream) in the test square channel are investigated. The numerical results reveal that the end-trimmed V-baffles leads to the decrease in friction loss in comparison with V-baffles with no trim.

Lastly, 30° V-baffles mounted on double-sides of a thin plate/tape and placed diagonally by edges (no plate) in the square channel are presented to study the influence of baffle height and pitch spacing on thermal performance characteristics. The V-baffles with $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ and 0.30 ; and $PR = 1.00, 1.50$ and 2.00 are investigated. The numerical results show that the use of 30° V-baffles in the diagonal line tends to increase in the friction factor in comparison with the smooth channel and with the V-baffles placed on the upper and lower walls. However, the diagonal-placed 30° V-baffles help to save the time and are comfortable for installation of the V-baffles much more than other cases. In addition, the proposed correlations for the present experimental data of $Nu/Nu_0, f/f_0$ and optimal V-baffle sizes are also presented.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาเชิงตัวเลขของคุณลักษณะการไหลราบเรียบและการถ่ายเทความร้อน ในท่อจตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยการให้คำปรึกษาและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากการสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผ่านโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ประเภททุนปกติ รุ่นที่ 10 รหัสนักศึกษา 1.M.KL/50/B.1 สัญญาเลขที่ PHD/0176/2550

ขอขอบคุณ ดร.อำนาจ บุญลอย, ผศ.ดร.สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์, อาจารย์วายุ ช่างเจริญ, อาจารย์สมบัติ ทำนา และ รศ.ดร.สมิทธิ เอี่ยมสอาด ที่ให้ความกรุณาในการสอนโปรแกรมและให้คำแนะนำที่ดีแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการวิจัย

ขอขอบคุณ พี่น้องๆร่วมสถาบันทุกท่านจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆ ด้านที่ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุด สำหรับคุณงามความดี อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

วิชาดา เจษฎารัตนชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	XIII
สารบัญรูป	XIV
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XXX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	3
1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์	5
2.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกัน	5
2.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกันแบบเต็มและแผ่นกันแบบเจาะรู	7
2.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกันพรุน	8
2.4 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบทัววี	11
2.5 โครงสร้างการไหล (flow topology)	12
2.5.1 กระแสการไหลและกระแสการไหลที่ผนัง (streamlines and wall streamlines)	12
2.5.2 เส้นกระแสการไหลที่พื้นผิว (streamsurfaces)	13
2.6 โครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน (coherent structures)	13
2.6.1 ความหมายของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน	13
2.6.2 การตรวจสอบการไหลหมุนวน (vortex detection)	13
บทที่ 3 กฎการอนุรักษ์สำหรับของไหลเคลื่อนที่	15
3.1 บทนำ	15
3.2 สมการควบคุมของการไหลและการถ่ายเทความร้อน	15
3.2.1 การอนุรักษ์มวลในปัญหา 3 มิติ	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอนุภาคของไหล ในเทอมของชั้นส่วนย่อยของไหล	18
3.2.3 สมการโมเมนตัมแบบ 3 มิติ.....	20
3.2.4 สมการพลังงานในระบบ 3 มิติ.....	23
3.3 สมการนาเวียร์-สโตกส์ สำหรับของไหลแบบนิวโทเนียน.....	28
3.4 รูปแบบอนุพันธ์สำหรับสมการควบคุมของการไหล.....	31
3.5 รูปแบบเชิงอนุพันธ์และอินทิกรัลสำหรับสมการการเคลื่อนย้ายแบบปกติ.....	31
บทที่ 4 การถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อ	35
4.1 บทนำ.....	35
4.2 การไหลของของไหล.....	35
4.2.1 สถานะการไหล.....	35
4.2.2 ความเร็วเฉลี่ย	36
4.2.3 รูปร่างความเร็วของการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว.....	37
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทาน ในการไหลแบบปรับตัวเต็มที่แล้ว	38
4.3 การถ่ายเทความร้อน.....	40
4.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย	40
4.3.2 สถานะการปรับตัวเต็มที่แล้ว.....	41
4.4 การสมดุลของพลังงาน.....	44
4.4.1 กรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่.....	45
4.4.2 กรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่.....	45
4.5 สหพันธ์การพาความร้อนสำหรับท่อที่ไม่กลม	47
4.6 สมรรถนะเชิงความร้อน	48
บทที่ 5 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	49
5.1 บทนำ.....	49
5.2 ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข.....	49
5.3 ขั้นตอนการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	49
5.3.1 ขั้นก่อนประมวลผล	49
5.3.2 ขั้นประมวลผล.....	50
5.3.3 ขั้นแสดงผล	50
5.4 คุณสมบัติของวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	50
5.4.1 ความเข้ากันได้.....	51
5.4.2 เสถียรภาพการคำนวณ.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.3 การลู่เข้าของผลเฉลย	51
5.4.4 การอนุรักษ์	51
5.4.5 ความจำกัดขอบ	51
5.4.6 ความเสมือนจริง	51
5.4.7 ความแน่นอน	52
5.5 รูปแบบการจัดวางกริด	52
5.6 แบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลข	53
5.6.1 แบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลาง	53
5.6.2 แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง	54
5.6.3 แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง	54
5.6.4 แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก	55
5.7 การดิสเครทไทต์สมการควบคุม	57
5.8 การดิสเครทไทต์สมการอนุรักษ์มวล	57
5.9 การดิสเครทไทต์สมการอนุรักษ์พลังงาน	57
5.9.1 การดิสเครทไทต์เทอมไม่คงตัว	58
5.9.2 การดิสเครทไทต์เทอมการพา	59
5.9.3 การดิสเครทไทต์เทอมการแพร่	59
5.10 การดิสเครทไทต์สมการนาเวียร์-สโตกส์	61
5.11 ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยของสมการควบคุมในการไหลคงตัว	67
บทที่ 6 การกำหนดปัญหาและตรวจสอบผลการคำนวณ	71
6.1 บทนำ	71
6.2 สมการควบคุมและสมมติฐาน	71
6.3 การกำหนดลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการวิจัย	72
6.3.1 กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ	72
6.3.2 กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ	74
6.3.3 กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ	76
6.4 ค่าเงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ	77
6.5 การตรวจสอบโปรแกรมที่ใช้กับผลเฉลยแม่นยำ (exact solution)	77
6.6 การศึกษาการเข้าสู่การไหลเป็นคาบแบบปรับตัวเต็มที่	
fully developed periodic flow	78
6.6.1 รูปร่างของแผ่นกั้นที่ทำการศึกษา	79
6.6.2 ผลการทดลอง	80
6.6.2.1 การเข้าสู่รูปแบบการไหลเป็นคาบแบบปรับตัวเต็มที่	
fully developed periodic	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.6.2.2 โครงสร้างการไหล	84
6.6.2.3 การถ่ายเทความร้อน	85
6.6.2.4 การประเมินค่าสมรรถนะ	88
บทที่ 7 โครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมของแผ่นกั้นตัววี	89
7.1 บทนำ.....	89
7.2 โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นตัววี.....	89
7.3 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์.....	92
7.3.1 เส้นกระแสการไหล	93
7.3.2 การถ่ายเทความร้อน.....	98
7.3.3 ความดันตกคร่อม	103
7.4 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, <i>BR</i>).....	104
7.4.1 เส้นกระแสการไหล	104
7.4.2 การถ่ายเทความร้อน.....	109
7.4.3 ความดันตกคร่อม	113
7.5 อิทธิพลของระยะพิตต์ (ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ, <i>PR</i>)	115
7.5.1 เส้นกระแสการไหล	115
7.5.2 การถ่ายเทความร้อน.....	118
7.5.3 ความดันตกคร่อม	122
7.6 อิทธิพลของมุมปะทะ	123
7.6.1 เส้นกระแสการไหล.....	124
7.6.2 การถ่ายเทความร้อน.....	129
7.6.3 ความดันตกคร่อม	134
7.7 อิทธิพลของทิศทางการไหล.....	135
7.7.1 เส้นกระแสการไหล	135
7.7.2 การถ่ายเทความร้อน.....	140
7.7.3 ความดันตกคร่อม	143
7.8 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น	144
7.8.1 เส้นกระแสการไหล	144
7.8.2 การถ่ายเทความร้อน.....	147
7.8.3 ความดันตกคร่อม	150
7.9 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววี.....	151
7.9.1 เส้นกระแสการไหล	152
7.9.2 การถ่ายเทความร้อน.....	158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.9.3 ความดันตกคร่อม	161
7.10 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกันตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง	162
7.10.1 เส้นกระแสการไหล	162
7.10.2 การถ่ายเทความร้อน	164
7.10.3 ความดันตกคร่อม	167
7.11 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกันตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง	168
7.11.1 เส้นกระแสการไหล	168
7.11.2 การถ่ายเทความร้อน	170
7.11.3 ความดันตกคร่อม	172
บทที่ 8 การประเมินค่าสมรรถนะ	174
8.1 บทนำ	174
8.2 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์	174
8.2.1 การถ่ายเทความร้อน	174
8.2.2 ความดันตกคร่อม	181
8.2.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	187
8.2.4 สรุป	192
8.3 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกัน (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, <i>BR</i>)	193
8.3.1 การถ่ายเทความร้อน	193
8.3.2 ความดันตกคร่อม	200
8.3.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	206
8.3.4 สรุป	212
8.4 อิทธิพลของระยะพิตต์ (ระยะห่างระหว่างแผ่นกันต่อความสูงของท่อ, <i>PR</i>)	212
8.4.1 การถ่ายเทความร้อน	212
8.4.2 ความดันตกคร่อม	219
8.4.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	225
8.4.4 สรุป	229
8.5 อิทธิพลของทิศทางการไหล	231
8.5.1 การถ่ายเทความร้อน	231
8.5.2 ความดันตกคร่อม	242
8.5.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	244
8.5.4 สรุป	248
8.6 อิทธิพลของมุมปะทะ	249
8.6.1 การถ่ายเทความร้อน	249

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.6.2 ความดันตกคร่อม	259
8.6.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน.....	268
8.6.4 สรุป.....	276
8.7 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกัน.....	276
8.7.1 การถ่ายเทความร้อน.....	276
8.7.2 ความดันตกคร่อม	281
8.7.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน.....	285
8.7.4 สรุป.....	288
8.8 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกันตัววี.....	290
8.8.1 การถ่ายเทความร้อน.....	290
8.8.2 ความดันตกคร่อม	293
8.8.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน.....	296
8.8.4 สรุป.....	298
8.9 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกันตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง	299
8.9.1 การถ่ายเทความร้อน.....	299
8.9.2 ความดันตกคร่อม	303
8.9.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน.....	306
8.9.4 สรุป.....	309
8.10 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกันตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง	309
8.10.1 การถ่ายเทความร้อน.....	309
8.10.2 ความดันตกคร่อม	313
8.10.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	316
8.10.4 สรุป.....	319
8.11 เปรียบเทียบแผ่นกันตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง และไม่มีแผ่นกลาง	319
8.11.1 การถ่ายเทความร้อน.....	319
8.11.2 ความดันตกคร่อม	321
8.11.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	323
8.11.4 สรุป.....	324
8.12 เปรียบเทียบแผ่นกันตัววีมุมปะทะ 30°	324
8.12.1 การถ่ายเทความร้อน.....	324
8.12.2 ความดันตกคร่อม	327
8.12.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน	328
8.12.4 สรุป.....	330
8.13 การสร้างสมการสหสัมพันธ์ด้วยรีเกรสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร.....	330

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.13.1 แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อ.....	331
8.13.2 แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อแบบตัดขอบ.....	331
8.13.3 แผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ.....	332
8.13.4 การออกแบบชิ้นงาน กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, In-line.....	332
8.13.4.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบชิ้นงาน กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, In-line.....	337
บทที่ 9 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	339
9.1 สรุปผลการทดลอง.....	339
9.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์.....	339
9.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการบล็อกการไหล.....	340
9.1.3 อิทธิพลของระยะพิตต์.....	340
9.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะการไหล.....	340
9.1.5 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น.....	341
9.1.6 อิทธิพลของทิศทางการไหล.....	341
9.1.7 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววี.....	342
9.1.8 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุม.....	342
9.2 ข้อเสนอแนะการพัฒนางานวิจัย.....	343
บรรณานุกรม.....	344
ภาคผนวก.....	349
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ.....	349
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	351
ประวัติผู้เขียน.....	371

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมการควบคุมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียนอัดตัวได้	31
4.1 ค่า Nu_D และ f สำหรับการไหลราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ในท่อพื้นที่หน้าตัดต่างๆกัน	47
6.1 ค่า Nu และ f ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 500$ ที่จำนวนกริตต่างๆ	73
6.2 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ	74
6.3 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ	75
6.4 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ	76



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	ชิ้นส่วนของของไหลสำหรับกฎการอนุรักษ์..... 16
3.2	การไหลของมวลเข้าและออกชิ้นส่วนของไหล..... 17
3.3	องค์ประกอบของความเค้นบนผิวหน้าทั้งสามทิศทาง ของชิ้นส่วนของไหล..... 21
3.4	องค์ประกอบของความเค้นในทิศทาง x 21
3.5	องค์ประกอบของเวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อน..... 25
4.1	การก่อตัวของบาวนด์ลีเรเยอร์ของการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม..... 35
4.2	สมมูลแรงบนอิลิเมนต์ dx สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ก่อตัวเต็มที่ในท่อกลม..... 37
4.3	ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อกลม..... 39
4.4	การก่อตัวของบาวนด์ลีเรเยอร์ทางความร้อนในท่อกลม..... 40
4.5	การเปลี่ยนแปลง h ตามแนวแกน สำหรับการไหลภายในท่อ..... 43
4.6	ปริมาตรควบคุมสำหรับการไหลภายในท่อ..... 44
5.1	ความเชื่อมโยงของกระบวนการดิสเครทไทต์และผลเฉลยประมาณค่า..... 50
5.2	แนวคิดของความแน่นอนและความแม่นยำ..... 52
5.3	รูปแบบการจัดวางกริดในแกน 2 มิติ และ 3 มิติ..... 53
5.4	ส่วนแรงแสดงตำแหน่งของปริมาตรควบคุมแบบ 2 มิติ..... 53
5.5	รูปแบบแนวคิดของแบบแผนวิธีผลต่างควอดราติกในปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ..... 56
5.6	การกระจายตัวของความดันกระเพื่อม หรือปัญหากระดานหมากรุก..... 62
5.7	การจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนใน 2 มิติ..... 63
5.8	เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณาเยลเซล..... 65
5.9	เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณาวีเซล..... 66
5.10	เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณาสเกลาร์เซล..... 69
5.11	ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยด้วยวิธี SIMPLE..... 70
6.1	แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ วางตรง (In-line) ติดตั้งที่ผนังท่อ..... 72
6.2	แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ วางเยื้อง (Staggered) ติดตั้งที่ผนังท่อ..... 72
6.3	ลักษณะการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ สำหรับ ก) ปลายวีชี้ตามกระแสการไหล (V-Downstream) และ ข) ปลายวีชี้ทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ติดตั้งที่ผนังท่อ..... 73
6.4	ลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ สำหรับ (ก) วางตรง (In-line) และ (ข) วางเยื้อง (Staggered) ติดตั้งที่ผนังท่อ..... 74
6.5	แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ วางตรง (In-line) ติดตั้งที่ผนังท่อและลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหล ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ..... 75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.6	แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบวางตรง (In-line) ติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อและลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหล ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ 76
6.7	การเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบระหว่างผลเฉลยแม่นยำตรง กับผลที่ได้จากการจำลอง 78
6.8	การเปรียบเทียบค่าตัว f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบระหว่างผลเฉลยแม่นยำตรง กับผลที่ได้จากการจำลอง 78
6.9	ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบที่ผนังท่อ (ก) ท่อยาวใช้ในการทดสอบ (ข) โมดูลแบบเป็นคาบที่ใช้ในการทดสอบและลักษณะกริดที่ใช้ 79
6.10	ค่าการกระจายสำหรับ (ก) Nu_x/Nu_0 และ (ข) u/u_0 กรณี $PR=1.00, BR=0.20$ และ $Re=800$ 80
6.11	ค่าการกระจายสำหรับ (ก) u/u_0 และ (ข) w/w_0 กรณี $PR=1.00, BR=0.20$ และ $Re=800$ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน 82
6.12	รูปร่างความเร็วสำหรับ ก) $y/D = 0.05$, ข) $y/D = 0.25$ และ ค) $y/D = 0.45$ สำหรับกรณี $z/D = 0.25, BR = 0.20, PR = 1.00$ และ $Re=800$ 83
6.13	โครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหลที่กรณี $Re = 800, BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$ สำหรับ ก) ท่อยาว และ ข) โมดูลแบบเป็นคาบ 84
6.14	เส้นกระแสการไหล 3 มิติ กระแทกที่ผนังด้านล่างและผนังด้านข้างของท่อในแต่ละโมดูล กรณี $Re = 800, BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$ 85
6.15	การกระจาย Nu_x สำหรับ (ก) ท่อยาวและ (ข) โมดูลแบบเป็นคาบ กรณี $Re = 800, BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$ 86
6.16	การประเมินค่าสมรรถนะ ก) Nu/Nu_0 , ข) ff_0 และ ค) TEF กับค่า BR ที่ค่า Re และ PR ต่าง ๆ 87
7.1	โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นตัววีและเวกเตอร์ความเร็วสำหรับแผ่นกั้นแบบ V-Downstream (ก) In-line และ (ข) Staggered ที่ $\alpha = 30^\circ, BR = 0.20, PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ 90
7.2	โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ, BR = 0.20, PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ 91
7.3	โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ, BR = 0.20, PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ 92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.4 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$	94
7.5 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$...	95
7.6 เส้นกระแสการไหล 3 มิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านล่าง และการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า Re ต่าง ๆ.....	96
7.7 เส้นกระแสการไหลสามมิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านข้าง และการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า Re ต่าง ๆ.....	98
7.8 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$	99
7.9 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$..	100
7.10 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$..	102
7.11 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$	103
7.12 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	105
7.13 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	106
7.14 เส้นกระแสการไหลสามมิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านล่าง และการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า BR ต่าง ๆ.....	108

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.15 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	110
7.16 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	111
7.17 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	112
7.18 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$	114
7.19 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	116
7.20 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	117
7.21 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	119
7.22 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	120
7.23 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	121

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.24 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$	123
7.25 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	125
7.26 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	128
7.27 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	130
7.28 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	131
7.29 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	133
7.30 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$	134
7.31 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	136
7.32 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	137
7.33 เส้นกระแสการไหลในสามมิติและการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$, In-line และ V-Upstream สำหรับ (ก) การกระแทกที่ผนังด้านล่าง (ข) การกระแทกที่ผนังด้านข้าง และ (ค) การกระแทกทั้งผนังด้านล่างและด้านข้าง	139
7.34 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	140

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.35 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	141
7.36 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	142
7.37 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	143
7.38 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered.....	145
7.39 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered.....	146
7.40 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered.....	148
7.41 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered	149
7.42 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered.....	150
7.43 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered.....	151
7.44 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	153
7.45 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Downstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ (ก) $y/H = 0$, (ข) $y/H = 0.25$ และ (ค) $y/H = 0.50$	155
7.46 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Upstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ (ก) $y/H = 0$, (ข) $y/H = 0.25$ และ (ค) $y/H = 0.50$	156
7.47 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Downstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง	157
7.48 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Upstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง	158

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.49 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	159
7.50 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	160
7.51 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	161
7.52 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง.....	163
7.53 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง.....	165
7.54 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง.....	166
7.55 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง.....	167
7.56 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง.....	168
7.57 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง.....	170
7.58 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง.....	171
7.59 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง.....	173

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	175
8.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	177
8.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	178
8.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	180
8.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	181
8.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	183
8.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	184
8.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	186
8.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	187
8.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	189
8.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	190
8.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	192
8.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	194
8.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	196
8.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	197
8.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	199

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	200
8.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	202
8.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	203
8.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	205
8.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	206
8.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	208
8.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	209
8.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	211
8.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	213
8.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	215
8.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	216
8.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	218
8.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	219
8.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	221
8.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	222

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	224
8.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	225
8.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	227
8.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	228
8.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	230
8.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	232
8.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	233
8.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	234
8.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	235
8.41 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	236
8.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	238
8.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	239
8.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	241
8.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	242
8.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	243

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	243
8.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	244
8.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	245
8.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	246
8.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	247
8.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream.....	248
8.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	250
8.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	252
8.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	253
8.56 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	254
8.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	256
8.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	257
8.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ...	258
8.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	260
8.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	261

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream....	263
8.63 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	264
8.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream....	265
8.65 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	266
8.66 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	267
8.67 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	268
8.68 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	270
8.69 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ...	271
8.70 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream...	272
8.71 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream....	273
8.72 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream....	274
8.73 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream....	275
8.74 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	277
8.75 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	279

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.76 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	280
8.77 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	282
8.78 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	283
8.79 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	284
8.80 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	286
8.81 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	287
8.82 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	289
8.83 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	291
8.84 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	292
8.85 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	294

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.86 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	295
8.87 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	297
8.88 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	298
8.89 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	300
8.90 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	302
8.91 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	304
8.92 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	305
8.93 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	307
8.94 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	308
8.95 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream	310

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.96 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	312
8.97 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	314
8.98 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	315
8.99 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	317
8.100 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม แบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	318
8.101 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม ทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	320
8.102 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม ทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	322
8.103 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม ทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	323
8.104 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	325
8.105 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	327
8.106 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream.....	329
8.107 แพกเตอร์ n_1 และ n_2 สำหรับการคำนวณ η ที่ค่า Re ต่าง ๆ.....	333

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.108 การกระจายค่า η ที่ $Re = 2000$, BR และ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อ ที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line.....	334
8.109 การกระจายค่า η ที่ $Re = 2000$, BR และ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อ ที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Upstream, In-line.....	334
8.110 ตัวอย่างการหาเส้นแนวโน้มค่า η ที่มากที่สุดที่ค่า Re ต่าง ๆ กรณี $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line.....	335
8.111 ความสัมพันธ์ระหว่าง η และ BR ที่ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อ ที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line.....	335
8.112 ความสัมพันธ์ระหว่าง η และ BR ที่ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อ ที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Upstream, In-line.....	335
8.113 แฟกเตอร์ z กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line.....	336
8.114 แฟกเตอร์ z กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Upstream, In-line.....	337



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_c	พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2
A_s	พื้นที่ผิวท่อทั้งหมด, m^2
BR	อัตราส่วนการบล็อกการไหล
b	ความสูงแผ่นกั้น, m
C	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, $J/kg \cdot K$
C_f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, $J/kg \cdot K$
C_v	ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความปริมาตรคงที่, $J/kg \cdot K$
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์, m
E	พลังงาน, W
f	ตัวประกอบเสียดทาน
f_o	ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, m/s^2
H	ความสูงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m
h	เอนทาลปี, J/kg ; สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2 \cdot K$
i	พลังงานความร้อนภายใน, J/kg
k	ค่าการนำความร้อน, $W/m \cdot K$
L	ความยาวของท่อ, m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Nu	เลขนิตเซิล
Nu_o	เลขนิตเซิลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
P	เส้นรอบรูป, m
PR	อัตราส่วนระยะพิตต์
Pr	เลขพรานด์เทิล
p	ความดัน, N/m^2
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
q_s''	ฟลักซ์ความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ, W/m^2
R	ค่าคงที่ของแก๊ส, $J/kg \cdot K$
Re	เลขเรย์โนลด์
r	รัศมีท่อ, m
S	เทอมของการสร้างหรือสูญหาย
s	อัตราการเสีรูปร่างเชิงเส้นของชั้นส่วนของไหล
T	อุณหภูมิ, K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

T_m	อุณหภูมิเฉลี่ย, K
T_s	อุณหภูมิผิว, K
t	เวลา, s
u	เวกเตอร์ความเร็ว, m/s
u	ความเร็วในแนวแกน x , m/s
u_m	ความเร็วเฉลี่ย, m/s
v	ความเร็วในแนวแกน y , m/s ; ปริมาตรจำเพาะ, m^3/kg
w	ความเร็วในแนวแกน z , m/s
$X_{fd,h}$	ความยาวช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวของการไหล, m
$X_{fd,t}$	ความยาวช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวของความร้อน, m

สัญลักษณ์กรีก

Φ	ฟังก์ชันการสลายตัว
α	ค่าการฟุ้งกระจายของความร้อน, m^2/s ; มุมปะทะของแผ่นกั้นกับกระแสการไหล, degree
ϕ	ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อ หน่วยมวล
η, TEF	สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
λ	ความหนืดที่สอง
μ	ความหนืดสัมบูรณ์, $N \cdot s/m^2$
Γ	การแพร่ทางความร้อน
ρ	ความหนาแน่น, kg/m^3
τ	ความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืด, N/m^2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากแนวโน้มความต้องการด้านพลังงานของประเทศที่สูงขึ้น เนื่องจากการใช้พลังงานมีมากขึ้นตามความก้าวหน้าของประเทศ ทั้งการใช้ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ในระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ ระบบการถ่ายเทความร้อนจึงมีความจำเป็นสำหรับการถ่ายเทพลังงาน ดังนั้นการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ทั้งกิจการขนาดย่อมจนกระทั่งถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถใช้อุปกรณ์ดังกล่าวได้อย่างเต็มความสามารถของอุปกรณ์ก็จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตในส่วนของพลังงานได้ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายประเภท ซึ่งสามารถพบได้โดยทั่วไปในงานเชิงวิศวกรรม ตัวอย่างเช่น หม้อน้ำรถยนต์ คอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศ หม้อไอน้ำ ฯลฯ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปเป็นตัวอย่างของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น หน้าที่สำคัญของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็คือการนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ประกอบด้วย

- passive technique เทคนิคที่ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการช่วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- active technique ต้องการพลังงานจากภายนอกเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับ passive technique เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่มีการเพิ่มขึ้นงานที่มีส่วนช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เช่น แผ่นกั้น (baffle), ครีบ (rib), ปีก (winglet) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคนี้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการเพิ่มขึ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนและเป็นตัวสร้างการไหลให้มีลักษณะแบบปั่นป่วน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นงานดังกล่าวยังมีส่วนเพิ่มค่าความดันตกคร่อมให้กับระบบอีกด้วย ดังนั้นจุดประสงค์หลักในการออกแบบรูปทรงของชิ้นงานที่ใช้เพื่อให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดและค่าความดันตกคร่อมที่น้อยที่สุด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเพิ่มของการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าความดันตกคร่อมด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของค่าความดันตกคร่อมจะเกี่ยวเนื่องกับการสูญเสียพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการสร้างหรือผลิตอุปกรณ์สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

นอกจากนี้แล้วยังต้องคำนึงถึงขีดความจำกัดในการทดลองของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง, ค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงหลายส่วนด้วยกัน ดังนั้นจึงได้นำวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาใช้ในการศึกษาซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการศึกษาด้วยวิธีการทดลองจากชุดอุปกรณ์

จริงไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์, ค่าอุปกรณ์, วัสดุที่ค่อนข้างมากเมื่อมีตัวแปรที่ต้องการศึกษาหลายตัวรวมทั้งข้อจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สำหรับวัตถุประสงค์เบื้องต้นในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาค่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อน และศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีในลักษณะต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม FLUENT 6.3 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์การไหลและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนค่าความดันตกคร่อมและพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสในกรณีที่จัดวางแผ่นกั้นตัววี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีในลักษณะต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหล, การถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ซึ่งประกอบด้วย อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ (Re), อิทธิพลของมุมปะทะ (α) ของแผ่นกั้นตัววี, อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นซึ่งพิจารณาในรูปของอัตราส่วนการบล็อกการไหล (e/H , BR), อิทธิพลของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นซึ่งพิจารณาในรูปของอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (P/H , PR), อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น, อิทธิพลของทิศทางการไหลของของไหล, อิทธิพลของลักษณะการติดตั้งและรูปแบบของแผ่นกั้น

1.2.4 เพื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษามาแล้วทั้งในส่วนของทดลองจริงและในส่วนของวิเคราะห์เชิงตัวเลข

1.2.5 เพื่อสร้างสมการสหสัมพันธ์จากตัวแปรที่ทำการศึกษาเพื่อใช้ในการทำนายจากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ และนำไปใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

1.2.6 เพื่อพัฒนาแผ่นกั้นตัววีในส่วนของลดค่าความดันตกคร่อมและการติดตั้งในเชิงอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหลและการถ่ายเทความร้อนบนพื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method)

1.3.2 ทำการคำนวณในแบบจำลองการไหลสามมิติที่มีการไหลแบบราบเรียบในช่วง Re จาก 100 ถึง 2000

1.3.3 พิจารณาเฉพาะการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

1.3.4 ทำการวิจัยเฉพาะท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สถานะอุณหภูมิผิวคงที่เท่ากับ 310 K

1.3.5 แผ่นกั้นที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นกั้นแบบบางหรือครีบบางไม่สามารถนำความร้อนได้ มีรูปร่างของแผ่นกั้นเป็นรูปตัววี

1.3.6 แผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบทำการติดตั้งที่พื้นหรือผิวของท่อทั้งด้านบนและด้านล่างทำการศึกษาที่ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า $PR =$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.00, 1.50 และ 2.00 มีทิศทางการไหลแบบตามกระแสการไหล (V-Downstream) และทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ลักษณะการจัดวางแบบตรง (In-line)

1.3.7 แผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบทำการติดตั้งที่พื้นหรือผิวของท่อทั้งด้านบนและด้านล่าง ทำการศึกษาที่ $\alpha = 30^\circ$ ค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีทิศทางการไหลแบบตามกระแสการไหล (V-Downstream) และทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ลักษณะการจัดวางแบบเอียง (Staggered)

1.3.8 แผ่นกั้นตัววีตัดขอบทำมุมกับแกนตั้งฉากกับทิศทางการไหลเป็นมุม 60° ทำการติดตั้งที่พื้นหรือผิวของท่อทั้งด้านบนและด้านล่าง ทำการศึกษาที่ $\alpha = 30^\circ$ ค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีทิศทางการไหลแบบตามกระแสการไหล (V-Downstream) และทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ลักษณะการจัดวางแบบตรง (In-line)

1.3.9 แผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบมีแผ่นรองหรือแผ่นกลางที่ใช้ในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีและแบบไม่มีแผ่นกลาง ทำการศึกษาที่ $\alpha = 30^\circ$ ค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีทิศทางการไหลแบบตามกระแสการไหล (V-Downstream) และทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ลักษณะการจัดวางแบบตรง (In-line)

1.3.10 หาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญในการเพิ่มสมรรถนะความร้อนภายในท่อ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 รวบรวมข้อมูล ทำการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

1.4.2 กำหนดลักษณะของปัญหาและกำหนดลักษณะรูปร่างของแผ่นกั้นและสร้างแบบจำลองบนโปรแกรมออกแบบทางพลศาสตร์ของไหลพร้อมกับเลือกขนาดและจำนวนกริดที่เหมาะสม

1.4.3 ตรวจสอบโปรแกรมกับผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) ทำการคำนวณเชิงตัวเลขในปัญหาที่ต้องการศึกษา

1.4.4 ทำการคำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองการไหลสามมิติ ที่ต้องการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามที่ระบุในวัตถุประสงค์ได้แก่ Re, BR, PR, α , การจัดวางแผ่นกั้น, ทิศทางการไหลของของไหล, ลักษณะการติดตั้งแผ่นกั้นและรูปแบบของแผ่นกั้น

1.4.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ นำข้อมูลจากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ผลและแสดงค่าในรูปพารามิเตอร์ไร้มิติ

1.4.6 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์และข้อเสนอแนะที่ควรทำการวิจัยต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

1.5.1 ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกั้นตัววี

1.5.2 เพื่อการพัฒนาและออกแบบแผ่นกั้นภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้มีความเหมาะสมทั้งในภาคอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้งานในภาคการเกษตรกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 เป็นองค์ความรู้และเป็นแนวทางเพื่อการวิจัยด้านการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสต่อไป

1.5.4 ประหยัดพลังงาน ลดขนาดและการใช้วัสดุในการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต

1.6 เค้าโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 9 บท บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาของงานวิจัย, ความสำคัญ, ขอบเขตของงานวิจัยและวัตถุประสงค์ บทที่ 2 กล่าวถึงวรรณกรรมปริทรรศน์ นำเสนอเกี่ยวกับผลงานวิจัยที่ได้การศึกษาและเผยแพร่มาแล้ว ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธี passive technique เช่น แผ่นกั้นและครีบบนรูปแบบต่าง ๆ บทที่ 3, 4 และ 5 ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลขและพลศาสตร์การไหล บทที่ 6 นำเสนอการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ศึกษาและนำเสนอกรณีศึกษาสำหรับแผ่นกั้นตัววี

ผลจากการศึกษาและการวิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนำเสนอในบทที่ 7 และบทที่ 8 โดยบทที่ 7 ได้นำเสนอโครงสร้างการไหลและพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนรวมถึงความดันตกคร่อมซึ่งแสดงในรูปของการกระจายตัวของเลขนัสเซิล, ค่าความดันตกคร่อมและเส้นกระแสการไหลในรูปแบบต่าง ๆ ส่วนบทที่ 8 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของอัตราส่วนเลขนัสเซิล (Nu/Nu_0), ค่าความดันสูญเสียในรูปของอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) และค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) โดยทำการเปรียบเทียบถึงอิทธิพลสำหรับตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา สำหรับค่าที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดได้นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ความดันตกคร่อมและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นตัววีที่มีเงื่อนไขตามกรณีที่ทำการศึกษา

สรุปผลการศึกษาได้นำเสนอไว้ในบทที่ 9 ได้กล่าวสรุปถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษานำไปใช้กับงานทางอุตสาหกรรมและงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษามาแล้วทั้งในส่วนของการศึกษาด้วยการทดลองด้วยชุดทดลองจริงและการศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการใช้เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบ passive technique โดยจะเน้นถึงงานวิจัยที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับโครงสร้างการไหล, การเกิดการไหลแบบหมุนวน, พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข

2.1 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกั้น

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อด้วยการติดตั้งแผ่นกั้นที่ผนังของท่อโดยมีการจัดวางทั้งแบบตรงและแบบเอียงเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในกระบวนการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยแผ่นกั้นจะทำการรบกวนชั้นขีดผิวความร้อนทำให้บริเวณระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นทั้งสองที่อยู่ติดกันเกิดการหมุนวนของของไหลช่วยในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยเทคนิคนี้จะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดเล็กลง ซึ่งเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีพื้นที่จำกัดในการใช้งานและต้องการความกะทัดรัดสำหรับตัวอุปกรณ์ที่ใช้ ดังนั้นจึงมีผู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคนี้จำนวนมากทั้งจากการศึกษาด้วยชุดทดลองจริงและการศึกษาด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข

2.1.1 งานวิจัยจากการทดลองด้วยชุดทดลองจริง

Founti and Whitelaw (1981) ได้ใช้ LDA ในการจำลองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่ผิวของเปลือกด้านนอก จากผลการศึกษาพบว่าการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยของความเร็วแบบเป็นคาบหรือมีพฤติกรรมซ้ำกันและลักษณะการไหลปั่นป่วนเกิดขึ้นหลังจากที่ของไหลไหลผ่านชุดแผ่นกั้นในช่วงที่ (โมดูลที่ 2) สองจากทางเข้า

Berner et al. (1984) ศึกษาผลของการกระจายตัวของความเร็วและลักษณะการไหลปั่นป่วนของของไหลที่มีการติดตั้งกลุ่มแผ่นกั้นในท่อ ผลจากการศึกษาพบว่าท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นจะเกิด vortex shedding ที่เลขเรย์โนลด์มากกว่า 600 ส่วนช่วงการไหลที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 600 อยู่ในช่วง free vortex shedding สำหรับช่วงการไหลราบเรียบ

Habib et al. (1994) ศึกษาด้วยชุดทดลองจริงสำหรับช่วงการไหลแบบปั่นป่วนและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแบบเป็นคาบ สำหรับท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีการจัดวางแบบเอียง จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าค่าความดันตกคร่อมและค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นและเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้น

2.1.2 งานวิจัยจากการใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

Patankar et al. (1977) เป็นผู้ริเริ่มศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการวิเคราะห์การไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อ โดยจากการศึกษาวิจัยพบว่า การไหลในช่วงปรับตัวเต็มที่มีพฤติกรรมการไหลแบบเป็นคาบหรือมีพฤติกรรมที่เหมือนกันและซ้ำกันทุก ๆ โมดูล หลังจากนั้น Webb and Ramadhani (1985) ได้นำแนวคิดการไหลแบบเป็นคาบของ Patankar et

al. (1977) ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกัน โดยมีการจัดวางหรือติดตั้งแบบเยื้อง

Cheng and Huang (1989) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับในช่วงการไหลแบบราบเรียบของของไหลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้าของท่อโดยใช้วิธีเชิงตัวเลข สำหรับท่อแบบ semi-infinite ที่มีการติดตั้งแผ่นกันทั้งแบบวางด้านเดียวและสองด้าน

Cheng and Huang (1991) ศึกษากรณีของการติดตั้งแผ่นกันตามขวางที่มีการจัดวางแบบไม่สมมาตร จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าตำแหน่งในการจัดวางแผ่นกันมีอิทธิพลต่อลักษณะการไหล โดยเฉพาะแผ่นกันที่มีความสูงมาก

งานวิจัยโดยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขส่วนมากจะศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนโดยจำกัดวิธีการศึกษาเป็นแบบ 2 มิติ (2D) ดังนั้น Lopez et al. (1996) จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกัน โดยมีการศึกษาแบบ 3 มิติ (3D) ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ทำการศึกษาในช่วงการไหลราบเรียบกำหนดให้ผิวท่อด้านบนและด้านล่างมีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ ส่วนด้านข้างของท่อกำหนดให้เป็นแบบ adiabatic จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าค่า aspect ratio มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยสำหรับค่าความดันตกคร่อมหรือความดันสูญเสีย แต่ค่าความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความสูงของแผ่นกันและเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น

Guo and Anand (1997) ศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงในช่วงการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้าของการถ่ายเทความร้อนแบบ 3 มิติในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกันเดี่ยว Yang and Hwang (2003) ศึกษาและเปรียบเทียบผลระหว่างแผ่นกันทั่วไปและแผ่นกันแบบพรุน โดยมีการศึกษาแบบ 2 มิติ สำหรับท่อขนาน ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

Bazdid-Tehrani and Naderi-Abadi (2004) ได้นำเสนอผลจากการศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกันโดยมีการจัดวางแผ่นกันแบบตรงกัน จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลหรือความสูงของแผ่นกันจะส่งผลถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและส่งผลในเชิงลบกับค่าประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวถึงแผ่นกันที่มีการจัดวางแบบเยื้อง

Mousavi and Hooman (2006) ศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกันแบบเยื้องทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อขนาน โดยในการศึกษาจะทำการศึกษาอิทธิพลของค่าเลขเรย์โนลด์, ค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลและค่าเลขพรานด์ ส่วนค่าอัตราส่วนระหว่างแผ่นกันหรือระยะห่างระหว่างแผ่นกันกำหนดให้มีค่าคงที่ จากผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขของการไหลแบบปรับตัวเต็มทีและเป็นการไหลแบบเป็นคาบจะขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการบล็อกการไหล โดยตัวแปรทั้งสองตัวนี้จะส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้แสดงให้เห็นในรูปของเลขนัสเซลรวมถึงการกระจายตัวของเลขนัสเซลด้วย นอกจากนี้แล้วยังมีผลต่อพฤติกรรมการไหลของของไหลที่ใช้ในการทดสอบอีกด้วย ไม่เพียงแต่เลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการบล็อกเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อการเข้าสู่การไหลแบบปรับตัวเต็มทีและเป็นคาบ Mousavi and Hooman (2006) ยังได้รายงานถึงอิทธิพลของเลขพรานด์ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลที่ใช้ในการทดสอบ โดยกล่าวว่าค่าเลขพรานด์ที่มีค่ามากจะส่งผลทำให้ความยาวทางเข้ามากขึ้นด้วย งานวิจัยนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มเลขเรย์โนลด์และอัตราส่วนการบล็อกการไหลจะส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือค่าเลขนัสเซลมีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นด้วย โดยค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลระหว่าง 0.25 ถึง 0.50 จะส่งผลอย่างมากถึงการเปลี่ยนแปลงค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น

2.2 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกันแบบเต็มและแผ่นกันแบบเจาะรู

เทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนไม่ว่าจะเป็นการติดครีบบ, แผ่นกันและการทำให้เกิดการกระแทกของ jet จะส่งผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น gas turbine blade coolant path, air-cooled solar collectors, heat exchangers, and power plants ได้นำเทคนิคการติดตั้งแผ่นกันวางเรียงมาใช้ในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน แผ่นกันที่ทำการติดตั้งในอุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เกิดการกระแทกที่บริเวณผิวความร้อน เมื่อสรุปเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจึงสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

(1) การรบกวนชั้นขีดผิวความร้อนโดยการเพิ่มครีบบตลอดแนวพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ครีบบที่มีความสูงไม่มากนักจะไม่ทำการรบกวนบริเวณแกนการไหลหลัก ดังนั้นพฤติกรรมการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจะเกิดบริเวณใกล้กับผิวความร้อนเท่านั้น ข้อดีของครีบบคือเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยที่ค่าความดันตกคร่อมไม่สูงมากนัก แต่การใช้ครีบบจะเหมาะสมสำหรับงานที่อยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ไม่สูงมากนัก

(2) เทคนิคที่ใช้ในการทำความเย็นโดยใช้ jet ความเร็วสูงเพื่อให้เกิดการกระแทกกับพื้นผิวนั้นเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้กันในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการทำความเย็นที่ค่อนข้างมาก จึงเหมาะสมสำหรับงานบางประเภทเท่านั้น สำหรับงานที่ต้องการจำกัดพื้นที่หรือมีพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนที่น้อยจึงไม่เหมาะสมกับเทคนิคนี้

(3) สำหรับเทคนิคที่สามเป็นการใช้การไหลหมุนวนภายในที่เกิดจากบิด (tape twist) สำหรับสอดใส่ในท่อ โดยเทคนิคนี้จะเป็นการรบกวนแกนการไหลหลักอย่างมาก ส่งผลให้เกิดค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากกว่าเมื่อเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อกล่าวถึงการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นกันและการใช้ครีบบ ผู้วิจัยส่วนมากมักจะไม่เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างจุดประสงค์ของการใช้แผ่นกันและการใช้ครีบบทำให้เกิดการเข้าใจที่ผิดพลาด อันที่จริงแล้วจุดประสงค์ของกระใช้แผ่นกันเพื่อเป็นการรบกวนที่แกนของการหมุนหลักของของไหลซึ่งแตกต่างจากการใช้ครีบบที่จะไม่รบกวนถึงแกนหมุนหลักแต่จะเป็นการรบกวนแค่บริเวณใกล้พื้นผิวถ่ายเทความร้อนเท่านั้น ส่วนแผ่นกันที่มีการเจาะรูจะสามารถทำให้เกิด jet ซึ่งไปกระแทกบริเวณผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการใช้แผ่นกันแบบเจาะรูจะเป็นการรวบรวมพฤติกรรมของครีบบ, แผ่นกันและการกระแทกของ jet ไว้ด้วยกัน

2.2.1 งานวิจัยจากการทดลองด้วยชุดทดลองจริง

Dutta et al. (1997) ทำการทดลองเกี่ยวกับแผ่นกันที่มีการเจาะรู โดยผลจากการทดลองพบว่าแผ่นกันที่มีการเจาะรูจะให้ค่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าเมื่อเทียบกับแผ่นกันที่ไม่มีการเจาะรู การติดตั้งแผ่นกันจะแนบไปกับผิวความร้อนโดยมีการจัดวางตามทิศทางการไหล พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเป็น 5 เท่า หรือ 500 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่มีการเพิ่มแผ่นกัน

Dutta and Dutta (1998) ได้ทำการศึกษาและรายงานเกี่ยวกับค่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มแผ่นกั้นแบบเจาะรูและไม่เจาะรู พวกเขาศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของขนาดของแผ่นกั้น, ตำแหน่งและการจัดวางที่มีอิทธิพลต่อค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน จากการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นที่มีการเจาะรูจะทำให้เกิดการกระแทกของ jet ไปสู่บริเวณพื้นผิวความร้อนซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตามในกรณีของแผ่นกั้นเดี่ยว บริเวณที่มีการถ่ายเทความร้อนสูงจะถูกจำกัดอยู่แค่บริเวณที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของทิศทางการไหลของไหลจะเห็นได้ว่าการกำหนดทิศทางการไหลแบบไหลตามกระแสการไหล (downstream) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าแบบทวนกระแสการไหล (upstream)

Yilmaz (2003) ศึกษาผลของแผ่นกั้นเดี่ยวที่ทางเข้าต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม แผ่นกั้นจะถูกติดตั้งที่ผิวด้านบนของท่อที่มีผิวความร้อนแบบปลั๊กความร้อนคงที่ แผ่นกั้นจะมีค่าอัตราส่วนการบล็อกหรือความสูงของแผ่นกั้นที่แตกต่างกัน 2 ค่า และมุมปะทะของของไหล 4 มุม ทำการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 7,100–28,500 จากผลการทดลองพบว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของเลขนัสเซลมีค่าเพิ่มขึ้น 1.39–2.43 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า เมื่อค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นค่าความดันตกคร่อมก็เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยพบว่าค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 28.26–94.45 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า เมื่อพิจารณาถึงค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในรูปของค่าสมรรถนะที่ได้จากการเพิ่มแผ่นกั้นเดี่ยวที่ทางเข้าของท่อจึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นกั้นเดี่ยวที่ทางเข้าไม่เป็นประโยชน์ต่อค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนถึงแม้ว่าจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นแต่ก็ให้ค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นในอัตราส่วนที่มากกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนมาก

Dutta and Hossain (2005) ทำการศึกษาวิจัยและนำเสนอเกี่ยวกับพฤติกรรมของการกระจายการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นวางเอียงแบบเจาะและไม่เจาะรู ในการทดลองของเขาได้ใช้กรณีศึกษาในเงื่อนไขเดียวกันของแผ่นกั้นทั้งสองแบบที่มีขนาดเดียวกัน แผ่นกั้นมีการจัดวางที่ผิวด้านบนของท่อ โดยมีการให้ความร้อนแบบปลั๊กความร้อนคงที่ที่ผิวด้านบนเพียงด้านเดียว ทำการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 12,000 ถึง 41,000 จากผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดการจากรบกวนชั้นขีดผิวความร้อนและเกิด jet กระแทกบริเวณพื้นผิวความร้อน โดยค่าการถ่ายเทความร้อนที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลมาจากการจัดวางแผ่นกั้น, ทิศทางการไหลและรูปร่างของแผ่นกั้น ค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยแผ่นกั้นคู่จะให้ค่าความดันตกคร่อมที่มากกว่าแผ่นกั้นเดี่ยว ค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นทั้งนี้ค่าดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับการจัดวางของแผ่นกั้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นกั้นที่มีการจัดวางทั้งสองด้านจะมีค่าความดันตกคร่อมที่มากกว่าแผ่นกั้นที่มีการจัดวางเพียงด้านเดียว

2.3 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นกั้นพรุน

วัสดุพรุนได้รับความสนใจและมีการนำมาใช้ในอุปกรณ์และระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นการทำความเย็นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, เครื่องกำเนิดพลังงานนิวเคลียร์และระบบพลังงานความร้อนใต้พิภพ ตัวอย่างเช่น ระบบทำความเย็นสำหรับ CPU ในคอมพิวเตอร์แบบ PC ซึ่งอยู่ในช่วง 10 W/cm^2 ถึง 25 W/cm^2 เป็นที่ทราบกันว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรมีการรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงน้อยกว่า 140°C แต่ในระบบจริงที่เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบ การพาความร้อนธรรมชาติและการพาความร้อนแบบบังคับที่ถูกจำกัดให้มีค่าเท่ากับ $0.001 \text{ W/cm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $0.01 \text{ W/cm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ส่วนการพาความร้อนของของไหลจะมีค่าเท่ากับ $0.1 \text{ W/cm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะถูก นำมาพัฒนาต่อกับอุปกรณ์เหล่านี้ต่อไป

เป็นที่ทราบกันว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ผิวขรุขระ, มุมปะทะการไหลและอัตราส่วนการบล็อก การไหลของครีบจึงถูกนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างการไหลเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ พื้นที่ผิว

สำหรับการใช้แผ่นกั้นพรุนในท่อมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและลดค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากแผ่นกั้นรวมทั้งเป็นการลดพลังงานขับจากภายนอกอีกด้วย เนื่องจากจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นแบบเต็มที่ไม่มีการเจาะรูหรือมีลักษณะพรุนส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นแต่ก็ให้ค่าความดันตกคร่อมในอัตราส่วนที่เพิ่มมากกว่าค่าการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาการเกิดค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มสูงจึงมีการนำวัสดุพรุนมาใช้ ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ประโยชน์ที่ได้จากการใช้แผ่นกั้นพรุน

- (1) การเพิ่มพื้นที่ผิวต่ออัตราส่วนปริมาตรจะทำให้เกิดการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น
- (2) ด้วยโครงสร้างที่มีความแข็งแต่น้ำหนักเบา จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานประเภท การบินและอวกาศ
- (3) จากคุณสมบัติโดยพื้นฐานของวัสดุเหล่านี้จะทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิที่พื้นผิว เป็นการช่วยลดการเกิดความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากได้

2.3.1 งานวิจัยจากการทดลองด้วยชุดทดลองจริง

การศึกษาวิจัยค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึงวิเคราะห์ด้วยชุดทดลองจริงโดย Koh and Stevens (1975) และ Mergerlin et al. (1974) พวกเขาแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ ประสิทธิภาพการทำความเย็นด้วยการใช้วัสดุพรุนในระบบทำความเย็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ อุณหภูมิของผนังในท่อลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมิของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นในอัตราส่วน สองต่อหนึ่ง

Vafai and Thiyagaraja (1987) ศึกษาเกี่ยวกับบริเวณระหว่างวัสดุพรุนและของไหล ภายนอกและบริเวณระหว่างผิวด้านในวัสดุพรุนและขอบเขตของของแข็ง

Vafai and Kim (1990) ได้สร้างสมการแม่นยำหรือสมการสัมพันธ์จากผลการศึกษาวิจัย ของ Beavers and Joseph (1967) โดยสรุปแล้ว Vafai and Kim (1990) ได้พบค่าการเพิ่มขึ้นของ สมรรถนะทางความร้อนของวัสดุพรุนซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุ พรุนต่อประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหล

ต่อมาเมื่อผู้ทำการศึกษาวิจัยค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นเรียบหรือผิวเรียบที่มีการติดตั้ง ชิ้นงานบล็อกการไหลที่มีความพรุนซึ่งได้มีการศึกษาโดย Huang and Vafai (1993) พวกเขาพบว่าตัว บล็อกที่มีลักษณะพรุนจะทำให้เกิดการลดลงของค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นเรียบเป็นอย่างมาก แต่ Hadim (1994) ได้ศึกษาและอธิบายผลการศึกษาที่มีแนวโน้มแตกต่างจาก Huang and Vafai (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Huang and Vafai (1994) ศึกษาค่าการพาความร้อนในท่อขนานที่มีการบล็อกการไหลด้วยวัสดุพูนโดยกำหนดฟังก์ชันของกระแสการไหล พวกเขาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มตัวบล็อกการไหลของวัสดุพูน

Hwang and Chao (1994) แสดงให้เห็นว่าการลดความหนาแน่นของรูพูนจะช่วยลดความยาวของทางเข้าและเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน และได้สร้าง แบบจำลอง 2 สมการ สำหรับสมการพลังงานรองรับถึงค่าความแตกต่างระหว่างการนำความร้อนของส่วนที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของไหล พวกเขาได้สร้างแบบจำลองสำหรับทำนายค่าการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 สมการและแสดงให้เห็นเงื่อนไขแบบความไม่สมดุลทางความร้อนระหว่างของไหลและของแข็ง

Hwang and Liou (1994) พบว่าค่าสมรรถนะทางความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งครีบบจะให้ค่าที่ดีที่สุดในช่วงอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ว่าต่ออัตราส่วนพื้นที่ที่มีครีบบ (อัตราส่วนพื้นที่เปิด) เท่ากับ 44% รูปร่างของครีบบนี้ถูกนำมาใช้โดย Hwang and Liou (1994), Liou and Chen (1998) ซึ่งศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลในช่วงการไหลปั่นป่วนสำหรับท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งครีบบแบบเจาะรู พวกเขาได้ทำการศึกษาครีบบทั้งแบบที่มีการติดตั้งที่พื้นและแบบไม่แนบกับพื้น โดยครีบบทำจากอลูมิเนียม จากผลการทดลองพบว่าค่าเลขนัสเซลที่เพิ่มมากขึ้นมีค่าเท่ากับ 3 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่มีการเพิ่มครีบบ

Hwang (1997) ได้ทำการศึกษาวิจัยพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นแบบพูน โดยมีการจัดวางทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อแบบเยื้องแล้วทำการเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นทั่วไป ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 10,000 ถึง 50,000 ในการทดลองนี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิที่กึ่งกลางผิวของท่อเพื่อนำไปคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละจุดหรือการกระจายตัวของค่าการถ่ายเทความร้อน Hwang (1997) ทำการวัดค่าความรุนแรงและระดับของความปั่นป่วนและรูปร่างของความเร็วโดยใช้ hot wire แอนนิโอมิเตอร์ จากการศึกษาของเขาแสดงให้เห็นว่าท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นพูนจะให้ค่าความดันตกคร่อมที่น้อยลง

Kim et al. (2001) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าการถ่ายเทความร้อนแบบไม่สมมาตร ในชุดทดลองที่มีการเพิ่มวัสดุประเภทโฟม พวกเขาได้สร้างสมการสหสัมพันธ์สำหรับค่าเลขนัสเซลสำหรับวัสดุประเภทโฟมที่มีฟังก์ชันของความพูนแตกต่างกันในรูปของเลขคาร์ซี

Ko and Anand (2003) นำเสนอผลจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการให้ความร้อนคงที่โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นพูนทั้งด้านบนและด้านล่างของผนังท่อ ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมสำหรับการไหลแบบปรับตัวเต็มที่เป็นคาบ และมีการกำหนดให้ค่าของความพูนมีค่าแตกต่างกันออกไป (10, 20, และ 40 รูต่อนิว (PPI)) ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 20,000 ถึง 50,000 จากผลการศึกษาพบว่าการใช้แผ่นกั้นพูนจะทำให้อัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นถึง 300% เมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่มีการเพิ่มแผ่นกั้นพูน และได้สร้างสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการเพิ่มแผ่นกั้นแบบพูน

2.3.2 งานวิจัยจากการใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข

Kuo and Tien (1988) นำเสนอผลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับ fully packed bed ที่มีการเพิ่มวัสดุพวกโฟมเพื่อเพิ่มค่าการพาความร้อนให้กับของเหลวที่ใช้ในการทำมาเย็น โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาที่ค่าเลขเรย์โนลด์ไม่สูงมากนัก ($Re = 2,000-6,000$) ด้วยแหล่งการให้ความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง พวกเขาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 2-4 เท่า โดยค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นและความสามารถในการซึมผ่านที่มากขึ้นด้วย

Fu et al. (1996) ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับตัวบล็อกแบบพรุนที่ติดตั้งบนผนังที่มีการให้ความร้อน โดยทำการศึกษาในช่วงการไหลแบบราบเรียบในท่อที่มีการเพิ่มอัตราการไหลโดยใช้การพาความร้อน ทำการวิเคราะห์แบบ non-Darcian จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้ตัวบล็อกแบบพรุนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความพรุนและขนาดของช่องผ่านมีค่ามากขึ้น

Rachedi and Chikh (2001) ศึกษาโดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการวิเคราะห์การพาแบบบังคับสำหรับการทำความเย็นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเพิ่มวัสดุพรุน จากผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มวัสดุพรุนเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน

2.4 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการติดตั้งครีบริบตัววี

Olsson and Sunden (1997ก) ศึกษาพฤติกรรมการไหลในท่อที่มีการติดตั้งครีบริบในลักษณะต่าง ๆ ด้วยการใช้เทคนิคการใช้ควัน (smoke-wire visualization) และ laser doppler anemometry (LDA) โดยทำการศึกษารูปร่างของครีบริบที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่งประกอบด้วยครีบริบบางขนาน, ครีบริบแบบเอียง, ครีบริบตัววีแบบขนาน, ครีบริบตัววีแบบเอียงและครีบริบตัววีแบบผสม (multiple) ที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 พบว่าการเกิดการไหลหมุนวนในทิศทางที่สอง (secondary flow) ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะให้ค่าที่เสถียรมากกว่าการเกิดในท่อขนานหรือท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า Olsson and Sunden (1997ข) ได้นำเสนอค่าแฟคเตอร์ j และ f ในท่อที่มีการติดตั้งครีบริบที่มีความสูง, ระยะพิตต์และมุมปะทะเดียวกัน โดยศึกษาเฉพาะรูปร่างของครีบริบที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น จากการศึกษาพบว่าเกิดการไหลแบบหมุนวนในท่อซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของแฟคเตอร์ j ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการไหลแบบหมุนวนในท่อจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นที่ค่าเลขเรย์โนลด์น้อยกว่า 2,000 ส่วนค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นก็อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ในช่วยค่าเลขเรย์โนลด์สูง ๆ

Taslim et al. (1996) ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนจากชุดทดลองจริงโดยอาศัยเทคนิค liquid crystal thermography เพื่อวิเคราะห์ค่าเลขนัสเซลในแต่ละจุดในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบริบตัววีและครีบริบไม่ต่อเนื่องที่มีการติดตั้งที่ผนังทั้งสองด้านในทิศทางตรงกันข้าม ค่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 15,500 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากการเกิด secondary flow ขณะที่ช่องไหลกระทบกับผนังความร้อนและค่าการถ่ายเทจะลดลงเมื่อเกิดการสลายของ secondary flow ที่ผนังของท่อ Han et al. (1978) ศึกษาพื้นผิวที่มีการเพิ่มครีบริบ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของรูปร่างของครีบริบ, มุมปะทะและอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของแผ่นครีบริบต่อความสูงของท่อและแสดงในรูปของค่าความดันตกคร่อมและอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อขนาน ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 3,000 ถึง 30,000 จากผลการศึกษาพบว่าครีบริบทำมุมปะทะ 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าครีบริบตรงมุม 90° โดยที่ให้ความดันตกคร่อมที่น้อยกว่า หลังจากนั้น Han et al. (1991) ได้ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบริบวางตรง, ครีบริบวางเอียงและครีบริบตัววี โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 15,000 ถึง 90,000 จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดจะได้จากกรณีการเพิ่มครีบทัววีที่มีการไหลแบบทวนกระแสการไหล Gee and Webb (1980) ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสำหรับการเพิ่มครีบทัววีในท่อกลม ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 6,000 ถึง 65,000 พวกเขาพบว่ามุมปะทะการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งครีบทัววีคือมุม 45°

งานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าของความร้อนและสมรรถนะของหม้อน้ำในเชิงพาณิชย์สามารถศึกษาได้จากงานของ Farrell et al. (1991), Olsson and Sunden (1996) พวกเขาได้ศึกษาถึงอิทธิพลของครีบทัววี, พื้นผิวแบบหลุมและระยะของครีบทัววีในท่อ จากผลการศึกษาพบว่าครีบทัววีให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด

จากงานวิจัยของ Olsson and Sunden (1998) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อขนานที่มีค่า aspect ratio เท่ากับ 1:8 โดยมีการเพิ่มครีบทัววีทำการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 500 ถึง 15,000 จากผลการศึกษา Olsson and Sunden (1998) พวกเขาได้นำเสนอสมการสหสัมพันธ์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์, ค่าความสูงของครีบทัววี อัตราส่วนการบล็อกการไหลในช่วง 0.1 ถึง 0.2 ($0.1 < e/H < 0.2$), อัตราส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นหรือระยะพิตตีในช่วง 3 ถึง 7 ($3 < p/H < 7$) และมุมปะทะการไหล ($15^\circ < \alpha < 45^\circ$) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

การเพิ่มขึ้นของความสูงของครีบทัววีหรือการลดลงของระยะพิตตีส่งผลให้ค่าแฟคเตอร์ j และ f มีค่าเพิ่มมากขึ้นขณะที่ค่าอัตราส่วน j/f กลับมีค่าลดลง

ครีบทัววีมุม 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าครีบทัววีที่ทำมุมน้อยกว่า

ที่ค่า $500 < Re < 1,500$ พบว่าอัตราส่วน j/f มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มมากขึ้น และในช่วง $Re > 2,000$ พบว่าอัตราส่วน j/f มีค่าลดลงเมื่อค่าเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น

ที่ $Re > 2,000$ พบว่าค่าแฟคเตอร์ f จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเลขเรย์โนลด์ และค่าแฟคเตอร์ j จะไม่ขึ้นอยู่กับมุมปะทะของครีบทัววี

2.5 โครงสร้างการไหล (flow topology)

งานวิจัยบางส่วนได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นโดยอาศัยวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข โครงสร้างการไหลสำหรับกรณี span-wise periodicity (สำหรับการไหลแบบอัดตัวไม่ได้) สามารถอธิบายได้โดยการคำนวณแบบ 2 มิติ ศึกษาโดย Cui et al. (2003)

2.5.1 กระแสการไหลและกระแสการไหลที่ผนัง (streamlines and Wall streamlines)

ในการวิเคราะห์ปัญหาในกลศาสตร์การไหล บ่อยครั้งที่การบรรยายด้วยภาพของสนามการไหลจะสามารถช่วยบ่งบอกถึงพฤติกรรมของการไหลได้ดีขึ้น เส้นกระแสการไหลได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการอธิบายถึงพฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้น โดยเส้นกระแสการไหลจะแสดงถึงเส้นที่ลากสัมผัสสเกลเตอร์ของความเร็วของอนุภาคของของไหลในสนามความเร็วขณะนั้น

2.5.2 เส้นกระแสการไหลที่พื้นผิว (streamsurfaces)

Hornung and Perry (1984) ได้ให้คำนิยามของเส้นกระแสการไหลที่พื้นผิว โดยเกิดจากการลากเวกเตอร์ของความเร็วในแนวเส้นสัมผัส (tangential) ต่อมาเส้นกระแสการไหลที่พื้นผิวได้ถูกนำไปใช้กับงานวิจัยของ Garth et al. (2004) เขาได้กล่าวว่าการใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนั้นยากต่อการนำเสนอและอธิบายสำหรับพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำเส้นกระแสการไหลที่พื้นผิวมาช่วยในการอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโครงสร้างการไหลที่ทำการศึกษา

2.6 โครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน (coherent structures)

2.6.1 ความหมายของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน

Holmes et al. (1996), Lumley and Yaglom (2001) ให้คำนิยามหรือความหมายของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันในช่วงของการเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่คำนิยามดังกล่าวไม่ได้รับความสนใจเท่ากับนิยามที่ถูกจำกัดความโดย Brown and Roshko (1974) ซึ่งได้ให้คำนิยามของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันเช่นเดียวกับ Holmes et al. (1996), Lumley and Yaglom (2001) แต่ได้รับความสนใจมากกว่า โดย Brown and Roshko (1974) ได้แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันในชั้น free mixing layer

Holmes et al. (1996) ได้ใช้โครงสร้างที่เชื่อมโยงกันในการอธิบายงานของเขาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหล เขากล่าวว่าการนำหลักโครงสร้างการไหลมาช่วยในการอธิบายทำให้ง่ายขึ้นและยังมีความสำคัญต่อการอธิบายพลศาสตร์การไหลเป็นอย่างยิ่ง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันไปใช้ในการพัฒนาและควบคุมพฤติกรรมของการไหลต่อไป

Jeong and Hussain (1995) ทำการสรุปหลักและนิยามของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกันดังต่อไปนี้

“ พฤติกรรมการไหลการเคลื่อนที่ของของไหลที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าโครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน (CS) ((Cantwell (1981), Lumley (1981), Hussain (1980)) กล่าวถึงพลศาสตร์ของการหมุนวน, วิวัฒนาการหรือการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การปั่นป่วนซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะยากต่อการทำความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเช่นการเปลี่ยนแปลงตามทางเข้า, การเกิดการผสม, การถ่ายเทความร้อนและมวล, พฤติกรรมทางเคมีและการเกิดการเผาไหม้รวมทั้งแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น แต่พฤติกรรมและปฏิกิริยาที่ได้กล่าวมาเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนโดย Hussain and Melander (1991)”

2.6.2 การตรวจสอบการไหลหมุนวน (vortex detection)

ในการใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขซึ่งมีความสะดวกสบายในการศึกษาพฤติกรรมของการไหล แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคที่ใช้ในการนำเสนอผลการศึกษาก็มีความสำคัญเช่นกัน การใช้เทคนิคการสร้างการตรวจสอบการไหลหมุนวนก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์การไหลแบบ 3 มิติ

ขนาดของการไหลหมุนวน (vorticity magnitude)

ในช่วงการไหลแบบ free shear layer ได้มีการศึกษาจากโครงสร้างการไหลที่เชื่อมโยงกัน โดยให้ค่าขนาดของการไหลหมุนวนมีค่าเป็น $(\sqrt{\omega_x \omega_x})$ สำหรับการตรวจสอบการไหลหมุนวน (Jeong

and Hussain, 1995) ได้ศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการเกิดการไหลหมุนวนและขนาดของมัน ในกรณีการศึกษาของเขาผลจากแรงเฉือนของชั้นขีดผิวจะส่งผลกระทบต่อขนาดมวลของของไหล

Q -criterion

จากผลการศึกษาวิจัยของ Hunt et al. (1988) ซึ่งใช้ค่า second scalar ของ velocity gradient tensor ซึ่งเรียกว่าค่า Q ในการตรวจสอบการเกิดการไหลหมุนวน ค่า Q จะใช้สำหรับของไหลที่มีค่าความหนาแน่นคงที่ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{1}{2}(\Omega_{ij}\Omega_{ji} - S_{ij}S_{ji}) \quad (2.1)$$

โดย Ω_{ij} เป็นส่วนของ anti-symmetrical ของ velocity gradient tensor $(\partial u_i/\partial x_j)$ เรียกว่า vorticity tensor หาได้จากสมการ

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.2)$$

และค่า S_{ij} เป็นส่วนของ symmetrical ของ velocity gradient tensor $(\partial u_i/\partial x_j)$ เรียกว่า the rate of strain tensor หาได้จากสมการ

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.3)$$

จากสมการ 2.1 ค่า Q จะชี้ให้เห็นถึงการเกิดการไหลหมุนวน ได้มีผู้ศึกษาวิจัยหลายท่านได้นำค่า Q เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้น Dubief and Delcayre (2000) และ Chakraborty et al. (2005)

λ_2 criterion

Jeong and Hussain (1995) ได้นำเสนออีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นการอธิบายถึงการเกิดการไหลหมุนวน โดยมีแนวคิดพื้นฐานในส่วนของพื้นที่ที่เกิดความดันน้อยที่สุดสำหรับการเกิดแกนการไหลหมุนวนซึ่งรวมถึงกรณีของการเกิดความดันต่ำสุดที่ไม่เกิดจากผลของความหนืด และยกเว้นกรณีที่ซึ่งการเกิดความดันต่ำสุดซึ่งเกิดจากสภาวะไม่คงที่ของค่าความเครียด วิธีดังกล่าวได้ถูกนำมาทำการพัฒนาเพื่อหาค่าสมการสำหรับความดันของ Hessian สมการดังกล่าวสามารถนำมาใช้กับค่าการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากสมการ Navier Stokes โดยหาสมการเทนเซอร์และส่วนของ symmetric โดยสมการนี้ไม่คิดในส่วนของสภาวะไม่คงตัวจากความเครียดและส่วนของความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กฎการอนุรักษ์สำหรับของไหลเคลื่อนที่

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์สำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อน ที่ประกอบด้วย กฎการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ซึ่งนำไปสู่สมการควบคุมของการไหล เนื้อหาหลักที่ครอบคลุมในบทนี้ประกอบด้วย

- ระบบสมการ PDEs (partial differential equations) ซึ่งควบคุมการไหลในพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z)
- แนวคิดเกี่ยวกับความหนืดในรูปของ newtonian ซึ่งนำไปสู่สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier – Stokes equations)
- รูปแบบเชิงอนุพันธ์และอินทิกรัลสำหรับสมการการเคลื่อนย้ายแบบปกติ

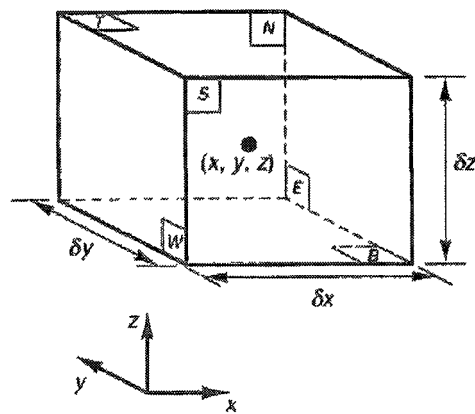
3.2 สมการควบคุมของการไหลและการถ่ายเทความร้อน

สมการควบคุมของการไหลแทนถึงสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายกฎการอนุรักษ์ทางฟิสิกส์ ดังนี้

- มวลของไหลไม่สูญหายไปไหน
- อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหล (กฎข้อที่สองของนิวตัน)
- อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานเท่ากับผลรวมของอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนกับอัตราของงานที่กระทำในอนุภาคของไหล (กฎข้อหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์)

ของไหลจะถูกพิจารณาว่ามีความต่อเนื่องสำหรับการวิเคราะห์การไหลของของไหลที่ระดับมหภาค คือพิจารณาที่ขนาดระดับ $1 \mu m$ ขึ้นไป โครงสร้างและการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลสามารถไม่นำมาพิจารณาได้ เราสนใจที่จะอธิบายพฤติกรรมของไหลในเทอมของคุณสมบัติในระดับมหภาค เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น อุณหภูมิ รวมทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติเหล่านี้ เป็นต้น สิ่งนี้อาจจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มโมเลกุลจำนวนมาก ดังนั้นจุดใดๆ ในของไหลนั้นจะมีคุณสมบัติของของไหลในระดับมหภาค ไม่ขึ้นกับอิทธิพลจากอนุภาคในระดับโมเลกุล

เราพิจารณาชิ้นส่วนของไหลขนาดเล็กที่มีความยาวด้านเท่ากับ δx , δy และ δz ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนของของไหลสำหรับกฎการอนุรักษ์

ผิวหน้าทั้งหกด้านจะถูกแทนด้วย N, S, E, W, T, B ซึ่งแทนถึงทิศทางในแนวเหนือใต้ ตะวันออก ตะวันตก บน และล่าง ตามลำดับ ศูนย์กลางของชิ้นส่วนอยู่ที่ตำแหน่ง (x, y, z) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นระบบของ มวล โมเมนตัม และพลังงานของชิ้นส่วนของไหล จะสามารถสร้างสมการการไหลของของไหลได้

คุณสมบัติของของไหลทั้งหมดจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา ดังนั้นเราจำเป็นต้องเขียน $\rho(x, y, z, t)$, $p(x, y, z, t)$, $T(x, y, z, t)$ และ $u(x, y, z, t)$ สำหรับความหนาแน่น, ความดัน, อุณหภูมิและเวกเตอร์ความเร็ว ตามลำดับ เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนในการเขียนค่าสัญลักษณ์แสดงคุณสมบัติดังกล่าว เราจะไม่ระบุตำแหน่งและเวลา เช่น ความดันที่ศูนย์กลาง (x, y, z) ของชิ้นส่วนของไหลที่เวลา t จะถูกแทนโดย p หรือการเปลี่ยนแปลงในทิศทาง x ของความดันที่ศูนย์กลาง (x, y, z) ที่เวลา t หนึ่งๆ จะถูกแทนโดย $\frac{\partial p}{\partial x}$ หลักการนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับคุณสมบัติของไหลทั้งหมด

ชิ้นส่วนของไหลที่พิจารณานั้นมีขนาดเล็กมาก จนกระทั่งคุณสมบัติของไหลที่ผิวหน้าสามารถอธิบายได้อย่างแม่นยำด้วยสองพจน์แรกของสมการ Taylor ดังนั้น สำหรับตัวอย่างความดันที่ผิวหน้า W และ E ซึ่งทั้งคู่มีระยะห่างจากศูนย์กลางของชิ้นส่วนของไหลเท่ากับ $\frac{1}{2} \cdot \Delta x$ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta x \quad \text{และ} \quad p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta x$$

3.2.1 การอนุรักษ์มวลในปัญหา 3 มิติ

ขั้นตอนแรกของการหาสมการอนุรักษ์มวลคือการพิจารณาถึงสมดุลมวลของชิ้นส่วนของไหล ดังนี้

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวล ในชิ้นส่วนของไหล	=	อัตราการไหลสุทธิของมวล ที่เข้าไปในชิ้นส่วนของไหล
อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในชิ้นส่วนย่อยของของไหลคือ		

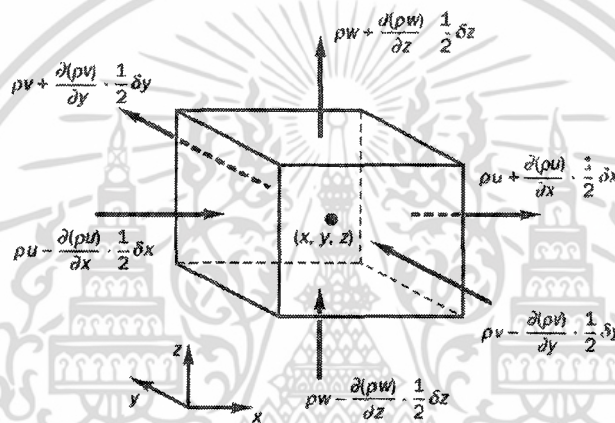
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \Delta x \Delta y \Delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลเชิงมวลผ่านพื้นผิวและชิ้นส่วนย่อย ซึ่งนิยามโดยผลคูณของความหนาแน่นพื้นที่ผิว และความเร็วในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น จากรูปที่ 3.2 จะพบว่า การไหลสุทธิของมวลเข้าสู่ชิ้นส่วนย่อยผ่านพื้นผิวสามารถเขียนได้ ดังนี้

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

โดยการไหลเข้าสู่ชิ้นส่วนที่ทำให้มวลของชิ้นส่วนย่อยเพิ่มขึ้นถูกกำหนดให้เป็นบวก และมีค่าเป็นลบเมื่อมีการไหลออกจากชิ้นส่วนย่อย



รูปที่ 3.2 การไหลของมวลเข้าและออกชิ้นส่วนของไหล

อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลภายในชิ้นส่วนย่อยนั้น เท่ากับอัตราของมวลสุทธิจากการไหลออกผ่านพื้นผิวของชิ้นส่วนย่อย ซึ่งเมื่อย้ายข้างให้อยู่ในฝั่งเดียวกันเมื่อรวมกันแล้วจะหักล้างกันหมด เทอมทั้งหมดได้ถูกเรียบเรียงทางซ้ายของสมการและถูกหารด้วยปริมาตรของชิ้นส่วนย่อย $\delta x \delta y \delta z$ ซึ่งจะได้

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

หรือในรูปแบบของเวกเตอร์

$$\boxed{\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0} \quad (3.4)$$

สมการ (3.4) นี้ คือสมการอนุรักษ์มวล หรือสมการความต่อเนื่อง 3 มิติ แบบการไหลไม่คงตัว และอัดตัวได้ เทอมแรกทางซ้ายมือคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น (มวลต่อปริมาตร) ต่อเวลา เทอมที่สองอธิบายถึงการไหลสุทธิของมวลข้ามผ่านขอบเขตของปริมาตรเล็ก ๆ นั้น เรียกว่า เทอมของการพา

สำหรับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (เช่น ของเหลว) ความหนาแน่นมีค่าคงที่และสมการ (3.4) จะกลายเป็น

$$\operatorname{div}(\mathbf{u}) = 0 \quad (3.5)$$

หรือในรูปแบบเต็ม

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.6)$$

3.2.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอนุภาคของไหล ในเทอมชิ้นส่วนย่อยของไหล

ในกฎของการอนุรักษ์โมเมนตัมและพลังงานนั้น จะมีการกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอนุภาคของไหล คุณสมบัติแต่ละอย่างของอนุภาคจะเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง (x, y, z) ของอนุภาคและเวลา (t) ในการศึกษาที่เรากำหนดให้ค่าคุณสมบัติใดๆ ต่อหน่วยมวล ด้วยสัญลักษณ์ ϕ โดยการเปลี่ยนแปลงของ ϕ เทียบกับเวลาของอนุภาคของไหล $D\phi/Dt$ คือ

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{\partial\phi}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial\phi}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial\phi}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

และโดยที่ $dx/dt = u$, $dy/dt = v$ และ $dz/dt = w$ หากแทนค่าดังกล่าวไปในสมการข้างบน จะได้ว่า

$$\frac{D\phi}{Dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + u \frac{\partial\phi}{\partial x} + v \frac{\partial\phi}{\partial y} + w \frac{\partial\phi}{\partial z} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \operatorname{grad}\phi \quad (3.7)$$

$D\phi/Dt$ เป็นนิยามของอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ϕ ต่อหน่วยมวล ในกรณีของสมการอนุรักษ์มวล เราสนใจที่จะพัฒนาสมการสำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยปริมาตร อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ϕ สามารถถูกแปลงให้เป็นคุณสมบัติเชิงปริมาตรได้โดยการคูณความหนาแน่น ρ เข้าไปกับเทอม $D\phi/Dt$ ดังนั้น

$$\rho \frac{D\phi}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \operatorname{grad}\phi \right) \quad (3.8)$$

รูปแบบนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอธิบายความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของของไหล ในปริมาตรเล็กๆ ที่หยุดนิ่งหนึ่งๆ เป็นการนิยามความสัมพันธ์ระหว่าง: 1) อนุพันธ์ของคุณสมบัติ ϕ ของอนุภาคของไหล กับ 2) อัตราเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในชิ้นส่วน หรือปริมาตรย่อยๆ ของของไหลนั้น

ต่อไปนี้หากเราหันมาพิจารณากฎการอนุรักษ์ของมวล ค่าของมวลต่อหน่วยปริมาตร (ในที่นี้คือ ความหนาแน่น ρ) คือพารามิเตอร์ที่เรากำลังศึกษา เมื่อพิจารณาผลรวมของ: 1) อัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นในปริมาตรเล็กๆ และ 2) ผลของการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการพาในสมการอนุรักษ์มวล (3.4) ก็คือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u})$$

ดังนั้นรูปทั่วไปของ เทอมทั้งสองเทอมนี้ สำหรับคุณสมบัติใดๆ ของของไหล ϕ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) \quad (3.9)$$

สมการที่ (3.9) เทอมแรก คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ ϕ ต่อหน่วยปริมาตรบวกกับเทอมที่สอง คือการไหลสุทธิของ ϕ ต่อปริมาตรที่ออกจากชิ้นส่วนย่อยของไหล ซึ่งเราสามารถนำมาเขียนใหม่เพื่อให้ได้ภาพความสัมพันธ์ ระหว่างผลรวมของทั้งสองเทอมนี้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในอนุภาคของไหล ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \rho \left[\frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}\phi \right] + \phi \left[\frac{\partial\rho}{\partial t} + \text{div}(\rho\mathbf{u}) \right] = \rho \frac{D\phi}{Dt} \quad (3.10)$$

เทอม $\phi[\partial\rho/\partial t + \text{div}(\rho\mathbf{u})]$ เท่ากับศูนย์เนื่องจากสมการอนุรักษ์มวล (3.4) จากความสัมพันธ์ดังแสดงใน (3.10) จะได้ว่า

อัตราการเพิ่มของ ϕ สำหรับชิ้นส่วนย่อยของไหล	+	อัตราการไหลสุทธิของ ϕ ที่ออกจากชิ้นส่วนย่อยของไหล	=	อัตราการเพิ่มของ ϕ สำหรับอนุภาคของไหล
--	---	--	---	--

การเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของอนุภาคของไหลทั้ง 3 ทิศทาง อ้างอิงแกนในพิกัดฉาก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์นั้น สามารถแทนพารามิเตอร์ ϕ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ต่อหน่วยปริมาตร ตามที่นิยามไว้ใน (3.8) และ (3.10) สามารถแสดงได้ดังในตารางข้างล่างนี้

x-momentum	u	$\rho \frac{Du}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \mathbf{u})$
y-momentum	v	$\rho \frac{Dv}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \mathbf{u})$
z-momentum	w	$\rho \frac{Dw}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \mathbf{u})$
Energy	E	$\rho \frac{DE}{Dt}$	$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \text{div}(\rho E \mathbf{u})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ให้ไว้ในตารางข้างบนนี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างสมการอนุรักษ์โมเมนตัมและพลังงานดังที่จะแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดจากนี้

3.2.3 สมการโมเมนตัมแบบ 3 มิติ

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวไว้ว่า “อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอนุภาคของไหล เท่ากับผลรวมของแรง ที่กระทำต่ออนุภาค”

อัตราการเพิ่มโมเมนตัม ของอนุภาคของไหล	=	ผลรวมแรงที่กระทำ ต่ออนุภาคของไหล
--	---	-------------------------------------

อัตราการเพิ่มโมเมนตัมต่อหน่วยปริมาตรของอนุภาคของไหลในทิศ x , y และ z กำหนดได้โดย

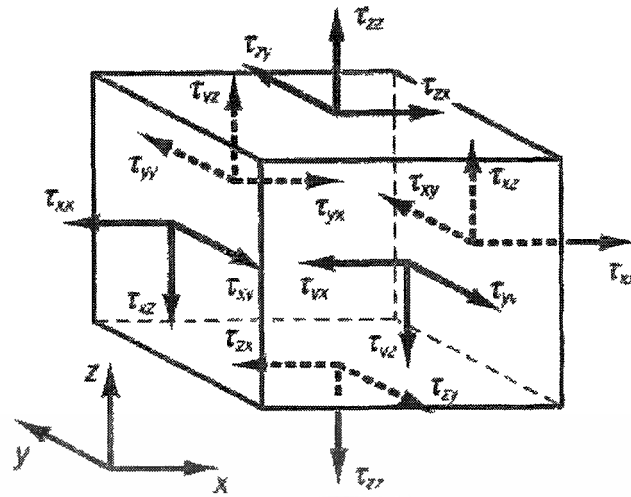
$$\rho \frac{Du}{Dt} \quad \rho \frac{Dv}{Dt} \quad \rho \frac{Dw}{Dt} \quad (3.11)$$

เราแบ่งประเภทของแรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหลเป็นสองแบบ คือ

- แรงกระทำที่ผิว (surface forces) ได้แก่ แรงเนื่องจากความดัน แรงเนื่องจากความหนืด แรงโน้มถ่วง
- แรงกระทำในปริมาตร (body forces) ของชิ้นส่วนย่อยของของไหล ได้แก่ แรงหมุนหนีศูนย์กลาง แรงแม่เหล็กไฟฟ้า coriolis force

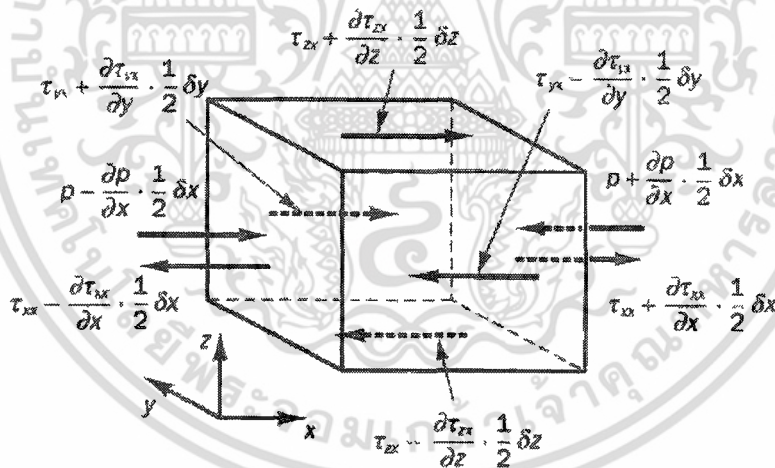
โดยทั่วไปเทอมของแรงกระทำที่ผิวจะถูกจัดกลุ่มแยกออกต่างหาก และเทอมของแรงกระทำภายในปริมาตรจะถูกพิจารณาเป็นเทอมของการเพิ่มและลดโมเมนตัมแยกออกมาอีกเทอมหนึ่ง

ความเค้นที่กระทำต่อชิ้นส่วนย่อยของของไหล สามารถนิยามได้ด้วยเทอมของความดัน และเทอมความเค้นย่อยเนื่องจากความหนืด μ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ความดันซึ่งมองว่าเป็นความเค้นตั้งฉาก ถูกแทนด้วย p ส่วนความเค้นเฉือนเนื่องจากความหนืดแทนโดย τ สัญลักษณ์ τ_{ij} ถูกประยุกต์ใช้เพื่อชี้ให้เห็นถึงทิศทางของความเค้นเนื่องจากความหนืด ตัวห้อย i และ j ใน τ_{ij} ชี้ให้เห็นถึงความเค้นย่อย ที่กระทำในทิศทาง j บนพื้นที่ที่มีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทาง i นั่นเอง



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของความเค้นบนผิวหน้าทั้งสามทิศทาง ของชิ้นส่วนของไหล

เริ่มแรกเราพิจารณาแรงกระทำในทิศทาง x เนื่องจากความดันและความเค้นย่อย τ_{xy} , τ_{yz} และ τ_{xx} ดังในรูปที่ 3.4 ขนาดของแรงที่กระทำบนพื้นผิวเกิดจากผลคูณของความเค้นและพื้นที่ และมีทิศทางเดียวกับแกนอ้างอิงโดยมีเครื่องหมายบวก และมีค่าเป็นเครื่องหมายลบเมื่อทิศทางตรงข้ามแรงสุทธิในทิศทาง x คือผลรวมของแรงย่อยที่กระทำบนชิ้นส่วนย่อยของไหล ในทิศทางดังกล่าว



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบของความเค้นในทิศทาง x

เมื่อพิจารณาผิวหน้าที่ E , W เราได้ว่า

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z + \left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left(- \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \quad (3.12g)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงสุทธิในทิศทาง x บนผิวหน้า N, S ได้ว่า

$$-\left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y\right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y\right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (3.12ข)$$

แรงสุทธิในทิศทาง x บนผิวหน้า T, B ได้ว่า

$$-\left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z\right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z\right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (3.12ค)$$

ผลรวมแรงต่อหน่วยปริมาตรทั้งหมดเนื่องจากความเค้นที่ผิวหน้าจะเท่ากับผลรวมของ (3.12ก), (3.12ข) และ (3.12ค) ที่หารด้วยปริมาตรสุทธิ

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (3.13)$$

เทอมที่ปรากฏ ใน (3.13) นี้ ยังไม่รวมการพิจารณาแรงกระทำภายในชิ้นส่วนของของไหล ซึ่งสามารถถูกรวมได้โดยการพิจารณาเป็นแหล่งสร้างหรือทำลายโมเมนตัม เป็นหน่วยของโมเมนตัมต่อปริมาตรต่อเวลาในทิศทาง x

ในขั้นตอนี้สมการโมเมนตัมในทิศทาง x หาได้โดยการกำหนดให้อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมในทิศทาง x และ อนุภาคการไหล (3.11) เท่ากับผลรวมของแรงในทิศทาง x ที่กระทำต่อชิ้นส่วนของไหลโดยความเค้นที่ผิว บวกกับอัตราการสร้างหรือสูญสลายของโมเมนตัมในทิศทาง x เนื่องจากแรงภายในชิ้นส่วนของของไหลนั้นตามแนวแกน x

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (3.14ก)$$

ในทำนองเดียวกันโมเมนตัมในทิศทาง y จะเขียนได้ว่า

$$\rho \frac{Dy}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (3.14ข)$$

และโมเมนตัมในทิศทาง z คือ

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (3.14ค)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันมีลักษณะเป็นความเค้นอัดตั้งฉาก (compressive normal stress) ซึ่งโดยทั่วไปมีเครื่องหมายเป็นลบ ในกรณีที่ความเค้นตั้งฉากเนื่องจากความหนืดมีลักษณะเป็นความเค้นดึง (tensile normal stress) จะมีเครื่องหมายบวก

เทอมของการสร้างหรือสูญหายของโมเมนตัม $S_{M_x} = 0$, $S_{M_y} = 0$ และ S_{M_z} (3.14 ก-ค) คือแรงกระทำภายในของแต่ละทิศทาง ตัวอย่างเช่นแรงกระทำภายในเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะถูกกำหนดให้มีค่า

$$S_{M_x} = 0, S_{M_y} = 0 \text{ และ } S_{M_z} = -\rho g$$

3.2.4 สมการพลังงานในระบบ 3 มิติ

สมการพลังงานถูกหาได้จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวไว้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของอนุภาคของไหล เท่ากับอัตราการเพิ่มความดันแก่นุภาคบวกกับอัตราการทำงานของอนุภาคการไหล

อัตราการเพิ่มขึ้นของพลังงานของอนุภาคของไหลต่อหน่วยปริมาตร คือ

$$\rho \frac{DE}{Dt} \quad (3.15)$$

งานที่กระทำโดยแรงบนพื้นผิว

อัตราการเกิดงานบนพื้นผิวของชิ้นส่วนของไหล จะเท่ากับผลคูณของแรงและความเร็วในทิศทางของแรง สำหรับแรงตามที่แสดงใน (3.12ก – 3.12ค) เฉพาะที่กระทำในทิศทาง x จะเกิดงานเท่ากับ

$$\begin{aligned} & \left[\left(pu - \frac{\partial(pu)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx}u - \frac{\partial(\tau_{xx}u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right. \\ & \quad \left. - \left(pu + \frac{\partial(pu)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx}u + \frac{\partial(\tau_{xx}u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z \\ & \quad + \left[- \left(\tau_{yx}u - \frac{\partial(\tau_{yx}u)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) + \left(\tau_{yx}u + \frac{\partial(\tau_{yx}u)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \right] \delta x \delta z \\ & \quad + \left[- \left(\tau_{zx}u - \frac{\partial(\tau_{zx}u)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) + \left(\tau_{zx}u + \frac{\partial(\tau_{zx}u)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \right] \delta x \delta y \end{aligned}$$

ดังนั้นเมื่อลดรูปแล้ว อัตราการเกิดงานสุทธิบนพื้นผิวเหล่านี้ ในทิศทาง x คือ

$$\left[\frac{\partial(u(-p + \tau_{xx}))}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.16ก)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบย่อยของแรงเนื่องจากความเค้นพื้นผิวในทิศทาง y และ z ก็จะทำงานบนอนุภาคดังกล่าว เช่นกัน ในกระบวนการคิดแบบข้างต้นอัตราการเกิดงานบนอนุภาคของไหลเนื่องจากการทำงานโดยแรงเหล่านี้สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\left[\frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial[v(-p+\tau_{yy})]}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.16ข)$$

และ

$$\left[\frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial[w(-p+\tau_{zz})]}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (3.16ค)$$

อัตราการเกิดงานทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตรของของไหลโดยแรงบนพื้นผิวทั้งหมด คือผลรวมของ (3.16 ก – ค) ทหารด้วยปริมาตร $\delta x \delta y \delta z$ เทอมของ p สามารถถูกจัดรวบรวมและเขียนในรูปแบบของไดเวอร์เจนท์ ดังนี้

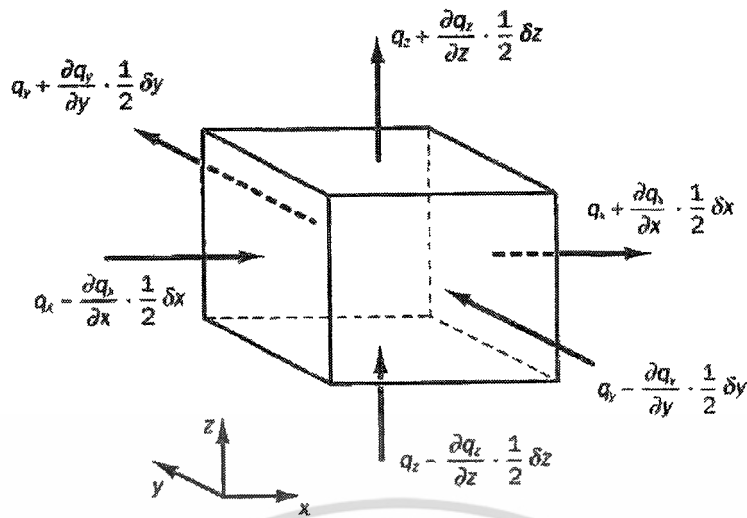
$$-\frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} = -\text{div}(pu)$$

ดังนั้นอัตราการเกิดงานรวมทั้งหมดบนชิ้นส่วนของของไหลโดยความเค้นบนพื้นผิว มีหน่วยเป็นปริมาณของพลังงานต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยปริมาตร

$$\begin{aligned} [-\text{div}(pu)] + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} \right. \\ \left. + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] \end{aligned} \quad (3.17)$$

ฟลักซ์เนื่องจากการนำความร้อน

เวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ q ประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย 3 ส่วนคือ q_x , q_y , q_z (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 องค์ประกอบของเวกเตอร์ฟลักซ์ความร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่ขึ้นส่วนของไหล เนื่องจากฟลักซ์ของความร้อนทิศทาง x ถูกกำหนดโดยผลต่างระหว่างอัตราความร้อนที่เข้าผ่านผิวหน้า W กับอัตราความร้อนที่ออกจากผิวหน้า E

$$\left[\left(q_x - \frac{\partial q_x}{\partial x} \frac{1}{2} dx \right) - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \frac{1}{2} dx \right) \right] dy dz = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy dz \quad (3.18ก)$$

ในทำนองเดียวกันอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิของไหลเนื่องจากฟลักซ์ของความร้อนในทิศทาง y และ z คือ

$$-\frac{\partial q_y}{\partial y} dx dy dz \quad \text{and} \quad -\frac{\partial q_z}{\partial z} dx dy dz \quad (3.18ข-ค)$$

อัตราความร้อนสุทธิที่เพิ่มขึ้นของอนุภาคของไหลต่อหน่วยปริมาตรครอบคลุมขอบเขตของขึ้นส่วนของไหล จะเท่ากับผลรวมของ(3.18ก - 3.18ค) ทหารด้วยปริมาตร $dx dy dz$

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} = -\text{div } \mathbf{q} \quad (3.19)$$

กฎของ Fourier ของการนำความร้อนอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทปริมาณความร้อนต่อพื้นที่ (heat flux) กับ ความแตกต่างอุณหภูมิ ต่อหน่วยความยาว

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z}$$

สิ่งนี้สามารถเขียนในรูปแบบของเวกเตอร์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = -k \operatorname{grad} T \quad (3.20)$$

รวมสมการ (3.19) และ (3.20) ซึ่งจะได้ว่า อัตราการเพิ่มของความร้อนที่อนุภาคของไหลเนื่องจากการนำความร้อนผ่านพื้นผิวของชิ้นส่วนของของไหล

$$-\operatorname{div} q = \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) \quad (3.21)$$

สมการพลังงาน

ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงพลังงานจำเพาะของของไหล ซึ่งแทนด้วย E พลังงานของของไหล ถูกนิยามเป็นผลรวมของพลังงานความร้อนภายใน i , พลังงานจลน์ $\frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$ และพลังงานศักย์โน้มถ่วง โดยมองว่าชิ้นส่วนของไหลมีการสะสมพลังงานศักย์โน้มถ่วง พลังงานภายในอาจไม่มีการรวมเอาพลังงานศักย์เข้าไว้ในนิยามก็ได้ หากมองว่าวัตถุกำลังทำงานในขณะที่เคลื่อนที่ในสนามความโน้มถ่วงของโลกโดยงานในส่วนนี้เรียกว่า งานเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุซึ่งเป็นเทอมการก่อกำเนิด ในสมการพลังงาน มีหน่วยเป็นพลังงานต่อหน่วยปริมาตรต่อหน่วยเวลา

การอนุรักษ์พลังงานของชิ้นส่วนของไหล ทำได้โดยการกำหนดให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของชิ้นส่วนของไหล (3.15) มีค่าเท่ากับ ผลรวมของการเกิดงานสุทธิบนชิ้นส่วนของไหล (3.17) และอัตราความร้อนสุทธิที่เพิ่มขึ้นของของไหลเนื่องจากฟลักซ์ความร้อน (3.21) และอัตราการเพิ่มของพลังงานเนื่องจากเทอมของการก่อกำเนิด ดังนั้นสมการพลังงาน คือ

$$\rho \frac{DE}{Dt} = -\operatorname{div}(pu) + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + S_E \quad (3.22)$$

ในสมการ (3.22) เรามี $E = i + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$

แม้ว่า (3.22) คือสมการพลังงานที่สมบูรณ์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ พลังงานภายในที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของของไหล และพลังงานจลน์ที่สัมพันธ์กับความเร็วของของไหล เรามักจะพิจารณาพลังงานในแต่ละส่วนแยกจากกัน พลังงานจลน์ที่สัมพันธ์กับความเร็วของของไหลนั้นสามารถเขียนได้โดยการแปลงรูปของสมการโมเมนตัม กล่าวคือ ทำการคูณสมการโมเมนตัมในทิศทาง x ด้วยความเร็ว u สมการโมเมนตัมในทิศทาง y ด้วยความเร็ว v และสมการโมเมนตัมในทิศทาง z ด้วยความเร็ว w และรวมผลลัพธ์เข้าด้วยกัน ก่อนทำการหารด้วย 2 สิ่งนี้ทำให้ได้สมการอนุรักษ์สำหรับพลังงานจลน์ดังข้างล่างนี้

$$\rho \frac{D}{Dt} \left[\frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) \right] = -\mathbf{u} \cdot \text{grad } p + u \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + v \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + w \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \mathbf{u} \cdot \mathbf{S}_M \quad (3.23)$$

ทำการลบ (3.23) จาก (3.22) และนิยาม source term ขึ้นใหม่เป็น $S_i = S_E - \mathbf{u} \cdot \mathbf{S}_M$ จึงทำให้ได้สมการพลังงานภายในดังนี้

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \text{ div } \mathbf{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zx} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + S_i \quad (3.24)$$

ในการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เรามี $i = cT$, ซึ่ง c คือค่าความร้อนจำเพาะและ $\text{div } \mathbf{u} = 0$ ซึ่งทำให้เราจัดเรียงสมการ (3.24) ไปในรูปของอุณหภูมิได้คือ

$$\rho c \frac{DT}{Dt} = \text{div}(k \text{ grad } T) + \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zx} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} + S_i \quad (3.25)$$

สำหรับสมการไหลที่อัดตัวได้ (3.22) ถูกจัดรูปเป็นสมการสำหรับค่าเอนทาลปีและเนื่องจากค่าเอนทาลปีจำเพาะ h และค่าเอนทาลปีจำเพาะสัมบูรณ์ h_0 ของของไหลกำหนดได้โดย

$$h = i + p/\rho \quad \text{and} \quad h_0 = h + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)$$

รวมสองนิยามนี้กับนิยามของพลังงานจำเพาะ E เข้าด้วยกัน เราจะได้

$$h_0 = i + p/\rho + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) = E + p/\rho \quad (3.26)$$

แทนค่า (3.26) ไปในสมการ (3.22) และจัดเรียงเรียงบางอย่างทำให้ได้สมการพลังงานรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + \text{div}(\rho h_0 \mathbf{u}) = \text{div}(k \text{ grad } T) + \frac{\partial p}{\partial t} + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + S_h \quad (3.27)$$

สมการ (3.24), (3.25) และ (3.27) ไม่ใช่สมการการอนุรักษ์พลังงานที่เพิ่มเติมเข้ามาใหม่ หากแต่เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของสมการพลังงาน (3.22)

3.3 สมการนาเวียร์-สโตกส์ สำหรับของไหลแบบนิวโทเนียน

สมการควบคุมประกอบด้วยตัวที่ไม่รู้ค่าคือ ความเค้นเนื่องจากความหนืดในแนวแกนย่อย τ_{ij} ในการไหลของของไหลนั้น ค่าความเค้นหนืดสามารถถูกอธิบายได้โดยอัตราการเสียรูปปร่างที่ตำแหน่งใดๆ (หรืออัตราความเครียด) ในการไหล 3 มิติอัตราการเสียรูปปร่างที่ตำแหน่งใดๆ ประกอบด้วยอัตราการเสียรูปปร่างเชิงเส้นและอัตราเสียรูปปร่างเชิงปริมาตร

ก๊าซทุกชนิดโดยส่วนมากมีคุณสมบัติเป็นแบบ isotropic ในขณะที่ของเหลวบางชนิดที่ประกอบด้วยโมเลกุลของโพลีเมอร์ ในจำนวนที่มากพออย่างมีนัยสำคัญอาจจะประพฤติตัวเป็น anisotropic หรือคุณสมบัติของความเค้นหนืดแบบขึ้นอยู่กับทิศทาง ซึ่งเป็นผลของการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลของโพลีเมอร์ ของไหลดังกล่าวอยู่นอกเหนือจากขอบเขตของหนังสือนี้และเราจะทำการศึกษาต่อไปโดยสมมติว่าการไหลเป็น isotropic

อัตราการเสียรูปปร่างเชิงเส้นของชิ้นส่วนของไหลมี 9 องค์ประกอบใน 3 มิติ ในจำนวนนั้น มี 6 องค์ประกอบที่เป็นอิสระในของไหลแบบ isotropic ซึ่งถูกเขียนโดยสัญลักษณ์ s_{ij} ระบบการอ้างอิงในตัวห้อยต่อท้ายสัญลักษณ์ ชี้ให้เห็นองค์ประกอบซึ่งเป็นระบบเดียวกับระบบอ้างอิงของความเค้น (ดูในหัวข้อ 3.2.3) มีองค์ประกอบของการเสียรูปปร่างเชิงเส้นแบบตั้งฉากอยู่ 3 ตัว

$$s_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad s_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad s_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.28ก)$$

มีองค์ประกอบของการเสียรูปปร่างเชิงเส้นแบบเฉือนทั้ง 6 ด้านของชิ้นส่วนของไหลคือ

$$s_{xy} = s_{yx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad \text{และ} \quad s_{xz} = s_{zx} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ s_{yz} = s_{zy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (3.28ข)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสีรูปร่างเชิงปริมาตรถูกให้โดย

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div } u \quad (3.28ค)$$

ในของไหลแบบ newtonian ความเค้นเนื่องจากความหนืดเป็นส่วนโดยตรงกับอัตราของการเสีรูปร่างของของไหล ตามกฎที่ว่าด้วยความหนืดของนิวตันในปริภูมิ 3 มิติสำหรับของไหลที่อัดตัวได้นั้น การไหลจะมีความหนืดเชื่อมโยงอย่างแปรผันตามค่าพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ 1) ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดที่หนึ่ง (dynamic viscosity), μ ซึ่งจะเชื่อมโยงกับการเสีรูปร่างเชิงเส้นของของไหล และ 2) ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดที่สอง, λ ที่จะเชื่อมโยงกับการเสีรูปร่างปริมาตร ดังนั้นเราจะมีองค์ประกอบย่อยของความเค้นอยู่ทั้งหมด 9 ตัว โดยมี 6 ตัวในนั้นไม่ขึ้นแก่กันหรือเรียกว่ามีระดับอิสระ (degree of freedom) เท่ากับ 6

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } u, & \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div } u, & \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div } u, \\ \tau_{xy} = \tau_{yx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), & \tau_{xz} = \tau_{zx} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \\ \tau_{yz} = \tau_{zy} &= \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3.29)$$

ภาพของความหนืดในส่วนที่สองนั้นไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากผลของมันในทางปฏิบัติมีไม่มากนักสำหรับก๊าซ การประมาณค่าที่ดีคือ $\lambda = -\frac{2}{3}\mu$ (Schlichting (1979)) และเนื่องจากเราสมมุติว่าของไหลเป็นแบบที่อัดตัวไม่ได้ ซึ่งจากสมการอนุรักษ์มวลคือ $\text{div } \mathbf{u} = 0$ ดังนั้นความเค้นหนืดจะเป็น 2 เท่าของอัตราการเสีรูปร่างเชิงเส้น

แทนค่าความเค้นเฉือนข้างบน (3.29) ไปใน (3.14ก - ค) ทำให้ได้สมการซึ่งเรียกตามชื่อ Navier-Stokes ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 19 ที่ได้ทำนายดังนี้

$$\begin{aligned} \rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{Mx} \end{aligned} \quad (3.30ก)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{Dv}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_{My} \end{aligned} \quad (3.30ข)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S_{Mz} \quad (3.30ค)$$

เราสามารถจัดเรียงเทอมของความเค้นหนืดใหม่ ดังข้างล่างนี้

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ &+ \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \right] \\ &= \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \end{aligned}$$

ความเค้นหนืดในสมการที่เป็นองค์ประกอบในทิศทาง y และ z สามารถจัดใหม่ในลักษณะเดียวกัน เราจะสร้างสมการโมเมนตัมอย่างง่าย โดยการซ้อนเทอมของความเค้นหนืดในเทอมของการเพิ่มขึ้นของโมเมนตัม (source term) ดังนั้นจึงนิยามเทอมของการเพิ่มขึ้นของโมเมนตัมใหม่โดย

$$S_M = S_M + [s_M] \quad (3.31)$$

สมการนาเวียร์-สโตกส์ สามารถถูกเขียนในรูปแบบที่ใช้สำหรับการพัฒนาวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม
ดังนี้

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \quad (3.32ก)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (3.32ข)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz} \quad (3.32ค)$$

ถ้าเราใช้แบบจำลอง newtonian สำหรับความเค้นหนืดในสมการพลังงานภายใน (3.24) เราจะได้

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \text{div} u + \text{div}(k \text{grad} T) + \Phi + S_i \quad (3.33)$$

ผลกระทบทั้งหมดเนื่องจากความเค้นหนืดในสมการพลังงานภายในนี้ สามารถเขียนได้ในเทอมของฟังก์ชันการสลายตัว (dissipation function) Φ ซึ่งหลังจากการปรับรูปแบบสมการ สามารถแสดงได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Phi = \mu \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} + \lambda (\text{div } u)^2 \quad (3.34)$$

การสลายตัวนี้เป็นค่าบวกเสมอเนื่องจากประกอบด้วยเทอมยกกำลังสอง และแทนถึงการก่อกำเนิดของพลังงานภายในอันเป็นผลมาจากการเสีรูปทรงของชิ้นส่วนของไหล อีกนัยหนึ่งคือเป็นตัวลดทอนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหล และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานภายในหรือความร้อนนั่นเอง

3.4 รูปแบบอนุกรมสำหรับสมการควบคุมของการไหล

ตารางที่ 3.1 แสดงสมการอนุกรมมวล โมเมนตัม และพลังงาน ในรูปแบบของโตเวอร์เจนท์ เป็นสมการแบบ 3 มิติ ที่ขึ้นกับเวลาของของไหล newtonian ที่อัดตัวได้

ตารางที่ 3.1 สมการควบคุมการไหลของของไหลแบบนิวโทเนียนอัดตัวได้

มวล	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0$	(3.4)
-----	---	-------

โมเมนตัม x	$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx}$	(3.35ก)
------------	---	---------

โมเมนตัม y	$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My}$	(3.35ข)
------------	---	---------

โมเมนตัม z	$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz}$	(3.35ค)
------------	---	---------

พลังงาน	$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \vec{u}) = -p \text{div } \vec{u} + \text{div}(k \text{grad } T) + \Phi + S_i$	(3.36)
---------	---	--------

สมการสถานะ	$p = p(\rho, T) \text{ and } i = i(\rho, T)$	(3.28)
------------	--	--------

	$p = \rho RT \text{ and } i = C_v T$	(3.29)
--	--------------------------------------	--------

เทอมการก่อกำเนิดของโมเมนตัม S_M และฟังก์ชันการสลายตัว Φ แสดงใน (3.31) และ (3.34) ตามลำดับ เป็นที่น่าสนใจที่ว่าสมมติฐานสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ทำให้ได้สมการการไหล (PDEs) 5 สมการ และสมการพีชคณิต 2 สมการรวมเป็น 7 สมการ ต่อมาเราใช้แนวคิดของของไหล newtonian ซึ่งอธิบายความเค้นหนืดในเทอมของความแตกต่างขององค์ประกอบความเร็วต่อหน่วยความยาว เป็นผลให้เกิดตัวไม่รู้ค่า 7 ตัว จำนวนที่เท่ากันของสมการและตัวที่ไม่รู้ค่าของระบบนี้สามารถถูกแก้ปัญหาได้ ด้วยเงื่อนไขที่ขอบและค่าเริ่มต้น (boundary and initial condition)

3.5 รูปแบบเชิงอนุพันธ์และอินทิกรัลสำหรับสมการการเคลื่อนย้ายแบบปกติ

จากตารางที่ 3.1 จะพบว่า มีโครงสร้างสมการหลายสมการที่มีความคล้ายคลึงกัน ถ้าเราพิจารณา ϕ เป็นตัวแปรแสดงคุณสมบัติใดๆ ของของไหลแล้ว รูปแบบของสมการอนุกรมที่ถูกสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นก็จะมีโครงสร้างคล้ายกับสมการข้างต้นเช่นกัน ทั้งนี้รวมทั้งสมการสำหรับปริมาณ สเกลาร์ เช่น อุณหภูมิและความเข้มข้นของสสาร สามารถเขียนในรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) + S_\phi \quad (3.37)$$

หรืออธิบายได้ คือ

อัตราการ เพิ่ม ϕ ของ ชิ้นส่วนของ ไหล	+ การไหลสุทธิของ ϕ ที่ ออกจากชิ้นส่วนของ ไหล	=	อัตราการเพิ่มขึ้น ของ ϕ เนื่องจากการ แพร่	+ อัตราการเพิ่มขึ้น ของ ϕ เนื่องจากการ ก่อกำเนิด
--	---	---	--	---

สมการ (3.37) ถูกเรียกว่าสมการการเคลื่อนย้ายของคุณสมบัติ ϕ ซึ่งพบว่ามันสามารถอธิบายการเคลื่อนย้ายของปริมาณทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกันได้ คือเทอมที่แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงและเทอมของการพาอยู่ด้านซ้ายมือของสมการ ส่วนเทอมของการแพร่ (Γ คือ การแพร่ทางความร้อน) และเทอมของการก่อกำเนิด อยู่ขวามือตามลำดับ โดยได้ซ่อนเทอมซึ่งไม่เหมือนกันไว้ในเทอมของการก่อกำเนิด นั่นเอง

สมการ (3.37) ถูกใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับขั้นตอนการคำนวณในวิธีปริมาตรสืบเนื่องโดยกำหนด ϕ เท่ากับ 1, u , v , w และ i (หรือ T หรือ h_0) และเลือกค่าที่เหมาะสมสำหรับสัมประสิทธิ์การแพร่ Γ และเทอมการก่อกำเนิด เราได้รูปแบบพิเศษของตารางที่ 3.1 ในสมการ partial differential equations ทั้ง 5 ชุด ซึ่งประกอบด้วยสมการอนุรักษ์มวล โมเมนตัมและพลังงาน ทั้งนี้ขั้นตอนหลักของวิธีปริมาตรสืบเนื่อง คือการอินทิเกรตสมการ (3.37) เหนือปริมาตรควบคุม (CV) 3 มิติซึ่งทำได้

$$\int_{cv} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} dV + \int_{cv} \text{div}(\rho\phi\mathbf{u}) dV = \int_{cv} \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) dV + \int_{cv} S_\phi dV \quad (3.38)$$

การอินทิเกรตเชิงปริมาตรในเทอมที่สองด้านซ้ายมือ คือ เทอมการพา และในเทอมแรกทางขวามือคือเทอมของการแพร่ ถูกเขียนใหม่เป็นการอินทิเกรตเชิงพื้นผิวของปริมาตรควบคุมโดยใช้ทฤษฎี Gauss' divergence สำหรับเวกเตอร์ \mathbf{a} ใดๆ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

$$\int_{cv} \text{div}(\mathbf{a}) dV = \int_A \mathbf{n} \cdot \mathbf{a} dA \quad (3.39)$$

ความหมายทางคณิตศาสตร์ของ $\mathbf{n} \cdot \mathbf{a}$ คือ องค์ประกอบย่อยของเวกเตอร์ \mathbf{a} ในทิศทางของเวกเตอร์ \mathbf{n} ตั้งฉากต่อพื้นผิวของชิ้นส่วน dA ฉะนั้นการอินทิเกรตของ divergence ของเวกเตอร์ \mathbf{a} เหนือปริมาตร จะเท่ากับ องค์ประกอบย่อยของเวกเตอร์ \mathbf{a} ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวตลอดทั้งขอบเขตของปริมาตรรวม (integrated) ซึ่งก็คืออาณาบริเวณของพื้นผิว A ทั้งหมด การประยุกต์ทฤษฎี Gauss' divergence (สมการที่ 3.39) จะทำให้สามารถเขียนได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{cv} \rho \phi dV \right) + \int_A n \cdot (\rho \phi u) dA = \int_A n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) dA + \int_{cv} S_\phi dV \quad (3.40)$$

ลำดับขั้นของการอินทิเกรตและการอนุพันธ์ ได้ถูกเปลี่ยนแปลงในเทอมแรกของทางซ้ายมือของสมการ (3.40) เพื่อแสดงให้เห็นความหมายทางคณิตศาสตร์ เทอมนี้นี้หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของคุณสมบัติ ϕ ในปริมาตรควบคุม ผลคูณ $n \cdot (\rho \phi u)$ หมายถึง ฟลักซ์ขององค์ประกอบของคุณสมบัติ ϕ เนื่องจากการไหลของของไหลในทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉาก n ซึ่งก็คือออกจากพื้นผิวของชิ้นส่วนของไหล ดังนั้น เทอมที่สองด้านซ้ายมือของสมการ (3.40) หรือเทอมการพา เป็นอัตราการลดลงสุทธิของคุณสมบัติของไหล ϕ ของชิ้นส่วนของไหลเนื่องจากการพา

ฟลักซ์การแพร่เป็นบวกในทิศทางของการเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยความยาวของคุณสมบัติของไหล ϕ ที่มีค่าลบ เช่น ตลอดแนวทิศทาง $-\text{grad } \phi$ สำหรับตัวอย่างนี้ ความร้อนถูกนำหรือแพร่ไปในทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อหน่วยความยาว (หรือเรียกว่า เกรเดียน) ที่เป็นลบ ดังนั้น ผลคูณของ $n \cdot (-\Gamma \text{grad } \phi)$ คือองค์ประกอบของฟลักซ์การแพร่ในทิศทางของเวกเตอร์ตั้งฉากที่ทิศพุ่งออกไปจากพื้นผิวของชิ้นส่วนของไหล ในทำนองเดียวกันกับผลคูณ $n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi)$ ซึ่งเท่ากับ $-n \cdot (-\Gamma \text{grad } \phi)$ ซึ่งก็คือ ฟลักซ์การแพร่ที่มีค่าบวก มีทิศตรงกันข้ามกับเวกเตอร์ตั้งฉากหรือเข้าไปในชิ้นส่วนย่อยนั่นเอง เทอมแรกทางขวามือของ (3.40) คือเทอมการแพร่ ดังนั้นจะสอดคล้องกับฟลักซ์ที่ไหลเข้าไปในชิ้นส่วนและแทนอัตราการเพิ่มสุทธิของคุณสมบัติ ϕ ของชิ้นส่วนของไหลเนื่องจากการแพร่เทอมสุดท้ายทางขวามือของสมการนี้ได้ให้อัตราการเพิ่มของคุณสมบัติ ϕ ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของการก่อกำเนิด ภายในชิ้นส่วนไหล

ในทำนองเดียวกัน ความสัมพันธ์ (3.40) ของของไหลในปริมาตรควบคุมสามารถอธิบายได้ดังนี้

อัตราการเพิ่ม ϕ	+	อัตราการลดลงสุทธิของ ϕ เนื่องจากการพาที่คร่อมผ่านขอบเขต	=	อัตราการเพิ่มขึ้นของ ϕ เนื่องจากการแพร่	+	อัตราการสร้างสุทธิของ ϕ
----------------------	---	--	---	--	---	------------------------------

การอธิบายนี้ยืนยันได้ว่าการอินทิเกรตของสมการ partial differential ยังคงสภาพของการอนุรักษ์ปริมาณทางฟิสิกส์ของของไหล ถึงแม้ว่าในระดับปริมาตรควบคุมที่มีขนาดจำกัด (macroscopic)

ในปัญหาสภาวะคงตัว (steady state) อัตราของเทอมที่การเปลี่ยนแปลงของ (3.40) เท่ากับศูนย์ สิ่งนี้นำไปสู่รูปแบบอินทิเกรตของสมการการเคลื่อนที่แบบสภาวะคงตัว

$$\int_A n \cdot (\rho \phi u) dA = \int_A n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) dA + \int_{cv} S_\phi dV \quad (3.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเวลา จำเป็นต้องอินทิเกรตเทียบเวลา t ในช่วงเวลาน้อยๆ Δt จาก t จนกระทั่งถึง $t + \Delta t$ ทำให้ได้รูปแบบอินทิเกรตทั่วไปของสมการการเคลื่อนที่ คือ

$$\int_{\Delta t} \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{cv} (\rho \phi) dV \right) dt + \int_{\Delta A} n \cdot (\rho \phi u) dA dt = \int_{\Delta A} n \cdot (\Gamma \text{grad } \phi) dA dt + \int_{\Delta t cv} S_\phi dV dt \quad (3.42)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อ

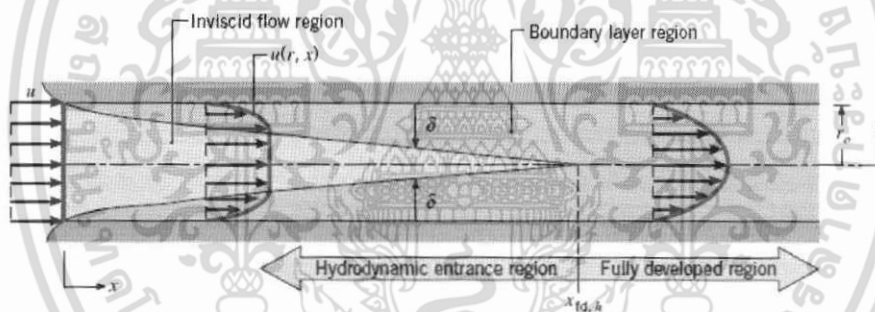
4.1 บทนำ

การไหลภายในท่อ นี้มีข้อแตกต่างจากการไหลผ่านภายนอก คือการไหลภายในท่อมักมีขอบเขตจำกัดโดยที่ความหนาของบาวนด์รีเลเยอร์หรือชั้นขีดผิว ไม่สามารถเพิ่มขึ้นเรื่อยๆได้ เพราะว่าเมื่อไหลไปได้ระยะหนึ่งบาวนด์รีเลเยอร์ก็ก่อตัวเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อจึงไม่สามารถขยายออกไปได้อีก รูปร่างของความเร็วจะมีลักษณะชัดเจนแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก ซึ่งการไหลลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed flow) ส่วนการไหลก่อนหน้านั้นเรียกว่า การไหลที่กำลังปรับตัว (developing flow) และเรียกช่วงระยะของการไหลแบบนี้ว่า hydrodynamic entrance region

4.2 การไหลของของไหล

4.2.1 สถานะการไหล

พิจารณการไหลแบบราบเรียบ ในท่อกลมที่มีรัศมี r_0 ตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การก่อตัวของบาวนด์รีเลเยอร์ของการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม

สำหรับการไหลภายในท่อนั้น ต้องคำนึงถึงการขยายตัวของช่วงบริเวณทางเข้า (entry region) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นเป็นอย่างไร แบบราบเรียบหรือปั่นป่วน เลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลภายในท่อกลมกำหนดเป็น

$$Re_D \equiv \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \quad (4.1)$$

ซึ่ง u_m เป็นความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ

D_h เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) ของท่อ

เลขเรย์โนลด์สวิกฤติ สำหรับช่วงการเปลี่ยนแปลงของการไหล จากราบเรียบเป็นปั่นป่วน เริ่มต้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Re_{D,C} \approx 2300$$

และการไหลเป็นแบบปั่นป่วนเต็มที่ ที่ $Re_D \geq 4000$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (คือ $Re_D \leq 2300$) ความยาวของช่วงบริเวณทางเข้าสำหรับการปรับตัวหาได้จากสมการ

$$\left(\frac{x_{fd,h}}{D_h} \right)_{lam} \approx 0.05 Re_D \quad (4.2)$$

4.2.2 ความเร็วเฉลี่ย (mean velocity)

ข้อแตกต่างของการไหลภายในและการไหลภายนอกก็คือ เราไม่สามารถใช้ความเร็วของกระแสวิสรร u_∞ ของของไหลได้ เนื่องจากความเร็วภายในท่อจะแปรเปลี่ยนทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังนั้นจึงใช้ความเร็วเฉลี่ย u_m (mean velocity) แทน โดยนิยามว่าความเร็วเฉลี่ยนี้คือ ความเร็วที่เมื่อคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อและความหนาแน่นของของไหลแล้วจะเท่ากับอัตราการไหลของมวลซึ่งได้

$$\dot{m} = \rho u_m A_c \quad (4.3)$$

ถ้าเป็นการไหลสภาวะคงที่ ที่อัดตัวไม่ได้แล้ว ภายในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ ค่า \dot{m} และ u_m ย่อมมีค่าคงที่ตลอดความยาวท่อ

สำหรับท่อกลม ($A_c = \pi D^2 / 4$) ค่าของเลขเรย์โนลด์ลดลงเป็น

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad (4.4)$$

เพราะว่า ค่า \dot{m} อาจหาได้จากการอินทิเกรตของฟลักซ์มวล (ρu) ทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c \quad (4.5)$$

ดังนั้นสำหรับท่อกลม กรณีของไหลอัดตัวไม่ได้ แล้วจะได้

$$u_m = \frac{\int_{A_c} \rho u(r, x) dA_c}{\rho A_c} = \frac{2\pi\rho}{\rho\pi r_o^2} \int_0^{r_o} u(r, x) r dr = \frac{2}{r_o^2} \int_0^{r_o} u(r, x) r dr \quad (4.6)$$

ซึ่งจะหาค่า u_m ได้ทันที เมื่อรูปร่างของความเร็ว (velocity profile), $u(r)$ ที่ตำแหน่งนั้น

4.2.3 รูปร่างของความเร็วของของไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว

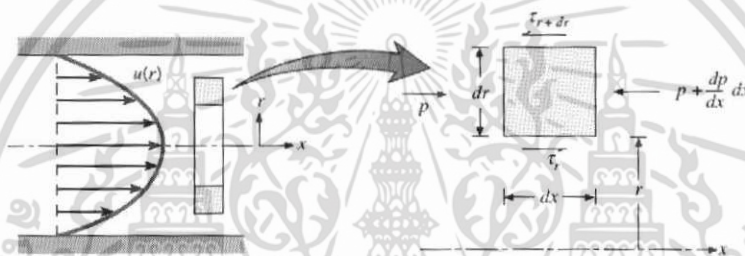
รูปทรงของความเร็วสามารถหาได้ สำหรับการไหลแบบราบเรียบของของไหลที่คุณสมบัติคงที่อัดตัวไม่ได้ ในช่วงที่ปรับตัวเต็มที่แล้วของท่อกลม (สำหรับปั่นป่วน ส่วนใหญ่ต้องอาศัยผลจากการทดลองเป็นหลัก) โดยทั่วไปจะเป็นฟังก์ชันของรัศมี

สิ่งสำคัญสำหรับเงื่อนไขข้างต้นก็คือ ค่าความเร็วในแนวรัศมีและการเปลี่ยนแปลงของความเร็วตามแนวแกนทุกๆแห่งมีค่าเป็นศูนย์

$$v = 0 \text{ และ } \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) = 0$$

ดังนั้น ความเร็วตามแนวแกนจะมีค่าขึ้นอยู่กับ r เท่านั้น $[u(x, r) = u(r)]$

ความเร็วตามแนวแกนหาได้ จากการแก้สมการที่เหมาะสมของสมการโมเมนตัม ตามแนว x หรืออาจจะหาโดยคิดสมดุลของการอนุรักษ์โมเมนตัมก็ได้ตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สมดุลแรงบนอิลิเมนต์ dx สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่ในท่อกลม

สำหรับอิลิเมนต์ที่พิจารณาในรูปของรูปที่ 4.2 สามารถเขียนสมดุลของแรงได้ดังนี้

$$\tau_r (2\pi r dx) - \left\{ \tau_r (2\pi r dx) + \frac{d}{dr} [\tau_r (2\pi r dx)] dr \right\} + p(2\pi r dr) - \left\{ p(2\pi r dr) + \frac{d}{dx} [p(2\pi r dr)] dx \right\} = 0$$

ซึ่งลดรูปเป็น $-\frac{d}{dr} (r \tau_r) = r \frac{dp}{dx}$ (4.7)

จากกฎความหนืดของนิวตัน เราทราบว่า $\tau_r = \mu \frac{du}{dr}$

ดังนั้น (4.7) จะเป็น $\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dp}{dx}$ (4.8)

เพราะว่า $\frac{dp}{dx}$ นั้นไม่ขึ้นกับ r ดังนั้น เราสามารถอินทิเกรต (4.8) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r \frac{du}{dr} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \frac{r^2}{2} + C_1$$

และ
$$u(r) = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) \frac{r^2}{4} + C_1 \ln r + C_2$$

จากเงื่อนไขที่ขอบได้ว่า $u(r_0) = 0$ และ $\partial u / \partial r|_{r=0} = 0$ จะได้

$$u(r) = -\frac{1}{4\mu} \left(\frac{dp}{dx} \right) r_0^2 \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (4.9)$$

ดังนั้น รูปทรงของความเร็วสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้วจะเป็น “พาราโบลาและจะสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงความดัน $\left(\frac{dp}{dx} \right)$ ต้องเป็นลบเสมอ ผลลัพธ์ที่กล่าวมานี้อาจใช้หาความเร็วเฉลี่ยได้ (u_m) โดยแทนสมการ (4.9) ใน (4.6) แล้วทำการอินทิเกรตจะได้

$$u_m = -\frac{r_0^2}{8\mu} \frac{dp}{dx} \quad (4.10)$$

แทนสมการ (4.10) ใน (4.9) จะได้รูปร่างของความเร็วเป็น

$$\frac{u(r)}{u_m} = 2 \left[1 - \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \right] \quad (4.11)$$

เพราะว่า u_m สามารถหาได้จากการรู้อัตราการไหลของมวล ดังนั้นสมการ (4.10) สามารถหาความดันของความดันได้ $\left(\frac{dp}{dx} \right)$

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันและตัวประกอบเสียดทานในการไหลแบบปรับตัวเต็มที่แล้ว

วิศวกรส่วนใหญ่ให้ความสนใจเกี่ยวกับความดันตกคร่อมในการไหลของของไหลภายในท่อ เนื่องจากตัวพารามิเตอร์นี้เกี่ยวข้องกับการหาขนาดกำลังงานของปั๊มหรือพัดลมโดยตรง ในการหาความดันตกคร่อม เราจะใช้ ตัวประกอบเสียดทานของ Moody (หรือ Darcy) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ไร้มิติ โดยนิยามว่า

$$f \equiv \frac{-(dp/dx)D}{\rho u_m^2 / 2} \quad (4.12)$$

ค่านี้ต่างกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน C_f ซึ่งบางครั้งเรียกว่า “ตัวประกอบเสียดทานเฟอริง” ซึ่งนิยามว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_f \equiv \frac{\tau_s}{\rho u_m^2 / 2} \quad (4.13)$$

เพราะว่าแรงเฉือนบนผิวของของไหลเท่ากับ(ทิศทางตรงกันข้าม) แรงบนผิวของของไหล ดังนั้นความเค้นเฉือนบนผิวกำหนดเป็น $\tau_s = -\mu(du/dr)_{r=r_0}$ จากสมการ (4.9) ได้

$$C_f = \frac{f}{4} \quad (4.14)$$

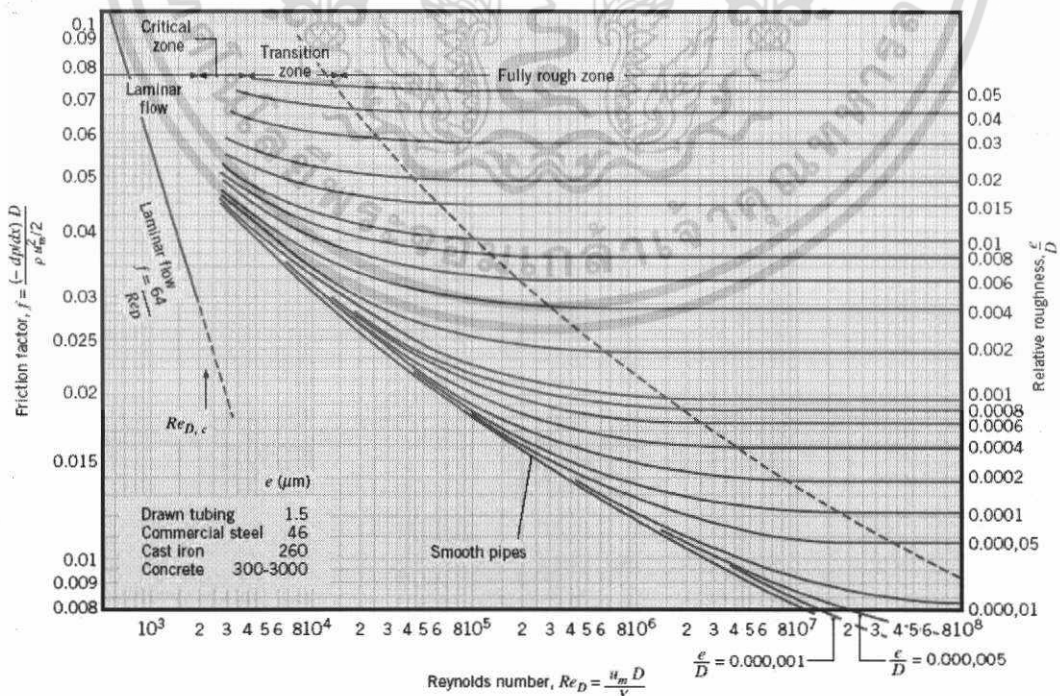
แทนสมการ (4.1) และ (4.10) ลงใน (4.12) สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ได้

$$f = \frac{64}{Re_D} \quad (4.15)$$

นอกจากนี้ เรารู้ว่า ความดันตกคร่อม (Δp) ระหว่างระยะ x_1 ถึง x_2 เป็น

$$\Delta p = -\int_{p_1}^{p_2} dp = f \frac{\rho u_m^2}{2D} \int_{x_1}^{x_2} dx = f \frac{\rho u_m^2}{2D} (x_2 - x_1) \quad (4.16)$$

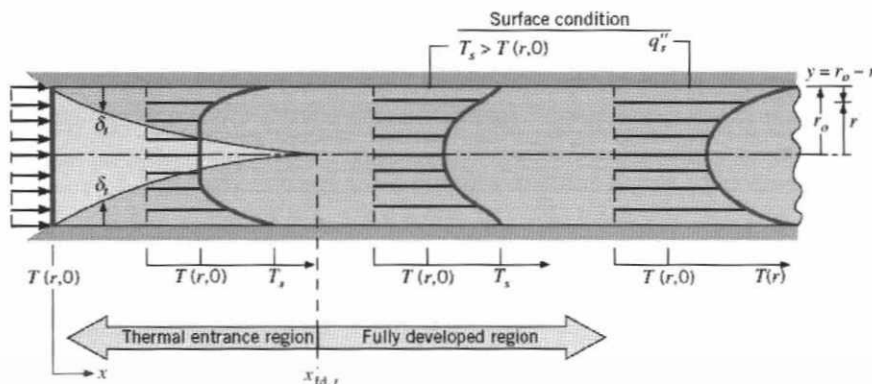
สำหรับการไหลแบบราบเรียบซึ่งค่า f หาได้จากรูปที่ 4.3 หรือจากสมการ (4.15)



รูปที่ 4.3 ตัวประกอบเสียดทานสำหรับการไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 4.4 การก่อตัวของบาวนด์คาร์ลีเยอร์ทางความร้อนในท่อกลม

เรามาศึกษาอิทธิพลของความร้อนข้างเข้าของไหลเข้าไปในท่อตามรูปที่ 4.4 ที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ $T(r,0)$ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากอุณหภูมิที่ผิวแล้ว การพาความร้อนจะเกิดขึ้นและบาวนด์คาร์ลีเยอร์ของความร้อนจะเริ่มก่อตัวขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสภาวะที่ผิวของท่อคงที่โดยอาจเป็นอุณหภูมิผิวสม่ำเสมอคงที่ ($T_s = \text{คงที่}$) หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิวสม่ำเสมอ ($q_s'' = \text{คงที่}$) สภาวะที่ปรับตัวคงที่แล้วของความร้อน (thermally fully developed condition) ก็จะเกิดขึ้น ในที่สุดรูปร่างของอุณหภูมิที่ปรับตัวเต็มที่แล้วจะแตกต่างกันตามเงื่อนไข ไม่ว่าจะกรณีอุณหภูมิผิวคงที่หรือฟลักซ์ความร้อนคงที่

สำหรับการไหลแบบราบเรียบระยะความยาวของทางเข้าสำหรับปรับตัว จะเป็น

$$\left(\frac{x_{fd,t}}{D}\right)_{lam} \approx 0.05 Re_D Pr \quad (4.17)$$

โดยการเปรียบเทียบบริเวณทางเข้า (entrance region) ของอุณหภูมิตามสมการ (4.17) กับสมการของความเร็ว (4.2) จะพบว่าต่างกันที่ค่า Pr เท่านั้น จึงพอสรุปได้ว่า ถ้า $Pr > 1$ แล้ว ไฮโดรไดนามิคบาวนด์คาร์ลีเยอร์ ขยายเร็วกว่า บาวนด์คาร์ลีเยอร์ของความร้อนมาก ($x_{fd} > x_{fd,t}$) และจะกลับกันถ้า $Pr < 1$ สำหรับค่า Pr สูงๆเช่น น้ำมัน ($Pr \geq 100$) x_{fd} จะน้อยกว่า $x_{fd,t}$ มากมายและอาจสมมุติได้ว่ารูปทรงของความเร็วที่ปรับตัวเต็มที่แล้วมีตลอดช่วงบริเวณทางเข้าของความร้อน ในทางกลับกันของไหลที่มีค่า Pr ต่ำมากๆเช่น โลหะเหลว ($Pr \leq 0.05$) รูปร่างอุณหภูมิอาจเป็นแบบอัดตัวเต็มที่แล้วได้เร็วมากในขณะที่รูปร่างของความเร็วยังอยู่ในช่วงกำลังก่อตัวอยู่ ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วนเงื่อนไขทั้งสองเกือบจะเป็นอิสระไม่ขึ้นกับ Pr และโดยการประมาณครั้งก่อนได้ว่า $x_{fd,t}/D = 10$

4.3.1 อุณหภูมิเฉลี่ย

ในเรื่องอุณหภูมินี้ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ย (T_m) ในลักษณะที่เหมือนกัน u_m โดยให้ความหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_m = \frac{\int_{A_c} \rho c_v T dA_c}{m c_v} \quad (4.18)$$

สำหรับท่อกลม และเป็นการไหลที่อัดตัวไม่ได้ จะได้ว่า

$$T_m = \frac{2}{u_m r_o^2} \int_0^{r_o} u T r dr \quad (4.19)$$

ค่าของ T_m จะเปลี่ยนแปลงตามแนว x ถ้ามีความร้อนเข้าหรือออกจากของไหล ซึ่งต่างจาก u_m ที่มีค่าคงที่สำหรับท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

ฟลักซ์ความร้อน (q_s'') ระหว่างของไหลกับผิวท่อที่จุดใดๆ หาได้จากกฎเย็นตัวของนิวตัน

$$q_s'' = h(T_s - T_m) \quad (4.20)$$

ซึ่ง h เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ตำแหน่งใดๆ อย่างไรก็ตามมีความแตกต่างกันระหว่าง T_m และ T_∞ เนื่องจาก T_∞ คงที่ในทิศทางของการไหล ส่วน T_m ต้องเปลี่ยนแปลงตามทิศทางนั้นคือ dT_m/dx จะไม่เป็นศูนย์ถ้ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น ค่าของ T_m เพิ่มตามระยะ x ถ้าการถ่ายเทความร้อนเป็นไปจากผิวสู่ของไหล ($T_s > T_m$) และ T_m จะลดลงกับระยะ x ถ้า $T_s < T_m$

4.3.2 สภาวะการปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed conditions)

เนื่องจากการพาความร้อนเกิดขึ้นจริงระหว่างผิวและของไหลคืออุณหภูมิของไหลต้องยังคงเปลี่ยนแปลงตามระยะ x สิ่งที่ยากรู้คือเกิดภาวะ thermal fully developed หรือยัง สถานการณ์นี้จะแตกต่างไปจากกรณีการไหลของของไหลที่ซึ่ง $(\partial u/\partial x) = 0$ ในช่วงบริเวณปรับตัวเต็มที่แล้ว ในทางกลับกันถ้ามีการพาความร้อนแล้ว (dT_m/dx) เช่นเดียวกับ $(\partial T/\partial x)$ ที่รัศมี r ใดๆจะไม่เป็นศูนย์ ผลที่สามารถรูปร่างของอุณหภูมิ $T(r)$ จะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x ซึ่งเปรียบเสมือนว่า สภาวะการปรับตัวเต็มที่แล้วของอุณหภูมิไม่เคยเกิดขึ้นเลย ปรากฏการณ์นี้จะต้องจัดใหม่ให้อยู่ในรูปไร้มิติของอุณหภูมิเพื่อให้ได้เงื่อนไข

จากสำหรับการนำแบบทรานเซียนท์และสมการอนุรักษ์พลังงาน ได้ความแตกต่างอุณหภูมิไร้มิติในรูป $(T_s - T)/(T_s - T_m)$ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีอยู่จริงซึ่งอัตราส่วนนี้จะป็นอิสระกับ x นั่นคือถึงแม้ว่า $T(r)$ ยังคงเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกับ x แต่รูปร่างสัมพัทธ์ของ profile นี้จะไม่เปลี่ยนแปลงเลย และการไหลแบบนี้เรียกว่า “การไหลปรับตัวเต็มที่แล้วทางความร้อน” (thermally fully developed) และจะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{T_s(x) - T(r, x)}{T_s(x) - T_m(x)} \right]_{fd,t} = 0 \quad (4.21)$$

โดยที่ T_s เป็นอุณหภูมิผิวท่อ T เป็นอุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใดๆ

T_m เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลทั่วพื้นที่หน้าตัดของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่กำหนดให้สำหรับสมการ (4.21) ซึ่งจะเกิดขึ้นในท่ออาจจะเป็นกรณี q_s'' คงที่หรือ T_s คงที่ก็ได้ เงื่อนไขที่ผิวแบบนี้เกิดขึ้นมากในทางวิศวกรรม เช่น ผนังท่อที่ซึ่งได้รับความร้อนจากไฟฟ้า หรือ ผิวภายนอกที่ได้รับจากการแผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอจะเป็นกรณีของ q_s'' คงที่ ส่วนกรณี T_s คงที่จะเกิดขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนสถานะ (เนื่องจากการเดือดหรือการควบแน่น) เกิดขึ้นที่ผิวภายนอก

สังเกตว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะเกิดเงื่อนไขทั้งสองอย่างนี้พร้อมกัน (เกิดกรณี T_s และ q_s'' คงที่พร้อมกัน) ถ้า q_s'' คงที่ T_s ต้องแปรเปลี่ยนกับระยะ x

รูปแบบที่สำคัญจำนวนมากของการไหลที่ปรับตัวแล้วทางความร้อน (thermally developed flow) มักอ้างถึงสมการ (4.21) เพราะว่าอัตราส่วนอุณหภูมินี้เป็นอิสระกับ x ค่าอนุพันธ์ของอัตราส่วนนี้เทียบกับ r ต้องไม่ขึ้นกับ x การหาค่าอนุพันธ์นี้ที่ผิวท่อ (สังเกตว่า T_s และ T_m คงที่) เราจะได้

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right) \Big|_{r=r_o} = \frac{-\partial T / \partial r \Big|_{r=r_o}}{T_s - T_m} \neq f(x)$$

แทน $\partial T / \partial r$ จากกฎของฟูเรียร์ ซึ่ง จากรูป 4.3 อยู่ในรูป

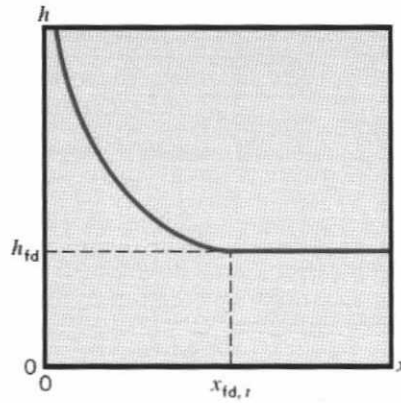
$$q_s'' = -k \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_o}$$

และสำหรับ q_s'' จากกฎการเย็นตัวของนิวตัน จะได้

$$\frac{h}{k} \neq f(x) \quad (4.22)$$

ดังนั้นการไหลแบบปรับตัวเต็มที่แล้วของอุณหภูมิของของไหล โดยมีคุณสมบัติต่างๆคงที่ ค่า h ที่ตำแหน่งใดๆจะคงที่ไม่ขึ้นกับระยะ x

สมการ(4.22) ใช้ไม่ได้กับช่วงระยะทางเข้า (entrance region) ที่ซึ่ง h แปรตาม x ตามที่แสดงในรูปที่ 4.5 เพราะว่า $\delta_t = 0$ ที่ทางเข้าของท่อ ดังนั้น h จะมีค่าสูงมากที่ $x = 0$ อย่างไรก็ตามค่า h จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดบาวนด์คาร์เลเยอร์ของอุณหภูมิขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ค่าคงที่ซึ่งก็คือเข้าสู่ช่วงปรับตัวเต็มที่แล้วนั่นเอง



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลง h ตามแนวแกน สำหรับการไหลภายในท่อ

กรณีพิเศษ สำหรับฟลักซ์ความร้อน (q_s'') คงที่ เพราะว่าทั้งค่า h และ q_s'' คงที่ ในช่วงปรับตัวเต็มที่แล้ว จากสมการ (4.20) ได้ว่า

$$\left. \frac{dT_s}{dx} \right|_{fd,t} = \left. \frac{dT_m}{dx} \right|_{fd,t} \quad q_s'' = \text{constant} \quad (4.23)$$

ถ้ากระจาย (4.21) และหาคำตอบสำหรับ $\partial T / \partial x$ จะได้

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{fd,t} = \left. \frac{dT_s}{dx} \right|_{fd,t} - \frac{(T_s - T)dT_s}{(T_s - T_m)dx} \Big|_{fd,t} + \frac{(T_s - T)dT_m}{(T_s - T_m)dx} \Big|_{fd,t} \quad (4.24)$$

แทนค่าจากสมการ (4.23) ได้

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{fd,t} = \left. \frac{dT_m}{dx} \right|_{fd,t} \quad q_s'' = \text{constant} \quad (4.25)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวแกนจะเป็นอิสระกับตำแหน่งในแนวรัศมี สำหรับกรณีของ T_s คงที่ ($dT_s / dx = 0$) จากสมการ (4.24) ได้ว่า

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{fd,t} = \frac{(T_s - T)dT_m}{(T_s - T_m)dx} \Big|_{fd,t} \quad T_s = \text{constant} \quad (4.26)$$

โดยที่ค่า $\partial T / \partial x$ จะขึ้นอยู่กับแนวรัศมี

จากที่กล่าวมาพอเชื่อถือได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นตัวแปรที่สำคัญมากสำหรับการไหลภายในท่อ เพื่อที่จะอธิบายการไหลนั้นๆ จำเป็นต้องรู้การแปรเปลี่ยนของมันเป็นกับค่า x ซึ่งการแปรเปลี่ยนหาได้โดยการประยุกต์การสมดุลพลังงานทั้งหมดกับการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

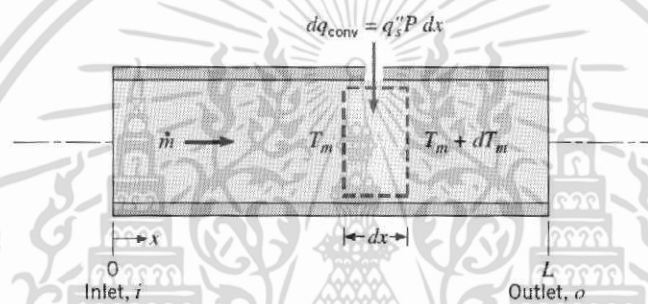
4.4 การสมดุลของพลังงาน (energy balance)

พิจารณาการไหลในท่อตามรูปที่ 4.6 ของไหลไหลด้วยอัตรามวลคงที่ \dot{m} และมีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวภายใน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของของไหลรวมทั้งการนำความร้อนในทิศทางแนวแกนจะไม่นำมาคิด ดังนั้นถ้าไม่มีงานเพลลาซึ่งกระทำโดยของไหลขณะไหลผ่านท่อแล้ว จะมีเพียงอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน และกับงานจากการไหลเท่านั้น

งานของการไหลเป็นงานที่ใช้เคลื่อนของไหลผ่านปริมาตรควบคุม คิดต่อหน่วยมวลของไหล และจะอยู่ในรูปของผลคูณของความดัน p และปริมาตรจำเพาะ v (ซึ่ง $v=1/\rho$)

โดยการประยุกต์การอนุรักษ์พลังงานต่อปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 4.6 และจากนิยามของ T_m จะได้

$$dq_{conv} + \dot{m}(c_v T_m + pv) - \left\{ \dot{m}(c_v T_m + pv) + \dot{m} \frac{d(c_v T_m + pv)}{dx} dx \right\} = 0$$



รูปที่ 4.6 ปริมาตรควบคุมสำหรับการไหลภายในท่อ

หรือ

$$dq_{conv} = \dot{m} d(c_v T_m + pv) \quad (4.27)$$

ถ้าของไหลเป็นแก๊สสมบูรณ์ ($pv = RT_m$, และ $c_p = c_v + R$) จะได้

$$dq_{conv} = \dot{m} dc_p T_m \quad (4.28)$$

สมการนี้ใช้ได้ดีสำหรับของเหลวที่อัดตัวไม่ได้เช่นกัน ในกรณีนี้ $c_p = c_v$ และเพราะว่า v น้อยมากๆ $d(pv)$ โดยทั่วไปจะน้อยกว่า $d(c_v T_m)$ มากจนตัดทิ้งได้

รูปพิเศษของสมการ (4.28) เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขสำหรับท่อทั้งหมด โดยการอินทิเกรตจากทางเข้าถึงทางออกของท่อ จะได้

$$dq_{conv} = \dot{m} c_p (T_{m,o} + T_{m,i}) \quad (4.29)$$

โดยที่ q_{conv} เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทั้งหมด

สมการ (4.28) อาจเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สะดวกได้โดยใช้สมการอัตราการพาความร้อนต่อปริมาตรควบคุมคือ $dq_{conv} = q_s'' P dx$ ซึ่ง P เป็นเส้นรอบรูป ($P = \pi D$) สำหรับท่อกลม โดยการแทนค่าจากสมการ (4.20) ได้ว่า

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q_s'' P}{\dot{m} c_p} = \frac{P}{\dot{m} c_p} h(T_s - T_m) \quad (4.30)$$

คำตอบของ (4.30) สำหรับค่า $T_m(x)$ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขความร้อนที่ผิว คืออาจจะเป็นกรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ หรืออุณหภูมิที่ผิวคงที่ก็ได้

4.4.1 กรณีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (constance surface heat flux)

กรณีนี้จะพบว่าจะหาหาค่า q_{conv} ทั้งหมด เพราะว่า q_s'' ไม่ขึ้นกับ x ดังนั้น

$$dq_{conv} = q_s'' (PL) \quad (4.31)$$

สมการนี้อาจจะใช้กับสมการ (4.29) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ($T_{m,o} + T_{m,i}$)

สำหรับ q_s'' คงที่ จากสมการ (4.30) จะได้

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{q_s'' P}{\dot{m} c_p} = f(x) \quad (4.32)$$

อินทิเกรตจาก $x = 0$ ถึง x ใดๆ ได้

$$T_m(x) = T_{m,i} + \frac{q_s'' P}{\dot{m} c_p} x \quad q_s'' = \text{Constant} \quad (4.33)$$

จาก (4.33) ได้ว่า T_m แปรเปลี่ยนเชิงเส้นกับระยะ x ตามท่อ

4.4.2 กรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่ (constant surface temperature)

ผลลัพธ์สำหรับค่า q_{conv} และการกระจายของ T_m แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงจากกรณีก่อน สำหรับกรณีนี้โดยนิยาม โดย ΔT เป็น $T_s - T_m$ สมการ (4.30) เขียนใหม่เป็น

$$\frac{dT_m}{dx} = -\frac{d(\Delta T)}{dx} = \frac{P}{\dot{m} c_p} h \Delta T$$

แยกตัวแปรและอินทิเกรตจากทางเข้าถึงทางออกของท่อได้

$$\int_{\Delta T_i}^{\Delta T_o} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\frac{P}{\dot{m} c_p} \int_0^L h dx$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{PL}{\dot{m}c_p} \left(\frac{1}{L} \int_0^L h dx \right)$$

จากนิยามของ \bar{h} จะได้

$$\ln \frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = -\frac{PL}{\dot{m}c_p} \bar{h}_L \quad (T_s = \text{constant}) \quad (4.34ก)$$

ซึ่ง \bar{h}_L หรือ \bar{h} เป็นค่าเฉลี่ยของ h สำหรับท่อทั่วทั้งหมด โดยจัดใหม่

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{T_s - T_{m,o}}{T_s - T_{m,i}} = \exp \left(-\frac{PL}{\dot{m}c_p} \bar{h}_L \right) \quad (T_s = \text{constant}) \quad (4.34ข)$$

ถ้าเราอินทิเกรตจากทางเข้าถึงตำแหน่ง x ใด จะได้

$$\frac{T_s - T_m(x)}{T_s - T_{m,i}} = \exp \left(-\frac{Px}{\dot{m}c_p} \bar{h} \right) \quad (4.35)$$

โดยที่ค่า \bar{h} ในสมการนี้เป็นค่าเฉลี่ยของ h จากทางเข้าของท่อถึง x สมการนี้ชี้ให้เห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_s - T_m$) ลดลงเป็นเอกซ์โพเนนเชียลกับระยะทางตามแนวแกนของท่อ การหาสมการสำหรับ q_{conv} ทั้งหมดนั้นยุ่งยากมาก กับธรรมชาติของเอกซ์โพเนนเชียล โดยใช้สมการ(4.29)

$$q_{conv} = \dot{m}c_p [(T_s - T_{m,i}) - (T_s - T_{m,o})] = \dot{m}c_p (T_i + T_o)$$

และแทนค่า $\dot{m}c_p$ จากสมการ (4.34ก) จะได้

$$q_{conv} = \bar{h} A_s \Delta T_{l,m} \quad (T_s = \text{constant}) \quad (4.36)$$

ซึ่งค่า A_s เป็นพื้นที่ผิวท่อทั้งหมด ($A_s = PL$) และ $\Delta T_{l,m}$ เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิทึม (LTDM)

$$\Delta T_{l,m} \equiv \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)} \quad (4.37)$$

สมการ (4.36) เป็นรูปหนึ่งของกฎการเย็นตัวของนิวตันสำหรับท่อทั้งหมดและ $\Delta T_{l,m}$ เป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างอุณหภูมิที่เหมาะสมทั่วทั้งความยาวท่อ ธรรมชาติลอการิทึมของความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยนี้เนื่องจากธรรมชาติของการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล [แตกต่างจากความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean temperature difference, AMTD) ซึ่งมีรูป
 $\Delta T_{am} = (\Delta T_i + \Delta T_o) / 2$

4.5 สหพันธ์การพาความร้อนสำหรับท่อที่ไม่กลม











ถึงแม้ว่าเรามีข้อจำกัดมากเกี่ยวกับการพิจารณาต่อการไหลภายในท่อกลม การประยุกต์ทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จำนวนมากเกี่ยวข้องกับการพาความร้อนในท่อที่ไม่กลม สมการที่กล่าวมาแล้วใช้ได้ดีพอประมาณกับท่อที่ไม่มีพื้นที่หน้าตัดกลม โดยการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางสิทธิผลเป็นความยาวเฉพาะ (characteristic length) ซึ่งเรียกว่า “เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก” (hydraulic diameter) และนิยามเป็น

$$D_h \equiv \frac{4A_c}{P} \quad (4.38)$$

ที่ซึ่ง A_c และ P เป็นพื้นที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของการไหลตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางนี้จะใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น Re_D และ Nu_D

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ สหพันธ์ที่ใช้ในท่อกลมเมื่อนำมาใช้กรณีนี้อาจให้ความแม่นยำน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพื้นที่หน้าตัดที่มีมุมคมหลายมุม สำหรับกรณีเช่นนั้น ค่า Nu_D สอดคล้องกับเงื่อนไขปรับตัวเต็มที่แล้วหาได้จากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Nu_D และ f สำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อพื้นที่หน้าตัดต่างๆ กัน Incropera et al. (1996)

Cross Section	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$		$f Re_{D_h}$
		(Uniform q_s'')	(Uniform T_s)	
	—	4.36	3.66	64
	1.0	3.61	2.98	57
	1.43	3.73	3.08	59
	2.0	4.12	3.39	62
	3.0	4.79	3.96	69
	4.0	5.33	4.44	73
	8.0	6.49	5.60	82
	∞	8.23	7.54	96
	∞	5.39	4.86	96
	—	3.11	2.49	53

Used with permission from W. M. Kays and M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สมรรถนะเชิงความร้อน (thermal performance)

Sripattanapipat and Promvonge (2009) นำเสนอสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{(Nu / Nu_o)}{(f / f_o)^{1/3}} \quad (4.39)$$

- เมื่อ η คือ สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
 Nu คือ เลขนัสเซิลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกัน
 Nu_o คือ เลขนัสเซิลของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ
 f คือ ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกัน
 f_o คือ ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ



บทที่ 5

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

5.1 บทนำ

การจำลองการถ่ายเทความร้อนและสภาวะการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นกั้นแบบต่างๆ นอกจากความเข้าใจทางทฤษฎีพื้นฐาน ยังต้องมีความเข้าใจทางด้านการคำนวณเชิงตัวเลขเนื่องจากเป็นเครื่องมือหลักสำหรับการหาผลเฉลย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ หัวข้อ 5.2 กล่าวถึงประวัติ และพัฒนาการโดยย่อของวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข หัวข้อ 5.3 ขั้นตอนการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งเป็นแนวทางสากลที่ใช้โดยทั่วไป หัวข้อ 5.4 อธิบายคุณสมบัติของวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ความผิดพลาดของสมการดิสครีต หัวข้อที่ 5.5 กล่าวถึงรูปแบบการจัดวางกริด และสอดคล้องความหมายของตัวแปร และสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทนี้ หัวข้อที่ 5.6 แบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลข เพื่อเข้าใจถึงแบบแผนวิธี (scheme) ที่ใช้ในแต่ละองค์ประกอบของการดิสครีต และในหัวข้อที่ 5.7 ถึง 5.10 แสดงวิธีการดิสครีตที่สมการควบคุมไว้เฉพาะบางแบบแผนวิธี ซึ่ง Versteeg (1995) มีรายละเอียดเพิ่มเติมไว้ครบถ้วน

5.2 ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

วิวัฒนาการของการคำนวณเชิงตัวเลข Anderson (1950) เกิดขึ้นพร้อมกับยุคที่ระบบคอมพิวเตอร์เริ่มมีการพัฒนา ช่วงเวลานั้นระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference methods, FDM) และระเบียบวิธีผลต่างมูลฐาน (finite element methods, FEM) เป็นวิธีพื้นฐานในการหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations, PDE) ซึ่งนิยมใช้มากในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (computational fluid dynamics, CFD) ต่อมาได้รวบรวมเอาองค์ความรู้ทางระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง และระเบียบวิธีผลต่างมูลฐานเข้าไว้ด้วยกัน (Chung (2002)) เรียกว่าระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume methods, FVM) ทำให้มีโครงสร้างที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น ขณะที่ยังมีความแม่นยำสูง จนเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

5.3 ขั้นตอนการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

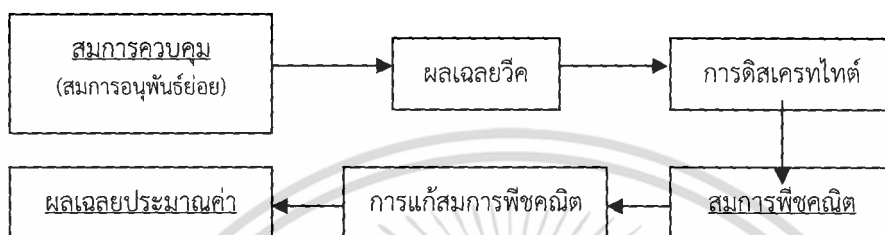
หากพิจารณาการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในมุมมองการโปรแกรม จะกล่าวได้ว่าเป็นโครงสร้างของอัลกอริทึมที่สามารถนำไปสู่การจำลองสภาวะการไหลได้ โปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในเชิงพาณิชย์ ส่วนมากมีระบบที่ให้ผู้ใช้งานสามารถบ่อนค่าต่างๆที่ต้องการแล้วจึงนำไปคำนวณ โดยแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้ (Versteeg (1995))

5.3.1 ขั้นก่อนประมวลผล

ขั้นก่อนประมวลผล (pre-processing) คือขั้นตอนเตรียมการ โดยระบุรายละเอียดของการกำหนดปัญหา และพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. กำหนดรูปทรง และระบุนขนาดของระบบที่สนใจ เรียกว่า การกำหนดสนามการคำนวณ (computation domain)

2. กำหนดจำนวน และรูปแบบการจัดวางกริด (grid or mesh) ซึ่งคือการแบ่งสนามการคำนวณออกเป็นปริมาตรเล็กๆ รูปแบบการจัดแบ่ง และจัดวางกริด ขึ้นอยู่กับปัญหาที่พิจารณาการวัดที่เหมาะสมทำให้การหาผลเฉลยประมาณค่า (approximation solution) แม่นยำขึ้น
3. เลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับธรรมชาติของปัญหา เลือกโดยใช้องค์ความรู้ทางทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
4. กำหนดคุณสมบัติของไหล เช่นพิจารณาของไหลเป็นอากาศที่อุณหภูมิปกติ เป็นต้น
5. กำหนดเงื่อนไขขอบ (boundary condition) และค่าเริ่มต้น (initial condition)



รูปที่ 5.1 ความเชื่อมโยงของกระบวนการดิสcretizeไทต์และผลเฉลยประมาณค่า

5.3.2 ชั้นประมวลผล

ชั้นประมวลผล (solving) เป็นชั้นที่ต้องใช้ระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งการคำนวณในงานวิจัยนี้ทั้งหมดใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม โดยมีส่วนตอนดังนี้ (จากรูปที่ 5.1)

5.3.2.1 ประมาณตัวแปรไม่ทราบค่าโดยหาค่าเฉลี่ยของฟังก์ชัน (มักใช้ในปัญหาแบบปั่นป่วน) สร้างเป็นสมการอนุพันธ์ย่อย โดยรวมกับสมการควบคุมการไหล

5.3.2.2 หาผลเฉลยวีค (weak solution) ของสมการควบคุม ด้วยวิธีน้ำหนักตกค้าง (weight residual) จากนั้นดิสcretizeไทต์ โดยประมาณแต่ละเทอมความสัมพันธ์ด้วยแบบแผนวิธีที่เลือกไว้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นสมการพีชคณิต

5.3.2.3 แก้สมการพีชคณิต ผลเฉลยที่ได้เรียกว่า ผลเฉลยประมาณค่า

5.3.3 ชั้นแสดงผล

ชั้นแสดงผล (post-processing) คือการแสดงผลเฉลยประมาณค่าของตัวแปรที่สนใจ และใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่น รูปแบบความเร็ว รูปแบบการหมุนวน เป็นต้น

5.4 คุณสมบัติของวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อจำลองพฤติกรรมตามธรรมชาติ ควรตระหนักว่าธรรมชาติก็มีพฤติกรรมซับซ้อน ดังนั้นสิ่งที่พึงระวังอย่างยิ่งคือ ความถูกต้องของผลเฉลย ผลการคำนวณที่ดีเลิศ เป็นเพียงค่าประมาณที่ดีที่สุดเท่าที่มนุษย์สามารถหาคำตอบได้เท่านั้น ไม่ใช่ผลเฉลยแม่นยำตรง

คุณสมบัติของวิธีการคำนวณ คือปัจจัยบ่งบอกความเที่ยงตรงของผลเฉลยประมาณค่า เมื่อเทียบกับพฤติกรรมจริงที่ควรเกิดขึ้น แบ่งได้หลายประการดังนี้ (Ferziger and Peric (2002))

5.4.1 ความเข้ากันได้

ความเข้ากันได้ (consistency) หมายถึงความเหมือน (equivalent) ระหว่างสมการควบคุม (สมการอนุพันธ์ย่อย) และสมการพีชคณิตที่ผ่านกระบวนการดิสcretไทต์ เมื่อระยะกริด (grid spacing) และ หรือค่าขั้นเวลา (time step) ลดลงใกล้ศูนย์ โดยปกติเรียกความแตกต่างหลังจากกระบวนการดิสcretไทต์ว่า ความผิดพลาดแบบทรานเคชัน (truncation error) ซึ่งลดลงเมื่อมีความเข้ากันได้มากขึ้น

5.4.2 เสถียรภาพการคำนวณ

เสถียรภาพการคำนวณ (stability) เป็นลักษณะการคำนวณที่มีค่าผิดพลาดน้อยลงเมื่อคำนวณซ้ำ (damping of error) เรียกความผิดพลาดที่เกิดจากการคำนวณซ้ำว่าความผิดพลาดแบบเร้าออฟ (round-off error) เช่นความผิดพลาดในการคำนวณทศนิยมตำแหน่งที่ 12 ของคอมพิวเตอร์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากวิธีการคำนวณไม่มีเสถียรภาพ ผลการคำนวณอาจมีลักษณะลู่ออก (divergence) โดยมักเกิดจากการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง หรือแบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลขไม่เหมาะสมกับปัญหาที่พิจารณา ซึ่งการตรวจสอบเสถียรภาพการคำนวณต้องใช้ความรู้ของทฤษฎีการรบกวน (perturbation theory) เป็นแนวทาง

5.4.3 การลู่เข้าของผลเฉลย

ผลการคำนวณที่มีการลู่เข้าของผลเฉลย (convergence) หมายถึงผลเฉลยประมาณค่ามีแนวโน้มเข้าใกล้ผลเฉลยแน่นอน สำหรับปัญหาไม่เชิงเส้น (nonlinear problem) ยากที่จะตรวจสอบการลู่เข้าของผลเฉลย เนื่องจากไม่สามารถหาผลเฉลยแน่นอนได้ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบทำได้ด้วยวิธีเปรียบเทียบผลการคำนวณที่มีระยะกริดลดลง กระทั่งผลเฉลยไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะกริด (grid independent) เรียกได้ว่ามีคุณสมบัติการลู่เข้าของผลเฉลยที่ดี

5.4.4 การอนุรักษ์

คุณสมบัติการอนุรักษ์ (conservation) เป็นคุณสมบัติที่มีอยู่ในกฎการอนุรักษ์ดั่งบทที่ 3 เนื่องจากผลการคำนวณมีที่มาจากสมการควบคุม ดังนั้นวิธีการคำนวณจึงควรมีคุณสมบัตินี้ด้วย โดยคุณสมบัติการอนุรักษ์เป็นจุดเด่นที่สำคัญของระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง กล่าวคือคำนึงถึงความสมดุลของการส่งถ่ายปริมาณข้ามขอบเขตที่พิจารณา เช่นรอบผิวปิดของปริมาตรเล็กๆที่แบ่งตามระยะกริด เป็นต้น

5.4.5 ความจำกัดขอบ

ความจำกัดขอบ (bounded ness) หมายถึงผลเฉลยควรมีค่าอยู่ในขอบเขตจำกัด เช่นความหนาแน่น ความเข้มข้น ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์เสมอ หรือระบบการถ่ายเทความร้อนที่ทราบอุณหภูมิต่ำสุด-สูงสุด ผลเฉลยที่ควรได้ต้องมีค่าอยู่ในช่วงนั้นด้วยเช่นกัน โดยวิธีการคำนวณที่มีอันดับสูง (higher order) มีแนวโน้มความจำกัดขอบต่ำลง ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกใช้วิธีการคำนวณที่มีอันดับสูงมากเกินไปจนความจำเป็น

5.4.6 ความเสมือนจริง

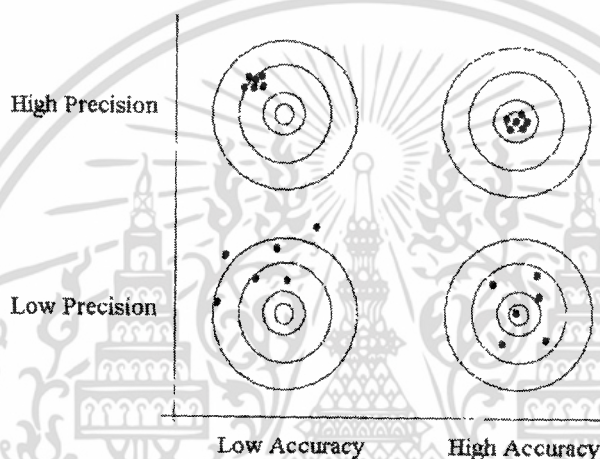
ความเสมือนจริง (realizability) หมายถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่จำลองพฤติกรรมธรรมชาติที่ซับซ้อน เช่นแบบจำลองการไหลปั่นป่วน แบบจำลองการเผาไหม้ เป็นต้น ควรเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองที่มีความเหมือนจริงเมื่อเทียบกับความหมายทางกายภาพ หากเลือกใช้ หรือนำมาใช้ไม่ สอดคล้องกับปัญหา ผลเฉลยที่ได้อาจไม่สื่อความหมายทางกายภาพที่ถูกต้อง

5.4.7 ความแน่นอน

บ่อยครั้งในงานทางวิศวกรรมกล่าวถึงความแน่นอน (accuracy) ซึ่งมักใช้สับสนกับความแม่นยำ (precision) พิจารณารูปที่ 5.2 (Chapra (1988)) แสดงความแตกต่างระหว่างแนวคิดทั้งสอง อย่างชัดเจน ตรงกลางเป้าเป็นเสมือนค่าแม่นยำ โดยเห็นได้ว่าความแม่นยำสูง หมายถึงค่าโดยเฉลี่ย ไม่ต่างจากค่าแม่นยำ และความแม่นยำสูง หมายถึงค่าส่วนใหญ่กระจายตัวน้อย ดังนั้นงานวิเคราะห์ ทางด้านวิศวกรรมจึงควรให้ความสำคัญของความแน่นอน มากกว่าความแม่นยำ ซึ่งช่วยในการ วิเคราะห์ที่ได้ถูกต้อง มีแนวโน้มเดียวกับสภาพความจริงมากขึ้น แต่ในงานออกแบบต้องการความ ผิดพลาดลดน้อยที่สุด จึงควรใช้ทั้ง 2 แนวคิดประกอบรวมกัน



รูปที่ 5.2 แนวคิดของความแน่นอนและความแม่นยำ

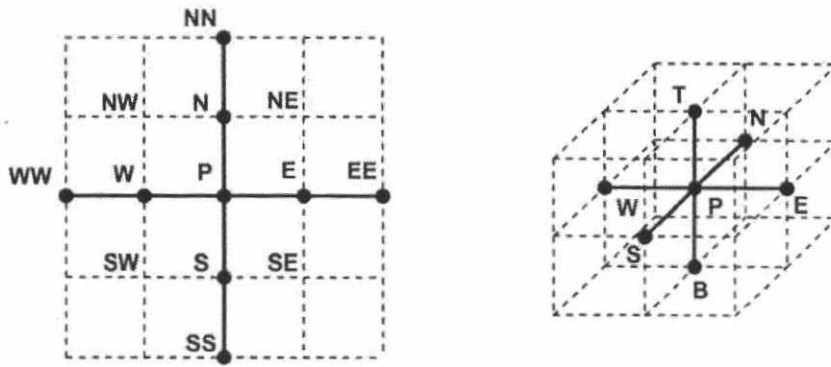
วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล แบ่งปัจจัยของความแน่นอนได้เป็น 3 ปัจจัยดังนี้

1. ความแน่นอนจากแบบจำลอง (modeling accuracy) เกิดจากความเหมือนจริงของแบบจำลอง เทียบกับพฤติกรรมจริงธรรมชาติ
2. ความแน่นอนจากการดิสครีไทต์ (discretization accuracy) เกิดจากความเข้ากันได้ของสมการพีชคณิต เทียบกับสมการควบคุม (สมการอนุพันธ์ย่อย)
3. ความแน่นอนจากการแก้สมการพีชคณิต (iteration accuracy) เกิดจากการลู่ออกของ ผลเฉลยประมาณค่า เทียบกับผลเฉลยแม่นยำของสมการพีชคณิต

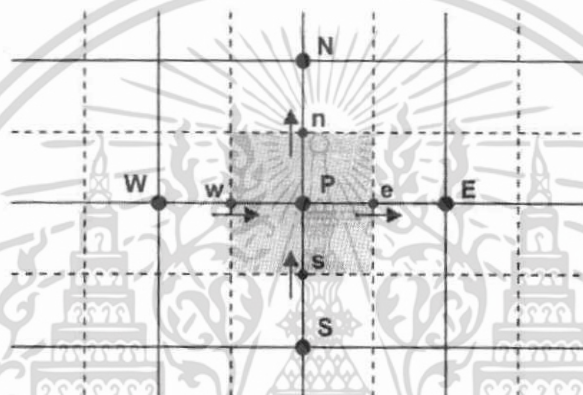
5.5 รูปแบบการจัดวางกริด

รูปแบบการจัดวางกริดโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ แบบโครงสร้างปกติ (structured grids) แบบกลุ่มโครงสร้าง (block structured grid) และแบบไม่เป็นโครงสร้าง (unstructured grids) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจกระบวนการดิสครีไทต์ในหัวข้อถัดไป จึงได้ใช้รูปแบบการจัดวางกริดดังรูปที่ 5.3 (แบบโครงสร้างปกติ) และเพื่อความกระชับได้ดิสครีไทต์กริด 2 มิติเท่านั้น ซึ่งสามารถขยายไปสู่กริดแบบ 3 มิติได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปแบบการจัดวางกริดในแกน 2 มิติ และ 3 มิติ



รูปที่ 5.4 ส่วนแรงแสดงตำแหน่งของปริมาตรควบคุมแบบ 2 มิติ

จากรูปที่ 5.4 ตำแหน่ง P คือตำแหน่งโนด (node) ที่สนใจ ตัวอักษรพิมพ์เล็ก เช่น w , e แสดงถึงตำแหน่งของปริมาณที่เข้า-ออกจากปริมาตรควบคุมที่แรง (cell volume) เช่น ความเร็ว เป็นต้น เรียกว่า ตำแหน่งผิวเซลล์ (cell face) ลูกศรที่ปรากฏแสดงทิศเป็นบวกของปริมาณเวกเตอร์ที่ตำแหน่งผิวเซลล์ รูปแบบลักษณะนี้ เรียกว่า การจัดเรียงแบบตำแหน่งร่วม (co-located arrangement) กล่าวคือ ปริมาณสเกลาร์ และเวกเตอร์มีตำแหน่งเดียวกัน (มวล ความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ) โดยการจัดวางกริดในแบบอื่นจะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 5.10 เนื่องจากปัญหาการดิสเครทไทซ์เทอมอัตราเปลี่ยนความดันของสมการนาเวียร์-สโตกส์

5.6 แบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลข

ปัจจุบันมีนักวิจัยที่คิดค้นแบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลข (numerical scheme) มากมายซึ่งขอลกล่าวถึงเฉพาะแบบแผนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 แบบคือ

5.6.1 แบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลาง

แบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลาง (central differencing scheme, CDS) คือการประมาณค่าที่ตำแหน่งผิวเซลล์ต่างๆ ด้วยหลักการหาค่าเฉลี่ยกึ่งกลาง เป็นไปตามสมการ (5.1) เมื่อ ϕ แทนปริมาณที่สนใจใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
\phi_e &= (\phi_P + \phi_E)/2 \\
\phi_w &= (\phi_W + \phi_P)/2 \\
\phi_n &= (\phi_P + \phi_N)/2 \\
\phi_s &= (\phi_S + \phi_P)/2
\end{aligned} \tag{5.1}$$

จากสมการ (5.1) เห็นได้ว่าการประมาณค่าที่ผิวเซลล์ด้วยค่าที่ตำแหน่งโนด โดยถ่วงน้ำหนัก โนดประชิด (adjacent node) เท่ากัน แบบแผนวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับระยะกริดเป็นสำคัญ ซึ่งระยะกริดที่ลดลง ทำให้ผลเฉลยมีความแน่นอนสูงขึ้น

5.6.2 แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง

การประมาณค่าที่ผิวเซลล์ (รูปที่ 5.4) ของแบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง (1st-order upwind differencing scheme, UDS-1, FOU) ให้ปริมาณที่ตำแหน่งท้ายลมมีค่าเท่ากับปริมาณที่ตำแหน่งต้นลม ดังสมการ (5.2) เมื่อ ϕ แทนปริมาณที่สนใจ และ u แทนความเร็วที่ตำแหน่งผิวเซลล์นั้น เช่น u_e แทนความเร็วที่ตำแหน่งผิวเซลล์ e เป็นต้น

$$\begin{aligned}
\phi_e &= \alpha_e \phi_P + (1 - \alpha_e) \phi_E && \text{เมื่อ } u_e > 0 \Rightarrow \alpha_e = 1 \text{ และ } u_e < 0 \Rightarrow \alpha_e = 0 \\
\phi_w &= \alpha_w \phi_W + (1 - \alpha_w) \phi_P && \text{เมื่อ } u_w > 0 \Rightarrow \alpha_w = 1 \text{ และ } u_w < 0 \Rightarrow \alpha_w = 0 \\
\phi_n &= \alpha_n \phi_P + (1 - \alpha_n) \phi_N && \text{เมื่อ } u_n > 0 \Rightarrow \alpha_n = 1 \text{ และ } u_n < 0 \Rightarrow \alpha_n = 0 \\
\phi_s &= \alpha_s \phi_S + (1 - \alpha_s) \phi_P && \text{เมื่อ } u_s > 0 \Rightarrow \alpha_s = 1 \text{ และ } u_s < 0 \Rightarrow \alpha_s = 0
\end{aligned} \tag{5.2}$$

แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่งมีคุณสมบัติจำกัดขอบสูง ทำให้ผลเฉลยไม่กระเพื่อม (oscillatory solution) เป็นข้อดีทั้งในแง่เสถียรภาพการคำนวณ และการลู่เข้าของผลเฉลย แต่ในขณะเดียวกัน ทำให้เกิดพฤติกรรมการแพร่เชิงตัวเลข (numerical diffusive) เนื่องจากลักษณะผลเฉลยเสมือนถูกถ่วงน้ำหนักจากค่าที่ตำแหน่งต้นลมเป็นหลัก สำหรับกรณีที่มีการไหลซับซ้อน แบบแผนวิธีนี้จะทำให้คุณสมบัติความเข้ากันได้ลดลง

5.6.3 แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง

แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับสอง (2nd-order upwind differencing scheme, UDS-2, SOU) ได้พัฒนาให้มีความแน่นอนสูงขึ้น พิจารณาที่ตำแหน่งโนด P เมื่อใช้อนุกรมขยายของเทเลอร์ (Taylor series expansion) ตามหลักการผลต่างต้นลม เขียนความสัมพันธ์ที่ผิวเซลล์ e ได้ว่า

$$\phi_e = \phi_P + \delta_{eP} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_P + \frac{\delta_{eP}^2}{2} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_P + H.O.T. \quad \text{เมื่อ } u_e > 0 \tag{5.3}$$

สมการ (5.3) เป็นตัวอย่างแบบแผนวิธีในกรณี 1 มิติ พิจารณาเฉพาะที่ผิวเซลล์ e เมื่อ δ_{eP} แทนระยะห่างระหว่างผิวเซลล์ e และโนดต้นลม P (เนื่องจาก $u_e > 0$) สำหรับกรณีแบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่งจะใช้เฉพาะเทอมแรกทางขวาของสมการ และแบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับสองนี้จะใช้สองเทอมแรกทางขวาของสมการ

เทอม $\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)_P$ คือ ความชันของเซลล์ต้นลม ซึ่งประมาณโดยการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาตรของเซลล์นั้น ดังสมการ (5.4) จากนั้นใช้ทฤษฎีของเกาส์ (Gauss theorem) จะเขียนได้ในสมการ (5.5) ดังนี้

$$\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)_P = \frac{1}{V} \int \left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right) dV \quad (5.4)$$

$$\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)_P = \frac{1}{V} \oint \phi \cdot \vec{n} dA \quad (5.5)$$

เมื่อ V แทนขนาดปริมาตรของเซลล์ A แทนพื้นที่ผิวเซลล์ และ \vec{n} แทนเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวเซลล์ สมการ (5.5) ทำการดิสครีไทซ์ด้วยระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมใน 2 มิติ (กรณีที่มีการจัดวางกริดตามรูปที่ 5.4) จะลดรูปได้เป็น

$$\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)_P = \frac{1}{A_P} (\phi_e L_e + \phi_w L_w + \phi_n L_n + \phi_s L_s) \quad (5.6)$$

จากสมการ (5.6) เมื่อ L แทนระยะความกว้างของผิวเซลล์ในแต่ละด้านตามตัวห้อย เช่น L_e แทนระยะความกว้างของผิวเซลล์ e เป็นต้น และ A_P แทนพื้นที่เซลล์ที่ตำแหน่งโนด P อยู่ เช่น A_P มีค่าเท่ากับพื้นที่แรเงาในรูปที่ 5.4 เป็นต้น ซึ่งค่า ϕ ที่ผิวเซลล์ต่างๆของสมการ (5.6) หาได้หลายวิธี แต่ในที่นี้เลือกใช้แบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลางดังสมการ (5.1) ดังนั้นสมการ (5.3) จึงเขียนใหม่ได้ว่า

$$\phi_e = \phi_P + \frac{\delta_{eP}}{A_P} \left(\begin{aligned} &\left(\frac{\phi_P + \phi_E}{2}\right) \cdot L_e + \left(\frac{\phi_W + \phi_P}{2}\right) \cdot L_w \\ &+ \left(\frac{\phi_P + \phi_N}{2}\right) \cdot L_n + \left(\frac{\phi_S + \phi_P}{2}\right) \cdot L_s \end{aligned} \right) \text{ เมื่อ } u_e > 0 \quad (5.7)$$

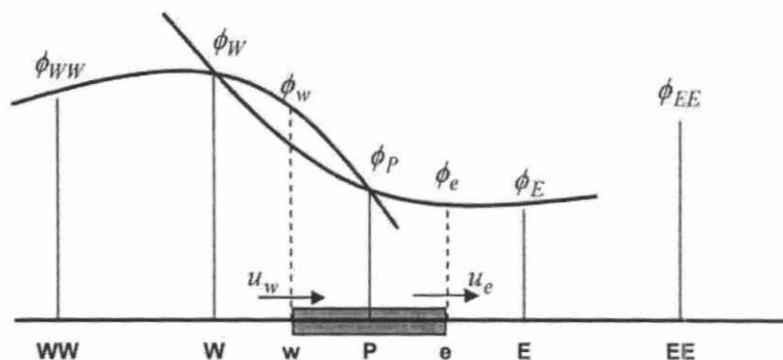
ในทำนองเดียวกันเมื่อ $u_e < 0$ จะเขียนได้ดังสมการ (5.8) และสมการของ ϕ_w, ϕ_n, ϕ_s สามารถหาได้ด้วยหลักการเดียวกัน ซึ่งไม่ขอกล่าวถึงในรายละเอียด

$$\phi_e = \phi_E + \frac{\delta_{eE}}{A_E} \left(\begin{aligned} &\left(\frac{\phi_E + \phi_{EE}}{2}\right) \cdot L_{ee} + \left(\frac{\phi_E + \phi_P}{2}\right) \cdot L_e \\ &+ \left(\frac{\phi_{NE} + \phi_E}{2}\right) \cdot L_{ne} + \left(\frac{\phi_E + \phi_{SE}}{2}\right) \cdot L_{se} \end{aligned} \right) \text{ เมื่อ } u_e < 0 \quad (5.8)$$

5.6.4 แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก

แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) เริ่มนำเสนอโดย Leonard (1988) เป็นแบบแผนวิธีที่ใช้โนด 3 ตำแหน่งในการประมาณค่าของแต่ละผิวเซลล์ (2 โหนดที่ต้นลม และ 1 โหนดที่ท้ายลม) ดังแสดงในรูปที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 รูปแบบแนวคิดของแบบแผนวิธีผลต่างควอดราติกในปริมาตรควบคุมแบบ 1 มิติ

ตามรูปที่ 5.5 เมื่อ $u_w > 0$ และ $u_e > 0$ การประมาณค่า ϕ_w ที่ผิวเซลล์ w จะใช้ค่าที่โนดต้นลมคือ WW และ W ประกอบกับที่โนดท้ายลมคือ P ในทำนองเดียวกันการประมาณค่า ϕ_e ที่ผิวเซลล์ e จะใช้ค่าที่โนดต้นลมคือ W และ P ประกอบกับที่โนดท้ายลมคือ E ตามลำดับ

ด้วยหลักการความคล้ายคลึง กรณีที่ $u_w < 0$ และ $u_e < 0$ การประมาณค่า ϕ_w ใช้โนด E และ P ประกอบกับโนด W และการประมาณค่า ϕ_e ใช้โนด EE , E และ P ตามลำดับ ซึ่งความสัมพันธ์ต่าง ๆ สามารถเขียนได้ในสมการ (5.9) ถึง (5.12) โดย $u_x > 0$ แล้ว $\alpha_x = 1$ และ $u_x < 0$ แล้ว $\alpha_x = 0$ เมื่อ $x = w, e, s, n$ ตามลำดับ

$$\phi_w = \frac{3}{8}[(1 + \alpha_w) \cdot \phi_W + (2 - \alpha_w) \cdot \phi_P] - \frac{1}{8}[(1 - \alpha_w) \cdot \phi_E + \alpha_w \cdot \phi_{WW}] \quad (5.9)$$

$$\phi_e = \frac{3}{8}[(1 + \alpha_e) \cdot \phi_P + (2 - \alpha_e) \cdot \phi_E] - \frac{1}{8}[(1 - \alpha_e) \cdot \phi_{EE} + \alpha_e \cdot \phi_W] \quad (5.10)$$

$$\phi_s = \frac{3}{8}[(1 + \alpha_s) \cdot \phi_S + (2 - \alpha_s) \cdot \phi_P] - \frac{1}{8}[(1 - \alpha_s) \cdot \phi_N + \alpha_s \cdot \phi_{SS}] \quad (5.11)$$

$$\phi_n = \frac{3}{8}[(1 + \alpha_n) \cdot \phi_P + (2 - \alpha_n) \cdot \phi_N] - \frac{1}{8}[(1 - \alpha_n) \cdot \phi_{NN} + \alpha_n \cdot \phi_S] \quad (5.12)$$

แบบแผนวิธีผลต่างควอดราติกมีความแน่นอนอันดับสาม ซึ่งสูงกว่าทั้งแบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่งและสอง เป็นเทคนิคการผสมผสานความได้เปรียบของแบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลางและแบบแผนวิธีผลต่างต้นลมเข้าด้วยกัน กล่าวคือมีคุณสมบัติอนุรักษ์ และความเข้ากันได้มากกว่าแบบแผนวิธีผลต่างต้นลม อย่างไรก็ตามแบบแผนวิธีอันดับสูง จะมีเงื่อนไขเสถียรภาพการคำนวณ (conditionally stable) เพิ่มขึ้น และคุณสมบัติจำกัดขอบลดลง

สำหรับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบแบบแผนการคำนวณเชิงตัวเลขระหว่างผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง, ผลต่างต้นลมอันดับสองและผลต่างควอดราติก ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.05% ดังนั้นจึงเลือกวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การดิสเครทไทต์สมการควบคุม

การคำนวณด้วยวิธีปริมาตรสี่บเนื้อง ต้องหาผลเฉลยวิคของสมการควบคุมด้วยวิธีน้ำหนักตกค้าง โดยการเลือกใช้ 1 (unit) เป็นฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (weight function) ผลที่ได้เป็นสมการอินทิกรัล (integral equation) บนขอบเขตปริมาตรควบคุมเล็กๆ จากทฤษฎีของเกาส์ทำให้สามารถพิจารณาปริมาณที่ส่งถ่ายเข้า-ออกเฉพาะที่ขอบเขต เป็นตัวแทนทั้งปริมาตรได้ รวมเรียกว่าการดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์ย่อย โดยหัวข้อ 5.8 ถึง 5.10 จะกล่าวรายละเอียดวิธีดิสเครทไทต์ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ต่อเนื่องกัน การดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์มวลเป็นเนื้อหาที่ง่ายต่อความเข้าใจ เนื่องจากรูปแบบสมการไม่ซับซ้อน การดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์พลังงานจะซับซ้อนขึ้น โดยกล่าวถึงแบบแผนวิธีที่ใช้กับสมการที่ขึ้นกับเวลา และประยุกต์ใช้แบบแผนวิธีในหัวข้อ 5.6 เพื่อดิสเครทไทต์เทอมต่างๆของสมการอนุพันธ์พลังงาน สำหรับการดิสเครทไทต์สมการนาเวียร์-สโตกส์จะแสดงการประมาณค่าความดัน ซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก และซับซ้อน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงแสดงหัวข้อการดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์พลังงานก่อนหน้าการดิสเครทไทต์สมการนาเวียร์-สโตกส์

5.8 การดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์มวล

จากสมการอนุพันธ์มวลแบบไร้อัตตวิ จะได้ผลเฉลยวิคดังสมการ (5.13) และใช้ทฤษฎีของเกาส์ จะได้สมการ (5.14)

$$\int \frac{\partial u_i}{\partial x_i} dV = 0 \quad (5.13)$$

$$\oint u_i n_i dA = 0 \quad (5.14)$$

เมื่อ A แทนพื้นที่ผิวเซลล์ และ n แทนเวกเตอร์ตั้งฉากกับผิวเซลล์ จากสมการ (5.5) ให้ทำการดิสเครทไทต์ด้วยระเบียบวิธีปริมาตรสี่บเนื้องใน 2 มิติ (กรณีจัดวางกริดตามรูปที่ 5.4) จะได้สมการ (5.15) ซึ่งเรียกว่า สมการอนุพันธ์มวลแบบดิสเครทไทต์ เมื่อ L แทนระยะความกว้างของผิวเซลล์ในแต่ละด้านตามตัวห้อย เช่น L_e แทนระยะความกว้างของผิวเซลล์ e เป็นต้น

$$(uL)_e - (uL)_w + (uL)_n - (uL)_s = 0 \quad (5.15)$$

5.9 การดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์พลังงาน

จากแนวทางการดิสเครทไทต์สมการควบคุมทำให้การดิสเครทไทต์สมการอนุพันธ์พลังงานโดยไม่พิจารณาเทอมฟังก์ชันการสลายตัวสามารถเขียนได้ว่า

$$\underbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dV \right) dt}_{\text{เทอมไม่คงตัว}} + \underbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} dV \right) dt}_{\text{เทอมการพา}} = \underbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_i} dV \right) dt}_{\text{เทอมการแพร่}} \quad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสมการอนุรักษ์พลังงานมีตัวแปรขึ้นกับตำแหน่ง และเวลา ดังนั้นสมการ (5.16) จึงอินทิเกรตในช่วงเวลาสั้นๆ (Δt) และปริมาตรเล็กๆ (dV) โดยแบ่งพิจารณาเป็น 3 เทอมตามความหมายทางกายภาพคือ เทอมไม่คงตัว (unsteady term) เทอมการพา (convection term) และเทอมการแพร่ (diffusion term) ดังต่อไปนี้

5.9.1 การดิสcretไทต์เทอมไม่คงตัว

แนวทางการดิสcretไทต์จะใช้ทฤษฎีของเกาส์ เพื่อพิจารณาปริมาณ (กรณีนี้คืออุณหภูมิ) ที่ส่งถ่ายเข้า-ออกจากขอบเขตของปริมาตรควบคุมเล็กๆ ดังนี้

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dV \right) dt = \int \left(\int_t^{t+\Delta t} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dt \right) dV \quad (5.17)$$

การประมาณค่าผลต่างเวลา แบ่งได้เป็น 3 แบบแผนวิธีหลักๆคือ แบบแผนวิธีเอกซ์พลีซิท (explicit scheme) แบบแผนวิธีอิมพลีซิท (implicit scheme) และแบบแผนวิธีแครง-นิโคลสัน (Crank-Nicolson scheme) งานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะแบบแผนวิธีอิมพลีซิท แบ่งได้หลายอันดับโดยสมการ (5.18) แสดงแบบแผนวิธีอิมพลีซิทอันดับหนึ่ง (1^{st} -order implicit scheme) และสมการ (5.19) แสดงแบบแผนวิธีอิมพลีซิทอันดับสอง (2^{nd} -order implicit scheme)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\phi^{n+1} - \phi^n}{\Delta t} \quad (5.18)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{3\phi^{n+1} - 4\phi^n + \phi^{n-1}}{2\Delta t} \quad (5.19)$$

เมื่อ n แทนเวลาชั่วขณะที่พิจารณา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงเฉพาะการดิสcretไทต์ด้วยแบบแผนวิธีอิมพลีซิทอันดับหนึ่ง โดยนำสมการ (5.18) แทนในสมการ (5.17) (กรณี 2 มิติ และจัดวางกริดตามรูปที่ 5.4) พิจารณาใน 2 มิติ ปริมาตรเซลล์เปลี่ยนเป็นพื้นที่เซลล์ จะได้ว่า

$$\int \left(\int_t^{t+\Delta t} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dt \right) dV = \rho c_p \cdot \left(\frac{T - T^0}{\Delta t} \cdot \Delta t \right) \cdot A_p$$

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dV \right) dt = \rho c_p \cdot (T - T^0) \cdot A_p \quad (5.20)$$

จากสมการ (5.20) ตัวยก '0' แทนอุณหภูมิที่เวลา t สำหรับอุณหภูมิที่เวลา $t + \Delta t$ ไม่มีตัวยก และ A_p แทนพื้นที่เซลล์ที่ตำแหน่งโนด P (โนดที่สนใจ) เช่น A_p คือพื้นที่ส่วนที่แรเงาในรูปที่ 5.4 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9.2 การดิสเครทไทต์เทอมการพา

การดิสเครทไทต์ด้วยทฤษฎีของเกาส์ (พิจารณาใน 2 มิติ และจัดวางกริดตามรูปที่ 5.4) สามารถเขียนได้ดังนี้ เมื่อ $F_x = \rho c_p u_x L_x$ คือสัมประสิทธิ์การพาที่ผนังเซลล์ต่างๆ โดยที่ $x = e, w, n, s$ ตามลำดับ

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} dV \right) dt = \int_t^{t+\Delta t} \left(\oint \rho c_p u_i T dA \right) dt$$

$$= \rho c_p \cdot ((uTL)_e - (uTL)_w + (uTL)_n - (uTL)_s) \cdot \Delta t$$

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} dV \right) dt = (F_e T_e - F_w T_w + F_n T_n - F_s T_s) \cdot \Delta t \quad (5.21)$$

ค่าอุณหภูมิที่ผิวเซลล์ เช่น T_e คืออุณหภูมิที่ผิวเซลล์ e (ของปริมาตรที่โหนด P) เป็นต้น คือตัวแปรไม่ทราบค่าที่ต้องการประมาณค่า ในที่นี้เลือกแสดงแบบแผนวิธีผลต่างครอตราติค สมการ (5.9) ถึง (5.12) เมื่อให้ $\phi = T$ นำทั้งหมดแทนในสมการ (5.21) จัดรูปใหม่จะได้สมการ (5.22) ดังนั้นผลเฉลยที่ได้จึงมีคุณสมบัติของแบบแผนวิธีผลต่างครอตราติค ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในพหุคูณการไหลที่ส่งผลมาจากเทอมการพา ด้วยเหตุนี้จึงเห็นได้ว่าการเลือกแบบแผนวิธีการคำนวณในแต่ละเทอม มีความสำคัญมากต่อผลเฉลยประมาณค่าของระบบที่พิจารณา

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho c_p u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} dV \right) dt = \left[\begin{array}{l} \frac{3}{8} T_P \left((1 + \alpha_e) F_e - (2 - \alpha_w) F_w \right) \\ + (1 + \alpha_n) F_n - (2 - \alpha_s) F_s \\ - \frac{1}{8} T_w (3(1 + \alpha_w) F_w + \alpha_e F_e) \\ + \frac{1}{8} T_e (3(2 - \alpha_e) F_e + (1 - \alpha_w) F_w) \\ - \frac{1}{8} T_s (3(1 + \alpha_s) F_s + \alpha_n F_n) \\ + \frac{1}{8} T_n (3(2 - \alpha_n) F_n + (1 - \alpha_s) F_s) \\ + \frac{1}{8} T_{ww} (\alpha_w F_w) - \frac{1}{8} T_{ee} ((1 - \alpha_e) F_e) \\ + \frac{1}{8} T_{ss} (\alpha_s F_s) - \frac{1}{8} T_{nn} ((1 - \alpha_n) F_n) \end{array} \right] \cdot \Delta t \quad (5.22)$$

5.9.3 การดิสเครทไทต์เทอมการแพร่

การดิสเครทไทต์ด้วยทฤษฎีของเกาส์ (พิจารณาใน 2 มิติ และจัดวางกริดตามรูปที่ 5.4) สามารถเขียนได้ดังสมการ (5.23)

การหาค่าประมาณของ $\partial T / \partial x$, เลือกแสดงด้วยแบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลาง ซึ่งไม่ได้ใช้สมการ (5.1) โดยตรง เนื่องจากไม่ต้องการประมาณค่าที่ผิวเซลล์ แต่ต้องการประมาณอัตราเปลี่ยนของปริมาณที่ส่งถ่ายผ่านผิวเซลล์ ด้วยหลักการของแบบแผนวิธีผลต่างกึ่งกลางจะเปลี่ยนสมการ (5.1) ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนใหม่ได้เป็นสมการ (5.24) เมื่อ δ_{PE} เป็นผลต่างของระยะที่โนด P และ E ในทำนองเดียวกัน $\delta_{WP}, \delta_{PN}, \delta_{SP}$ ก็คือผลต่างของระยะระหว่างโนดตัวห้อย

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_i} dV \right) dt = \int_t^{t+\Delta t} \left(\oint \bar{n} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) dA \right) dt$$

$$= \left(\begin{array}{l} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} L \right)_e - \left(k \frac{\partial T}{\partial x} L \right)_w \\ + \left(k \frac{\partial T}{\partial x} L \right)_n - \left(k \frac{\partial T}{\partial x} L \right)_s \end{array} \right) \cdot \Delta t \quad (5.23)$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e = \frac{(\phi_E - \phi_P)}{\delta_{PE}}, \quad \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w = \frac{(\phi_P - \phi_W)}{\delta_{WP}} \quad (5.24)$$

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n = \frac{(\phi_N - \phi_P)}{\delta_{PN}}, \quad \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s = \frac{(\phi_P - \phi_S)}{\delta_{SP}}$$

แทนสมการ (5.24) ลงในสมการ (5.23) พร้อมจัดรูปใหม่จะได้ตั้งสมการ (5.25) เมื่อ $D_e = k \frac{L_e}{\delta_{PE}}, D_w = k \frac{L_w}{\delta_{WP}}, D_n = k \frac{L_n}{\delta_{PN}}, D_s = k \frac{L_s}{\delta_{SP}}$ คือสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ผนังเซลล์ e, w, n, s ตามลำดับ

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_i} dV \right) dt = \left(\begin{array}{l} D_e T_E + D_w T_W + D_n T_N + D_s T_S \\ - (D_e + D_w + D_n + D_s) \cdot T_P \end{array} \right) \cdot \Delta t \quad (5.25)$$

นำสมการ (5.20), (5.22) และ (5.25) แทนในสมการ (5.16) และจัดรูปใหม่ โดยรวมพจน์ต่างๆเข้าด้วยกัน (ไม่ขอแสดงรายละเอียด) จะได้สมการ (5.26) เรียกว่าสมการอนุรักษ์พลังงานแบบดิสครีท หรืออีกนัยหนึ่งคือ สมการพีชคณิตของสมการอนุรักษ์พลังงาน

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S$$

$$+ a_{EE} T_{EE} + a_{WW} T_{WW} + a_{NN} T_{NN} + a_{SS} T_{SS}$$

$$+ a_P T_P^0 \quad (5.26)$$

$$\text{เมื่อ} \quad a_E = D_e - \frac{3}{8}(2 - \alpha_e) \cdot F_e - \frac{1}{8}(1 - \alpha_w) \cdot F_w$$

$$a_W = D_w + \frac{3}{8}(1 + \alpha_w) \cdot F_w + \frac{1}{8}\alpha_e \cdot F_e$$

$$a_N = D_n - \frac{3}{8}(2 - \alpha_n) \cdot F_n - \frac{1}{8}(1 - \alpha_s) \cdot F_s$$

$$a_S = D_s + \frac{3}{8}(1 + \alpha_s) \cdot F_s + \frac{1}{8}\alpha_n \cdot F_n$$

$$a_{EE} = \frac{1}{8}(1 - \alpha_e) \cdot F_e$$

$$a_{WW} = -\frac{1}{8}\alpha_w \cdot F_w$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 a_{NN} &= \frac{1}{8}(1-\alpha_n) \cdot F_n \\
 a_{SS} &= -\frac{1}{8}\alpha_s \cdot F_s \\
 a_p^0 &= \frac{A_p}{\Delta t} \\
 a_p &= a_p^0 + a_E + a_W + a_N + a_S + a_{EE} + a_{WW} + a_{NN} + a_{SS} \\
 &\quad + (F_e - F_w + F_n - F_s)
 \end{aligned}$$

5.10 การดิสเครทไทต์สมการนาเวียร์-สโตกส์

ด้วยแนวทางการดิสเครทไทต์สมการควบคุม เมื่อใช้กับสมการนาเวียร์-สโตกส์แบบไร้การอัดตัว จะได้ผลเฉลยวิคดังนี้

$$\begin{aligned}
 &\overbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho \frac{\partial u_i}{\partial t} dV \right) dt}^{\text{เทอมไม่คงตัว}} + \overbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} dV \right) dt}^{\text{เทอมการพา}} \\
 &= - \underbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \frac{\partial p}{\partial x_i} dV \right) dt}_{\text{เทอมอัตราเปลี่ยนความดัน}} + \underbrace{\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} dV \right) dt}_{\text{เทอมการแพร่}}
 \end{aligned} \tag{5.27}$$

จากสมการ (5.27) พบว่าแต่ละเทอมมีความหมายคล้ายกับสมการอนุรักษ์พลังงานในหัวข้อ 5.9 สมการ (5.16) โดยสมการ (5.27) มีเทอมอัตราเปลี่ยนความดันอยู่ด้วย จากหลักการความคล้ายคลึง ทำให้ไม่ต้องกล่าวรายละเอียดการดิสเครทไทต์เทอมไม่คงตัว เทอมการพา และเทอมการแพร่ซ้ำอีก อย่างไรก็ตามได้แสดงผลการดิสเครทไทต์เทอมดังกล่าวไว้ สำหรับหัวข้อนี้ได้เพิ่มเติมเนื้อหาการดิสเครทไทต์เทอมอัตราเปลี่ยนความดันเป็นหลัก

การดิสเครทไทต์เทอมอัตราเปลี่ยนความดันมีลักษณะที่พิเศษกว่าเทอมอื่น เพราะว่าในระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องจะพิจารณาอัตราเปลี่ยนแปลงความดัน เป็นเทอมแหล่งกำเนิด (source term) เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ควบคู่กัน (couple relation) ระหว่างสมการอนุรักษ์มวล และสมการนาเวียร์-สโตกส์ ด้วยตัวแปรความเร็ว (u_i) อีกทั้งสมการนาเวียร์-สโตกส์ ยังมีความควบคู่แบบไม่เชิงเส้น (non-linear couple) รวมอยู่ด้วย เห็นได้จากเทอมการพาเทียบกับเทอมอื่นๆ ดังนั้นหากทราบค่าของความดันที่ถูกต้องแล้ว ผลเฉลยของสมการนาเวียร์สโตกส์แบบไร้การอัดตัว (ความเร็ว) ควรจะสอดคล้องกับสมการอนุรักษ์มวลด้วย

เมื่อพิจารณาเทอมอัตราเปลี่ยนความดันเป็นเทอมแหล่งกำเนิด ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีของเกาส์ในการดิสเครทไทต์ ดังนั้นสามารถเขียนได้ตั้งสมการ (5.28) ซึ่งวิธีการแบบนี้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้คุณสมบัติการเข้ากันได้ลดลง

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \frac{\partial p}{\partial x_i} dV \right) dt = \frac{\partial p}{\partial x_i} \cdot A_p \cdot \Delta t \tag{5.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (5.28) เทอมที่ต้องการประมาณค่าอัตราเปลี่ยนแปลงความดันคือ $\partial p / \partial x_i$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การจัดวางตำแหน่งของความดันบนกริด โดยที่ผ่านมากล่าวถึงการจัดวางกริดแบบตำแหน่งร่วมเท่านั้น โดยทั่วไปการจัดวางกริดสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

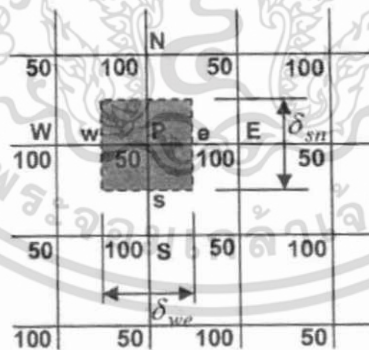
1. การจัดเรียงกริดแบบตำแหน่งร่วม (co-located arrangement) (จากหัวข้อ 5.4)
 2. การจัดเรียงกริดแบบทับซ้อน (staggered arrangement)
- กรณีจัดเรียงกริดแบบตำแหน่งร่วม การประมาณค่า $\partial p / \partial x_i$ แบบเชิงเส้น จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_e - p_w}{\delta_{we}} = \frac{\left(\frac{p_E + p_P}{2}\right) - \left(\frac{p_P + p_W}{2}\right)}{\delta_{we}} = \frac{p_E - p_W}{2\delta_{we}} \quad (5.29)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{p_n - p_s}{\delta_{sn}} = \frac{\left(\frac{p_N + p_P}{2}\right) - \left(\frac{p_P + p_S}{2}\right)}{\delta_{sn}} = \frac{p_N - p_S}{2\delta_{sn}}$$

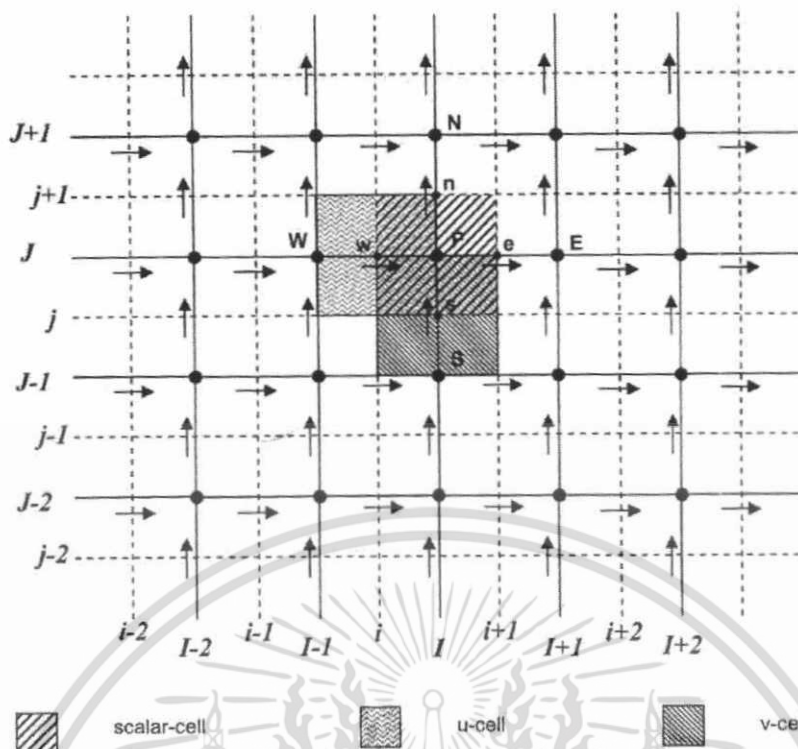
การประมาณอัตราเปลี่ยนแปลงความดันแบบสมการ (5.29) ใช้ได้ดีในปัญหาที่การกระจายตัวของความดันสม่ำเสมอ หากการกระจายตัวของความดันเปลี่ยนแปลงไปมาก หรือเกิดพฤติกรรมความดันกระเพื่อม (pressure fluctuation) ดังในรูปที่ 5.6 เรียกว่า ปัญหากระดานหมากรุก (checker-board problem) การประมาณค่าที่มีการจัดเรียงกริดแบบตำแหน่งร่วมจะไม่เหมาะสม

แทนค่าจากปัญหากระดานหมากรุกตามรูปที่ 5.6 ในสมการ (5.29) พบว่าอัตราเปลี่ยนแปลงความดันเป็นศูนย์ซึ่งไม่เป็นจริง กรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยลดระยะกริดจนไม่เกิดลักษณะปัญหากระดานหมากรุก แต่ทำให้จำนวนกริดเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำ และระยะเวลาในการคำนวณ ซึ่งขึ้นอยู่กับทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ที่มี



รูปที่ 5.6 การกระจายตัวของความดันกระเพื่อม หรือปัญหากระดานหมากรุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 การจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนใน 2 มิติ

ดังนั้นการจัดเรียงกริดแบบทับซ้อน จึงเป็นเทคนิคที่เกิดขึ้นเพื่อแก้ไขความผิดพลาดของการคำนวณค่าอัตราเปลี่ยนความดันในปัญหากระดานหมากรุก โดยให้ตัวแปรสเกลาร์ (มวล ความดัน และอุณหภูมิ) อยู่ที่ตำแหน่งโนดของปริมาตรควบคุมที่พิจารณา แต่ตัวแปรเวกเตอร์ (ความเร็ว) มีปริมาตรควบคุมเบี่ยงออกไป โดยจุดศูนย์กลางเซลล์ของปริมาตรเบี่ยงอยู่บนผิวเซลล์ของปริมาตรควบคุมที่สนใจ ในกรณี 2 มิติ แสดงได้ดังรูปที่ 5.7

จากรูปที่ 5.7 ปริมาณสเกลาร์เก็บค่าที่โนดที่มีเครื่องหมาย (•) เรียกปริมาตรควบคุมนั้นว่า สเกลาร์เซลล์ (scalar-cell) สำหรับปริมาณเวกเตอร์เก็บค่าอยู่ที่ผิวเซลล์ที่มีเครื่องหมาย \rightarrow เรียกว่า ยูเซลล์ (u-cell) ใช้กับแนวนอน กรณีแนวตั้งเก็บค่าอยู่ที่ผิวเซลล์ที่มีเครื่องหมาย \uparrow เรียกว่า วีเซลล์ (v-cell) โดยการจัดคู่อันดับของตำแหน่งใช้สัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ (I, J) แทนตำแหน่งของโนดที่อ้างอิงสเกลาร์เซลล์ และตัวพิมพ์เล็ก (i, j) แทนตำแหน่งของผิวเซลล์ ใช้ประกอบกับตัวพิมพ์ใหญ่เพื่ออ้างอิงตำแหน่งของยูเซลล์ และวีเซลล์ ที่เบี่ยงไปตามลำดับ

จากสมการ (5.28) การประมาณค่า $\partial p / \partial x_i$ กรณีจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนจะเปลี่ยนไปจากสมการ (5.29) เพราะพิจารณาอัตราเปลี่ยนของความดันทำที่ปริมาตรควบคุมของความเร็ว ในกรณีอัตราเปลี่ยนความดันตามแนวนอน ($\partial p / \partial x$) ใช้ยูเซลล์ และแนวตั้ง ($\partial p / \partial y$) ใช้วีเซลล์ ดังสมการ (5.30) และ (5.31) เป็นการประมาณค่าแบบเชิงเส้น โดยสมการทั้งสองอ้างอิงตำแหน่งแบบคู่อันดับ

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_P - p_W}{\delta_{WP}} = \frac{p_{I,J} - p_{I-1,j}}{\delta_u} \quad (5.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{p_P - p_S}{\delta_{SP}} = \frac{p_{I,J} - p_{I,J-1}}{\delta_v} \quad (5.31)$$

เมื่อ δ_u และ δ_v คือระยะความกว้างของผิวเซลล์ และวีเซล ตามลำดับ พิจารณาในปัญหากระดานหมากรุกด้วยสมการ (5.30) และ (5.31) พบว่าค่าอัตราเปลี่ยนของความดันมีค่าไม่เป็นศูนย์ แสดงว่าการจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนมีแนวโน้มที่ใช้ปริมาณกริดไม่มาก แต่สามารถคำนวณอัตราเปลี่ยนของความดันได้ถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตามการการจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนต้องจัดเก็บตำแหน่งยูเซล และวีเซล แยกออกจากตำแหน่งสเกลาร์เซล จึงทำให้ค่อนข้างยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมคำนวณ

ดังนั้นการประมาณค่าเทอมอัตราเปลี่ยนความดันในสมการ (5.27) กรณีจัดเรียงกริดแบบทับซ้อนทำได้โดยแทนสมการ (5.30) และ (5.31) ในสมการ (5.28) จัดรูปใหม่ได้

$$\int_t^{t+\Delta t} \left(\int \frac{\partial p}{\partial x_i} dV \right) dt = \begin{cases} (p_{I,J} - p_{I-1,J}) \cdot L_u \cdot \Delta t & ; u\text{-cell} \\ (p_{I,J} - p_{I,J-1}) \cdot L_v \cdot \Delta t & ; v\text{-cell} \end{cases} \quad (5.32)$$

เมื่อ $L_u = L_{I,J}$ และ $L_v = L_{I,J}$ เป็นระยะความกว้าง-ยาวของยูเซล และวีเซล ตามลำดับ จากสมการ (5.32) ใช้ในกรณีกริดชนิดสี่เหลี่ยมเหมือนดังรูปที่ 5.7 เท่านั้น ไม่ครอบคลุมกริดที่มีรูปแบบอื่นๆ เช่น สามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาการดิสcretไทด์สมการนาเวียร์-สโตกส์ โดยใช้หลักการของความคล้ายคลึงจากการดิสcretไทด์สมการอนุพันธ์พลังงาน สมการ (5.27) โดยจัดรูปใหม่ และเขียนได้ดังสมการ (5.33) และ (5.34) ซึ่งเป็นสมการนาเวียร์-สโตกส์ในแนวนอน และแนวตั้งตามลำดับ

$$\begin{aligned} a_p u_p &= a_E u_E + a_W u_W + a_N u_N + a_S u_S \\ &+ a_{EE} u_{EE} + a_{WW} u_{WW} + a_{NN} u_{NN} + a_{SS} u_{SS} \\ &+ a_p^0 u_p^0 + (p_W - p_P) \cdot L_u \end{aligned} \quad (5.33)$$

$$\begin{aligned} a_p v_p &= a_E v_E + a_W v_W + a_N v_N + a_S v_S \\ &+ a_{EE} v_{EE} + a_{WW} v_{WW} + a_{NN} v_{NN} + a_{SS} v_{SS} \\ &+ a_p^0 v_p^0 + (p_S - p_P) \cdot L_v \end{aligned} \quad (5.34)$$

$$\text{เมื่อ } a_p^0 = \frac{A_p}{\Delta t}, a_E = D_e - \frac{3}{8}(2 - \alpha_e) \cdot F_e - \frac{1}{8}(1 - \alpha_w) \cdot F_w,$$

$$a_W = D_w + \frac{3}{8}(1 + \alpha_w) \cdot F_w + \frac{1}{8}\alpha_e \cdot F_e,$$

$$a_N = D_n - \frac{3}{8}(2 - \alpha_n) \cdot F_n - \frac{1}{8}(1 - \alpha_s) \cdot F_s,$$

$$a_S = D_s + \frac{3}{8}(1 + \alpha_s) \cdot F_s + \frac{1}{8}\alpha_n \cdot F_n,$$

$$a_{EE} = \frac{1}{8}(1 - \alpha_e) \cdot F_e, \quad a_{WW} = -\frac{1}{8}\alpha_w \cdot F_w,$$

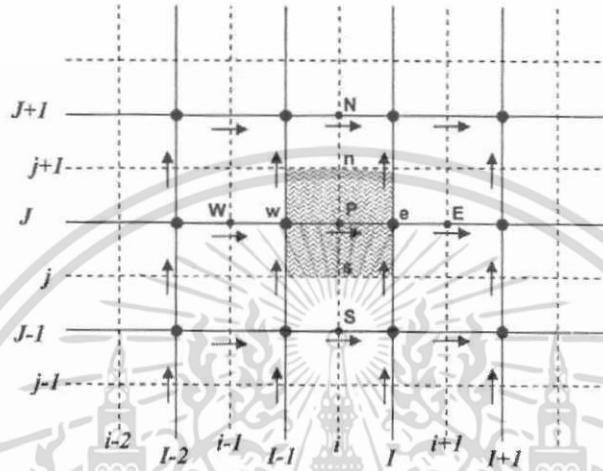
$$a_{NN} = \frac{1}{8}(1 - \alpha_n) \cdot F_n, \quad a_{SS} = -\frac{1}{8}\alpha_s \cdot F_s, \text{ และ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_p = a_p^0 + a_E + a_W + a_N + a_S + a_{EE} + a_{WW} + a_{NN} + a_{SS} \\ + (F_e - F_w + F_n - F_s)$$

สมการ (5.33) และ (5.34) เขียนอยู่ในรูปแบบการจัดวางกริดแบบทับซ้อน ดังนั้นจากหัวข้อที่ผ่านมามีปริมาณ F, D เขียนอยู่ในรูปแบบของการจัดวางกริดแบบตำแหน่งร่วม จึงต้องปรับปรุง โดยพิจารณากรณียูเซล และวีเซลตามลำดับ ดังนี้

1. สัมประสิทธิ์การพาและการแพร่กรณียูเซล



รูปที่ 5.8 เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณายูเซล

จากรูปที่ 5.8 แสดงความเร็วในผนังเซลล์แบบต่างๆของยูเซล ในระบบการกำหนดตำแหน่งแบบคู่อันดับ พบว่าตำแหน่งเดิมของโนด P ในรูปที่ 5.7 เป็นตำแหน่งโนด e ในรูปที่ 5.8 เนื่องจากขณะที่พิจารณายูเซลในกริดแบบทับซ้อน ตำแหน่งกึ่งกลางเซลล์เบี่ยงเบนไปทำให้ต้องพิจารณาการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆอีกครั้ง

กรณีความหนาแน่น และความหนืดมีค่าคงที่ สามารถหาสัมประสิทธิ์การพา และการแพร่ ได้ดังสมการ (5.35) และ (5.36) ตามลำดับ

$$F_e = (\rho u L)_e = \rho L_{i,j} \frac{u_{i+1,j} + u_{i,j}}{2}, \quad F_w = (\rho u L)_w = \rho L_{i-1,j} \frac{u_{i,j} + u_{i-1,j}}{2}, \quad (5.35)$$

$$F_n = (\rho u L)_n = \rho L_{i,j+1} \frac{v_{i,j+1} + v_{i-1,j+1}}{2}, \quad F_s = (\rho u L)_s = \rho L_{i,j} \frac{v_{i,j} + v_{i-1,j}}{2},$$

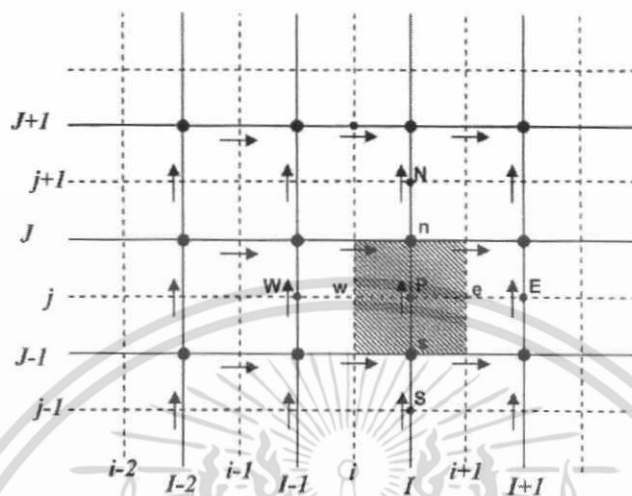
$$D_e = \mu \frac{L_{i,j}}{x_{i+1} - x_i}, \quad D_w = \mu \frac{L_{i-1,j}}{x_i - x_{i-1}}, \quad (5.36)$$

$$D_n = \mu \frac{L_{i,j+1}}{y_{j+1} - y_j}, \quad D_s = \mu \frac{L_{i,j}}{y_j - y_{j-1}},$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สัมประสิทธิ์การพาและการแพร่กรณีวีเซล

พบว่าตำแหน่งเดิมของโนด P ในรูปที่ 5.7 เป็นตำแหน่งโนด n ในรูปที่ 5.9 เนื่องจากตำแหน่งกึ่งกลางเซลล์เบี่ยงเบนไป คล้ายคลึงกับกรณียูเซล โดยสามารถหาสัมประสิทธิ์การพา และการแพร่ได้ดังสมการ (5.37) และ (5.38) ตามลำดับ



รูปที่ 5.9 เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณาวีเซล

$$F_e = \rho L_{i+1,j-1} \frac{u_{i+1,j} + u_{i+1,j-1}}{2}, \quad F_w = \rho L_{i,j} \frac{u_{i,j} + u_{i,j-1}}{2}, \quad (5.37)$$

$$F_n = \rho L_{i,j} \frac{v_{i,j} + v_{i,j+1}}{2}, \quad F_s = \rho L_{i,j-1} \frac{v_{i,j-1} + v_{i,j}}{2},$$

$$D_e = \mu \frac{L_{i+1,j-1}}{x_{I+1} - x_I}, \quad D_w = \mu \frac{L_{i,j}}{x_I - x_{I-1}}, \quad (5.38)$$

$$D_n = \mu \frac{L_{i,j}}{y_{j+1} - y_j}, \quad D_s = \mu \frac{L_{i,j-1}}{y_j - y_{j-1}},$$

พิจารณาสัมประสิทธิ์การพา ($F = \rho u$) เมื่อเทียบกับการ discretize สมการอนุรักษ์พลังงาน ในหัวข้อ 5.8 จะพบว่าในหัวข้อที่ผ่านมา ไม่ต้อง discretize เทอมสัมประสิทธิ์ต่างๆ เนื่องจากในสมการอนุรักษ์พลังงาน ถือว่าทราบค่าความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งกรณีนี้ใช้ได้กับการคำนวณแบบไม่ควบคู่ (uncouple solving) กล่าวคือสมการอนุรักษ์พลังงาน สามารถแยกพิจารณาหลังจากคำนวณสมการนาเวียร์-สโตกส์

เนื่องจากสัมประสิทธิ์การพามีเทอมความเร็วที่ผิวเซลล์อยู่ด้วย ซึ่งในสมการนาเวียร์-สโตกส์ ค่าความเร็วเป็นตัวแปรไม่ทราบค่า ดังนั้นการประมาณค่าความเร็วที่ผิวเซลล์ในการจัดเรียงกริดแบบตำแหน่งร่วม และกริดแบบทับซ้อน ต้องคำนวณค่าความเร็วที่ผิวเซลล์จากตำแหน่งที่เก็บค่าตัวแปรความเร็วอยู่ เช่น ใช้ตำแหน่งโนด (กรณีกริดแบบตำแหน่งร่วม) หรือใช้ตำแหน่งยูเซล-วีเซล (กรณีกริดแบบทับซ้อน) เป็นต้น ดังแสดงในสมการ (5.35) ถึง (5.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีจัดเรียงกริดแบบทับซ้อน ควรเขียนสมการดิสเครทไทต์ในระบบตำแหน่งคู่อันดับเพื่อไม่ให้ตำแหน่งของปริมาตรควบคุมที่พิจารณาสับสน จากสมการ (5.32) (5.33) และ (5.34) นำมาเขียนใหม่เป็นสมการนาเวียร์-สโตกส์แบบดิสเครทไทต์ได้ดังนี้

$$a_{i,j}u_{i,j} = \sum a_d u_d (p_{I-1,j} - p_{I,j}) \cdot L_{i,j} \quad (5.39)$$

$$a_{i,j}v_{i,j} = \sum a_d v_d (p_{i,j-1} - p_{i,j}) \cdot L_{i,j} \quad (5.40)$$

เมื่อตัวห้อย d แทนตำแหน่งต่างๆของผิวเซลในปริมาตรควบคุมที่พิจารณา โดยเทียบกับกลุ่มสัมประสิทธิ์ในสมการ (5.33) และ (5.34) เช่นตำแหน่งผิวเซล P, E, W, N, S, EE เป็นต้น ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การพา และการแพร่เป็นไปตามสมการ (5.35) และ (5.38)

5.11 ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยของสมการควบคุมในการไหลคงตัว

ในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่องมีลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยของสมการควบคุมหลายวิธี โดยลำดับวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ลำดับวิธี SIMPLE ลำดับวิธี SIMPLER ลำดับวิธี SIMPLER และลำดับวิธี PISO ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะลำดับวิธี SIMPLE เพียงอย่างเดียว

ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยแบบ SIMPLE (semi-implicit method for pressure-linked equation) เป็นวิธีที่ใช้หลักการเดาค่าความดัน แล้วนำไปคำนวณหาความเร็ว และอุณหภูมิหรือปริมาณสเกลาร์อื่นๆ จากสมการนาเวียร์-สโตกส์ และสมการอนุรักษ์พลังงานตามลำดับ จากนั้นตรวจสอบด้วยสมการอนุรักษ์มวล หากค่าตัวแปรทั้งหมดมีความสอดคล้องกับสมการควบคุม แสดงว่าค่าความดันที่เดามีความถูกต้อง หากไม่สอดคล้องจะเดาค่าความดันใหม่บนฐานของค่าความดัน ความเร็ว และอุณหภูมิเดิมที่คำนวณไว้ ดังนั้นขั้นแรกจึงแทนสมการ (5.39) และ (5.40) ด้วยค่าความเร็ว และความดันที่เดา (ตัวแปรที่เดาแทนด้วยสัญลักษณ์ด้วย *) จะได้ว่า

$$a_{i,j}u_{i,j}^* = \sum a_d u_d^* + (p_{I-1,j}^* - p_{i,j}^*) \cdot L_{i,j} \quad (5.41)$$

$$a_{i,j}v_{i,j}^* = \sum a_d v_d^* + (p_{i,j-1}^* - p_{i,j}^*) \cdot L_{i,j} \quad (5.42)$$

ทำการนิยามค่าความดันแก้ไข (pressure correction) p' ขึ้น ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าความดันที่ถูกต้อง p กับค่าความดันที่เดาขึ้น p^* ถ้าค่าแก้ไขมีแนวโน้มใกล้ศูนย์มากขึ้น แสดงว่าค่าความดันที่เดาเข้าใกล้ความดันที่ถูกต้องมากขึ้น

$$p = p^* + p' \quad (5.43)$$

ในทำนองเดียวกันก็นิยามค่าแก้ไขของความเร็ว u' และ v' ที่เป็นผลต่างระหว่างค่าความเร็วที่ถูกต้อง กับความเร็วที่เดาขึ้น u^* และ v^* ดังนี้

$$u = u^* + u' \quad (5.44)$$

$$v = v^* + v' \quad (5.45)$$

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าแก้ไขได้โดยการนำสมการ (5.39) และ (5.40) ลบด้วยสมการ (5.41) และ (5.42) ตามลำดับ ใช้สูตรค่าแก้ไขจากสมการ (5.43) ถึง (5.45) จะได้สมการ (5.46) และ (5.47) ตามลำดับ

$$a_{i,j}u'_{i,j} = \sum a_d u'_d + (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \cdot L_{i,j} \quad (5.46)$$

$$a_{i,j}v'_{i,j} = \sum a_d v'_d + (p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \cdot L_{i,j} \quad (5.47)$$

จากสมการ (5.46) และ (5.47) จะเห็นว่าเทอมที่มีเครื่องหมาย Σ ให้มีค่าประมาณศูนย์ ซึ่งเป็นการประมาณค่าของลำดับวิธีแบบ SIMPLE โดยลำดับต่อไปแทนสมการ (5.46) และ (5.47) ลงในสมการ (5.44) และ (5.45) ตามลำดับ เมื่อ $d_{x,y} = \frac{L_{x,y}}{a_{x,y}}$ และ x,y คือตำแหน่งคู่ลำดับใดๆในสนามกาคำนวณ และในทำนองเดียวกัน สมการความสัมพันธ์ของ $u_{i+1,j}$, $v_{i,j+1}$ จะเขียนได้ดังสมการ (5.50) และ (5.51)

$$u_{i,j} = u^*_{i,j} + d_{i,j}(p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \quad (5.48)$$

$$v_{i,j} = v^*_{i,j} + d_{i,j}(p'_{i,j-1} - p'_{i,j}) \quad (5.49)$$

$$u_{i+1,j} = u^*_{i+1,j} + d_{i+1,j}(p'_{i,j} - p'_{i+1,j}) \quad (5.50)$$

$$v_{i,j+1} = v^*_{i,j+1} + d_{i,j+1}(p'_{i,j} - p'_{i,j+1}) \quad (5.51)$$

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงสาเหตุการพิจารณาเทอมอัตราเปลี่ยนแปลงความดัน เป็นเทอมแหล่งกำเนิด เพื่อคำนวณค่าความเร็วที่สอดคล้องกับสมการอนุกรมมวล สมการ (5.15) ที่ระบุตำแหน่งในระบบคู่อันดับ ตามรูปที่ 5.10 จะได้ว่า

$$(uL)_{i+1,j} - (uL)_{i,j} + (uL)_{i,j+1} - (uL)_{i,j} = 0 \quad (5.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการจัดเรียงกริดแบบทับซ้อน การ discretize ไทด์สมการอนุรักษ์มวล ใช้สเกลาร์เซลเป็นปริมาตรควบคุมที่สนใจ เนื่องจากความหมายทางกายภาพของมวลเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาดไม่มีทิศทาง ดังนั้นการประมาณด้วยสเกลาร์เซล พิจารณาความสัมพันธ์ของค่าแก้ไขแทนสมการ (5.48) ถึง (5.51) ในสมการ (5.52) จัดรูปใหม่จะได้ดังนี้

$$m_{I,J}p'_{I,J} = m_{I+1,J}p'_{I+1,J} + m_{I-1,J}p'_{I-1,J} + m_{I,J+1}p'_{I,J+1} + m_{I,J-1}p'_{I,J-1} + M'_{I,J} \quad (5.53)$$

$$\text{เมื่อ } m_{I+1,J} = (dL)_{i+1,j}$$

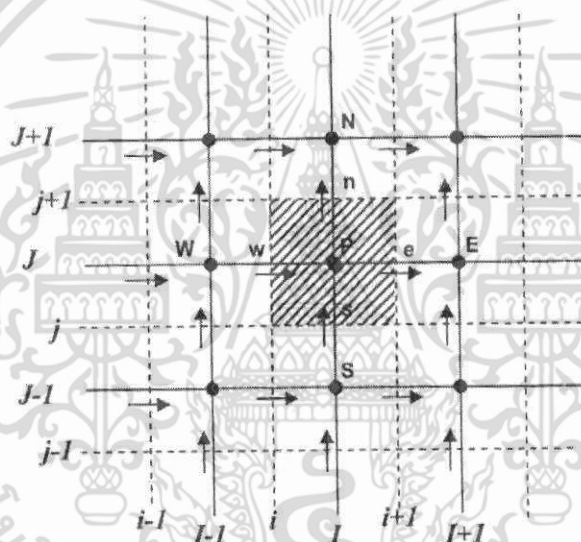
$$m_{I-1,J} = (dL)_{i,j}$$

$$m_{I,J+1} = (dL)_{i,j+1}$$

$$m_{I,J-1} = (dL)_{i,j}$$

$$m_{I,J} = m_{I+1,J} + m_{I-1,J} + m_{I,J+1} + m_{I,J-1}$$

$$M'_{I,J} = (u^*L)_{i,j} - (u^*L)_{i+1,j} + (v^*L)_{i,j} - (v^*L)_{i,j+1}$$

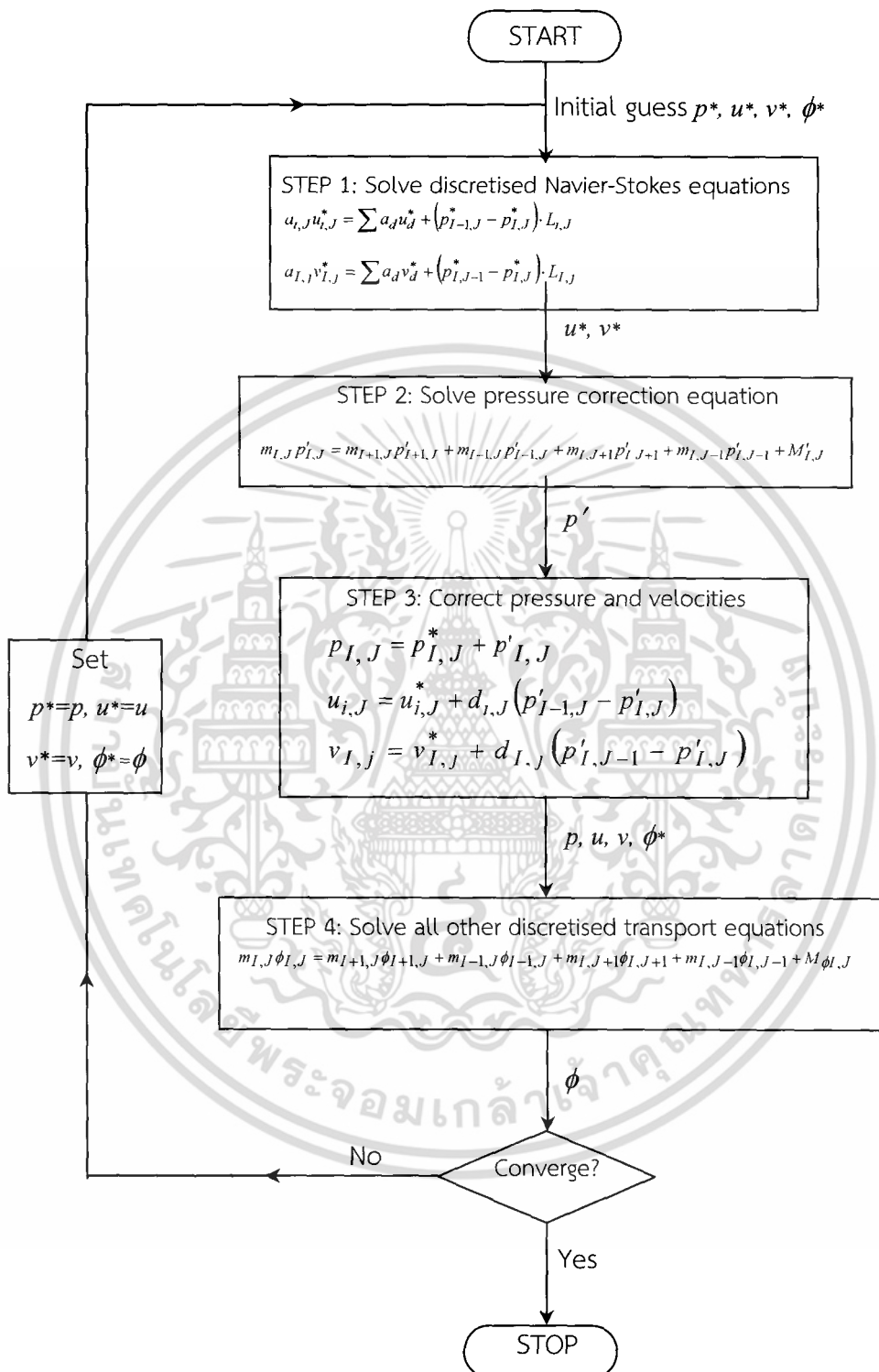


รูปที่ 5.10 เวกเตอร์ความเร็วเมื่อพิจารณาสเกลาร์เซล

สมการ (5.53) เรียกว่าสมการสำหรับแก้ไขความดัน (equation for pressure correction) นำไปแทนในสมการ (5.43) (5.46) และ (5.47) เพื่อคำนวณค่าความเร็ว และความดันที่ถูกต้อง และหากค่าความดันแก้ไขมีค่าต่ำกว่าขอบเขตกำหนด (threshold) ปกติมีค่าน้อยมาก ทำให้ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของเทอม Σ เป็นศูนย์ ในสมการ (5.46) และ (5.47) ลดลง จึงควรตระหนักว่าปัญหาที่พิจารณาอาจส่งผลให้ค่าความดันแก้ไขไม่ลู่เข้า ในทางระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข จึงมักแก้ไขโดยใช้เทคนิควิธีอันเดอร์รีแลกเซชัน (under relaxation method) ร่วมกับสมการ (5.43) และ (5.45) โดยความหมายทางกายภาพคือการเพิ่มตัวหน่วงให้ระบบการคำนวณ ทำให้ลดการลู่ออกของผลเฉลยโดยการหน่วง หรือในทางตรงกันคือการลู่เข้าของผลเฉลยจะช้าลง ซึ่งวิธีรายละเอียดวิธีการอันเดอร์รีแลกเซชัน พบได้ทั่วไปในตำราทางด้านคำนวณเชิงตัวเลข

กระบวนการวิธี SIMPLE นั้น ให้คำตอบในการหาค่าความดัน และความเร็ว โดยกระบวนการวิธีทำซ้ำ ดังนั้นหากมีประมาณสเกลาร์อื่นใดที่ผูกติดอยู่กับสมการนาร์เวียร์-สโตกส์ ก็จำเป็นต้องทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเป็นลำดับ และวนกลับมาทำการคำนวณซ้ำอีก จนกระทั่งคำตอบทั้งหมดลู่เข้า ซึ่งได้ให้ flow chart ไว้ในรูป 5.11



รูปที่ 5.11 ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยด้วยวิธี SIMPLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การกำหนดปัญหาและตรวจสอบผลการคำนวณ

6.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการกำหนดลักษณะของปัญหาที่ใช้สำหรับทำการศึกษาวิจัยและพร้อมทั้งทำการตรวจสอบโปรแกรมที่ใช้กับผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) ซึ่งลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการจำลองการถ่ายเทความร้อนนี้ประกอบด้วย

- ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันตัววีภายในท่อทั้งสองด้านโดยจัดวางแบบตรงกันและเยื้องกัน โดยทำมุมปะทะ, ความสูงและระยะพิตต์ต่าง ๆ แบบปลายตัววีชี้ตามและชี้ทวนกระแสของการไหล
- ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันตัววีภายในท่อทั้งสองด้านโดยจัดวางแบบตรงกัน ทำมุมปะทะ 30° ที่ความสูงและระยะพิตต์ต่าง ๆ แบบปลายตัววีชี้ตามและชี้ทวนกระแสของการไหล
- ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันตัววีภายในท่อ โดยมีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ แบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง ทำมุมปะทะ 30° ที่ความสูงและระยะพิตต์ต่าง ๆ แบบปลายตัววีชี้ตามและชี้ทวนกระแสของการไหล

6.2 สมการควบคุมและสมมติฐาน

การพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ได้มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คำนึงแรงเนื่องจากน้ำหนักและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด
- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส สมการควบคุมประกอบไปด้วย สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

$$\text{สมการความต่อเนื่อง: } \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (6.1)$$

$$\text{สมการโมเมนตัม: } \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (6.2)$$

$$\text{สมการพลังงาน: } \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (6.3)$$

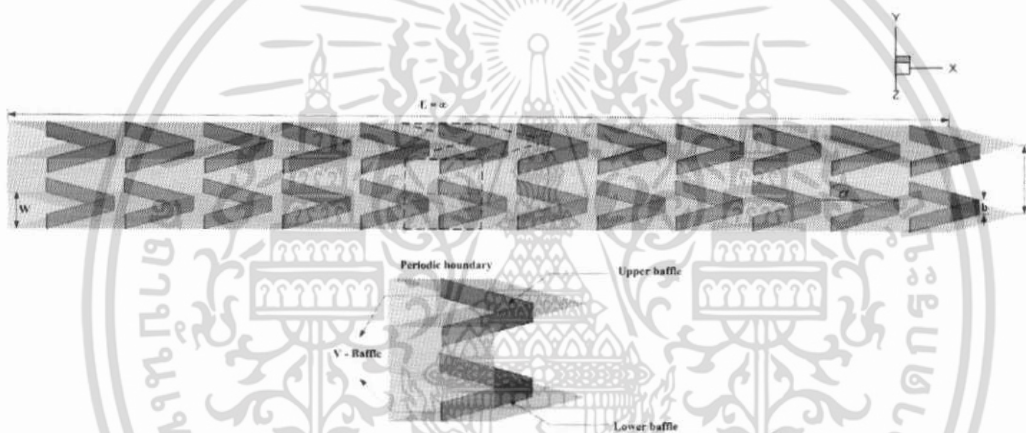
เมื่อ Γ คือการแพร่ทางความร้อน กำหนดโดย $\Gamma = \mu / \text{Pr}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

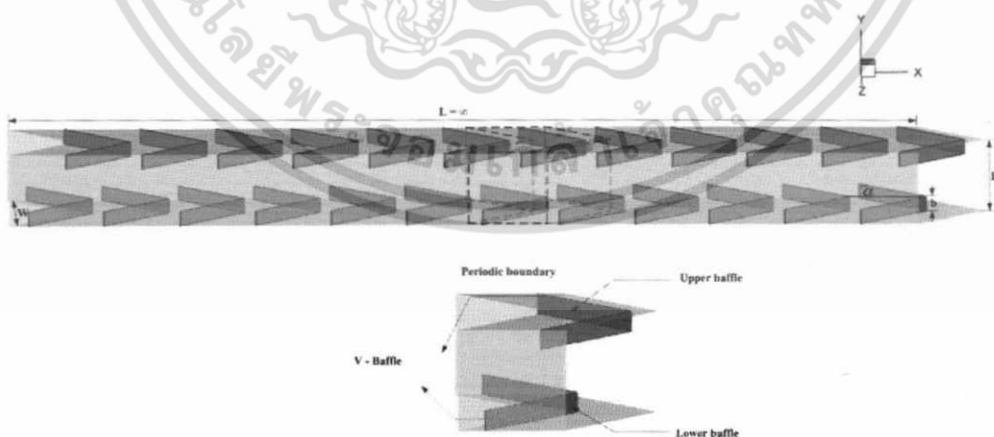
6.3 การกำหนดลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการวิจัย

6.3.1 กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ

งานวิจัยนี้ระบบที่ให้ความสนใจเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นตัววีภายในท่อสองด้าน คือที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อในแนวตรงกันและเยื้องกันดังรูปที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ ซึ่งแผ่นกั้นที่ติดนั้นอัตราส่วนระยะพิตต์, PR ของแผ่นกั้นมีค่าเท่ากับ 1.00, 1.50 และ 2.00 วางเอียงทำมุมปะทะ, $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ตามลำดับ ความสูงของแผ่นกั้นมีค่า, $b = 0.10H, 0.15H, 0.20H, 0.25H$ และ $0.30H$ ตามลำดับ หรือมีอัตราส่วนการบล็อกการไหล (blockage Ratio, BR) ซึ่งนิยามโดยความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ โดยมีลักษณะการไหลสองแบบ คือกรณีปลายวีชี้ตามและชี้ทวนกระแสการไหลดังแสดงในรูปที่ 6.3(ก) และ 6.3(ข) ตามลำดับ ขนาดความสูงของท่อหน้าตัดจัตุรัสที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $H = 0.05$ m และสมมติท่อยาวมาก ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic ที่ทางเข้าและทางออก ในกรณีศึกษาต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 6.2

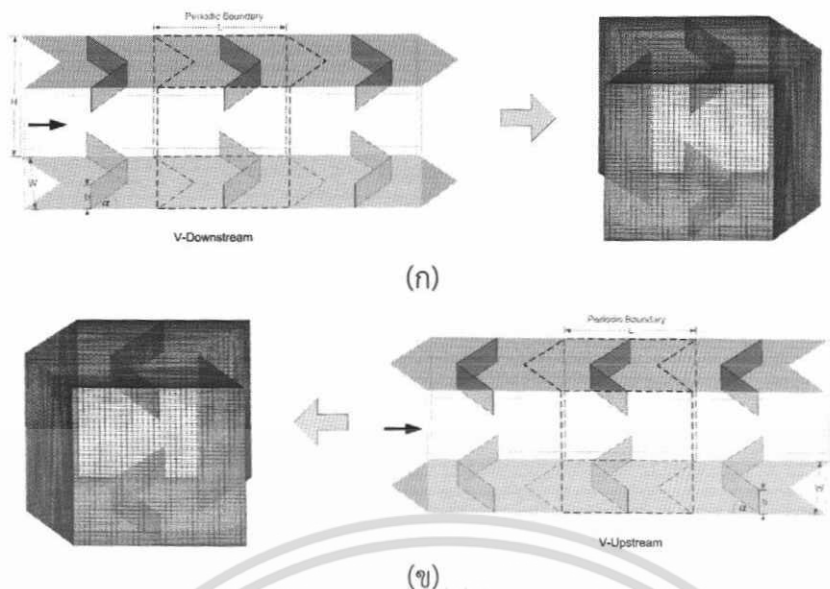


รูปที่ 6.1 แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบวางตรง (In-line) ติดตั้งที่ผนังท่อ



รูปที่ 6.2 แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบวางเยื้อง (Staggered) ติดตั้งที่ผนังท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



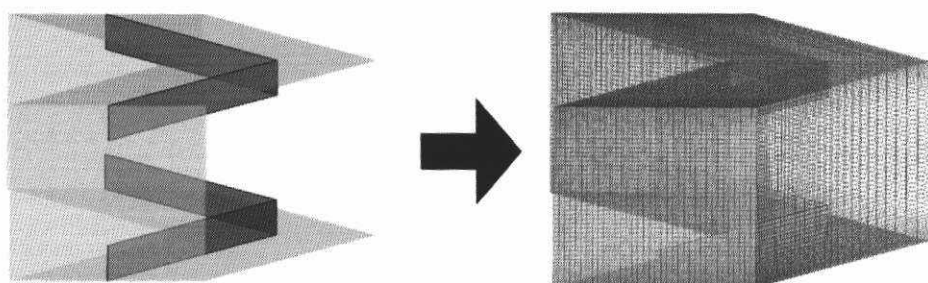
รูปที่ 6.3 ลักษณะการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบสำหรับ ก) ปลายวีชี้ตามกระแสการไหล (V-Downstream) และ ข) ปลายวีชี้ทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ติดตั้งที่ผนังท่อ

กริดที่ใช้สำหรับกรณีแผ่นกั้นเอียงรูปตัววี ดังแสดงในรูปที่ 6.4 เป็นแบบสี่เหลี่ยม แบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform grid) พิจารณาบริเวณที่ติดตั้งให้มีจำนวนกริดหนาแน่นและบริเวณที่ห่างออกไปจากผนังก็มีจำนวนกริดเบาบางลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณผิวท่อหรือขอบท่อจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่บริเวณส่วนกลางท่อ สำหรับการหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบได้ทำการศึกษาโดยใช้ปริมาณของกริดที่แตกต่างกัน ที่จำนวน 40000, 60000, 120000 และ 240000 ใช้ลำดับวิธีการคำนวณหาผลเฉลยแบบ SIMPLE และใช้แบบแผนวิธีผลต่างต้นลมอันดับหนึ่ง เงื่อนไขการลู่ออกหาคำตอบของทุกค่าอยู่ที่ 10^{-5} ยกเว้นสมการพลังงานซึ่งอยู่ที่ 10^{-9} พบว่าเมื่อจำนวนกริดเพิ่มขึ้นจาก 120,000 เป็น 240,000 ค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรง 0.20 % ส่วนค่า f มีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรง 0.06 % ดังตารางที่ 6.1 ซึ่งทั้งค่า Nu และ f มีความสอดคล้องกันดีกับผลเฉลยแม่นยำตรง ดังนั้นจึงเลือกปริมาณของกริดที่ 120,000 ซึ่งปริมาณกริดนี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 6.1 ค่า Nu และ f ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 500$ ที่จำนวนกริดต่างๆ

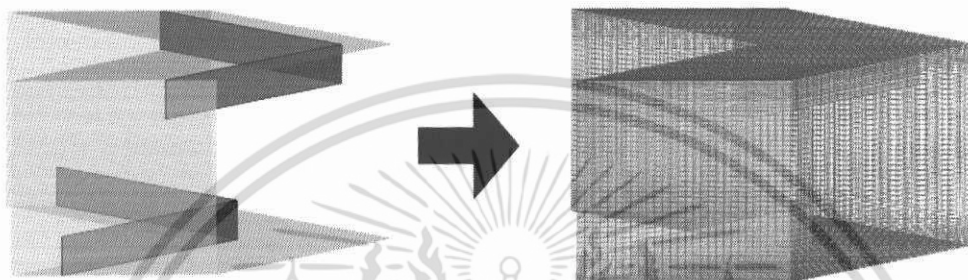
จำนวนกริด	Nu	f	ความคลาดเคลื่อน (%)	
			Nu	f
240,000	16.09071	0.646838		
120,000	16.07243	0.644655	0.11360593	0.052181
60,000	15.04156	0.643824	1.24573571	4.695497
40,000	18.85859	0.634616	1.37164264	7.431928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Computation Domain

(ก)



Computation Domain

(ข)

รูปที่ 6.4 ลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ สำหรับ (ก) วางตรง (In-line) และ (ข) วางเยื้อง (Staggered) ติดตั้งที่ผนังท่อ

ตารางที่ 6.2 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ

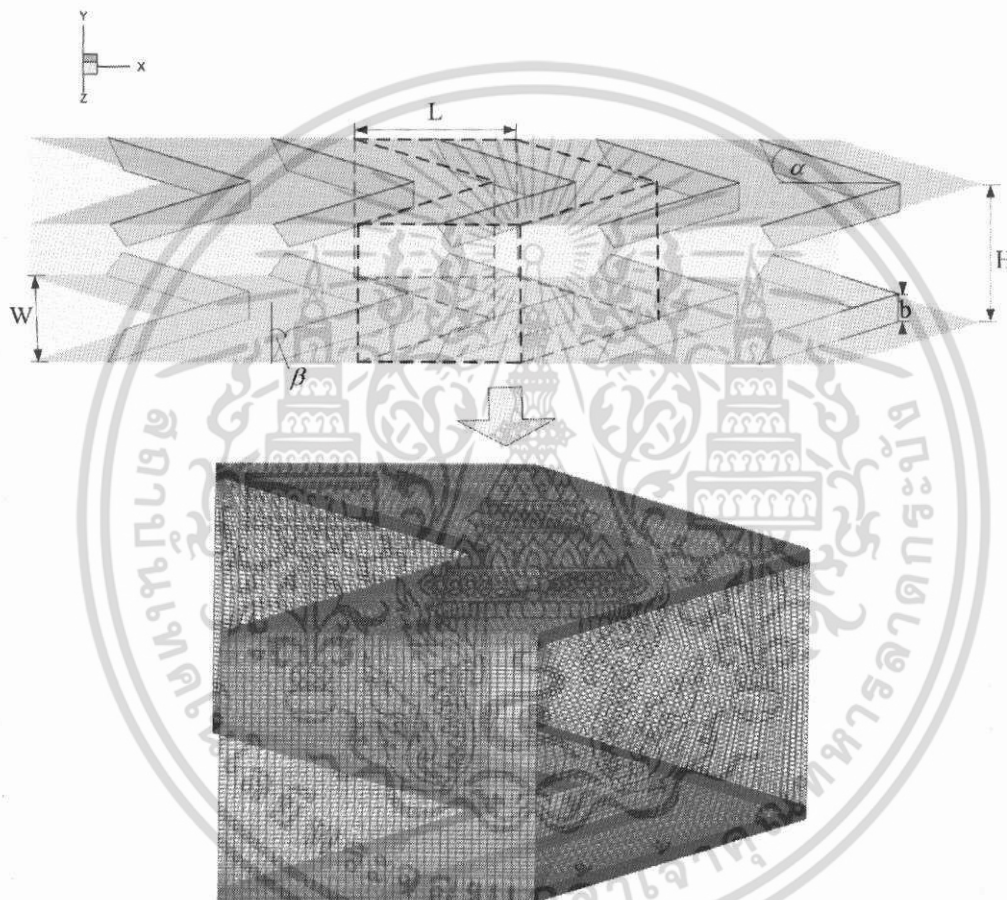
α	PR	BR	การจัดวาง	ทิศทางการไหล
20	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line	V-Downstream, V-Upstream
30	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line, Staggered	V-Downstream, V-Upstream
45	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line	V-Downstream, V-Upstream
60	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line	V-Downstream, V-Upstream

6.3.2 กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นตัววีตัดขอบภายในท่อสองด้าน คือที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อในแนวตรงกันกันดังรูปที่ 6.5 ซึ่งแผ่นกั้นที่ติดนั้นอัตราส่วนระยะพิทต์, PR ของแผ่นกั้นมีค่าเท่ากับ 1.00, 1.50 และ 2.00 วางเอียงทำมุมปะทะ, $\alpha = 30^\circ$ และมีการตัดขอบทำมุมกับแกน $+y$ เท่ากับ $\beta = 60^\circ$ ความสูงของแผ่นกั้นมีค่า, $b = 0.10H, 0.15H, 0.20H, 0.25H$ และ $0.30H$ ตามลำดับ หรือมีอัตราส่วนการบล็อกการไหล (blockage Ratio, BR) ซึ่งนิยามโดยความเอกสสารนี้เป็นเอกสสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ โดยมีลักษณะการไหลสองแบบ คือกรณีปลายวีชี้ตามและชี้ทวนกระแสน้ำไหลมีลักษณะเช่นเดียวกับแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบที่ติดตั้งที่ผนังท่อดังรูปที่ 6.3 ขนาดความสูงของท่อหน้าตัดจัตุรัสที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $H=0.05\text{m}$ และสมมติท่อยาวมาก ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic ที่ทางเข้าและทางออก ในกรณีศึกษาต่างๆได้แสดงในตารางที่ 6.3

กริดที่ใช้สำหรับแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีโครงสร้างรายละเอียดและการเลือกจำนวนกริดเช่นเดียวกับกับแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ โดยลักษณะของกริดสำหรับแผ่นกั้นตัววีตัดขอบแสดงดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบวางตรง (In-line) ติดตั้งที่ผนังท่อและลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ

ตารางที่ 6.3 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ

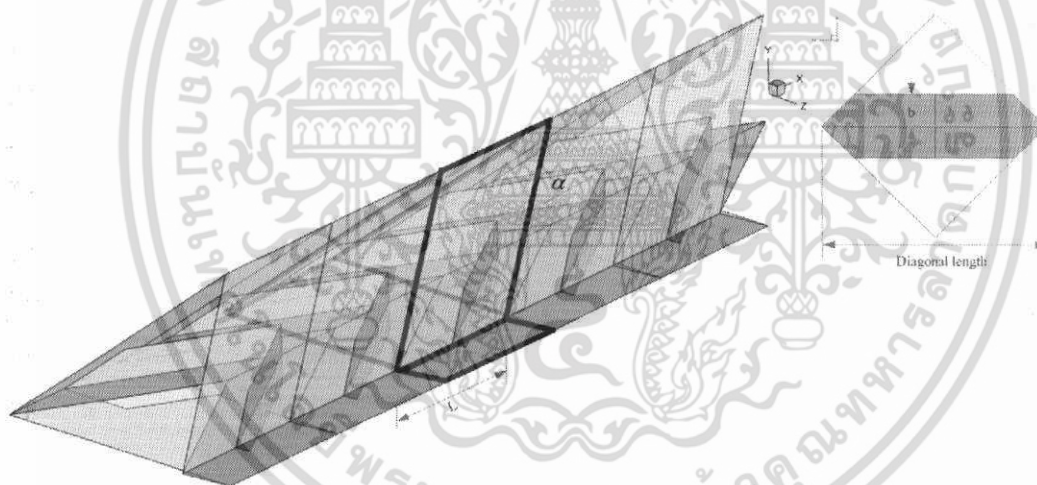
α	PR	BR	การจัดวาง	ทิศทางการไหล
30	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line	V-Downstream, V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.3 กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งแผ่นกั้นตัววีในลักษณะของการสอดใส่ตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ สามารถแบ่งลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ในการสอดใส่เป็น 2 แบบ คือ มีแผ่นกั้นกลางในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีและแบบไม่มีแผ่นกั้นกลางในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.6 ซึ่งแผ่นกั้นที่ติดนั้นอัตราส่วนระยะพิตต์, PR ของแผ่นกั้นมีค่าเท่ากับ 1.00, 1.50 และ 2.00 วางเอียงทำมุมปะทะ, $\alpha = 30^\circ$ ความสูงของแผ่นกั้นมีค่า, $b = 0.10H, 0.15H, 0.20H, 0.25H$ และ $0.30H$ ตามลำดับ หรือมีอัตราส่วนการบล็อกการไหล (blockage Ratio, BR) ซึ่งนิยามโดยความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ โดยมีลักษณะการไหลสองแบบ คือกรณีปลายวีชี้ตามและชี้ทวนกระแสนการไหลมีลักษณะเช่นเดียวกับแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบที่ติดตั้งที่ผนังท่อดังรูปที่ 6.3 ขนาดความสูงของท่อน้ำตัดจัตุรัสที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $H = 0.05$ m และสมมติท่อยาวมาก ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic ที่ทางเข้าและทางออก ในกรณีศึกษาต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 6.4

กริดที่ใช้สำหรับแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีโครงสร้างรายละเอียดและการเลือกจำนวนกริดเช่นเดียวกันกับแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ



รูปที่ 6.6 แบบจำลองการไหลสามมิติของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบวางตรง (In-line) ติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อและลักษณะกริดที่ใช้ในการจำลองการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ

ตารางที่ 6.4 ลักษณะแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ

α	PR	BR	การจัดวาง	ทิศทางการไหล	ลักษณะชิ้นงาน
30	1.00, 1.50, 2.00	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30	In-line	V-Downstream, V-Upstream	มีแผ่นกลาง, ไม่มีแผ่นกลาง

6.4 ค่าเงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ

สำหรับการคำนวณในสามมิติ ได้ใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตดังต่อไปนี้

6.4.1 สภาวะทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation อากาศไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลอย่างสม่ำเสมอ และมีค่าเลขพรานด์เทิล (Prandtl number; Pr) คงที่เท่ากับ 0.707

6.4.2 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ผนังความเร็วมีค่าเท่ากับศูนย์ (no slip condition) เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall)

6.4.3 กำหนดให้ค่าฟลักซ์ความร้อนของแผ่นกั้นและแผ่นกลางที่ใช้ในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมมีค่าเท่ากับศูนย์ (แผ่นกั้นเป็นฉนวน)

6.4.4 กำหนดให้ที่ผนังทุกด้านของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอุณหภูมิผนังคงที่ 310 K

6.5 การตรวจสอบโปรแกรมที่ใช้กับผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution)

เนื่องจากผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขเป็นค่าที่ได้จากการประมาณ การคำนวณย่อมมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการนำโปรแกรมมาใช้งานต้องมีการตรวจสอบโปรแกรมว่าให้ผลเฉลยถูกต้องหรือไม่ การตรวจสอบโปรแกรมในหัวข้อนี้จะนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำตรง

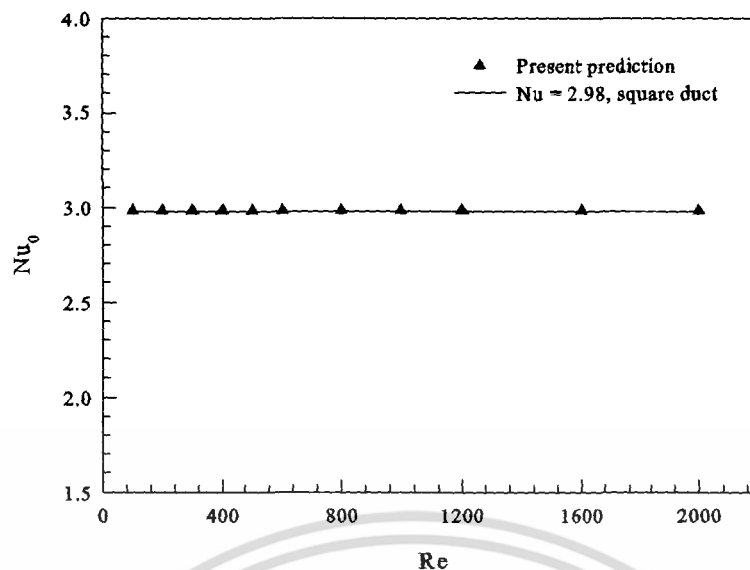
จากตารางที่ 4.1 ผลเฉลยแม่นยำตรงค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว กรณีอุณหภูมิผนังคงที่จะได้

$$Nu = 2.98 \quad (6.4)$$

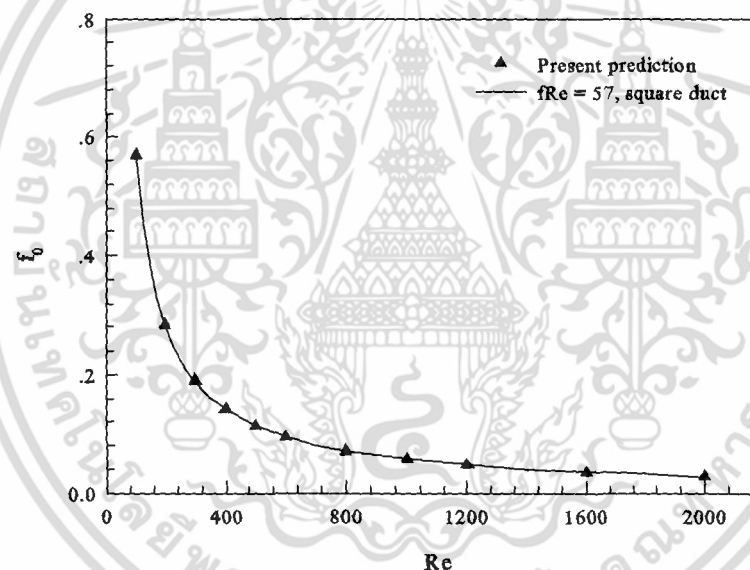
เช่นกันจะได้ f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสำหรับการไหลแบบราบเรียบที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว

$$f = \frac{57}{Re} \quad (6.5)$$

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรมจะมีความแตกต่างเฉลี่ย 1.50% ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ผลที่ได้จากทั้งโปรแกรมและจากผลเฉลยแม่นยำตรงให้ผลที่สอดคล้องกัน ทำให้ยืนยันได้ว่าแบบจำลองการไหล 3 มิติ รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้พื้นฐานของระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมสามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการคำนวณ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการไหลในการถ่ายเทความร้อนสำหรับงานวิจัยนี้ได้



รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบค่า Nu ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบระหว่างผลเฉลยแม่นยำตรงกับผลที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 6.8 การเปรียบเทียบค่าตัว f ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบระหว่างผลเฉลยแม่นยำตรงกับค่าที่ได้จากการจำลอง

6.6 การศึกษาการเข้าสู่การไหลเป็นคาบแบบปรับตัวเต็มที่ (fully developed periodic flow)

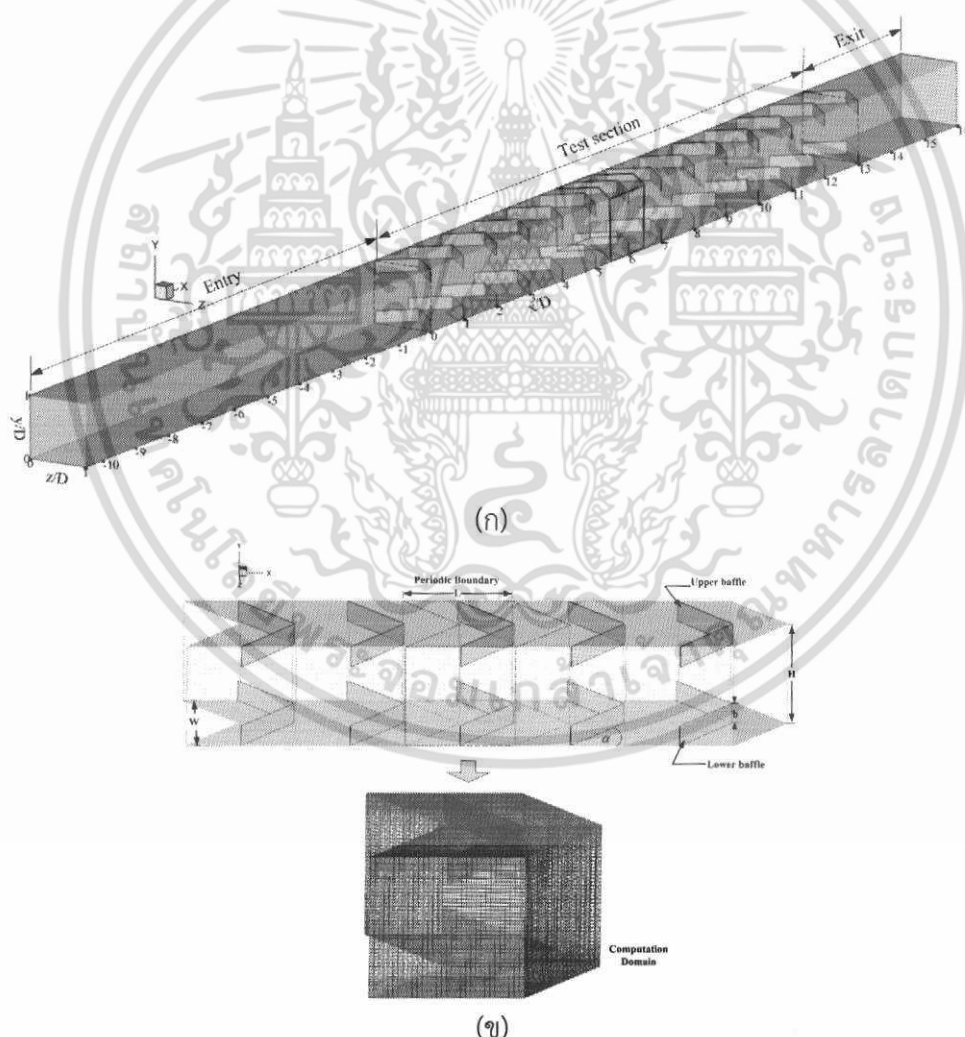
Promvong et al. (2011) ทำการศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองที่ได้จากโมดูลแบบเป็นคาบโดยทำการสมมติให้พฤติกรรมกรการไหล, การถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมประพฤติตัวแบบซ้ำกันทุก ๆ โมดูลและศึกษาพฤติกรรมกรการไหลในท่อยาว โดยทำการทดสอบถึงระยะการเกิดแบบเป็นคาบของพฤติกรรมกรการไหลและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังต่อไปนี้

6.6.1 รูปร่างของแผ่นกั้นที่ทำการศึกษา

ระบบที่ทำการศึกษาเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อ มีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream มีการจัดวางแบบ In-line แสดงดังรูปที่ 6.9 โดยท่อยาวที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูป 6.9(ก) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ทางเข้าซึ่งมีความยาวเท่ากับ 0.50 เมตร ส่วนที่สองเป็นช่วงที่ใช้ในการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีมีความยาวเท่ากับ 0.70 เมตร และส่วนที่สามเป็นส่วนปลายท่อทางออกมีความยาวเท่ากับ 0.10 เมตร สำหรับท่อที่ทำการศึกษาโดยสมมติพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมให้เป็นแบบเป็นคาบแสดงดังรูปที่ 6.9(ข) แผ่นกั้นตัววีที่ทำการศึกษาทดสอบมีค่า $\alpha = 45^\circ$ ทำการศึกษาในช่วง $BR = 0.10-0.25$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 สำหรับการไหลราบเรียบโดยมีค่า $Re = 100-2000$



รูปที่ 6.9 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบที่ผนังท่อ (ก) ท่อยาวใช้ในการทดสอบ (ข) โมเดลแบบเป็นคาบที่ใช้ในการทดสอบและลักษณะกริดที่ใช้

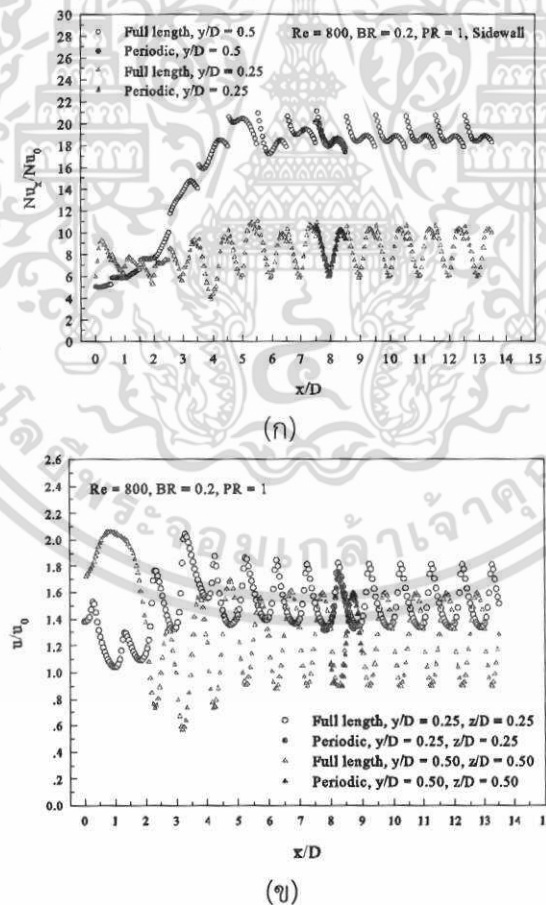
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเงื่อนไขขอบที่ใช้กับท่อทดสอบยาวนี้ คือ สภาวะทางเข้าเป็นแบบความเร็วสม่ำเสมอ (velocity inlet) และทางออกเป็นแบบ pressure outlet อากาศไหลเข้าด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และมีค่าเลขพรานด์เทิล (Prandtl number; Pr) คงที่เท่ากับ 0.707 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ผนัง ความเร็วมีค่าเท่ากับศูนย์ (no slip condition) เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) กำหนดให้ค่าฟลักซ์ความร้อนของแผ่นกั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ (แผ่นกั้นเป็นฉนวน) ให้ที่ผนังในส่วนที่ใช้ในการทดสอบ ทุกด้านของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอุณหภูมิผิวคงที่ 310 K ส่วนเงื่อนไขขอบสำหรับโมดูลเป็นไปตามหัวข้อที่ 6.4

6.6.2 ผลการทดลอง

6.6.2.1 การเข้าสู่รูปแบบการไหลเป็นคาบแบบปรับตัวเต็มที่ (fully developed periodic)

การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเงื่อนไขในการพัฒนาสู่รูปแบบ fully developed periodic flow เป็นเรื่องที่สำคัญ โดยสามารถนำเสนอและอธิบายเงื่อนไขดังกล่าวได้ในรูปของค่าการกระจายตามแนวแกนของ Nu_x/Nu_0 และ u/u_0 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.10–6.12 ซึ่งได้นำเสนอการพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic flow สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสกรณี $BR=0.20$, $Re = 800$ และ $PR = 1.00$



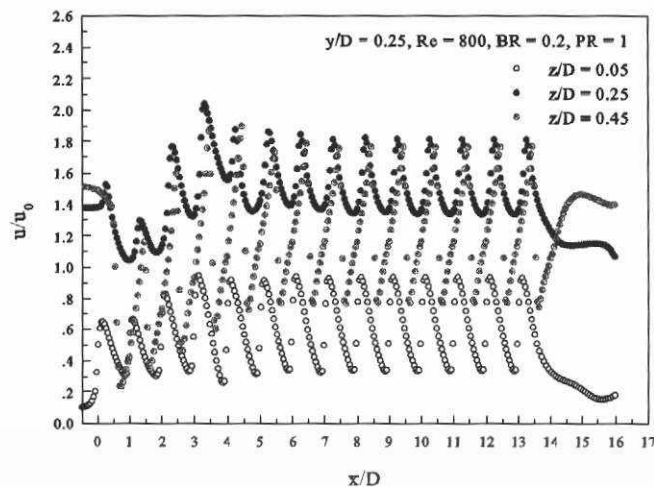
รูปที่ 6.10 ค่าการกระจายสำหรับ (ก) Nu_x/Nu_0 และ (ข) u/u_0 กรณี $PR=1.00$, $BR=0.20$ และ $Re=800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

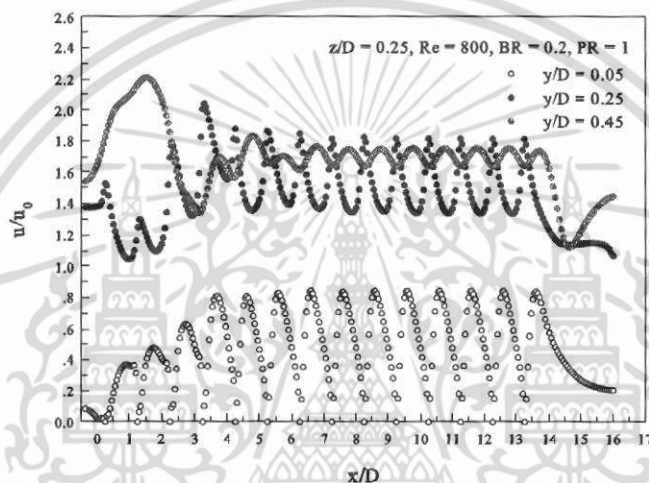
รูปที่ 6.10(ก) นำเสนอค่า Nu_x/Nu_0 ที่ตำแหน่ง $y/D = 0.25$ และ 0.50 สำหรับผนังด้านข้างที่ไม่มีการเพิ่มแผ่นกัน จากรูปพบว่า ค่าการกระจายตามแนวแกนสำหรับ Nu_x/Nu_0 เข้าสู่พฤติกรรมแบบเป็นคาบที่โมดูลที่ 2 และหลังจากนั้นได้พัฒนาเพื่อเข้าสู่เงื่อนไข fully developed periodic flow ที่โมดูลที่ 7 หรือที่ตำแหน่ง $x/D \approx 7$ สำหรับกรณี $y/D = 0.25$ ส่วนกรณี $y/D = 0.50$ พบว่าการเข้าสู่พฤติกรรมแบบเป็นคาบเกิดหลังจากโมดูลที่ 3 และพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic flow ประมาณโมดูลที่ 8 หรือที่ตำแหน่ง $x/D \approx 8$ ดังนั้นจากรูปจึงสามารถสรุปได้ว่าที่ตำแหน่งไกลกับแผ่นกัน พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของ Nu_x/Nu_0 จะเข้าสู่เงื่อนไข fully developed periodic flow ได้เร็วกว่าตำแหน่งที่ไกลออกมาจากแผ่นกัน

รูปที่ 6.10(ข) นำเสนอค่าการกระจายตามแนวแกนของ u/u_0 สำหรับแผ่นกันตัววีในท่อจัดรัศมีกรณี $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 800$ สำหรับตำแหน่ง $y/D = 0.25$, $z/D = 0.25$ และ $y/D = 0.50$, $z/D = 0.25$ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า u/u_0 สำหรับทุกกรณีแสดงพฤติกรรมแบบเป็นคาบที่โมดูลที่ 2 และมีแนวโน้มในการพัฒนาเพื่อเข้าสู่ fully developed periodic flow ที่ประมาณโมดูลที่ 7 ถึง 8 หรือตำแหน่งที่ $x/D \approx 7 - 8$ เช่นเดียวกับลักษณะของการถ่ายเทความร้อน สามารถสรุปได้ว่าค่า u/u_0 ที่ตำแหน่งไกลกับแผ่นกันคือที่ $y/D = 0.25$ มีแนวโน้มเข้าสู่ fully developed periodic flow ได้เร็วกว่า $y/D = 0.50$ เล็กน้อย

จากรูปที่ 6.11 ได้นำเสนอค่าการกระจายตามแนวแกนสำหรับ u/u_0 ที่ตำแหน่งต่าง ๆ สำหรับ 6.11(ก) กำหนดให้ $y/D = 0.25$ คงที่ ส่วนที่ 6.11(ข) กำหนดให้ $z/D = 0.25$ คงที่ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่า u/u_0 ที่ค่า z/D ต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเข้าสู่เงื่อนไข fully developed periodic flow ส่วนเมื่อทำการศึกษา u/u_0 ที่ตำแหน่ง y/D ต่าง ๆ พบว่าเงื่อนไขในการเข้าสู่ fully developed periodic flow แตกต่างกันไปในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าที่ตำแหน่งตามแนวแกน y ไกลกับแผ่นกัน เงื่อนไขการเข้าสู่พฤติกรรมแบบ fully developed periodic flow จะมีความรวดเร็วกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไป



(ก)



(ข)

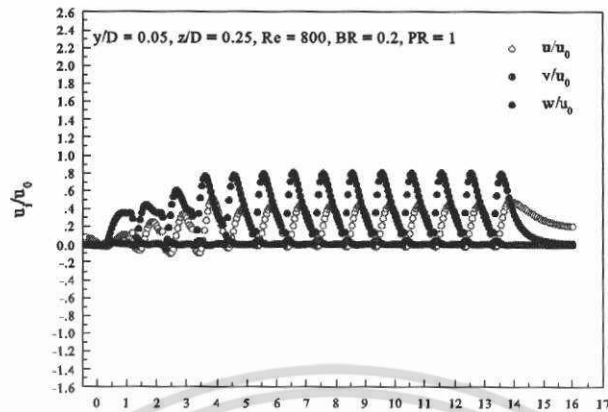
รูปที่ 6.11 ค่าการกระจายสำหรับ (ก) u/u_0 และ (ข) u/u_0 กรณี $PR=1.00$, $BR=0.20$ และ $Re=800$ ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาค่าการกระจายความเร็วในแกนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6.12 แสดง รูปร่างความเร็วสำหรับ (ก) $y/D = 0.05$, (ข) $y/D = 0.25$ และ (ค) $y/D = 0.45$ สำหรับกรณี $z/D = 0.25$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 800$ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าความเร็วในแกนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย u , v และ w velocity ในแกน x , y และ z จะมีพฤติกรรมแบบเป็นคาบที่โมดูลที่ 2 สำหรับที่ $y/D = 0.05$ และ $y/D = 0.25$ ส่วนที่ $y/D = 0.45$ จะมีพฤติกรรมแบบเป็นคาบที่โมดูลที่ 3 หลังจากนั้นจะพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic flow ที่ตำแหน่งโมดูลที่ 4, 6 และ 8 สำหรับตำแหน่ง $y/D = 0.05$, $y/D = 0.25$ และ $y/D = 0.45$ ตามลำดับ ทั้งนี้การพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic flow ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย BR และ PR โดยระยะการพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic flow จะเร็วขึ้นเมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นและค่า PR น้อยลง

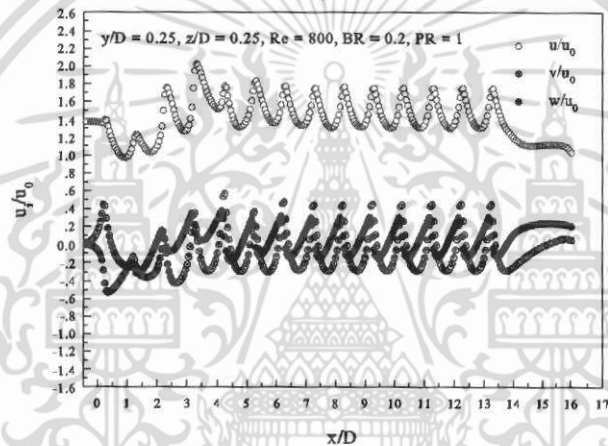
ดังนั้น นิยามของการพัฒนาพฤติกรรมการไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ fully developed periodic สำหรับช่วงการไหลราบเรียบในท่อจตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกันควรจะอยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

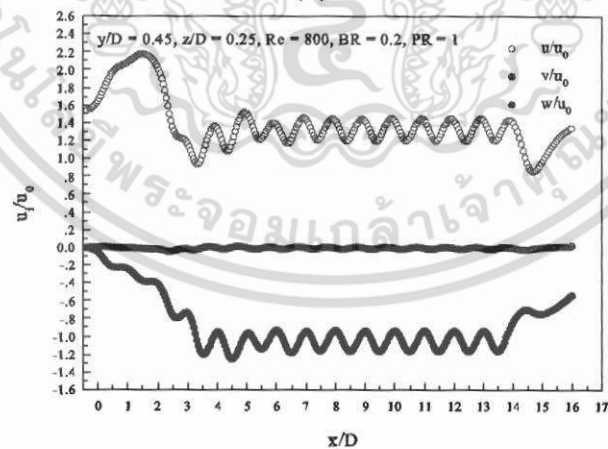
ประมาณ $x/D > 10$ เนื่องจากที่ระยะที่แนะนำนี้ ทั้งค่า u/u_0 และ Nu_x/Nu_0 มีการพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic ทั้งสองส่วนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว



(ก)



(ข)



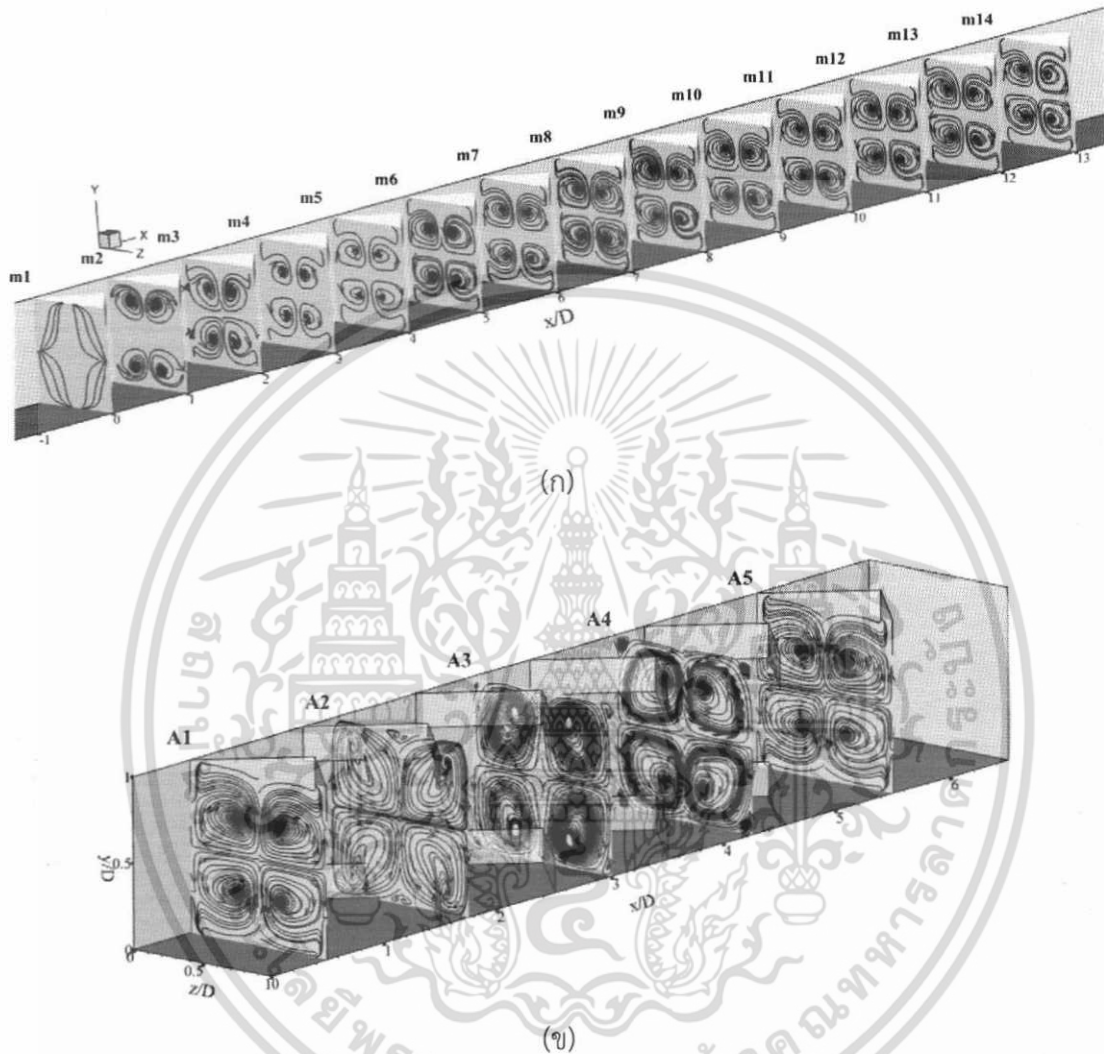
(ค)

รูปที่ 6.12 รูปร่างความเร็วสำหรับ (ก) $y/D = 0.05$, (ข) $y/D = 0.25$ และ (ค) $y/D = 0.45$ สำหรับกรณี $z/D = 0.25$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re=800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.2.2 โครงสร้างการไหล

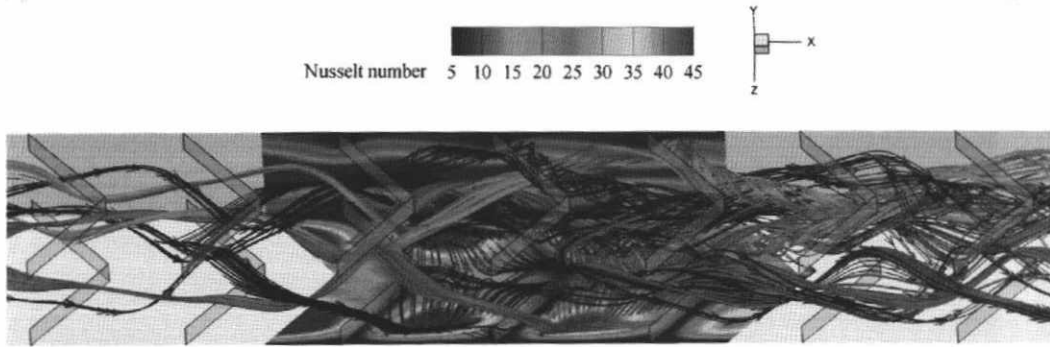
ในส่วนของโครงสร้างการไหลจะทำการเปรียบเทียบทั้งส่วนของท่อยาวและท่อแบบเป็นโมดูลซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.13 ส่วนเส้นกระแสการไหลใน 3 มิติแสดงดังรูปที่ 6.14 ซึ่งนำเสนอเกี่ยวกับโครงสร้างการไหลแบบละเอียดสำหรับท่อจัตุรัสที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววี



รูปที่ 6.13 โครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหลที่กรณี $Re = 800$, $BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$ สำหรับ (ก) ท่อยาว และ (ข) โมดูลแบบเป็นคาบ

จากรูปที่ 6.13(ก) แสดงโครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหลสำหรับในท่อยาวโดยมีการแบ่งโมดูลออกเป็น 14 โมดูล คือ m1-m14 จะเห็นได้ว่า โครงสร้างการไหลจะมีพฤติกรรมแบบเป็นคาบที่ประมาณโมดูลที่ 2 หรือที่ระนาบ m2 หลังจากนั้นจะเข้าสู่ fully developed periodic flow ที่โมดูลที่ 6-7 หรือที่ระนาบ m6-m7 โดยโครงสร้างการไหลในระนาบที่นำเสนอจะมีลักษณะเหมือนกับโครงสร้างการไหลสำหรับท่อที่มีลักษณะเป็นโมดูลดังรูปที่ 6.13(ข) ในระนาบที่ A1 และ A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

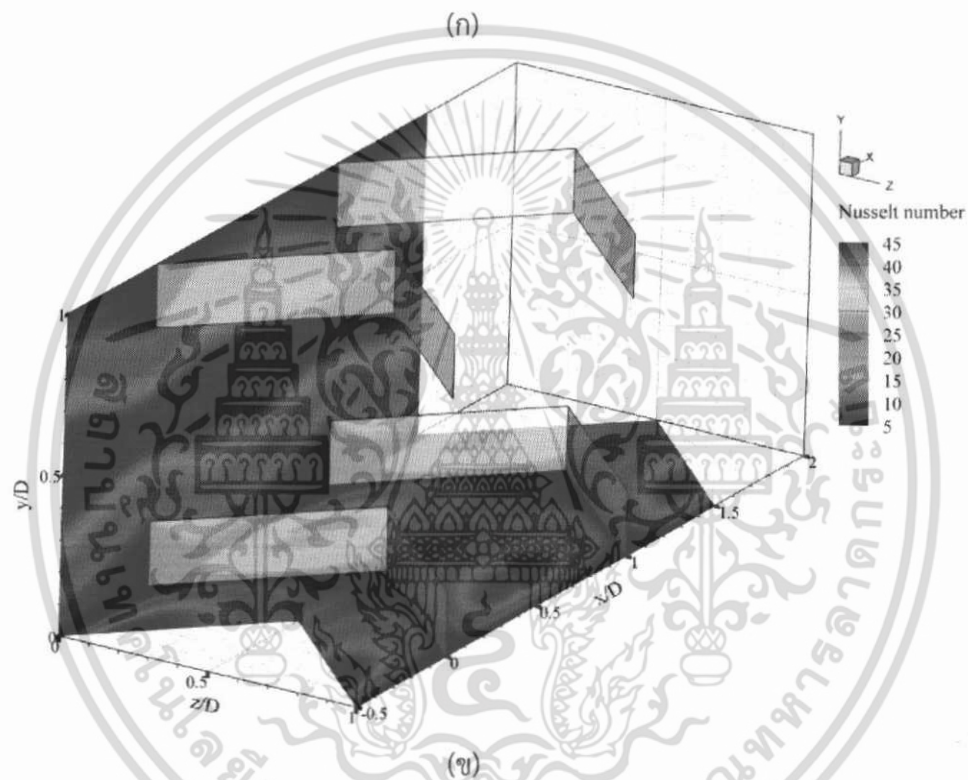
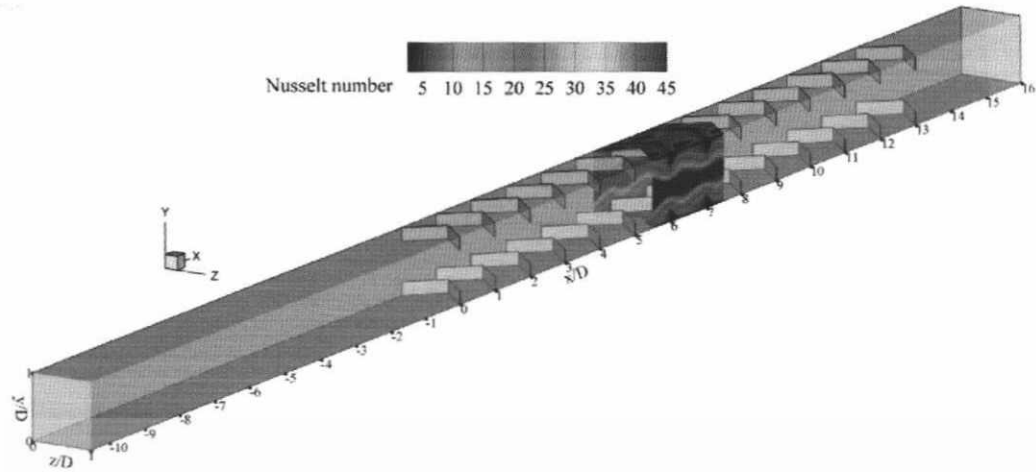


รูปที่ 6.14 เส้นกระแสการไหล 3 มิติ กระแสที่ผนังด้านล่างและผนังด้านข้างของท่อในแต่ละโมดูล
กรณี $Re = 800$, $BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$

จากรูปที่ 6.14 แสดงเส้นกระแสการไหล 3 มิติของอากาศที่เกิดการกระแทกบริเวณผนังของท่อซึ่งพบว่าในแต่ละโมดูลจะเกิดการกระแทกทั้งผนังด้านข้างและผนังด้านล่างซึ่งเรียกว่ากระแสการไหลแบบเป็นคู่ (Pair Vortex, P-Vortex) ซึ่งเป็นเส้นกระแสการไหลที่เกิดจากการรวมตัวของเส้นกระแสการไหลที่เกิดการกระแทกและสลายในโมดูลก่อนหน้า แล้วรวมตัวพันกันเป็นลักษณะของริบิ้น เกิดการกระแทกบริเวณที่ผนังท่อด้านล่างและด้านข้างแล้วสลายตัว โดยลักษณะการเกิดการกระแทกดังกล่าวจะเกิดแบบเป็นคาบ (periodic) หรือมีการประทุตีตัวซ้ำ ๆ กันในทุกโมดูล

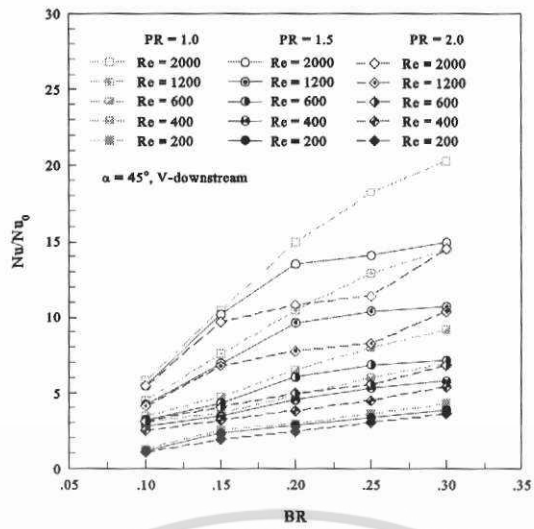
6.6.2.3 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนแสดงดังรูป 6.15 ของการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อทั้งสองด้านสำหรับทั้งในส่วนของท่อยาวและท่อเป็นโมดูล ซึ่งจากรูปพบว่าค่าการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อสำหรับทั้งสองกรณีมีลักษณะการกระจายที่เหมือนกันคือมีแถบสีแดงแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มสูงที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกัน ส่วนผนังท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการเพิ่มแผ่นกันจะแสดงแถบสีแดงสองจุดบริเวณใกล้กับผนังท่อด้านข้างทั้งสองด้าน ดังนั้นจากรูปจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่าการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกันเข้าสู่พฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบ fully developed periodic แล้ว โดยประมาณโมดูลที่ 6-7 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนทั้งในส่วนของท่อยาวและท่อแบบโมดูลจะมีลักษณะหรือพฤติกรรมที่เหมือนกัน และเมื่อสรุปจากค่า Nu/Nu_0 พบว่าจากกรณีทั้งสองกรณีให้ค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาดที่ประมาณ 0.50%

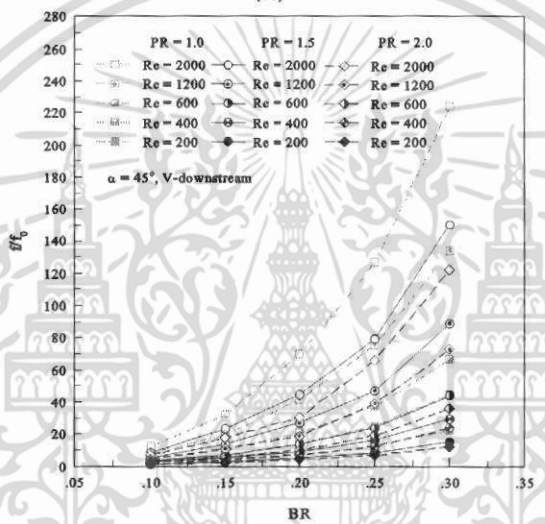


รูปที่ 6.15 การกระจาย Nu_x สำหรับ (ก) ท่อยาวและ (ข) โมดูลแบบเป็นคาบ กรณี $Re = 800$, $BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$

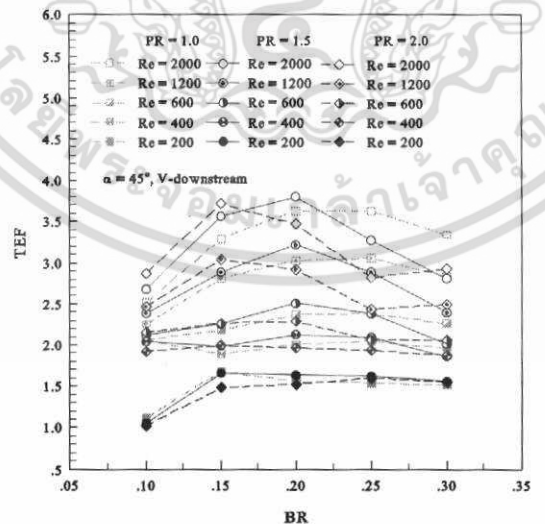
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6.16 การประเมินค่าสมรรถนะ (ก) Nu/Nu_0 , (ข) f/f_0 และ (ค) TEF กับค่า BR ที่ค่า Re และ PR ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.2.4 การประเมินค่าสมรรถนะ

การประเมินค่าสมรรถนะในรูปของ Nu/Nu_0 , f/f_0 และ TEF แสดงดังรูปที่ 6.16 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การเพิ่มแผ่นกั้นตัวววนท่อจัดรัศทำให้เกิด P-vortex ซึ่งช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มแผ่นกั้นตัวววนทำให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วย
- ค่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนมีค่าเท่ากับ 1.00–21.00 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ส่วนค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 1.10–225.00 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า
- ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.80 สำหรับกรณี $BR = 0.20$, $PR = 1.50$ และ $Re = 2000$ เมื่อคำนวณที่กำลังขับเดียวกัน
- พฤติกรรมการไหล, การถ่ายเทความร้อนจะพัฒนาเข้าสู่ fully developed periodic ที่ ประมาณโมดูลที่ 8 จากกระยะเริ่มต้นของการติดตั้งแผ่นกั้น ดังนั้นสำหรับท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งมีความยาวค่อนข้างมากจึงสามารถทำนายค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบเป็นโมดูลได้ เนื่องจากระยะเวลาในการคำนวณสำหรับท่อที่มีความยาวเท่ากับท่อจริงและท่อที่มีการสมมติให้เป็นโมดูลมีความแตกต่างกันมาก



โครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดัน ตกคร่อมของแผ่นกั้นตัววี

7.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการศึกษาด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลข สำหรับพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมสำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ในท่อ โดยจะพิจารณาในส่วนของอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์, อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น (อัตราส่วนการบล็อกการไหล), อิทธิพลของระยะพิตต์, อิทธิพลของมุมปะทะ, อิทธิพลของทิศทางการไหล, อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น, อิทธิพลของการตัดขอบของแผ่นกั้นตัววีและอิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ โดยแสดงผลจากการศึกษาด้วยรูปภาพซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม เช่น การแสดงเส้นกระแสการไหลในแนวแกนต่าง ๆ, คอนทัวร์หรือการกระจายอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งการแสดงผลในลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้สามารถอธิบายถึงค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการเพิ่มการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี

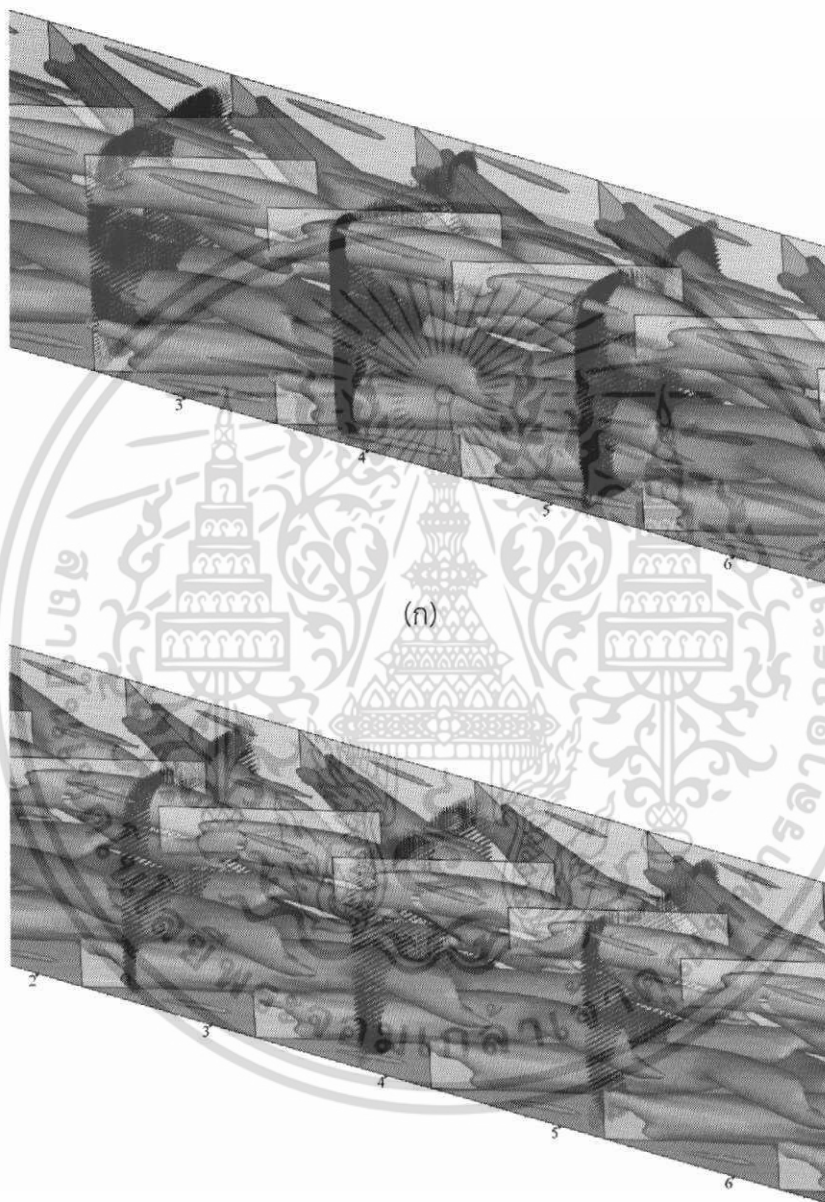
7.2 โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นตัววี

โครงสร้างการไหลโดยทั่วไปของแผ่นกั้นตัววีจะแสดงในรูปของเปลือกห่อหุ้มแกนการไหล, eye of vortex, core of vortex หรือ iso-surfaces มาใช้ในการอธิบายโครงสร้างการไหล เนื่องจากการแสดงผลในลักษณะดังกล่าวสามารถอธิบายแกนการไหลหลักหรือโครงสร้างการไหลในภาพรวมได้ดีกว่าการนำเสนอรูปร่างการไหลหรือพฤติกรรมการไหลในรูปแบบอื่น ๆ สำหรับโครงสร้างการไหลจะนำเสนอทั้งในส่วนของการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream การติดตั้งแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered ดังรูปที่ 7.1 ถึง 7.3

รูปที่ 7.1 แสดงโครงสร้างการไหลของของไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีแบบ V-Downstream โดยแสดงในรูปของ iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$, $Re = 1000$, $BR = 0.20$ และ $PR = 1.00$ สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered จากรูปจะเห็นว่าแกนการไหลซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นตัววีของกรณีการจัดวางทั้งสองแบบจะมีลักษณะคล้ายกัน โดยแกนการไหลของการจัดวางแบบ In-line จะมีความสมมาตรกันทั้งด้านซ้ายขวาบนและล่างของท่อ ส่วนการจัดวางแบบ Staggered จะมีความสมมาตรที่ด้านซ้ายและด้านขวาของท่อเท่านั้น แกนการไหลของของไหลจะเกิดที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น บริเวณขอบด้านข้างของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) และสิ้นสุดที่ยอดของตัววีหรือ V-tip เมื่อกระแสการไหลข้ามแผ่นกั้นไปเป็นระยะประมาณ 2-3 โมดูล ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา เมื่อเกิดการสลายตัวที่บริเวณ V-tip ก็จะทำให้เกิดโครงสร้างการไหลที่บริเวณ BLE ของโมดูลนั้น ๆ อีกครั้ง ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวคือการไหลแบบเป็นคาบ เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันตกคร่อมที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นกั้นทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและเกิดการหมุนวนกระแทกที่บริเวณผิวท่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น แผ่นกั้นตัววีจะทำให้เกิดแกนการไหลหลัก 4 แกน และเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่มุมทั้ง 4 ด้านของท่อ จากกรณี $Re = 1000$,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

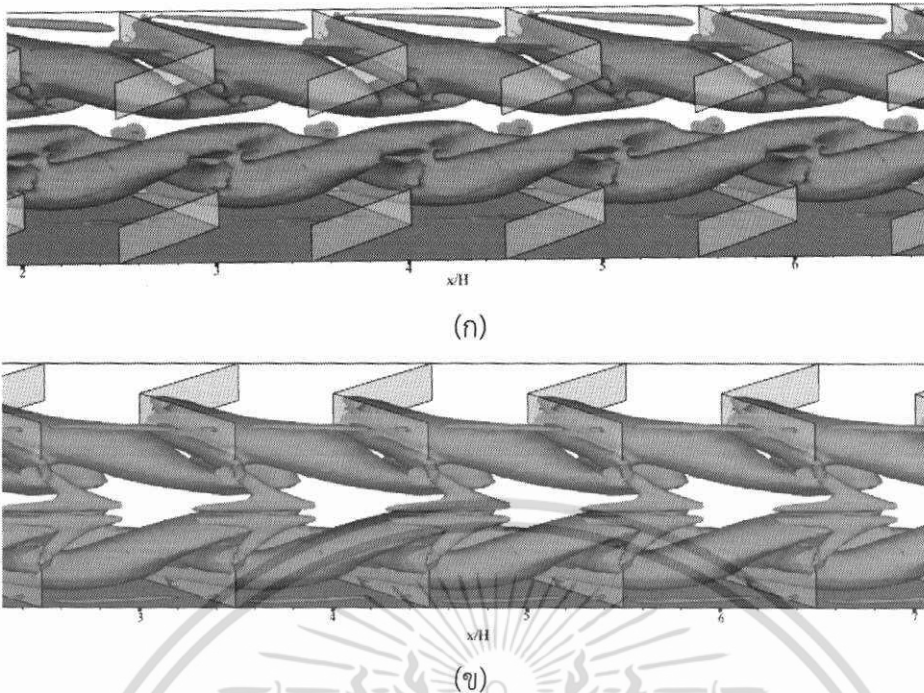
$BR=0.20$ พบว่า สำหรับการจัดวางแบบ In-line โครงสร้างการไหลหลักหรือแกนการหมุนวนหลักซึ่งเกิดที่บริเวณด้านหลักของแผ่นกั้นจะหมุนวนข้ามโมดูลหรือแผ่นกั้นตัววีเป็นระยะประมาณ 2-3 โมดูล ก่อนที่จะเกิดการกระแทกที่ผนังของท่ออีกครั้ง ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งแบบ In-line และ Staggered ทั้งนี้ เกลียวก่อนกระแทกที่ผนังของท่อและเกลียวหลักการกระแทกยังขึ้นอยู่กับปัจจัยตัวอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วยค่า Re , PR , BR และ α



(ข)

รูปที่ 7.1 iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$ ของแผ่นกั้นตัววีและเวกเตอร์ความเร็วสำหรับแผ่นกั้นแบบ V-Downstream (ก) In-line และ (ข) Staggered ที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$

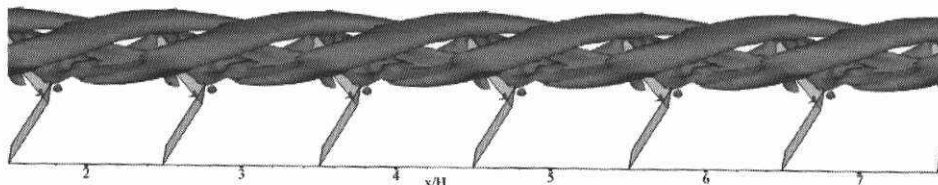
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



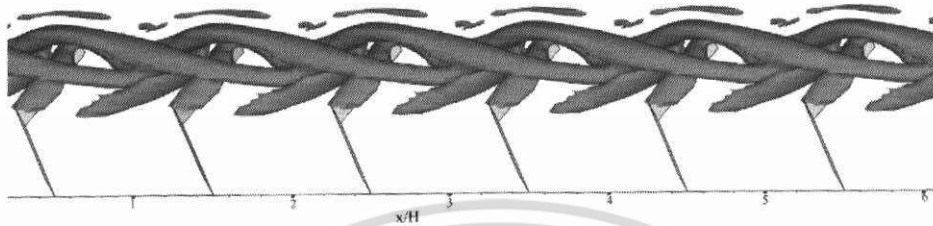
รูปที่ 7.2 iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$ ของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$

รูปที่ 7.2 แสดงโครงสร้างการไหล iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$ ของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ เนื่องจากการจัดวางแบบ In-line จะมีการจัดความสมมาตรของการโครงสร้างการไหลด้านซ้ายและด้านขวาจึงแสดงเฉพาะโครงสร้างการไหลเพียงด้านเดียวที่มีความสมมาตรกัน จากรูปจะเห็นได้ว่าแกนการไหลหลักจะเกิดที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ในส่วนของเกลียวการกระแทกที่ผนังด้านบน, ด้านล่างและด้านข้างจะมีความสั้นยาวแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับค่า Re , BR , PR , α และการจัดวางแผ่นกั้น สำหรับแผ่นกั้นแบบ V-Downstream กระแสการไหลหลักจะกระแทกที่บริเวณผนังด้านข้างทั้งสองข้างทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านข้างสูงกว่าด้านบนและด้านล่างที่มีการติดแผ่นกั้นตัววี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกลียวที่เกิดจากแผ่นกั้นแบบ V-Downstream จะเป็นเกลียวในลักษณะเป็น common-flow-up เมื่อพิจารณาเฉพาะที่แผ่นกั้นด้านล่างของท่อ ในทางตรงกันข้ามสำหรับแผ่นกั้นแบบ V-Upstream จะเกิดการกระแทกที่บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างมากกว่าด้านข้าง ดังนั้นเกลียวที่เกิดจากแผ่นกั้นแบบ V-Upstream จะมีลักษณะเป็น common-flow-down ซึ่งลักษณะของเกลียวที่ต่างกันของทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream นำไปสู่การกระแทกของกระแสการไหลในตำแหน่งที่แตกต่างกันออกไป โดยจะสามารถพิจารณาได้ในรูปของการกระจาย Nu_x ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป และค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของ Nu/Nu_0 ที่ผนังซึ่งจะแยกพิจารณาผนังในแต่ละด้านของท่อสำหรับทั้งสองกรณีจะนำเสนอในส่วนของบทที่ 8 และสามารถเปรียบเทียบได้จากรูปแสดงการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อการพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.3 iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$ ของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$

รูปที่ 7.3 แสดงโครงสร้างการไหล iso-surfaces ที่ค่า $\lambda_2 = -200$ ของแผ่นกั้นตัววีจัดวางแบบ In-line (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ที่ $\alpha = 60^\circ$, $BR = 0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับรูปแสดงโครงสร้างการไหลได้นำเสนอเพียง 1 ส่วน ใน 4 ส่วนของท่อเท่านั้น เนื่องจากโครงสร้างการไหลที่สมมาตรกันของการจัดวางแบบ In-line จากรูปเมื่อพิจารณาแบบ V-Downstream เมื่อเกิดการหมุนวนหลักที่บริเวณหลังแผ่นกั้นแล้วกระแสการไหลจะม้วนตัวข้ามแผ่นกั้นไป 2 โมดูล ก่อนที่จะเกิดการสลายตัวโดยพฤติกรรมนี้จะเกิดขึ้นในทุก ๆ โมดูลที่ทำการศึกษา เนื่องจากเป็นช่วงการไหลแบบเป็นคาบและมีการปรับตัวเต็มที สำหรับแบบ V-Upstream เมื่อเกิดการหมุนวนหลักที่บริเวณหลังแผ่นกั้นแล้วกระแสการไหลจะม้วนตัวข้ามแผ่นกั้นไป 2 โมดูลเช่นกัน แต่ลักษณะเกลียวจะยาวกว่าแบบ V-Downstream เล็กน้อย เมื่อพิจารณาทิศทางของเกลียวการไหลทั้งสองกรณีพบว่า การไหลเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกาสำหรับ V-Downstream และเป็นแบบตามเข็มนาฬิกาสำหรับ V-Upstream เมื่ออ้างอิงจากทิศทางการไหล (จากซ้ายไปขวา)

เมื่อพิจารณาถึงกรณีศึกษาอื่น ๆ พบว่าเกลียวการไหลวนหรือหมุนวนจะมีระยะไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับค่า Re , BR , PR , α และการจัดวางแผ่นกั้น ซึ่งจะส่งผลถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมด้วย

7.3 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์

ในส่วนของอิทธิพลของ Re ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $BR=0.20$ ที่ค่า Re ต่าง ๆ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ Re โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

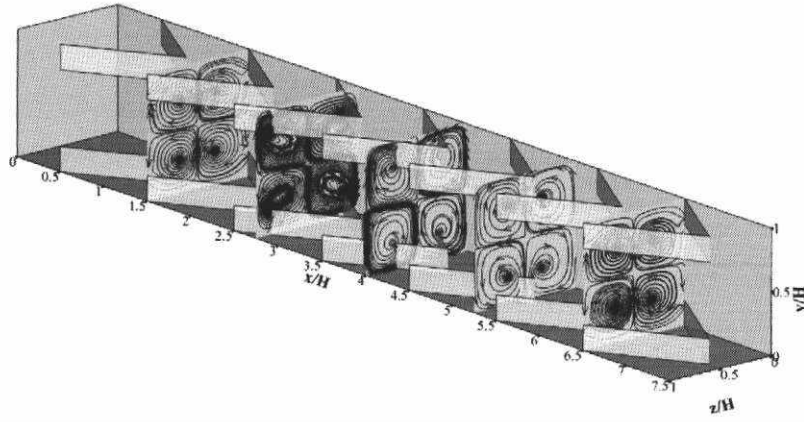
ถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววี่ที่ค่า Re ต่าง ๆ

7.3.1 เส้นกระแสการไหล

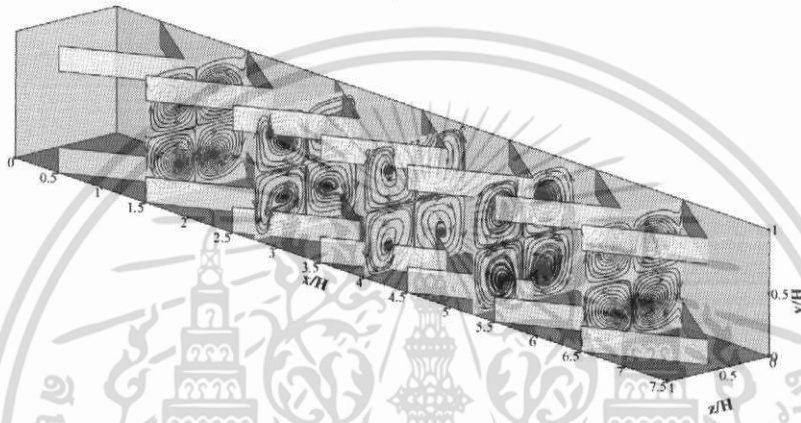
ในส่วน of เส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหล และระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี่ โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ค่า Re ต่าง ๆ ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี่ โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.4 และ 7.5 แต่เนื่องจากเมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี่ทำให้พฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงได้นำเสนอการไหลในรูปแบบ 3 มิติ โดยเป็นการไหลที่เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อและที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ ดังรูปที่ 7.6 ถึง 7.7

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับ $Re = 100, 500$ และ 800 ส่วนโครงสร้างเส้นกระแสการไหลใน 3 มิติจะพิจารณาการไหลสำหรับ $Re = 100, 200, 300, 400, 500, 600, 1000, 1200, 1600$ และ 2000

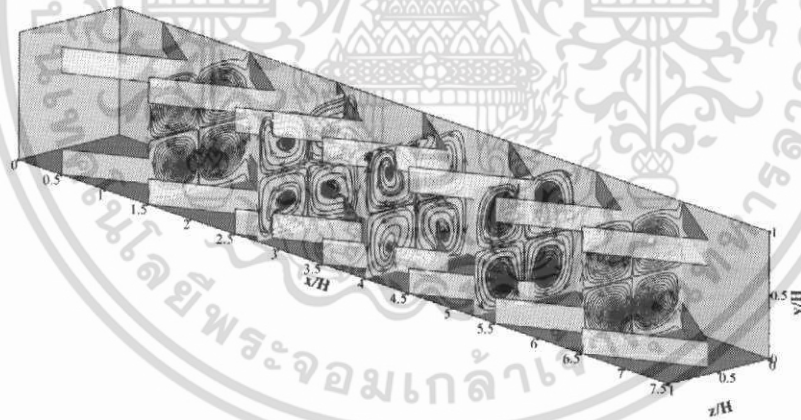
รูปที่ 7.4 และ 7.5 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $PR=1.00$ และ $BR = 0.20$ สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$ จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นกระแสการไหลสำหรับระนาบขวางการไหลจะมีลักษณะคล้ายกันทุก Re คือมีแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน และแกนการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อทั้ง 4 มุม ตำแหน่งของแกนการหมุนวนหลักสำหรับระนาบขวางการไหลทั้ง 5 ระนาบของทุก Re เป็นตำแหน่งเดียวกัน ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววี่ซึ่งเกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $1/4$ ของโมดูลหรือระนาบที่ 2 แกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี่ (V -tip) จนถึงระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $1/2$ ของโมดูลและระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $3/4$ ของโมดูล แกนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V -tip แล้วสลายไปที่ระนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V -tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ BLE อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเติมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววี่เหมือนกัน



(ก)



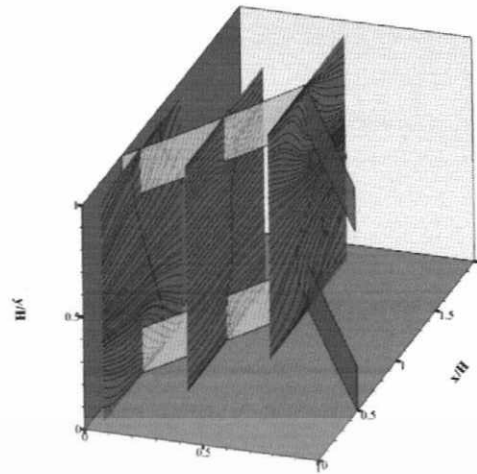
(ข)



(ค)

รูปที่ 7.4 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$,
In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

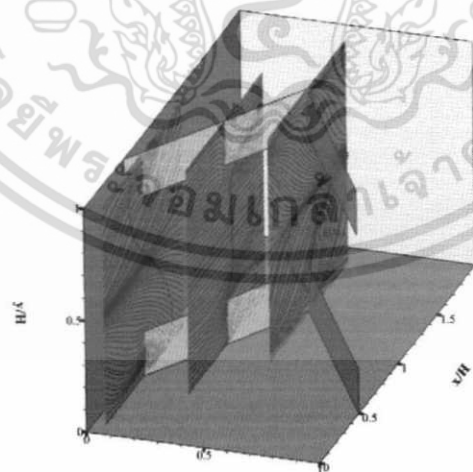
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



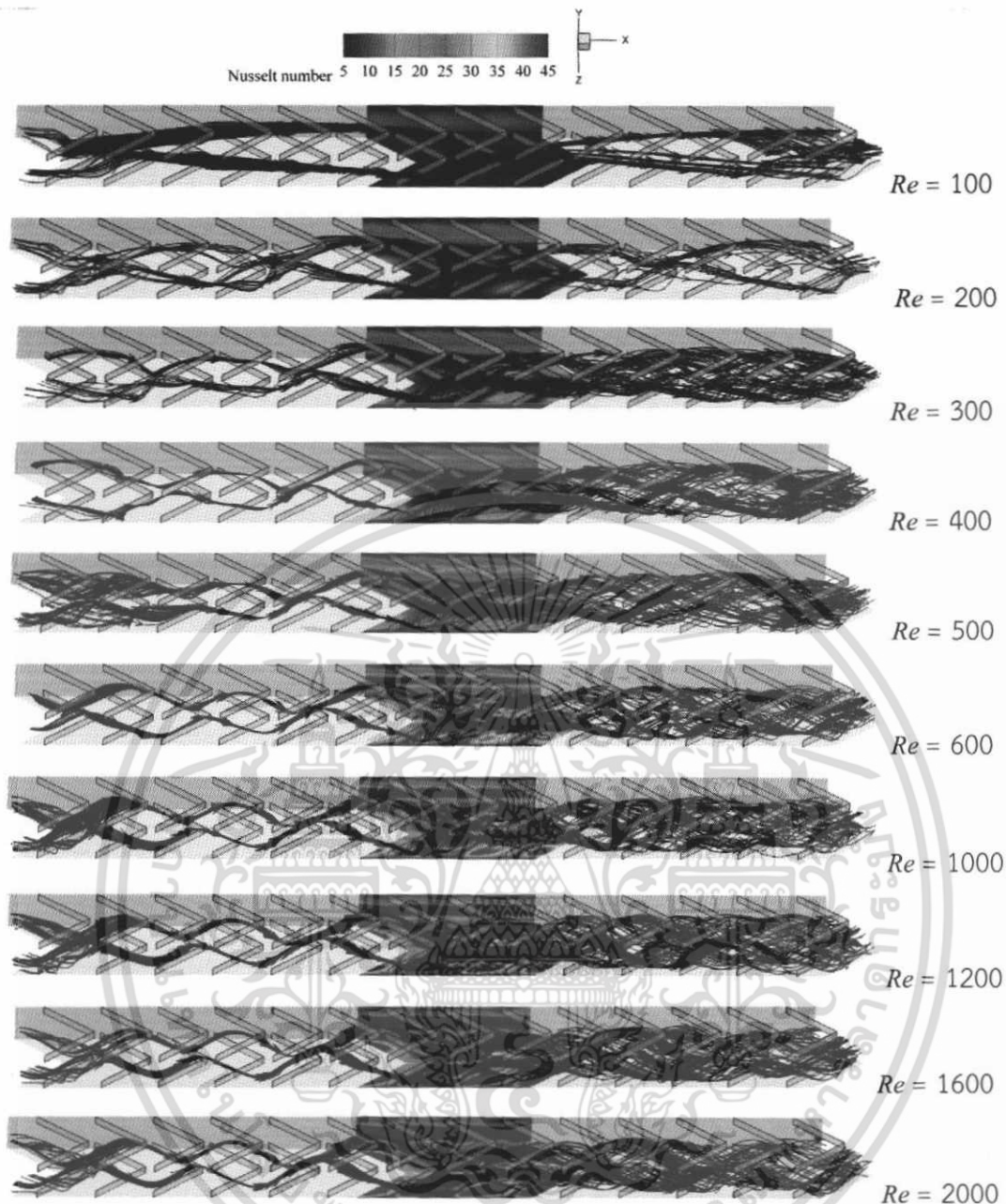
(ข)



(ค)

รูปที่ 7.5 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 เส้นกระแสการไหล 3 มิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านล่างและการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า Re ต่าง ๆ

สำหรับในส่วนของการไหลแสดงให้เห็นลักษณะของระนาบการไหลที่แตกต่างกัน 3 ระนาบ เมื่อพิจารณาระนาบที่ 1 ซึ่งเป็นระนาบที่อยู่ใกล้กับผนังท่อมากที่สุด พบว่าที่ $Re = 100$ ระนาบที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นกระแสการไหลที่ระนาบดังกล่าวเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับ $Re = 500$ และ 800 ซึ่งในระนาบที่ 1 พบว่าเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี่จะเกิดการหมุนวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นตัววี่อย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อพิจารณาระนาบที่ 2 จากซ้ายมือ พบว่าแนวโน้มของเส้นกระแสการไหลเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อของไหล

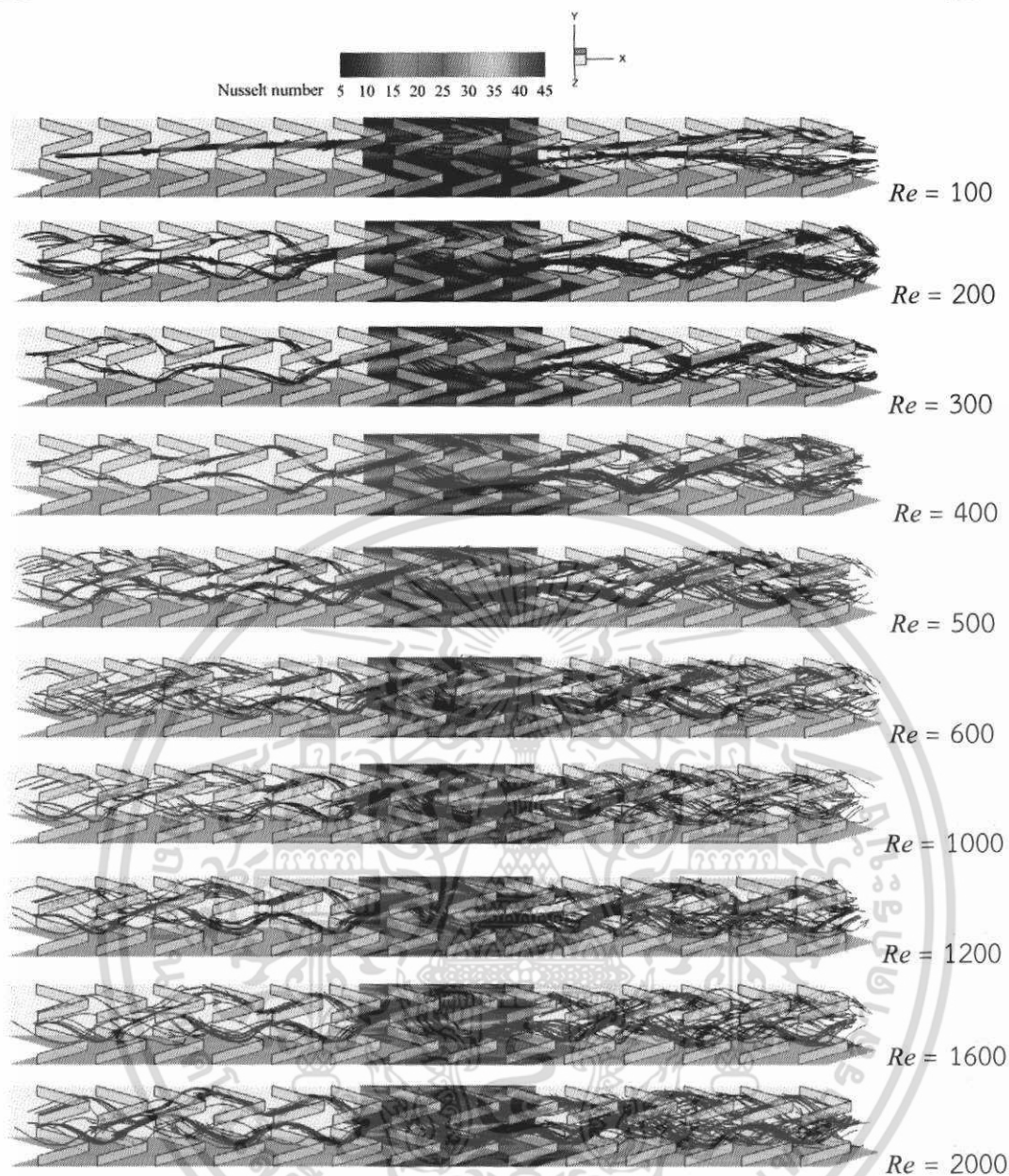
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีสำหรับทุก ๆ ค่า Re สำหรับระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของท่อคือ ตำแหน่ง V-tip พบว่าที่ค่า $Re = 100$ เส้นกระแสการไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในขณะที่ $Re = 500$ และ 800 เส้นกระแสการไหลเกิดความปั่นป่วนเมื่อไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าที่ค่า $Re = 500$ และ 800 จะเกิดการหมุนวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นอย่างชัดเจน เนื่องจากจากความแตกต่างของความดันที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังแผ่นกั้น โดยบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของการไหลมากที่สุดคือบริเวณที่อยู่ใกล้กับผนังของท่อทั้ง 4 ด้าน

ดังนั้นจากรูปโครงสร้างการไหลตามระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระดับความแรงของการเกิดกระแสหมุนวนมากขึ้น ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสามารถดูได้จากการแสดงผลในรูปของ Nu/Nu_0 ในบทที่ 8

รูปที่ 7.6 แสดงการไหลใน 3 มิติ และการกระจายของ Nu_x สำหรับแผ่นกั้นตัววีเมื่อมีค่า Re แตกต่างกัน พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นทำให้เกลียวการไหลหรือเกลียวการหมุนวนก่อนการกระแทกที่บริเวณผนังท่อและเกลียวหลังการกระแทกที่เกิดจากแผ่นกั้นตัววีมีระยะลดลง โดยที่ $Re=100$ เกลียวการหมุนวนของของไหลก่อนที่จะกระแทกผนังด้านล่างของท่อจะมีความยาวมากที่สุด โดยมีค่าประมาณ $6-8H$ และเกลียวหลังการกระแทกที่ผนังด้านล่างของท่อจะมีค่าประมาณ $8-9H$ และเมื่อค่า $Re = 500-2000$ เกลียวการหมุนวนก่อนการกระแทกจะเริ่มคงที่ โดยมีค่าประมาณ $3-4H$ และเกลียวหลังการกระแทกจะมีค่าประมาณ $3-4H$ เช่นกัน ถึงแม้ว่าเกลียวในการกระแทกจะมีความยาวใกล้เคียงกันแต่ความรุนแรงในการกระแทกมีค่าแตกต่างกัน สำหรับความรุนแรงในการกระแทกจะสังเกตได้จากการกระจายของ Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ จากลักษณะแถบสีที่เกิดขึ้นพบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นความรุนแรงในการกระแทกก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ $Re = 2000$ จะเห็นแถบสีแดงที่บริเวณผิวท่อมากที่สุด แสดงว่าเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่มากที่สุด ส่งผลให้เกิดค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดด้วย ซึ่งตรงข้ามกับ $Re = 100$ ซึ่งแสดงแถบสีฟ้า และเกิดเกลียวในการหมุนวนยาวที่สุดแสดงว่าให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ Re อื่น ๆ ที่ทำการศึกษา

และเมื่อพิจารณาเส้นกระแสการไหลสามมิติสำหรับของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อ ด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นและการกระจาย Nu_x ที่ผิวท่อที่ค่า Re ต่าง ๆ ดังรูปที่ 7.7 พบว่า แนวโน้มของเกลียวในการกระแทกและความรุนแรงในการกระแทกเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการกระแทกบริเวณผนังท่อด้านล่างคือ เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นเกลียวในการหมุนวนก่อนการกระแทกจะมีค่าลดลงทั้งก่อนและหลังการกระแทกที่บริเวณผนัง โดยเมื่อค่า Re มากกว่า 500 ระยะของเกลียวจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เช่นเดียวกับค่าความรุนแรงเมื่อพิจารณาจากการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผนังท่อ ซึ่งพบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นความรุนแรงในการกระแทกของกระแสการไหลก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจากรูปที่ $Re = 2000$ จะให้ค่าความรุนแรงในการกระแทกและนำไปสู่ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด ส่วน $Re = 100$ จะให้ค่าความรุนแรงในการกระแทกและค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด สำหรับกรณีค่า Re ที่ทำการศึกษา

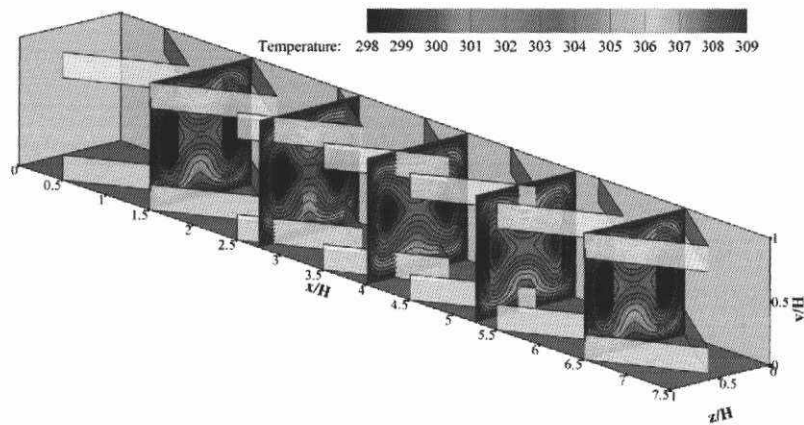


รูปที่ 7.7 เส้นกระแสการไหลสามมิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านข้างและการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า Re ต่าง ๆ

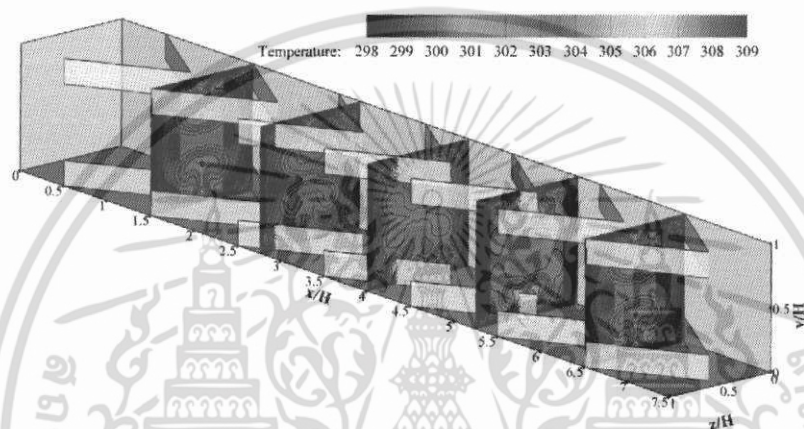
7.3.2 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.8 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.9 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.10 ที่ค่า Re ต่าง ๆ

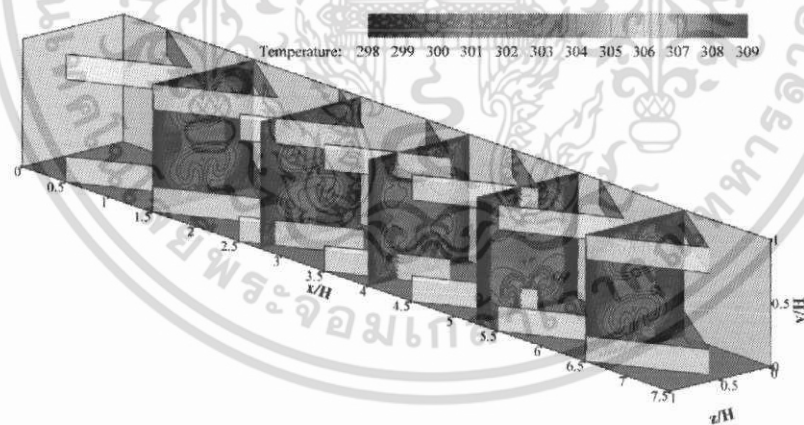
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



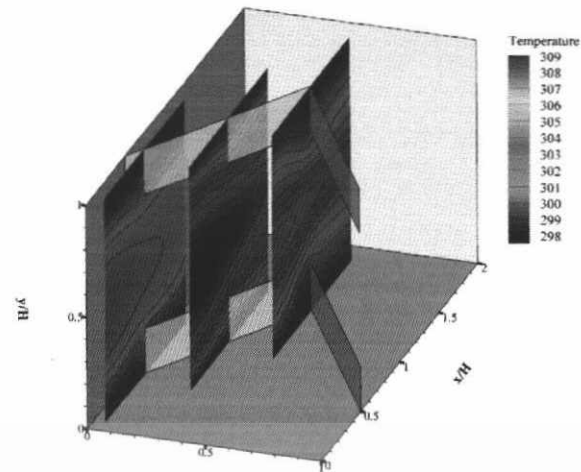
(ข)



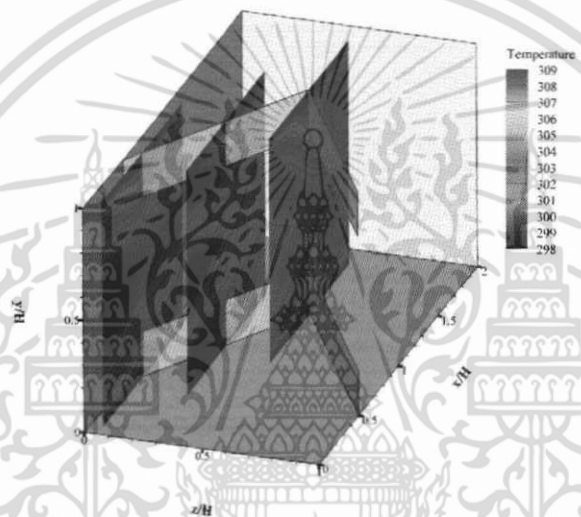
(ค)

รูปที่ 7.8 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$,
In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

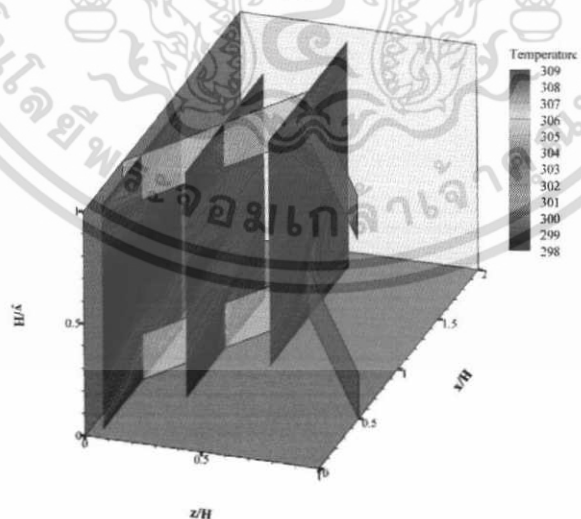
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

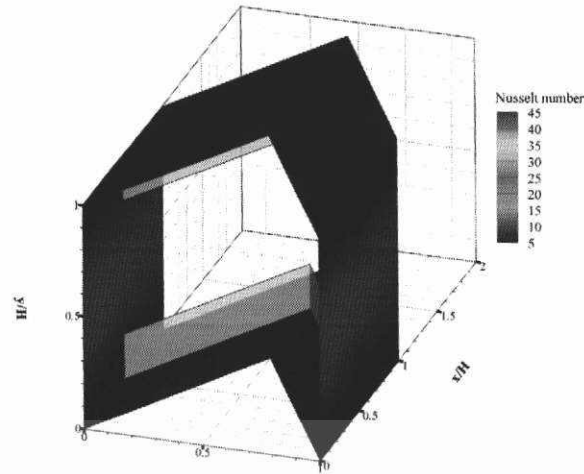
รูปที่ 7.9 การกระจายอุณหภูมิมีบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

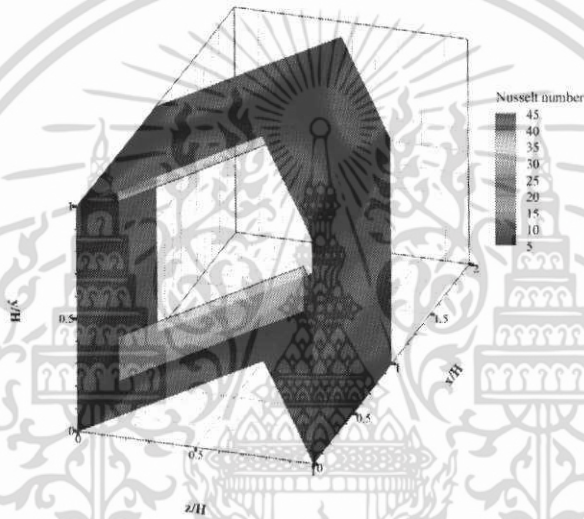
รูปที่ 7.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $PR = 1.00$ และ $BR=0.20$ สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$ เมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบขวางการไหลสำหรับ $Re = 100$ จะเห็นได้ว่าที่บริเวณใกล้ผนังท่อทั้ง 4 ด้าน ยังคงมีอุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับบริเวณกลางท่อโดยลักษณะของการกระจายอุณหภูมิจะแยกเป็นชั้น ๆ อย่างเป็นชัดเจน จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ $Re = 100$ ค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่อยู่กลางท่อกับผิวท่อยังไม่ค่อยดีมากนักเมื่อเทียบกับค่า Re อื่น ๆ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 500$ และ 800 ที่ค่า PR และ BR เดียวกัน จะเห็นได้ว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกลางท่อได้เป็นอย่างดี ช่วยทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ Re มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย

รูปที่ 7.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$ และ $BR = 0.20$ สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$ เช่นเดียวกับรูปที่ 7.8 เมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิที่ระนาบขวางการไหลสำหรับ $Re = 100$ จะเห็นได้ว่าที่บริเวณใกล้ผนังท่อทั้ง 4 ด้าน ยังคงมีอุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับบริเวณกลางท่อ จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ $Re = 100$ การถ่ายเทความร้อนของอากาศที่บริเวณกลางท่อและบริเวณผิวท่อไม่ค่อยดี จะเห็นได้ว่าเกิดการแยกชั้นอุณหภูมิของอากาศอย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับการกระจายอุณหภูมิตามระนาบขวางการไหลเมื่อพิจารณาที่ $Re=500$ และ 800 ที่ PR และ BR เดียวกัน จะเห็นได้ว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกลางท่อช่วยค่าเกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มค่า Re ค่าการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยจากรูปจะเห็นได้ว่า $Re = 800$ จะเกิดชั้นการกระจายอุณหภูมิต่างที่บริเวณใกล้ผิวท่อบางกว่า $Re = 100$

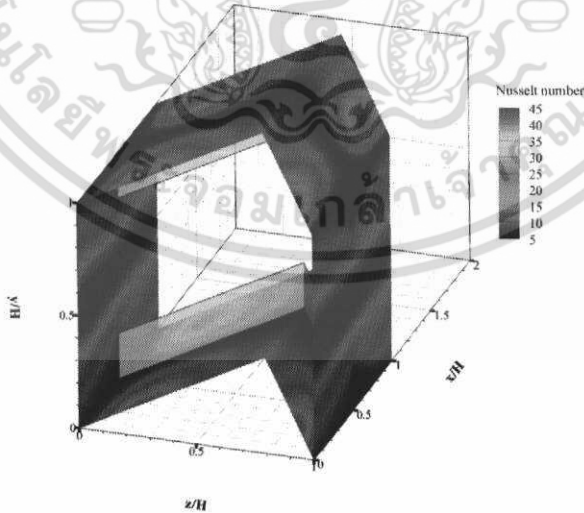
รูปที่ 7.10 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $PR = 1.00$ และ $BR = 0.20$ สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$ จากรูปจะเห็นได้ว่าแถบสีแดงซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการถ่ายเทความร้อนมากเนื่องจากให้ค่า Nu มากที่สุด ที่ $Re = 100$ ซึ่งที่ผิวแสดงแถบสีฟ้าเป็นส่วนใหญ่จะเกิดค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ $Re = 500$ และ 800 เมื่อพิจารณาที่ $Re = 500$ ซึ่งให้แถบสีฟ้าและเขียวที่บริเวณผนังด้านบนและล่าง ส่วนผนังด้านข้างจะให้สีฟ้า, สีเขียวและสีส้มเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าที่ $Re = 500$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ $Re = 100$ และเมื่อพิจารณาที่ $Re = 800$ ซึ่งเกิดแถบสีแดงและสีเขียวมากกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยพิจารณาได้จากการกระจายของ Nu บริเวณใกล้ผิวท่อ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นกลับพบว่าที่บริเวณของขอบท่อทั้ง 4 ด้านยังคงให้แถบสีฟ้าซึ่งแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่าส่วนอื่น ๆ



(ก)



(ข)



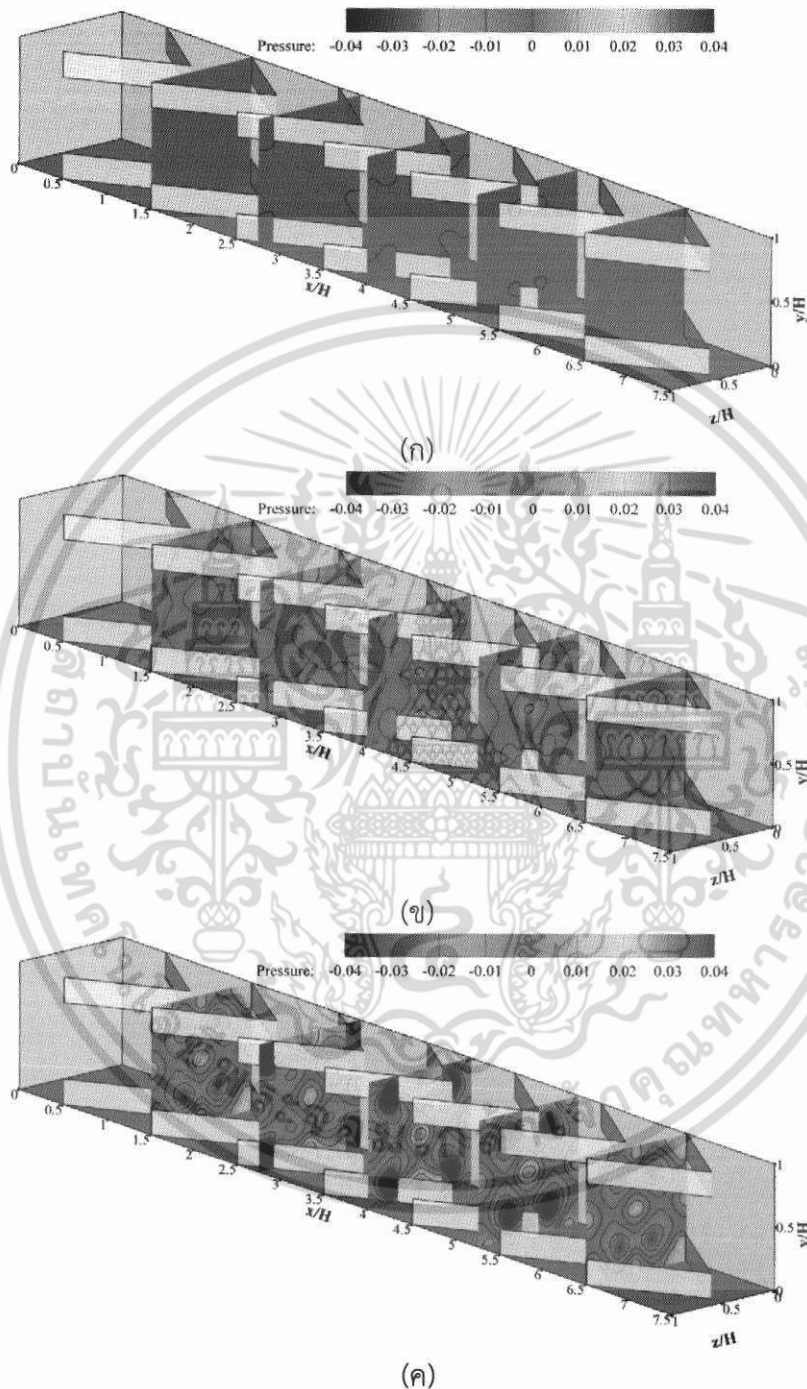
(ค)

รูปที่ 7.10 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวต่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.11 ที่ค่า Re ต่าง ๆ



รูปที่ 7.11 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.11 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR=1.00$ และ $BR = 0.20$ สำหรับ (ก) $Re = 100$ (ข) $Re = 500$ และ (ค) $Re = 800$ จากรูปที่ $Re = 100$ ค่าการกระจายความดันแสดงแถบสีเขียวตลอดทั้งแผ่นเนื่องจากไม่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันมากนัก แต่เมื่อพิจารณาที่ $Re = 500$ และ 800 จะเห็นได้ว่าเกิดความแตกต่างของความดันที่บริเวณหน้าแผ่นกั้นและหลังแผ่นกั้นสังเกตได้จากแถบสีที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งการแตกต่างของความดันจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนวนและการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อ เมื่อเกิดความดันแตกต่างระหว่างหน้าแผ่นกั้นและหลังแผ่นกั้นมาก ความรุนแรงในการกระแทกและการหมุนวนก็มากขึ้นด้วย จากรูปสรุปได้ว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นค่าความแตกต่างของความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ $Re = 800$ ซึ่งเป็น Re ที่มากที่สุดที่ได้นำเสนอในส่วนนี้จะให้ค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดเมื่อเทียบกับ $Re = 100$ และ 500

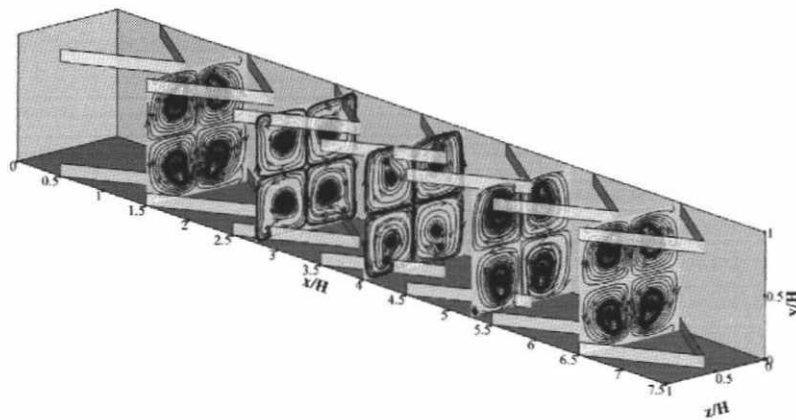
7.4 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, BR)

ในส่วนของอิทธิพลของ BR ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $Re=1000$ ที่ค่า $BR = 0.10-0.30$ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ BR ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีที่ค่า BR ต่าง ๆ

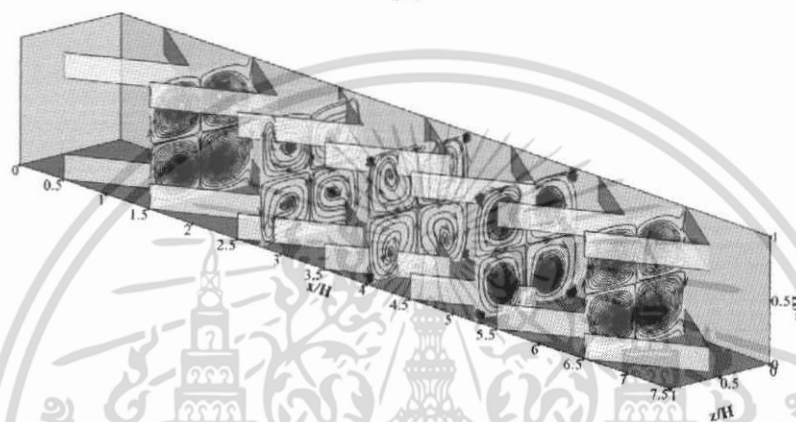
7.4.1 เส้นกระแสการไหล

ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ค่า BR ต่าง ๆ ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.12 และ 7.13 แต่เนื่องจากเมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีทำให้พฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จึงได้นำเสนอการไหลในรูปแบบ 3 มิติ โดยเป็นการไหลที่เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อและที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ ดังรูปที่ 7.14 ถึง 7.15

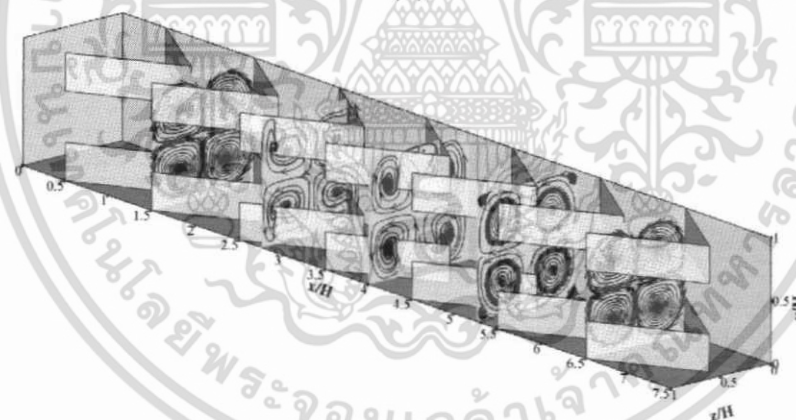
สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับ $BR = 0.10, 0.20$ และ 0.30 ส่วนโครงสร้างเส้นกระแสการไหลใน 3 มิติ จะพิจารณาการไหลสำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30



(ก)



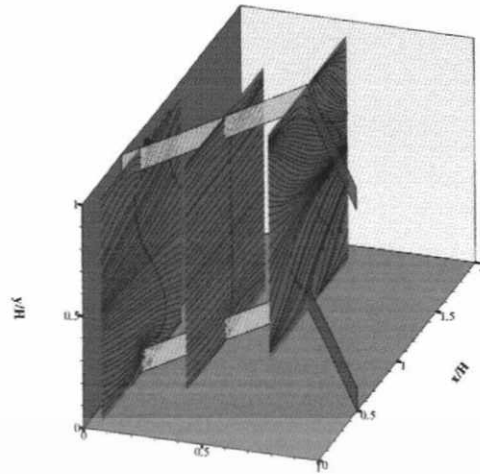
(ข)



(ค)

รูปที่ 7.12 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR=0.30$

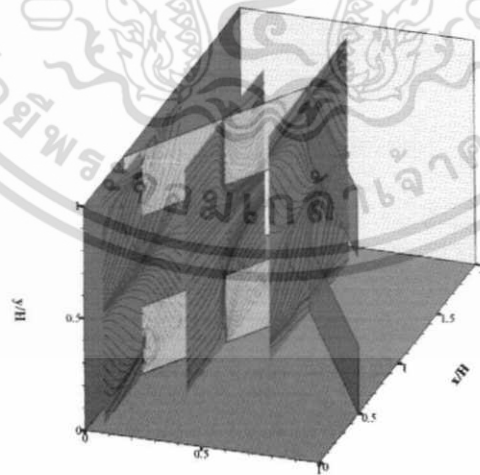
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.13 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$

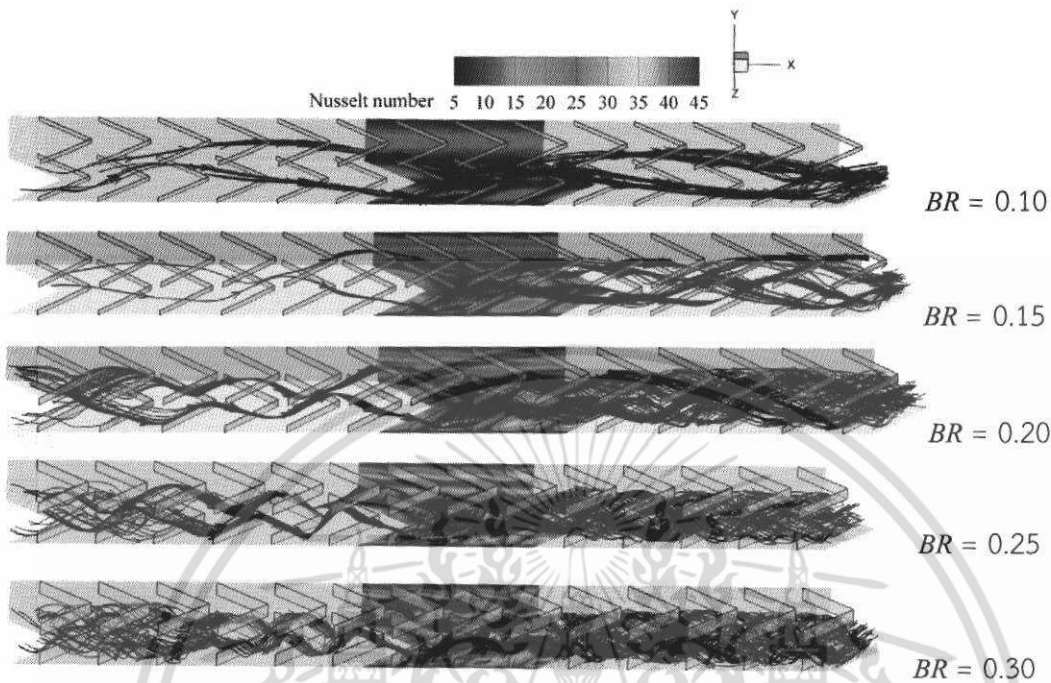
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.12 และ 7.13 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $\alpha=30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$ จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นกระแสแสดงการไหลสำหรับระนาบขวางการไหลจะมีลักษณะคล้ายกันทุกระนาบโดยจะมีแกนการไหลหลักหมุนวน 4 แกนและการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบทั้ง 4 ด้านของท่อ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางในการหมุนวนจะแตกต่างกันออกไปตามความสูงของแผ่นกั้นหรือค่า BR พบว่าที่ $BR = 0.10$ ซึ่งเป็นความสูงของแผ่นกั้นที่น้อยที่สุดในการศึกษาจะมีการรบกวนเพียงแค่ว่าบริเวณขอบนอกใกล้ผิวท่อเท่านั้น แต่สำหรับ BR มากกว่า 0.10 จะรบกวนที่แกนการหมุนวนหลักซึ่งทำให้เกิดค่าความรุนแรงในการหมุนวนมากขึ้น ในส่วนของเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ $BR = 0.30$ จะให้ความรุนแรงในการเกิดกระแสหมุนวนมากที่สุดและที่ $BR=0.10$ ให้เกิดการหมุนวนที่ด้านหลังของแผ่นกั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระนาบที่ 2 แกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V -tip) จนถึงระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V -tip แล้วสลายไปที่ระนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V -tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ BLE อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน โดยเกิดการหมุนวนในระนาบที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกันทุกค่า BR แต่รูปร่างของแกนหลักจะแตกต่างกันโดยเฉพาะ $BR = 0.10$ รูปร่างของแกนหรือวงของการหมุนวนจะแตกต่างจากค่า BR อื่น ๆ เนื่องจากที่ค่า $BR = 0.10$ จะเกิดการรบกวนที่บริเวณการไหลใกล้กับผนังท่อเท่านั้น

เมื่อพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหล พบว่าที่ระนาบที่ 1 บริเวณใกล้กับผนังของท่อซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของการไหลมากที่สุด ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 จะเกิดการหมุนวนที่บริเวณหลังแผ่นกั้นตัววีอย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่ $BR = 0.10$ เกิดการเปลี่ยนแปลงของการไหลเพียงเล็กน้อยและไม่สังเกตเห็นการหมุนวนที่หลังแผ่นกั้นมากนัก และเมื่อพิจารณาระนาบที่ 2 และ 3 พบความปั่นป่วนของการไหลที่เกิดจาก $BR = 0.20$ และ 0.30 อย่างเห็นได้ชัด โดย $BR = 0.10$ เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

ดังนั้นจากรูปโครงสร้างการไหลจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลเพิ่มมากขึ้นหรือความสูงของแผ่นกั้นมากขึ้นจะทำให้ความรุนแรงของการเกิดกระแสหมุนวนและการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อมากขึ้น ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน ที่ค่า $BR = 0.10$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือมีการรบกวนที่เฉพาะขอบด้านนอกที่บริเวณใกล้ผิวท่อของกระแสการไหลเท่านั้น ส่วนที่ค่า BR มากกว่า 0.10 จะเกิดการรบกวนที่แกนการไหลหลัก

โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า $BR = 0.30$ ซึ่งเป็นความสูงของแผ่นกั้นที่มากที่สุดสำหรับกรณีที่น่ามาศึกษา จะพบว่ามีความรุนแรงของกระแสการไหลและการกระแทกของกระแสการไหลบริเวณผนังมากที่สุด



รูปที่ 7.14 เส้นกระแสการไหลสามมิติของของไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านข้างและการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับค่า BR ต่าง ๆ

เส้นกระแสการไหลและการกระจาย Nu_x ใน 3 มิติ สำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีค่า BR ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 7.14 พบว่าค่า BR ที่เพิ่มมากขึ้นมีอิทธิพลต่อความยาวของเกลียวก่อนการกระแทกและเกลียวหลังการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อ สำหรับค่า $BR = 0.10$ พบว่าเกลียวก่อนการกระแทกมีค่าประมาณ $7-8H$ ส่วนเกลียวหลังจากการกระแทกที่บริเวณผนังด้านล่างมีค่าประมาณ $6-7H$ ที่ $BR = 0.15$ พบว่าระยะเกลียวการหมุนก่อนการกระแทกเท่ากับ $4H$ และเกลียวหลังการกระแทกมีความยาวเท่ากับ $3-4H$ ที่ $BR = 0.20$ พบว่าระยะเกลียวการหมุนก่อนการกระแทกเท่ากับ $3-4H$ และเกลียวหลังการกระแทกมีความยาวเท่ากับ $2-3H$ ที่ $BR = 0.25$ พบว่าระยะเกลียวการหมุนก่อนการกระแทกเท่ากับ $2-3H$ และเกลียวหลังการกระแทกมีความยาวเท่ากับ $1-2H$ ที่ $BR = 0.30$ พบว่าระยะเกลียวการหมุนก่อนการกระแทกเท่ากับ $2-3H$ และเกลียวหลังการกระแทกมีความยาวเท่ากับ $1H$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ระยะเกลียวทั้งก่อนและหลังการกระแทกจะมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ความรุนแรงของการกระแทกในแต่ละ BR ก็มีค่าแตกต่างกันด้วย เมื่อพิจารณาจากค่า Nu_x ซึ่งพบว่าค่า Nu_x ที่ $BR = 0.30$ มีค่ามากที่สุด และที่ค่า $BR = 0.10$ มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากความรุนแรงของการกระแทกของกระแสการไหล สำหรับ $BR = 0.30$ ซึ่งเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่มากที่สุด แสดงในรูปของแถบสีแดงที่เกิดขึ้นที่บริเวณผนังท่อ ทำให้ค่าการถ่ายเทเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนเพิ่มมากขึ้นด้วย และในทางตรงกันข้าม สำหรับ $BR = 0.10$ ให้ค่าความรุนแรงในการกระแทกน้อยที่สุด ซึ่งแสดงแถบสีฟ้าบริเวณผนังท่อ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าค่า BR อื่น ๆ

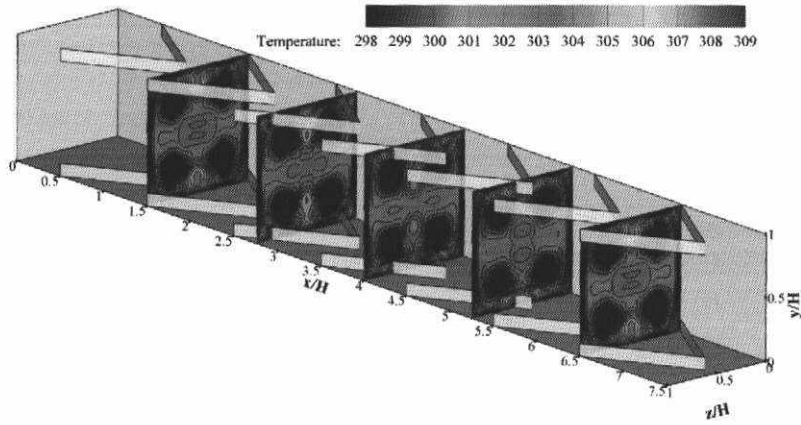
7.4.2 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.15 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.16 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.17 ที่ค่า $BR = 0.10, 0.20$ และ 0.30

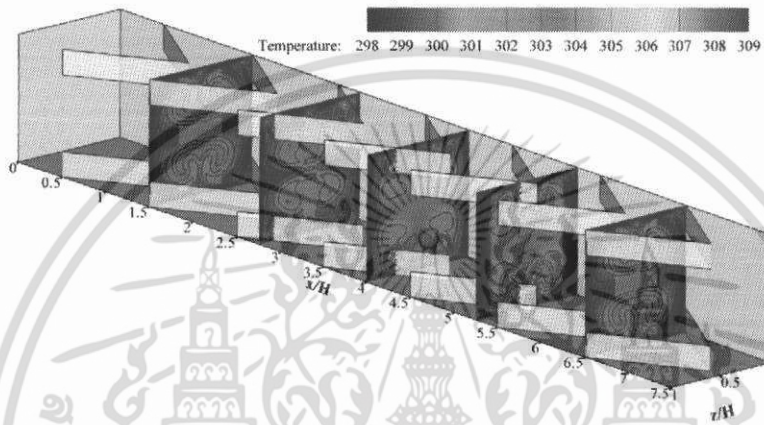
รูปที่ 7.15 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$ จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ $BR = 0.10$ ที่บริเวณใกล้กับผิวท่อจะเกิดขึ้นแถบสีแดงของอุณหภูมิที่หนากว่ากรณี $BR = 0.20$ และ 0.30 ที่ให้การผสมผสานระหว่างอากาศที่บริเวณผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้ดีกว่า ทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิตั้งแต่บริเวณผิวท่อบางลง จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ค่า $BR = 0.30$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าที่ $BR = 0.20$ และ 0.10 หรือ เมื่อ BR เพิ่มมากขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

รูปที่ 7.16 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$ เช่นเดียวกับรูปที่ 7.15 จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ $BR = 0.10$ ที่บริเวณใกล้กับผิวท่อจะเกิดขึ้นแถบสีแดงของอุณหภูมิที่หนากว่ากรณี $BR = 0.20$ และ 0.30 ที่ให้การผสมผสานระหว่างอากาศที่บริเวณผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้ดีกว่า ทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิตั้งแต่บริเวณผิวท่อบางลง จึงสามารถสรุปได้ว่าที่ค่า $BR = 0.30$ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าที่ $BR = 0.20$ และ 0.10 หรือเมื่อ BR เพิ่มมากขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

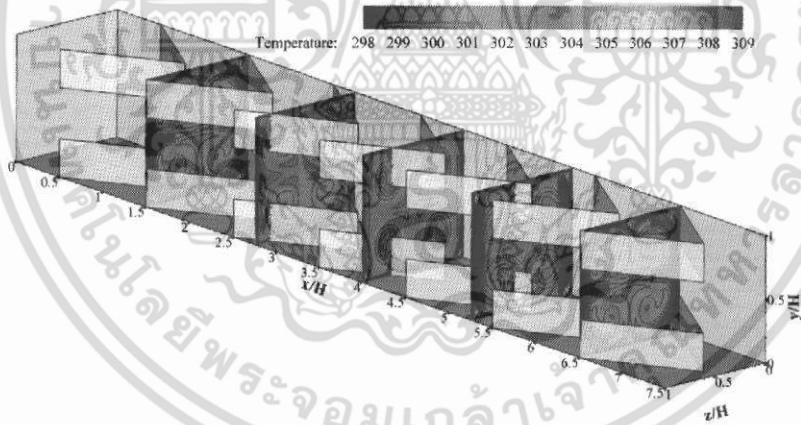
รูปที่ 7.17 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$ จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อ BR เพิ่มขึ้น แถบสีแดงที่แสดงค่า Nu_x ที่มีค่าสูงจะเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณผิวด้านข้างทั้งสองของท่อที่เพิ่มแถบสีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาที่ α , PR และ Re เดียวกัน ที่ $BR = 0.10$ จะแสดงแถบสีฟ้าและสีเขียวของ Nu_x ที่บริเวณใกล้ผิวท่อแสดงให้เห็นว่า $BR = 0.10$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่สูงมากนัก และเมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 ที่ให้แถบสี Nu_x สีแดงแสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น



(ก)



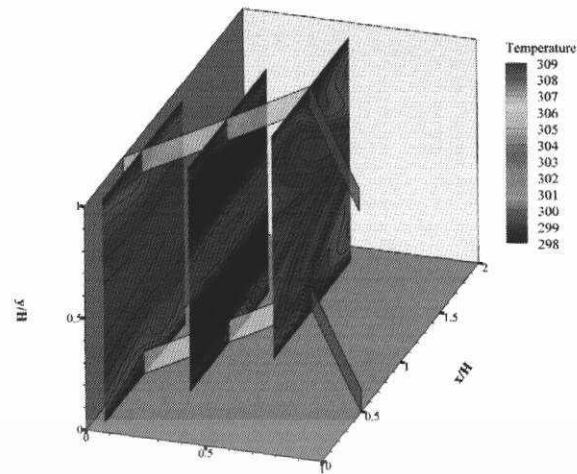
(ข)



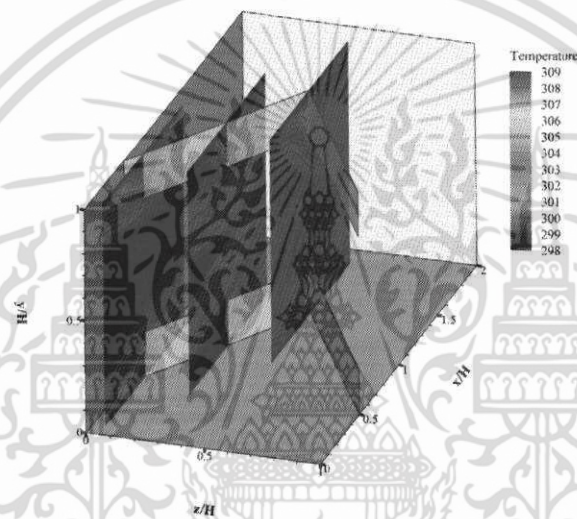
(ค)

รูปที่ 7.15 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$
 In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค)
 $BR=0.30$

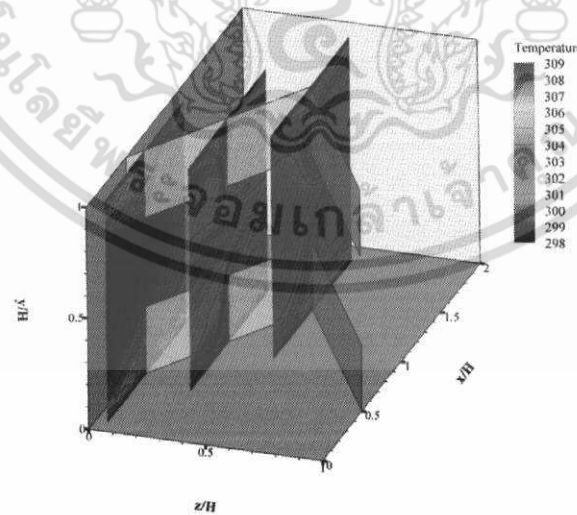
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



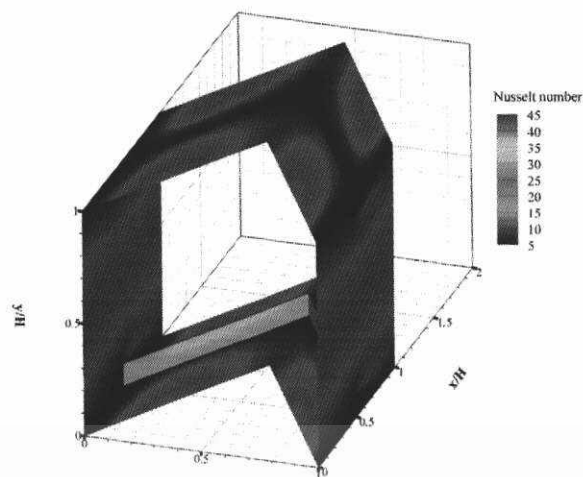
(ข)



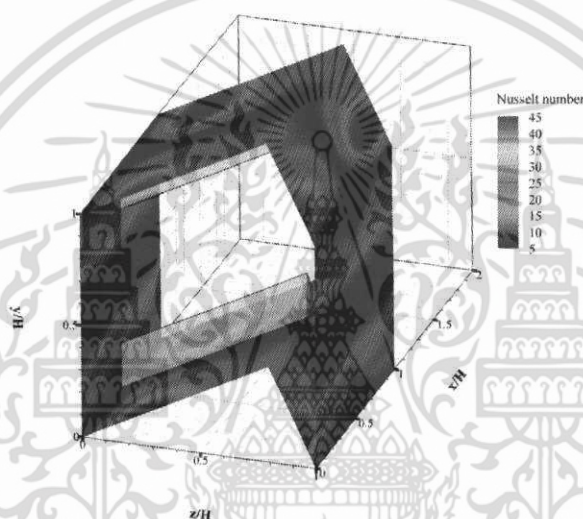
(ค)

รูปที่ 7.16 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$

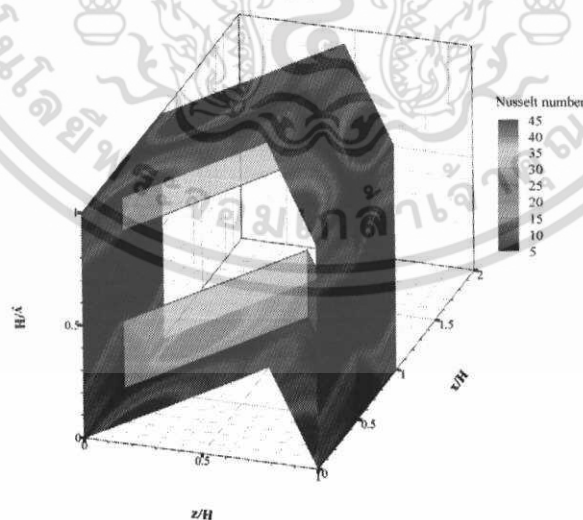
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.17 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re = 1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$

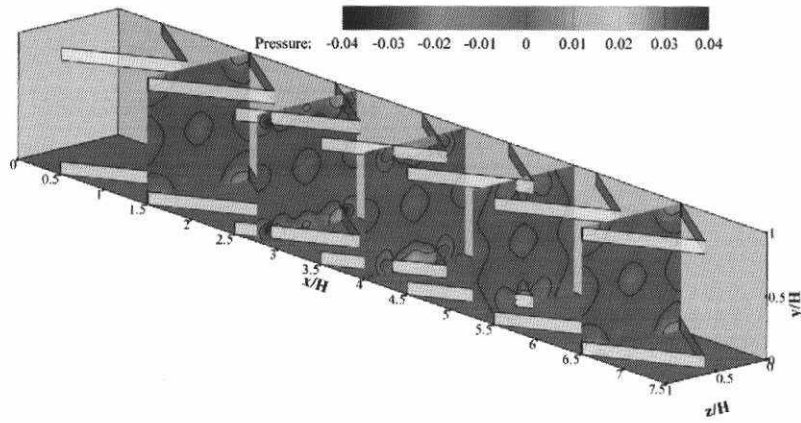
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 ความดันตกคร่อม

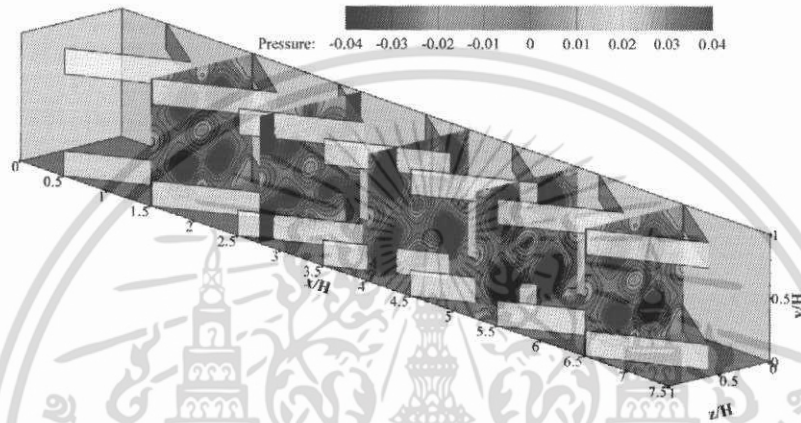
ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.18 ที่ค่า $BR = 0.10, 0.20$ และ 0.30

รูปที่ 7.18 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR=1.00$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR = 0.30$ จากรูปจะเห็นว่าที่ $BR = 0.10$ ซึ่งแสดงค่าการกระจายความดันเป็นแถบสีเขียวเกือบตลอดทั้งแผ่นแสดงว่าเกิดความแตกต่างของความดันที่น้อยมาก สำหรับ $BR = 0.20$ จะเห็นค่าความแตกต่างของความดันได้ชัดเจนมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.30$ ซึ่งให้ค่าความแตกต่างของความดันที่มากที่สุดซึ่งการแตกต่างของความดันจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนวนและการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อเมื่อเกิดความดันแตกต่างระหว่างหน้าแผ่นกั้นและหลังแผ่นกั้นมาก ความรุนแรงในการกระแทกและการหมุนวนก็มากขึ้นด้วย จากรูปสรุปได้ว่าเมื่อ BR เพิ่มมากขึ้นค่าความแตกต่างของความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ $BR = 0.30$ ซึ่งเป็นค่าความสูงของแผ่นกั้นที่มากที่สุดที่ทำการศึกษาก็จะให้ค่าความดันตกคร่อมมากที่สุด

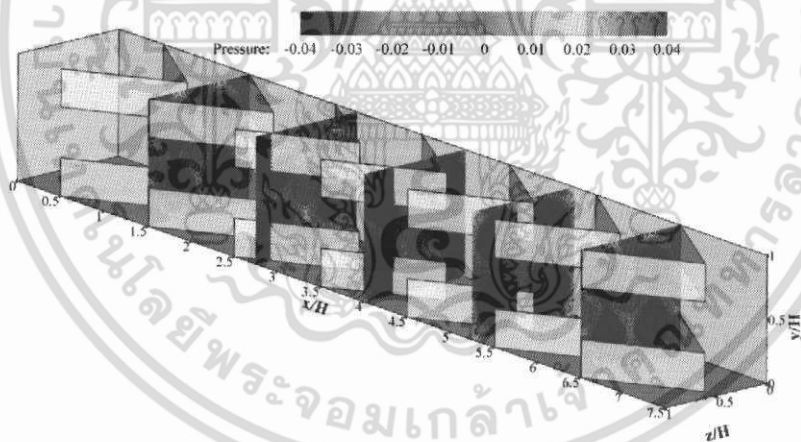




(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.18 การกระจายความดันตกรวมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $Re=1000$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $BR = 0.10$ (ข) $BR = 0.20$ และ (ค) $BR=0.30$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

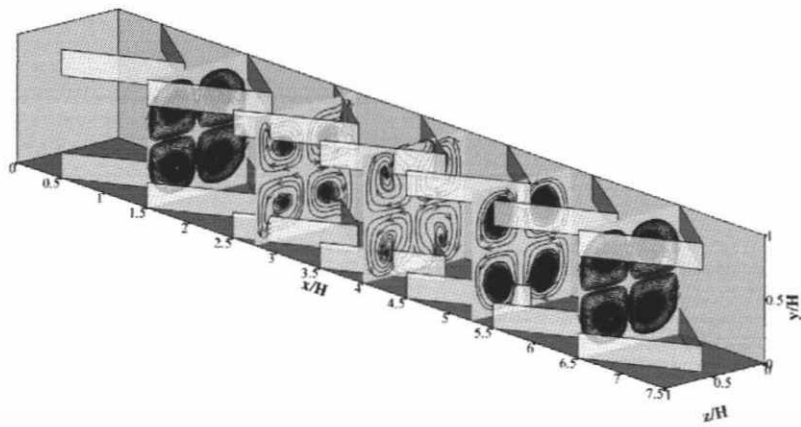
7.5 อิทธิพลของระยะพิตต์ (ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ, PR)

ในส่วนของอิทธิพลของ PR ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re=1200$ ที่ค่า PR ต่าง ๆ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ PR ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรม การไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วน ของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีที่ค่า PR ต่าง ๆ

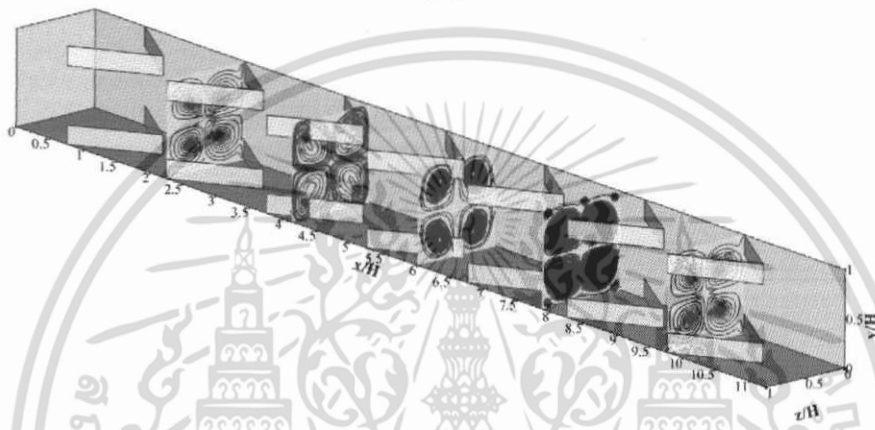
7.5.1 เส้นกระแสการไหล

ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหล และระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ค่า PR ต่าง ๆ ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบ ขว้างการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่ แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่ เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบ ขว้างการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.19 และ 7.20 ส่วนโครงสร้างการไหลหรือเส้น กระแสการไหล 3 มิติ ที่ค่า PR ต่าง ๆ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นในส่วนของอิทธิพลของค่า PR จะนำเสนอในส่วนของเส้นกระแสการไหลใน 2 มิติเท่านั้น

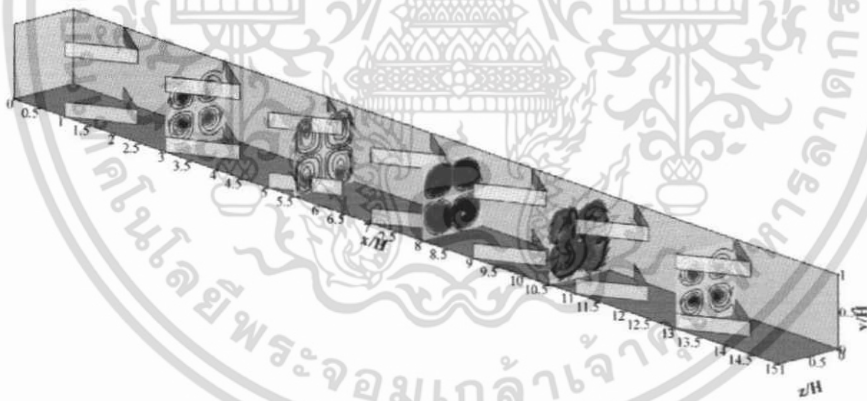
สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและ ระนาบตามการไหลสำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00



(ก)



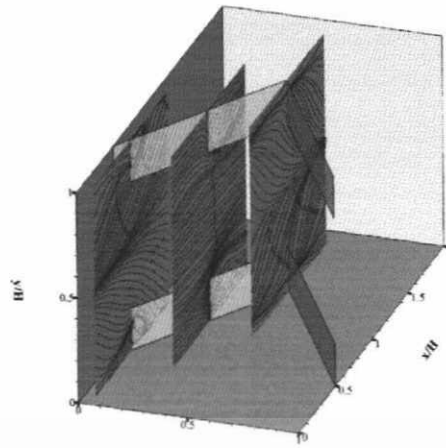
(ข)



(ค)

รูปที่ 7.19 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$,
In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค)
 $PR=2.00$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.20 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$

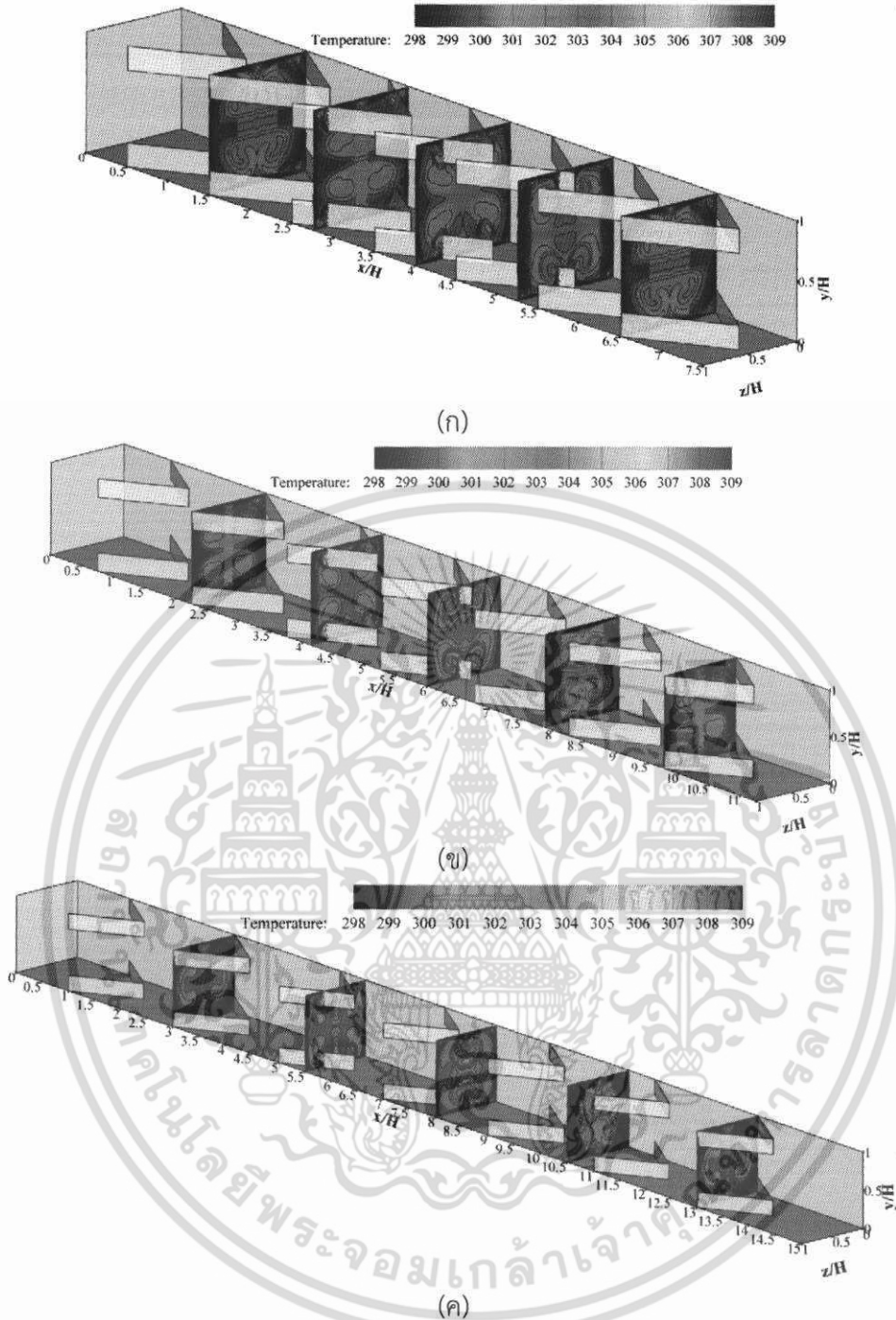
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.19 และ 7.20 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $\alpha=30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1200$ สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$ จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นกระแสแสดงการไหลสำหรับระนาบขวางการไหลจะมีลักษณะคล้ายกันคือมีแกนการหมุนหลัก 4 แกนและแกนการหมุนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อเช่นเดียวกันกับระนาบตามการไหลซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่มีความคล้ายคลึงกัน เมื่อพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $1/4$ ของโมดูลหรือระนาบที่ 2 แกนการหมุนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V-tip) จนถึงระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $1/2$ ของโมดูลและระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $3/4$ ของโมดูล แกนการหมุนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V-tip แล้วสลายไปที่ระนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V-tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนใหม่ที่บริเวณ BLE อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน ดังนั้นจากโครงสร้างแสดงการไหลที่ได้แสดงไว้จึงไม่สามารถอธิบายถึงอิทธิพลของ PR แต่สามารถบอกได้เพียงว่ามีโครงสร้างการไหลที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามความรุนแรงของกระแสการไหลที่ PR ต่าง ๆ ย่อมมีค่าแตกต่างกัน ในส่วนนี้สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายความแตกต่างด้วยค่า Nu/Nu_0 และ fff_0 ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 8 ในส่วนการเปรียบเทียบถึงอิทธิพลของค่า PR

7.5.2 การถ่ายเทความร้อน

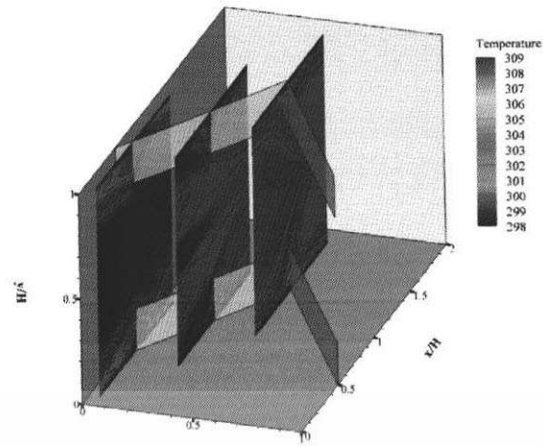
ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.21 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.22 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.23 ที่ค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00

รูปที่ 7.21 และ 7.22 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลตามลำดับ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1200$ สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$ จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ PR ต่างกันไม่เกิดความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิมากนัก ทั้งบนระนาบขวางการไหลและตามการไหล แต่สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้ $PR = 1.00$ จะให้ค่าที่สูงที่สุด โดยจะมีค่ามากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า Nu/Nu_0 ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 8



รูปที่ 7.21 การกระจายอุณหภูมิบริเวณขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR=2.00$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

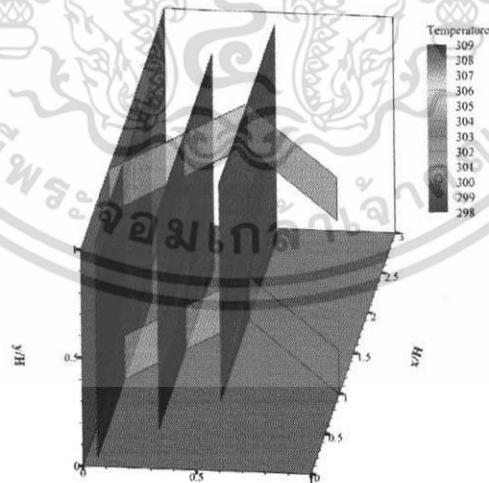


z/H

(ก)



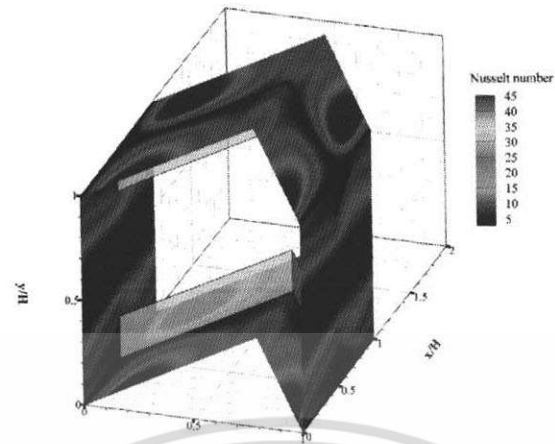
(ข)



(ค)

รูปที่ 7.22 การกระจายอุณหภูมิบริเวณตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$

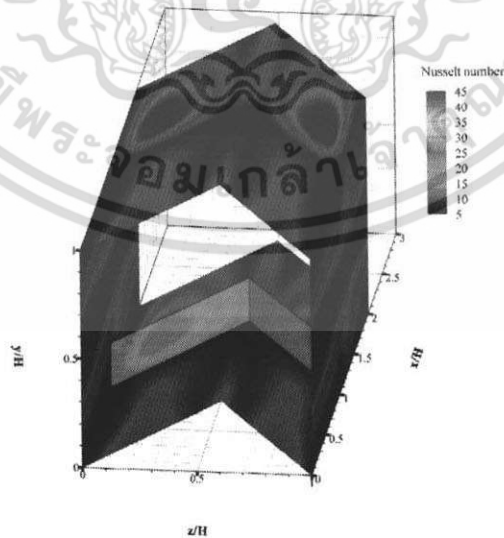
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.23 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$, $Re = 1200$, In-line และ

V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$

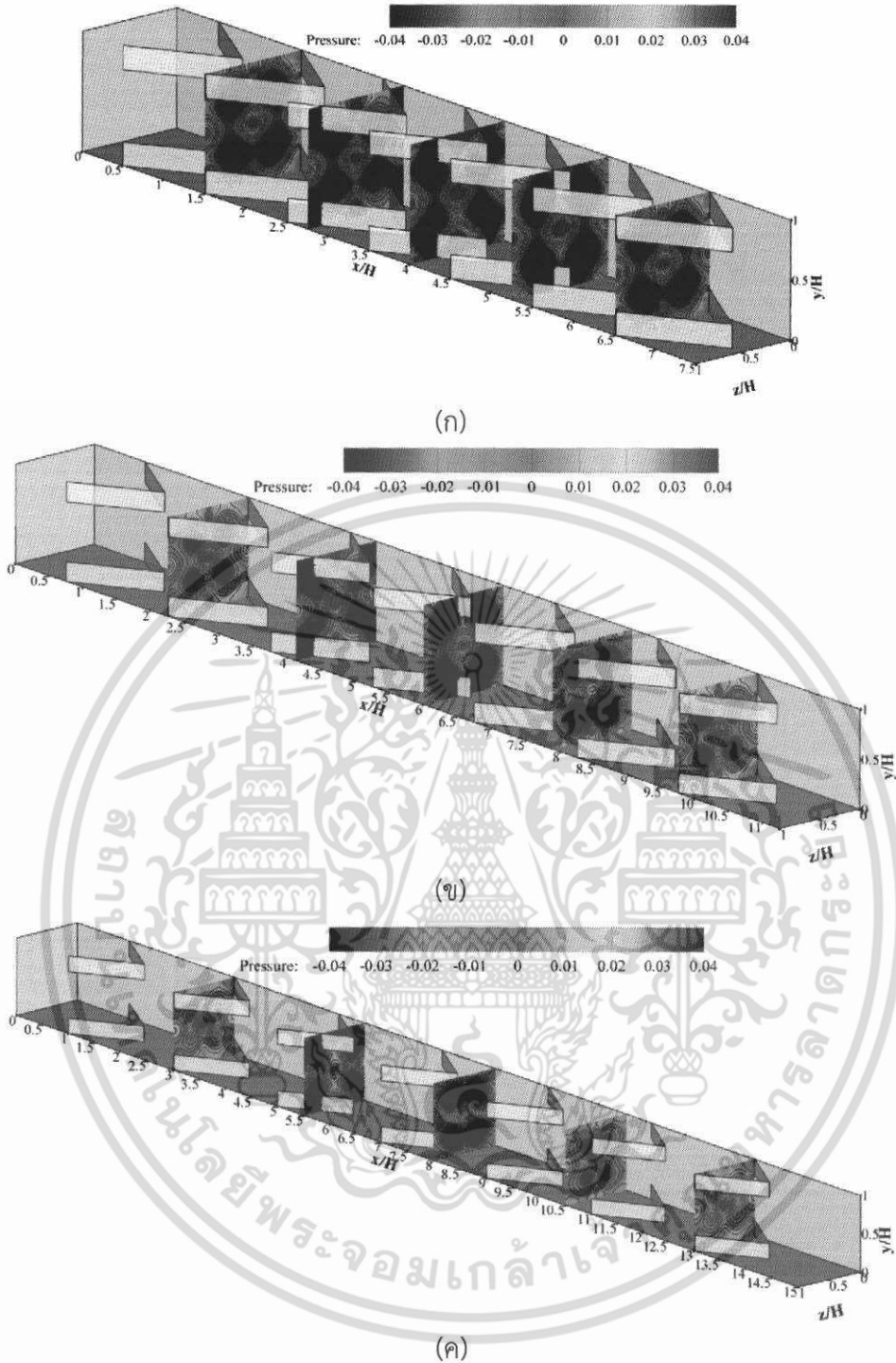
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.23 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1200$ สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$ จากรูปจะเห็นได้ว่าลักษณะของการเกิดแลบสีเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือเกิดแลบสีที่บริเวณด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกันมากกว่าผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกัน เนื่องจากโครงสร้างการไหลของทุก PR มีโครงสร้างที่เหมือนกันดังนั้นจึงเกิดการกระแทกที่บริเวณเดียวกันเมื่อคิดเทียบระยะการกระแทกของกระแสน้ำเป็นอัตราส่วน เมื่อเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่ใกล้ผิวท่อของแต่ละ PR แล้ว ที่ $PR = 1.00$ จะให้ค่าการกระจาย Nu_x สูงที่สุด ส่วน $PR = 2.00$ จะมีแลบสีฟ้ามากกว่าแสดงว่าให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่า PR อื่น ๆ

7.5.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.24 ที่ค่า $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00

รูปที่ 7.24 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$ และ $Re = 1200$ สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$ จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ $PR = 1.00$ จะแสดงค่าความแตกต่างของความดันมากที่สุดเมื่อเทียบกับ $PR = 1.50$ และ 2.00 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อ PR ลดลงค่าความดันตกคร่อมจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่าความแตกต่างของความดันที่มากจะเกิดการเหนียวทำให้เกิดการไหลหมุนวนและการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อ เมื่อเกิดความดันแตกต่างระหว่างหน้าแผ่นกันและหลังแผ่นกันมาก ความรุนแรงในการกระแทกและการหมุนวนก็มากขึ้นด้วย สำหรับกรณีที่ทำการศึกษา $PR = 1.00$ เป็นค่า PR ที่น้อยที่สุดดังนั้นจึงให้ค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดส่วน $PR = 2.00$ เป็นค่า PR ที่มากที่สุดจึงให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยที่สุด



รูปที่ 7.24 การกระจายความดันตกร่วมบนบรรนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re=1200$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $PR = 1.00$ (ข) $PR = 1.50$ และ (ค) $PR = 2.00$

7.6 อิทธิพลของมุมปะทะ

ในส่วนของอิทธิพลของ α ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $BR = 0.20$, $Re = 600$ และ $PR=1.00$ ที่ค่า α ต่าง ๆ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

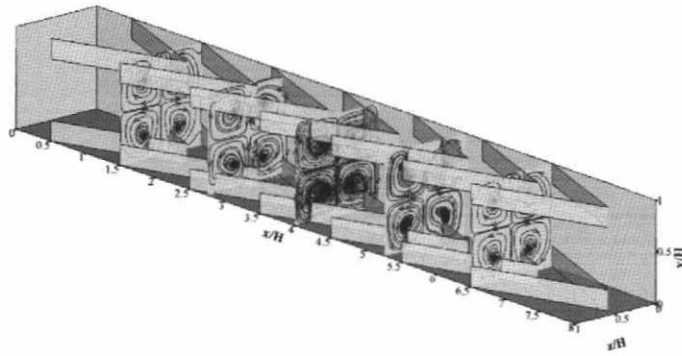
โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ α ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีที่ค่า α ต่าง ๆ

7.6.1 เส้นกระแสการไหล

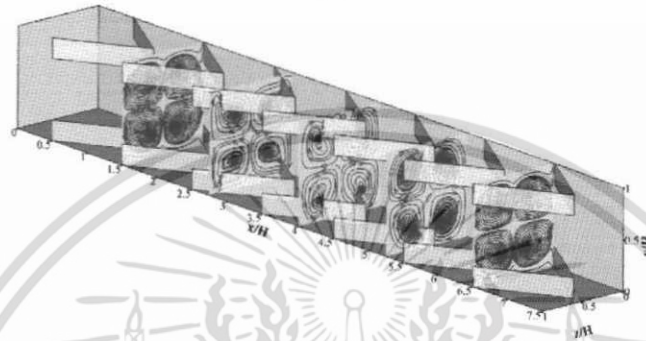
ในส่วน of เส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ค่า α ต่าง ๆ ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.25 และ 7.26 ส่วนโครงสร้างการไหลหรือเส้นกระแสการไหล 3 มิติ ที่ค่า α ต่าง ๆ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นในส่วน of อิทธิพลของค่า α จะนำเสนอในส่วน of เส้นกระแสการไหลใน 2 มิติเท่านั้น

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°

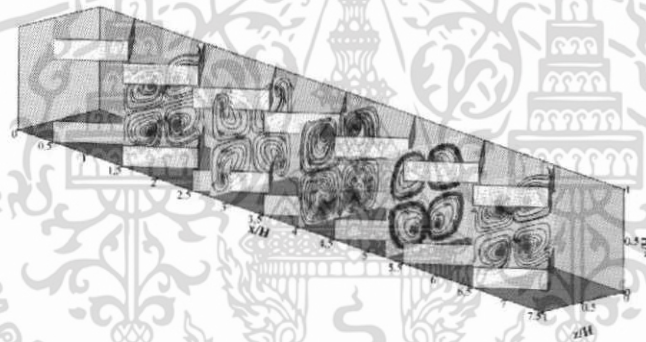
รูปที่ 7.25 แสดงเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลที่ค่า α ต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่ $\alpha = 20^\circ$ พบว่าเกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน และการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อ ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีและเป็นระยะที่ใกล้กับบริเวณ V-tip ดังนั้นในระนาบนี้ จะเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้าและมีการเกิดของแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ BLE โดยระนาบที่ 1 และระนาบที่ 5 จะมีลักษณะเหมือนกัน เนื่องจากเป็นตำแหน่งเดียวกันเมื่อพิจารณาใน 1 โมดูล หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระนาบที่ 2 แกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V-tip) จนถึงระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V-tip แล้วสลายไปที่ระนาบที่ 5 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V-tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up เช่นกับกรณีอื่น ๆ ดังนั้นสำหรับพฤติกรรมการไหลที่เกิดจาก $\alpha = 20^\circ$ จะเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในแต่ละโมดูลช้ากว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งพฤติกรรมนี้ส่งผลให้การกระจายของการถ่ายเทความร้อนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ และค่าความดันตกคร่อมที่น้อยกว่า ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป



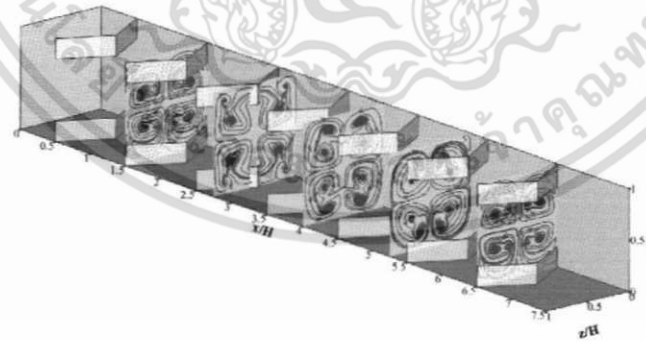
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.25 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ $\alpha = 30^\circ$ ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, *BLE*) จนถึง *BLE* ของโมดูลถัดไปเช่นเดียวกับ $\alpha = 20^\circ$ โดยระยะนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววี ซึ่งเกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะนาบที่ 2 แกนการหมุนที่เกิดขึ้นในระยะนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก *BLE* เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (*V-tip*) จนถึงระยะนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระยะนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ *V-tip* แล้วสลายไปที่ระยะนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ *BLE* จนถึงบริเวณ *V-tip* เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระยะนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนใหม่ที่บริเวณ *BLE* อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระยะนาบที่ 4

ที่ $\alpha = 45^\circ$ ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, *BLE*) จนถึง *BLE* ของโมดูลถัดไปเช่นเดียวกับมุมปะทะอื่น ๆ โดยระยะนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะนาบที่ 2 แกนการหมุนที่เกิดขึ้นในระยะนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก *BLE* เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (*V-tip*) จนถึงระยะนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูล พบว่าแกนการหมุนเกิดการสลายที่ระยะนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูลพบว่าการเกิดแกนการหมุนใหม่ แล้วเคลื่อนที่สู่บริเวณ *BLE* ของแผ่นกั้นตัววี อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระยะนาบที่ 4

ที่ $\alpha = 60^\circ$ ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, *BLE*) จนถึง *BLE* ของโมดูลถัดไปเช่นเดียวกับมุมปะทะอื่น ๆ โดยระยะนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะนาบที่ 2 แกนการหมุนที่เกิดขึ้นในระยะนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก *BLE* เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (*V-tip*) พบว่าแกนการหมุนเริ่มสลายที่ระยะนาบนี้จนถึงระยะนาบที่ 3 และ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ และ $\frac{3}{4}$ โมดูล แกนการหมุนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้านี้อาจเกิดการสลาย และเกิดแกนการหมุนใหม่ ซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกันจากระนาบที่ 1 จนถึงระยะนาบที่ 4

จากโครงสร้างการไหลในระยะนาบขวางการไหลที่มุมปะทะต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า ทุก ๆ มุมปะทะทำให้เกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกนและแกนการหมุนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบของท่อ โดยที่ $\alpha = 20^\circ$ เป็นมุมที่เกิดการหมุนเคลื่อนที่จาก *BLE* สู่ *V-tip* เป็นระยะที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมุมปะทะอื่น ๆ ส่วนมุม $\alpha = 60^\circ$ เกิดการสลายของแกนการหมุนเร็วที่สุด ซึ่งระยะของการเกิดและการสลายของแกนการหมุนนี้ นำไปสู่ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น

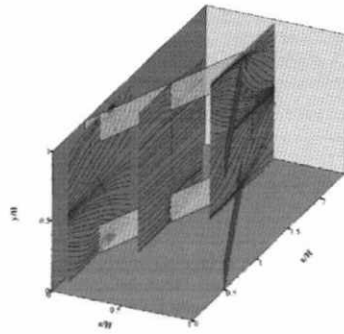
รูปที่ 7.26 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระยะนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 600$ สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$ จากรูปเมื่อพิจารณากระแสการไหลบนระยะนาบตามการไหล ในระยะนาบที่ 1 จากซ้ายมือพบว่าทุก ๆ มุมปะทะทำให้เกิดการหมุนที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นทั้งหมด โดยที่ $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ การไหลหมุนจะมี

ความรุนแรงมากกว่า $\alpha = 20^\circ$ และ $\alpha = 30^\circ$ เมื่อพิจารณาที่ระนาบที่ 2 พบว่า $\alpha = 60^\circ$ เกิดการไหลหมุนวนที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นอย่างชัดเจนในขณะที่มุมอื่น ๆ ไม่สังเกตเห็นการหมุนวนเกิดขึ้น โดยเฉพาะมุม $\alpha = 20^\circ$ ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของการไหล

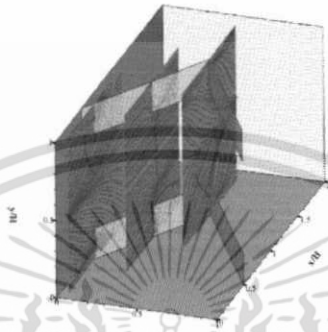
ดังนั้นจากรูปโครงสร้างการไหลจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อมุมปะทะเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความแรงของการเกิดกระแสหมุนวนมากขึ้น ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน โดยจากการศึกษาพบว่า $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าความรุนแรงของการไหลหมุนวนมากที่สุดซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนมุม $\alpha = 20^\circ$ จะให้ค่าความรุนแรงของการไหลหมุนวนน้อยที่สุดซึ่งจะมีข้อดีในส่วนของการลดค่าความดันตกคร่อมที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ค่ามุมปะทะที่แตกต่างกัน ยังส่งผลถึงระยะเวลาการสลายตัวของแกนการหมุนหรือระยะเวลาเกลียวการหมุนที่เกิดขึ้นอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



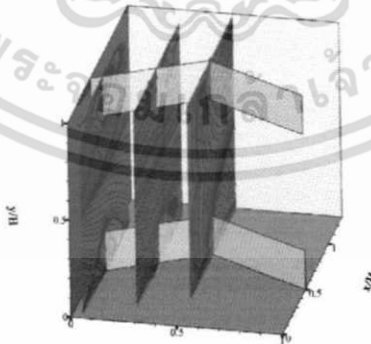
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.26 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

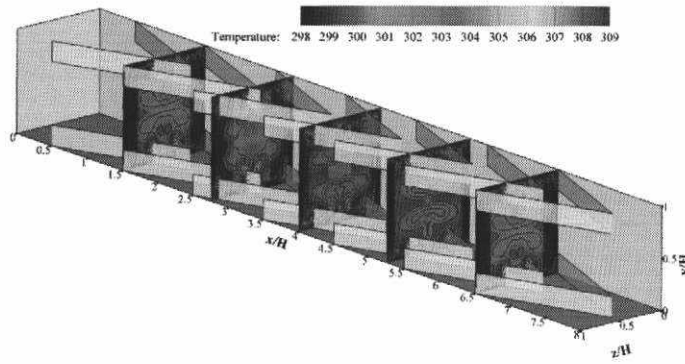
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.2 การถ่ายเทความร้อน

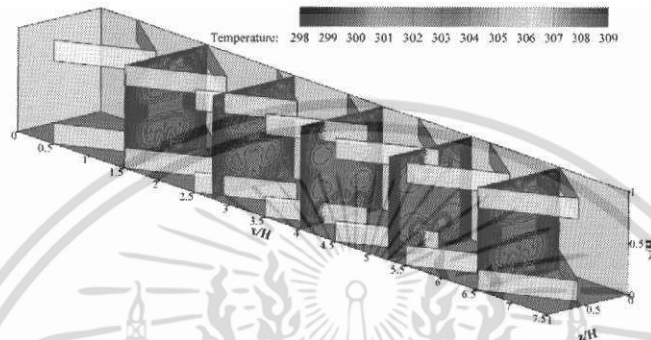
ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.27 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.28 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.29 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°

รูปที่ 7.27 และ 7.28 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลตามลำดับ ที่ $PR = 1.00, BR = 0.20$ และ $Re = 600$ สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$ สำหรับระนาบขวางการไหลเมื่อพิจารณาที่ $\alpha = 20^\circ$ และ $\alpha = 30^\circ$ พบว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้เป็นอย่างดีเนื่องจากเกิดการกระจายของแถบสีซึ่งแสดงในส่วนของอุณหภูมิเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ส่วนบริเวณมุมทั้งสี่ด้านของท่อยังคงเป็นจุดที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ดีนัก สำหรับ $\alpha = 45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ บริเวณมุมทั้งสี่ด้านของท่อให้การถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเช่นเดียวกับมุมปะทะอื่น ๆ และพบว่าบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นซึ่งแสดงแถบสีแดงซึ่งให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีเช่นกันโดยเฉพาะ $\alpha = 60^\circ$ ที่ระนาบที่ 2 เห็นได้ชัดเจนว่าเกิดแถบสีแดงที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นซึ่งมีความหนาใกล้เคียงกับความสูงของแผ่นกั้นตัววีแสดงให้เห็นว่าที่บริเวณนี้ค่าการถ่ายเทความร้อนไม่ดีนัก เมื่อพิจารณาระนาบตามการไหลก็เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อมุมปะทะมีค่ามากขึ้นบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีนักซึ่งจะเห็นได้จากแถบแสดงการกระจายอุณหภูมิซึ่งแสดงให้เห็นเป็นสีแดงและมีความหนาของแถบสีแดงนี้สำหรับ $\alpha = 60^\circ$ มากกว่ามุมอื่น ๆ ส่วน $\alpha = 20^\circ$ และ $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นได้ดีกว่า พบว่าที่ระนาบที่ 2 จากซ้ายมือของ $\alpha = 60^\circ$ พบแถบสีฟ้าที่บริเวณใกล้กับกึ่งกลางของท่อ แสดงให้เห็นว่าที่บริเวณนี้ไม่ได้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศหรือของไหลที่บริเวณกึ่งกลางของท่อกับความร้อนบริเวณผิวท่อเลยทำให้แถบสียังแสดงอุณหภูมิซึ่งเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ

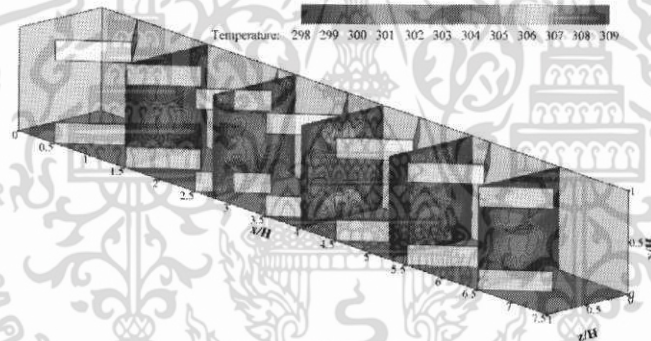
รูปที่ 7.29 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $PR = 1.00, BR = 0.20$ และ $Re = 600$ สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$ จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าสำหรับการจัดวางแบบ V-Downstream ของมุมปะทะทั้ง 4 มุม จะให้ค่าการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผนังด้านข้างที่ไม่มีติดตั้งแผ่นกั้นมากกว่าด้านบนและด้านล่างเนื่องจากเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังด้านข้างมากกว่าด้านอื่น ๆ



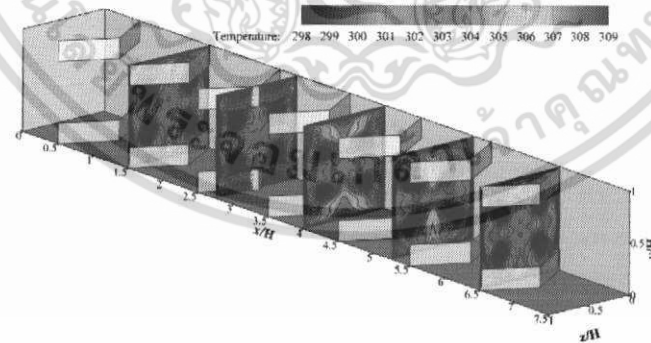
(ก)



(ข)



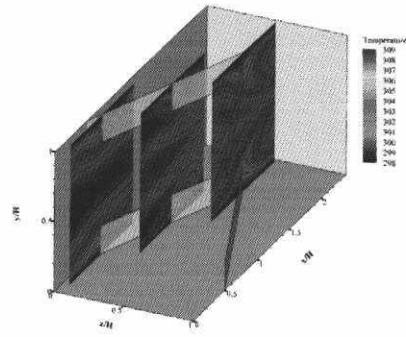
(ค)



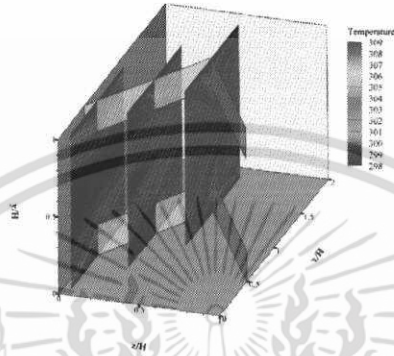
(ง)

รูปที่ 7.27 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



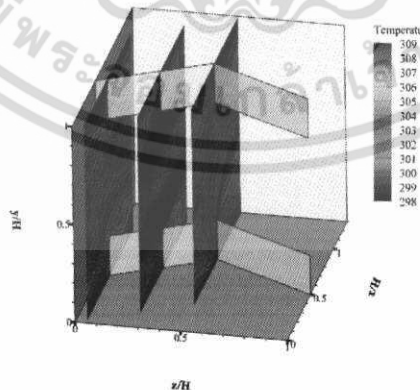
(ก)



(ข)



(ค)



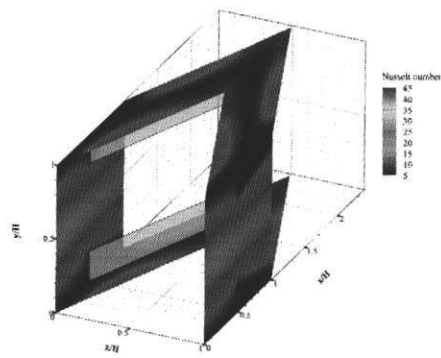
(ง)

รูปที่ 7.28 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

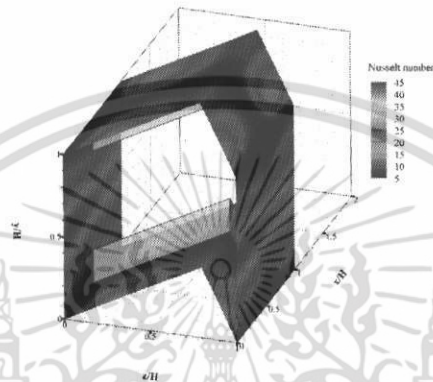
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 45^\circ$ จะให้ค่า Nu_x ใกล้เคียงกัน ส่วน $\alpha = 20^\circ$ ซึ่งแสดงแถบสีเขียวและสีฟ้า ตลอดทั้งโมดูลโดยไม่มีสีแดง แสดงให้เห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังด้านข้างมีค่า ใกล้เคียงกันตลอดทั้งพื้นผิว ส่วน $\alpha = 60^\circ$ ให้แถบสีแดงของ Nu_x ที่บริเวณผิวด้านข้างเล็กน้อย แต่ที่มุมทั้งสี่ด้านจะเห็นแถบสีฟ้าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงว่า $\alpha = 60^\circ$ ถึงแม้จะให้ค่าความรุนแรงของการ กระแสหรือการหมุนวนของกระแสการไหลมากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ แต่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ ค่อนข้างใกล้เคียงกับมุมปะทะอื่น ๆ เนื่องจากเกิดบริเวณหรือจุดที่ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ มากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ โดยเฉพาะบริเวณด้านหลังแผ่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 45^\circ$ ให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อพิจารณาที่ค่า BR และ PR เดียวกัน

แต่เมื่อพิจารณาถึงความสม่ำเสมอในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน พบว่าที่ $\alpha = 20^\circ$ ให้ค่า การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่น้อยกว่ามุมอื่น ๆ แต่ให้ความสม่ำเสมอและการกระจายของค่าการ ถ่ายเทความร้อนตลอดทั้งผิวท่อได้ดีกว่ามุมอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา ทั้งนี้พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากพฤติกรรมการไหลหรือโครงสร้างการไหล จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ โครงสร้างการไหลสำหรับแผ่นกันที่มีมุมปะทะต่าง ๆ ซึ่งพบว่าเกลียวการไหลหรือการสลายตัวของ แกนการหมุนวนสำหรับ $\alpha = 20^\circ$ มีระยะเกลียวหรือระยะการสลายมากที่สุดจึงสามารถทำให้การ กระจายตัวของค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผนังของท่อในทุก ๆ ด้านมีความสม่ำเสมอมากกว่ามุมปะทะ อื่นๆ ในขณะที่ $\alpha = 60^\circ$ มีระยะการสลายของแกนการหมุนวนสั้นที่สุด ถึงแม้ว่าจะให้ค่าความรุนแรงใน การกระแสและให้ค่าการถ่ายเทความร้อนในจุดที่กระแสสูง แต่ความสม่ำเสมอของการถ่ายเท ความร้อนที่พื้นผิวของท่อไม่ดีนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ด้านหลังแผ่นกันและขอบของท่อทั้งสี่ด้าน



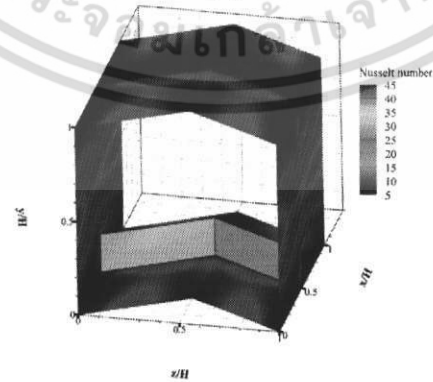
(ก)



(ข)



(ค)



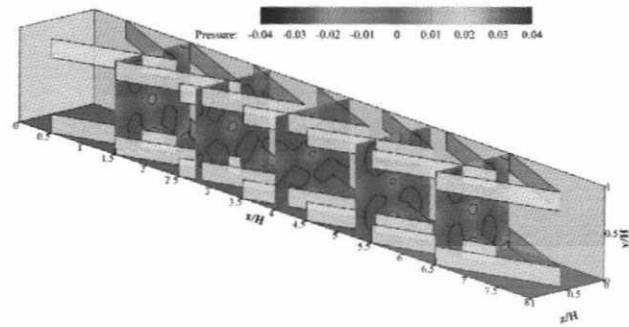
(ง)

รูปที่ 7.29 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

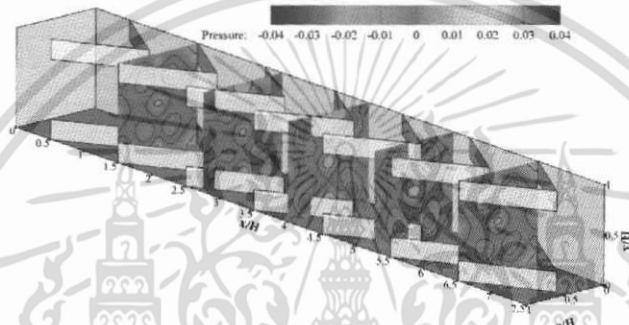
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.3 ความดันตกคร่อม

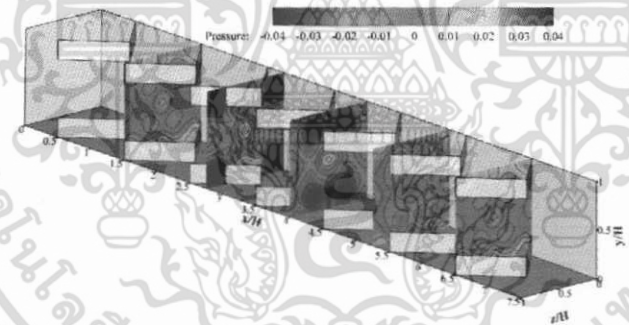
ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.30 ที่ค่า $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°



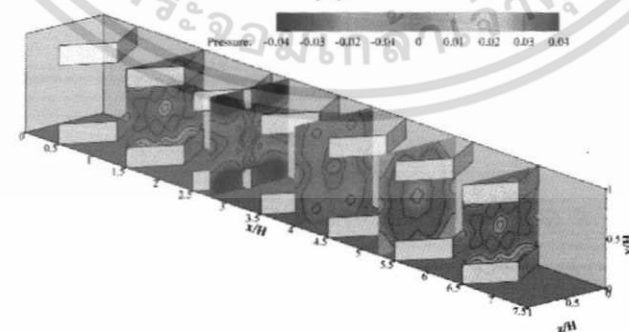
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 7.30 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=600$, In-line และ V-Downstream สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.30 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR=0.20$ และ $Re = 600$ สำหรับ (ก) $\alpha = 20^\circ$ (ข) $\alpha = 30^\circ$ (ค) $\alpha = 45^\circ$ และ (ง) $\alpha = 60^\circ$ จากรูปจะเห็นได้ว่า $\alpha = 20^\circ$ ซึ่งแสดงแถบสีเขียวของการกระจายความดันตลอดทุกระนาบ จึงสามารถสรุปได้ว่า $\alpha = 20^\circ$ จะให้ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันแตกต่างกันน้อยที่สุดในทางตรงกันข้าม $\alpha=45^\circ$ และ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าความดันตกคร่อมที่มากที่สุดสังเกตได้จากแถบสีที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจนนั่นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นค่าความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อค่าความแตกต่างของความดันที่มากจะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดการไหลหมุนวนและการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อ เมื่อเกิดความดันแตกต่างระหว่างหน้าแผ่นกั้นและหลังแผ่นกั้นมาก ความรุนแรงในการกระแทกและการหมุนวนก็มากขึ้นด้วย

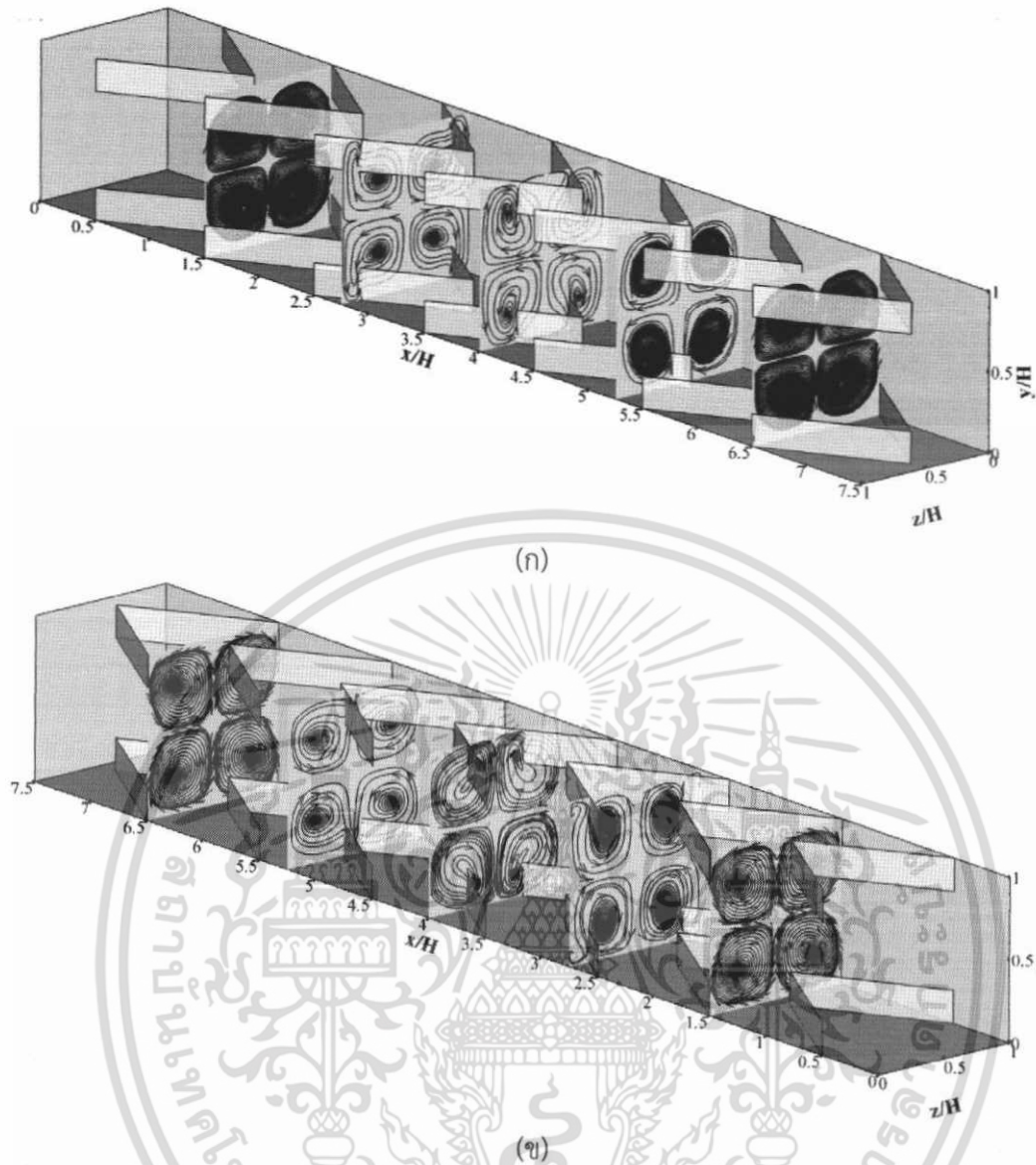
7.7 อิทธิพลของทิศทางการไหล

ในส่วนของอิทธิพลทิศทางการไหล ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR=0.20$ และ $Re = 2000$ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหล 2 แบบ คือ แบบ V-Downstream และ แบบ V-Upstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของทิศทางการไหล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีสำหรับทิศทางการไหลทั้ง 2 แบบ

7.7.1 เส้นกระแสการไหล

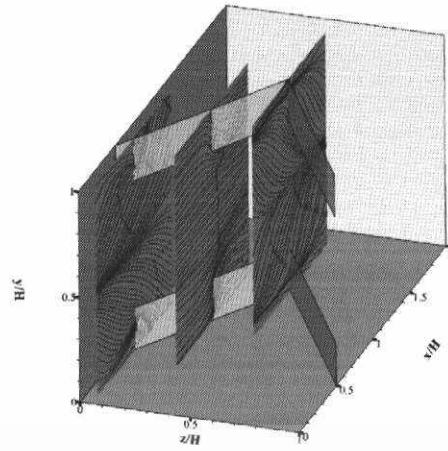
ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ทั้งแบบ V-Downstream และ แบบ V-Upstream ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยให้การอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยให้การอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.31 และ 7.32 แต่เนื่องจากเมื่อมีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบ V-Upstream ไม่ได้มีการนำเสนองานการไหล 3 มิติสำหรับในลักษณะดังกล่าวมาก่อนหน้านี้ ดังนั้นในหัวข้อเส้นกระแสการไหลจึงได้นำเสนองานการไหลในรูปแบบ 3 มิติ สำหรับ แบบ V-Upstream ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.33 โดยนำเสนอในส่วน of เส้นกระแสการไหลที่เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังด้านข้างและผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับ V-Downstream และ แบบ V-Upstream



รูปที่ 7.31 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.32 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

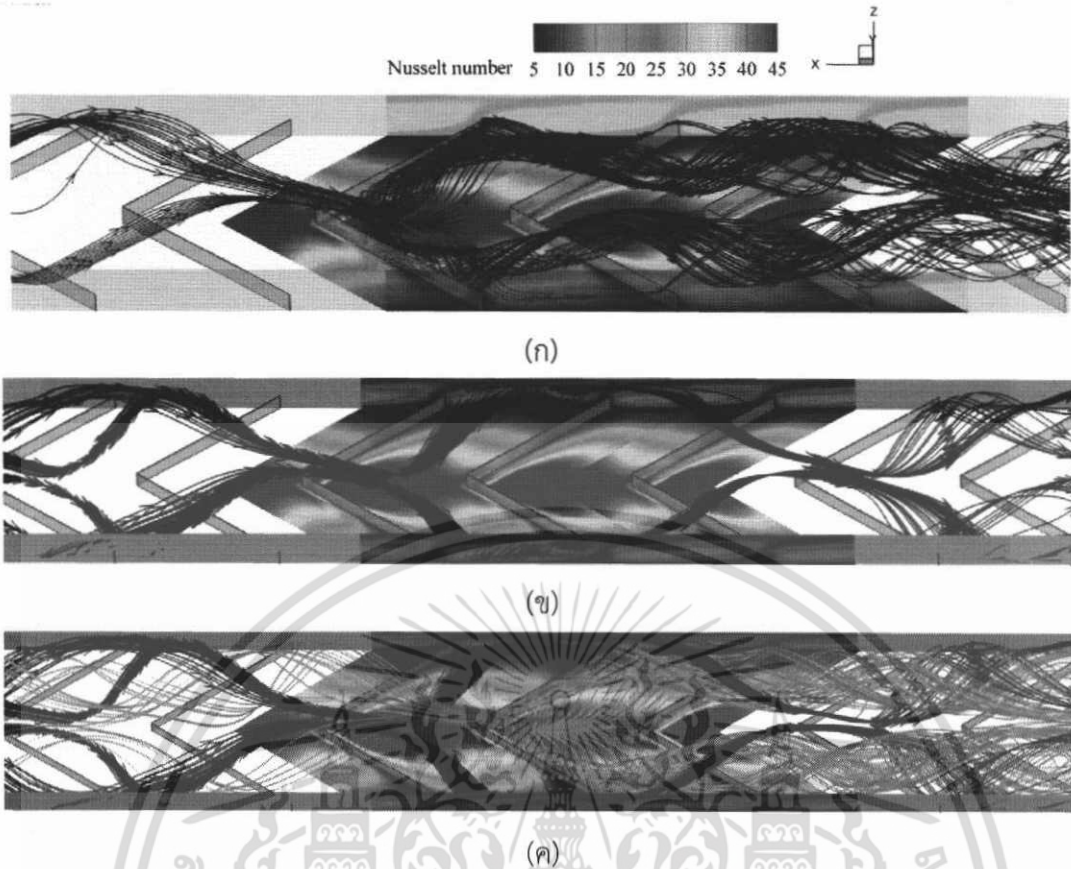
รูปที่ 7.31 และ 7.32 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $\alpha=30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 2000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปเมื่อพิจารณาเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลพบว่าเกิดแกนการหมุนวนหลักบนแต่ละระนาบ 4 แกนเช่นเดียวกัน และพบการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อ แต่ทิศทางของการหมุนวนของกระแสการไหลเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับ V-Downstream เมื่อพิจารณาตามทิศทางการไหลที่แกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นด้านล่างของท่อจะเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-up คือเกิดการรวมตัวกันแล้วหมุนวนขึ้นไปด้านบนซึ่งต่างจากกรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาแกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งที่ด้านล่างของท่อ จะเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-down คือเกิดการรวมตัวกันแล้วหมุนวนลงมาที่ด้านล่าง สำหรับแกนการหมุนวนที่เกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งที่ด้านบนของท่อ พบว่าเกิดในลักษณะเดียวกันแบบสมมาตรกันกับแกนการหมุนวนที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกั้นที่ด้านล่าง

การไหลแบบ V-Downstream เมื่อทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววิเอกสำรนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเกิดแวนการหมุนวนหลัก 4 แวน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะนาบที่ 2 แวนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระยะนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V-tip) จนถึงระยะนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระยะนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แวนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V-tip แล้วสลายไปที่ระยะนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V-tip เมื่อพิจารณาที่แวนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระยะนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแวนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแวนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ BLE อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระยะนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระยะนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแวนการหมุนวนเหมือนกับระยะนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน

สำหรับการไหลแบบ V-Upstream เมื่อทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระยะนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแวนการหมุนวนหลัก 4 แวน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะนาบที่ 2 แวนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระยะนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก V-tip ไปสู่บริเวณ BLE จนถึงระยะนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระยะนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แวนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ BLE แล้วสลายไปที่ระยะนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ V-tip จนถึงบริเวณ BLE เมื่อพิจารณาที่แวนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-down ที่ระยะนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแวนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแวนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ V-tip อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระยะนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระยะนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแวนการหมุนวนเหมือนกับระยะนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน พฤติกรรมการไหลทั้งสองแบบส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณของผนังท่อที่เกิดการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันซึ่งนำเสนอในหัวข้อถัดไป สำหรับเส้นกระแสการไหลในสามมิติของ V-Downstream ได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้านี้อแล้ว ดังนั้นจึงทำการนำเสนอเส้นกระแสการไหลในสามมิติสำหรับ V-Upstream ในหัวข้อนี้



รูปที่ 7.33 เส้นกระแสการไหลในสามมิติและการกระจาย Nu_x ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$, In-line และ V-Upstream สำหรับ (ก) การกระแทกที่ผนังด้านล่าง (ข) การกระแทกที่ผนังด้านข้าง และ (ค) การกระแทกทั้งผนังด้านล่างและด้านข้าง

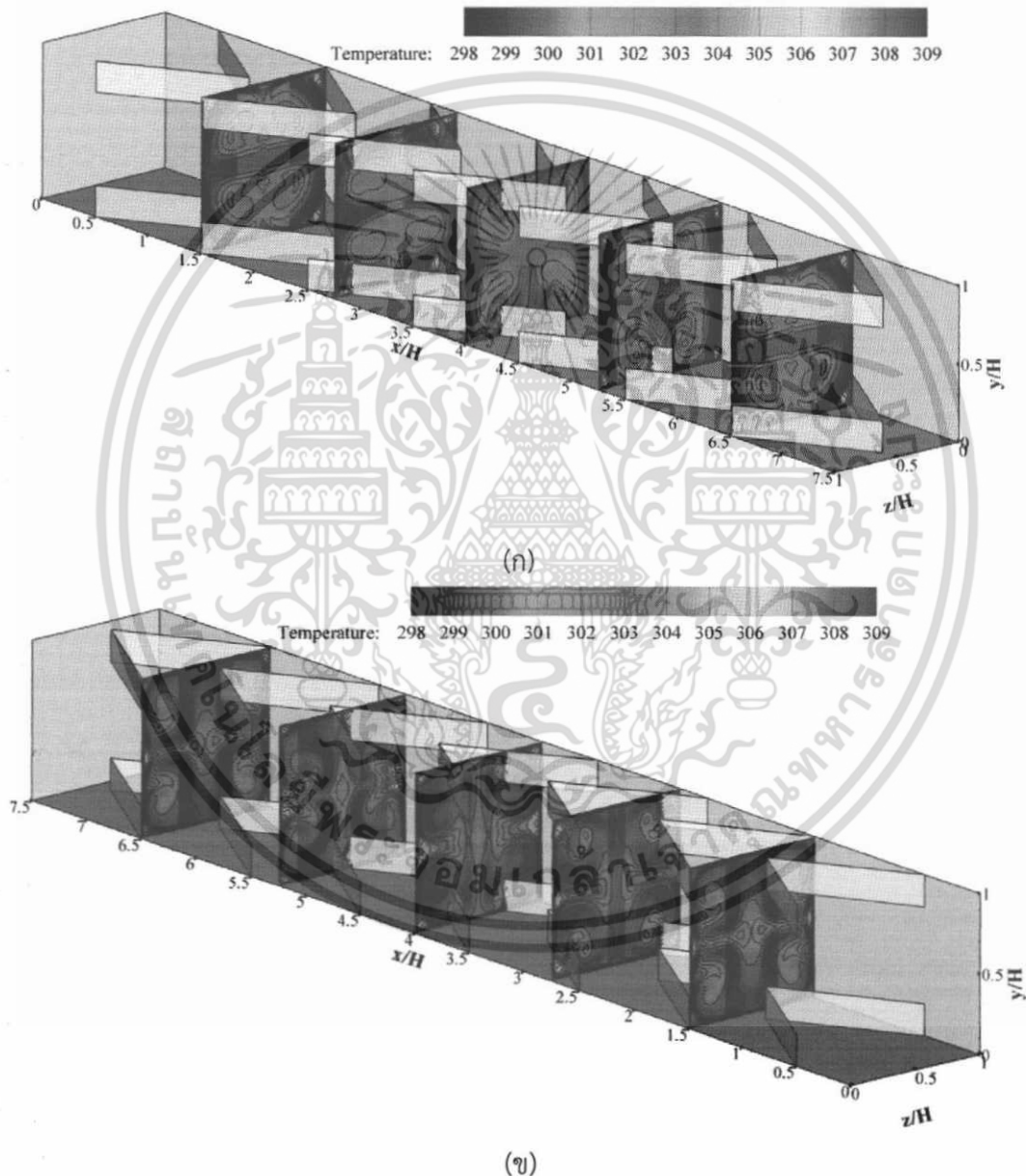
รูปที่ 7.33 แสดงเส้นกระแสการไหลใน 3 มิติและการกระจาย Nu_x สำหรับกรณี $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ โดยมีการจัดวางแบบ V-Upstream จากรูปพบว่าตำแหน่งที่เกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อด้านล่างอยู่บริเวณหลังแผ่นกั้นที่ยอดแผ่นกั้นตัววีซึ่งส่วนที่เกิดการกระแทกจะเกิดแถบสีแดงของ Nu_x ซึ่งแสดงให้เห็นค่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนสำหรับการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังด้านข้างแสดงให้เห็นดังรูปที่ 7.33(ข) จากรูปจะเห็นได้ว่าการกระแทกจะเกิดจากการหมุนตัวของกระแสการไหลเข้ามาหากันที่กึ่งกลางของท่อก่อนที่จะเกิดเกลียวในการหมุนวนอีกครั้งแล้วไปกระแทกที่บริเวณผนังท่อด้านข้างหลังจากนั้นเส้นกระแสการไหลก็จะเกิดการหมุนตัวหรือหมุนวนเข้ามาหากันที่กึ่งกลางท่อก่อนที่จะสลายเป็นเส้นใยย่อย ๆ เพื่อรวมตัวในการกระแทกอีกครั้งสำหรับโมดูลต่อ ๆ ไป จะเห็นได้ว่าการกระจาย Nu_x ให้ค่าที่น้อยกว่าที่ผนังด้านล่างสังเกตได้จากแถบสีซึ่งส่วนมากเป็นแถบสีเขียวและฟ้า

เมื่อพิจารณาทั้งส่วนการกระแทกที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นและที่ผนังด้านล่างของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นพบว่า เส้นกระแสการไหลทั้งสองส่วนแยกกันโดยชัดเจน แต่เกิดการกระแทกที่โมดูลเดียวกันจึงเรียกเส้นกระแสการไหลนี้ว่าการหมุนวนแบบเป็นคู่ (Pair-Vortex,

P-Vortex) ซึ่งจะเกิดทั้งกรณี V-Downstream, V-Upstream และการติดตั้งแบบ In-line และ Staggered

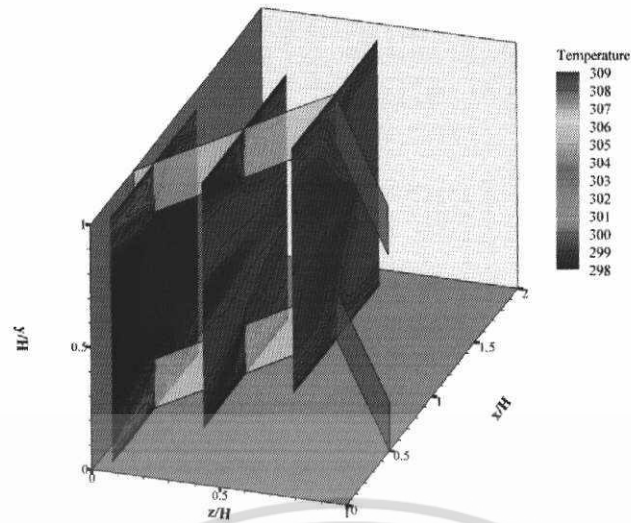
7.7.2 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของ อุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.34 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.35 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.36 ทั้งในส่วนของทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

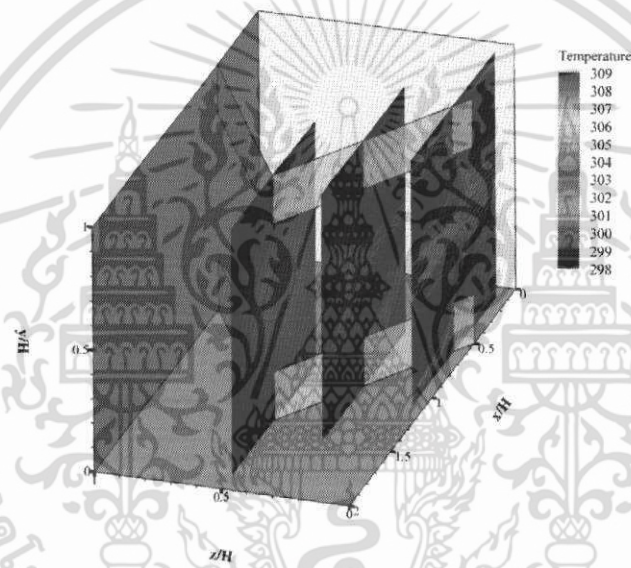


รูปที่ 7.34 การกระจายอุณหภูมิในระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



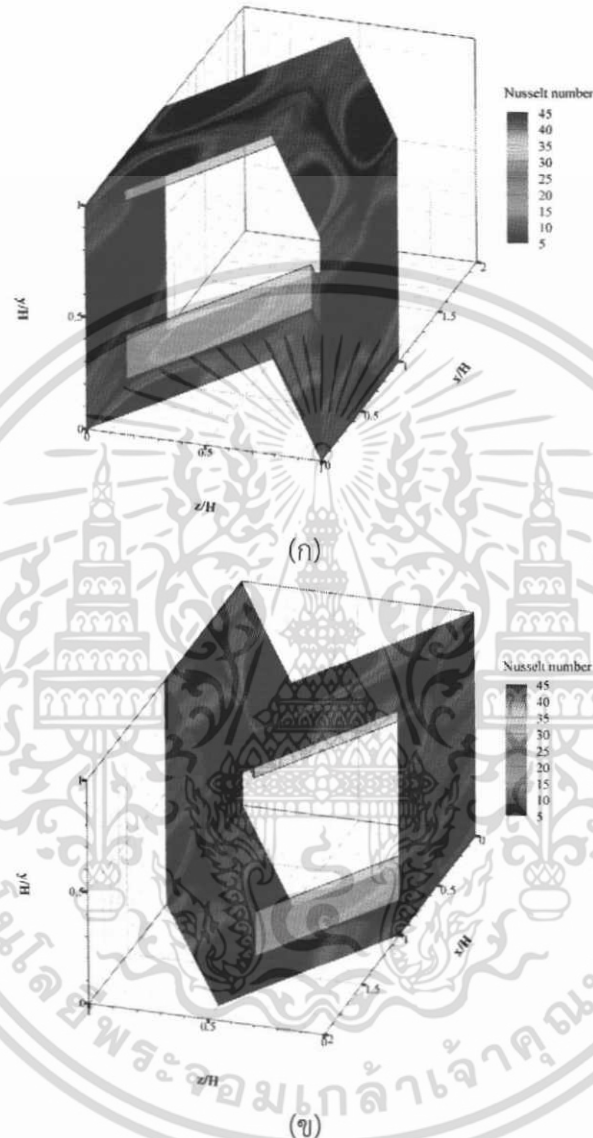
(ข)

รูปที่ 7.35 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 7.35 และ 7.36 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลตามลำดับที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 2000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream จะทำให้เกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้เป็นอย่างดีที่ค่า PR , BR และ Re ที่นำเสนอ และพบว่าแบบ V-Downstream บริเวณแถบอุณหภูมิสีแดงที่ผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะบางกว่าที่ผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเนื่องจากแบบ V-Downstream จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณด้านข้างมากกว่าด้านบนและด้านล่างของท่อเมื่อพิจารณาในส่วนของโครงสร้างการไหลในหัวข้อที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้ ส่วนแบบ V-Upstream บริเวณแถบอุณหภูมิสีแดงที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งแผ่นกันจะบางกว่าที่ผนังด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกัน เนื่องจากแบบ V-Upstream จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณด้านบนและด้านล่างมากกว่าด้านข้างของท่อซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับโครงสร้างการไหลสำหรับ V-Upstream ที่ได้มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้



รูปที่ 7.36 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

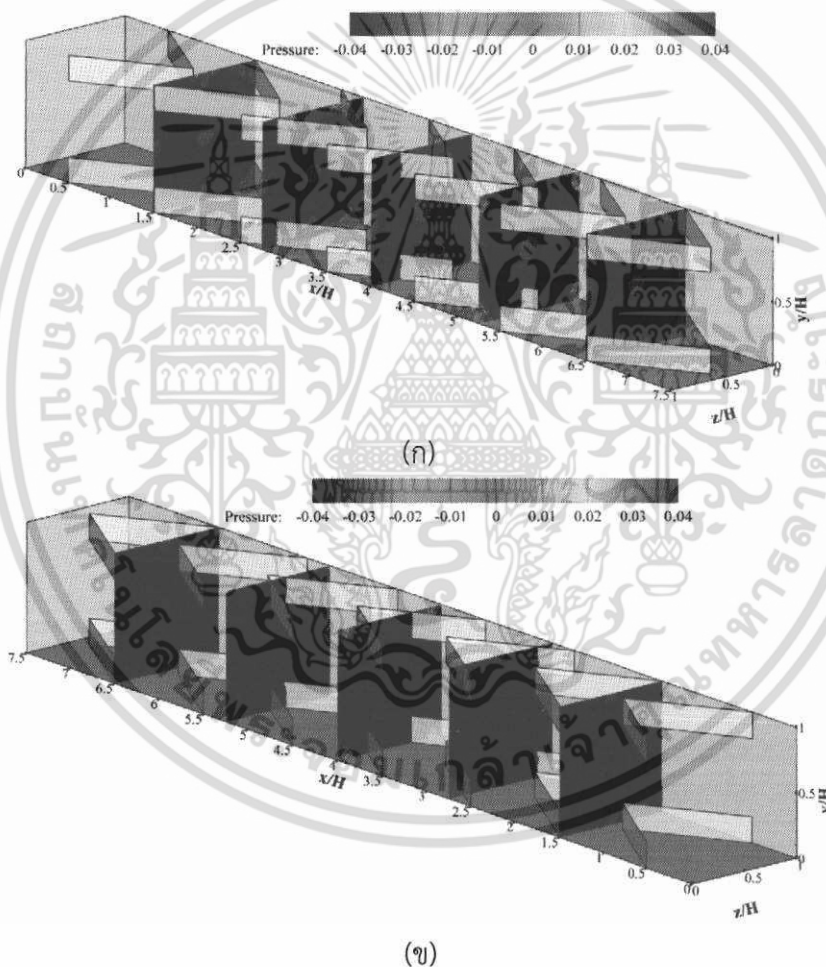
รูปที่ 7.36 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 2000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream การกระจายของ Nu_x จะชี้ให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดการกระแทกของอากาศ จากรูปจะเห็นได้ว่าแบบ V-Downstream จะเกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกันมากกว่าผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกัน สังเกตได้จากแถบสีแดงที่เกิดขึ้นที่ผนังด้านข้างทั้งสองของท่อโดยจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการกระแทกของกระแสการไหลที่กึ่งกลางของผนังท่อทางด้านข้างส่วนตำแหน่งที่เกิดแถบสีแดงที่บริเวณด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับผนังท่อด้านข้างและมีการแยกตัวเป็นสองจุด ส่วนแบบ V-Upstream จะเกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นมากกว่าผนังด้านข้างดังนั้นจึงเกิดแถบสีแดงของการกระจาย Nu_x ที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อมากกว่า โดยมีตำแหน่งของการกระแทกอยู่บริเวณกึ่งกลางตรงมุมของตัววี ส่วนตำแหน่งของบริเวณผนังด้านข้างของท่อจะเกิดที่ใกล้กับผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ จะแบ่งออกเป็นสองส่วนในแต่ละโมดูล

7.7.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.37 ทั้งการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 7.37 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR=0.20$, $Re = 2000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 7.37 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR=0.20$ และ $Re = 2000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ค่าความดันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คร่อมของกรณีทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาจากกรณีที่น่ามานำเสนอ โดยแบบ V-Downstream จะให้ค่าความดันตกคร่อมมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดความรุนแรงของการหมุนวนมากกว่าแบบ V-Upstream ทั้งนี้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมของทิศทางไหลทั้งสองแบบในแต่ละค่า BR , PR , Re และมุมปะทะมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ที่ได้จากการนำเสนอในรูปของค่า Nu/Nu_0 , ff_0 และ η ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่ 8

7.8 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกัน

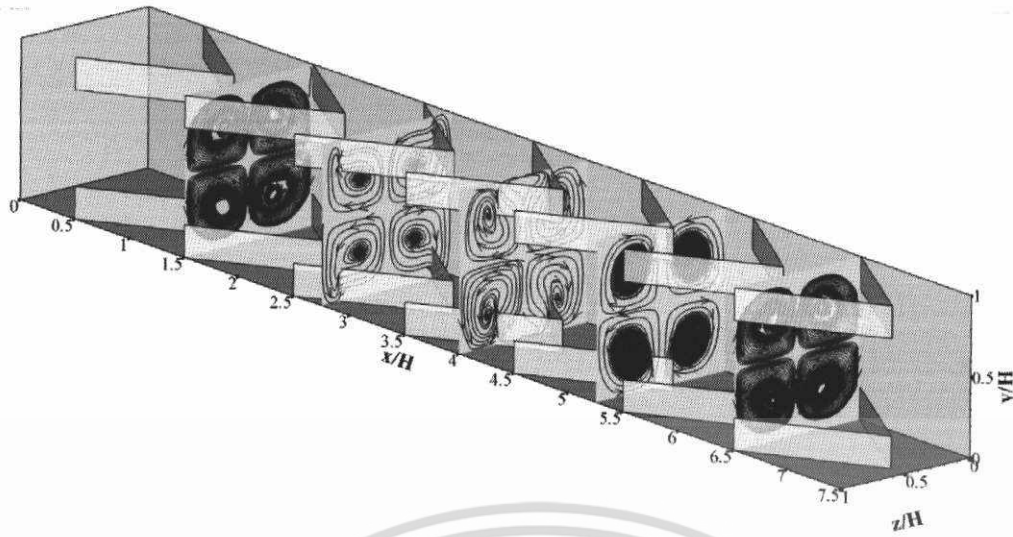
ในส่วนของอิทธิพลของการจัดวางแผ่นกัน ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$, $PR = 1.00$ และ $Re = 1600$ ที่มีการจัดวางแบบ In-line และ Staggered และมีทิศทางไหลแบบ V-Downstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลลักษณะการจัดวางแผ่นกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกันตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกันตัววีที่มีลักษณะการจัดวางแบบต่าง ๆ

7.8.1 เส้นกระแสการไหล

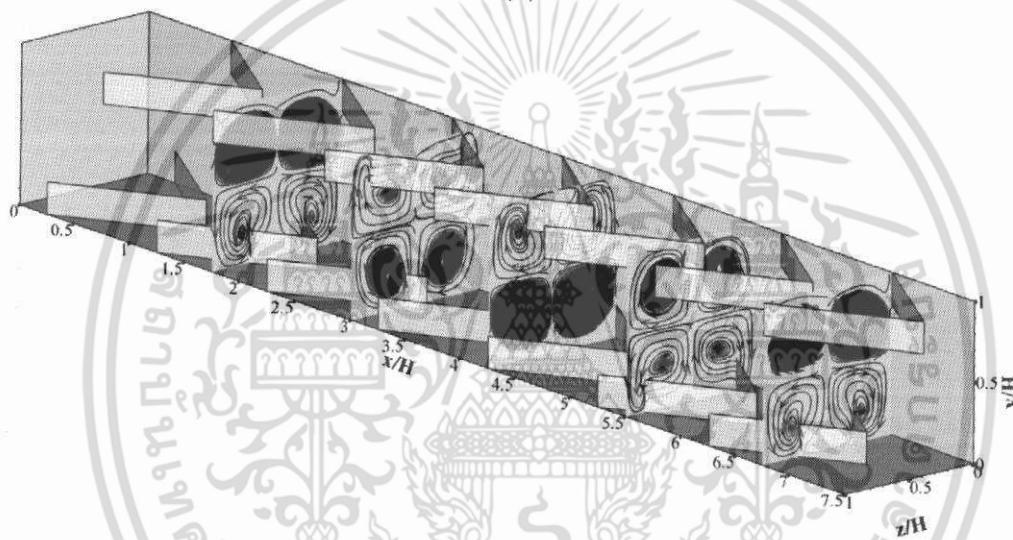
ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกันตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกันที่ลักษณะการจัดวางต่าง ๆ ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกันตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกันตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.38 และ 7.39 ส่วนโครงสร้างการไหลหรือเส้นกระแสการไหล 3 มิติ ที่ค่าลักษณะการจัดวางต่าง ๆ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นในส่วนของอิทธิพลของลักษณะการจัดวาง จะนำเสนอในส่วนของเส้นกระแสการไหลใน 2 มิติเท่านั้น

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับการจัดวางแผ่นกันตัววีแบบ In-line และ Staggered

รูปที่ 7.38 และ 7.39 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1600$ สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered จากรูปเมื่อพิจารณาเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหล พบว่าในระนาบนี้เกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกนและเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณมุมของท่อ โดยทิศทางของการหมุนวนของกระแสการไหลเป็นไปในทิศทางตรงเดียวกันโดยการจัดวางแบบ In-line จะมีความสมมาตรของกระแสการไหลทั้งด้านบนล่างและด้านซ้ายขวา ส่วนการจัดวางแบบ Staggered จะมีความสมมาตรกันเฉพาะด้านซ้ายและขวาของท่อเท่านั้น



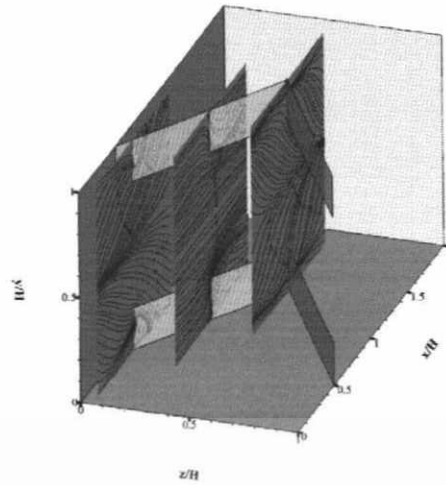
(ก)



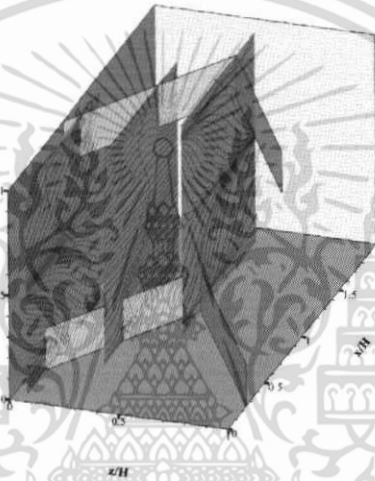
(ข)

รูปที่ 7.38 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.39 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

สำหรับการจัดวางแบบ In-line เส้นกระแสการไหลที่มีความเร็วมีขนาดเท่ากันจะเสริมกัน และกระแทกที่บริเวณผนังทำให้ความแรงของอากาศที่กระแทกนั้นมากกว่าการจัดวางแบบ Staggered เล็กน้อย เนื่องจากการจัดวางแบบ Staggered ความเร็วของแกนการไหลที่เกิดขึ้นมีขนาดไม่เท่ากัน จึงเกิดการเสริมกันได้น้อยกว่าการจัดวางแบบ In-line

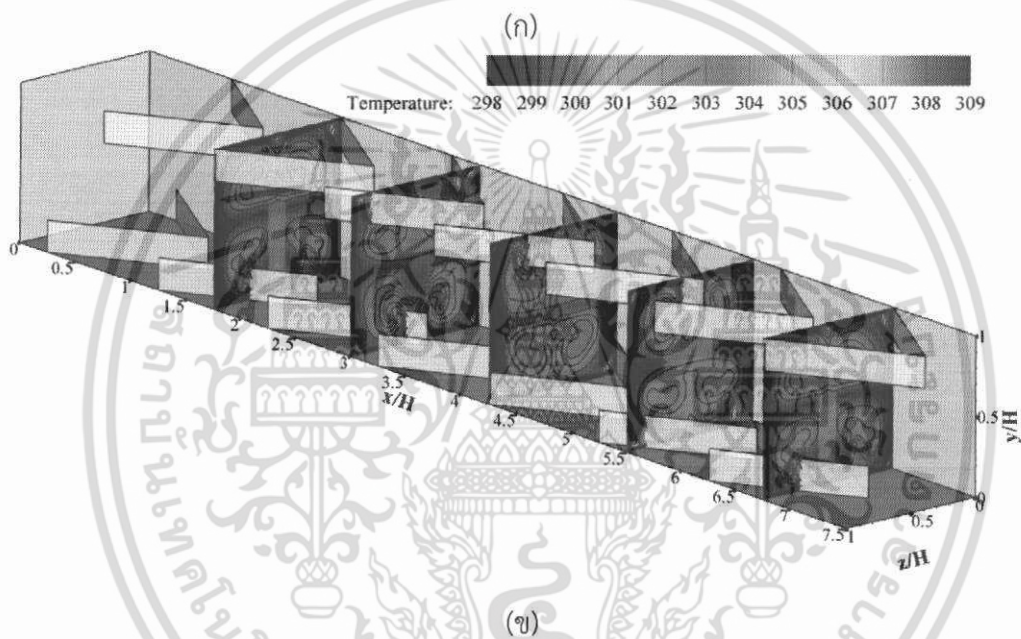
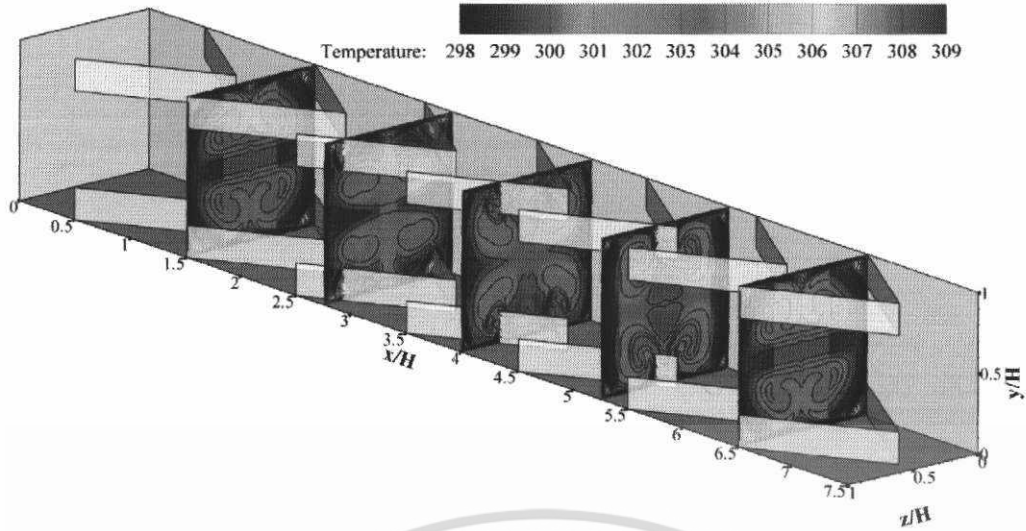
เมื่อพิจารณาในแต่ละระนาบขวางการไหลสำหรับการติดตั้งแบบ In-line ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระยะห่างที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีซึ่งเกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะห่างที่ 2 แกนการหมุนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V-tip) จนถึงระยะห่างที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระยะห่างที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V-tip แล้วสลายไปที่ระยะห่างที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V-tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สั่นไหวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

common-flow-up ที่ระนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ *BLE* อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน

ส่วนการจัดวางหรือการติดตั้งแบบ Staggered ทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, *BLE*) จนถึง *BLE* ของโมดูลถัดไปเช่นเดียวกับ In-line พบว่าที่ระนาบที่ 1 ที่ผนังด้านล่างของท่อเป็นตำแหน่งใกล้เคียงกับ V-tip ส่วนด้านบนของท่อเป็นตำแหน่ง *BLE* ที่ด้านล่างจะเกิดแกนการหมุนวนหลักซึ่งเคลื่อนที่เข้าสู่ V-tip ในขณะที่ด้านบนเกิดการสลายของแกนการหมุนวนหลักจากโมดูลก่อนหน้านี้อันและเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ *BLE* ที่ระนาบที่ 2 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ โมดูลพบว่าที่ด้านล่างแกนการหมุนวนที่เคลื่อนที่เข้าสู่ V-tip กำลังเกิดการสลายตัวในขณะที่แกนการหมุนวนที่ด้านบนกำลังเคลื่อนที่จาก *BLE* เข้าสู่ V-tip ที่ระนาบที่ 3 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ โมดูลซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนวนหลักด้านล่างและเกิดการเคลื่อนที่ของแกนการหมุนวนจาก *BLE* สู่อุป V-tip สำหรับแกนการหมุนวนที่ด้านบน ที่ระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล พบว่าแกนการหมุนวนด้านล่างเกิดขึ้นและกำลังเคลื่อนที่จาก *BLE* เข้าสู่บริเวณ V-tip ในขณะที่แกนการหมุนวนด้านบนซึ่งกำลังเคลื่อนที่เข้าสู่ V-tip เช่นกันกำลังเกิดการสลายตัว พฤติกรรมการไหลดังกล่าวเกิดการซ้ำการระนาบที่ 1-4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน โดยมีข้อสังเกตว่าที่ระนาบที่ 1 มีลักษณะคล้ายกับระนาบที่ 3 เมื่อทำการหมุนระนาบเป็นมุมเท่ากับ 180° เช่นเดียวกับระนาบที่ 2 ซึ่งมีลักษณะการไหลคล้ายกับระนาบที่ 4 เมื่อทำการหมุนระนาบเป็นมุมเท่ากับ 180° เช่นกัน

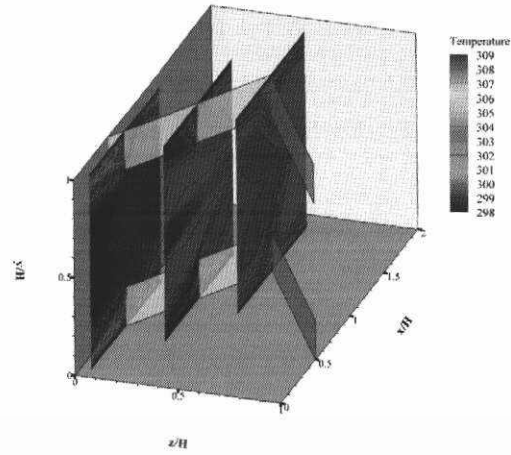
7.8.2 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.40 ในระนาบตามการไหล ดังรูปที่ 7.41 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.42 สำหรับการจัดวางแบบ In-line และ Staggered

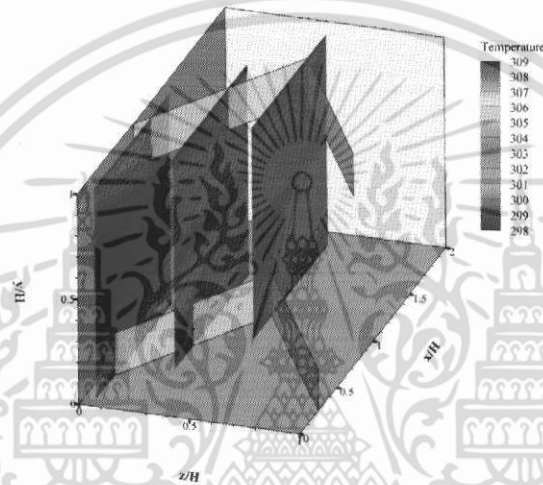


รูปที่ 7.40 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

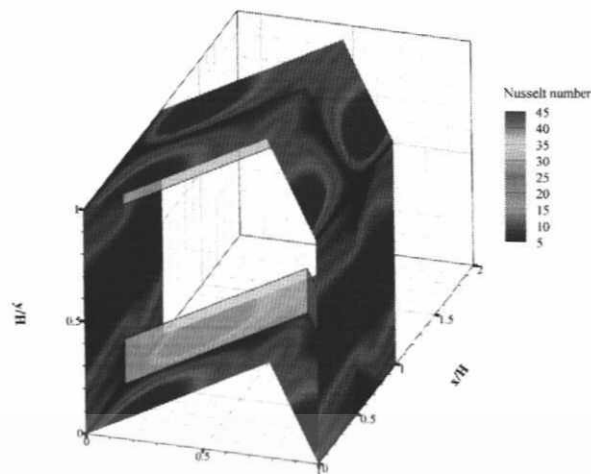


(ข)

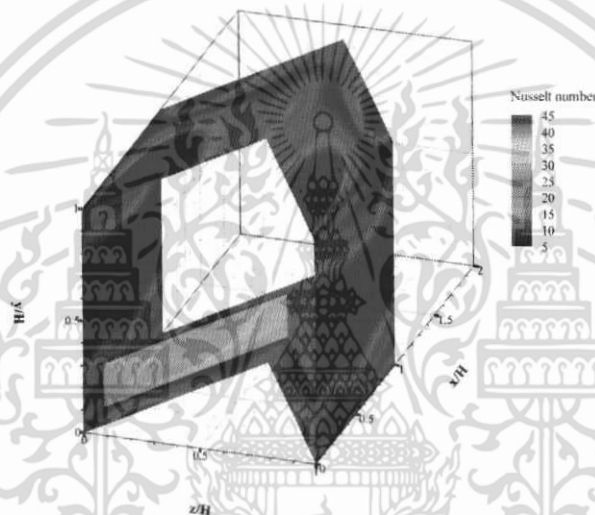
รูปที่ 7.41 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

รูปที่ 7.40 และ 7.41 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลตามลำดับที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1600$ สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งแบบ In-line และ Staggered จะทำให้เกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้เป็นอย่างดี และพบว่าการกระจายอุณหภูมิของแบบ In-line จะมีความสมมาตรกันทั้งด้านบนและด้านล่าง แต่ Staggered จะไม่เกิดความสมมาตรกัน ส่วนค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน พบว่าแบบ In-line จะให้ค่าที่มากกว่าวางเยื้องเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

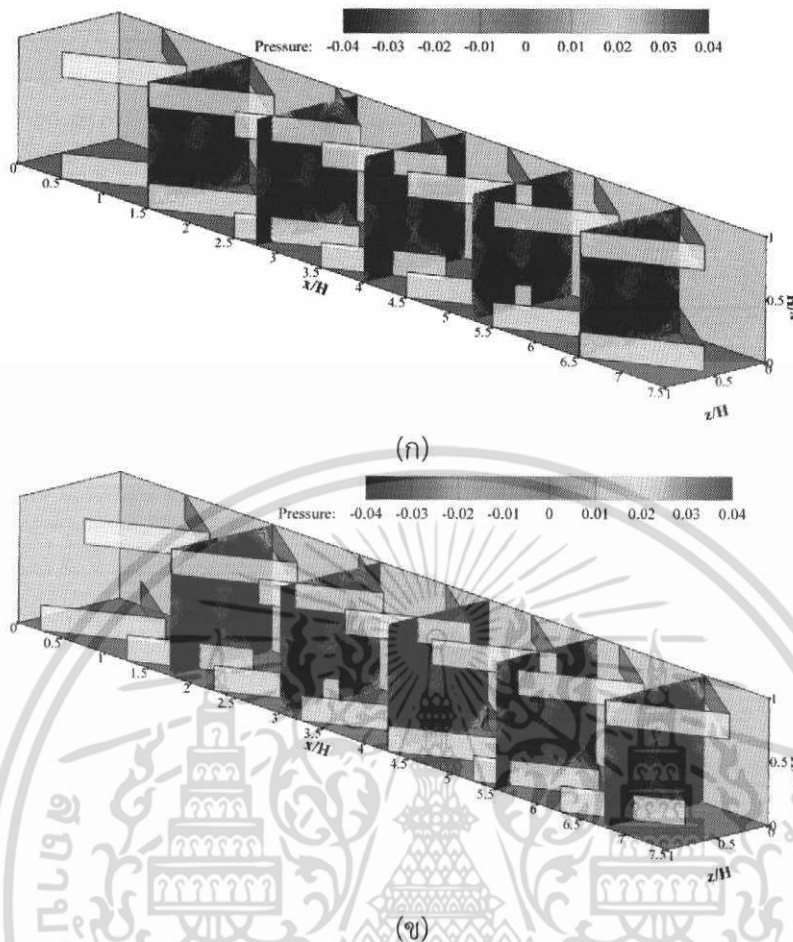
รูปที่ 7.42 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

รูปที่ 7.42 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1600$ สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered การกระจาย Nu_x จะชี้ให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดการกระแทกของอากาศ จากรูปจะเห็นได้ว่าการจัดวางแผ่นกันทั้งแบบ In-line และ Staggered จะให้ค่าการกระจาย Nu_x ที่ใกล้เคียงกัน โดยแบบ In-line จะมีแนวโน้มสูงกว่าเล็กน้อย จากรูปที่มีการจัดวางแบบ V-Downstream พบว่าเกิดการกระแทกที่บริเวณผิวด้านข้างมากกว่าด้านบนและด้านล่างทั้ง In-line และ Staggered

7.8.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระยะทางขวางการไหล ดังรูปที่ 7.43 ทั้งการติดตั้งแบบ In-line และ Staggered

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.43 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR=0.20$, $Re = 1600$ และ V-Downstream สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered

รูปที่ 7.43 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $PR = 1.00$, $BR=0.20$ และ $Re = 1600$ สำหรับ (ก) In-line และ (ข) Staggered ค่าความดันตกคร่อมของกรณีทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดย In-line จะให้ค่าความดันตกคร่อมมากกว่าเล็กน้อย ซึ่งสามารถพิจารณาในรูปของ f/f_0 ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 8

7.9 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกันตัววี

จากการศึกษาโครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสำหรับแผ่นกันตัววีที่มีการติดตั้งทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีรูปแบบการติดตั้งในลักษณะต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มแผ่นกันตัววีที่ผนังของท่อจะทำให้เกิดการกระแทกของกระแสการไหลซึ่งส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและความร้อนที่ผนังท่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกันตัววี แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มแผ่นกันตัววียังส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาแผ่นกันตัววีที่มีการพัฒนาและออกแบบเพื่อจุดประสงค์ในการลดค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเพิ่มแผ่นกัน โดยทำการตัดขอบของแผ่นกันตัววีออกทั้งสองด้านและทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อน, โครงสร้างการไหลและค่าความดันตกคร่อมเทียบกับแผ่นกันตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบและท่อเปล่าผิวเรียบที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นกัน รวมถึงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกรณีแผ่นกันตัววีตัดขอบ

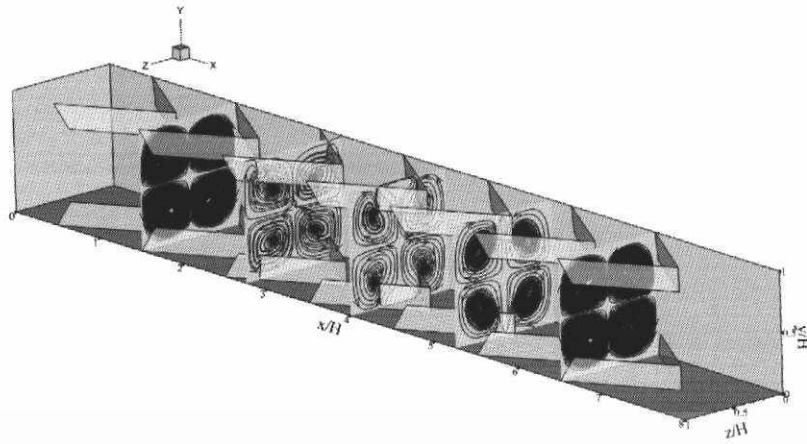
ในส่วนของอิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกันตัววี ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ค่า $PR = 1.00$ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream โดยมีการนำเสนอผลจากการตัดขอบของแผ่นกันตัววี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกันตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกันตัววีที่มีการตัดขอบ ส่วนขอบของแผ่นกันตัววีทำการตัดออกทำมุมกับแกน $+y$ เท่ากับ $\beta = 60^\circ$ เนื่องจากการศึกษาในบทก่อนหน้าที่พบว่ามุมปะทะการไหลที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผ่นกันตัววีคือ $\alpha = 30^\circ$

7.9.1 เส้นกระแสการไหล

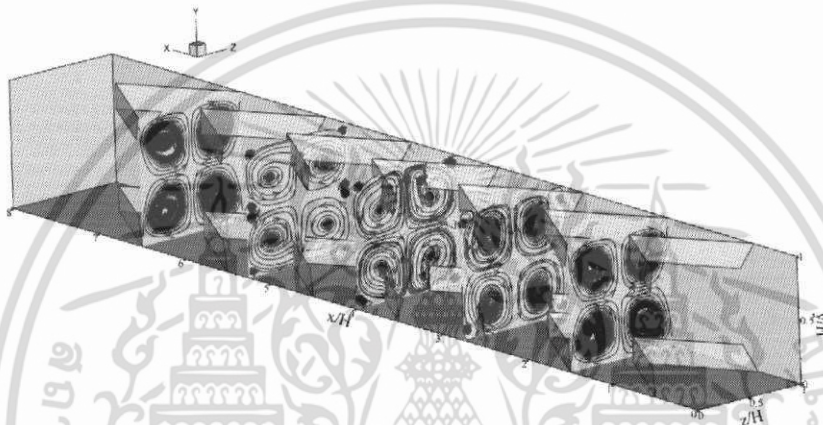
ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกันตัววี โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกัน ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกันตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณด้านหลังของแผ่นกันตัววี โดยทั้งเส้นกระแสการไหลในระนาบตามการไหลและระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.45-7.48 ส่วนโครงสร้างการไหลหรือเส้นกระแสการไหล 3 มิติ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นในส่วนของอิทธิพลของแผ่นกันตัววีตัดขอบ จะนำเสนอในส่วนของเส้นกระแสการไหลใน 2 มิติเท่านั้น

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลและระนาบตามการไหลสำหรับแบบ V-Downstream และ V-Upstream

รูปที่ 7.44 และ 7.45 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลและตามการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปเมื่อพิจารณาเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลพบว่าเกิดแกนการหมุนวนหลักบนแต่ละระนาบ 4 แกนเช่นเดียวกัน และพบการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อ แต่ทิศทางการหมุนวนของกระแสการไหลเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.44 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

สำหรับ V-Downstream เมื่อพิจารณาตามทิศทางการไหลที่แกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นด้านล่างของท่อจะเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-up คือเกิดการรวมตัวกันแล้วหมุนวนขึ้นไปด้านบนซึ่งต่างจากกรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาแกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งที่ด้านล่างของท่อ จะเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-down คือเกิดการรวมตัวกันแล้วหมุนวนลงมาที่ด้านล่าง สำหรับแกนการหมุนวนที่เกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งที่ด้านบนของท่อ พบว่าเกิดในลักษณะเดียวกันแบบสมมาตรกันกับแกนการหมุนวนที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกั้นที่ด้านล่าง

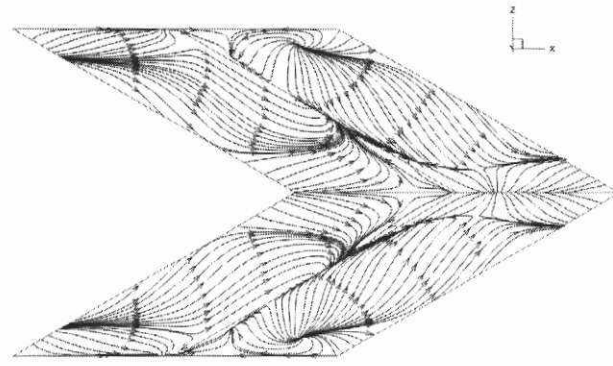
การไหลแบบ V-Downstream เมื่อทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, BLE) จนถึง BLE ของโมดูลถัดไป โดยระยะที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววี ซึ่งเกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระยะที่ 2 แกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระยะที่ 1 เคลื่อนที่จาก BLE เข้าสู่ยอดของแผ่นกั้นตัววี (V-tip) จนถึงระยะที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระยะที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ V-tip แล้วสลายไปที่ระยะที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ BLE จนถึงบริเวณ V-tip เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-up ที่ระยะที่ 4 ซึ่งเกิดการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ *BLE* อีกครั้ง แล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน

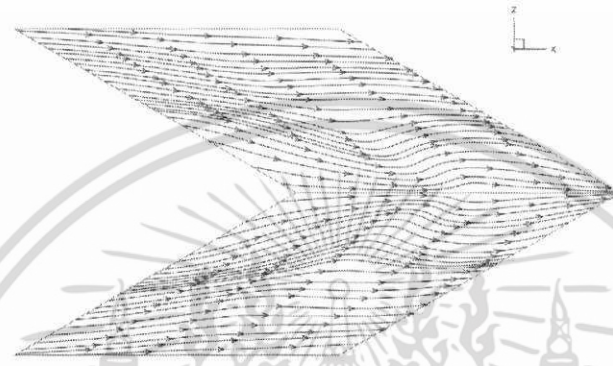
สำหรับการไหลแบบ V-Upstream เมื่อทำการพิจารณาตั้งแต่ระยะขอบของแผ่นกั้น (baffle leading edges, *BLE*) จนถึง *BLE* ของโมดูลถัดไป โดยระนาบที่ 1 เป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววี ซึ่งเกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน หลังจากนั้นเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่นกั้นเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของโมดูลหรือระนาบที่ 2 แกนการหมุนวนที่เกิดขึ้นในระนาบที่ 1 เคลื่อนที่จาก V-tip ไปสู่บริเวณ *BLE* จนถึงระนาบที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของโมดูลและระนาบที่ 4 เป็นระยะเท่ากับ $\frac{3}{4}$ ของโมดูล แกนการหมุนวนเคลื่อนที่จนถึงบริเวณ *BLE* แล้วสลายไปที่ระนาบที่ 4 โดยการเคลื่อนที่จากบริเวณ V-tip จนถึงบริเวณ *BLE* เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนซึ่งเกิดจากแผ่นกั้นที่ติดตั้งบริเวณผนังด้านล่าง พบว่าการเคลื่อนที่เป็นแบบ common-flow-down ที่ระนาบที่ 4 ซึ่งเกิดการสลายของแกนการหมุนวนที่เกิดจากโมดูลก่อนหน้า จะเกิดแกนการหมุนวนใหม่ที่บริเวณ V-tip อีกครั้งแล้วมีพฤติกรรมการไหลซ้ำเดิมจากระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 4 จะเห็นได้ว่าระนาบที่ 5 จะมีลักษณะของแกนการหมุนวนเหมือนกับระนาบที่ 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งขอบของแผ่นกั้นตัววีเหมือนกัน

พฤติกรรมการไหลทั้งสองแบบส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นซึ่งนำเสนอในหัวข้อถัดไป

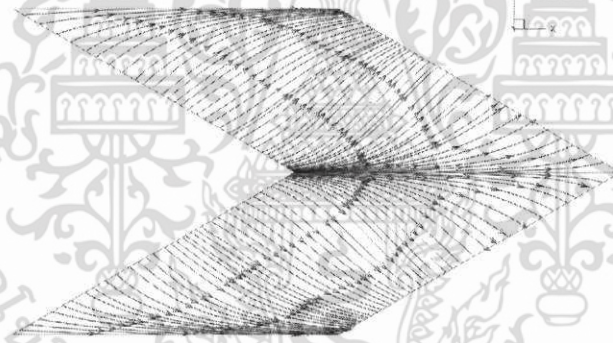
จากรูปที่ 7.45 แสดงโครงสร้างการไหลบนระนาบตามการไหลสำหรับ V-Downstream ที่ระยะ y/H ต่าง ๆ พบว่า ที่ระยะ $y/H = 0$ หรือบริเวณชิดกับผนังท่อพบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัดขอบจะทำให้โครงสร้างการไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกั้น โดยจะเกิดการไหลหมุนวนของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นทำให้ทิศทางการไหลของอากาศจากการไหลในแกน $+x$ เป็นการไหลแบบ 3 แกน โดยเมื่อพิจารณาที่ระนาบ $y/H = 0.25$ ซึ่งเป็นตำแหน่งเหนือแผ่นกั้น พบว่าการไหลแบบหมุนวนซึ่งพบในระนาบ $y/H = 0$ ไม่เกิดในระนาบนี้ โดยการไหลในระนาบที่สูงกว่าแผ่นกั้นทั้ง $y/H = 0.25$ และ 0.50 จะพบการเปลี่ยนแปลงของการไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับระนาบที่ชิดกับผนังของท่อ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7.45 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Downstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ (ก) $y/H = 0$, (ข) $y/H = 0.25$ และ (ค) $y/H = 0.50$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

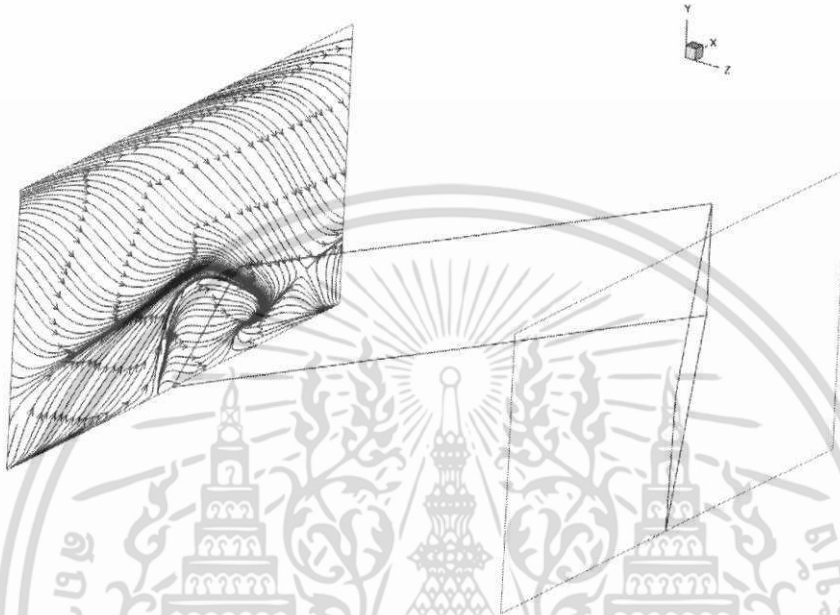
(ค)

รูปที่ 7.46 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Upstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ (ก) $y/H = 0$, (ข) $y/H = 0.25$ และ (ค) $y/H = 0.50$

จากรูปที่ 7.46 แสดงโครงสร้างการไหลบนระนาบตามการไหลสำหรับ V-Upstream ที่ระยะ y/H ต่าง ๆ พบว่า แนวโน้มและโครงสร้างการไหลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแผ่นกั้นตัววัดขอบที่มีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream โดยมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างการไหลที่เห็นได้ชัดเจนที่บริเวณใกล้กับผนังท่อ ที่ระยะ $y/H = 0$ หรือบริเวณชิดกับผนังท่อพบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววัดขอบจะทำให้โครงสร้างการไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

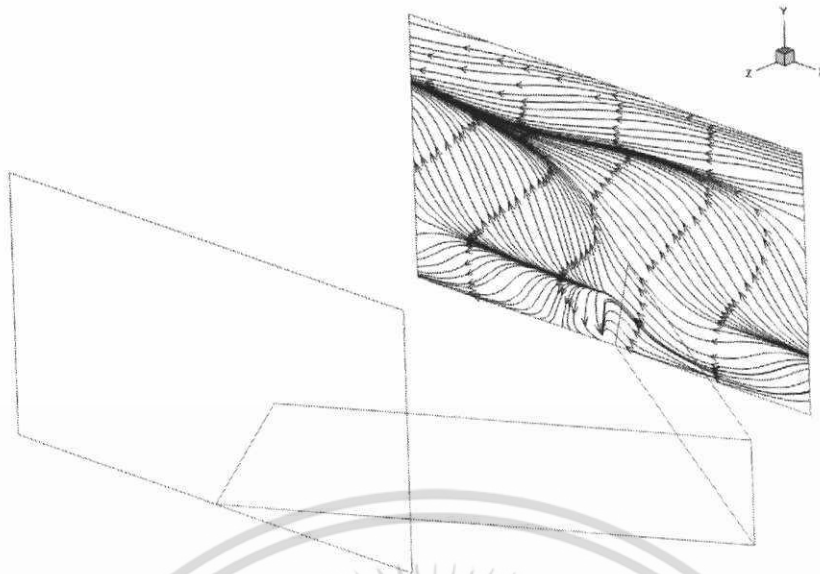
โดยจะเกิดการไหลหมุนวนของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นทำให้ทิศทางการไหลของอากาศจากการไหลในแกน $-x$ เป็นการไหลแบบ 3 แกน โดยเมื่อพิจารณาที่ระนาบ $y/H = 0.25$ ซึ่งเป็นตำแหน่งเหนือแผ่นกั้น พบว่าการไหลแบบหมุนวนซึ่งพบในระนาบ $y/H = 0$ ไม่เกิดในระนาบนี้ โดยการไหลในระนาบที่สูงกว่าแผ่นกั้นทั้ง $y/H = 0.25$ และ 0.50 จะพบการเปลี่ยนแปลงของการไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับระนาบที่ชิดกับผนังของท่อ



รูปที่ 7.47 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Downstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง

จากรูป 7.47 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Downstream ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง เมื่อพิจารณาโครงสร้างการไหลที่บริเวณผนังท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววัดดัดขอบ พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววัดดัดขอบจะเกิดการไหลหมุนวนที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น ซึ่งโครงสร้างการไหลดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกันกับแผ่นกั้นตัววัดที่ไม่ได้มีการตัดขอบ แต่แผ่นกั้นตัววัดดัดขอบเกิดการไหลหมุนวนที่บริเวณผนังด้านข้างมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นตัววัดในกรณีศึกษาเดียวกัน ซึ่งการเกิดการไหลหมุนวนที่บริเวณผนังด้านข้างที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ผนังท่อ โดยจะส่งผลต่อการกระจายค่า Nu ถึงแม้กรณีแผ่นกั้นตัววัดดัดขอบจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่มากกว่าแผ่นกั้นตัววัดที่ไม่ได้มีการตัดขอบ แต่ให้ค่าการกระจายค่า Nu ที่สม่ำเสมอมากกว่า และสามารถแก้ไขที่จะไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ในส่วนของบริเวณขอบท่อให้มีการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น และนอกจากนี้การตัดขอบแผ่นกั้นตัววัดยังช่วยให้ค่าความดันตกคร่อมหรือความดันสูญเสียมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับแผ่นกั้นตัววัดที่ไม่ได้มีการตัดขอบซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

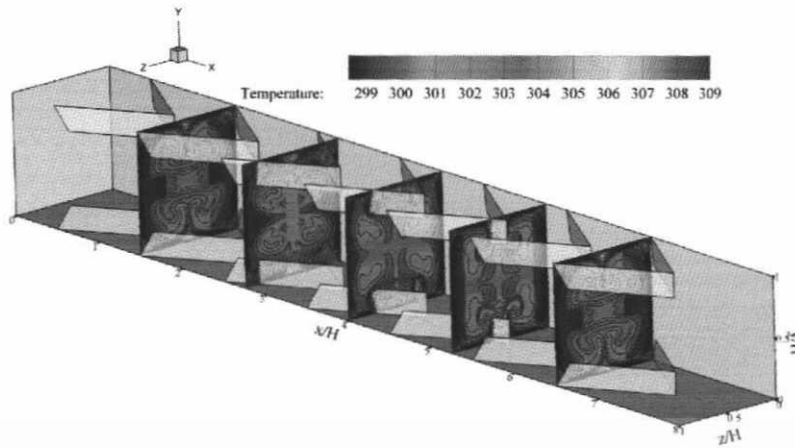


รูปที่ 7.48 เส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Upstream และ In-line ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง

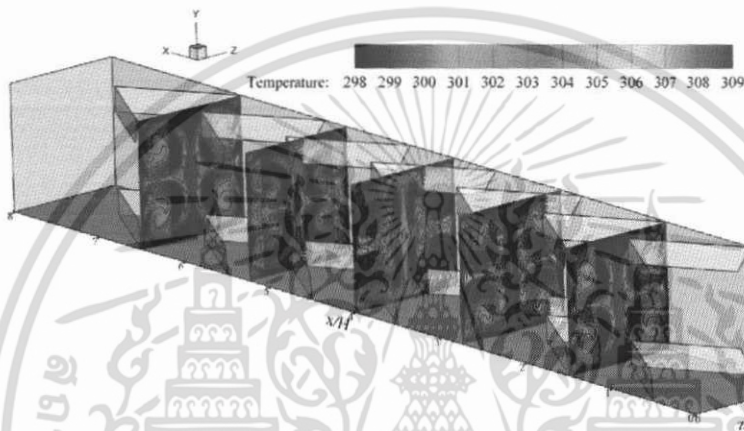
จากรูปที่ 7.48 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบตามแนวการไหล สำหรับ V-Upstream ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่บริเวณผนังท่อด้านข้าง เมื่อพิจารณาโครงสร้างการไหลที่บริเวณผนังท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ พบว่าเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีตัดขอบจะเกิดการไหลหมุนวนที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น ซึ่งโครงสร้างการไหลดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกันกับแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบ โดยในกรณี V-Upstream พบว่าโครงสร้างการไหลไม่ได้เกิดการหมุนวนที่เพิ่มขึ้นเหมือนกันกรณี V-Downstream โครงสร้างการหมุนวนมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนจึงควรศึกษาและวิเคราะห์จากกราฟ Nu/Nu_0 ซึ่งจะนำเสนอในบทที่ 8

7.9.2 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.49 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.50 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream



(ก)



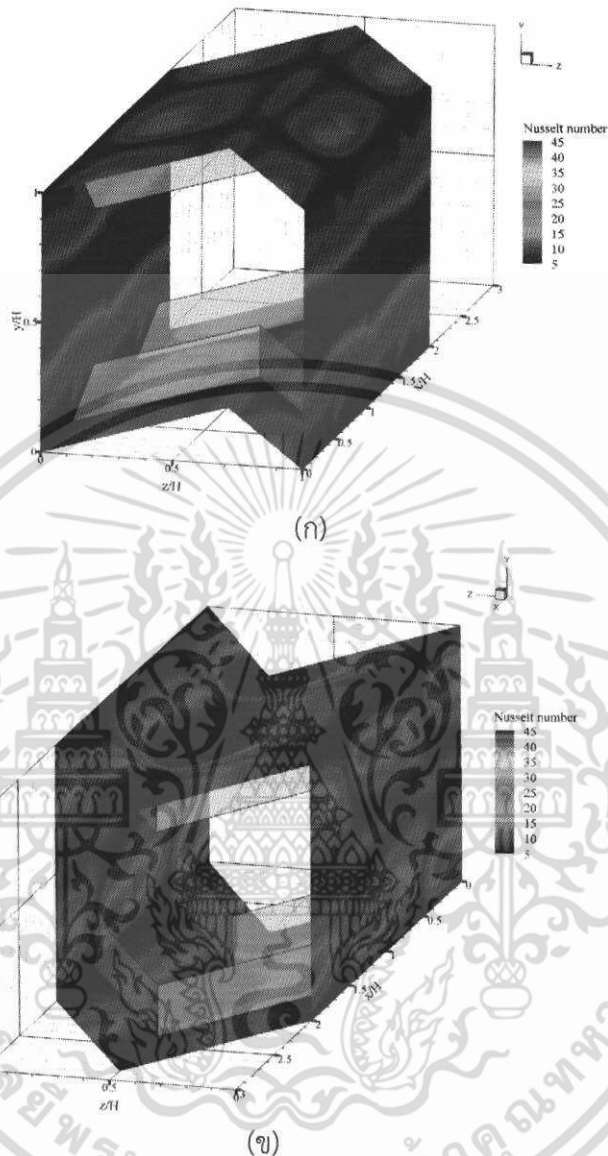
(ข)

รูปที่ 7.49 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 7.49 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปจะเห็นได้ว่าทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream จะทำให้เกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้ผิวท่อและบริเวณกึ่งกลางท่อได้เป็นอย่างดีที่ค่า PR , BR และ Re ที่นำเสนอ และพบว่าแบบ V-Downstream บริเวณแถบอุณหภูมิสีแดงที่ผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะบางกว่าที่ผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้น เนื่องจากแบบ V-Downstream จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณด้านข้างมากกว่าด้านบนและด้านล่างของท่อ เมื่อพิจารณาในส่วน of โครงสร้างการไหลในหัวข้อที่ได้นำเสนอก่อนหน้านี้ ส่วนแบบ V-Upstream บริเวณแถบอุณหภูมิสีแดงที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะบางกว่าที่ผนังด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้น เนื่องจากแบบ V-Upstream จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณด้านบนและด้านล่างมากกว่าด้านข้างของท่อซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับโครงสร้างการไหลสำหรับ V-Upstream ที่ได้มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้ จากการกระจายอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแผ่นกั้นตัววีตัดขอบพบว่ามีลักษณะเหมือนกันกับแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 7.50 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

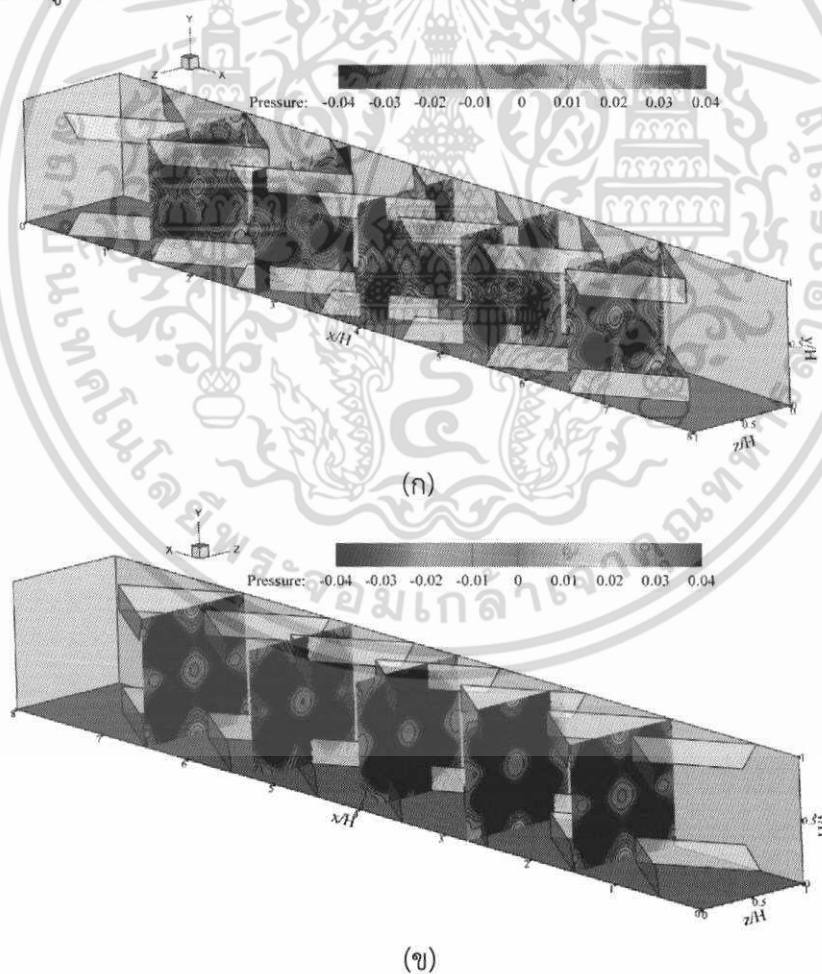
รูปที่ 7.50 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream การกระจายของ Nu_x จะชี้ให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดการกระแทกของอากาศ จากรูปจะเห็นได้ว่าแบบ V-Downstream จะเกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณผนังด้านข้างของท่อที่ไม่ได้มีการติดแผ่นกั้นมากกว่าผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้น สังเกตได้จากแถบสีแดงที่เกิดขึ้นที่ผนังด้านข้างทั้งสองของท่อโดยจะมีตำแหน่งการกระแทกของกระแสการไหลที่กึ่งกลางของผนังท่อทางด้านข้างส่วนตำแหน่งที่เกิดแถบสีแดงที่บริเวณด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นจะมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับผนังท่อด้านข้างและมีการแยกตัวเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองจุดอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนแบบ V-Upstream จะเกิดการกระแทกของอากาศที่บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นมากกว่าผนังด้านข้างดังนั้นจึงเกิดแถบสีแดงของการกระจาย Nu_x ที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยมีตำแหน่งของการกระแทกอยู่บริเวณกึ่งกลางตรงมุมของตัววี ส่วนตำแหน่งของบริเวณผนังด้านข้างของท่อจะเกิดที่ใกล้กับผนังด้านบนและด้านล่างของท่อ จะแบ่งออกเป็นสองส่วนอย่างเห็นได้ชัดในแต่ละโมดูล ลักษณะการกระจายค่า Nu_x ดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกันกับแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบ แต่พบว่าในส่วนของขอบท่อทั้ง 4 ด้านสำหรับกรณี V-Downstream ที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้นตัววีตัวขอบจะเกิดการกระจายของคอนทิวร์ Nu_x ที่เพิ่มมากกว่าแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ได้มีการตัดขอบซึ่งจะแสดงแถบสีฟ้าหรือสีน้ำเงินทั้งหมด แต่สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบจะแสดงแถบสีเขียวซึ่งแสดงถึงค่า Nu_x ที่เพิ่มมากขึ้นและการกระจายของค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่า สำหรับกรณี V-Upstream กลับพบการกระจายค่า Nu_x ที่บริเวณขอบท่อทั้ง 4 ด้านเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

7.9.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.51 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 7.51 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.51 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR=1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปพบว่าสำหรับ V-Downstream ค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมมีค่ามากกว่า กรณี V-Upstream อย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นความรุนแรงของการไหลหมุนวนและการกระแทกที่เกิดจากกรณี V-Downstream จะมีค่ามากกว่า V-Upstream ซึ่งส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น

7.10 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง

จากการศึกษาโครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีรูปแบบการติดตั้งในลักษณะต่าง ๆ พบว่าการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีที่ผนังของท่อจะทำให้เกิดการกระแทกของกระแสการไหลซึ่งส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและความร้อนที่ผนังท่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววี แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีที่ด้านบนและด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสยากต่อการสร้างชิ้นงานและการติดตั้ง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีโดยวิธีการสอดใส่ในแนวเส้นทแยงมุมของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานได้ง่ายและง่ายต่อการติดตั้งแผ่นกั้นในท่อ สำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งในแนวเส้นทแยงมุมของท่อจะมีค่าความดันตกคร่อมหรือความดันสูญเสียมากกว่าการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีที่ด้านบนและด้านล่างของท่อ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันสูญเสียที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีในแนวเส้นทแยงมุมของท่อเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นตัววีที่ติดตั้งบนผิวท่อทั้งแบบตัดขอบและไม่ตัดขอบ รวมถึงการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกรณีแผ่นกั้นในลักษณะต่าง ๆ สำหรับการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบไม่มีแผ่นกลาง ชิ้นงานจะถูกจับยึดด้วยเส้นลวดโดยการร้อยชิ้นงานเข้ากับเส้นลวดและแบบมีแผ่นกลาง ชิ้นงานจะถูกติดตั้งลงบนแผ่นอลูมิเนียมเพื่อที่จะนำไปติดตั้งโดยการสอดตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ ดังนั้นลักษณะแผ่นกั้นตัววีเสียบทแยงตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อจะทำการแบ่งท่อออกเป็น 2 ส่วนอย่างชัดเจน ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง

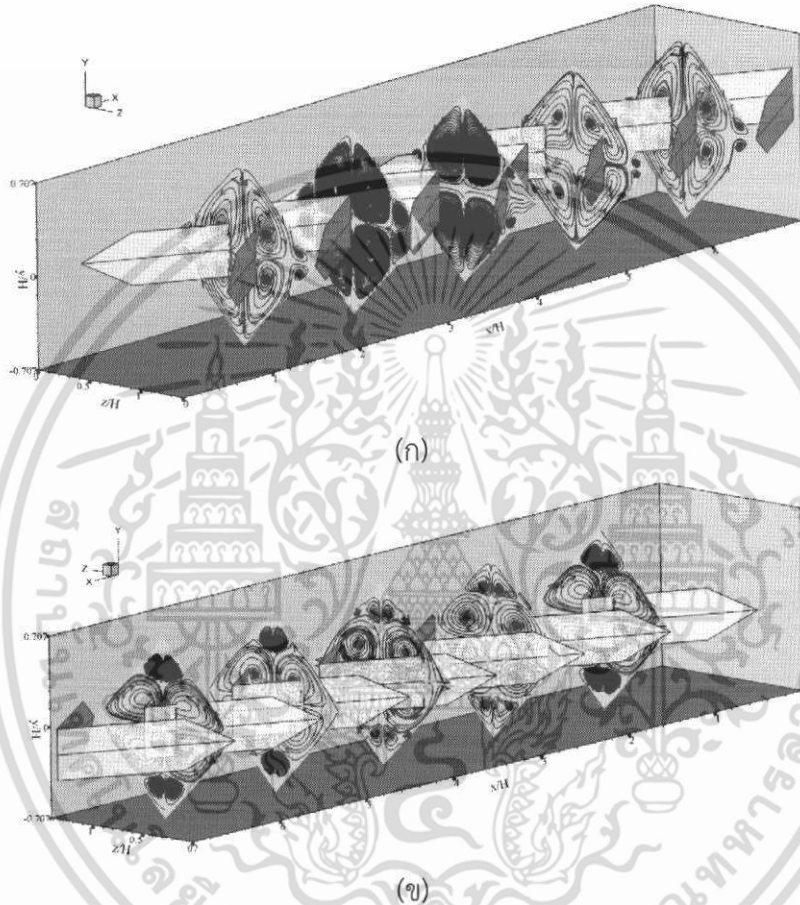
ในส่วนของอิทธิพลของการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ค่า $PR = 1.00$ ต่าง ๆ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ PR ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมการไหลแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

7.10.1 เส้นกระแสการไหล

ในส่วน of เส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหล เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกัน ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยเส้นกระแสการไหลระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.52

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลสำหรับแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 7.52 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง

รูปที่ 7.52 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปสำหรับกรณี V-Downstream พบว่าโครงสร้างการไหลหลักประกอบด้วยแกนการหมุนวนหลัก 4 แกน เช่นเดียวกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ผนังของท่อ และเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อ ด้านซ้ายและด้านขวาของท่อหรือระยะ $\pm z$ โดยเมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนหลักที่บริเวณด้านล่าง พบว่าเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-down คือแกนการหมุนวนเป็นแบบ co-vortex รวมตัวกันแล้วหมุนวนลงมาที่ด้านล่าง จากบริเวณขอบของแผ่นกั้นที่ระนาบที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบแผ่นกั้นในโมดูลถัดไปและเป็นบริเวณใกล้กับยอดของแผ่นกั้นตัววี ที่ระนาบนี้จะพบแกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นตัววี และการหมุนวนย่อย ๆ ที่ขอบท่อ โดยแกนการหมุนวนจะเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นตัววีและเกิดการสลายของแกนการหมุนวนเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านบริเวณปลายวีที่ระนาบที่ 2 ในขณะที่เดียวกันการหมุนวนที่เกิดบริเวณขอบท่อจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นแล้วเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นตัววี โดยที่ระนาบที่ 3 พบว่าแกนการหมุนวนย่อยที่เกิดขึ้นในตอนแรกเกิดการขยายตัวและกลายเป็นแกนการหมุนวนหลักที่ระนาบนี้ จนถึงระนาบที่ 4 จะเริ่มเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่ออีกครั้ง รวมถึงเกิดการสลายตัวของแกนการหมุนวนหลักเมื่อใกล้ถึงระยะยอดขอบตัววี ในระนาบที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับระนาบที่ 1 โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันในทุก ๆ โมดูลหรือการเกิด periodic หรือการไหลแบบเป็นคาบและประพุดตัวเหมือนระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า BR , PR และ Re โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นที่มีการติดตั้งในแนวเส้นทแยงมุมยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมแต่ค่าความรุนแรงของแกนการหมุนวนและระยะหรือตำแหน่งของแกนการหมุนวนจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป

สำหรับกรณี V-Upstream ที่ตำแหน่งเดียวกันกับ V-Downstream พบว่าที่ระนาบที่ 1 เป็นบริเวณใกล้กับยอดตัววีของโมดูลถัดไปและเป็นระยะขอบของแผ่นกั้นตัววีที่โมดูลก่อนหน้านั้น เกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกนและการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อที่ด้านบนและด้านล่างของท่อหรือที่ระยะ $\pm y$ เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนหลักที่ด้านล่างของท่อพบว่าแกนการหมุนวนเป็นไปในลักษณะ common-flow-up คือแกนการหมุนวนเป็นแบบ co-vortex รวมตัวกันแล้วหมุนวนขึ้นด้านบน โดยแกนการหมุนวนหลักจะเกิดการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของแผ่นกั้นตัววีเมื่อถึงระนาบที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นกั้นตัววีพบว่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการหมุนวนหรือแกนการหมุนวนจะเปลี่ยนแปลงไปตามแผ่นกั้นตัววี และพบว่าการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณขอบท่อด้านบนและด้านล่างเกิดการขยายตัวและเคลื่อนที่ลงมาใกล้กับแผ่นกั้นตัววี ที่ระนาบที่ 4 จะพบการสลายตัวของแกนการหมุนวนหลักและเกิดการหมุนวนย่อยที่ขยายตัวลงมาแทนที่ จนถึงระนาบที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับระนาบที่ 1 โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันในทุก ๆ โมดูลหรือการเกิด periodic หรือการไหลแบบเป็นคาบและประพุดตัวเหมือนระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า BR , PR และ Re โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นที่มีการติดตั้งในแนวเส้นทแยงมุมยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมแต่ค่าความรุนแรงของแกนการหมุนวนและระยะหรือตำแหน่งของแกนการหมุนวนจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป

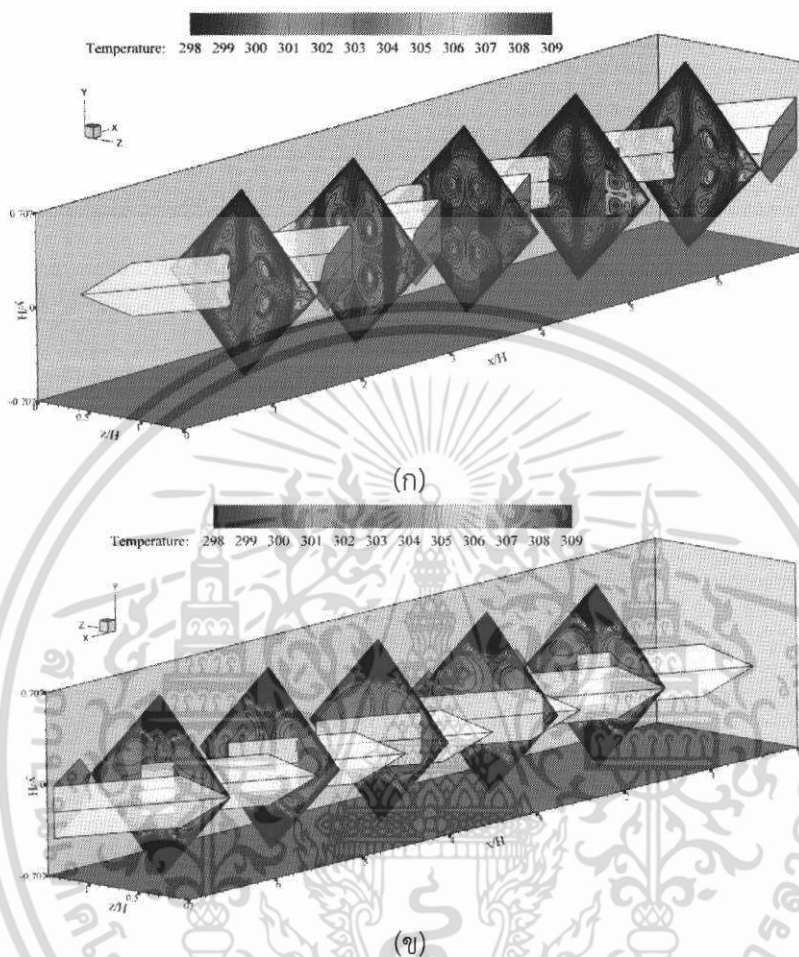
7.10.2 การถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.53 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.54 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

รูปที่ 7.53 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมพบว่าทำให้เกิดการไหลหมุนวนช่วยให้เกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศในท่อกับอุณหภูมิผิวท่อได้มากกว่าท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream สำหรับกรณี V-Downstream พบว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศและผิวท่อได้เป็นอย่างดีเมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิและพบว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

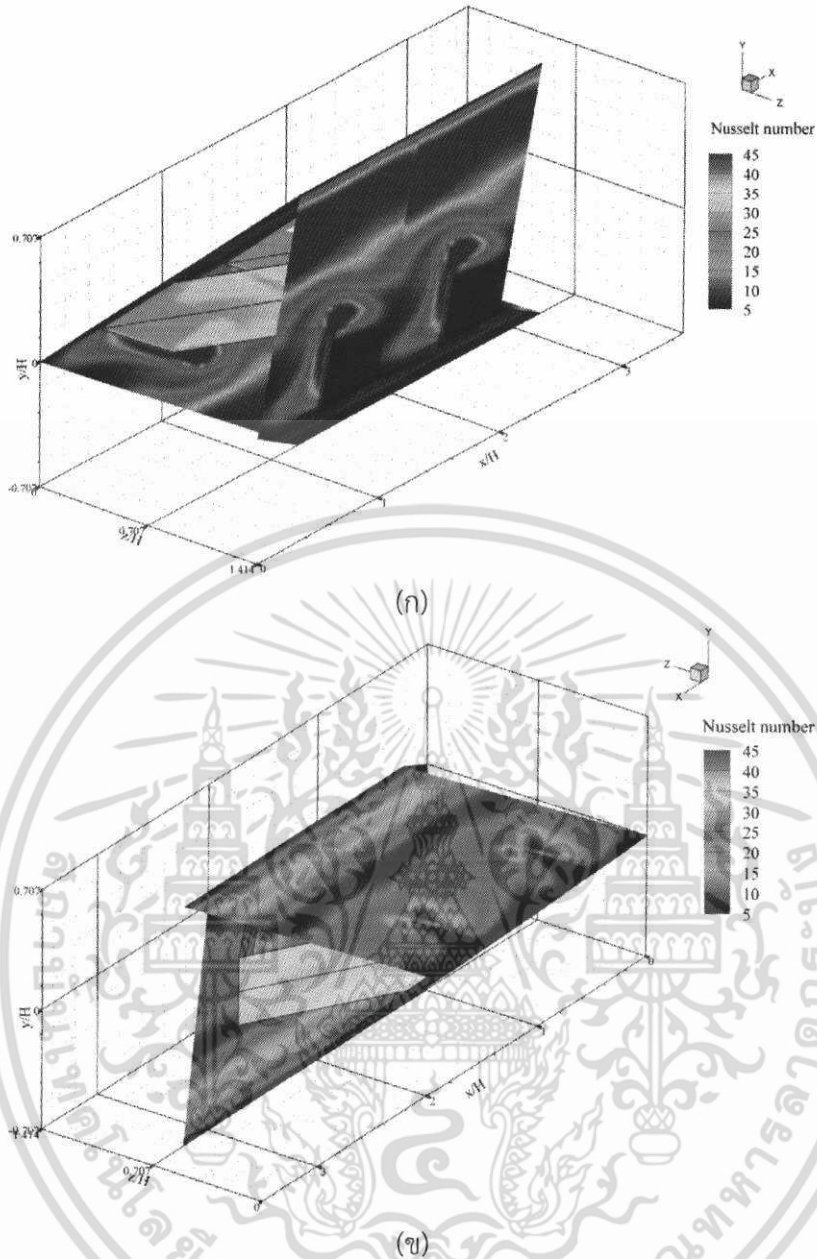
บริเวณด้านหลังของขอบแผ่นกั้นตัววีด้านซ้ายและด้านขวาของท่อหรือที่พิกัด $\pm z$ จะให้แถบหรือการกระจายอุณหภูมิเป็นสีแดง แสดงว่าด้านหลังของแผ่นกั้นที่บริเวณขอบท่อให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับผนังท่อบริเวณอื่น ๆ



รูปที่ 7.53 การกระจายอุณหภูมิมบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง

ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของผิวท่อได้มากกว่าท่อเปล่า แต่เกิดแถบสีฟ้าหรือการกระจายของอุณหภูมิสีฟ้าบริเวณขอบท่อด้านบนและด้านล่างหรือที่พิกัด $\pm y$ แสดงว่าที่บริเวณเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของผิวท่อและอากาศได้ไม่ดีนัก ซึ่งส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณนี้มีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เมื่อพิจารณาทั้งสองกรณีพบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่าการกระจายของอุณหภูมิที่มีความสม่ำเสมอมากกว่ากรณี V-Upstream อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้กรณี V-Downstream ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่กรณีศึกษาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.54 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง

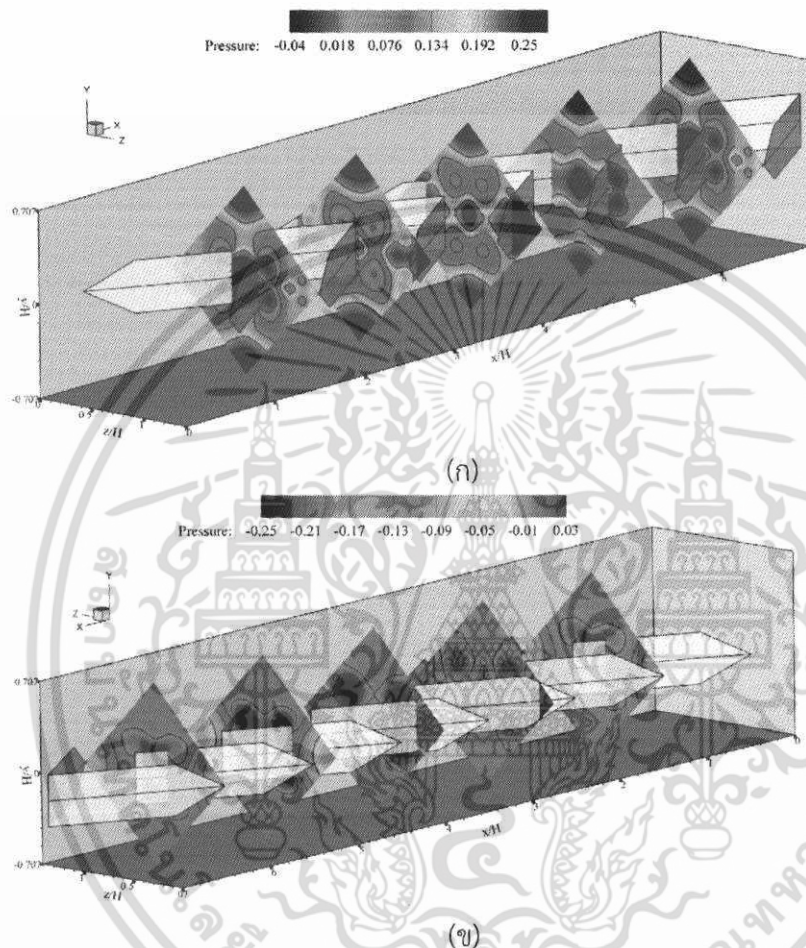
รูปที่ 7.54 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูปพบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่าการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผนังท่อซึ่งแสดงแถบสีแดงของการกระจาย Nu_x มากกว่า โดยกรณี V-Downstream จะเกิดค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผนังได้เป็นอย่างดี ส่วนบริเวณขอบด้านหลังของแผ่นกั้นซึ่งแสดงแถบสีฟ้าจะเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ตนัก ส่วนกรณี V-Upstream จะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังได้น้อยกว่ากรณี V-Downstream แต่พบว่าที่ด้านหลังของแผ่นกั้นตัววี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนขอบของแผ่นกันจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าซึ่งแสดงแถบสีเขียวย ส่วนแถบสีแดงจะเห็นได้ในลักษณะเป็นจุดในบางส่วนเท่านั้น

7.10.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.55 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 7.55 การกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกันตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง

รูปที่ 7.55 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกันตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง จากรูปพบว่าสำหรับ V-Downstream ค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมมีค่ามากกว่า กรณี V-Upstream อย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นความรุนแรงของการไหลหมุนวนและการกระแทกที่เกิดจากกรณี V-Downstream จะมีค่ามากกว่า V-Upstream ซึ่งส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น

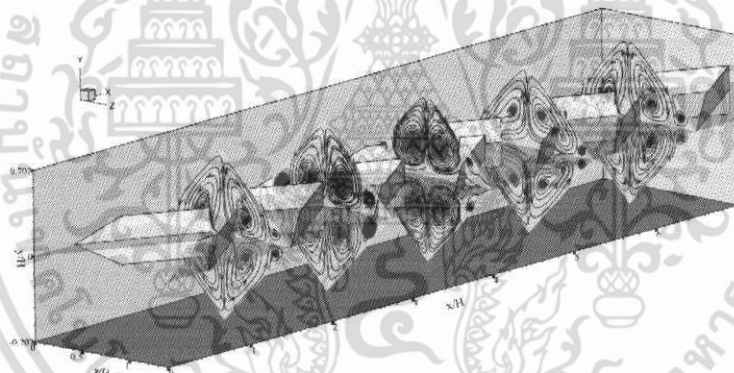
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.11 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง

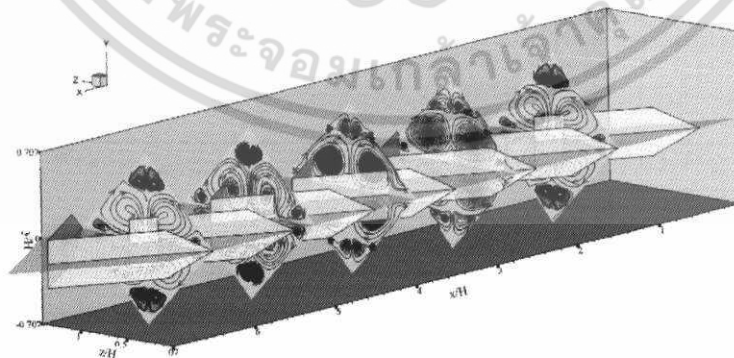
ในส่วนของอิทธิพลของการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง ได้นำเสนอกรณีศึกษาสำหรับ $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ ที่ค่า $PR = 1.00$ ต่าง ๆ มีการจัดวางแบบ In-line และมีทิศทางการไหลทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream โดยมีการนำเสนอผลจากอิทธิพลของ PR ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอเส้นกระแสการไหลหรือพฤติกรรมของการไหลแบบ 2 มิติ เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี ส่วนที่ 2 นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของอุณหภูมิและ Nu ส่วนที่ 3 นำเสนอในส่วนของความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแผ่นกั้นตัววีทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

7.11.1 เส้นกระแสการไหล

ในส่วนของเส้นกระแสการไหลจะแสดงในรูปของเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางการไหลเพื่อให้เห็นถึงลักษณะการไหลโดยทั่วไปของการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมสำหรับกรณีมีแผ่นกลาง โดยทำการพล็อตเปรียบเทียบในตำแหน่งของระนาบเดียวกัน ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหลจะช่วยในการอธิบายการหมุนวนที่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีในตำแหน่งที่แตกต่างกัน โดยเส้นกระแสการไหลระนาบขวางการไหลจะแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ดังรูปที่ 7.56



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.56 เส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re=1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงสร้างการไหลจะทำการพิจารณาเส้นกระแสการไหลในระนาบขวางการไหล สำหรับแบบ V-Downstream และ V-Upstream

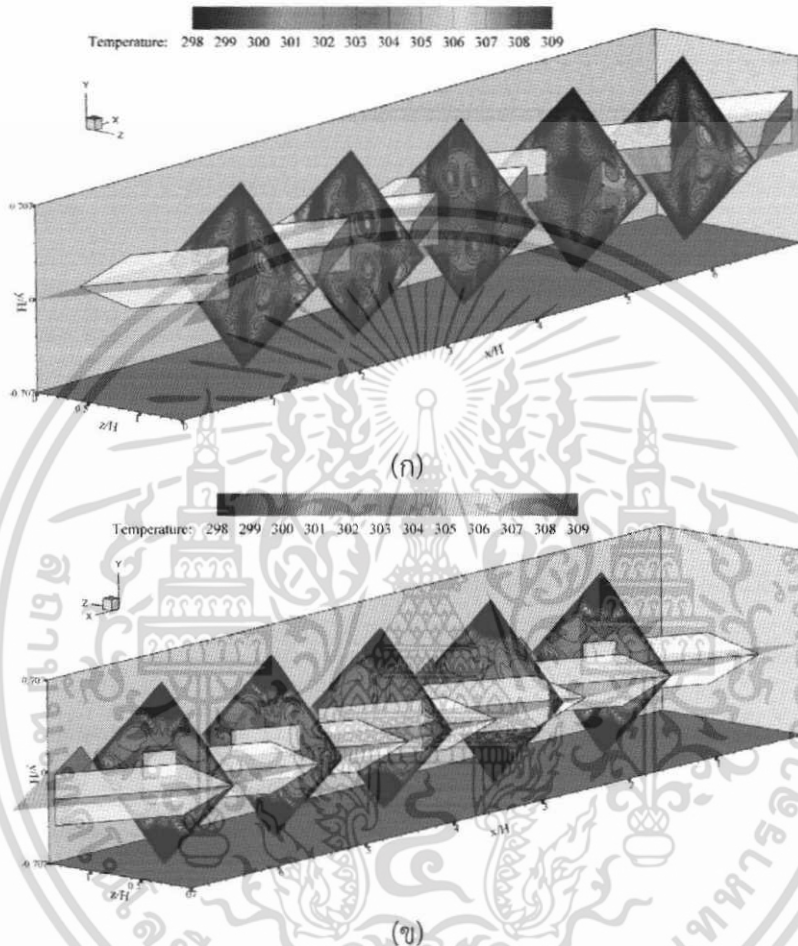
รูปที่ 7.56 แสดงเส้นกระแสการไหลบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream จากรูป พบว่าโครงสร้างการไหลโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลาง คือ กรณี V-Downstream พบว่าโครงสร้างการไหลหลักประกอบด้วยแกนการหมุนวนหลัก 4 แกนเช่นเดียวกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ผนังของท่อ และเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อด้านซ้ายและด้านขวาของท่อหรือระยะ $\pm z$ โดยเมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนหลักที่บริเวณด้านล่างพบว่าเกิดการหมุนวนแบบ common-flow-down คือแกนการหมุนวนเป็นแบบ co-vortex รวมตัวกันแล้วหมุนวนลงมาที่ด้านล่าง จากบริเวณขอบของแผ่นกั้นที่ระนาบที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณของขอบแผ่นกั้นในโมดูลถัดไปและเป็นบริเวณใกล้กับยอดของแผ่นกั้นตัววี ที่ระนาบนี้จะพบแกนการหมุนวนหลักที่เกิดจากแผ่นกั้นตัววี และการหมุนวนย่อย ๆ ที่ขอบท่อ โดยแกนการหมุนวนจะเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นตัววีและเกิดการสลายของแกนการหมุนวนเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านบริเวณปลายวีที่ระนาบที่ 2 ในขณะที่เดียวกันการหมุนวนที่เกิดบริเวณขอบท่อจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นแล้วเคลื่อนที่ไปตามแผ่นกั้นตัววี โดยที่ระนาบที่ 3 พบว่าแกนการหมุนวนย่อยที่เกิดขึ้นในตอนแรกเกิดการขยายตัวและกลายเป็นแกนการหมุนวนหลักที่ระนาบนี้ จนถึงระนาบที่ 4 จะเริ่มเกิดการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่ออีกครั้ง รวมถึงเกิดการสลายตัวของแกนการหมุนวนหลักเมื่อใกล้ถึงระยะยอดขอบตัววีในระนาบที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับระนาบที่ 1 โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันในทุก ๆ โมดูลหรือการเกิด periodic หรือการไหลแบบเป็นคาบและประพฤติตัวเหมือนระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า BR , PR และ Re โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นที่มีการติดตั้งในแนวเส้นทแยงมุมยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมแต่ค่าความรุนแรงของแกนการหมุนวนและระยะหรือตำแหน่งของแกนการหมุนวนจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป

สำหรับกรณี V-Upstream ที่ตำแหน่งเดียวกันกับ V-Downstream พบว่าที่ระนาบที่ 1 เป็นบริเวณใกล้กับยอดตัววีของโมดูลถัดไปและเป็นระยะขอบของแผ่นกั้นตัววีที่โมดูลก่อนหน้านี เกิดแกนการหมุนวนหลัก 4 แกนและการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อที่ด้านบนและด้านล่างของท่อหรือที่ระยะ $\pm y$ เมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนหลักที่ด้านล่างของท่อพบว่าการหมุนวนเป็นไปในลักษณะ common-flow-up คือแกนการหมุนวนเป็นแบบ co-vortex รวมตัวกันแล้วหมุนวนขึ้นด้านบน โดยแกนการหมุนวนหลักจะเกิดการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของแผ่นกั้นตัววีเมื่อถึงระนาบที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นกั้นตัววีพบว่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการหมุนวนหรือแกนการหมุนวนจะเปลี่ยนแปลงไปตามแผ่นกั้นตัววี และพบว่าการหมุนวนย่อย ๆ ที่เกิดบริเวณของท่อด้านบนและด้านล่างเกิดการขยายตัวและเคลื่อนที่ลงมาใกล้กับแผ่นกั้นตัววี ที่ระนาบที่ 4 จะพบการสลายตัวของแกนการหมุนวนหลักและเกิดการหมุนวนย่อยที่ขยายตัวลงมาแทนที่ จนถึงระนาบที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับระนาบที่ 1 โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันในทุก ๆ โมดูลหรือการเกิด periodic หรือการไหลแบบเป็นคาบและประพฤติตัวเหมือนระนาบที่ 1 ถึงระนาบที่ 5 และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า BR , PR และ Re โครงสร้างการไหลของแผ่นกั้นที่มีการติดตั้งในแนวเส้นทแยงมุมยังคงมีลักษณะเหมือนเดิมแต่ค่าความรุนแรงของแกนการหมุนวนและระยะหรือตำแหน่งของแกนการหมุนวนจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.11.2 การถ่ายเทความร้อน

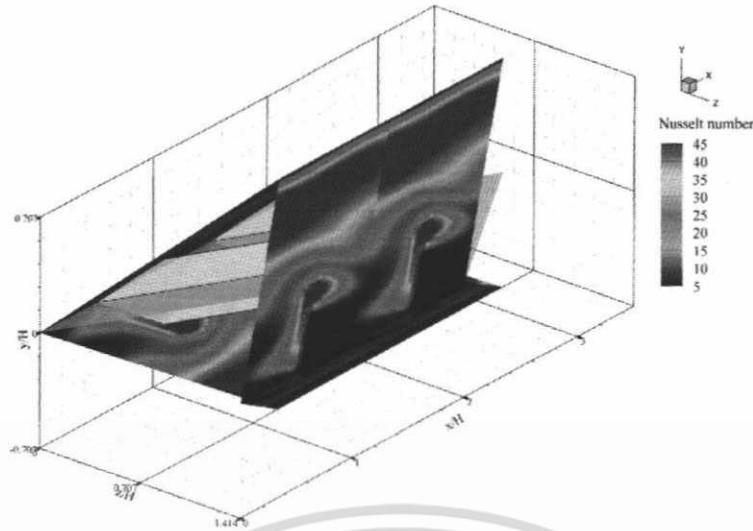
ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนพิจารณาในรูปของการกระจายของอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.57 และการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผิวท่อ ดังรูปที่ 7.58 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream



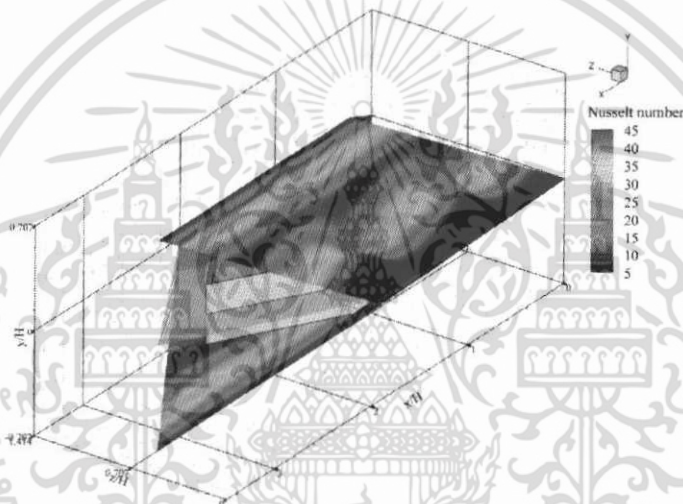
รูปที่ 7.57 การกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง

สำหรับในส่วนการกระจายอุณหภูมิดังรูปที่ 7.57 แสดงการกระจายอุณหภูมิบนระนาบขวางแนวการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่าลักษณะหรือพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนสำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางจะแสดงพฤติกรรมที่มีความคล้ายคลึงกัน โดยจากการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมพบว่าทำให้เกิดการไหลหมุนวนช่วยให้เกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศในท่อกับอุณหภูมิผิวท่อได้มากกว่าท่อเปล่าที่ไม่ได้มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.58 การกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง

สำหรับกรณี V-Downstream พบว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศและผิวท่อได้เป็นอย่างดีเมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิและพบว่าที่บริเวณด้านหลังของขอบแผ่นกั้นตัววีด้านซ้ายและด้านขวาของท่อหรือที่พิกัด $\pm z$ จะให้แถบหรือการกระจายอุณหภูมิเป็นสีแดง แสดงว่าด้านหลังของแผ่นกั้นที่บริเวณขอบท่อให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับผนังท่อบริเวณอื่น ๆ ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของผิวท่อได้มากกว่าท่อเปล่า แต่เกิดแถบสีฟ้าหรือการกระจายของอุณหภูมิสีฟ้าบริเวณขอบท่อด้านบนและด้านล่างหรือที่พิกัด $\pm y$ แสดงว่าที่บริเวณเกิดการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิของผิวท่อและอากาศได้ไม่ดีนัก ซึ่งส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณนี้มีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เมื่อพิจารณาทั้งสองกรณีพบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่าการกระจายของอุณหภูมิที่มีความสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

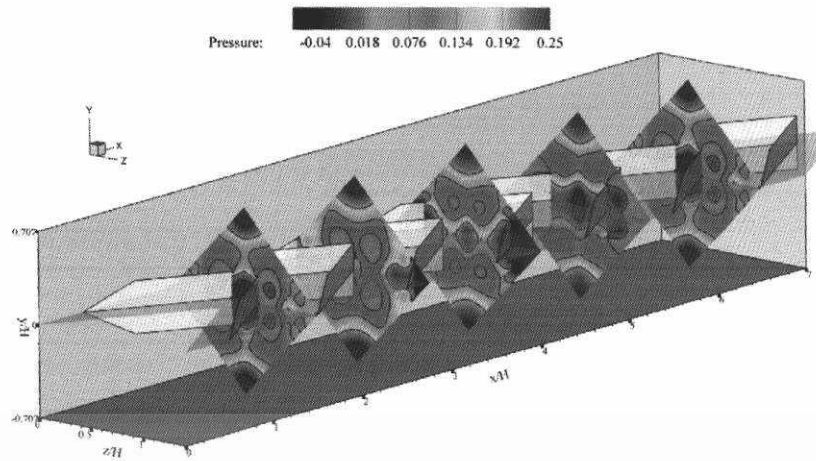
มากกว่ากรณี V-Upstream อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้กรณี V-Downstream ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่กรณีศึกษาเดียวกัน

สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.58 แสดงการกระจาย Nu_x บริเวณผิวท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$ และ $Re = 1000$ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่าการพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากการกระจาย Nu_x สำหรับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางแสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่คล้ายกัน โดยพบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่าการกระจาย Nu_x ที่บริเวณผนังท่อซึ่งแสดงแถบสีแดงของการกระจาย Nu_x มากกว่า โดยกรณี V-Downstream จะเกิดค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผนังได้เป็นอย่างดี ส่วนบริเวณขอบด้านหลังของแผ่นกั้นซึ่งแสดงแถบสีฟ้าจะเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีนัก ส่วนกรณี V-Upstream จะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังได้น้อยกว่ากรณี V-Downstream แต่พบว่าที่ด้านหลังของแผ่นกั้นตัววีส่วนขอบของแผ่นกั้นจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าซึ่งแสดงแถบสีเขียว ส่วนแถบสีแดงจะเห็นได้ในลักษณะเป็นจุดในบางส่วนเท่านั้น โดยค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีค่าแตกต่างกันสามารถพิจารณาจากค่า Nu/Nu_0 ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากทั้ง 2 กรณีในบทต่อไป

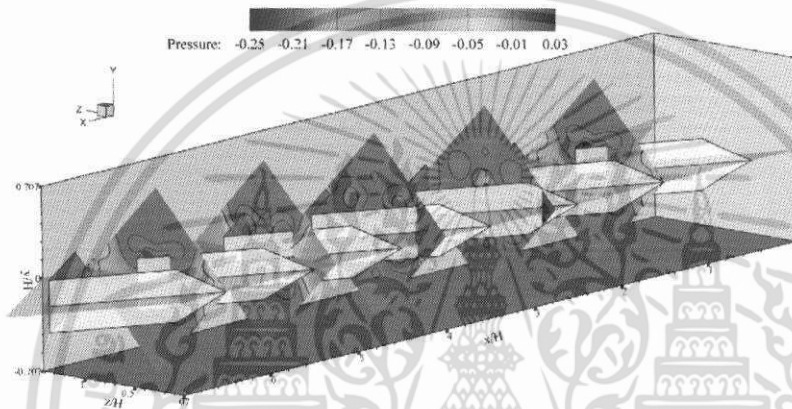
7.11.3 ความดันตกคร่อม

ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปการกระจายความดันตามระนาบขวางการไหล ดังรูปที่ 7.59 ทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

รูปที่ 7.59 แสดงการกระจายความดันตกคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR = 0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง จากรูปพบว่าสำหรับ V-Downstream ค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมมีค่ามากกว่า กรณี V-Upstream อย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นความรุนแรงของการไหลหมุนวนและการกระแทกที่เกิดจากกรณี V-Downstream จะมีค่ามากกว่า V-Upstream ซึ่งส่งผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 7.59 การกระจายความดันตคร่อมบนระนาบขวางการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, $BR=0.20$, $Re = 1000$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream ของแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การประเมินค่าสมรรถนะ

8.1 บทนำ

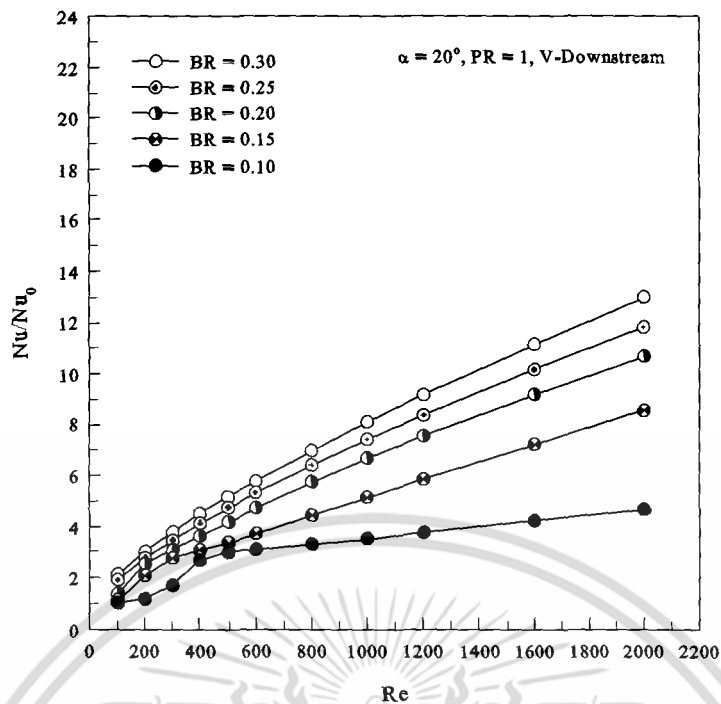
จากบทที่ 7 ซึ่งแสดงผลการศึกษาในรูปของโครงสร้างการไหล, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการไหลผ่านแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งในท่อ แต่อย่างไรก็ตามการนำเสนอในรูปของพฤติกรรมการไหลการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมในบางกรณีไม่สามารถให้รายละเอียดเพื่อทำการเปรียบเทียบกรณีที่มีความใกล้เคียงกันมาก ดังในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการศึกษาด้วยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยค่าของการถ่ายเทความร้อนจะแสดงในรูปของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิล (Nu/Nu_0) ค่าของความดันตกคร่อมจะแสดงในรูปของอัตราส่วนความเสียดทาน (f/f_0) และค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะแสดงในรูปของ η โดยจะพิจารณาในส่วนของอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ (Re), อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, BR), อิทธิพลของระยะพิตต์ (PR), อิทธิพลของมุมปะทะ (α), อิทธิพลของทิศทางการไหล (V-Downstream และ V-Upstream), อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น (In-line และ Staggered), อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววีและอิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง

8.2 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์

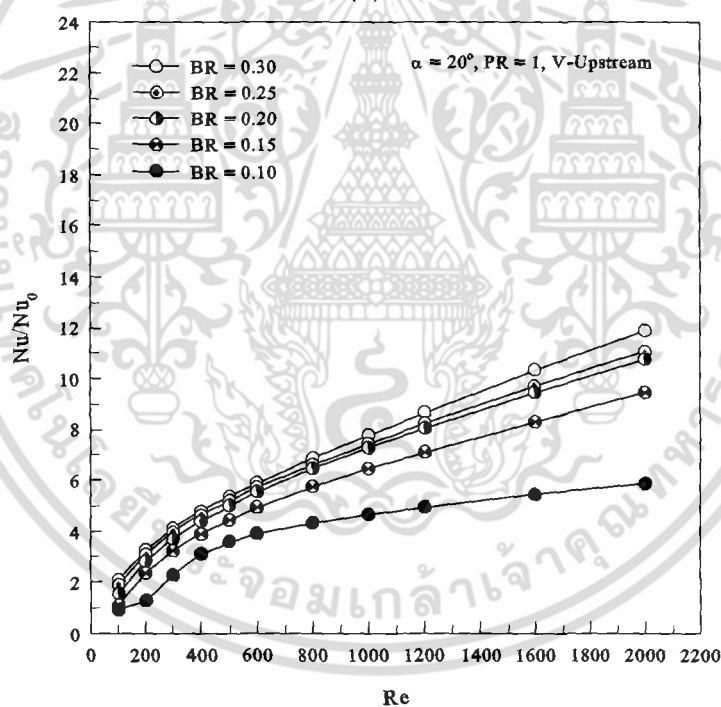
อิทธิพลของ Re หรืออิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศ ได้นำเสนอในช่วง Re ที่ทำการศึกษสำหรับการไหลราบเรียบ โดย $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° จะทำการศึกษาในช่วง Re ตั้งแต่ 100 – 2000 ส่วน $\alpha = 60^\circ$ ทำการศึกษาในช่วง Re ในช่วง 100 – 1200 เนื่องจากเกิด vortex shading จึงทำการพิจารณาถึง $Re = 1200$ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่า Re ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/f_0 และค่า Re และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η และค่า Re

8.2.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.1 ถึง 8.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream

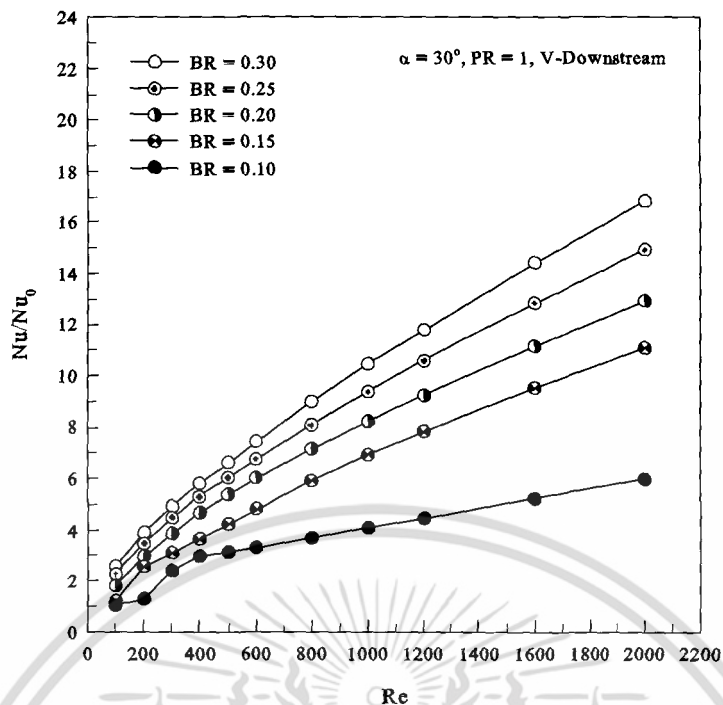
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.1(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 351.39 - 669.32% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 1.03 - 2.14 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 4.66 - 13.01 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.1(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 466.87 - 757.40% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 0.92 - 2.10 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 5.88 - 11.90 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

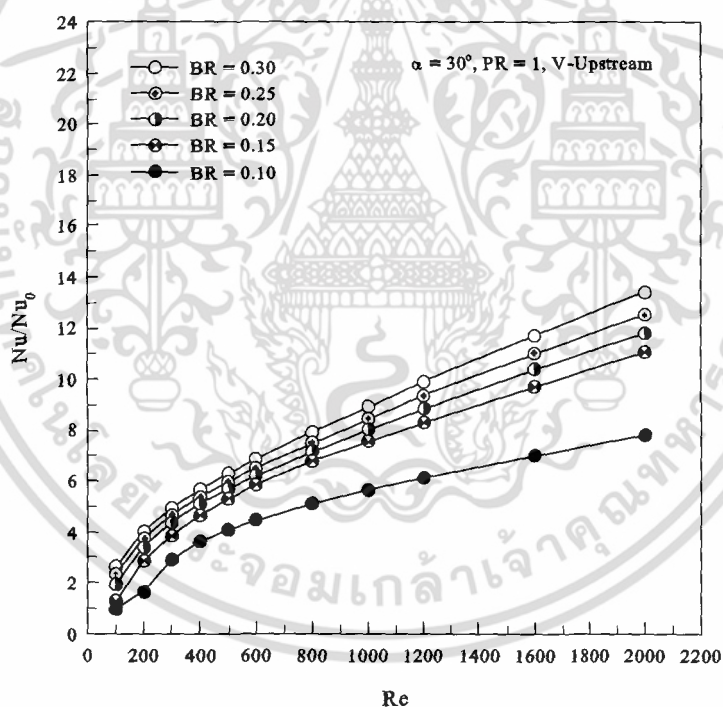
จากรูป 8.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.2(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 477.91 - 811.67% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 1.03 - 2.57 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 5.98 - 16.84 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.2(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 408.76 - 755.51% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 0.96 - 2.64 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 7.84 - 13.42 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$



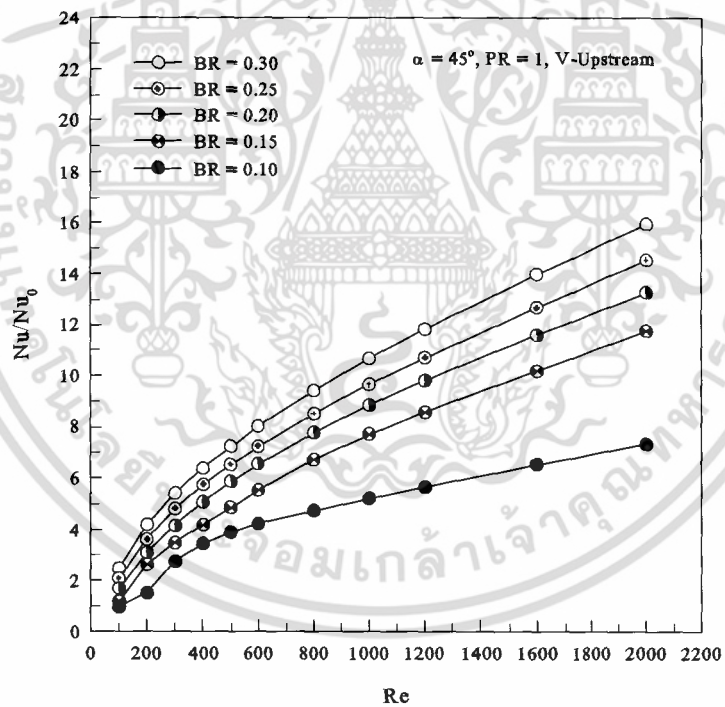
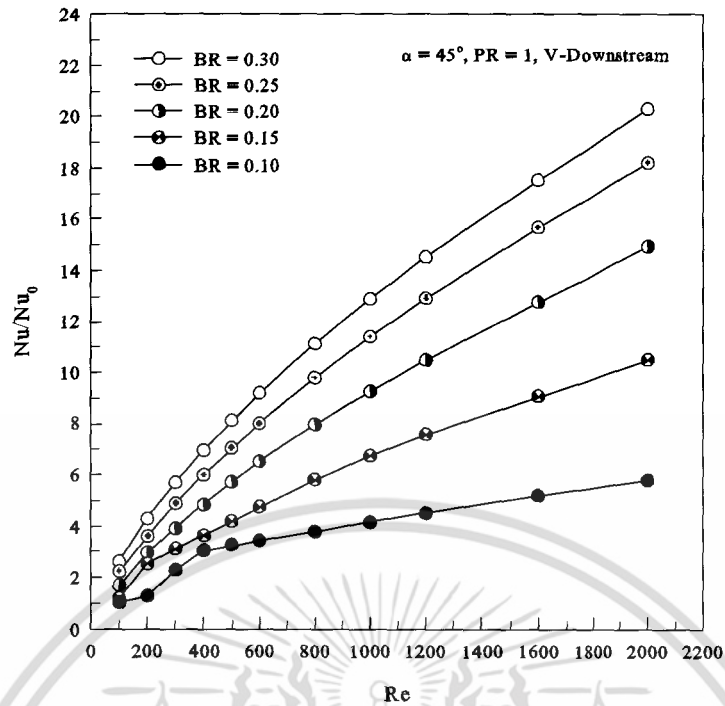
(ก)



(ข)

รูปที่ 8.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream

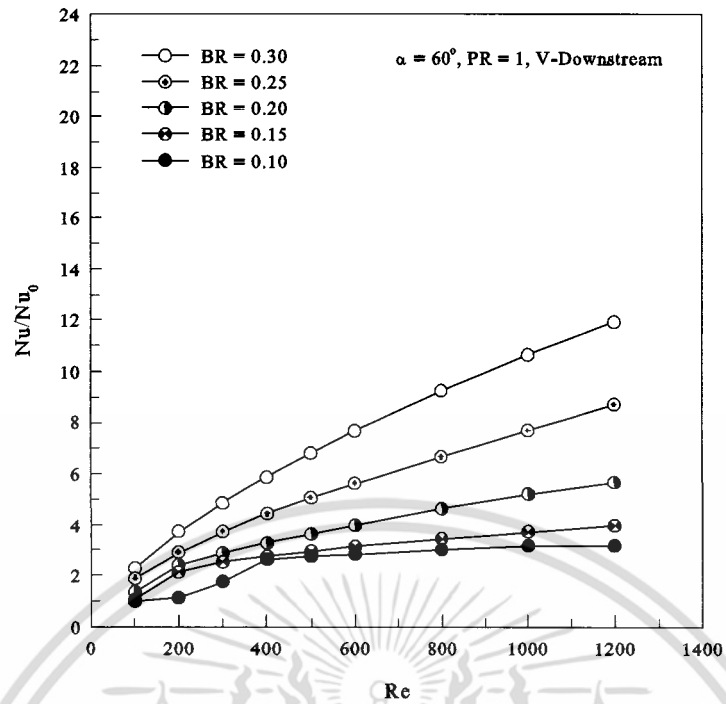
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.3(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 465.30 – 782.70% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 1.02 – 2.61 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 5.79 – 20.31 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.3(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 545.86 – 883.88% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 0.97 – 2.47 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 7.35 – 15.97 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

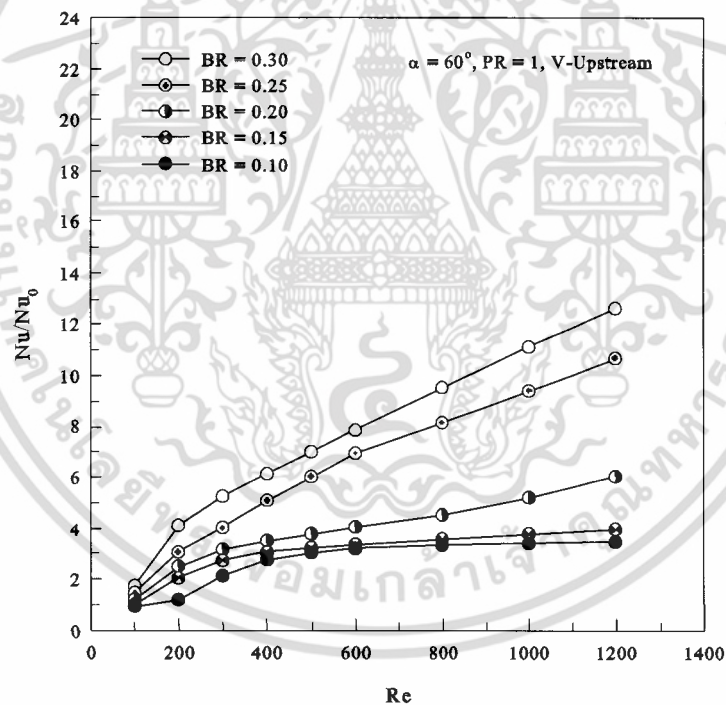
จากรูป 8.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่ใกล้เคียงกับกรณี V-Upstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.4(ก) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 201.38 – 423.13% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 0.99 – 2.28 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 2.97 – 11.95 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.4(ข) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 265.62 – 627.57% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 0.95 – 1.74 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า Nu/Nu_0 เท่ากับ 3.47 – 12.65 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$



(ก)



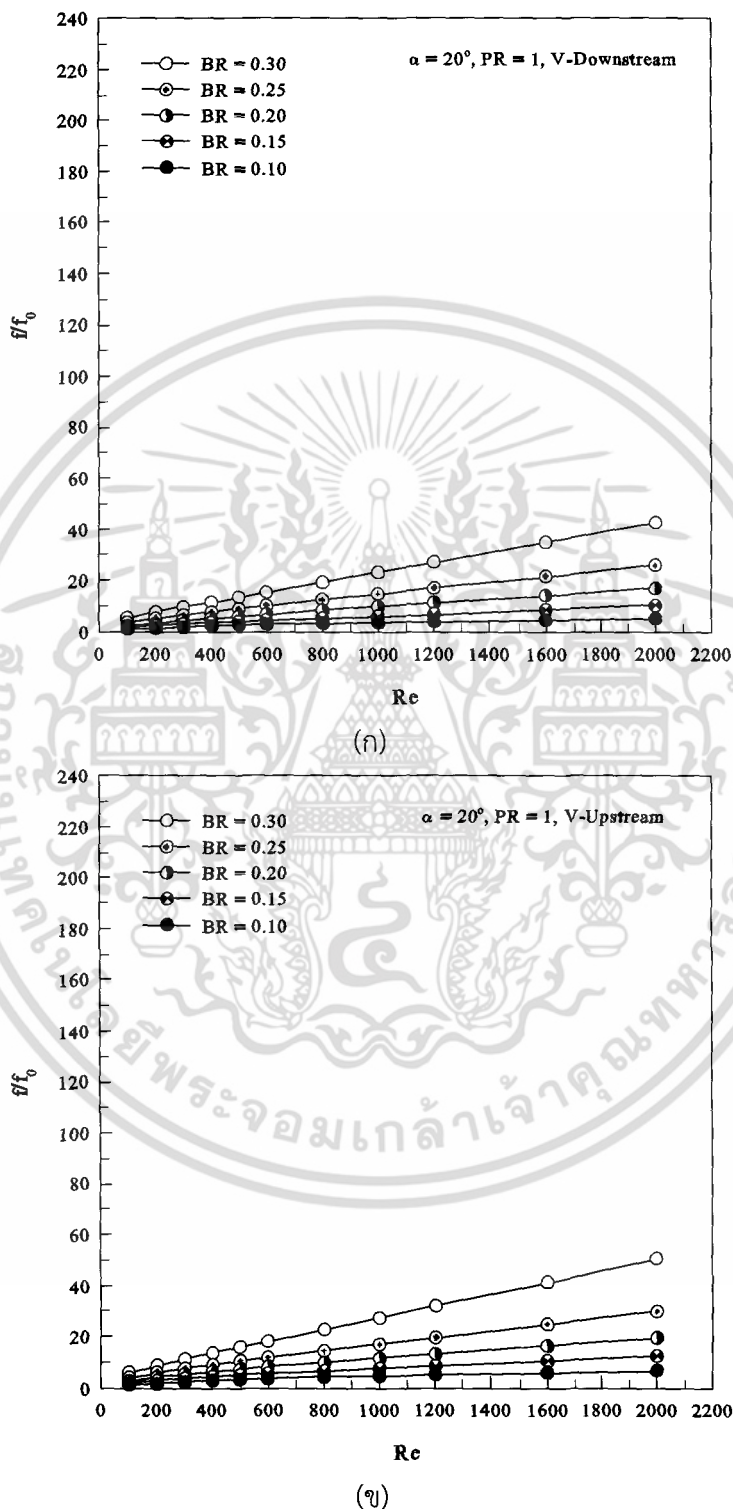
(ข)

รูปที่ 8.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำกรเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.5 ถึง 8.8



รูปที่ 8.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ fff_0 หรือค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า fff_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Upstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อยที่ค่า BR สูง ๆ

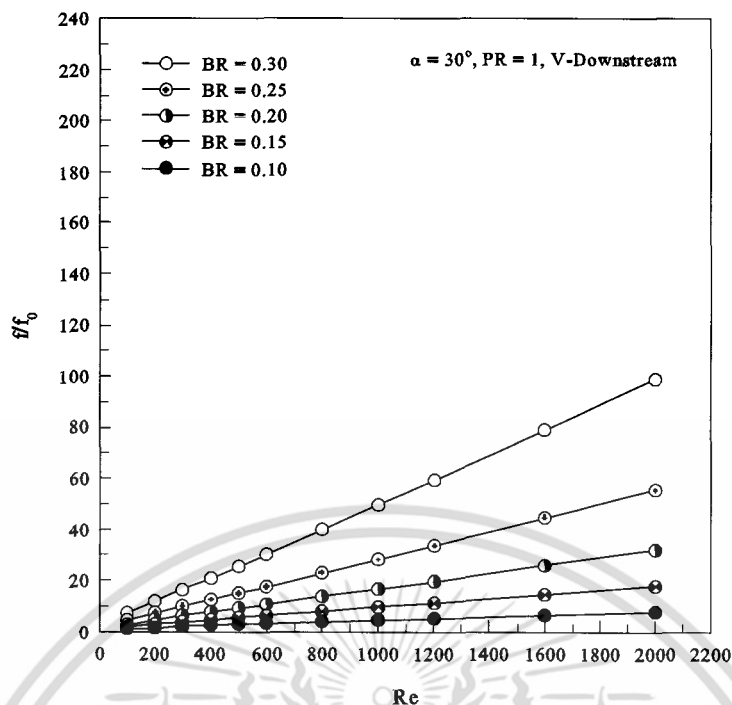
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.5(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 362.71 – 679.91% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.21 – 5.46 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 5.16 – 42.59 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.5(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 455.90 – 739.25% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.24 – 6.05 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 6.87 – 50.89 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

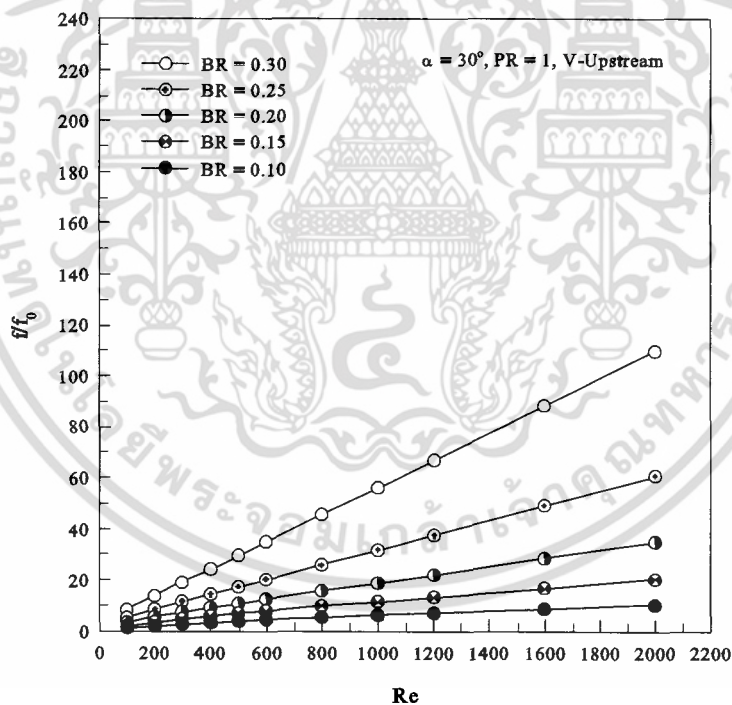
จากรูป 8.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ fff_0 หรือค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า fff_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Upstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อยที่ค่า BR สูง ๆ

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.6(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 552.70 – 1242.14% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.20 – 7.38 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 7.86 – 90.04 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.6(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 732.81 – 1241.62% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.23 – 8.20 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 10.26 – 110.00 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$



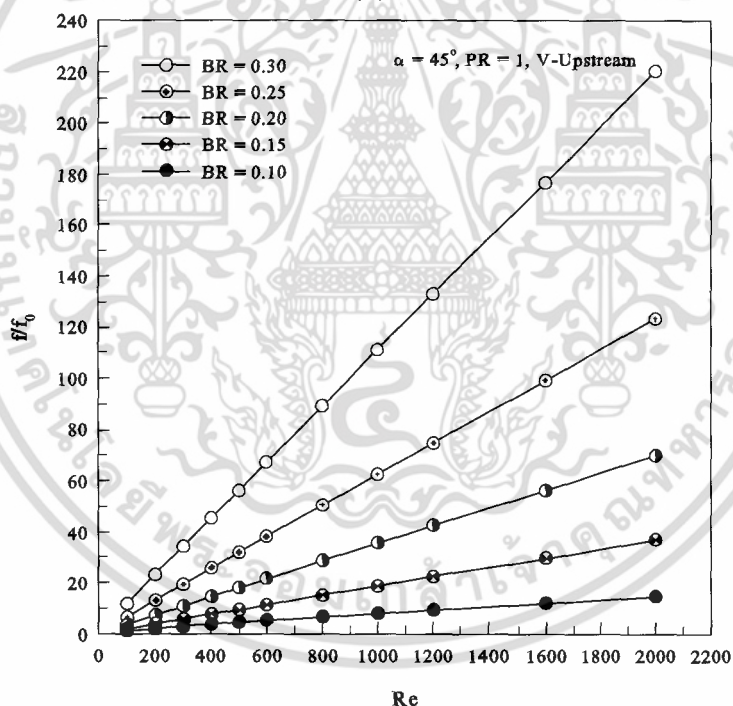
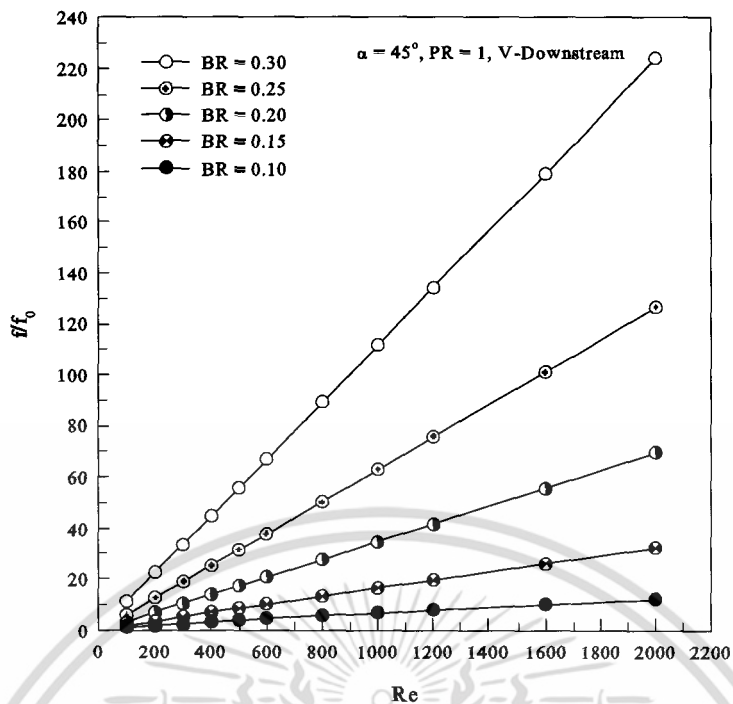
(ก)



(ข)

รูปที่ 8.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ ff_0 หรือค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า fff_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่ใกล้เคียงกับกรณี V-Upstream

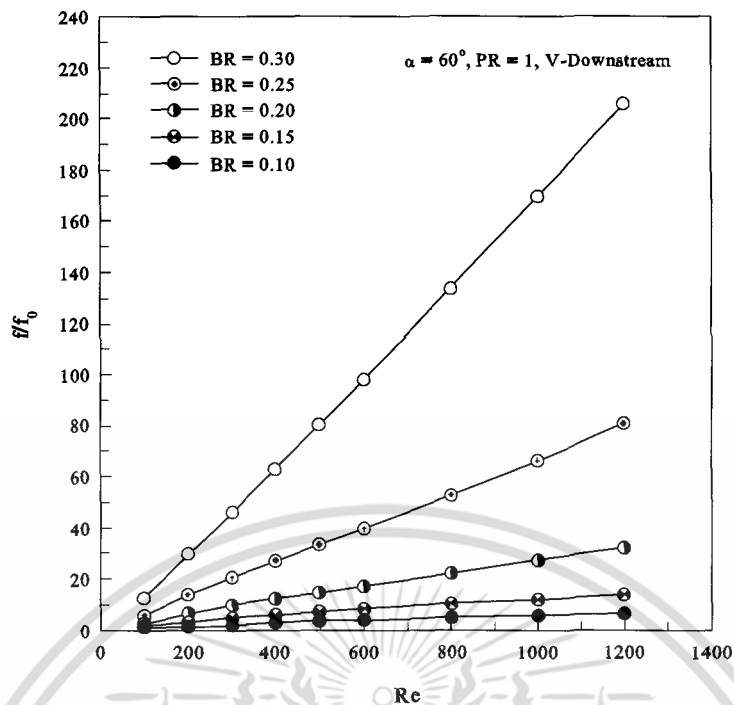
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.7(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 889.21 – 2173.81% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.24 – 11.27 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 12.28 – 224.21 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.7(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 1065.91 – 1883.51% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.26 – 11.76 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 12.74 – 220.55 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

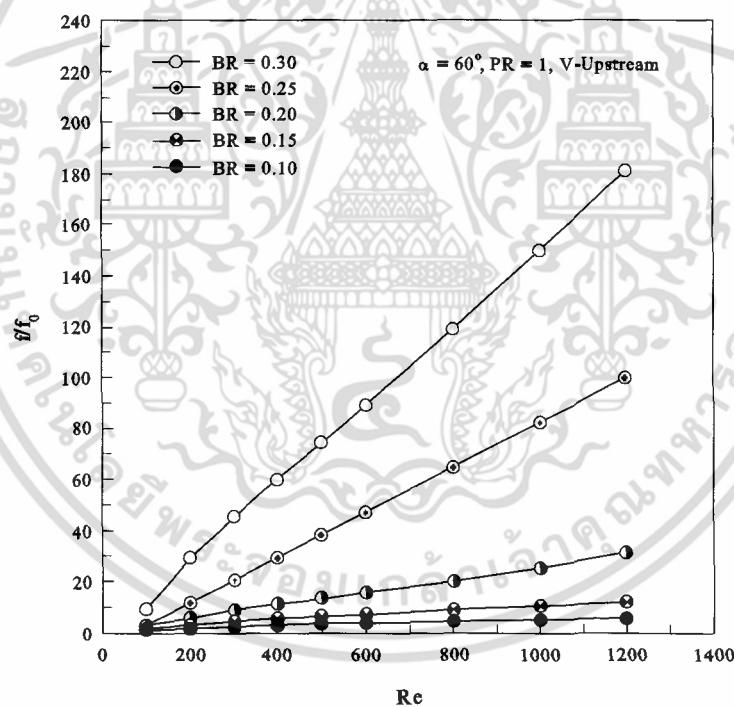
จากรูป 8.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ fff_0 หรือค่าความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream แต่อัตราการเพิ่มค่า fff_0 เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อยที่ค่า BR สูง ๆ

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.8(ก) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 434.52 – 1535.04% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.20 – 12.59 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 6.41 – 205.82 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.8(ข) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า fff_0 มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 366.09 – 1850.66% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 1.20 – 9.38 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า fff_0 เท่ากับ 5.61 – 181.22 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$



(ก)



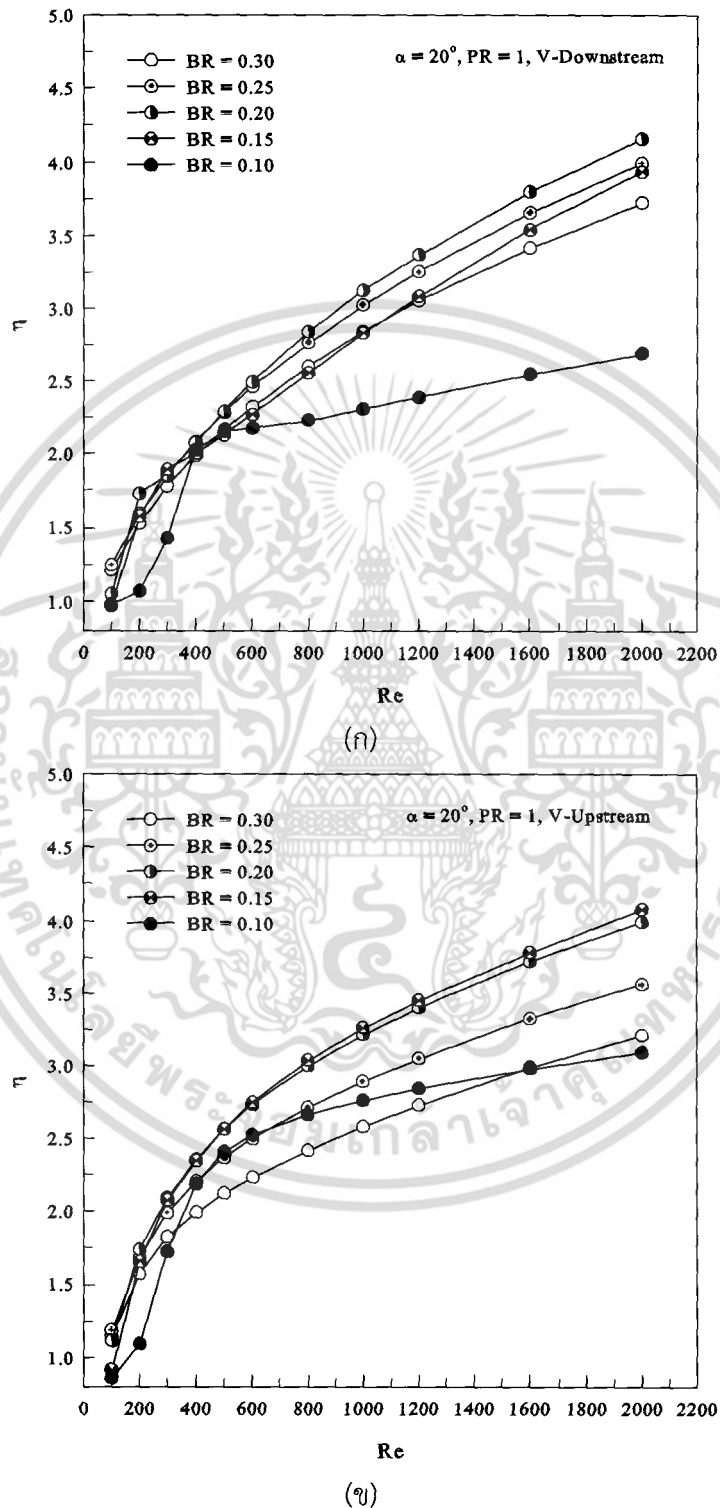
(ข)

รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของ การพิจารณา ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปของ ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.9 ถึง 8.12



รูปที่ 8.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ η หรือค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

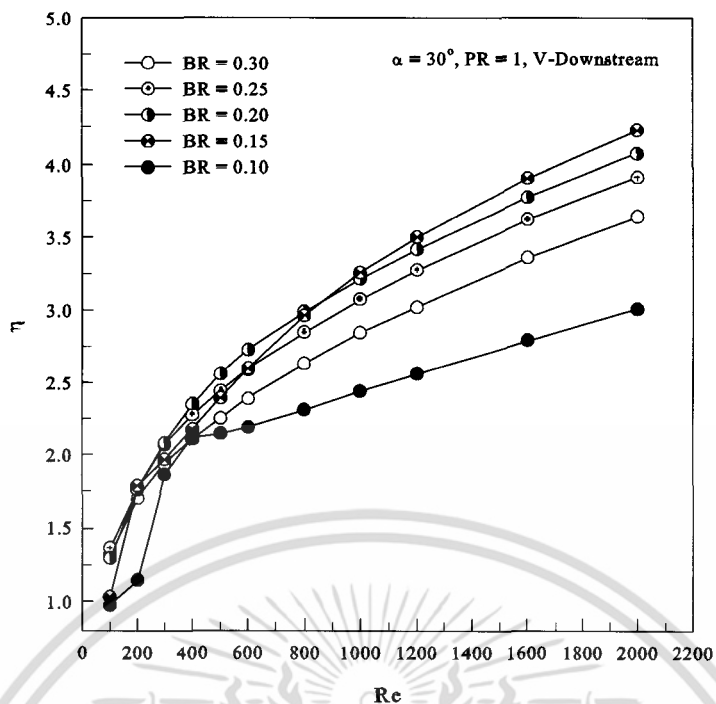
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.9(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 178.29 – 301.87% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.97 – 1.27 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 2.69 – 4.16 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.9(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 178.94 – 345.78% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.86 – 1.18 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 3.21 – 4.08 เมื่อพิจารณาที่ $BR=0.10-0.30$

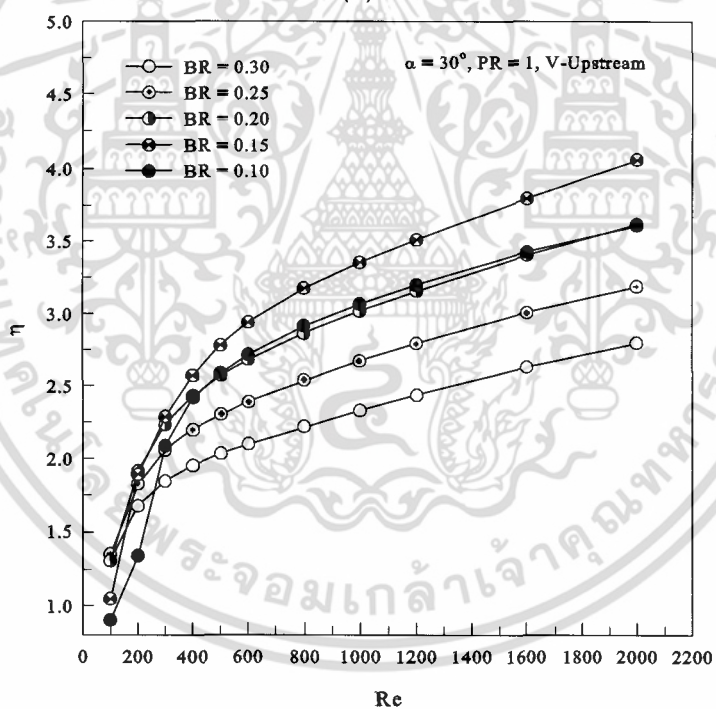
จากรูป 8.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ η หรือค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกค่า BR โดยแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.10(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 175.57 – 310.54% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.97 – 1.36 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 3.00 – 4.23 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.10(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 114.11 – 301.84% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.89 – 1.35 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 2.80 – 4.06 เมื่อพิจารณาที่ $BR=0.10-0.30$



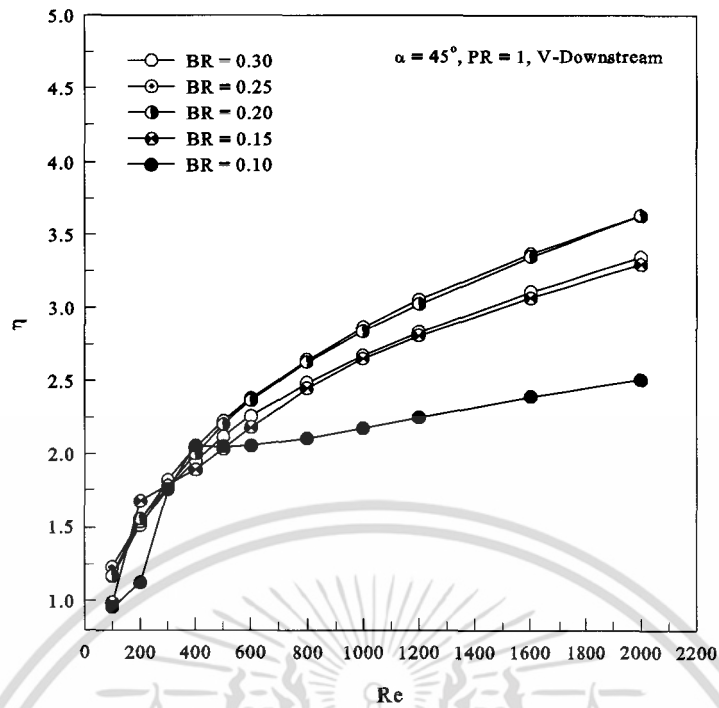
(ก)



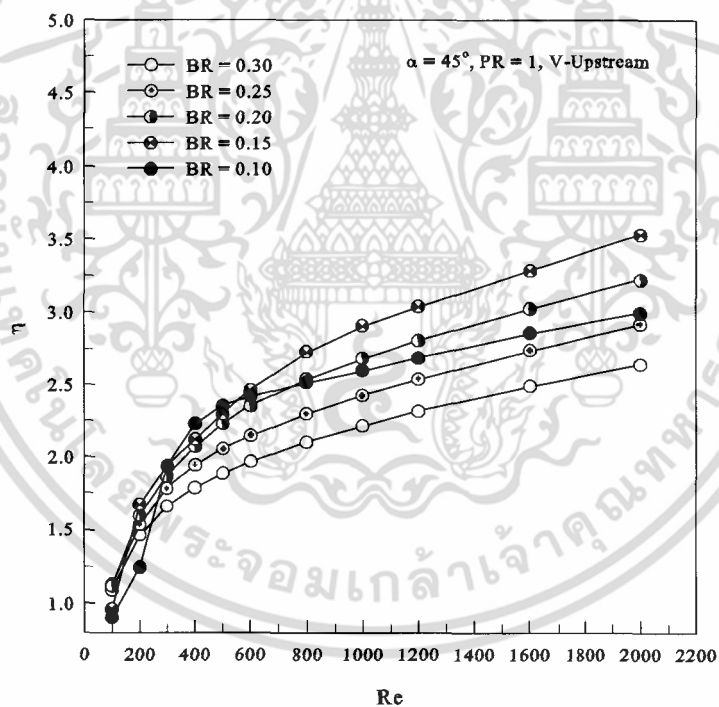
(ข)

รูปที่ 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re หรืออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นทำให้ η หรือค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น สำหรับ $BR = 0.15-0.30$ แบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V-Downstream และทุก ๆ ค่า BR สำหรับกรณี V-Upstream ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ แบบ V-Downstream พบว่า ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง 400 และมีความคงที่ในช่วง Re เท่ากับ 400 ถึง 600 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก Re เท่ากับ 600 ถึง 2000

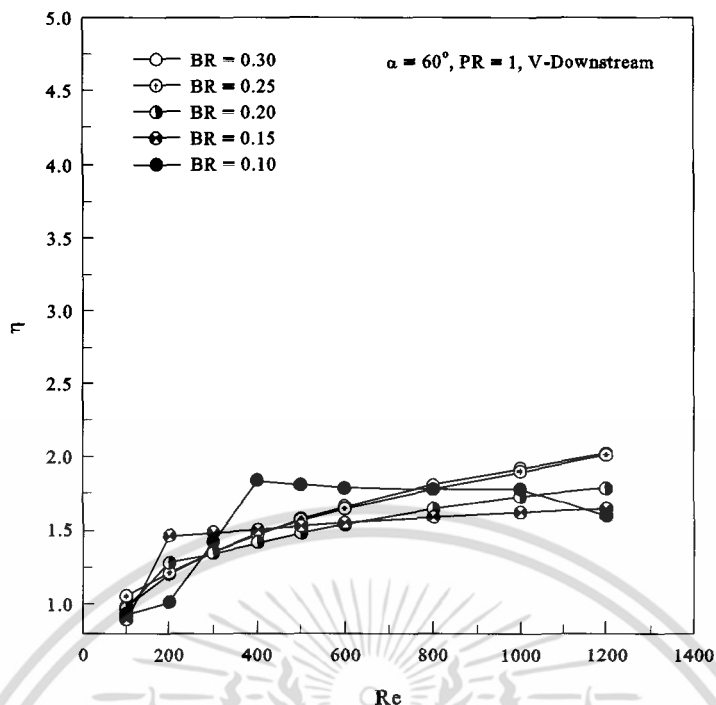
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.11(ก) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 163.34 – 233.95% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.95 – 1.23 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 2.50 – 3.63 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.11(ข) พบว่า ที่ $Re = 2000$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 143.09 – 268.12% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.90 – 1.12 และที่ค่า $Re = 2000$ มีค่า η เท่ากับ 2.64 – 3.53 เมื่อพิจารณาที่ $BR=0.10-0.30$

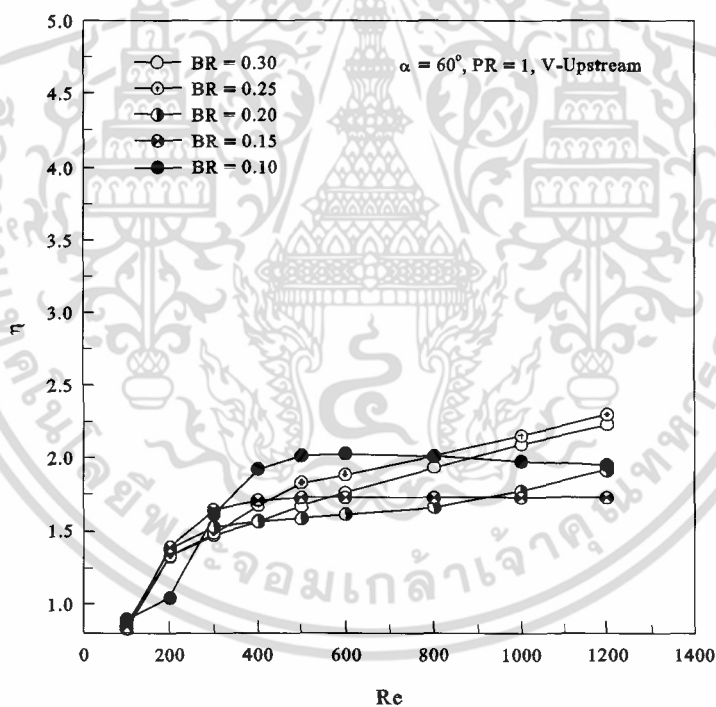
จากรูป 8.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream กรณี V-Downstream พบว่า ที่ $BR=0.20-0.30$ เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ พบว่า ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจาก Re เท่ากับ 100 ถึง 400 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re มากกว่า 400 และที่ค่า $BR = 0.15$ พบว่า ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจาก Re เท่ากับ 100 ถึง 200 และมีแนวโน้มของค่า η เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อค่า Re มากกว่า 200 ส่วนกรณี V-Upstream พบว่า ที่ $BR=0.20-0.30$ เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ และ 0.15 พบว่า ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก Re เท่ากับ 100 ถึง 400 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re มากกว่า 400

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.12(ก) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 72.37 – 106.11% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.89 – 1.05 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า η เท่ากับ 1.60 – 2.02 เมื่อพิจารณาที่ $BR = 0.10 - 0.30$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.12(ข) พบว่า ที่ $Re = 1200$ ให้ค่า η มากกว่าที่ $Re = 100$ เท่ากับ 105.77 – 170.94% เมื่อพิจารณาที่ BR เดียวกัน โดยที่ค่า $Re = 100$ มีค่า η เท่ากับ 0.84 – 0.89 และที่ค่า $Re = 1200$ มีค่า η เท่ากับ 1.73 – 2.30 เมื่อพิจารณาที่ $BR=0.10-0.30$



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

8.2.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของ Re หรืออัตราการไหลของอากาศ พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 เพิ่มมากขึ้นด้วย ทุกกรณีที่ทำการศึกษา เนื่องจาก ค่า Re ที่เพิ่มมากขึ้นนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

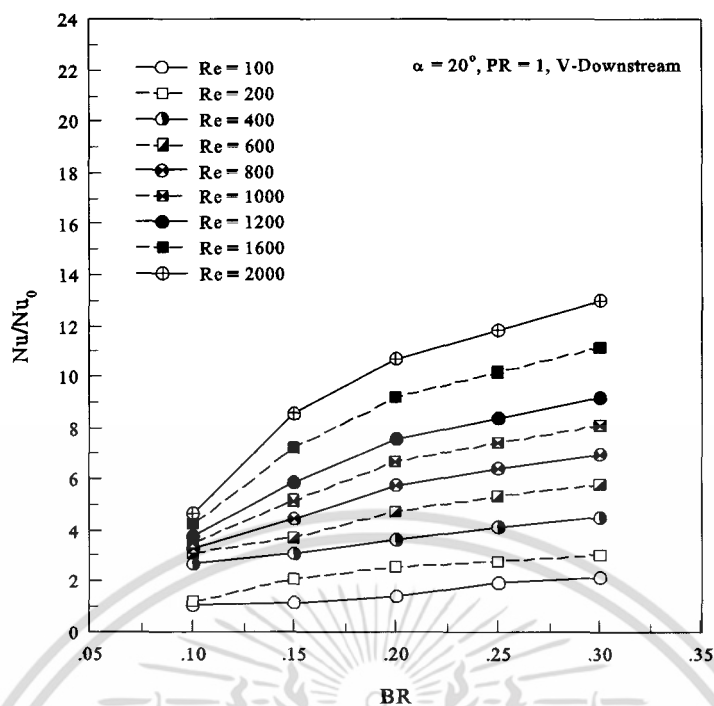
ขึ้นส่งผลต่อความรุนแรงของการกระแทกบริเวณผนังของท่อของโครงสร้างการไหลหรือเส้นกระแสการไหลที่ไหลผ่านแผ่นกั้นตัววี รวมถึงเกลียวที่เกิดการกระแทกที่บริเวณผนัง โดยที่ Re มีค่าน้อย เกลียวของการกระแทกจะมีการข้ามแผ่นกั้นตัววีหรือระยะเกลียวที่ยาวกว่า Re ที่มีค่ามาก ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับท่อเปล่า แต่อย่างไรก็ตามอัตราการไหลที่เพิ่มมากขึ้นก็ย่อมส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับท่อเปล่า ส่วนค่า η จะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สำหรับ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° ส่วน $\alpha = 60^\circ$ พบว่าที่ค่า $BR=0.10-0.15$ ค่า η มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่า η ซึ่งได้จากการพิจารณาทั้งส่วนของค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ในส่วนของ ff_0 ที่ได้จาก $\alpha = 60^\circ$ มีอัตราการเพิ่มที่สูงมากเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่า η สำหรับ $\alpha = 60^\circ$ ที่ค่า BR บางค่า มีค่าลดลงเมื่อ Re มีค่าเพิ่มมากขึ้น

8.3 อิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้น (อัตราส่วนการบล็อกการไหล, BR)

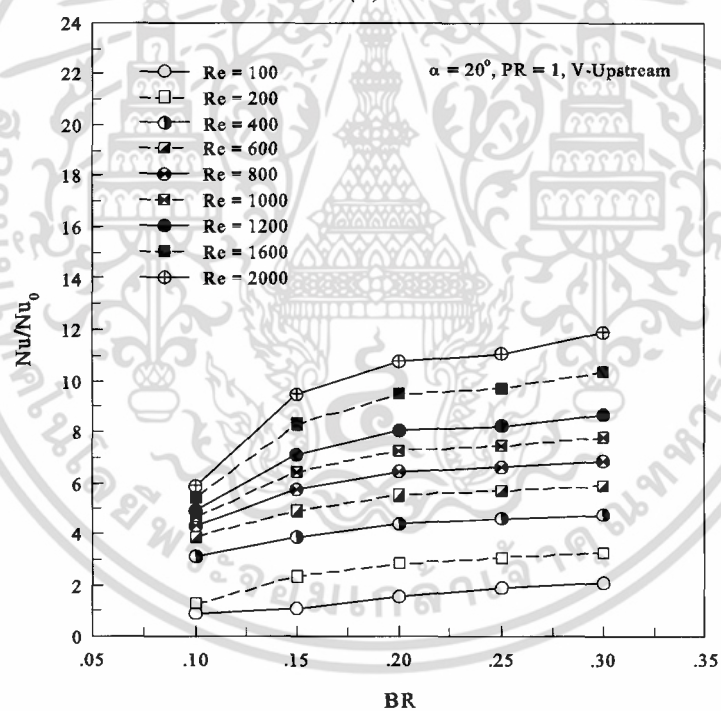
อิทธิพลของ BR หรืออิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศ ได้นำเสนอในช่วง BR ที่ทำการศึกษาซึ่งมีค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่า BR ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า ff_0 และค่า BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง η และค่า BR

8.3.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.13 ถึง 8.16



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.10$ ถึง 0.15 สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

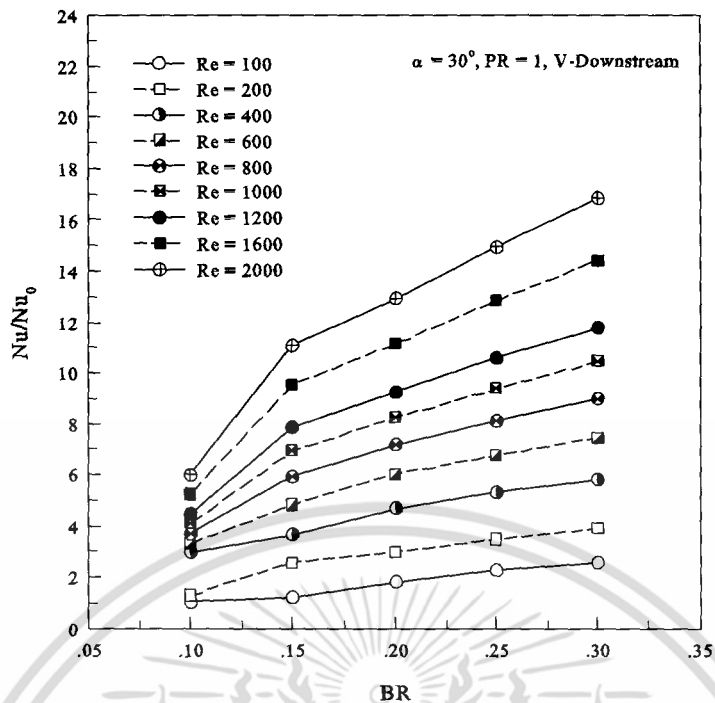
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.13(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 8.61–11.65%, 18.37–53.63%, 36.60–87.47% และ 68.14–179.37% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.13(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 3.14–10.16%, 6.30–34.57%, 19.40–90.25% และ 49.00–155.64% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

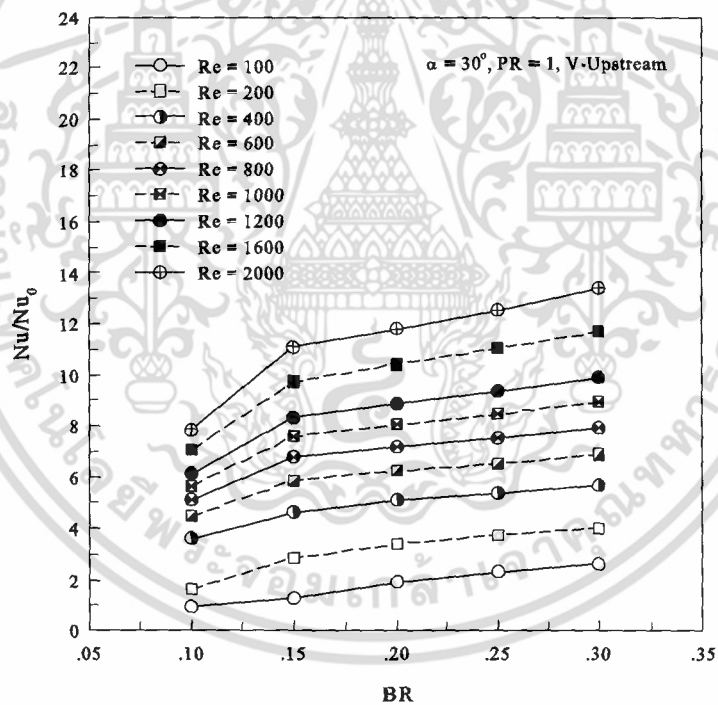
จากรูป 8.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.10$ ถึง 0.15 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณี V-Downstream ซึ่งมีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 อย่างเห็นได้ชัดเจน สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.14(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 9.74–13.42%, 23.21–42.41%, 50.18–111.64% และ 95.72–202.52% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.14(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 5.46–13.07%, 10.28–36.56%, 16.89–103.52% และ 53.91–174.18% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re



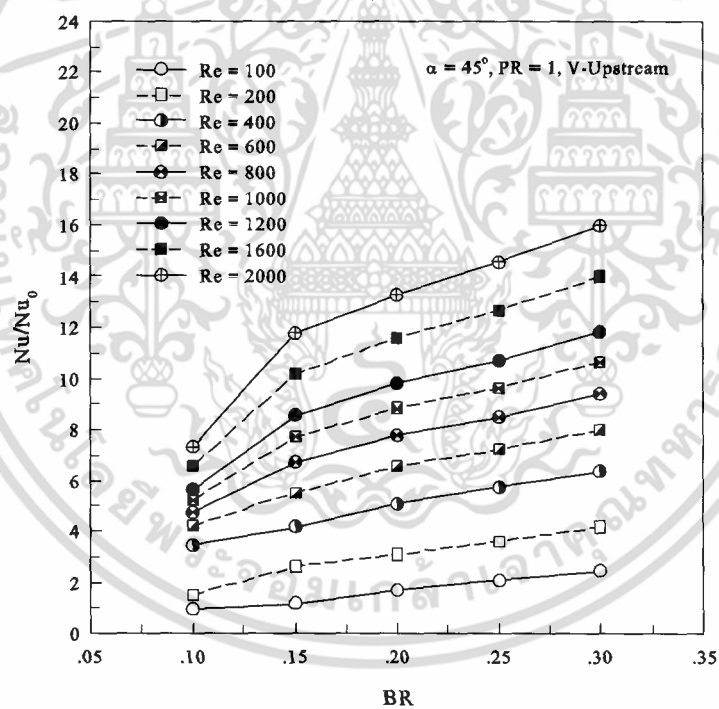
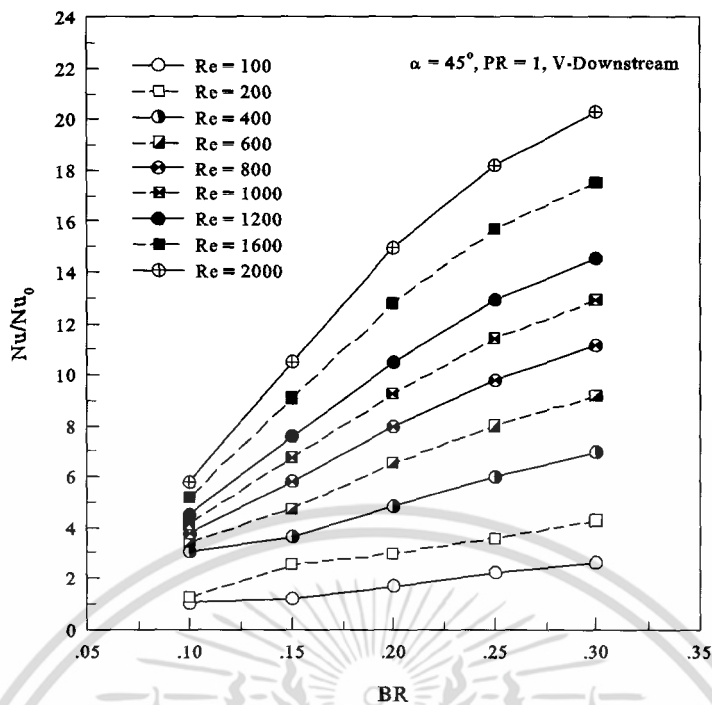
(ก)



(ข)

รูปที่ 8.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ, PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.10$ ถึง 0.15 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณี V-Downstream ซึ่งมีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 อย่างเห็นได้ชัดเจน สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

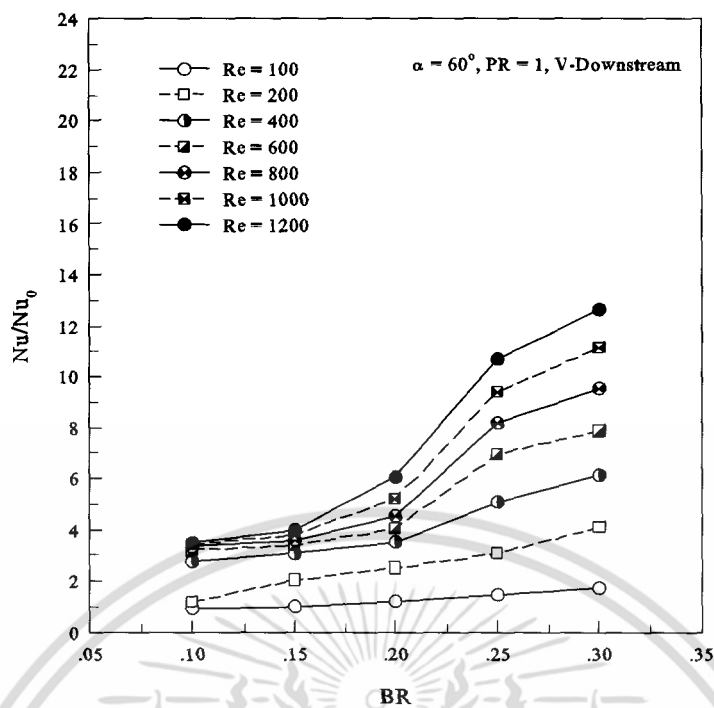
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.15(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 11.52–19.33%, 35.86–53.79%, 69.09–119.63% และ 128.03–250.78% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.15(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 9.78–18.10%, 20.24–45.66%, 35.72–106.74% และ 84.91–176.03% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

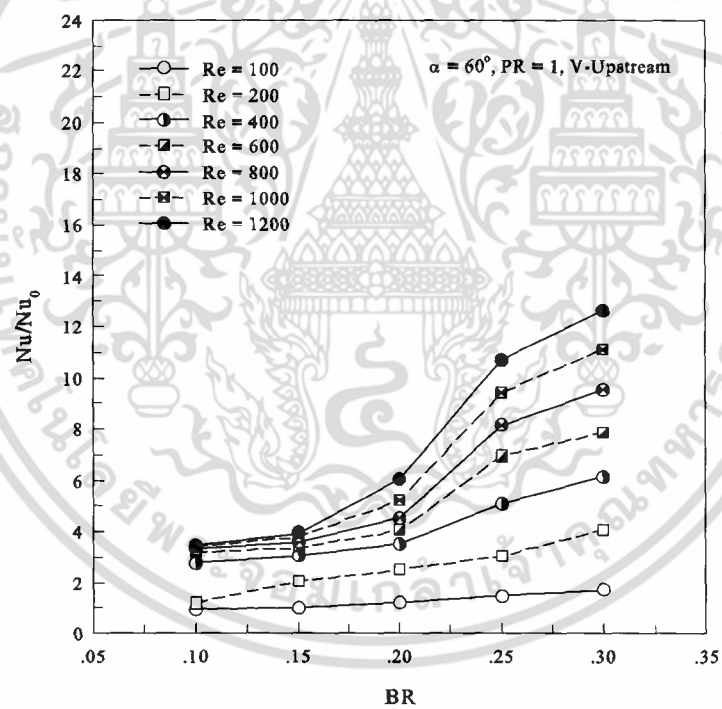
จากรูป 8.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.20$ ถึง 0.30 สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.16(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 21.16–38.70%, 54.50–110.78%, 75.15–201.27% และ 122.44–301.59% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.16(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ 13.10–33.68%, 43.68–113.74%, 73.45–218.62% และ 83.28–264.51% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re



(ก)



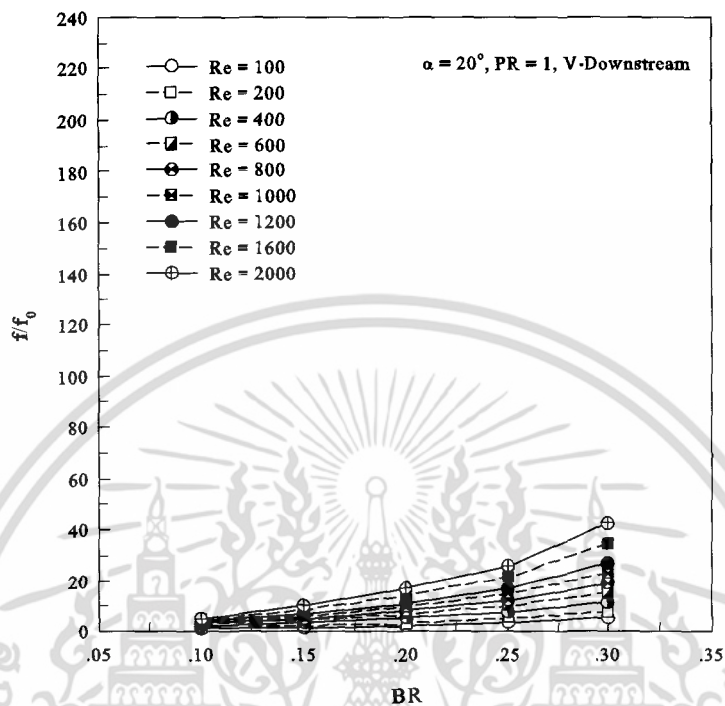
(ข)

รูปที่ 8.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

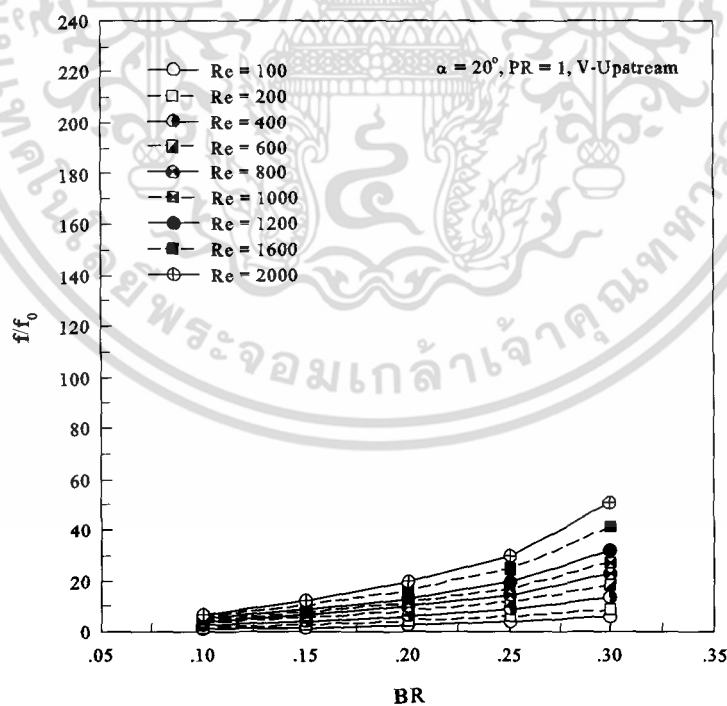
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำกรเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง f/f_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.17 ถึง 8.20



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ ff_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด และพบว่ามอดูลการเพิ่มของค่า ff_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.25$ ถึง 0.30 สำหรับกรณีแบบ V-Upstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย

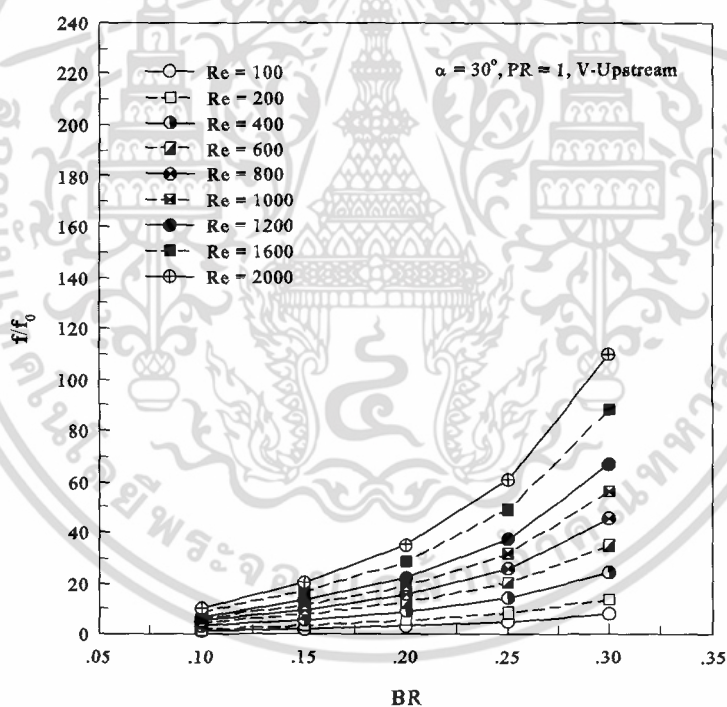
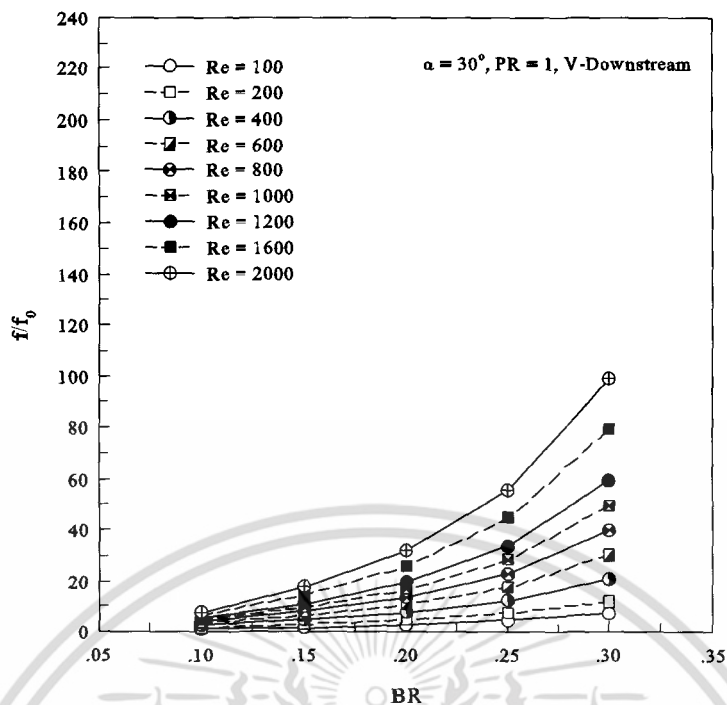
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.17(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.45-0.64, 1.11-1.50, 2.06-3.16$ และ $3.52-7.26$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.17(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.45-0.70, 1.06-1.59, 2.00-3.07$ และ $3.82-6.39$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

จากรูป 8.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ ff_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด และพบว่ามอดูลการเพิ่มของค่า ff_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.25$ ถึง 0.30 สำหรับกรณีแบบ V-Upstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย

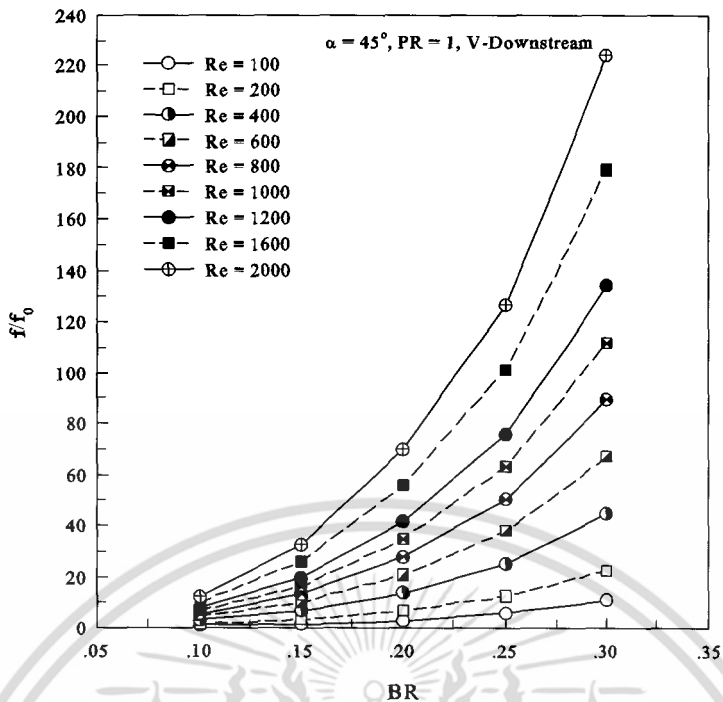
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.18(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.59-0.78, 1.48-2.09, 3.09-4.52$ และ $5.13-11.61$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.18(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.59-0.80, 1.48-2.14, 2.98-4.39$ และ $5.66-9.72$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

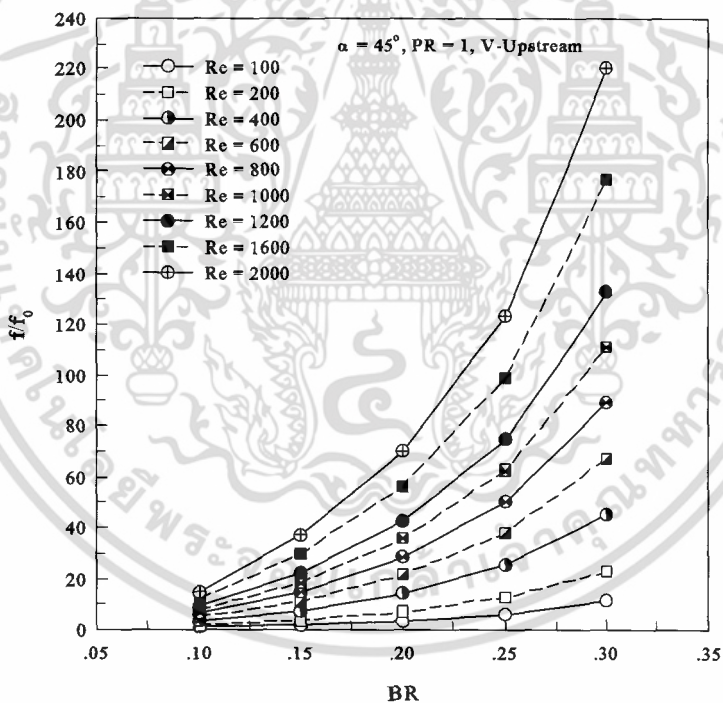


รูปที่ 8.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ f/f_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า ff_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.25$ ถึง 0.30 สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

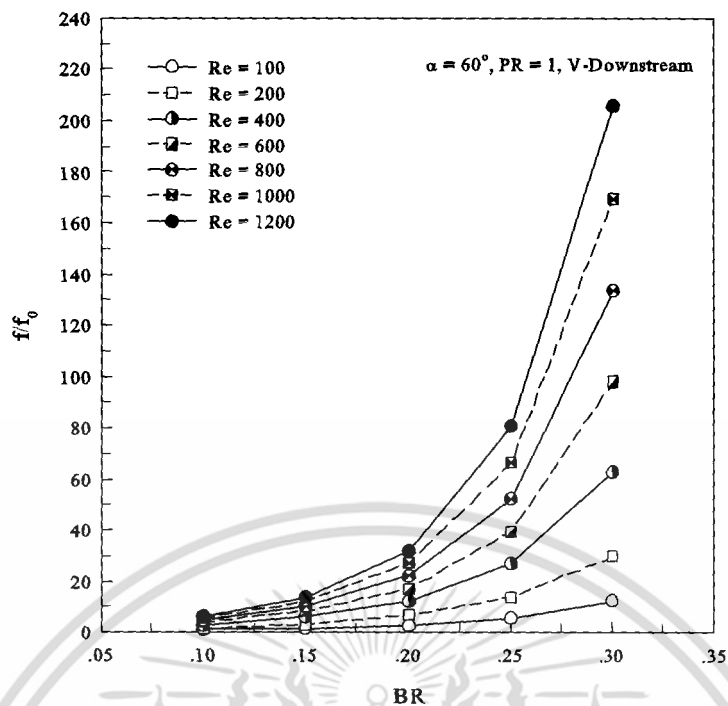
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.19(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.77-0.89, 2.21-2.67, 5.28-5.91$ และ $8.08-17.25$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.19(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.76-0.83, 2.10-2.32, 4.93-5.04$ และ $8.30-13.96$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

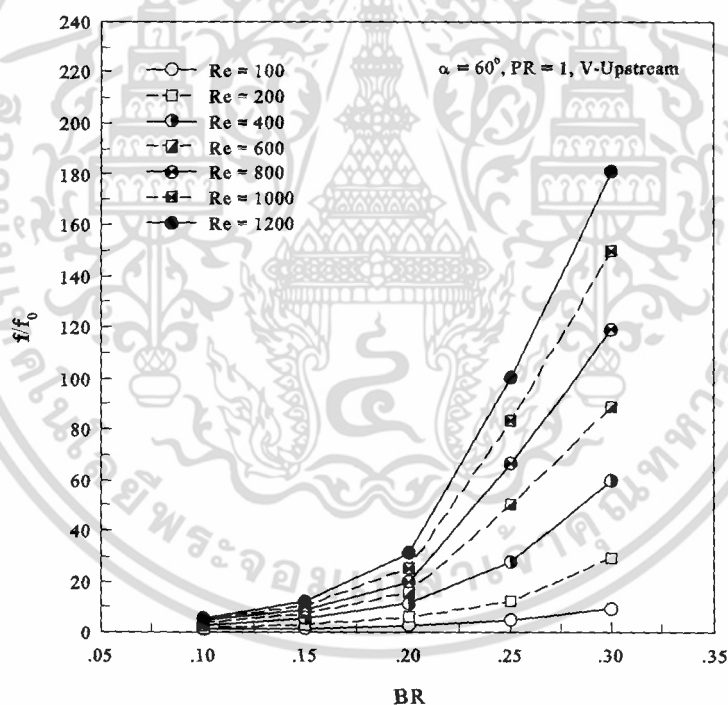
จากรูป 8.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นทำให้ ff_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันสำหรับทุกค่า Re ดังนั้นที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ค่า $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด และพบว่าเมื่ออัตราส่วนการเพิ่มของค่า ff_0 มากที่สุดอยู่ในช่วง $BR = 0.20$ ถึง 0.30 สำหรับกรณีแบบ V-Downstream จะมีอัตราการเพิ่มที่มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.20(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $1.14-1.56, 3.43-5.44, 6.70-13.83$ และ $9.50-31.13$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.20(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.30$ จะให้ค่า ff_0 มากกว่า $BR = 0.25, 0.20, 0.15$ และ 0.10 เท่ากับ $0.78-1.42, 2.24-4.93, 4.52-13.98$ และ $6.79-31.30$ เท่า ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับค่า Re



(ก)



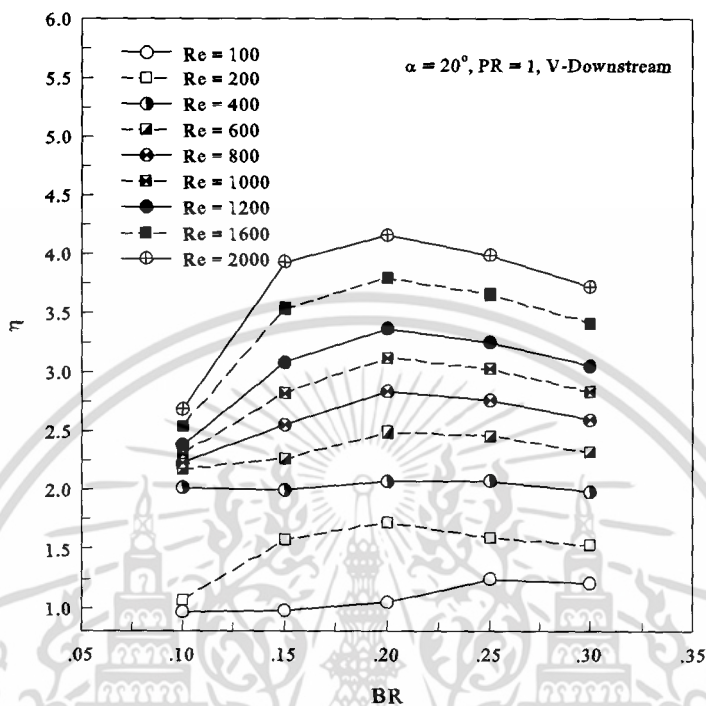
(ข)

รูปที่ 8.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

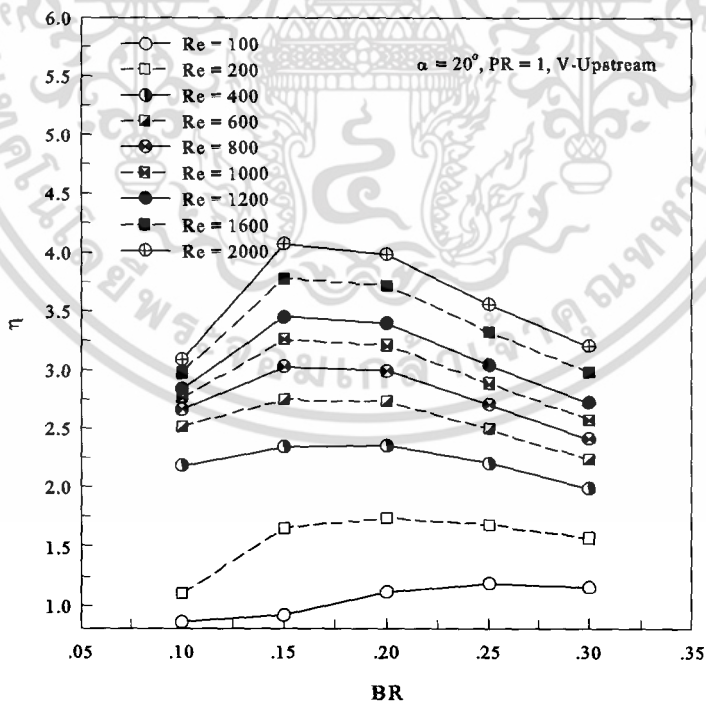
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของ การพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง η กับ BR ดังรูปที่ 8.21 ถึง 8.24



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ, PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า สำหรับกรณี V-Downstream ที่ค่า $BR = 0.10-0.20$ ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเมื่อค่า BR มากกว่า 0.20 ค่า η มีแนวโน้มลดลง ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าที่ค่า $BR = 0.10-0.15$ ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเมื่อค่า BR มากกว่า 0.15 ค่า η มีแนวโน้มลดลง ดังนั้น ค่า η ที่มีค่ามากที่สุดจะได้จากค่า $BR = 0.20$ และ 0.15 สำหรับกรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ

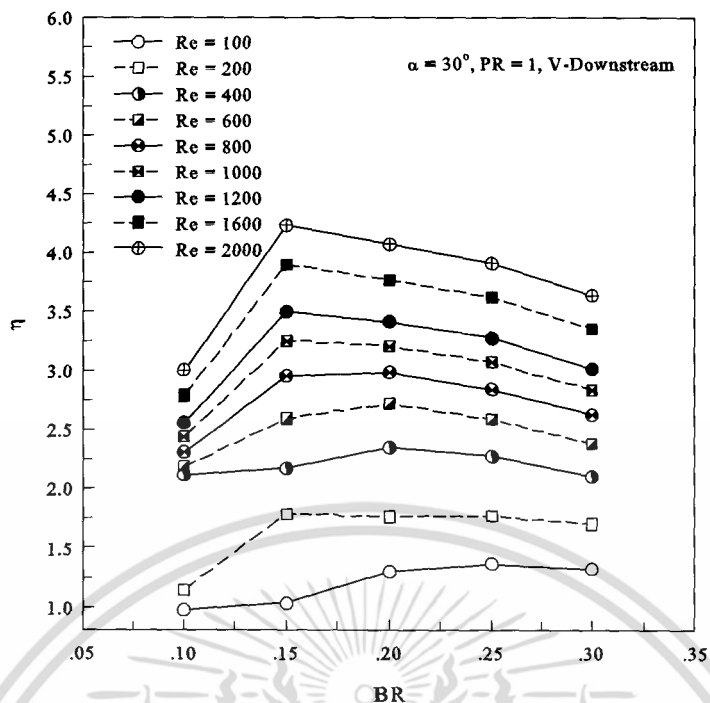
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.21(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.20$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.16 และมีค่าเท่ากับ 2.70, 3.93, 3.99 และ 3.73 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.21(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.15$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.08 และมีค่าเท่ากับ 3.10, 3.99, 3.56 และ 3.21 สำหรับ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

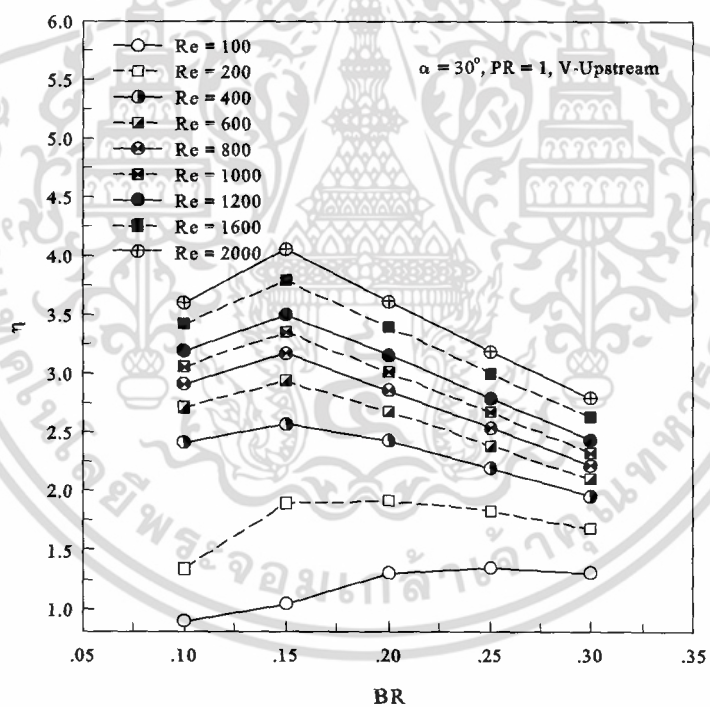
จากรูป 8.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ค่า $BR = 0.10-0.15$ ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเมื่อค่า BR มากกว่า 0.15 ค่า η มีแนวโน้มลดลง ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ดังนั้น ค่า η ที่มีค่ามากที่สุดจะได้จากค่า $BR = 0.15$ โดยกรณี V-Downstream จะมีอัตราการการเพิ่มของค่า η ในช่วง $BR = 0.10-0.15$ มากกว่า V-Upstream ส่วนในช่วง BR มากกว่า 0.15 พบว่าอัตราการลดลงของค่า η สำหรับกรณี V-Upstream จะมีค่ามากกว่า V-Downstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.22(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.15$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.23 และมีค่าเท่ากับ 3.01, 4.07, 3.91 และ 3.64 สำหรับ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.22(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.15$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.06 และมีค่าเท่ากับ 3.61, 3.61, 3.19 และ 2.80 สำหรับ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$



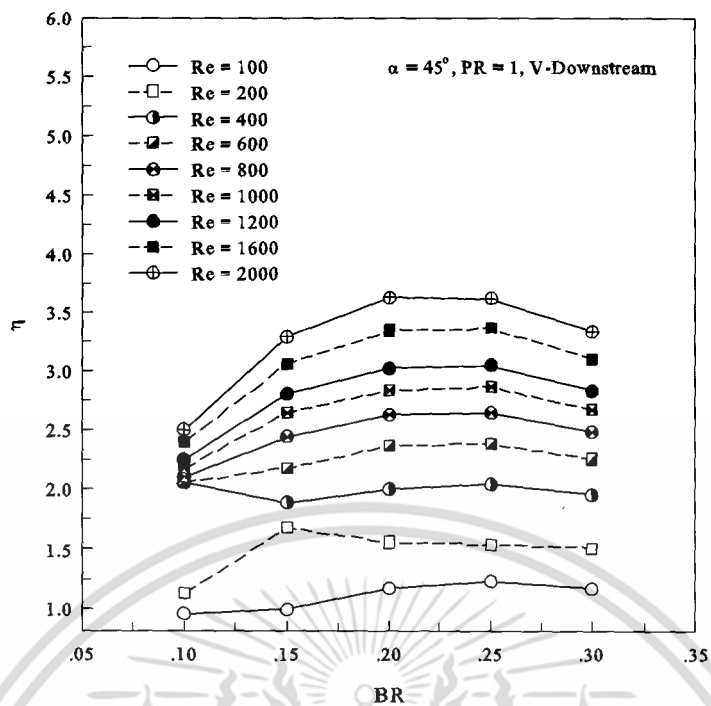
(ก)



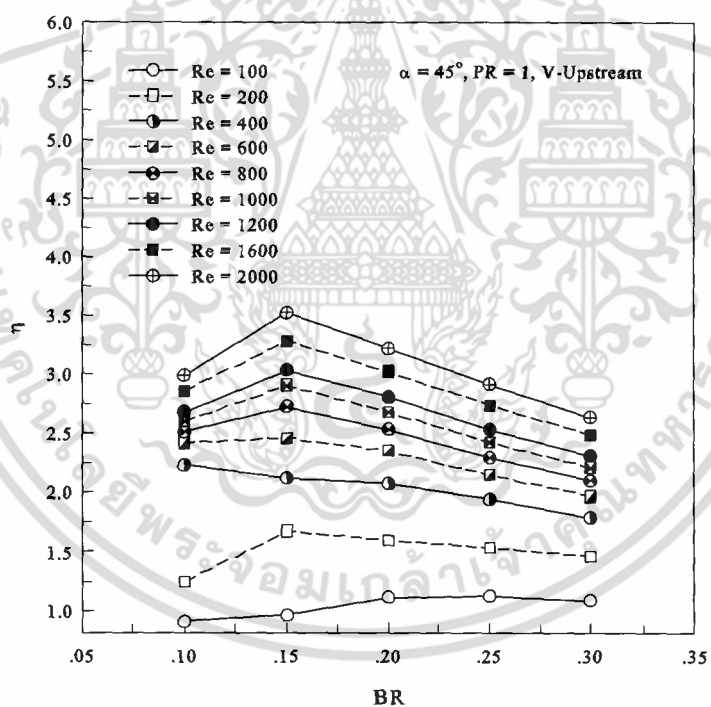
(ข)

รูปที่ 8.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า สำหรับกรณี V-Downstream ที่ค่า $BR = 0.10-0.20$ ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและเมื่อค่า BR มากกว่า 0.20 ค่า η มีแนวโน้มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงเล็กน้อย ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าที่ค่า $BR = 0.10-0.15$ ค่า η มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และเมื่อค่า BR มากกว่า 0.15 ค่า η มีแนวโน้มลดลง ดังนั้น ค่า η ที่มีค่ามากที่สุดจะได้จากค่า $BR = 0.20$ และ 0.15 สำหรับกรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ

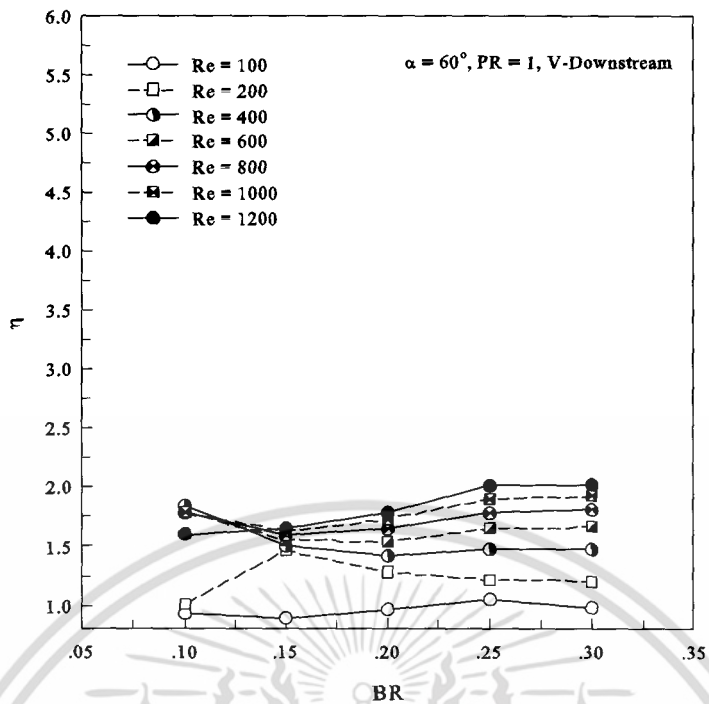
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.23(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.20$ และ 0.25 จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.63 และมีค่าเท่ากับ 2.51, 3.29 และ 3.34 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.23(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.15$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.53 และมีค่าเท่ากับ 3.00, 3.22, 2.92 และ 2.64 สำหรับ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

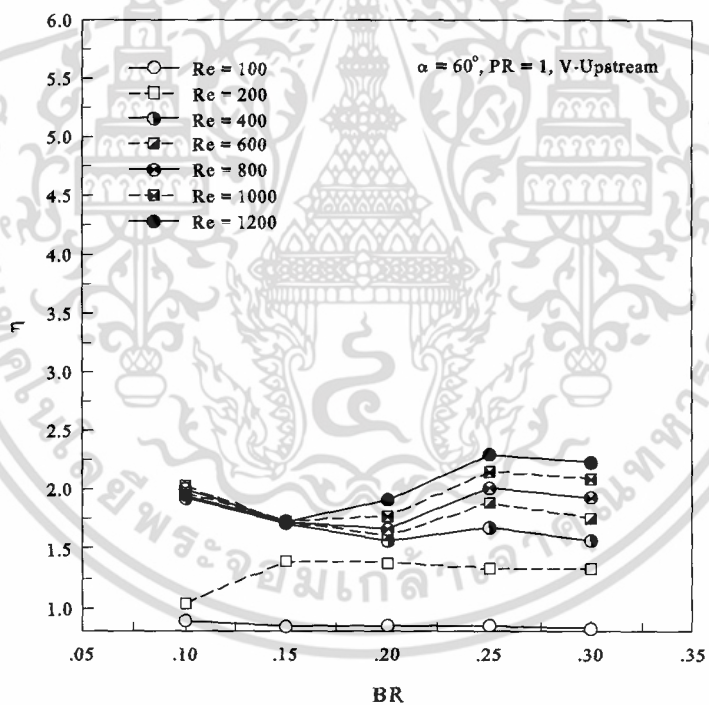
จากรูป 8.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า η สำหรับทุก ๆ ค่า BR จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่า η ที่มากที่สุดจะได้จากค่า $BR = 0.25$

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$, In-line แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.24(ก) พบว่า ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.02 และมีค่าเท่ากับ 1.61, 1.65 และ 1.79 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.24(ข) พบว่า ที่ $BR = 0.25$ จะให้ค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.30 และมีค่าเท่ากับ 1.95, 1.73, 1.92 และ 2.24 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ, PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3.4 สรุป

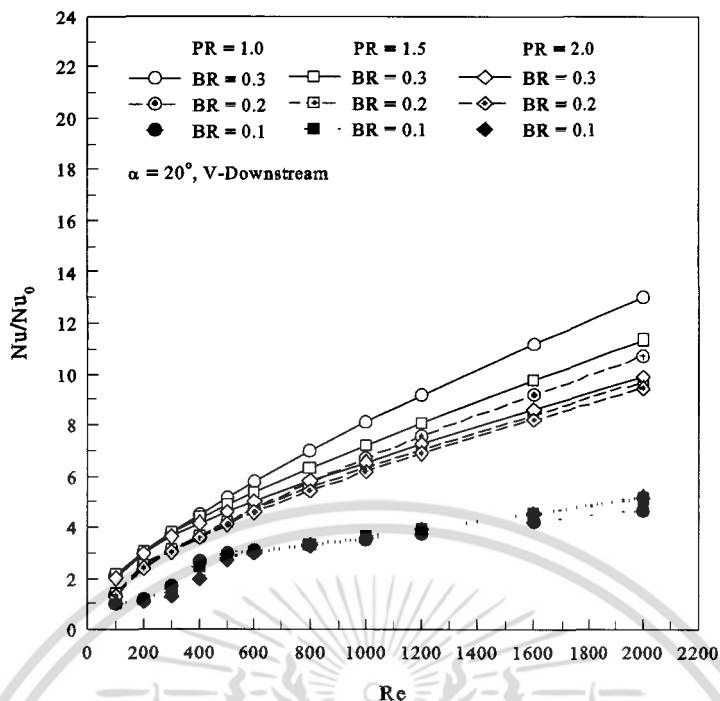
ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความสูงของแผ่นกั้นหรือค่า BR พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 เพิ่มมากขึ้นด้วย ทุกกรณีที่ทำการศึกษา เนื่องจาก ค่า BR ที่เพิ่มมากขึ้น จะให้ค่าความดันตกคร่อมระหว่างบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นกั้นมีค่าความแตกต่างมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำกระแสการไหลของอากาศให้เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังของท่อ รวมถึงเกลียวของการกระแทกของของไหล โดยที่ BR มีค่าน้อยเกลียวของการกระแทกจะมีการข้ามแผ่นกั้นตัววีหรือระยะเกลียวที่ยาวกว่า BR ที่มีค่ามาก ซึ่งการกระแทกของกระแสการไหลจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อและของไหลมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับท่อเปล่า ส่วนค่า η พบว่าจะมีค่ามากที่สุดในแต่ละกรณีที่ BR ต่างกัน โดยส่วนมากค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วง $BR = 0.15-0.20$ เนื่องจากค่า BR ในช่วงดังกล่าว เมื่อพิจารณาทั้งในส่วนของ Nu/Nu_0 และ f/f_0 หรือค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม พบว่าค่าการเพิ่มของทั้งสองค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

8.4 อิทธิพลของระยะพิตต์ (ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ, PR)

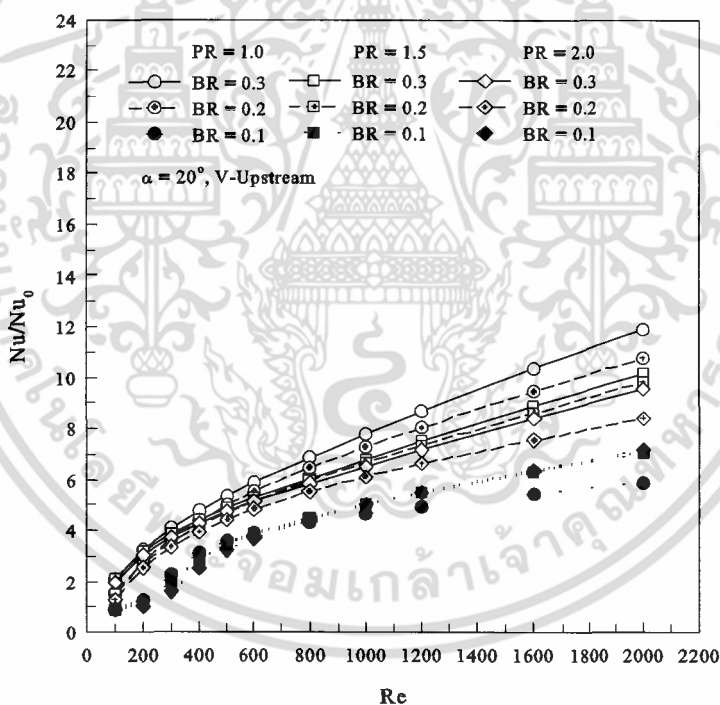
อิทธิพลของระยะพิตต์หรือระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นตัววี ได้นำเสนอในช่วง PR ที่ทำการศึกษาซึ่งมีค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่า BR ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/f_0 และค่า BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่าง η และค่า BR

8.4.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ที่ค่า PR ต่าง ๆ ดังรูปที่ 8.25 ถึง 8.28



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยที่สุดสำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

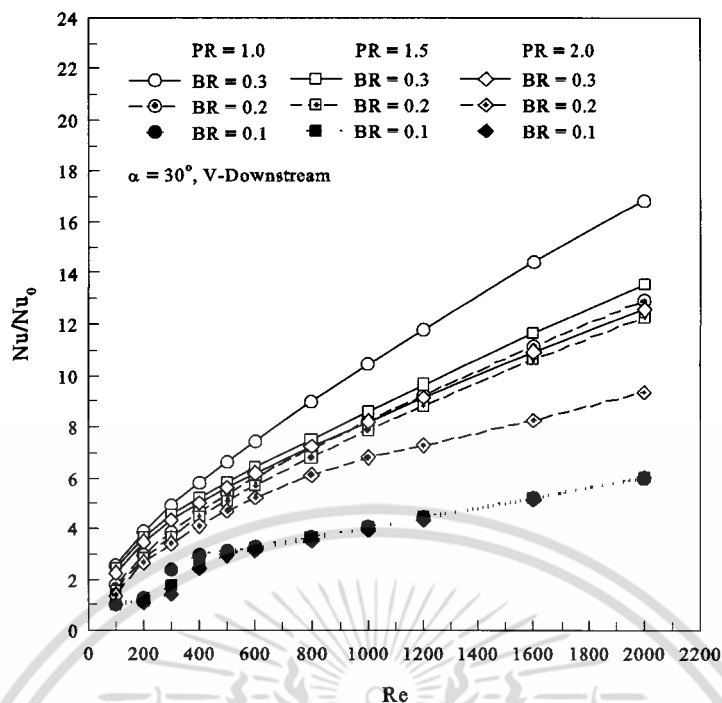
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.25(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.11–14.66% และ 0.01–36.28% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.08–23.49% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.25(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.17–17.22% และ 0.18–41.33% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.21–22.42% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

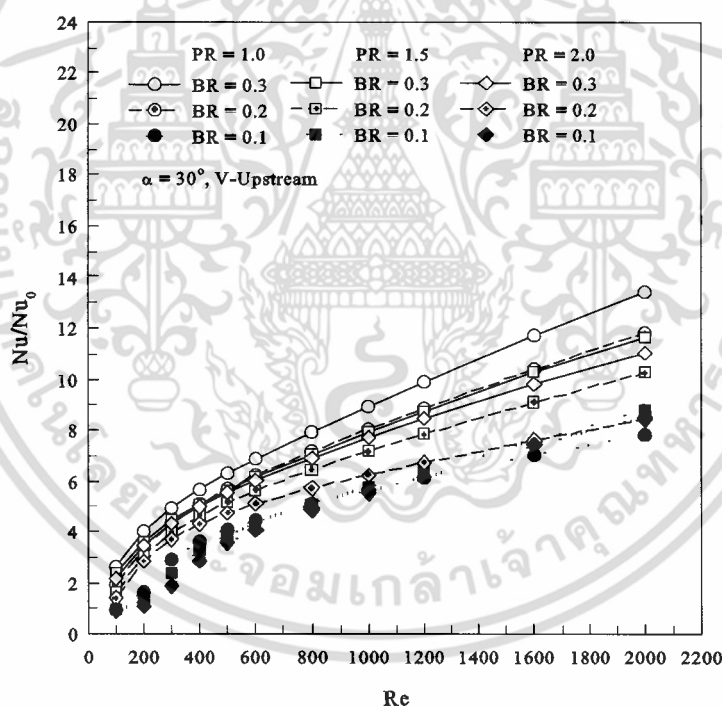
จากรูป 8.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุดสำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.26(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.12–33.26% และ 0.80–65.15% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.28–31.03% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.26(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.12–27.61% และ 0.94–54.88% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.58–25.75% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR



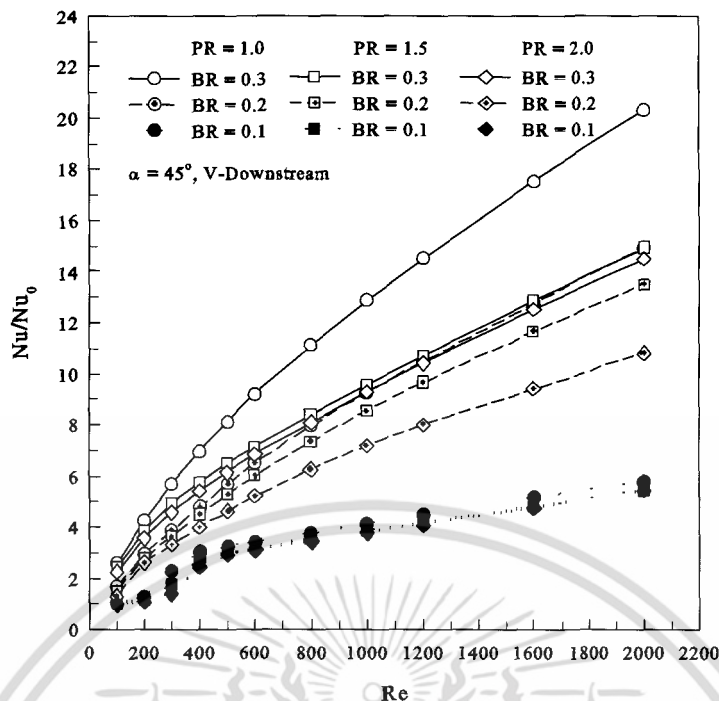
(ก)



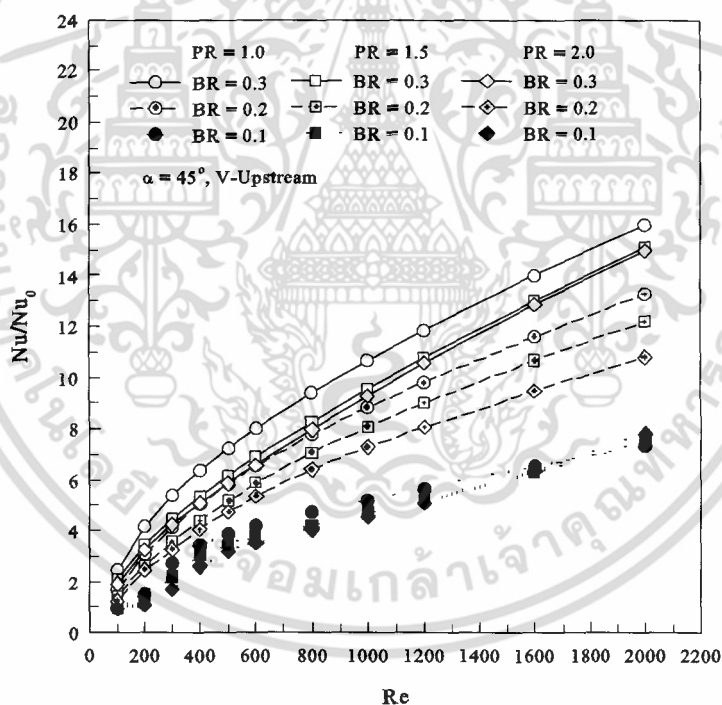
(ข)

รูปที่ 8.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยที่สุดสำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

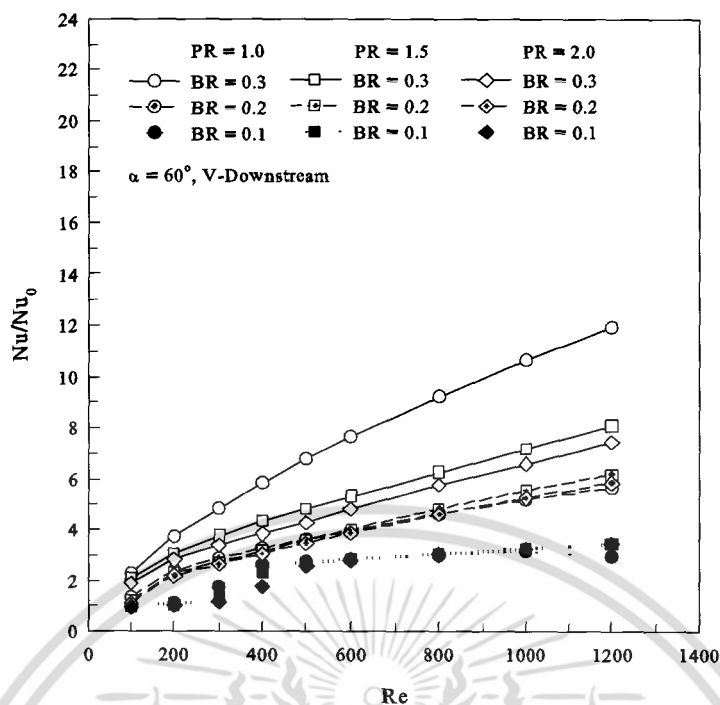
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.27(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 1.82–36.07% และ 2.16–62.07% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.22–26.24% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.27(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 1.78–24.42% และ 2.18–59.75% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.40–29.38% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

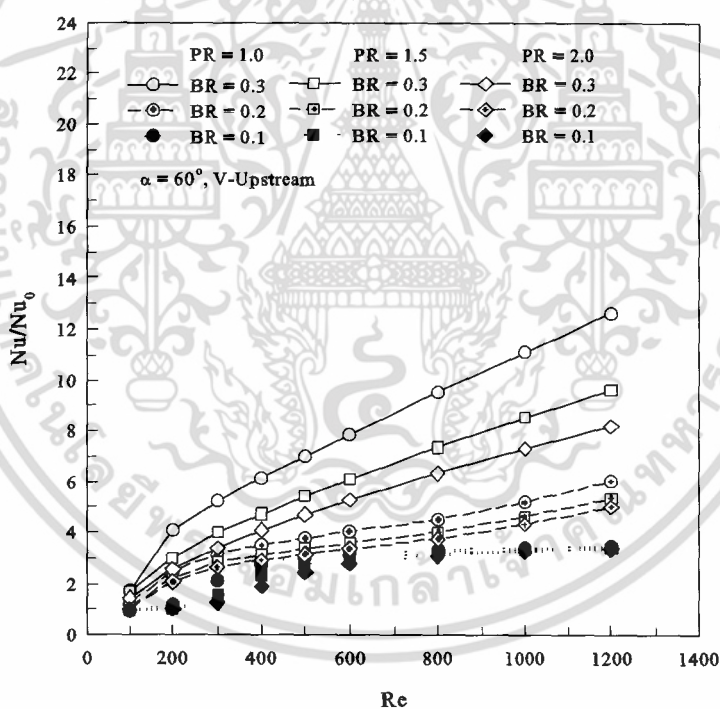
จากรูป 8.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุดสำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.28(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.09–48.04% และ 0.11–61.35% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.02–31.01% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.28(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 0.47–36.35% และ 0.16–68.13% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 0.11–24.84% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR



(ก)



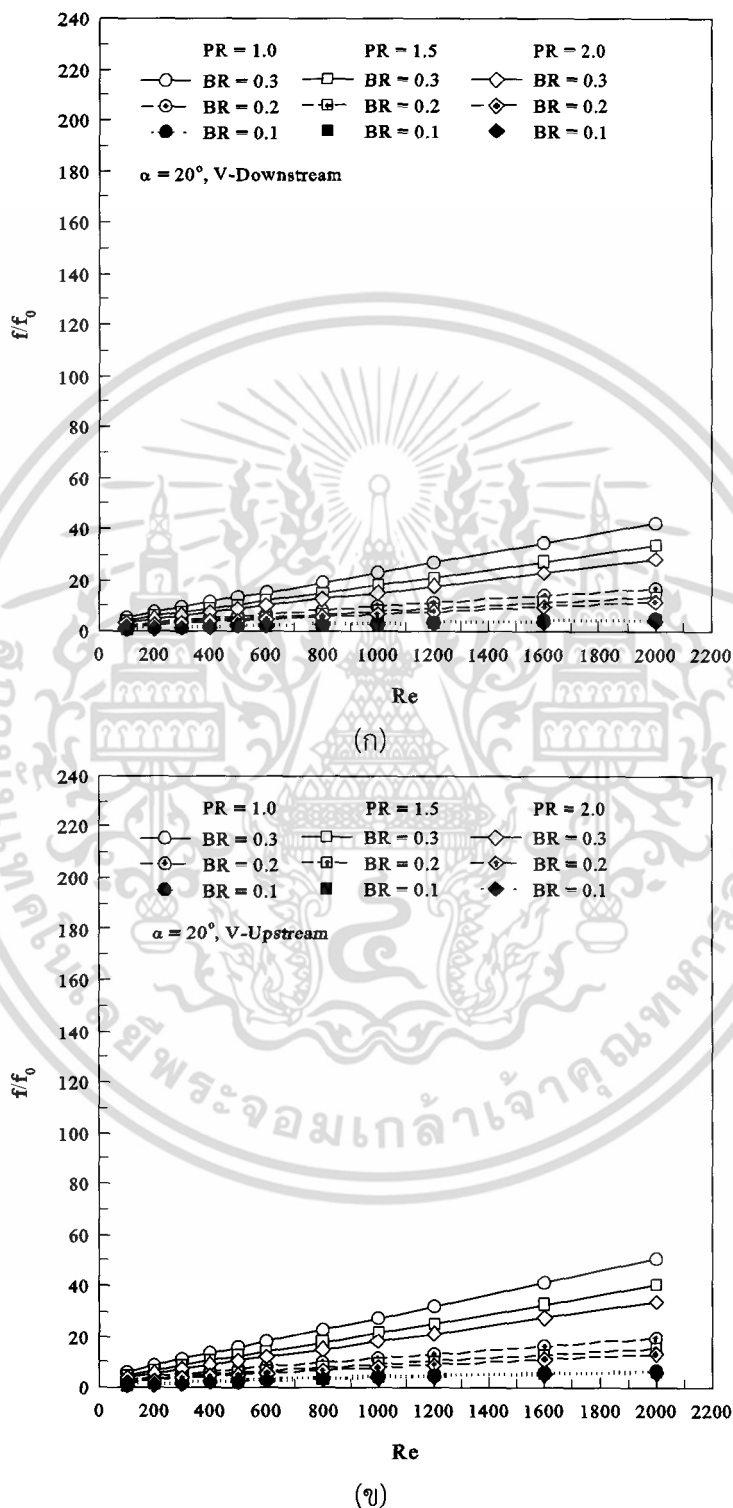
(ข)

รูปที่ 8.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีทำการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.29 ถึง 8.32



รูปที่ 8.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า fff_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า fff_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า fff_0 น้อยที่สุด สำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า fff_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

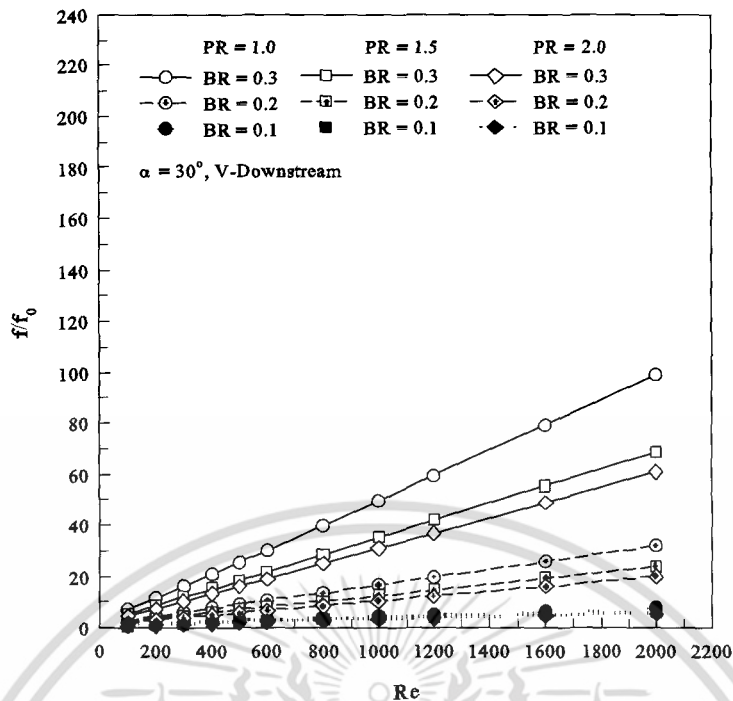
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.29(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 5.34–28.00% และ 9.67–51.38% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.31–18.98% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.29(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 6.00–29.09% และ 10.94–55.67% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 4.15–20.59% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

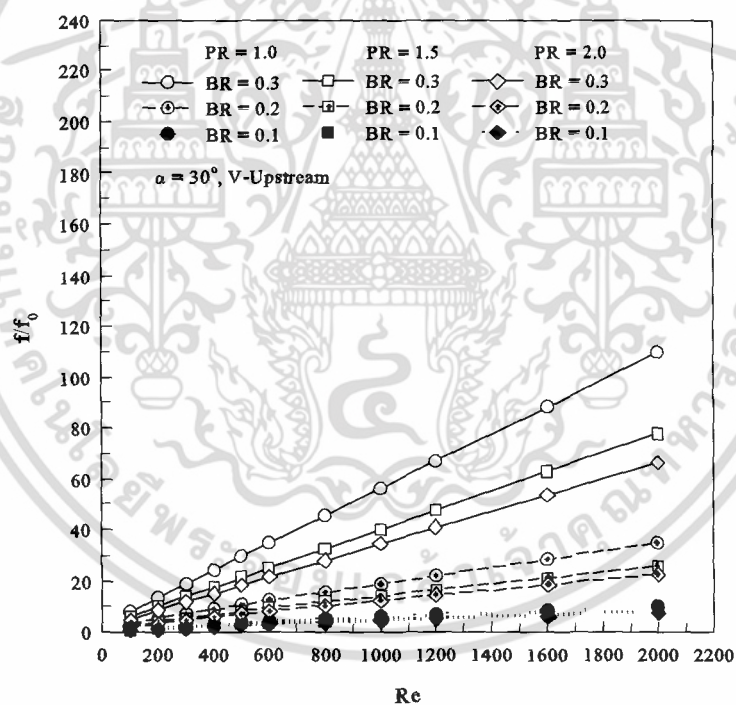
จากรูป 8.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า fff_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า fff_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า fff_0 น้อยที่สุด สำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า fff_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.30(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 6.47–44.18% และ 9.81–62.92% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.14–20.40% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.30(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 7.64–41.50% และ 11.84–65.72% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า fff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.90–20.33% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR



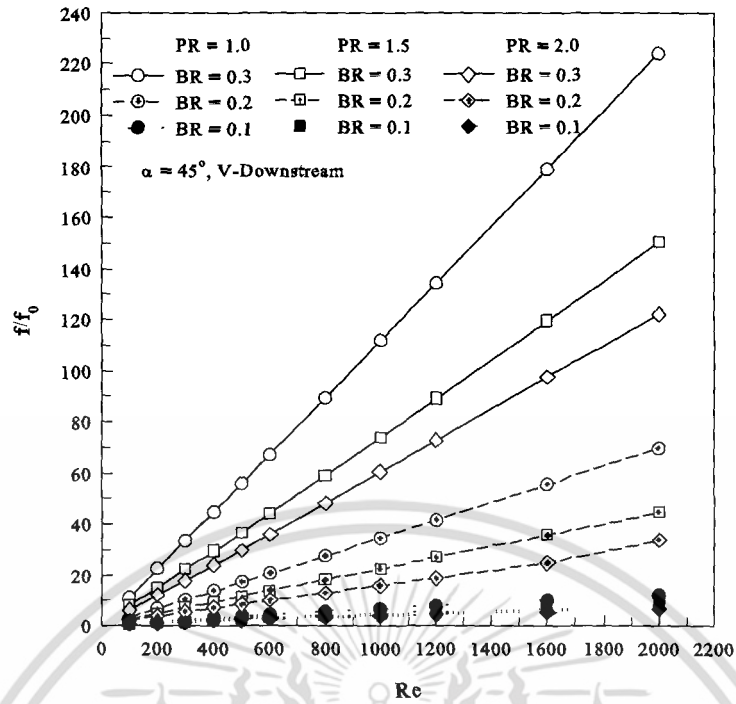
(ก)



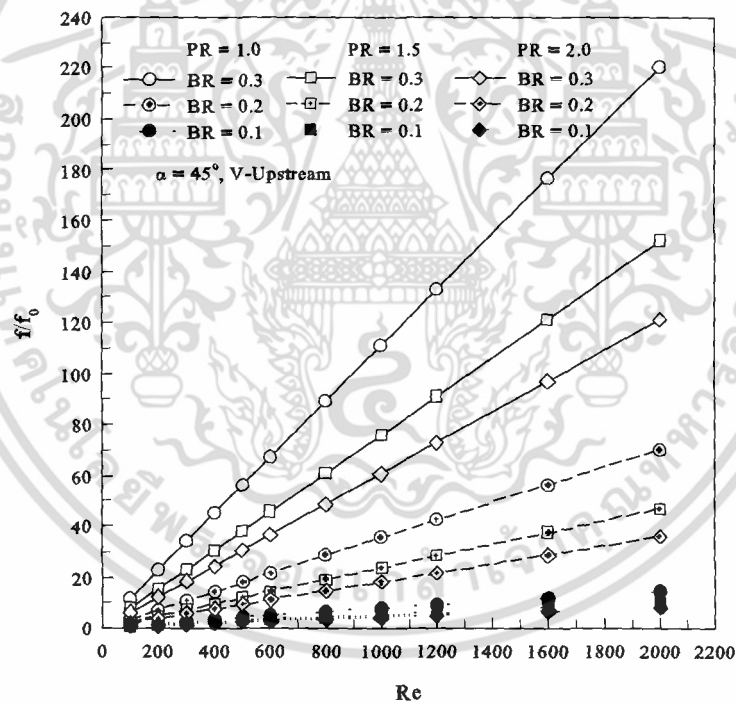
(ข)

รูปที่ 8.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า f/f_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า f/f_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า f/f_0 น้อยที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า ff_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

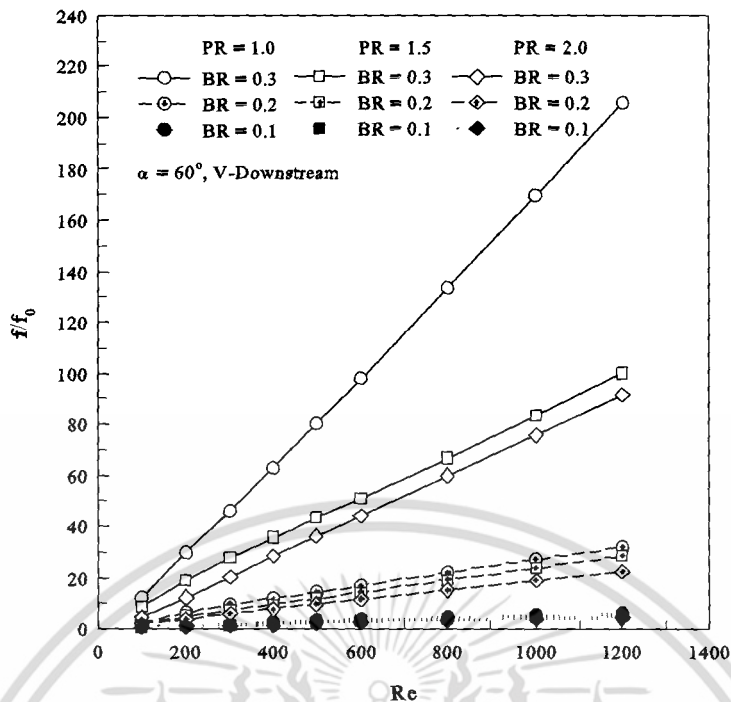
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.31(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 9.65–61.39% และ 13.09–128.15% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.14–46.26% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.31(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 11.19–49.92% และ 15.16–96.12% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.60–30.81% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

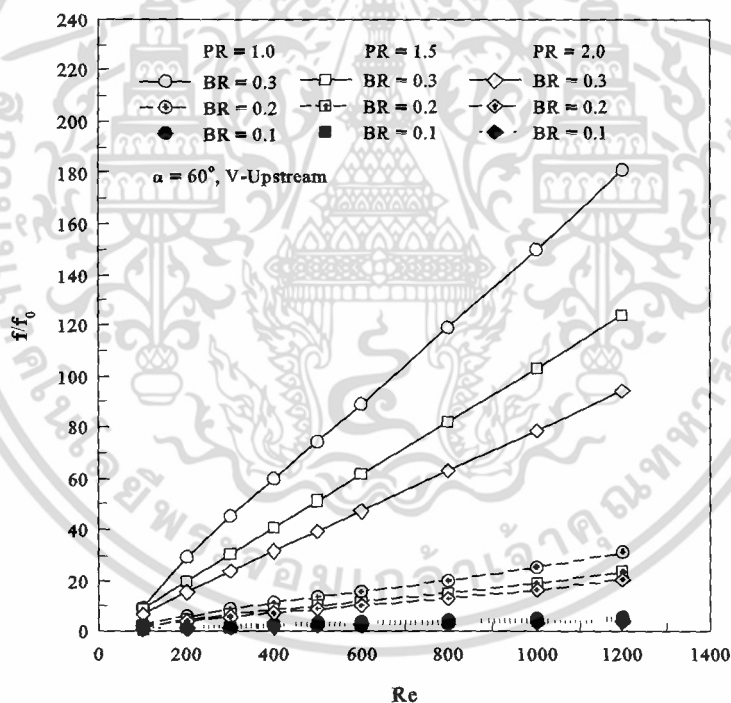
จากรูป 8.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า ff_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีค่า ff_0 มากที่สุดและที่ $PR = 2.00$ จะมีค่า ff_0 น้อยที่สุด สำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า BR มากกว่า 0.10 ส่วนที่ $BR = 0.10$ พบว่าค่า ff_0 สำหรับทุก ๆ ค่า PR มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.32(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 5.97–105.61% และ 8.94–153.20% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 2.81–40.58% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.32(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 1.50$ และ 2.00 เท่ากับ 6.76–50.98% และ 10.06–95.89% ตามลำดับ ที่ $PR = 1.50$ มีค่า ff_0 มากกว่า $PR = 2.00$ เท่ากับ 3.09–31.50% ขึ้นอยู่กับค่า Re และ BR



(ก)



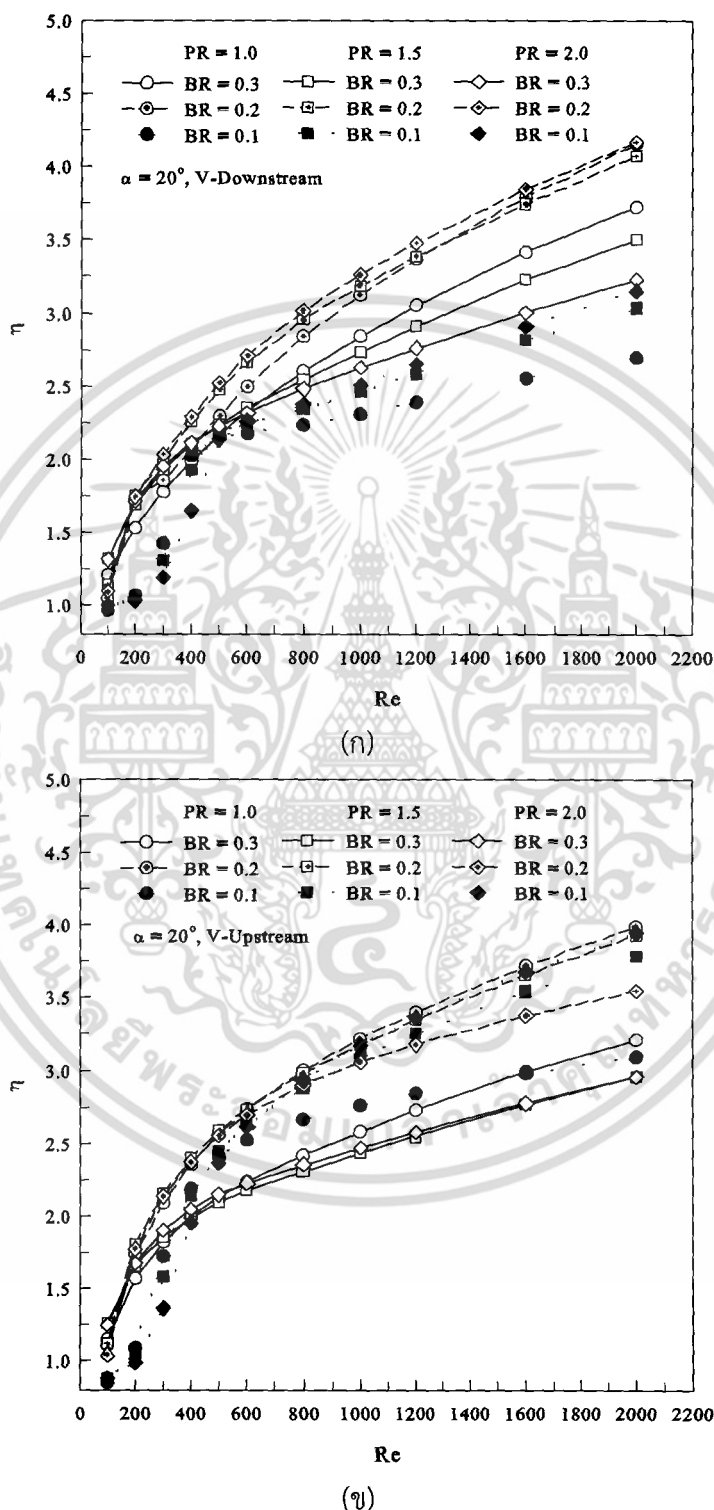
(ข)

รูปที่ 8.32 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.33 ถึง 8.36



รูปที่ 8.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า แต่ละค่า PR มีค่า η ที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วง $PR = 1.00$ และ 1.50 ที่ $BR = 0.15-0.20$

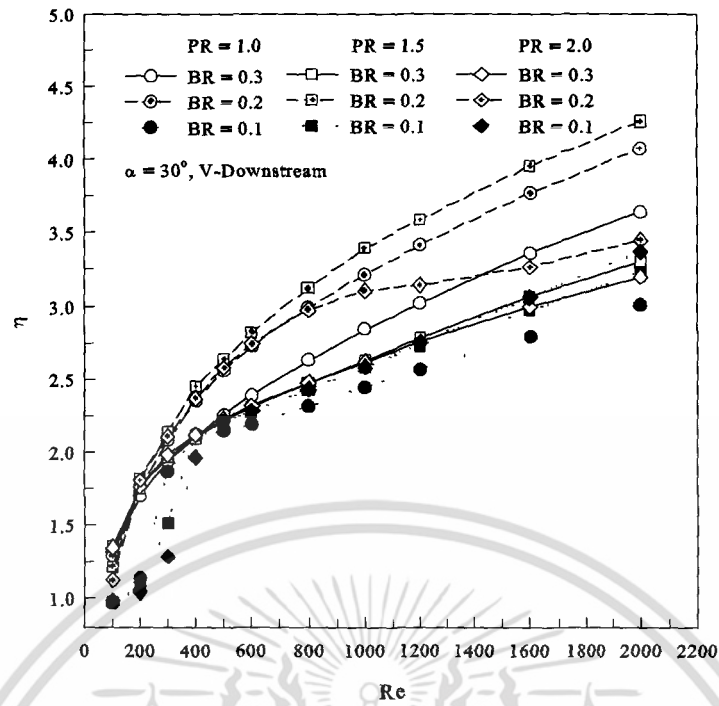
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.33(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ 4.16, 4.21 และ 4.17 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.33(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ 4.08, 4.13 และ 4.11 ตามลำดับ

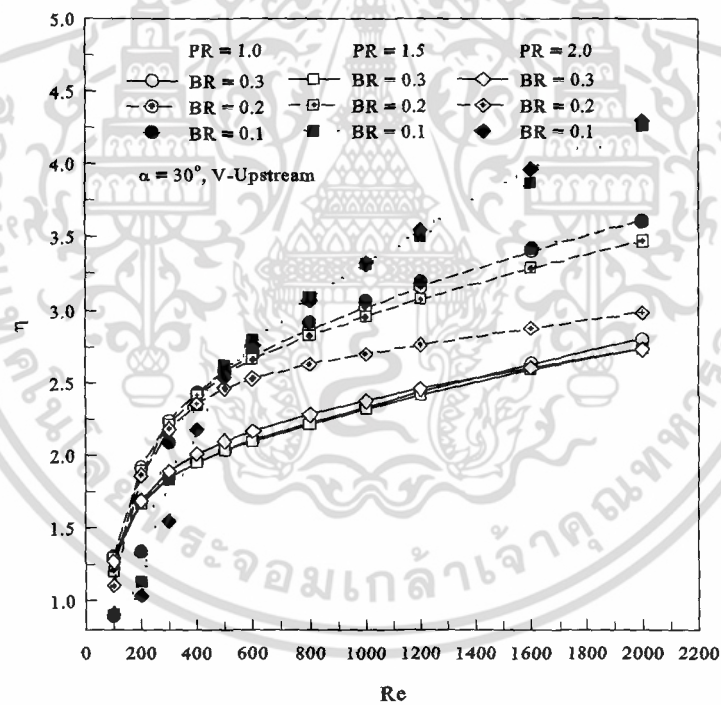
จากรูป 8.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า แต่ละค่า PR มีค่า η ที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วง $PR = 1.00$ และ 1.50 ที่ $BR = 0.20$ กรณี V-Downstream และ ที่ $BR = 0.10$ กรณี V-Upstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.34(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ 4.23, 4.26 และ 4.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.34(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ 4.06, 4.26 และ 4.30 ตามลำดับ



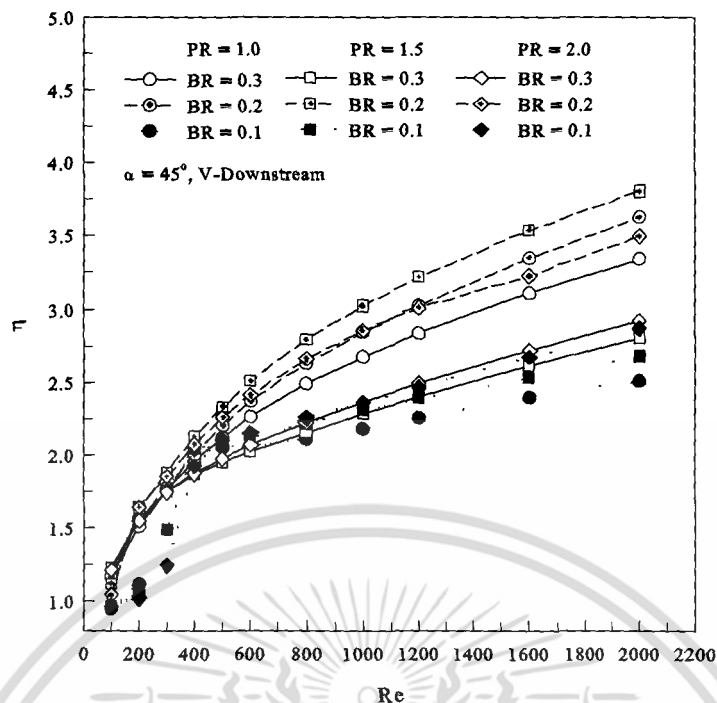
(ก)



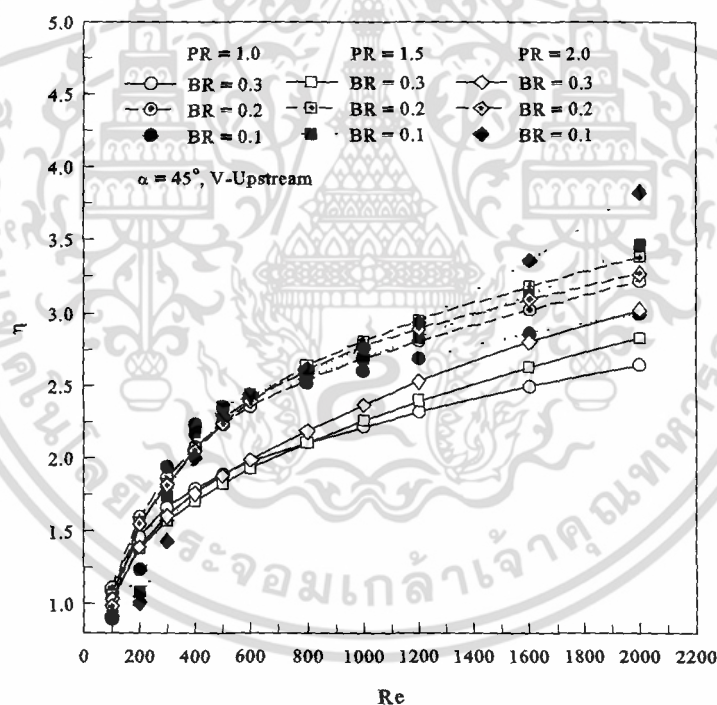
(ข)

รูปที่ 8.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า แต่ละค่า PR มีค่า η ที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วง $PR = 1.00$ และ 1.50 ที่ $BR = 0.20$ ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.35(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ $3.63, 3.81$ และ 3.72 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.35(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ $3.53, 3.89$ และ 3.94 ตามลำดับ

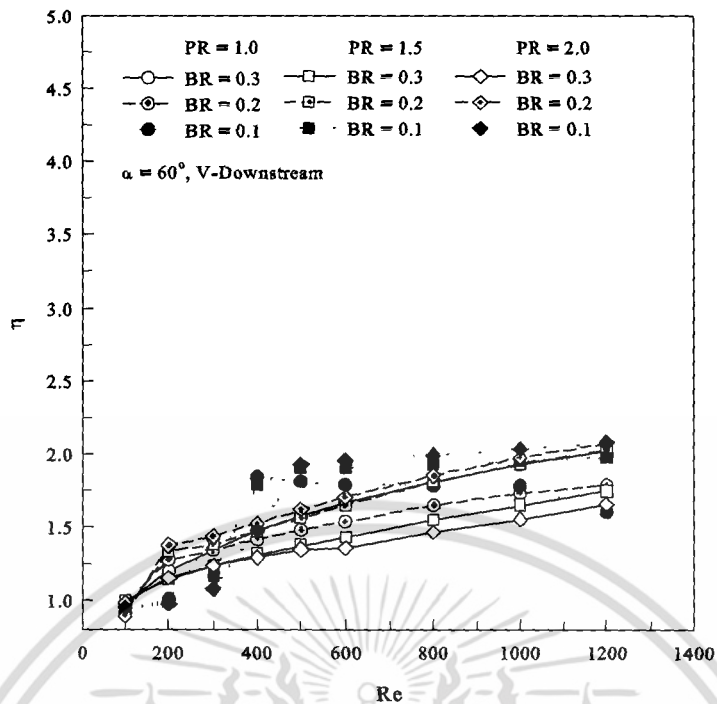
จากรูป 8.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า แต่ละค่า PR มีค่า η ที่ใกล้เคียงกัน โดยค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วง $PR = 1.00$ และ 1.50

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ แบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.36(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ $2.02, 2.03$ และ 2.10 ตามลำดับ

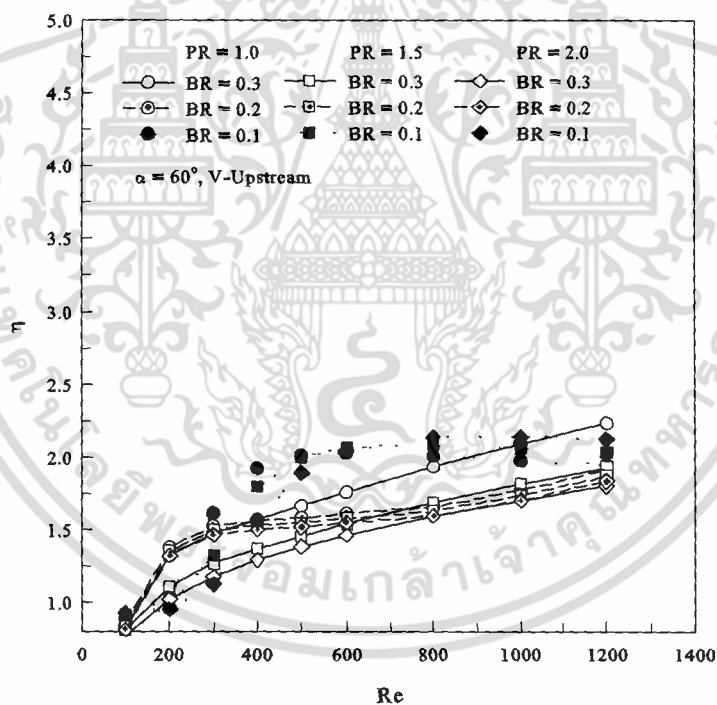
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.36(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 มีค่า η มากที่สุดเท่ากับ $2.30, 2.07$ และ 2.13 ตามลำดับ

8.4.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นหรือค่า PR พบว่าเมื่อ ค่า PR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 มีค่าลดลงทุกกรณีที่ทำการศึกษา เนื่องจากระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นจะส่งผลต่อเกลียวการกระแทกของกระแสการไหล ที่ $PR = 1.00$ พบว่าเกลียวการกระแทกของของไหลมีความรุนแรงมากกว่าที่ PR อื่น ๆ รวมถึงระยะเกลียวที่มีความแตกต่างกัน โดยที่ $PR = 1.00$ จะมีการกระแทกที่บริเวณผนังท่อมากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความดันตกคร่อม พบว่าที่ค่า PR ที่เพิ่มมากขึ้นจะสามารถช่วยลดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นได้ ส่วนค่า η ที่มากที่สุด โดยส่วนมากจะอยู่ที่ $PR = 1.00$ และ 1.50 เนื่องจากค่า PR ในช่วงนี้มีอัตราการเพิ่มของการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่เหมาะสม ส่วนที่ $PR = 2.00$ ถึงแม้ว่าจะมีค่าความดันตกคร่อมที่น้อยที่สุด แต่ก็มีการถ่ายเทความร้อนที่มีค่าน้อยที่สุดเช่นกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ และ In-line ที่ PR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

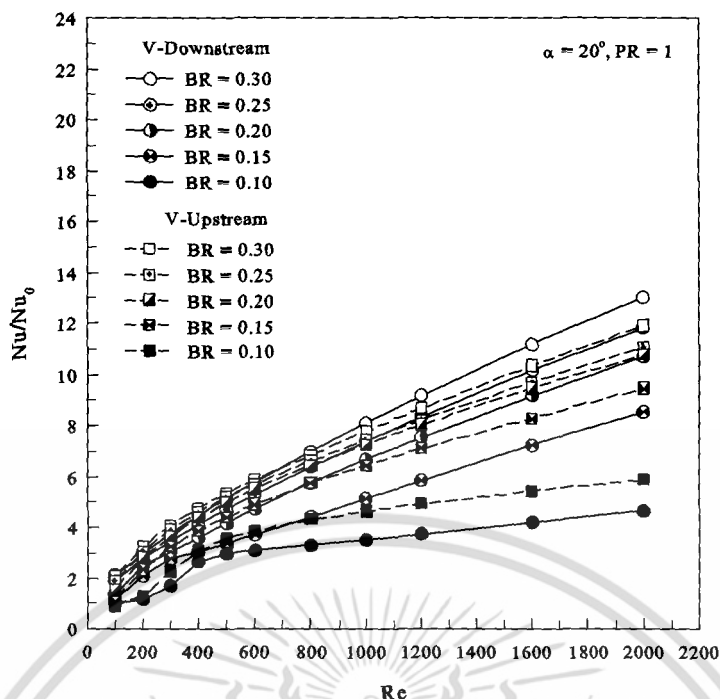
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 อิทธิพลของทิศทางการไหล

อิทธิพลของทิศทางการไหล ได้นำเสนอทิศทางการไหลโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ V-Downstream และแบบ V-Upstream นำเสนอผลที่ได้จากการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่า Re ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า f/f_0 และค่า Re และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง η และค่า Re

8.5.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.37 ถึง 8.40 และเนื่องจากโครงสร้างการไหลและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทิศทางการไหลมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผนังท่อในลักษณะที่แตกต่างกันด้วย โดยพบว่ากรณี V-Downstream อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านข้างจะมีค่ามากกว่าผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววี ส่วนกรณี V-Upstream อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีจะมีค่ามากกว่าผนังด้านข้าง เมื่อพิจารณาจากค่าการกระจาย Nu_x ที่ผนังท่อ เนื่องมาจากโครงสร้างการไหลหรือเส้นกระแสการไหลของอากาศเมื่อผ่านแผ่นกั้นตัววีทั้งสองลักษณะจะเกิดการกระแทกที่บริเวณผนังท่อในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอค่าความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re เมื่อพิจารณาผนังท่อในแต่ละด้านสำหรับทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ดังรูปที่ 8.41 ถึง 8.44

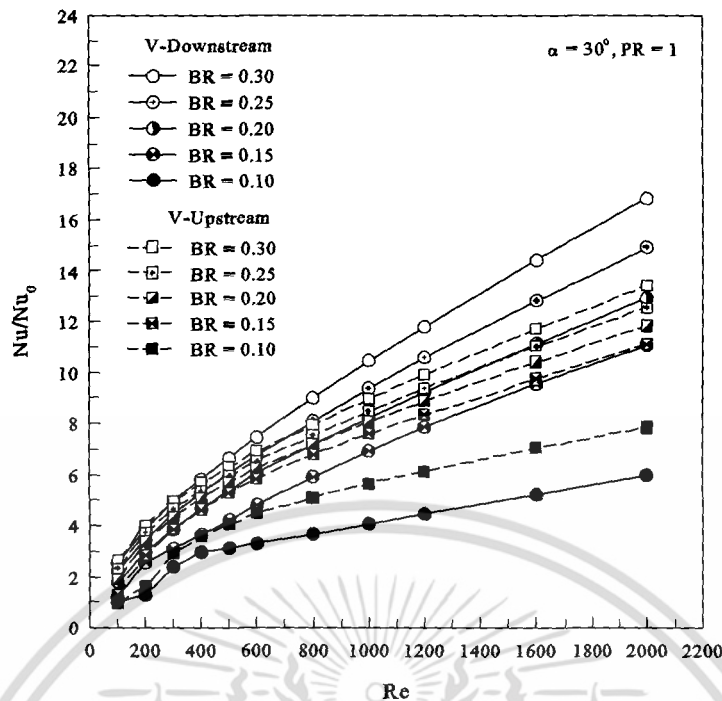


รูปที่ 8.37 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ค่า $BR=0.10-0.20$ ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มขึ้นคือที่ BR มากกว่า 0.20 พบว่าค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า Re มากกว่า 400 ส่วนที่ ค่า Re น้อยกว่า 400 พบว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า Nu/Nu_0 ใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.37 พบว่า ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 7.69–33.46%, 10.70–32.20% และ 0.65–21.44% ที่ $BR = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ และที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เท่ากับ 0.46–6.88% และ 1.60–9.34% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ $BR = 0.10$ จะมีค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์สูงกว่าที่ $BR = 0.15$ และ 0.20 ส่วนที่กรณี BR มากกว่า 0.20 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีค่ามากกว่าไม่เกิน 10%

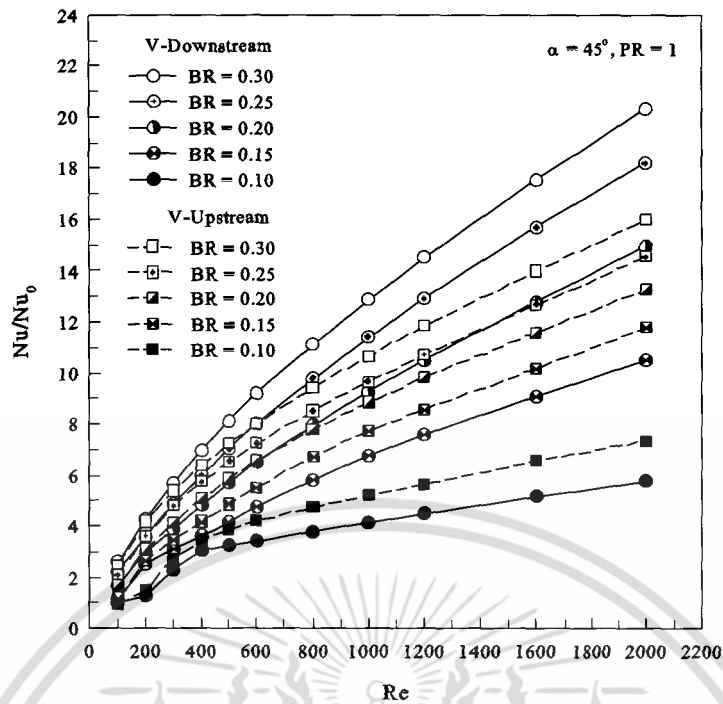
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.38 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ค่า $BR = 0.10$ ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream ส่วนที่ $BR = 0.15$ ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มขึ้นคือที่ BR มากกว่า 0.15 พบว่าค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า Re มากกว่า 400 ส่วนที่ ค่า Re น้อยกว่า 400 พบว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า Nu/Nu_0 ใกล้เคียงกัน

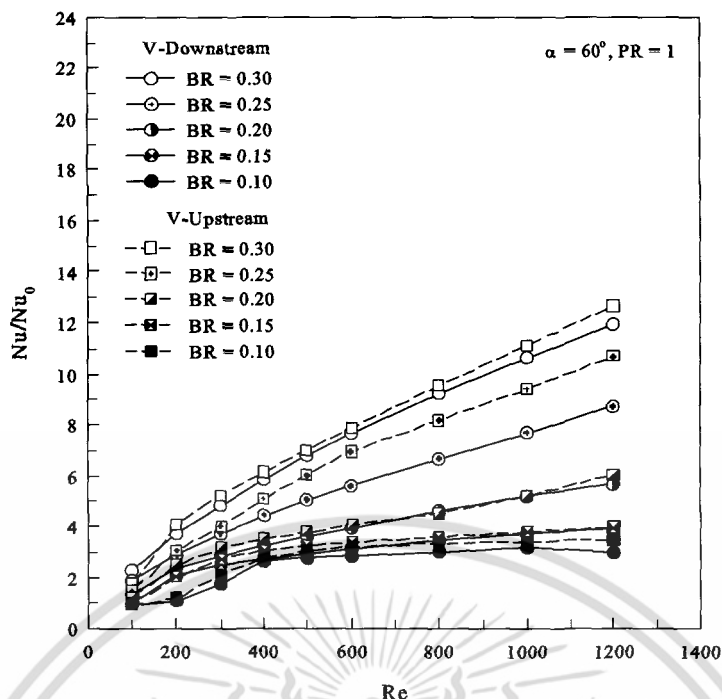
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.38 พบว่า ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 21.38–38.76% และ 0.09–26.95% ที่ $BR = 0.10$ และ 0.15 ตามลำดับ และที่ $BR = 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เท่ากับ 2.18–9.32%, 1.15–18.89% และ 2.39–25.50% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ $BR = 0.10$ จะมีค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์สูงกว่าที่ $BR = 0.15$ ส่วนที่กรณี BR มากกว่า 0.15 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream อยู่ในช่วง 1.15–25.50%



รูปที่ 8.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ค่า $BR = 0.10-0.15$ ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มขึ้นคือที่ BR มากกว่า 0.15 พบว่าค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เมื่อพิจารณาที่ค่า Re มากกว่า 400 ส่วนที่ ค่า Re น้อยกว่า 400 พบว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า Nu/Nu_0 ใกล้เคียงกัน

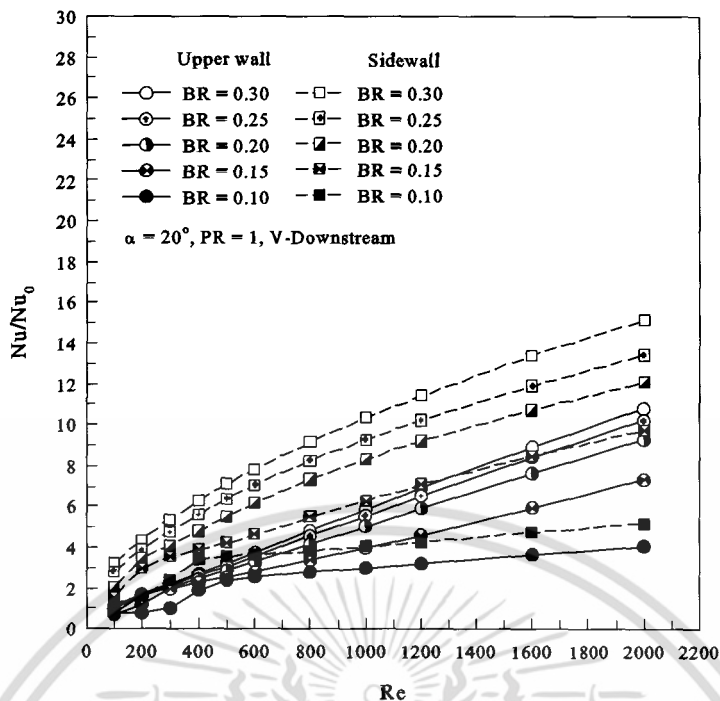
สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.39 พบว่า ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 13.14–26.85% และ 0.49–16.43% ที่ $BR = 0.10$ และ 0.15 ตามลำดับ และที่ $BR = 0.20, 0.25$ และ 0.30 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เท่ากับ 0.12–12.54%, 1.41–25.17% และ 2.48–27.16% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ $BR = 0.10$ จะมีค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์สูงกว่าที่ $BR = 0.15$ ส่วนที่กรณี BR มากกว่า 0.15 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream อยู่ในช่วง 0.12–27.16%



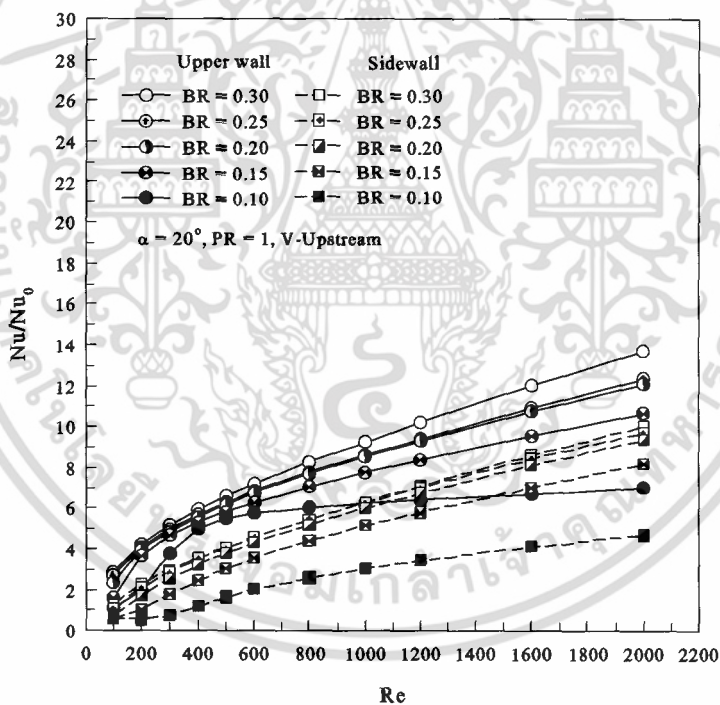
รูปที่ 8.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ค่า $BR = 0.10-0.20$ ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream และกรณี V-Downstream มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มขึ้นคือที่ BR มากกว่า 0.15 พบว่าค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เมื่อพิจารณาที่ค่า Re มากกว่า 400 ส่วนที่ ค่า Re น้อยกว่า 400 พบว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า Nu/Nu_0 ใกล้เคียงกัน

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.40 พบว่า ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 5.13–23.84% และ 2.51–9.79% ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ ดังนั้นกรณี BR มากกว่า 0.20 ค่า Nu/Nu_0 กรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream อยู่ในช่วง 2.51–23.84%



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.41 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ผิวท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัวจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังด้านข้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณี V-Upstream ผิวท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังท่อด้านข้าง สำหรับทุก ๆ ค่า BR

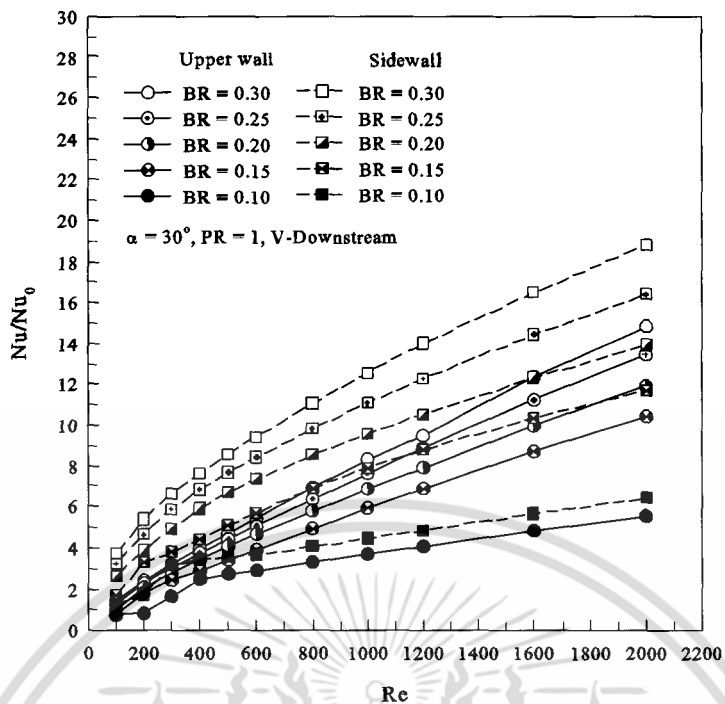
สำหรับกรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.41(ก) พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 27.26–136.84%, 32.64–137.75%, 30.35–170.73%, 31.43–183.97% และ 40.57–195.78% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.41(ข) พบว่า พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 49.74–401.92%, 30.64–252.95%, 29.31–221.67%, 27.24–155.48% และ 36.77–119.34% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

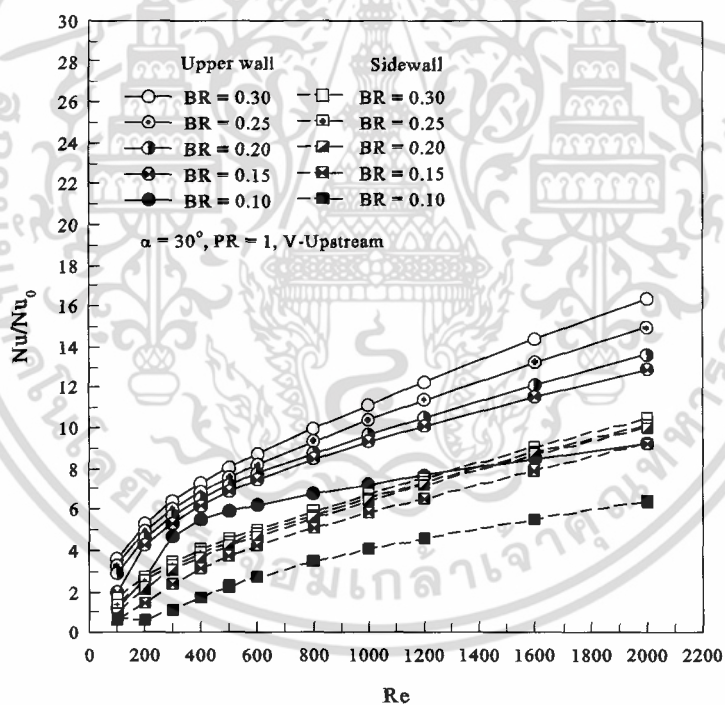
จากรูป 8.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ผิวท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังด้านข้างส่วนกรณี V-Upstream ผิวท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังท่อด้านข้าง สำหรับทุก ๆ ค่า BR

สำหรับกรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.42(ก) พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 15.63–113.05%, 12.33–121.64%, 16.90–160.08%, 21.87–149.77% และ 26.67–159.06% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.42(ข) พบว่า พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 44.53–341.08%, 39.57–230.54%, 35.69–201.76%, 47.67–137.97% และ 56.29–115.40% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



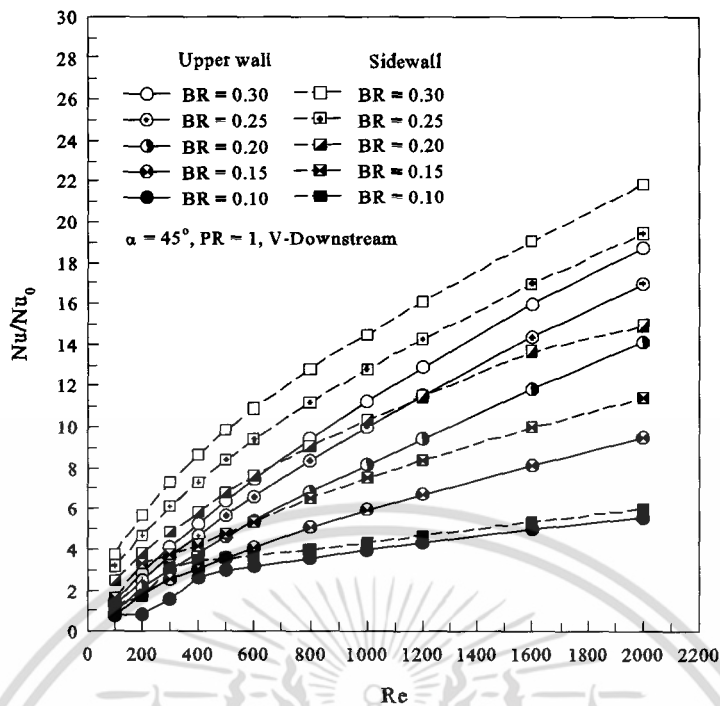
(ก)



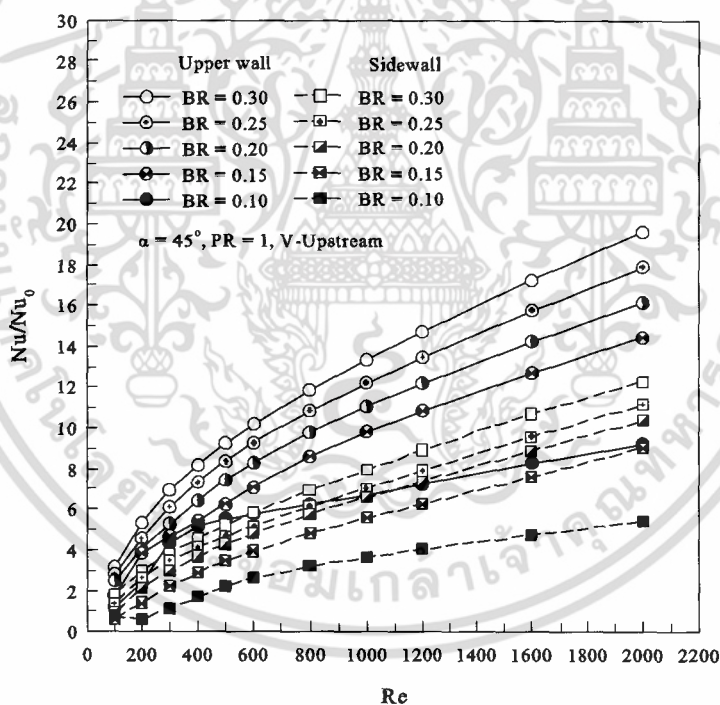
(ข)

รูปที่ 8.42 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ, PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ผิวท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังด้านข้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณี V-Upstream ผิวท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังท่อด้านข้าง สำหรับทุก ๆ ค่า BR

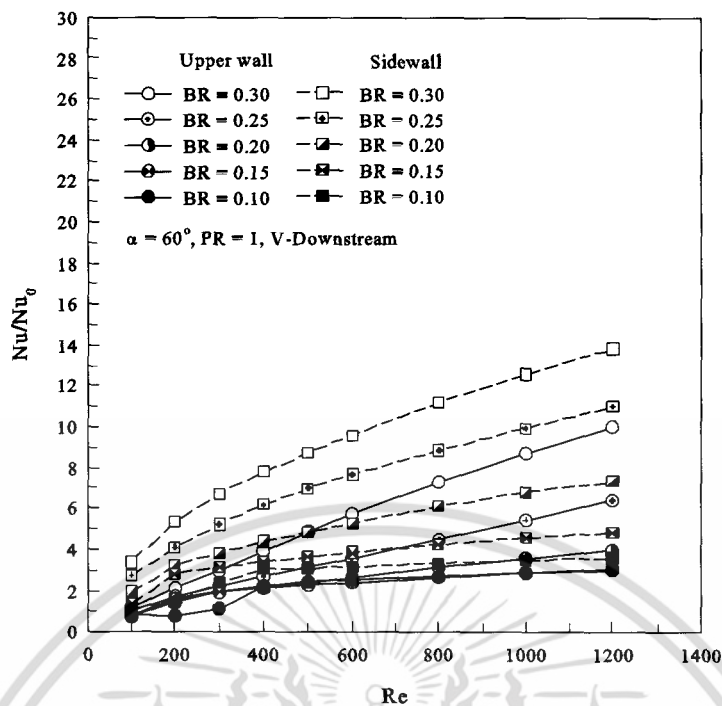
สำหรับกรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.43(ก) พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 7.26–107.76%, 20.24–112.52%, 5.77–157.73%, 14.52–151.58% และ 16.66–154.28% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.43(ข) พบว่า พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 59.79–296.59%, 58.94–183.14%, 55.39–172.80%, 60.19–105.15% และ 59.38–80.26% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

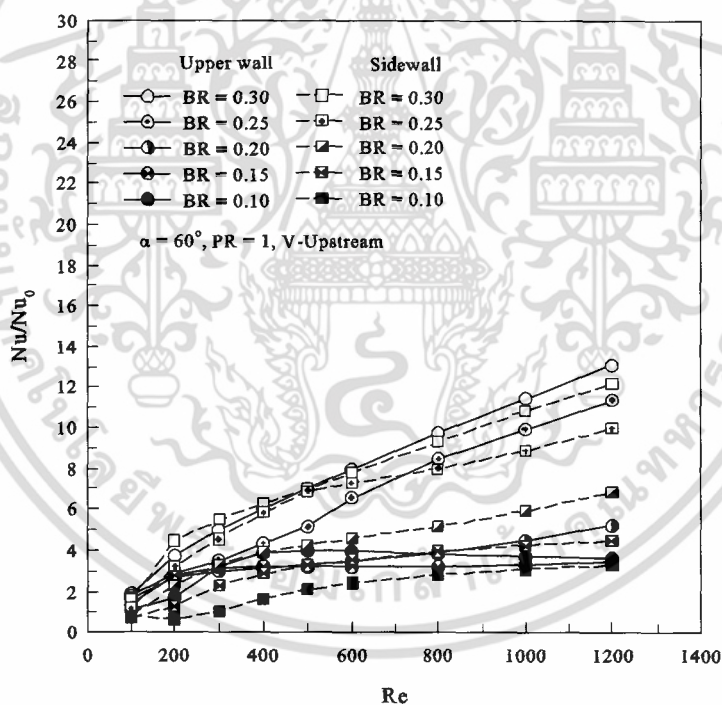
จากรูป 8.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ผิวท่อด้านข้างที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีจะให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าผนังด้านข้างส่วนกรณี V-Upstream ผิวท่อในแต่ละด้านจะให้ค่า Nu/Nu_0 ใกล้เคียงกัน สำหรับทุก ๆ ค่า BR

สำหรับกรณีแผ่นกันตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.44(ก) พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 19.74–107.62%, 56.56–97.68%, 84.67–144.34%, 71.65–166.47% และ 38.16–178.23% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.44(ข) พบว่า พบว่า ค่า Nu/Nu_0 บริเวณผนังแต่ละด้านจะมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับ $BR = 0.10-0.20$ ส่วนที่ BR มากกว่า 0.20 พบว่าผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกันตัววีมีค่ามากกว่าบริเวณผนังด้านข้างที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันตัววี โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.49–51.54% และ 0.03–20.49% ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



(ก)



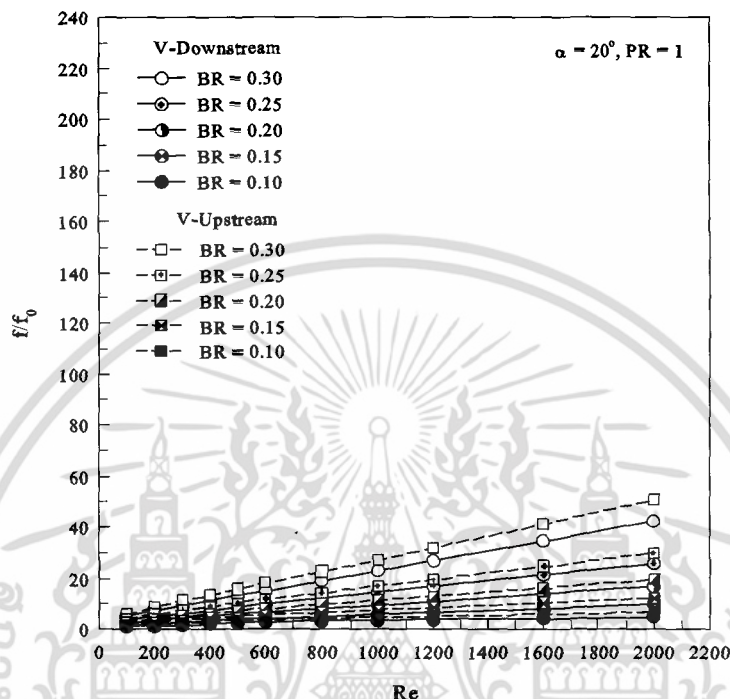
(ข)

รูปที่ 8.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 60^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับผิวท่อแต่ละด้าน (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำกรเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.45 ถึง 8.48



รูปที่ 8.45 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

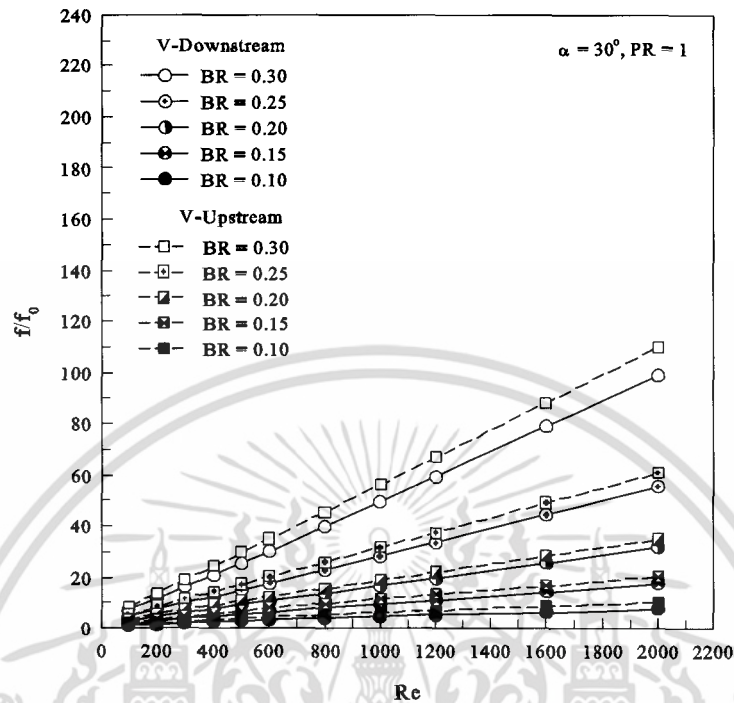
จากรูป 8.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Upstream มีค่า ff_0 มากกว่ากรณี V-Downstream สำหรับทุก ๆ ค่า BR

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.45 พบว่า ค่า ff_0 กรณี V-Upstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 16.25–35.01%, 20.79–30.43%, 15.23–34.05%, 13.60–15.49% และ 10.82–19.26% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

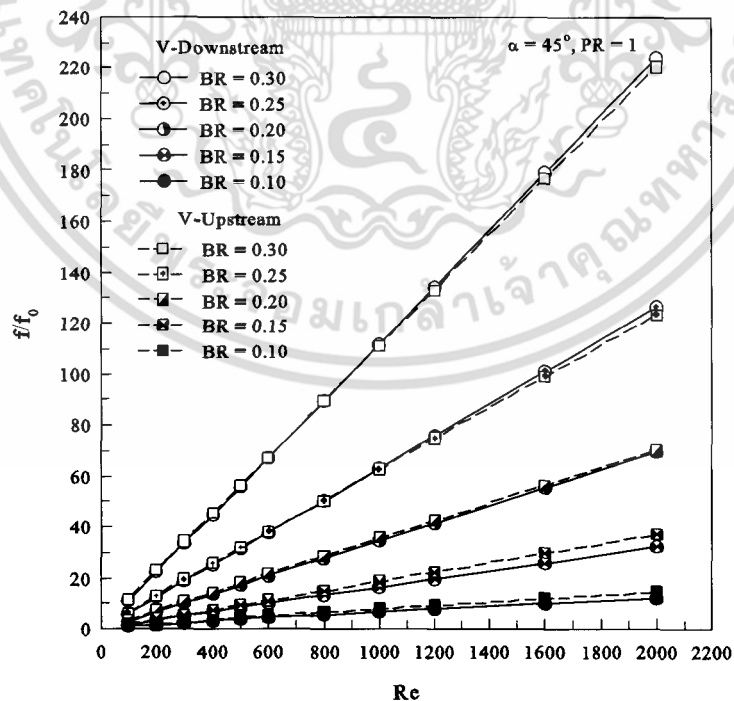
จากรูป 8.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Upstream มีค่า ff_0 มากกว่ากรณี V-Downstream สำหรับทุก ๆ ค่า BR

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.46 พบว่า ค่า ff_0 กรณี V-Upstream มีค่า

มากกว่ากรณี V-Downstream เท่ากับ 22.47–34.08%, 13.77–24.84%, 9.42–19.22%, 9.64–12.63% และ 11.07–14.43% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



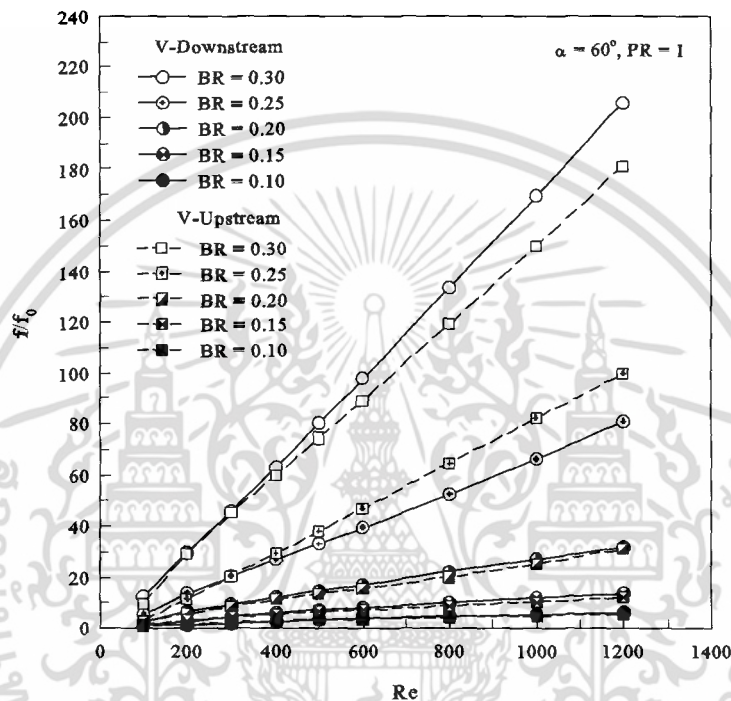
รูปที่ 8.46 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 8.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า f/f_0 ใกล้เคียงกัน โดยที่ $BR = 0.10 - 0.20$ กรณี V-Upstream มีค่า f/f_0 มากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย ส่วนที่ BR มากกว่า 0.20 กรณี V-Downstream มีค่า f/f_0 มากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย โดยมีค่าความแตกต่างของ f/f_0 ระหว่างกรณีทั้งสองอยู่ในช่วง 15%



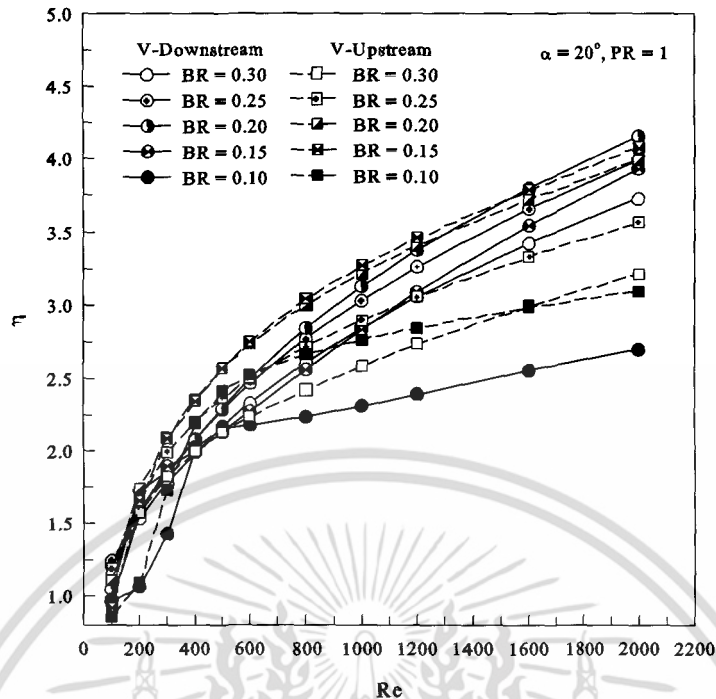
รูปที่ 8.48 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ที่ $BR = 0.10 - 0.20$ ค่า f/f_0 สำหรับกรณี V-Downstream และ V-Upstream จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ค่า $BR = 0.25$ พบว่ากรณี V-Upstream จะมีค่า f/f_0 มากกว่ากรณี V-Downstream โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 2.91-26.81% และที่ $BR = 0.30$ พบว่ากรณี V-Downstream จะมีค่า f/f_0 มากกว่ากรณี V-Upstream โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 1.23-11.95%

8.5.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.49 ถึง 8.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.49 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

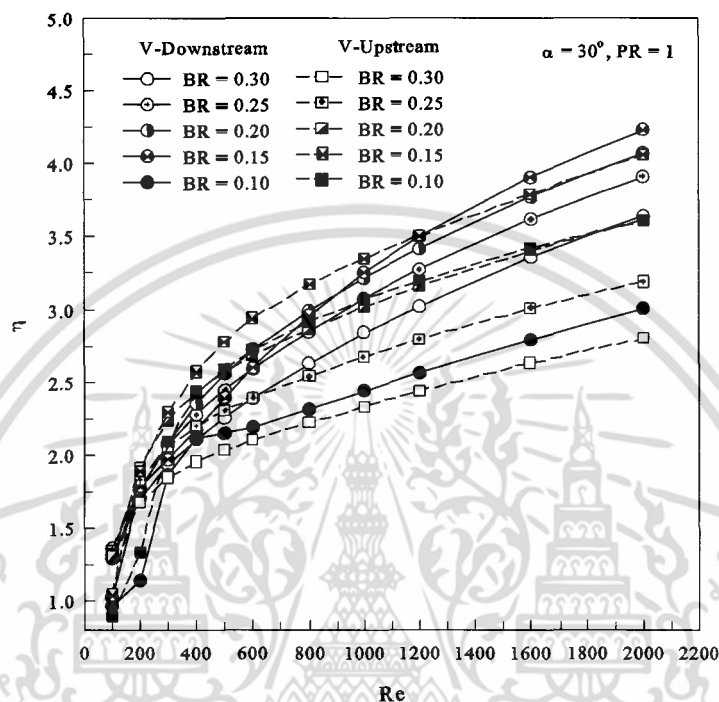
จากรูป 8.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 20^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ที่ $BR = 0.20$ มีค่า η มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.20 ส่วนกรณี V-Upstream จะให้ค่า η มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.08 ที่ $BR = 0.15$ จะเห็นได้ว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า η ที่สูงที่สุดในแต่ละกรณี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

สำหรับกรณี V-Downstream มีค่า η เท่ากับ 2.70, 3.93, 3.99 และ 3.73 ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนกรณี V-Upstream มีค่า η เท่ากับ 3.10, 3.99, 3.56 และ 3.21 ที่ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$ ดังนั้นกรณี V-Downstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.96–4.20 และกรณี V-Upstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.86–4.08 ขึ้นอยู่กับค่า BR และ Re

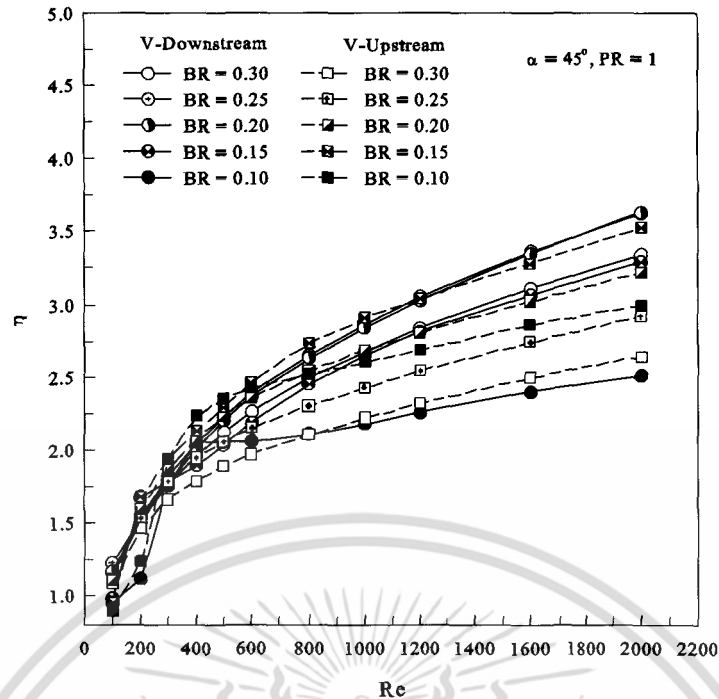
จากรูป 8.50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ที่ $BR = 0.15$ มีค่า η มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.23 ส่วนกรณี V-Upstream จะให้ค่า η มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.06 ที่ $BR = 0.15$ จะเห็นได้ว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า η ที่สูงที่สุดในแต่ละกรณี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณี V-Downstream มีค่า η เท่ากับ 3.01, 4.07, 3.91 และ 3.64 ที่ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนกรณี V-Upstream มีค่า η เท่ากับ 3.61, 3.61, 3.19 และ 2.80 ที่ $BR = 0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$ ดังนั้นกรณี V-Downstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.97–4.23 และกรณี V-Upstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.90–4.06 ขึ้นอยู่กับค่า BR และ Re



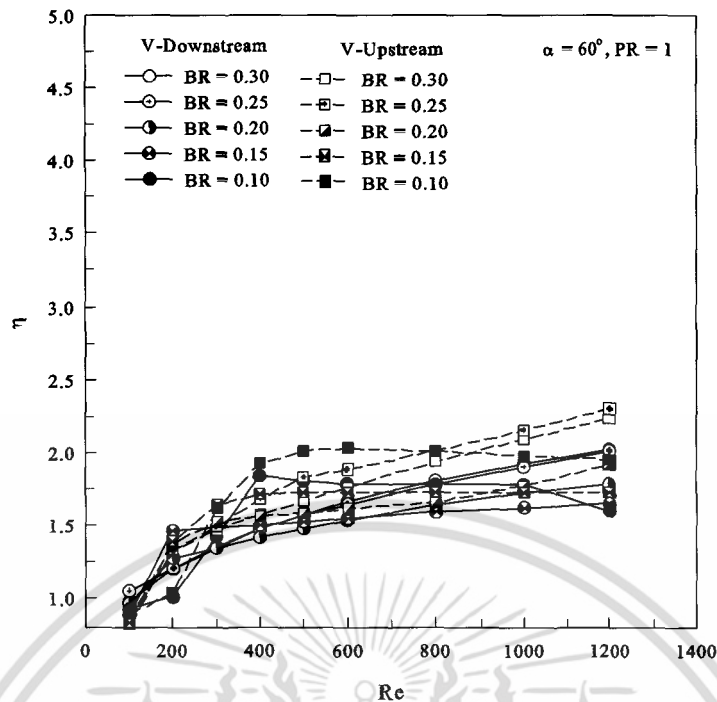
รูปที่ 8.50 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream



รูปที่ 8.51 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 45^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream ที่ $BR = 0.20$ และ 0.25 มีค่า η มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 3.63 ส่วนกรณี V-Upstream จะให้ค่า η มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.53 ที่ $BR = 0.15$ จะเห็นได้ว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า η ที่สูงที่สุดในแต่ละกรณี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

สำหรับกรณี V-Downstream มีค่า η เท่ากับ 2.51, 3.29 และ 3.34 ที่ $BR = 0.10, 0.15$ และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนกรณี V-Upstream มีค่า η เท่ากับ 3.00, 3.22, 2.92 และ 2.64 ที่ $BR=0.10, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$ ดังนั้นกรณี V-Downstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.95–3.63 และกรณี V-Upstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.90–3.53 ขึ้นอยู่กับค่า BR และ Re



รูปที่ 8.52 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

จากรูป 8.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 60^\circ$ ที่ $PR = 1.00$ โดยมีทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Upstream ที่ $BR = 0.25$ มีค่า η มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 2.30 ส่วนกรณี V-Downstream จะให้ค่า η มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.02 ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 จะเห็นได้ว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream มีค่า η ที่สูงที่สุดในแต่ละกรณี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

สำหรับกรณี V-Downstream มีค่า η เท่ากับ 1.60, 1.65 และ 1.79 ที่ $BR = 0.10, 0.15$ และ 0.20 ตามลำดับ ส่วนกรณี V-Upstream มีค่า η เท่ากับ 1.95, 1.73, 1.92 และ 2.24 ที่ $BR=0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$ ดังนั้นกรณี V-Downstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.89–2.02 และกรณี V-Upstream จะมีค่า η อยู่ในช่วง 0.83–2.30 ขึ้นอยู่กับค่า BR และ Re

8.5.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลซึ่งแบ่งออกเป็นแบบ V-Downstream และแบบ V-Upstream พบว่า ที่ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° กรณี V-Downstream มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า V-Upstream ส่วนที่ $\alpha = 60^\circ$ กรณี V-Downstream มีค่า Nu/Nu_0 น้อยกว่า V-Upstream สำหรับค่า f/f_0 พบว่าที่ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° กรณี V-Downstream มีค่าน้อยกว่า V-Upstream ที่ $\alpha = 45^\circ$ ค่า f/f_0 ของทั้งกรณี V-Downstream และแบบ V-Upstream มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ $\alpha = 60^\circ$ ค่า f/f_0 ของกรณี V-Downstream มีค่ามากกว่ากรณี V-Upstream อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากทั้งสองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

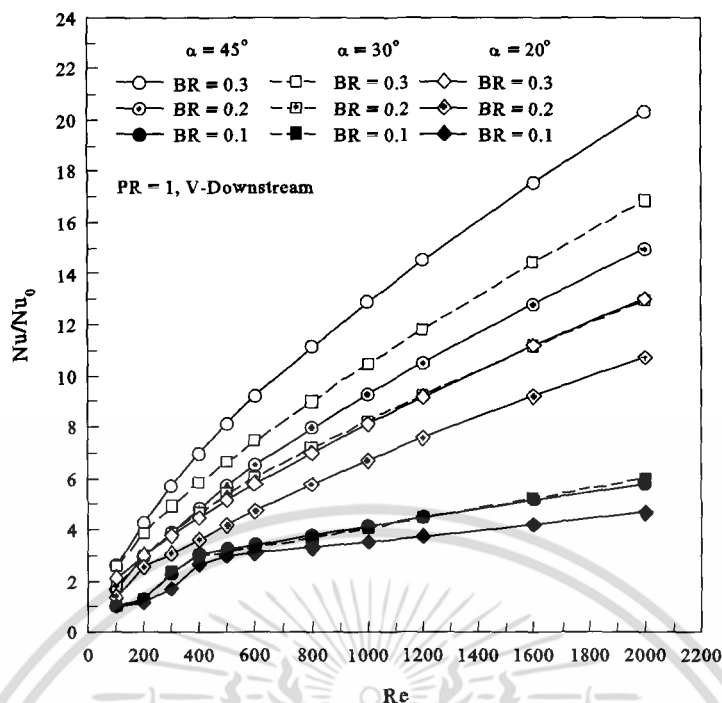
กรณีจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในส่วนของ Nu/Nu_0 , ff_0 และ η แต่อิทธิพลของทิศทางการไหลจะมีผลใน ส่วนของตำแหน่งในการกระแทกของกระแสการไหลบริเวณผนังท่อ โดยกรณี V-Downstream จะ เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังท่อด้านข้างมากกว่าบริเวณผนังท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้ง แผ่นกัน ส่วนกรณี V-Upstream จะเกิดการกระแทกที่บริเวณผนังท่อด้านบนและด้านล่างที่มีการ ติดตั้งแผ่นกันมากกว่าที่ผนังด้านข้าง ซึ่งในส่วนนี้สามารถนำไปออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในส่วนของผนังการให้ความร้อน จะช่วยสามารถช่วยลดพลังงานในระบบได้อีกด้วย

8.6 อิทธิพลของมุมปะทะ

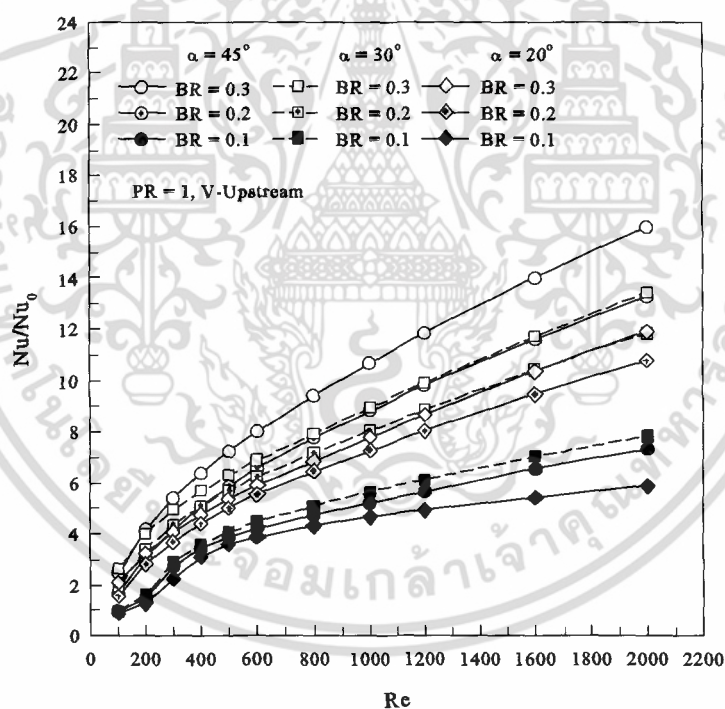
อิทธิพลของมุมปะทะการไหล ได้นำเสนอที่ $\alpha = 20^\circ$, 30° และ 45° แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ Re และความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ BR ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ ระหว่างค่า ff_0 กับ Re และความสัมพัทธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่า สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง η กับ Re และ ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า η กับ BR

8.6.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกันตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.53, ความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.54 และความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ที่ค่า BR ต่าง ๆ ดังรูปที่ 8.55 ถึง 8.59



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.53 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มีมุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มีมุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

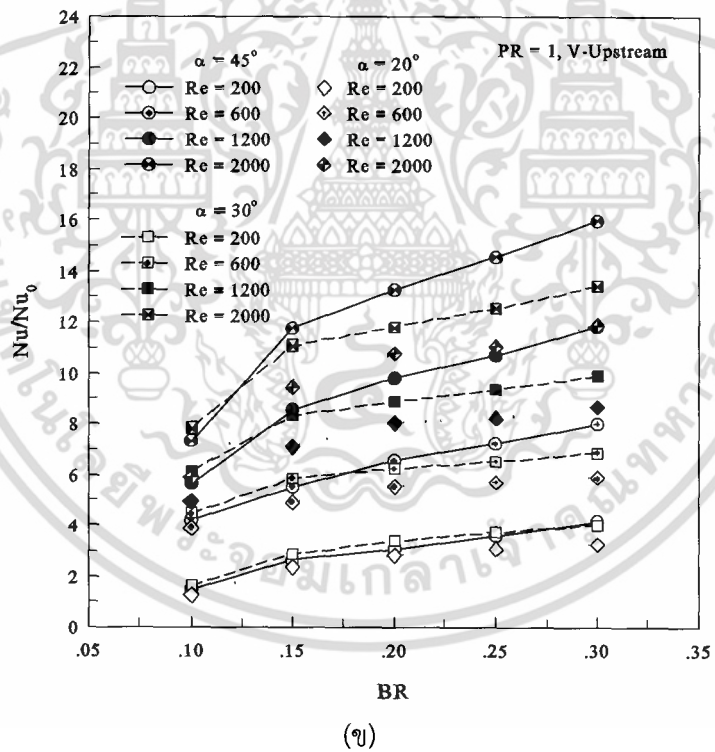
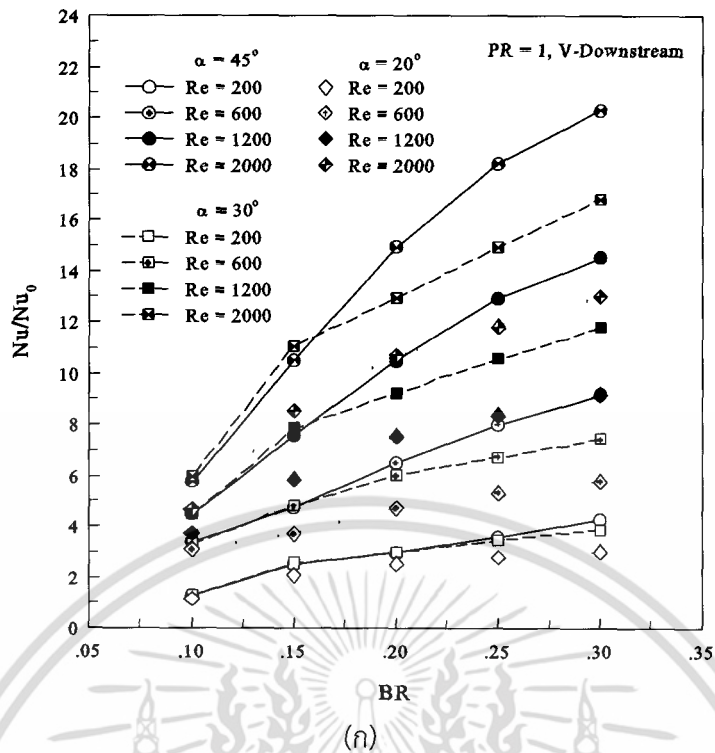
V-Downstream และ V-Upstream ที่ $BR = 0.10$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับค่า $\alpha = 30^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 20° นอกจากนี้ยังพบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 20^\circ$ ส่วนที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 พบว่า ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ $\alpha = 45^\circ$ จะมีค่ามากที่สุด ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $\alpha = 20^\circ$

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับแบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.53(ก) พบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° เท่ากับ 0.72–15.60% และ 16.29–39.68% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.20$ และมีค่าเท่ากับ 1.64–23.94% และ 22.33–59.59% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.30$ ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า 20° มีค่าเท่ากับ 16.71–29.83% และ 20.35–30.02% ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.53(ข) พบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° เท่ากับ 2.79–12.30% และ 8.83–23.32% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.20$ และมีค่าเท่ากับ 3.68–19.51% และ 17.80–36.98% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.30$ ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า 20° มีค่าเท่ากับ 9.82–23.82% และ 12.78–25.66% ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ

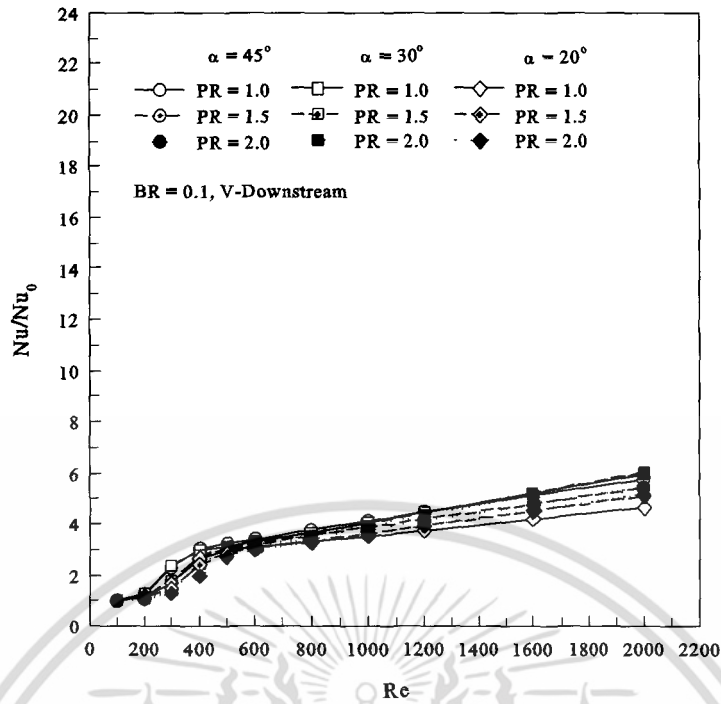
จากรูป 8.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.54(ก) ที่ $\alpha = 45^\circ$ จะมีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 เมื่อ BR เพิ่มขึ้นในอัตราที่มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า $BR = 0.10$ – 0.20 และที่ Re สูง ๆ ส่วนที่ $\alpha = 30^\circ$ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 ในช่วง $BR = 0.10$ – 0.15 จะมีค่ามากที่สุด และที่ค่า BR มากกว่า 0.15 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และที่ $\alpha = 20^\circ$ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 ในช่วง $BR = 0.10$ – 0.20 จะมีค่ามากที่สุด และที่ค่า BR มากกว่า 0.20 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.54(ข) พบว่าที่ $\alpha = 45^\circ$ จะมีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 เมื่อ BR เพิ่มขึ้นในอัตราที่มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า $BR = 0.10$ – 0.15 และที่ Re สูง ๆ ส่วนที่ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 ในช่วง $BR = 0.10$ – 0.15 จะมีค่ามากที่สุด และที่ค่า BR มากกว่า 0.15 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เช่นเดียวกับ $\alpha = 45^\circ$

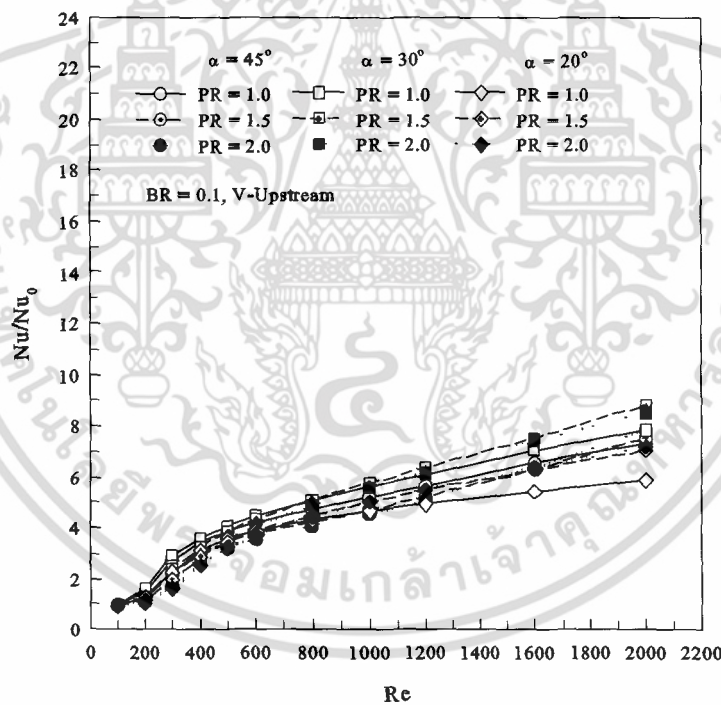


รูปที่ 8.54 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



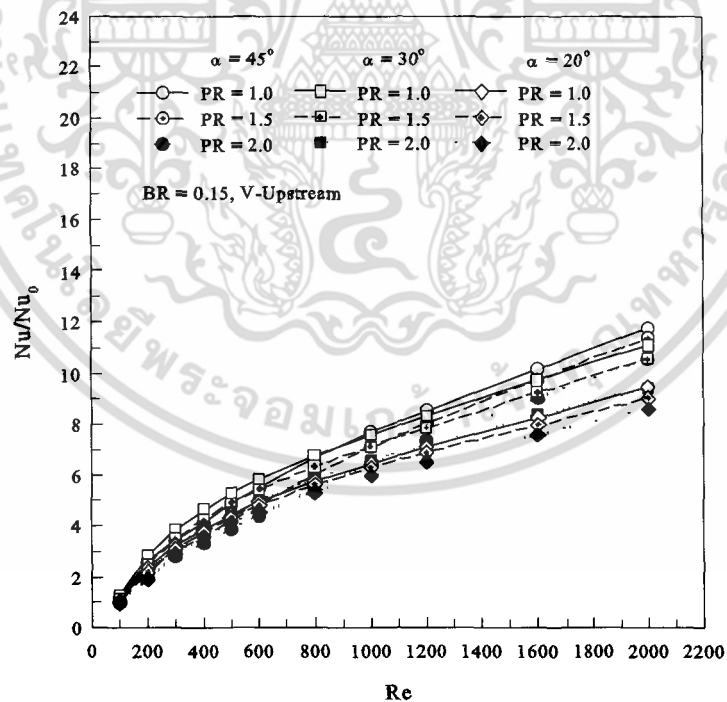
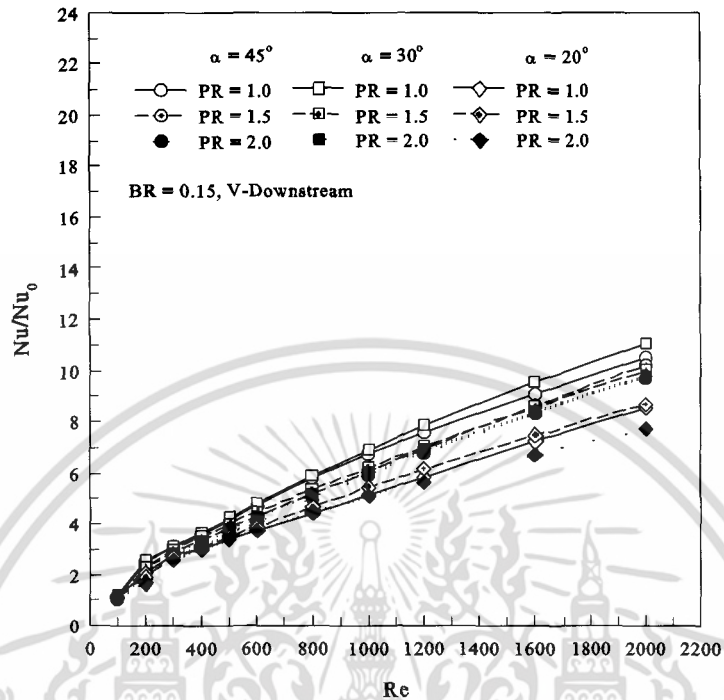
(ข)

รูปที่ 8.55 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี V-Downstream และ V-Upstream ที่ $BR = 0.10$ มุมปะทะและค่า PR ที่แตกต่างกัน ค่า Nu/Nu_0 มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8.56 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

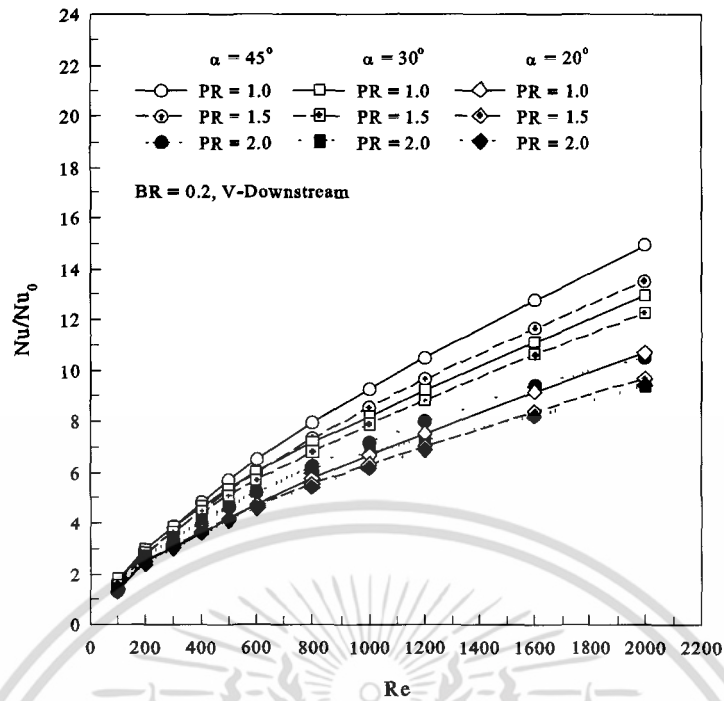
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 8.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.56(ก) ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ $\alpha = 30^\circ$ มีค่ามากที่สุด ส่วน $\alpha = 45^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 20^\circ$ ส่วนที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ $\alpha = 45^\circ$ มีค่ามากที่สุด ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 20^\circ$

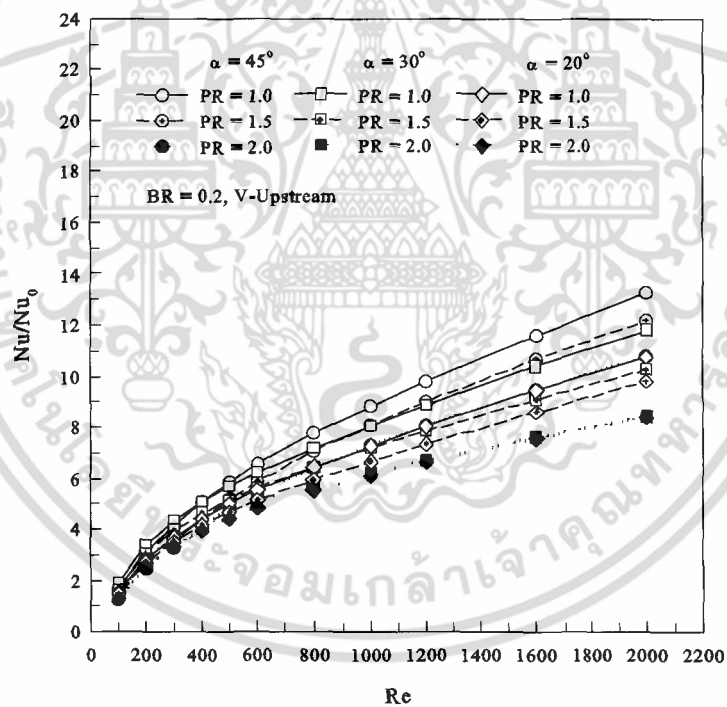
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.56(ข) พบว่า ที่ทุก ๆ PR ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ $\alpha = 30^\circ$ มีค่ามากที่สุด ส่วน $\alpha = 45^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 20^\circ$

จากรูป 8.57, 8.58 และ 8.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ที่มีการจัดวางแบบ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 20^\circ$ ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ในทุก ๆ ค่า PR





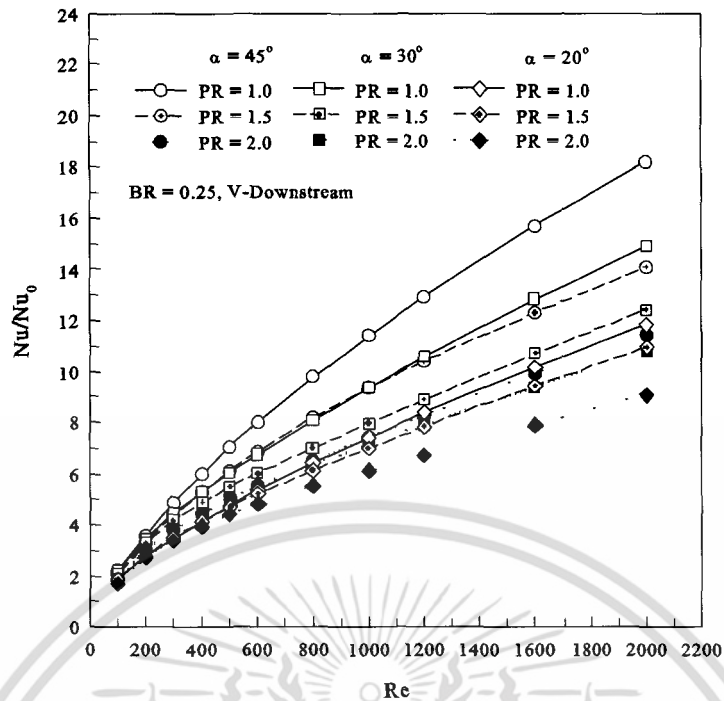
(ก)



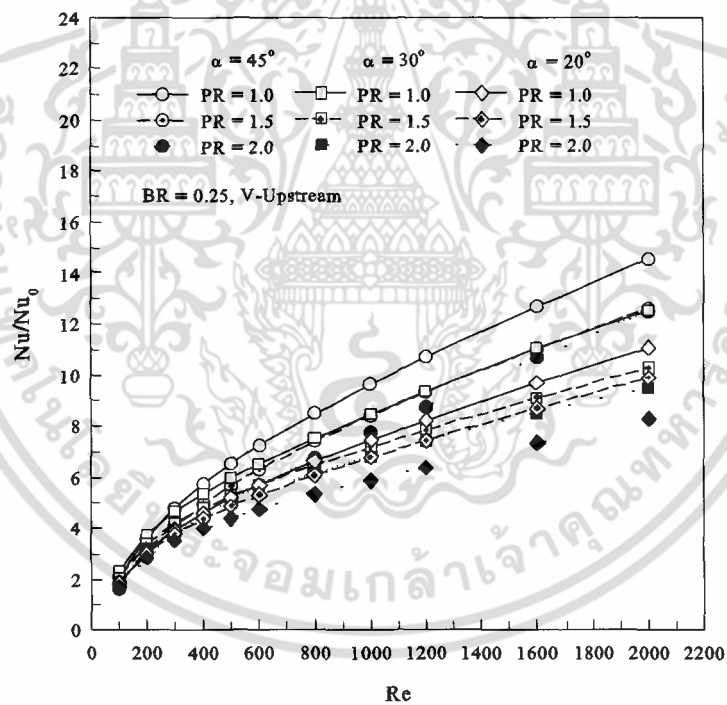
(ข)

รูปที่ 8.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



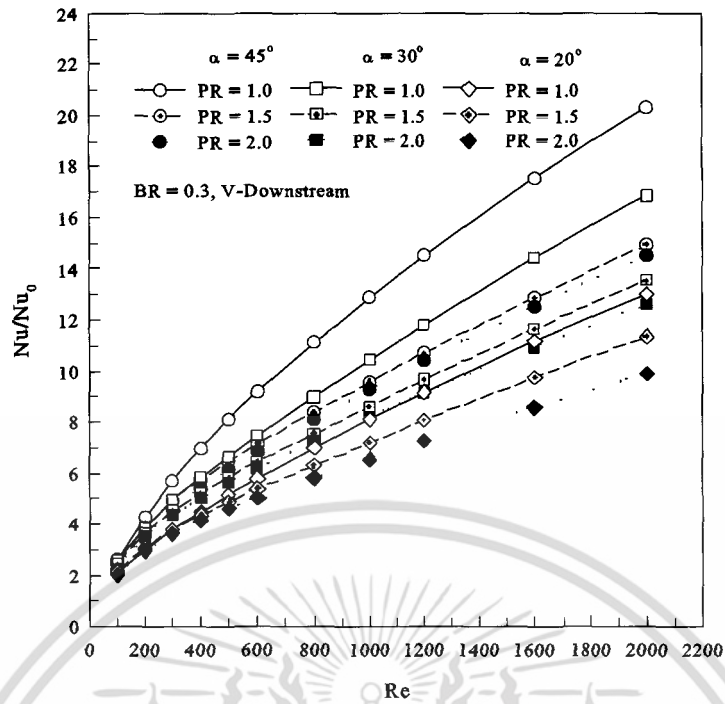
(ก)



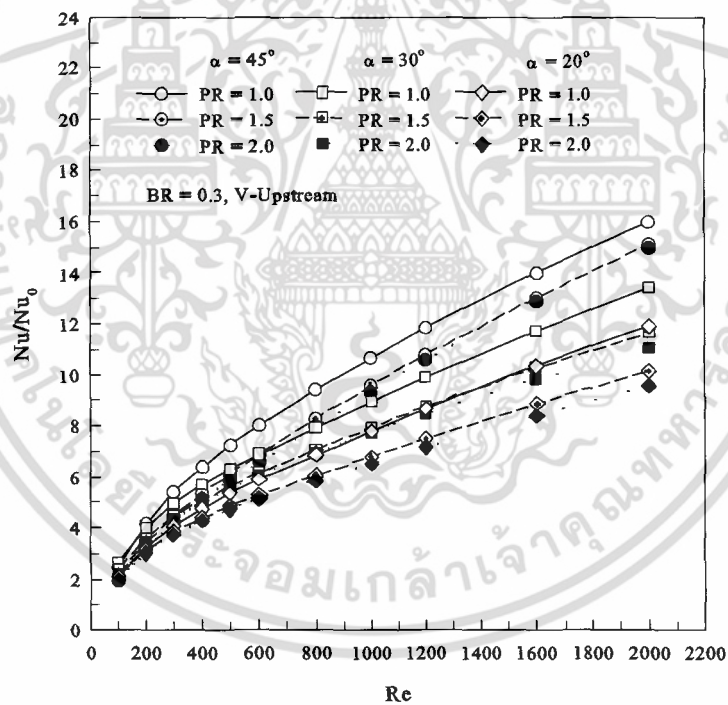
(ข)

รูปที่ 8.58 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.59 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

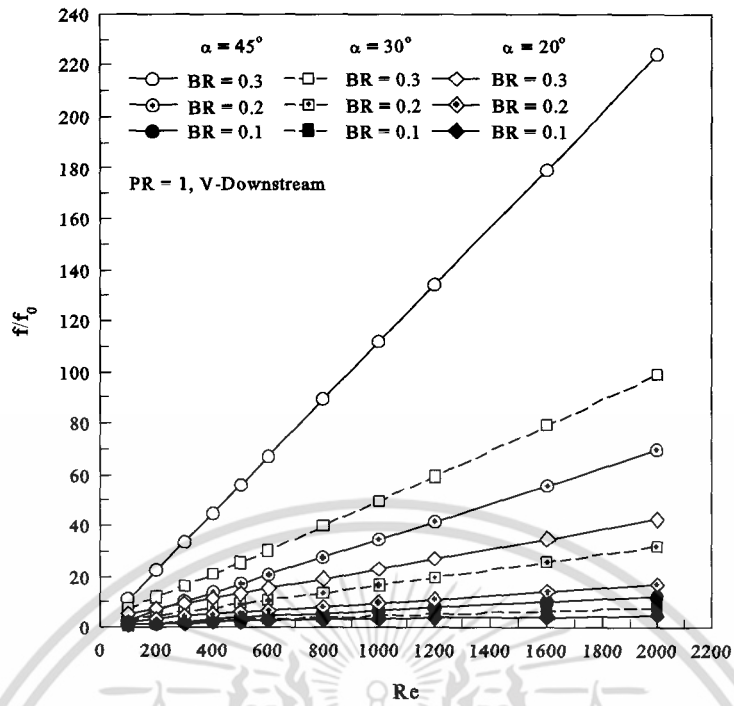
8.6.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง f ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า f_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.60, ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.61 และความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re ที่ค่า BR ต่าง ๆ ดังรูปที่ 8.62 ถึง 8.66

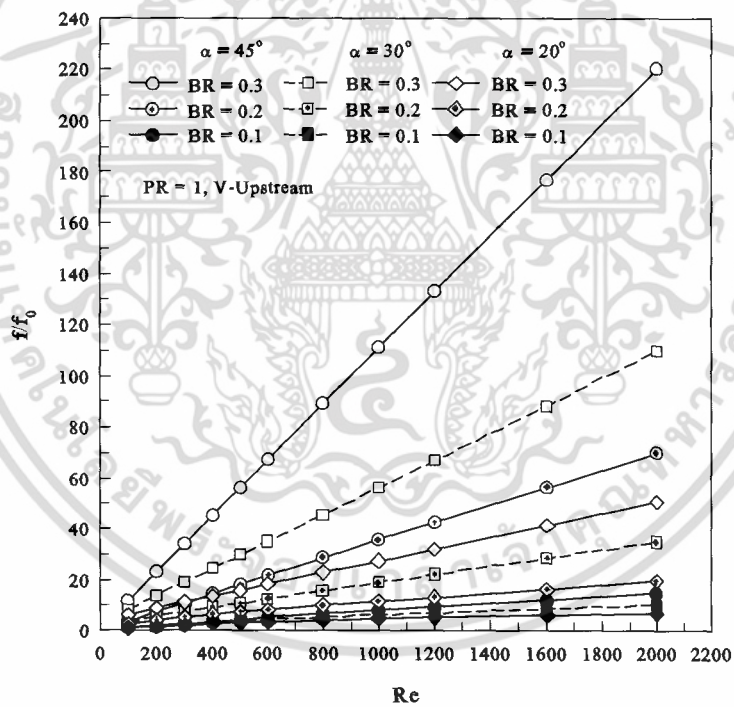
จากรูป 8.60 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ที่ $\alpha = 45^\circ$ มีค่ามากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° สำหรับทุก ๆ ค่า BR

สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับแบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.60(ก) พบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° เท่ากับ 3.16–56.35% และ 2.71–138.10% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.10$ มีค่าเท่ากับ 13.07–117.98% และ 31.71–309.75% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.20$ มีค่าเท่ากับ 52.74–126.44% และ 106.39–426.42% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.30$ และ ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า และ 20° มีค่าเท่ากับ 4.97–52.29%, 16.49–87.98% และ 35.13–132.54% ที่ $BR = 0.10, 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.60(ข) พบว่า $\alpha = 45^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° เท่ากับ 2.64–43.69% และ 2.33–114.62% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.10$ มีค่าเท่ากับ 9.35–100.37% และ 29.08–257.63% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.20$ มีค่าเท่ากับ 43.42–100.49% และ 94.30–334.21% ตามลำดับ ที่ $BR = 0.30$ และ ส่วน $\alpha = 30^\circ$ มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่า และ 20° มีค่าเท่ากับ 15.24–49.36%, 18.04–78.49% และ 35.48–116.57% ที่ $BR = 0.10, 0.20$ และ 0.30 ตามลำดับ



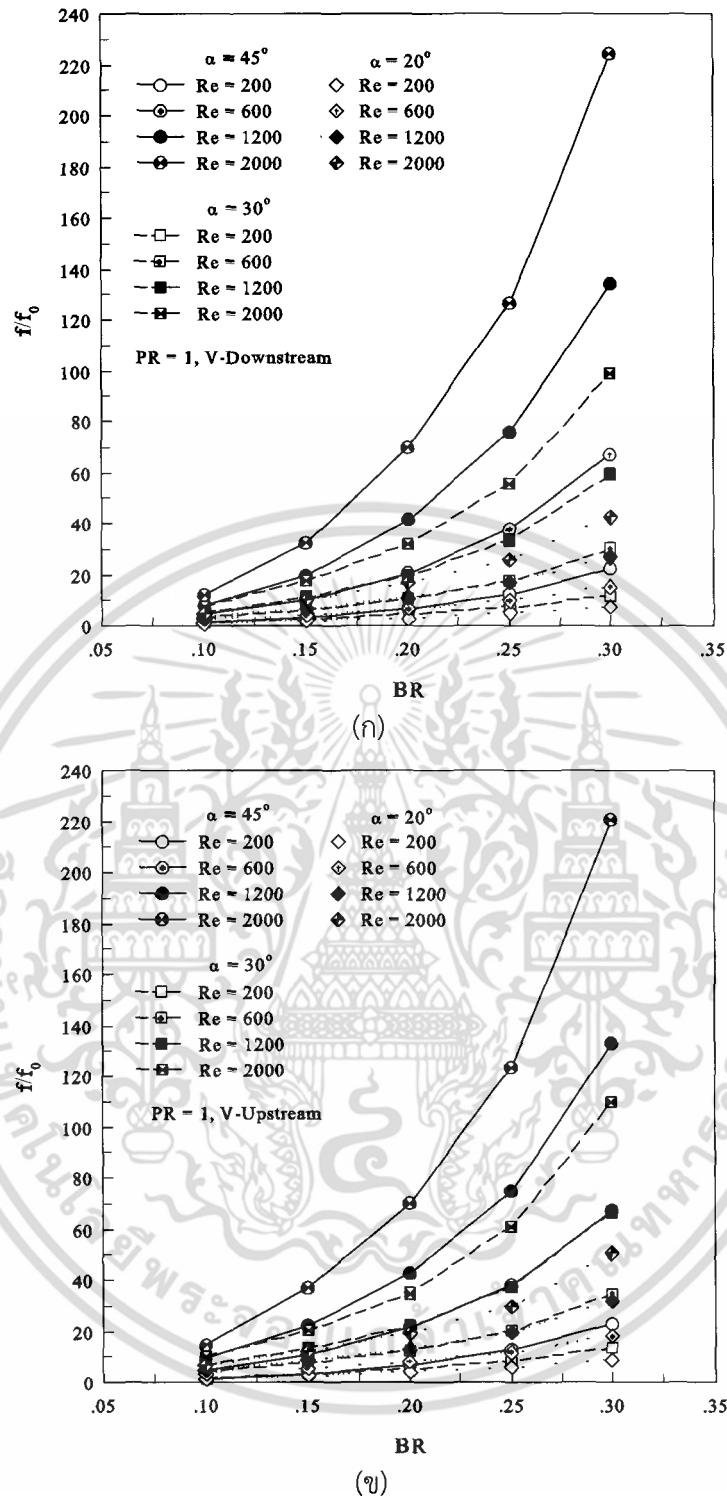
(ก)



(ข)

รูปที่ 8.60 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



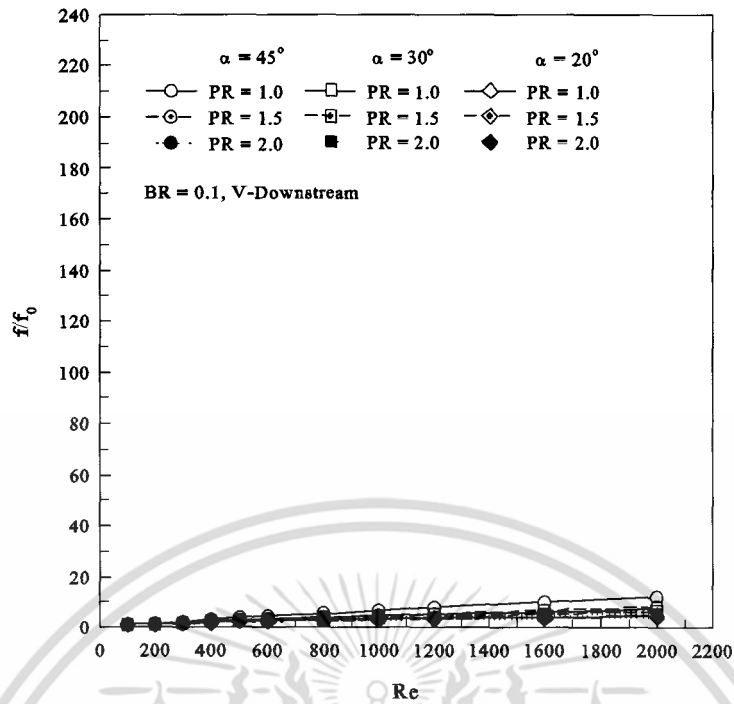
รูปที่ 8.61 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มีมุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

จากรูป 8.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มีมุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.61(ก) ที่ $\alpha = 45^\circ$ จะมีอัตราการเพิ่มของค่า f/f_0 เมื่อ BR เพิ่มขึ้นในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

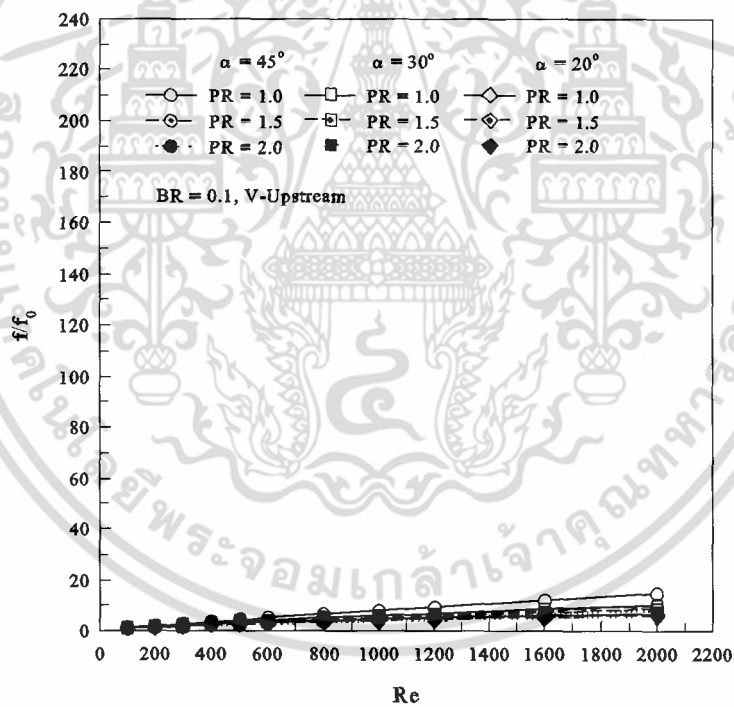
อัตราที่มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า BR มากกว่า 0.25 และที่ Re สูง ๆ ส่วนที่ $\alpha = 30^\circ$ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 ในช่วง $BR = 0.25-0.30$ จะมีค่ามากที่สุด และที่ค่า BR น้อยกว่า 0.15 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 จะมีค่าน้อยที่สุด และที่ $\alpha = 20^\circ$ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมปะทะอื่น ๆ ส่วนอัตราการเพิ่มของค่า ff_0 เมื่อค่า BR เพิ่มขึ้นสำหรับมุมปะทะนี้มีค่ามากที่สุดในช่วง BR มากกว่า 0.25 แต่อย่างไรก็ตาม $\alpha = 20^\circ$ ก็ยังมีค่าน้อยกว่ามุมปะทะอื่น ๆ ถึงแม้ว่าจะอยู่ในช่วงอัตราการเพิ่มของค่า ff_0 ที่มากที่สุดก็ตาม

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.61(ข) พบว่าที่ $\alpha = 30^\circ$ และ 45° จะมีอัตราการเพิ่มของค่า ff_0 เมื่อ BR เพิ่มขึ้นในอัตราที่มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า $BR = 0.25-0.30$ และที่ Re สูง ๆ ส่วนที่ $\alpha = 20^\circ$ พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 ในช่วง BR มากกว่า 0.25 จะมีค่ามากที่สุด เช่นเดียวกับมุมปะทะอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม $\alpha = 20^\circ$ ก็ยังมีค่าน้อยกว่ามุมปะทะอื่น ๆ ถึงแม้ว่าจะอยู่ในช่วงอัตราการเพิ่มของค่า ff_0 ที่มากที่สุดก็ตาม

จากรูป 8.62, 8.63, 8.64, 8.65 และ 8.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ที่มีการจัดวางแบบ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า ที่ค่า PR ต่าง ๆ ที่ $\alpha = 45^\circ$ มีค่า ff_0 มากกว่า $\alpha = 20^\circ$ และ 30° โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ BR มากกว่า 0.20 จะเห็นได้ชัดเจนว่า $\alpha = 45^\circ$ มีอัตราการเพิ่มของค่า ff_0 มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า $\alpha = 30^\circ$ มีค่า ff_0 มากกว่า $\alpha = 20^\circ$



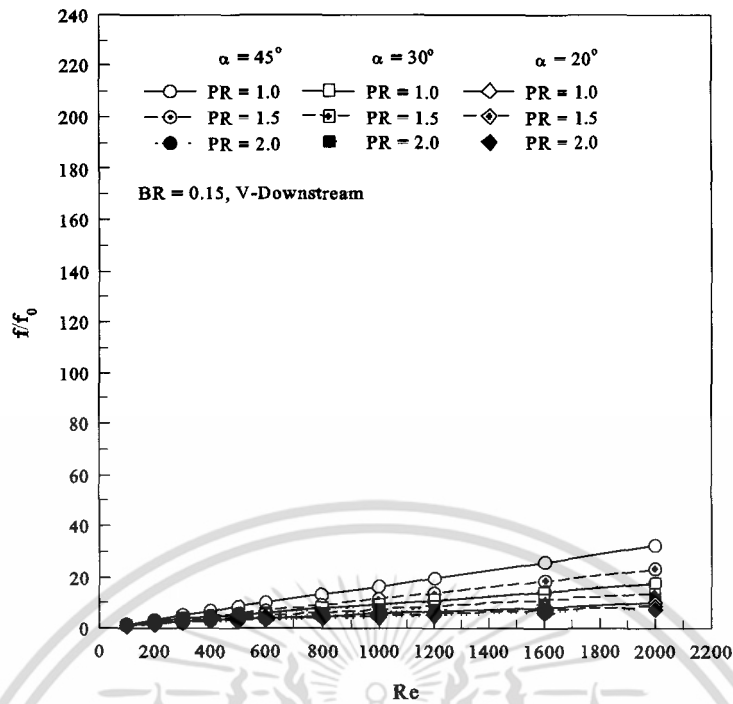
(ก)



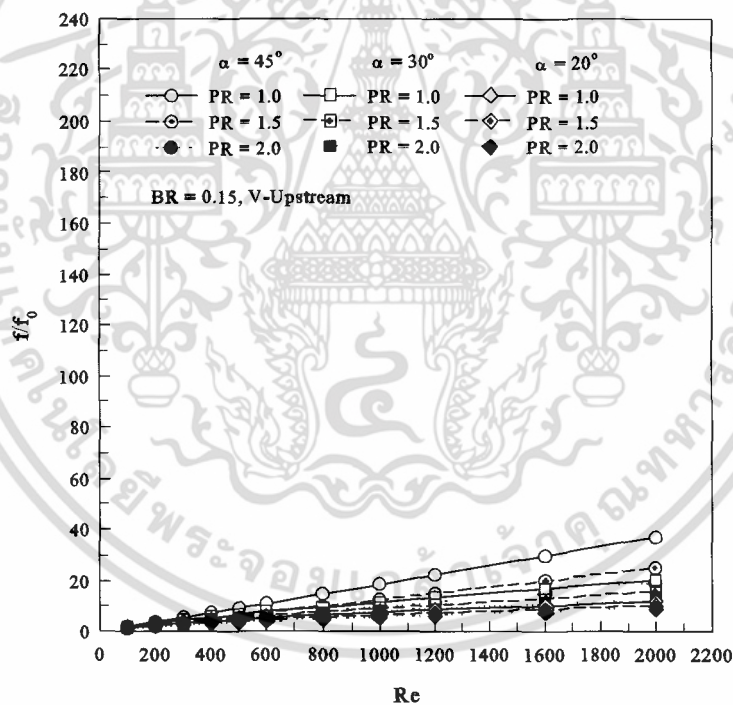
(ข)

รูปที่ 8.62 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



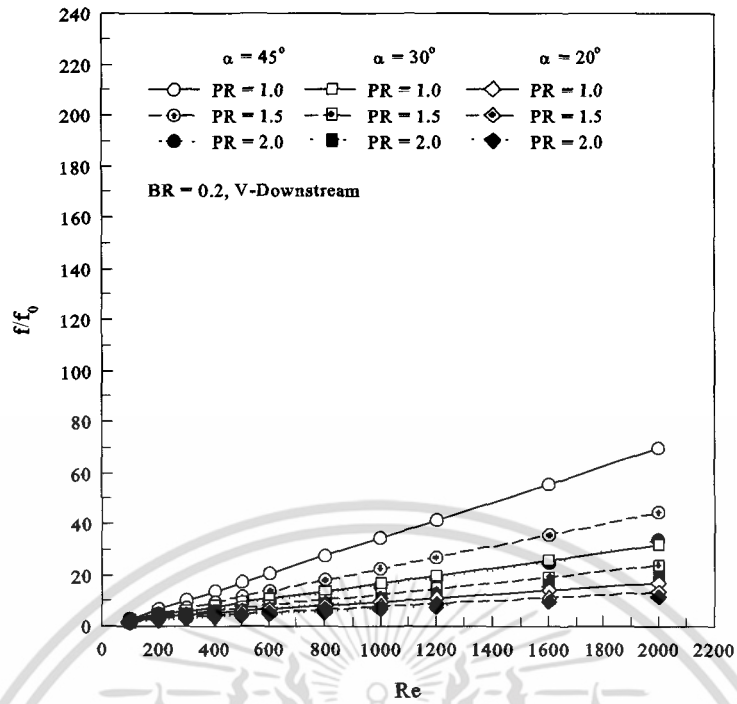
(ก)



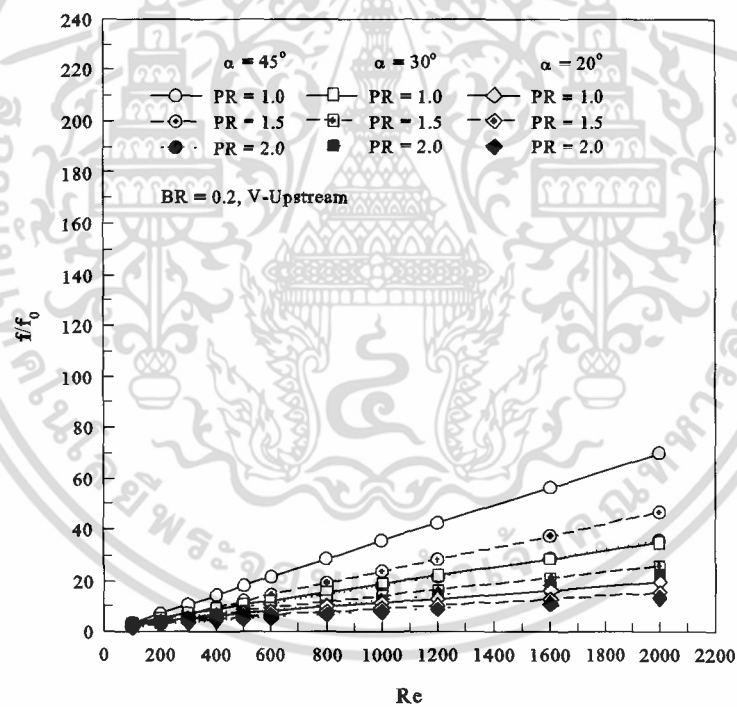
(ข)

รูปที่ 8.63 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



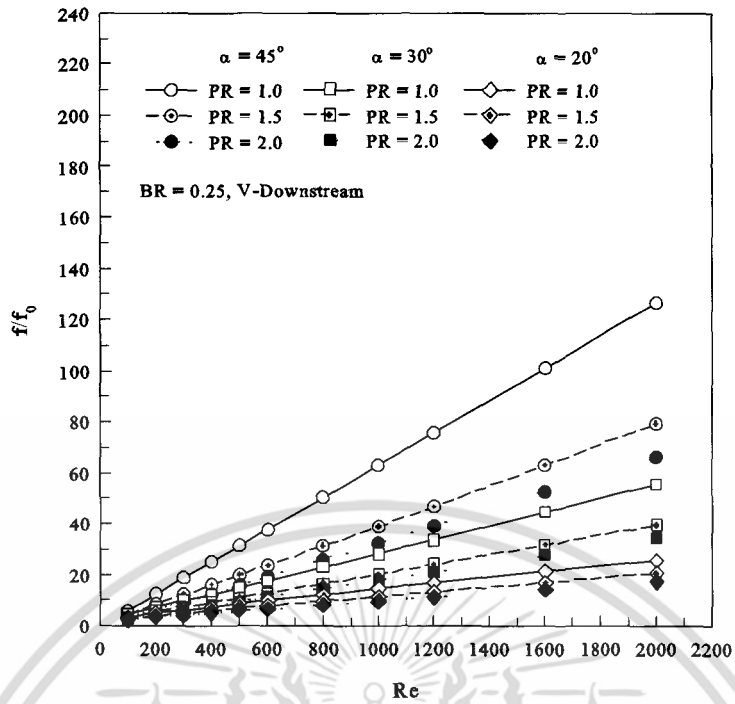
(ก)



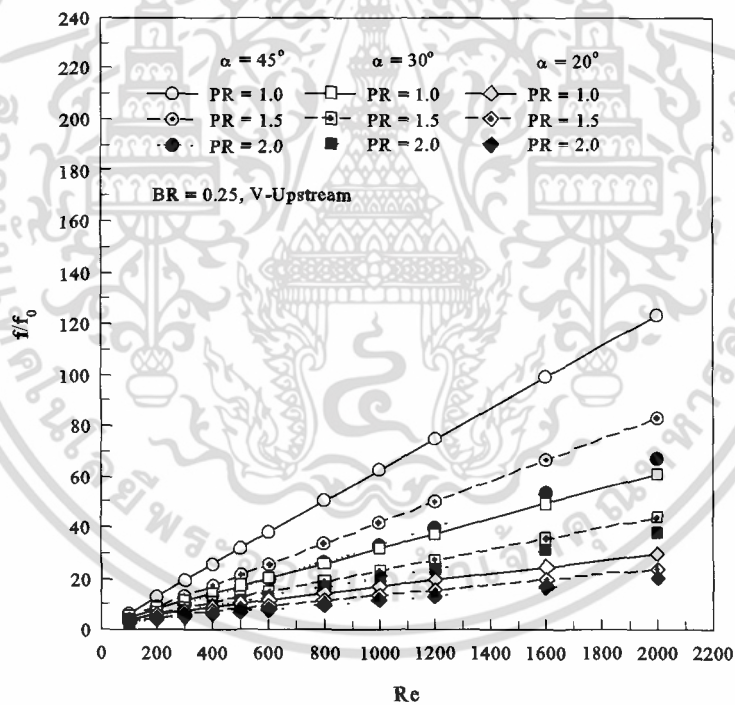
(ข)

รูปที่ 8.64 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



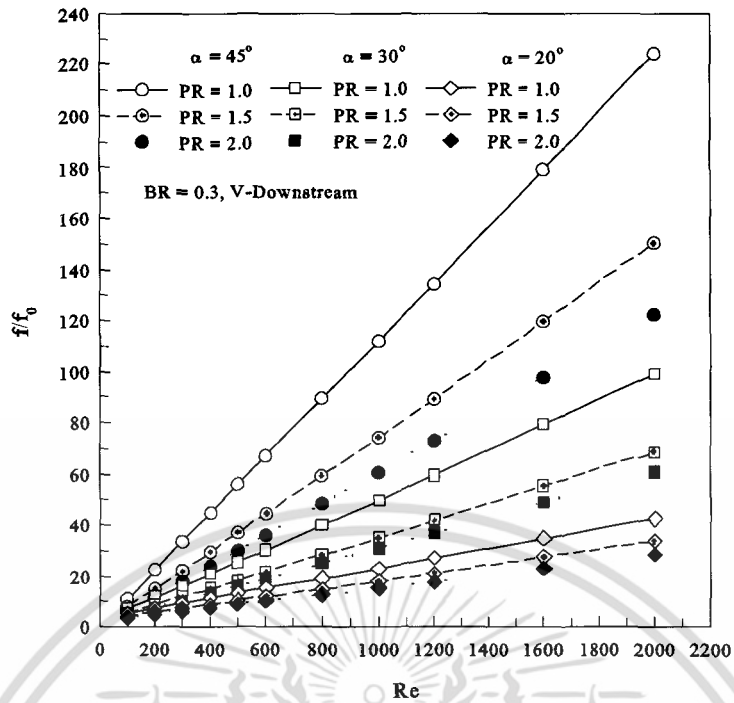
(ก)



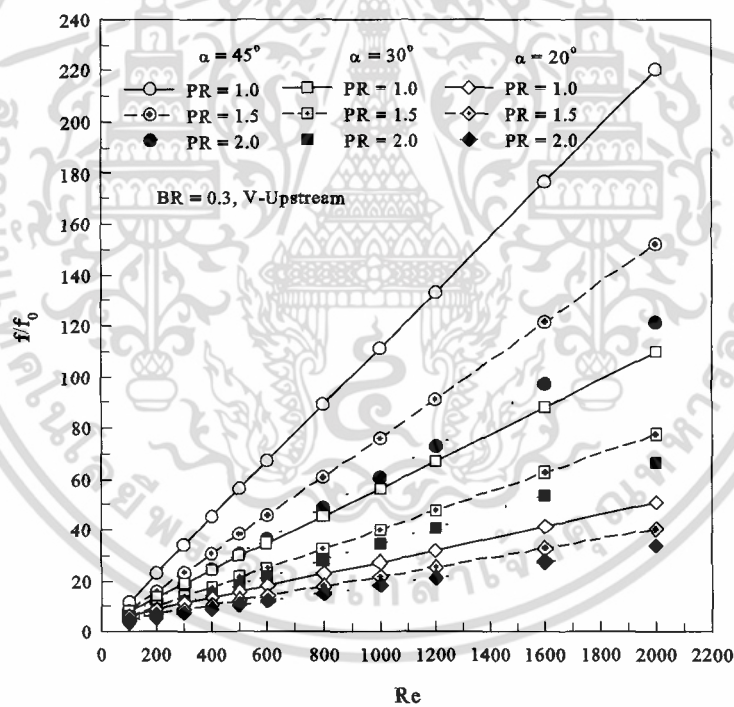
(ข)

รูปที่ 8.65 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



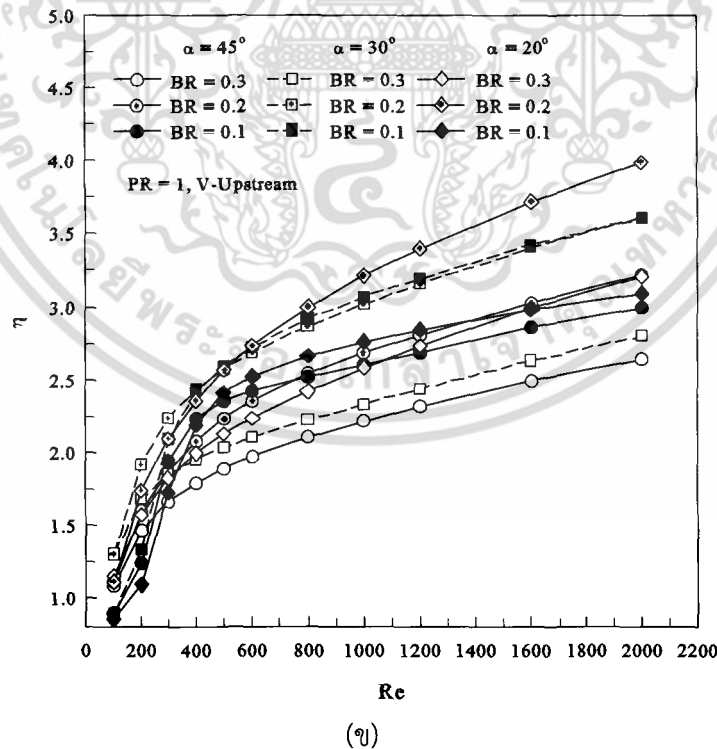
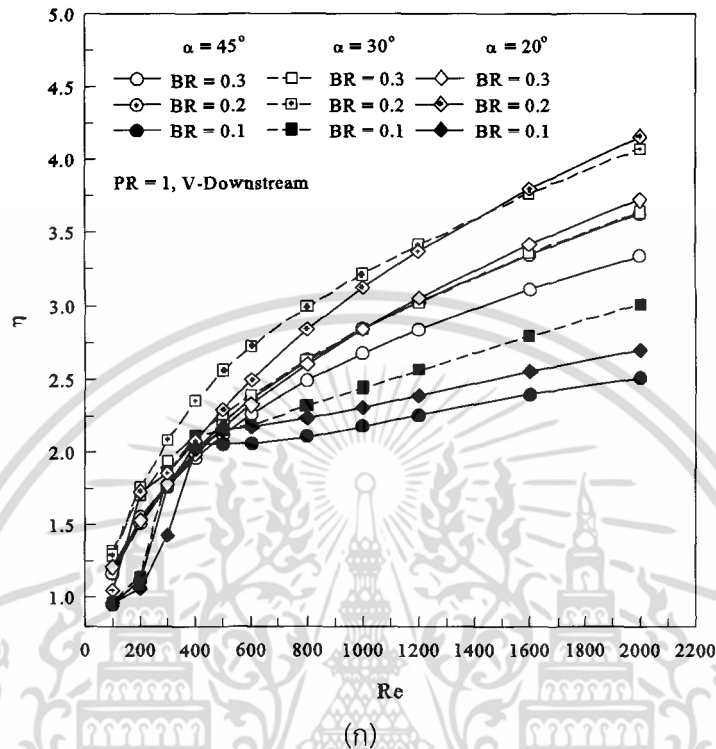
(ข)

รูปที่ 8.66 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของ η ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.67, ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR ดังรูปที่ 8.68 และความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ที่ค่า BR ต่าง ๆ ดังรูปที่ 8.69 ถึง 8.73



รูปที่ 8.67 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

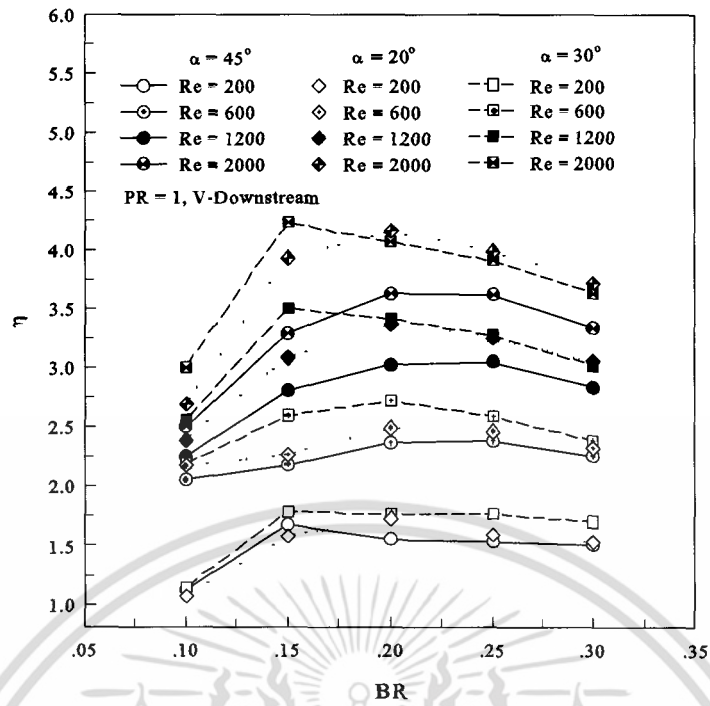
จากรูป 8.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีแบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.67(ก) พบว่า $\alpha = 20^\circ$ มีค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.16 ที่ $BR = 0.20$ และพบว่า $\alpha = 30^\circ$ มีค่า η มากกว่า $\alpha = 45^\circ$ โดยมีค่าเท่ากับ 4.23 และ 3.63 สำหรับ $\alpha = 30^\circ$ และ 45° ที่ $BR = 0.20$ ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.67(ข) พบว่า $\alpha = 25^\circ$ มีค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.99 ที่ $BR = 0.20$ และพบว่า $\alpha = 30^\circ$ มีค่า η มากกว่า $\alpha = 45^\circ$ โดยมีค่าเท่ากับ 3.61 และ 3.22 สำหรับ $\alpha = 30^\circ$ และ 45° ที่ $BR = 0.20$ ตามลำดับ

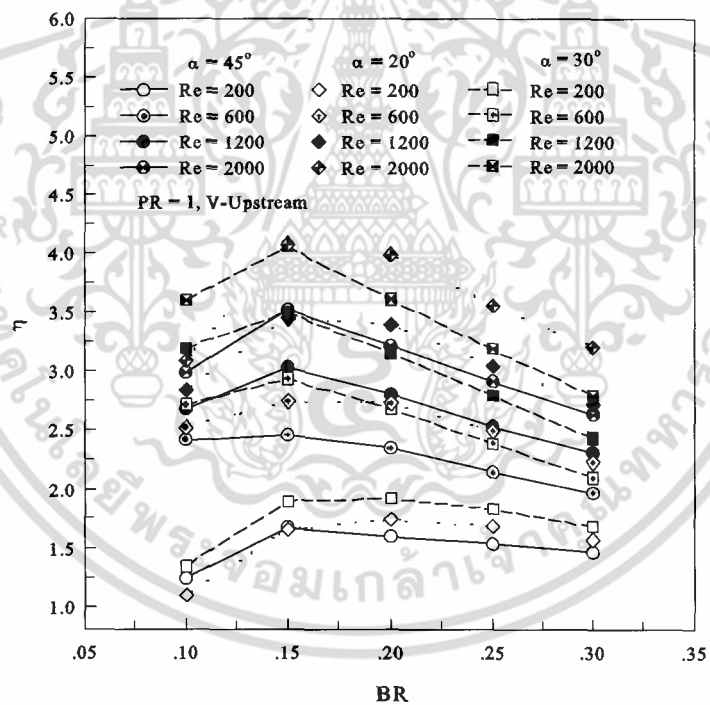
จากรูป 8.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีแบบ V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.68(ก) พบว่า η ที่มากที่สุดสำหรับ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° ได้จากค่า $BR = 0.20$ และ 0.15 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 4.16 และ 4.23 ตามลำดับ ส่วน $\alpha = 45^\circ$ พบว่าค่า η ที่ $BR = 0.20$ และ 0.25 มีค่าเท่ากันและมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.63

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.68(ข) พบว่า พบว่า η ที่มากที่สุดสำหรับ $\alpha = 20^\circ$, 30° และ 45° ได้จากค่า $BR = 0.15$ โดยมีค่าเท่ากับ 4.08, 4.06 และ 3.53 ตามลำดับ

จากรูป 8.69, 8.70, 8.71, 8.72 และ 8.73 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ที่มีการจัดวางแบบ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า ที่ค่า PR และ BR ต่าง ๆ ที่ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° มีค่า η ใกล้เคียงกัน ส่วนที่ $\alpha = 45^\circ$ มีค่า η น้อยที่สุด



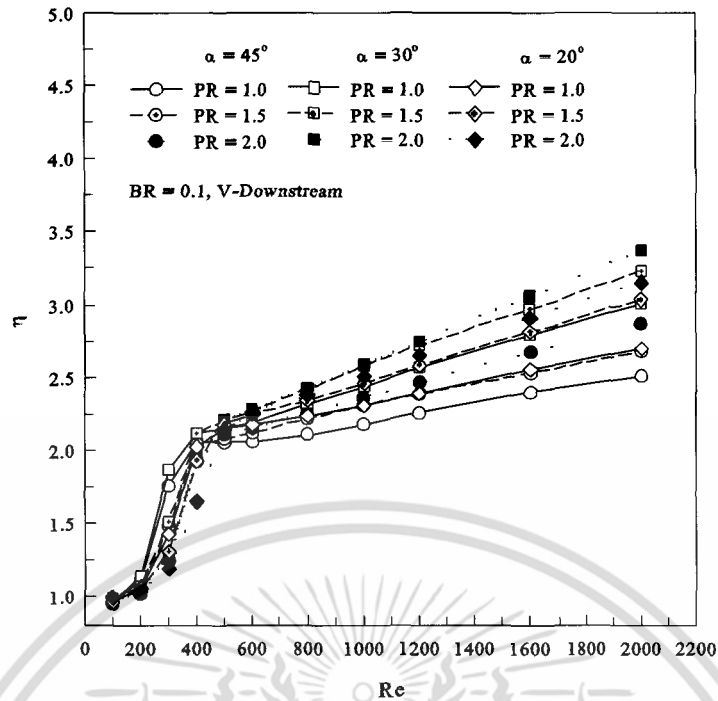
(ก)



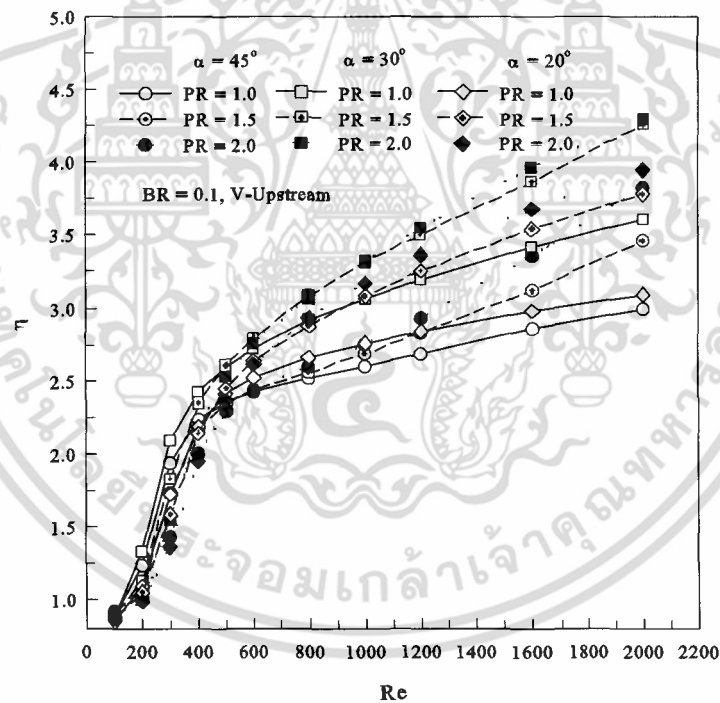
(ข)

รูปที่ 8.68 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะต่าง ๆ ที่ $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



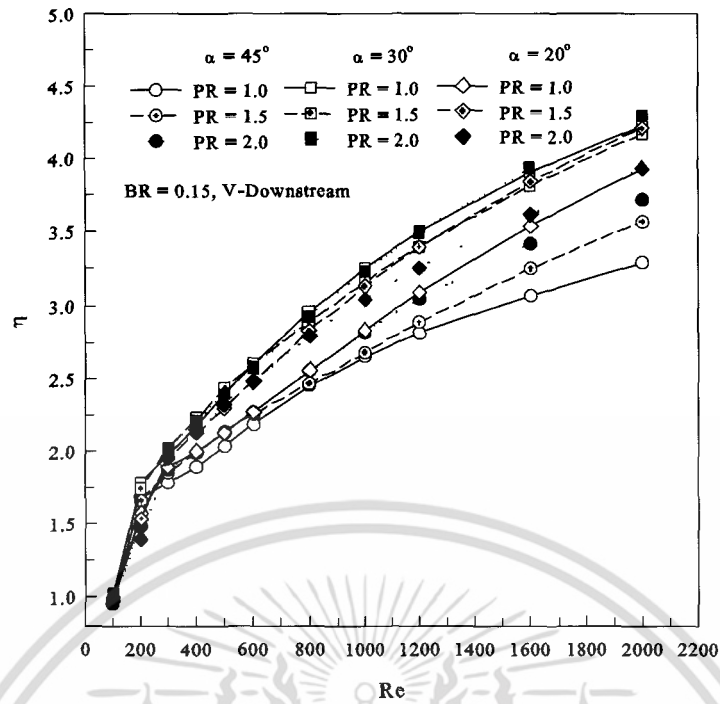
(ก)



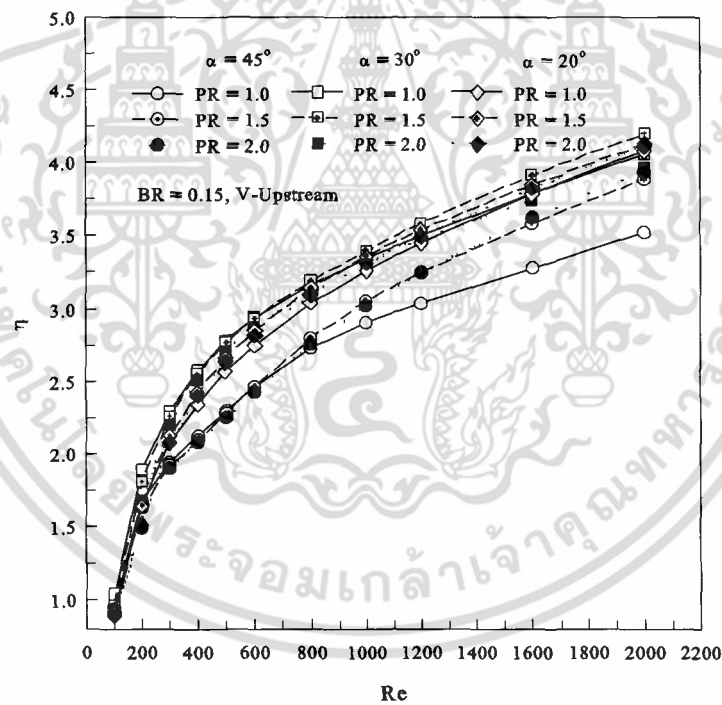
(ข)

รูปที่ 8.69 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.10 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



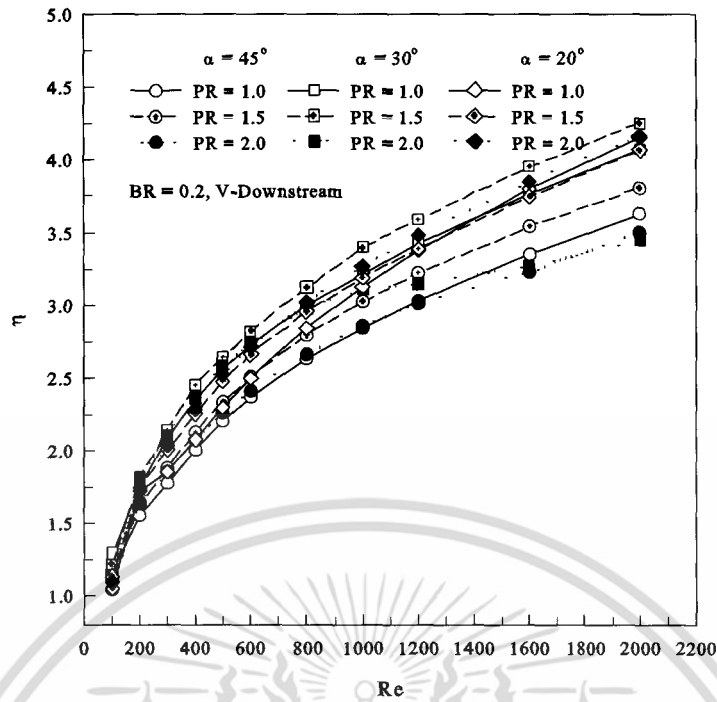
(ก)



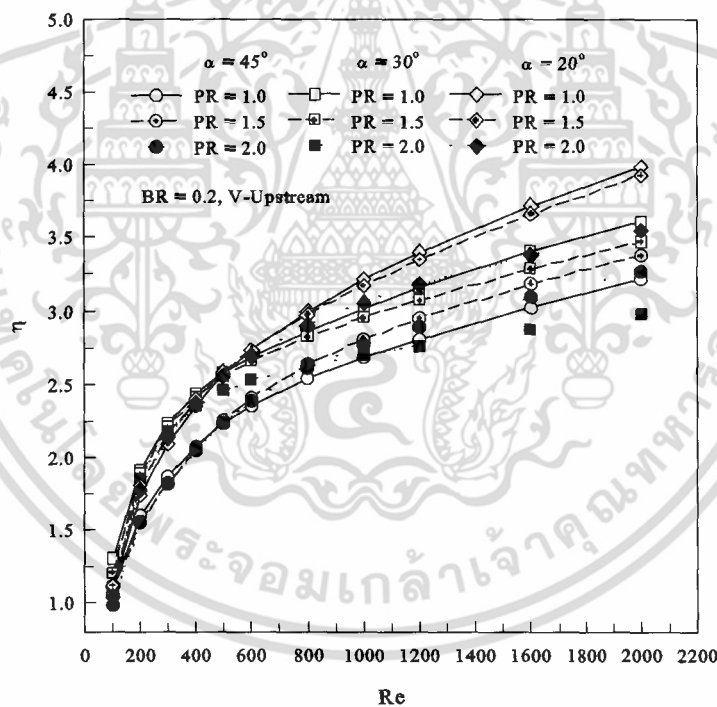
(ข)

รูปที่ 8.70 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.15 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



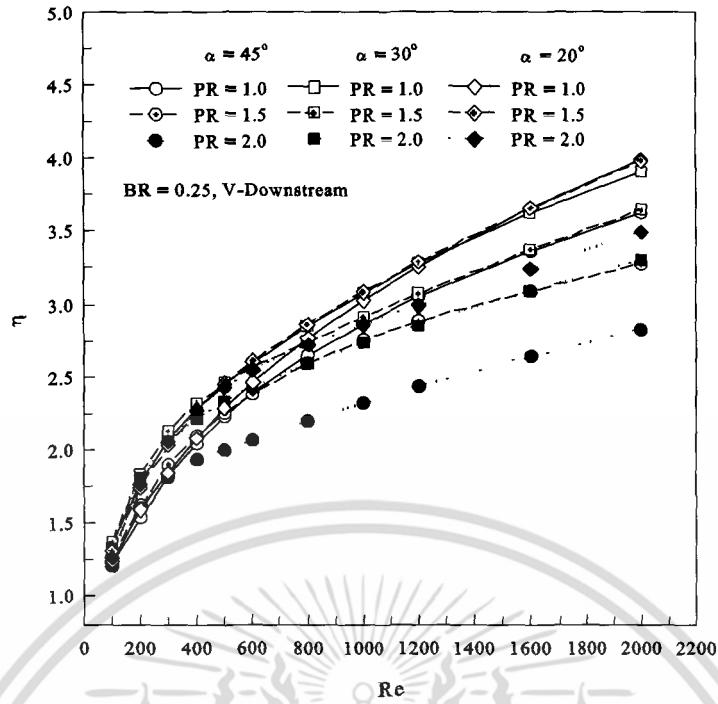
(ก)



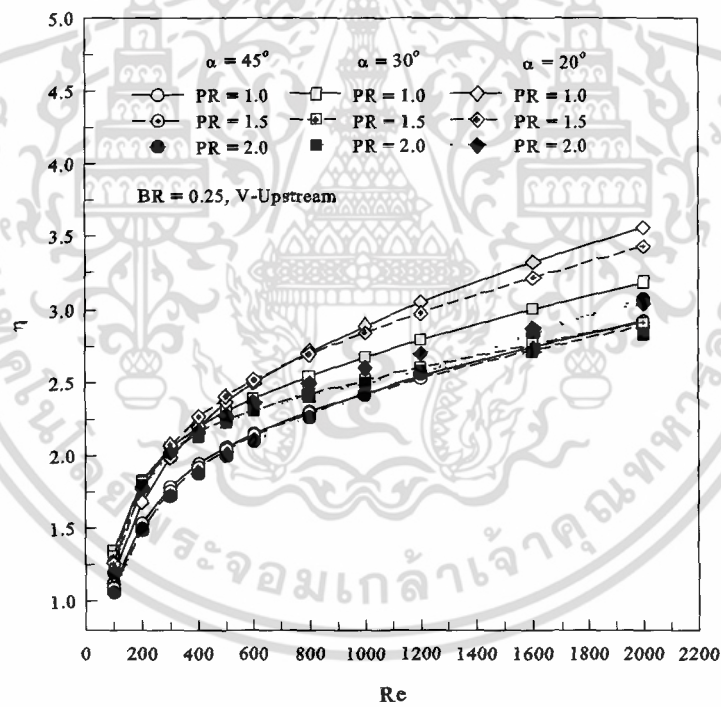
(ข)

รูปที่ 8.71 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.20 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



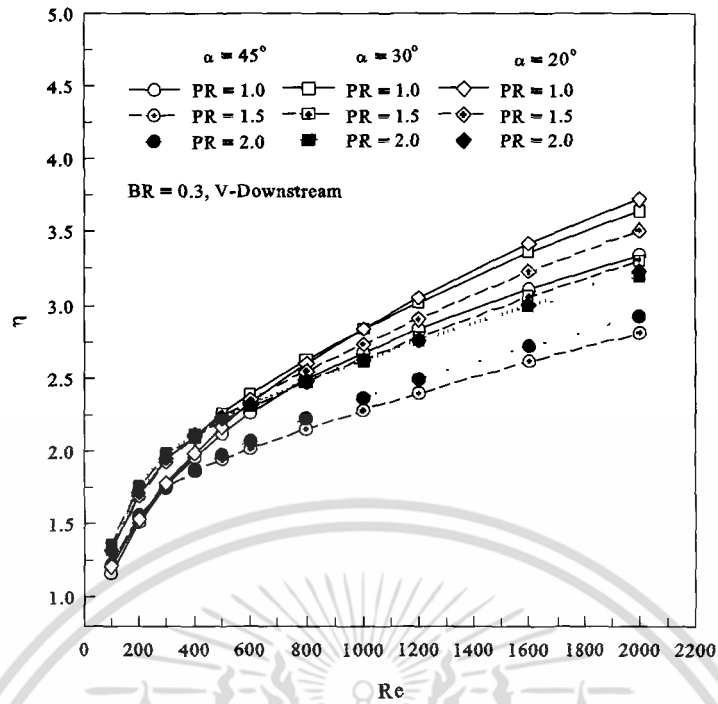
(ก)



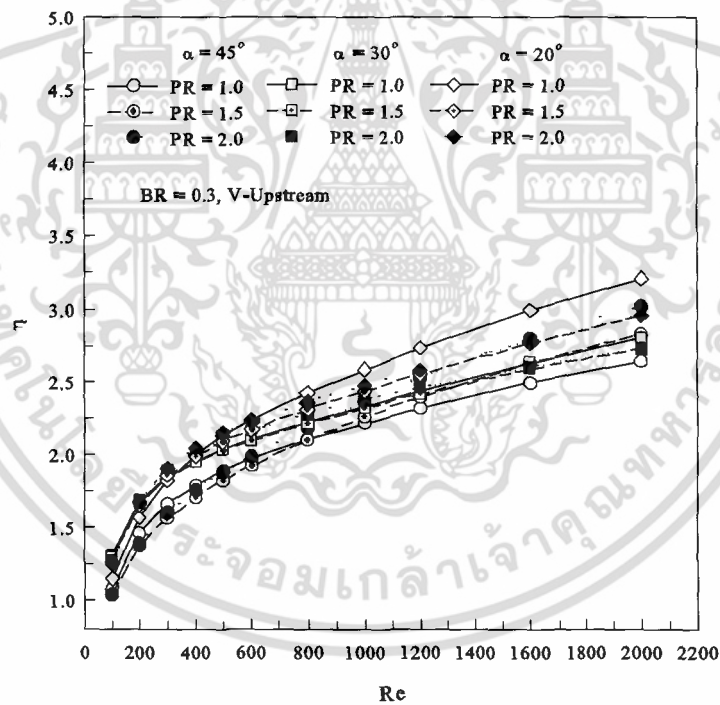
(ข)

รูปที่ 8.72 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.25 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.73 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่มุมปะทะและ PR ต่าง ๆ ที่ BR เท่ากับ 0.30 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6.4 สรุป

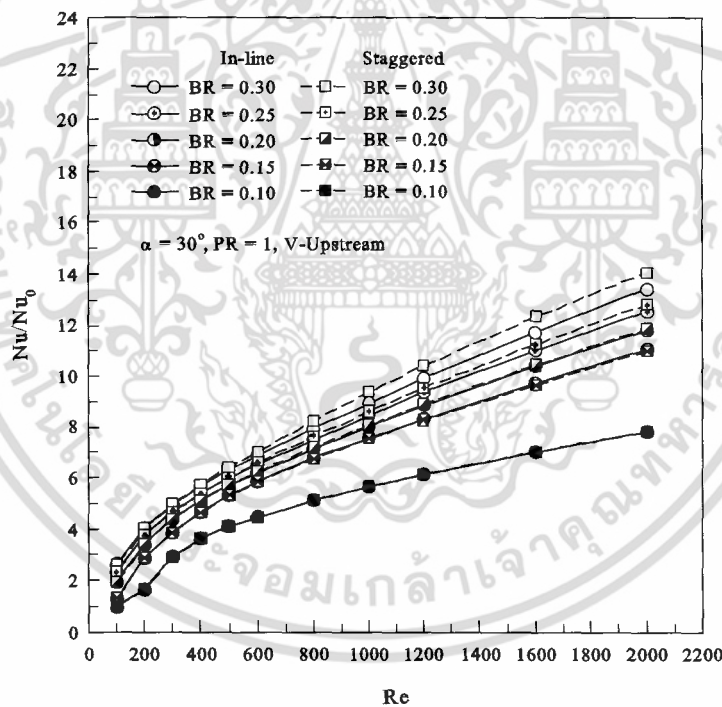
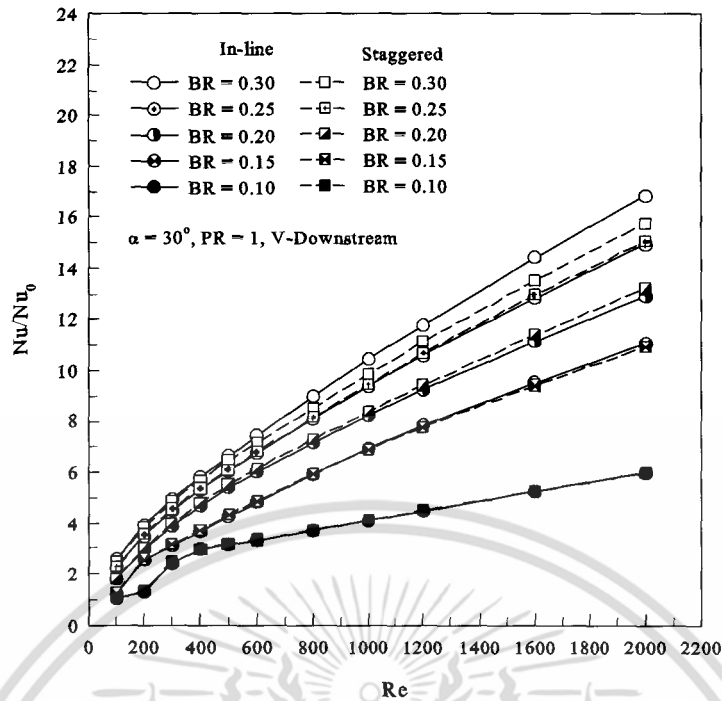
ผลจากการศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล ซึ่งพิจารณาเฉพาะ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° พบว่า $\alpha = 45^\circ$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 หรือค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เนื่องจาก $\alpha = 45^\circ$ จะมีบริเวณของแผ่นกั้นตัววี่ที่เกิดการปะทะเส้นกระแสการไหลที่มากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ ส่งผลให้เกิดค่าความดันตกคร่อมระหว่างแผ่นกั้นตัววี่ที่มีค่ามากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ ซึ่งค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นจะเกิดการเหนี่ยวนำกระแสการไหลให้เกิดการกระแทกที่บริเวณผนังท่อ ดังนั้นความรุนแรงของการไหลและการกระแทกของมุมปะทะนี้จะมีค่ามากที่สุด ส่วน $\alpha = 20^\circ$ ลักษณะของแผ่นกั้นตัววี่จะมีการต้านการไหลน้อย มีค่าความดันตกคร่อมน้อย ความรุนแรงของการกระแทกและการไหลจึงมีค่าน้อยกว่ามุมอื่น ๆ ส่วนค่า η พบว่ามีค่ามากที่สุดที่ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° ถึงแม้ว่ามุมปะทะทั้ง 2 มุมนี้จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า $\alpha = 45^\circ$ แต่ก็ให้ค่าความดันตกคร่อมที่น้อยกว่าเช่นกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งส่วนของค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม ที่ $\alpha = 20^\circ$ และ 30° จึงมีอัตราการการเพิ่มของทั้ง 2 ส่วนมีค่าเหมาะสมกว่า $\alpha = 45^\circ$

8.7 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น

อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น ได้นำเสนอการจัดวางแผ่นกั้นตัววี่ที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ การติดตั้งแบบ In-line และการจัดวางแผ่นกั้นแบบ Staggered ซึ่งทำการพิจารณา โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 และค่า Re ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า ff_0 และค่า Re และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง η และค่า Re ซึ่งอิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้นตัววี่จะนำเสนอที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ค่า $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00

8.7.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววี่ต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.74 ถึง 8.76



รูปที่ 8.74 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.74 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

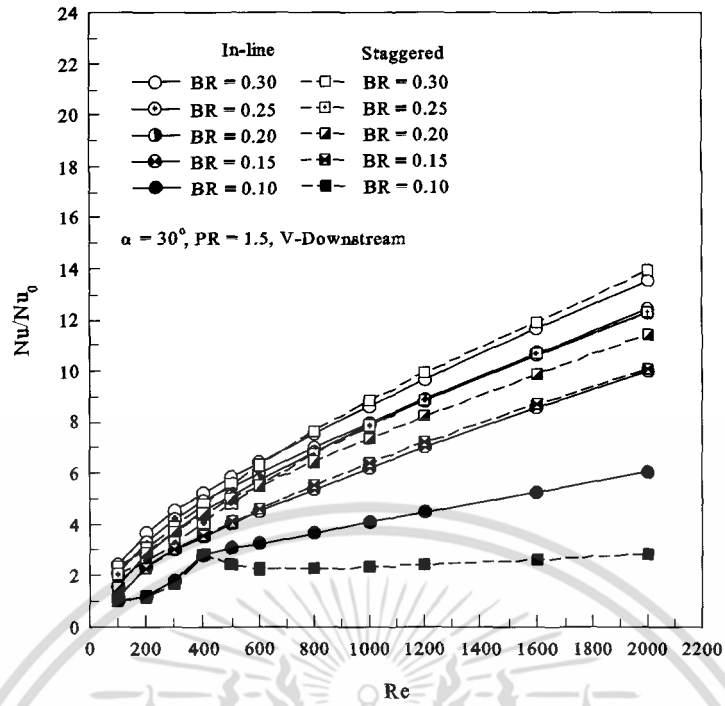
และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.74(ก) ที่ $BR = 0.10-0.25$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ $BR = 0.30$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line จะมีค่ามากกว่า Staggered โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 1.33–6.89%

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.74(ข) ที่ $BR = 0.10-0.20$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ Staggered จะมีค่ามากกว่า In-line โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.11–2.12% และ 0.20–5.27% ตามลำดับ

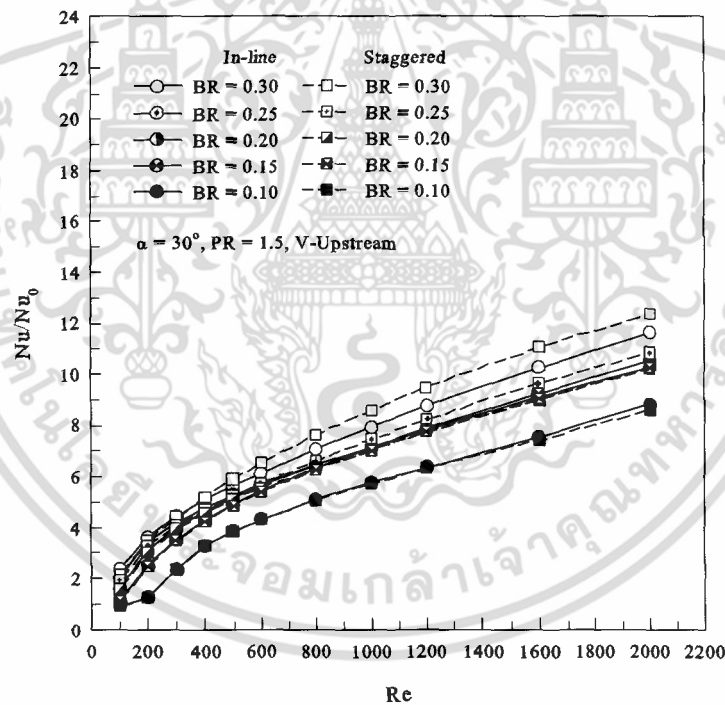
รูปที่ 8.75 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.75(ก) ที่ $BR = 0.10-0.25$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ $BR = 0.10$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line จะมีค่ามากกว่า Staggered โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.04–114.08% ที่ $BR = 0.15-0.30$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered จะมีค่าใกล้เคียงกัน

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.75(ข) ที่ $BR = 0.10-0.30$ ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 10%

รูปที่ 8.76 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.76(ก) และกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.76(ข) ค่า Nu/Nu_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 10% สำหรับทุก ๆ ค่า BR



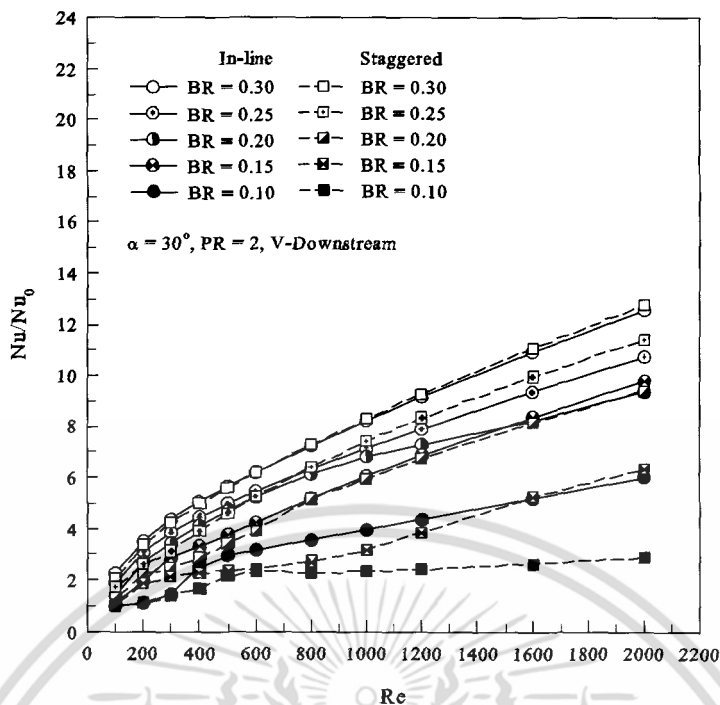
(ก)



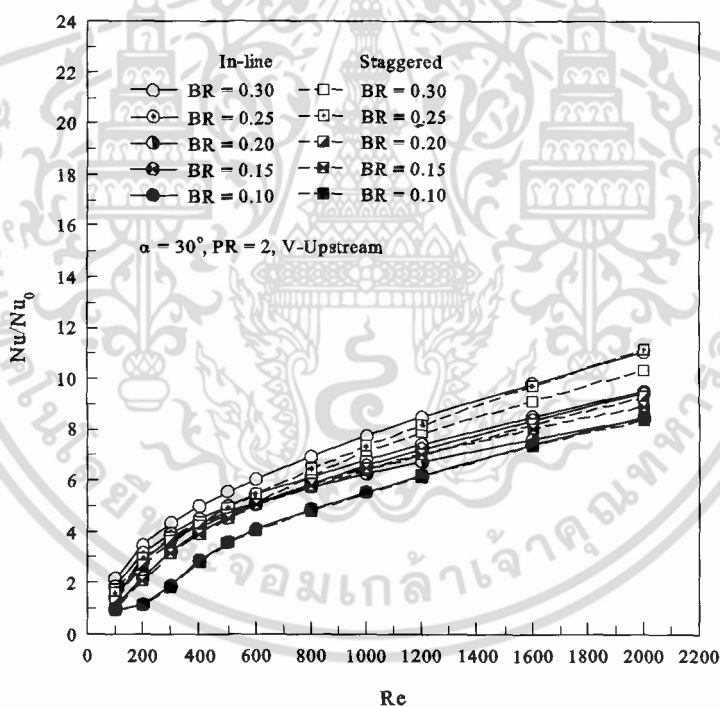
(ข)

รูปที่ 8.75 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.76 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

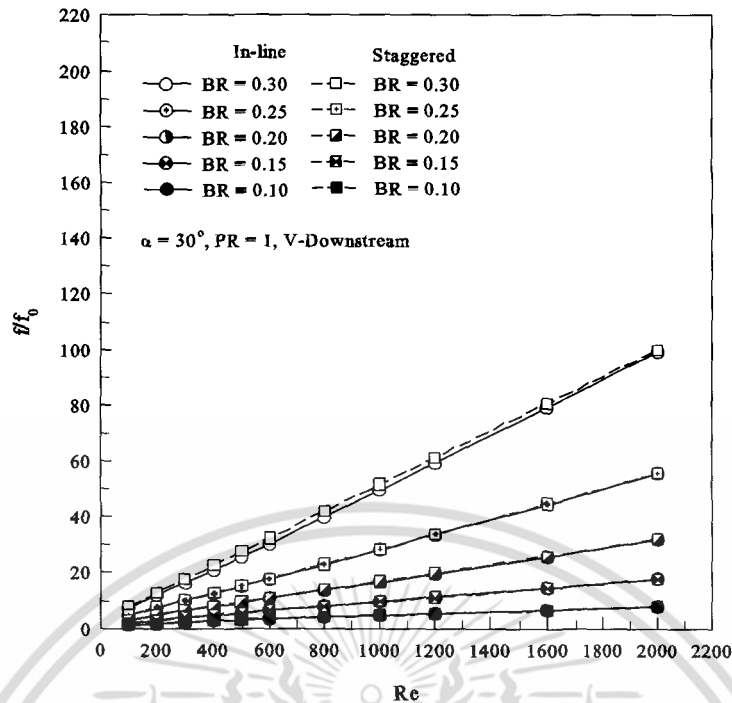
8.7.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปแบบของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.77 ถึง 8.79

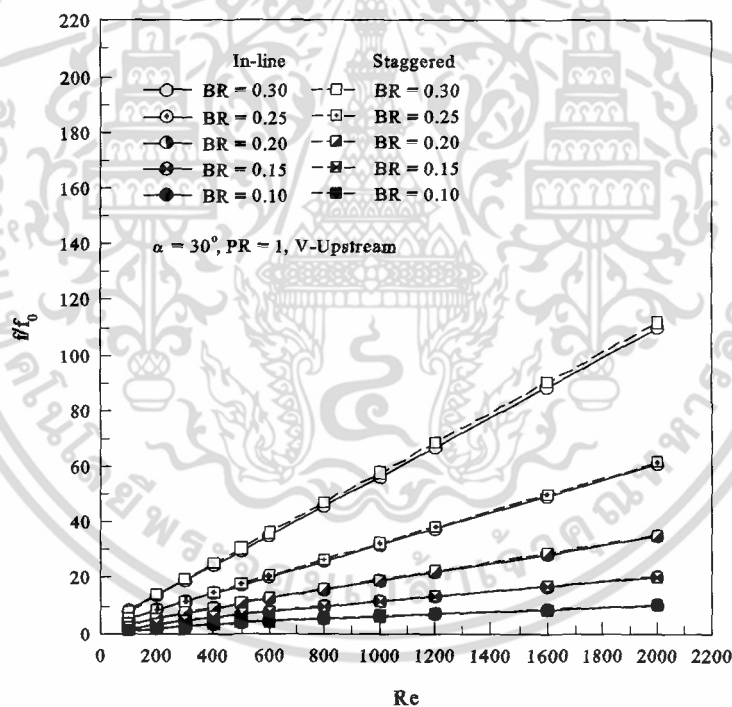
รูปที่ 8.77 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีกี่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.77(ก) และกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.77(ข) ค่า ff_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 5% สำหรับทุก ๆ ค่า BR

รูปที่ 8.78 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีกี่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.78(ก) ที่ $BR = 0.10-0.20$ ค่า ff_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ BR มากกว่า 0.20 ค่า ff_0 สำหรับ Staggered จะมีค่ามากกว่า In-line โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 5.02-44.38% และ 1.99-40.02% ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.78(ข) ที่ $BR = 0.10-0.20$ ค่า ff_0 สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ BR มากกว่า 0.20 ค่า ff_0 สำหรับ Staggered จะมีค่ามากกว่า In-line โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 1.46-12.71% และ 2.93-10.68% ที่ $BR = 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



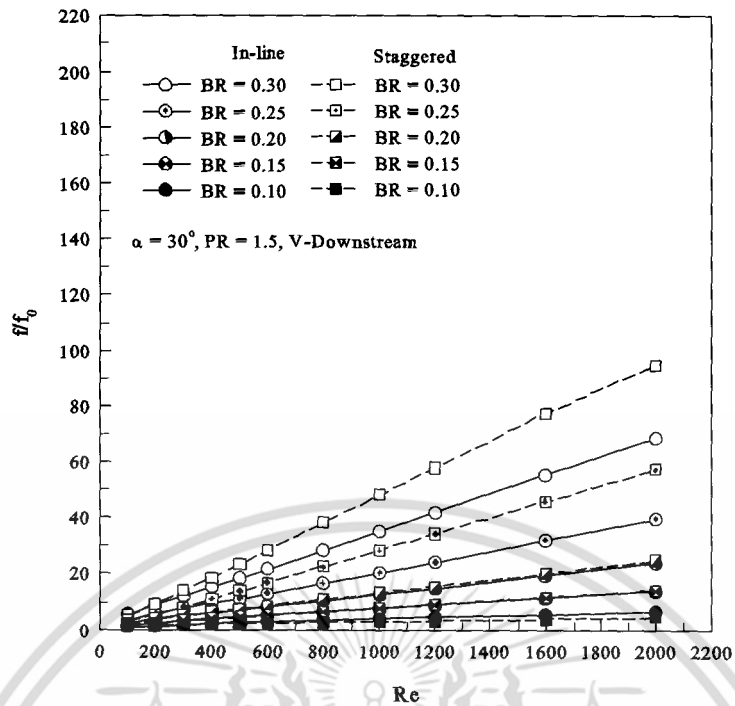
(ก)



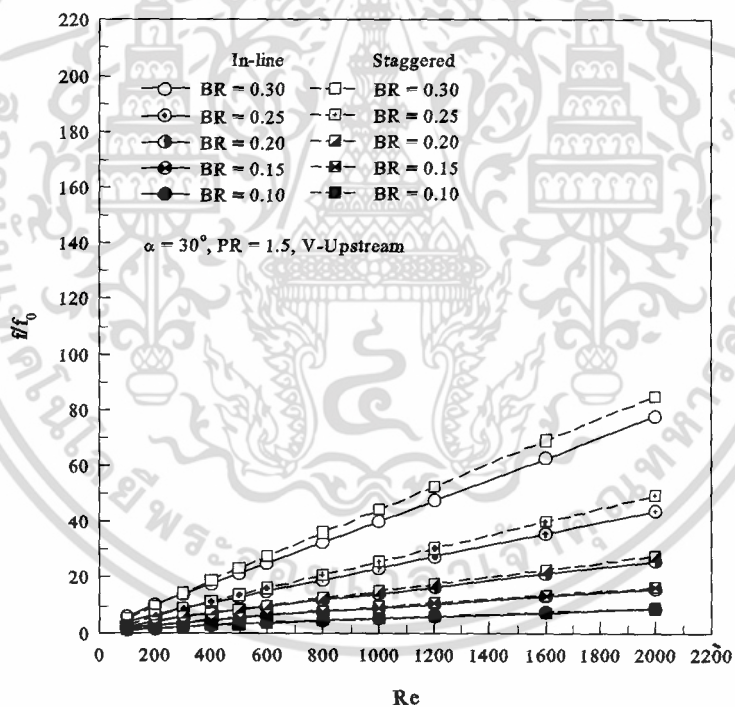
(ข)

รูปที่ 8.77 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



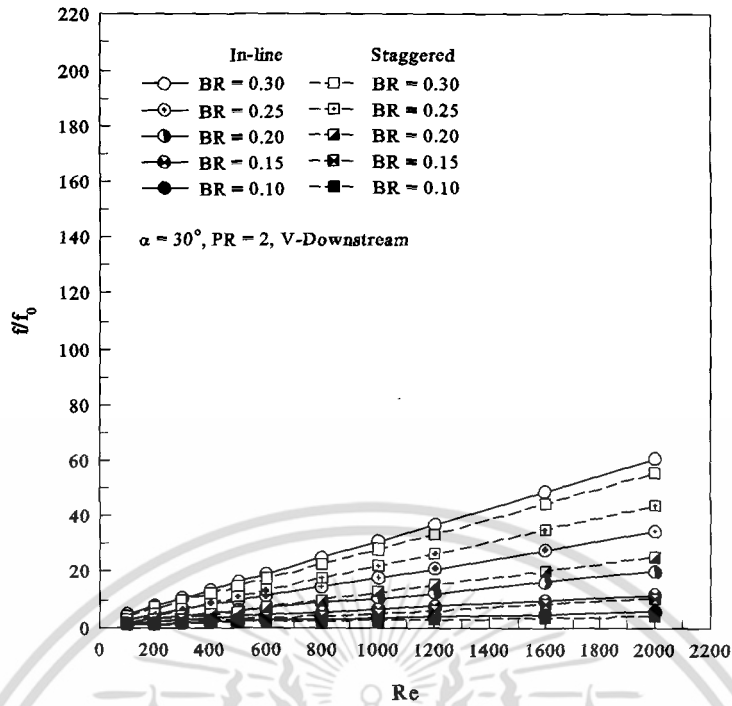
(ก)



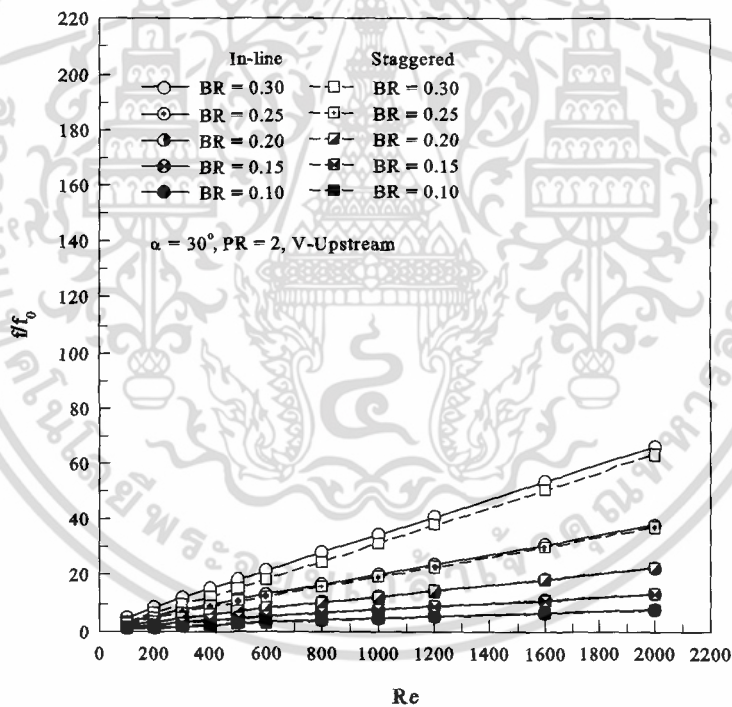
(ข)

รูปที่ 8.78 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.79 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.79 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

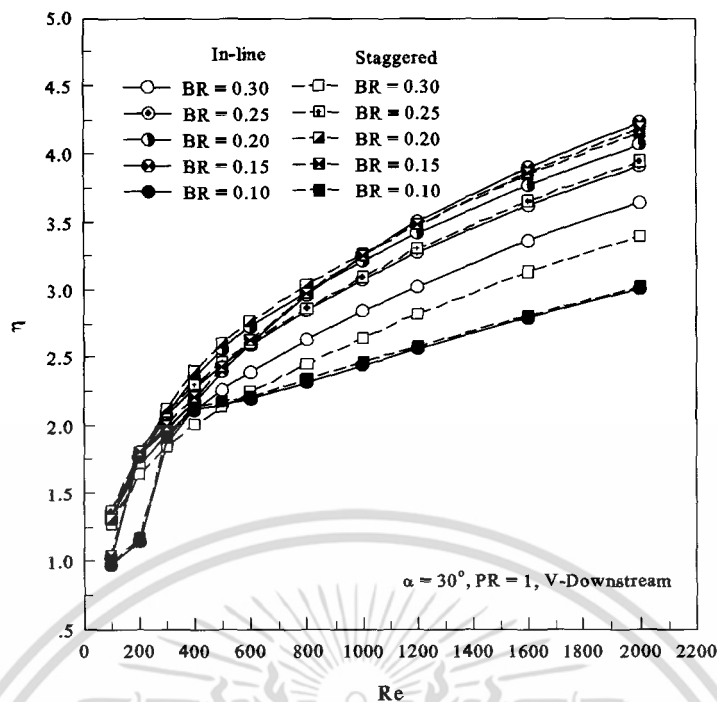
V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.79(ก) และ V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.79(ข) ค่า f_{f_0} สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 5% สำหรับทุก ๆ ค่า BR

8.7.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

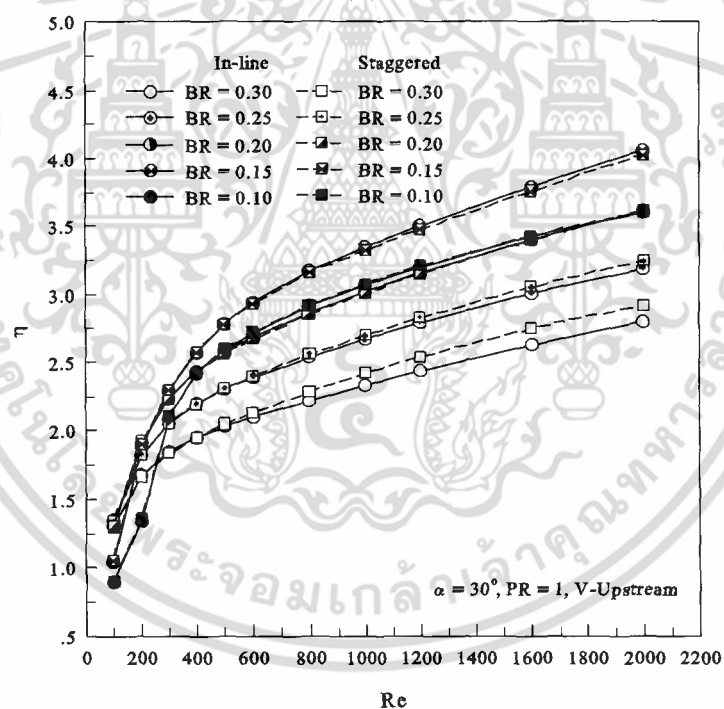
ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.80 ถึง 8.82

รูปที่ 8.80 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววี่ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า η สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดย In-line จะให้ค่า η มากกว่า Staggered เล็กน้อย กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.80(ก) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.23 ที่ $BR = 0.15$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.19 ที่ $BR = 0.15$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.80(ข) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.06 ที่ $BR = 0.15$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.03 ที่ $BR = 0.15$



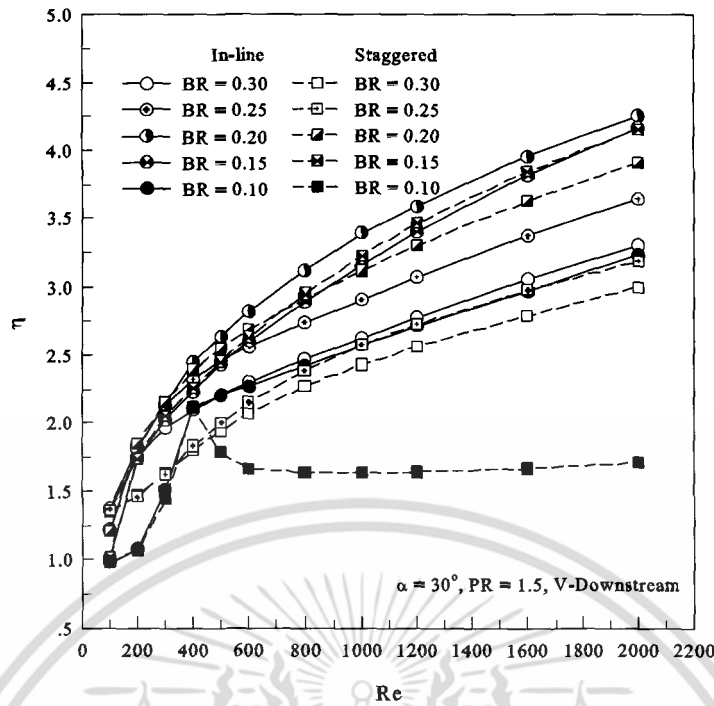
(ก)



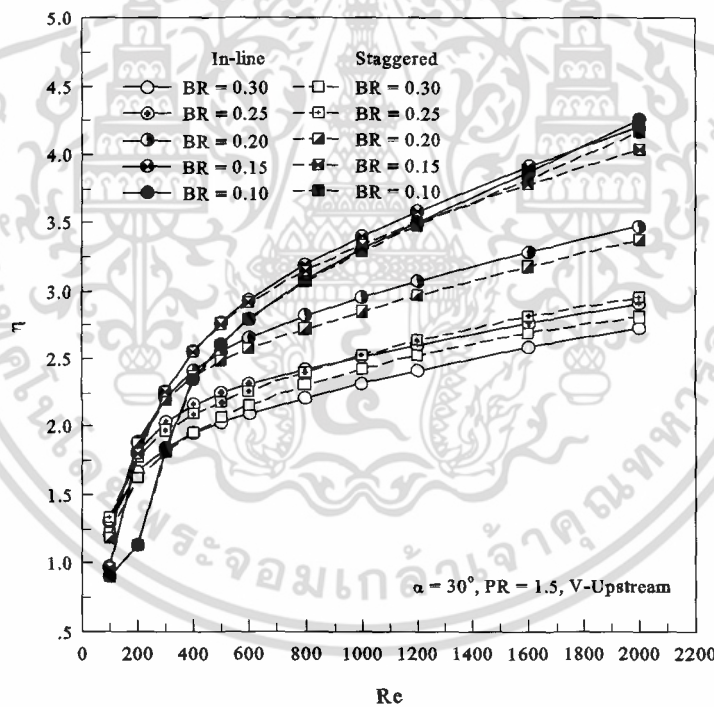
(ข)

รูปที่ 8.80 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวสี่ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.81 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.50$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า η สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดย In-line จะให้ค่า η มากกว่า Staggered เล็กน้อย กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.81(ก) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.26 ที่ $BR = 0.20$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.17 ที่ $BR = 0.15$

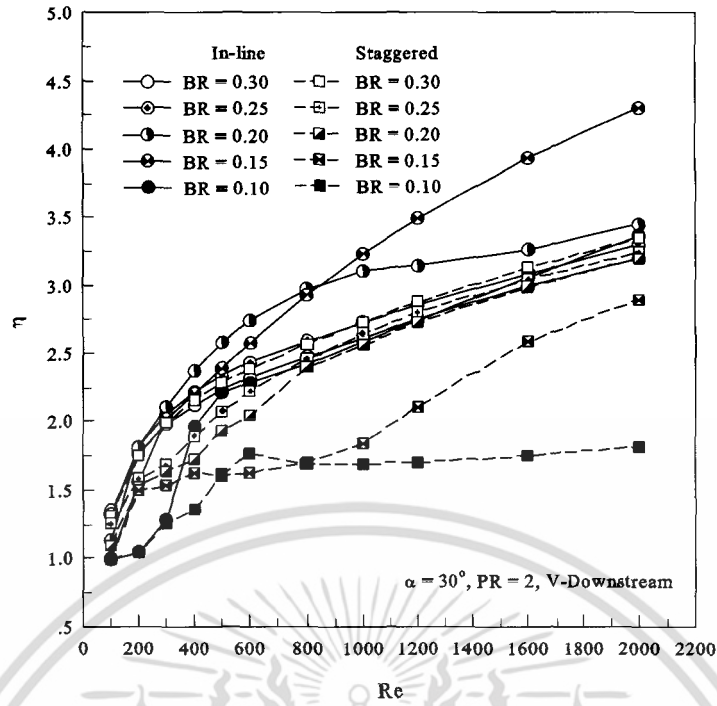
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.81(ข) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.20 ที่ $BR = 0.15$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.16 ที่ $BR = 0.10$

รูปที่ 8.82 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า η สำหรับ In-line และ Staggered มีค่าใกล้เคียงกัน โดย In-line จะให้ค่า η มากกว่า Staggered เล็กน้อย กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.82(ก) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.30 ที่ $BR = 0.15$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.34 ที่ $BR = 0.30$

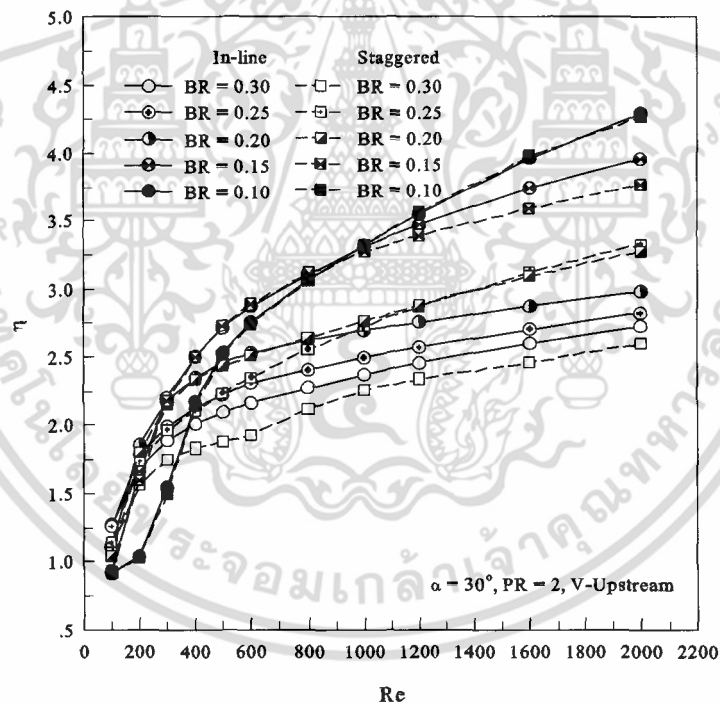
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.82(ข) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.30 ที่ $BR = 0.10$ และมีการจัดวางแบบ In-line ส่วนการจัดวางแบบ Staggered พบว่าค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.26 ที่ $BR = 0.10$

8.7.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้น พบว่าทั้งค่า Nu/Nu_0 , f/f_0 และ η สำหรับทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การจัดวางแบบ In-line จะมีความสะดวกในการสร้างชิ้นงานมากกว่า Staggered นอกจากนี้การจัดวางแบบ In-line ในส่วนของโครงสร้างการไหลหรือแกนการหมุนวนที่เกิดจากแผ่นกั้นตัววีในแต่ละด้านยังมีความสมมาตรกันทั้งหมด ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดทั้งผิวท่อมีความสม่ำเสมอมากกว่าแบบ Staggered



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.82 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 2.00$, จัดวางแผ่นกั้นแบบ In-line และ Staggered และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.8 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววี

อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววี โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีและให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกันแผ่นกั้นตัววีที่ไม่ตัดขอบโดยพิจารณาผลที่ได้จากการศึกษาและแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ BR , ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า η กับ BR

8.8.1 การถ่ายเทความร้อน

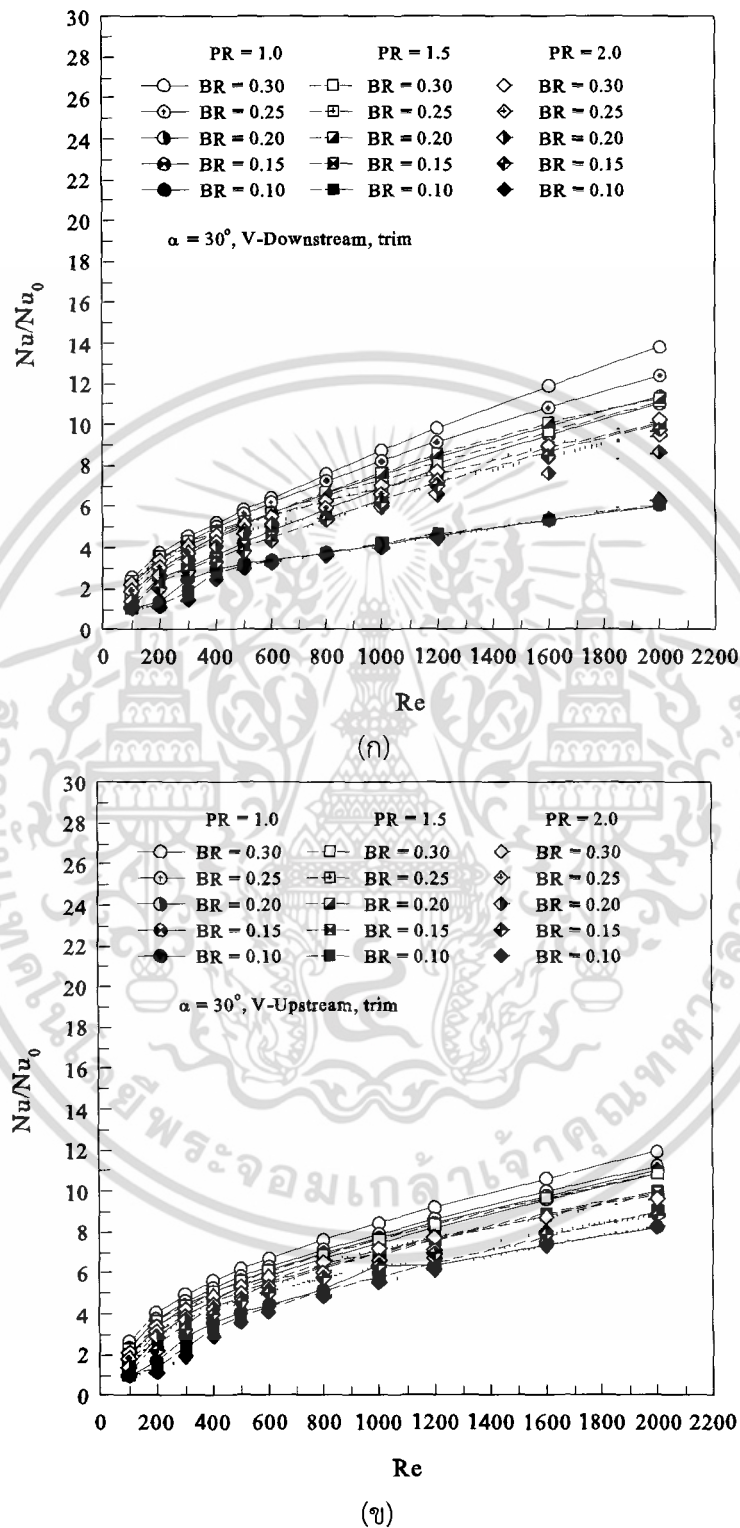
ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.83 และความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.84

รูปที่ 8.83 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกกรณี เช่นเดียวกันกับกรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบ เมื่อพิจารณาค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ส่วน $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุดในส่วนของอิทธิพลของค่า BR พบว่าเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า Nu/Nu_0 ก็เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยพบว่าที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด เมื่อพิจารณาที่ค่า PR เดียวกัน สำหรับอิทธิพลของทิศทางการไหล พบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่ากรณี V-Upstream โดยเฉพาะที่ค่า $PR = 1.00$ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ากรณี V-Downstream จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า V-Upstream ส่วนที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับกรณี V-Downstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เพียงเล็กน้อย

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.83(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.06–6.08, 1.27–11.02, 1.87–11.39, 2.89–12.40 และ 2.58–13.80, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.04–6.14, 1.17–10.04, 1.62–11.32, 2.11–10.11 และ 2.40–11.12, ที่ $PR = 2.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.04–6.33, 1.11–9.78, 1.43–8.67, 1.92–9.56 และ 2.26–10.24 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

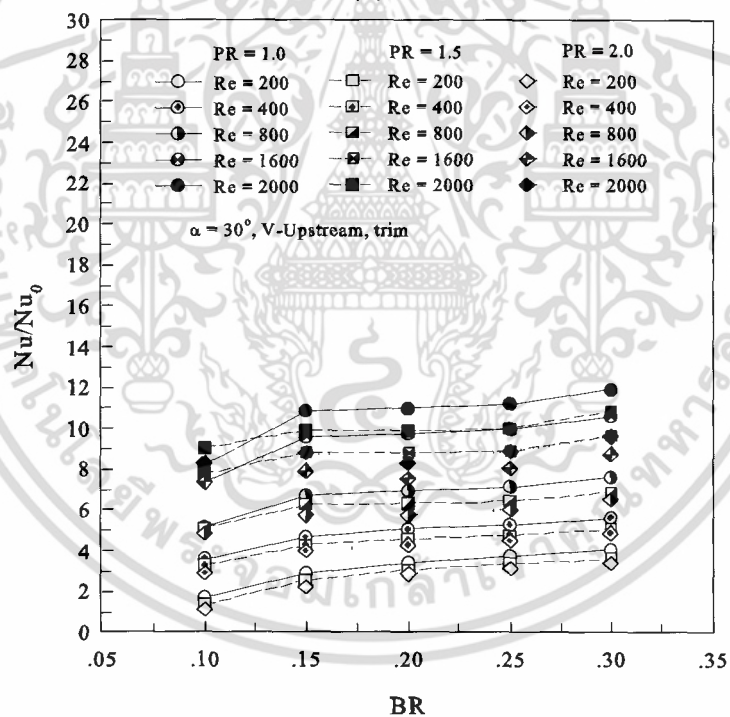
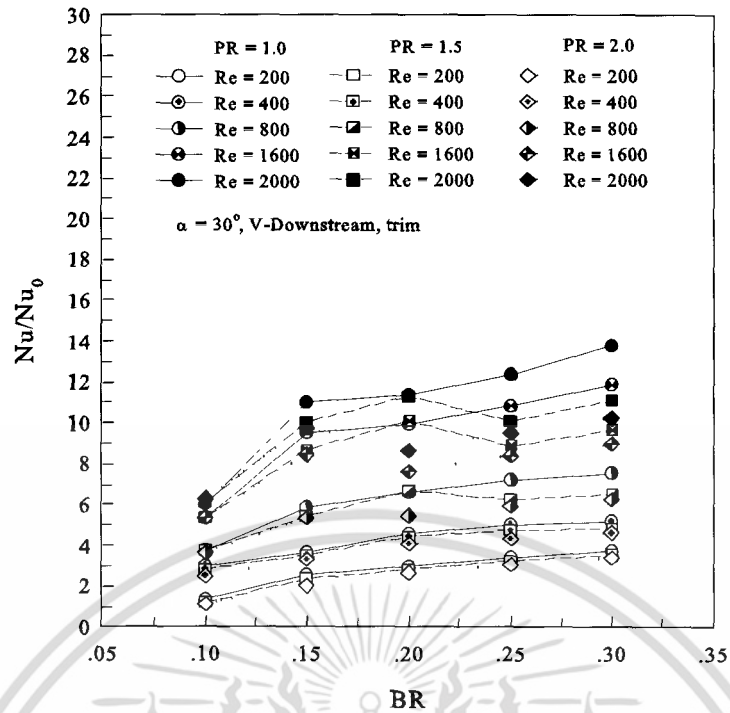
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.83(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 0.99–8.28, 1.36–10.89, 1.98–11.00, 2.36–11.25 และ 2.66–11.93, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 0.97–9.06, 1.16–9.97, 1.67–9.89, 2.06–10.05 และ 2.35–10.90, ที่ $PR = 2.00$ ค่า

Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 0.96–8.31, 1.05–8.84, 1.43–8.33, 1.85–8.91 และ 2.15–9.66 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



รูปที่ 8.83 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.84 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.84 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.84(ก) เมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ $PR = 1.00$ และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.00 ส่วนที่ค่า $PR = 1.50$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก $BR = 0.10-0.20$ และมีแนวโน้มลดลงที่ $BR = 0.25$ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง $BR = 0.25-0.30$ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 ที่มากที่สุดจะอยู่ในช่วงค่า $BR = 0.10-0.15$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.84(ข) พบว่าเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วยสำหรับทุก ๆ ค่า PR โดยในช่วงที่ BR เพิ่มจาก 0.10 ถึง 0.15 อัตราการเพิ่มขึ้นจะสูงกว่าช่วงอื่น ๆ ส่วนที่ BR มากกว่า 0.15 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นมีเพียงเล็กน้อย หรือมีค่าค่อนข้างคงที่ที่ค่า Re น้อย ๆ จากทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream พบว่าช่วงที่เกิดการเพิ่มมากขึ้นของค่า Nu/Nu_0 มากที่สุดคือที่ค่า BR อยู่ในช่วง 0.10-0.15

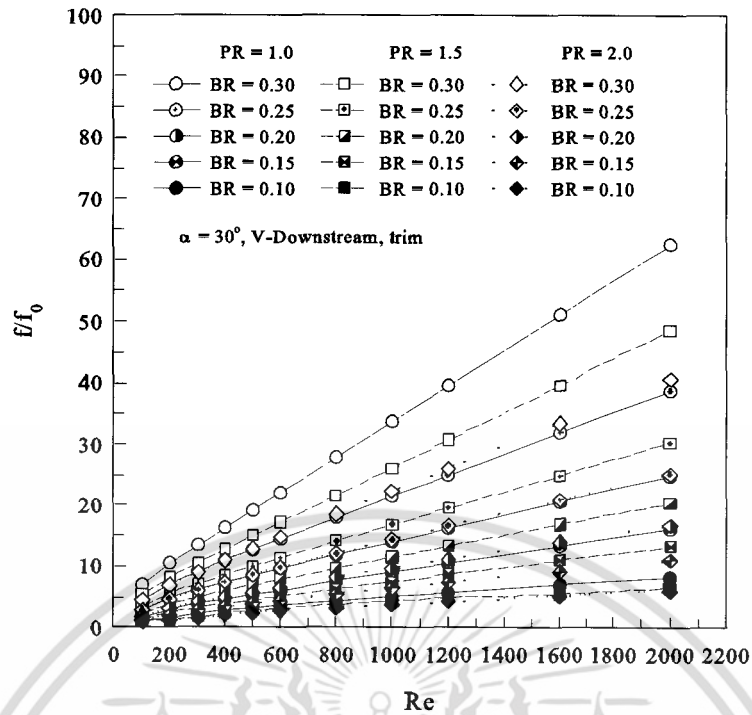
8.8.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง f ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัวต่อค่า f_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.85 และความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.86

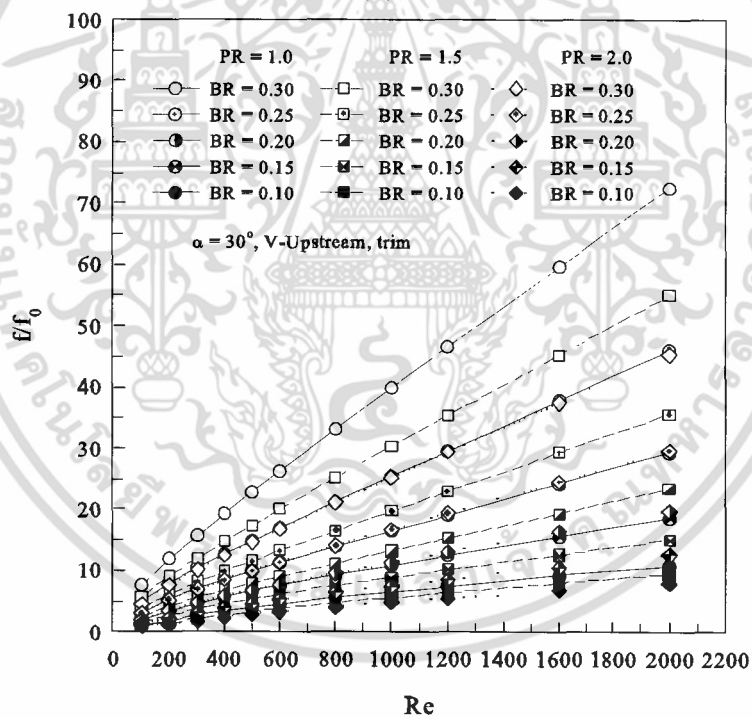
รูปที่ 8.85 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นค่า ff_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับทุก ๆ กรณี โดยพบว่าค่า ff_0 สำหรับกรณี V-Upstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า ff_0 มีค่าลดลง ที่ $PR = 1.00$ จะให้ค่า ff_0 มากที่สุดและที่ค่า $PR = 2.00$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ส่วนอิทธิพลของค่า BR พบว่าที่ค่า PR เดียวกัน เมื่อ BR มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ff_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.85(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.26-8.29, 1.70-16.16, 2.81-24.91, 4.58-38.80 และ 7.08-62.57, ที่ $PR = 1.50$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.15-6.61, 1.48-13.26, 2.25-20.41, 3.58-30.31 และ 5.46-48.61, ที่ $PR = 2.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.13-6.17, 1.35-11.07, 1.92-16.78, 2.98-25.28 และ 4.53-40.72 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.85(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.30-10.89, 1.97-18.64, 3.27-29.36, 5.07-46.14 และ 7.69-72.51, ที่ $PR = 1.50$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.19-9.55, 1.59-15.10, 2.50-23.48, 3.83-35.72 และ 5.74-55.06, ที่ $PR = 2.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 1.13-8.09, 1.39-12.68, 2.06-19.72, 3.13-29.76 และ 4.69-45.42 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



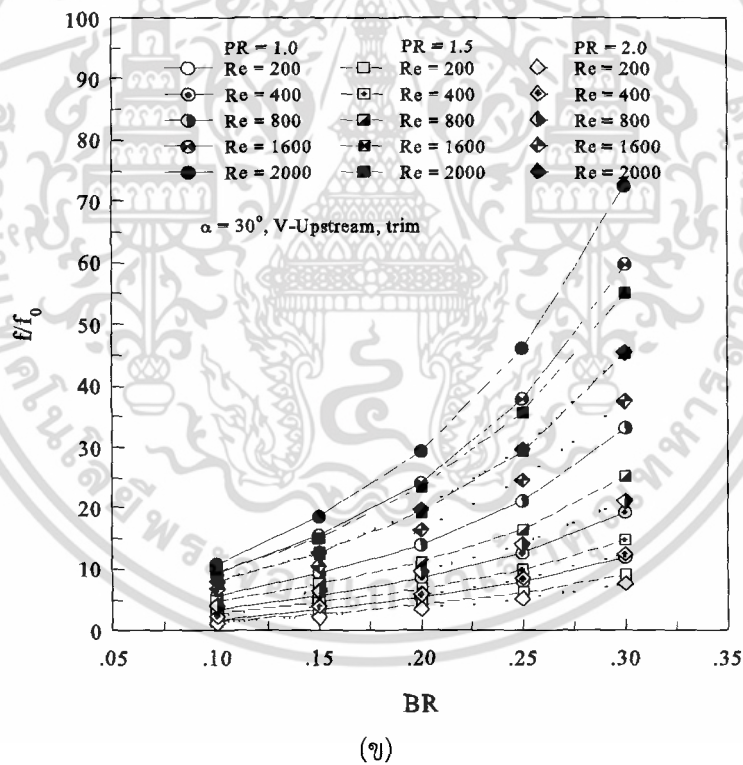
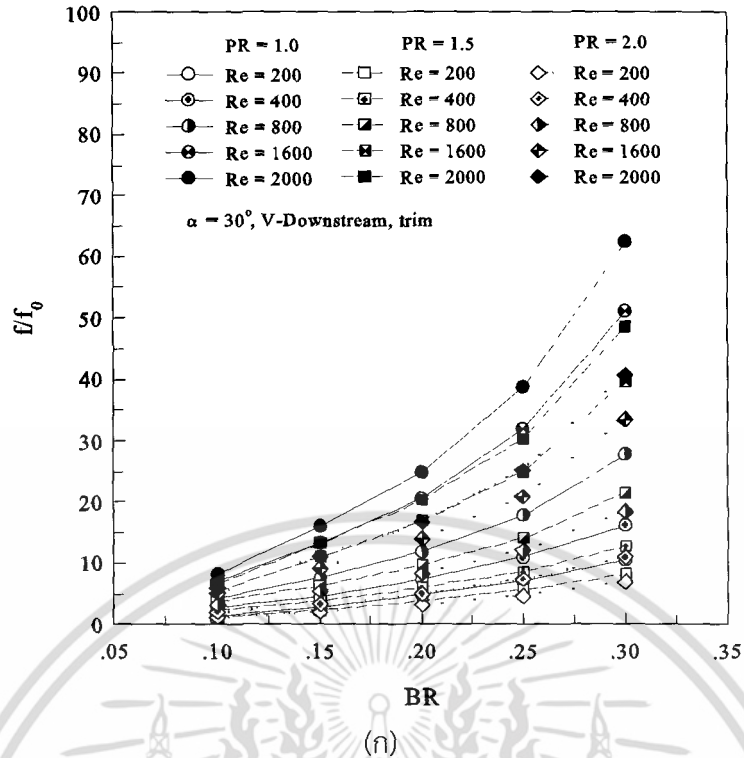
(ก)



(ข)

รูปที่ 8.85 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.86 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.86 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ค่า f/f_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 ในช่วง $BR = 0.20-0.30$ จะมีค่ามากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงที่ค่า BR มากกว่า 0.25 ซึ่งมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของ ff_0 ที่มีค่ามากที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 สำหรับกรณี V-Upstream จะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า V-Downstream เล็กน้อย

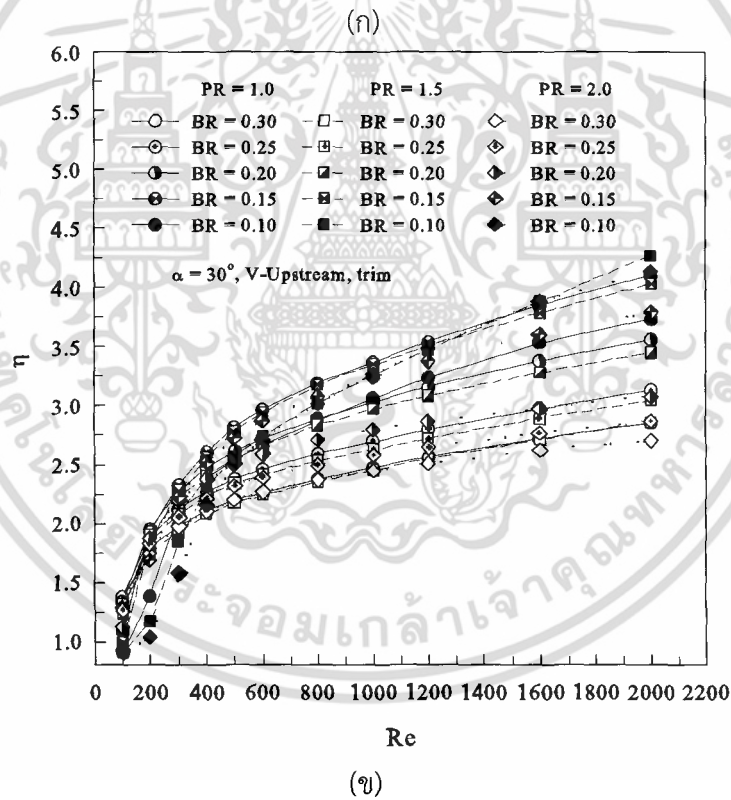
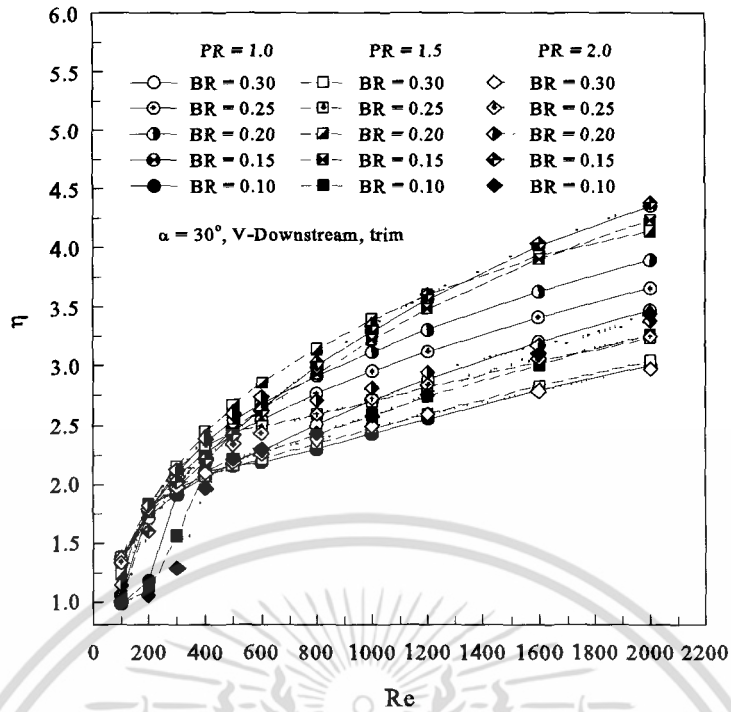
8.8.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของ η ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.87 และความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR ดังรูปที่ 8.88

รูปที่ 8.87 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ค่า η มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา ที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 ให้ค่า η ที่ใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าที่ $PR = 1.00$ เล็กน้อย ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

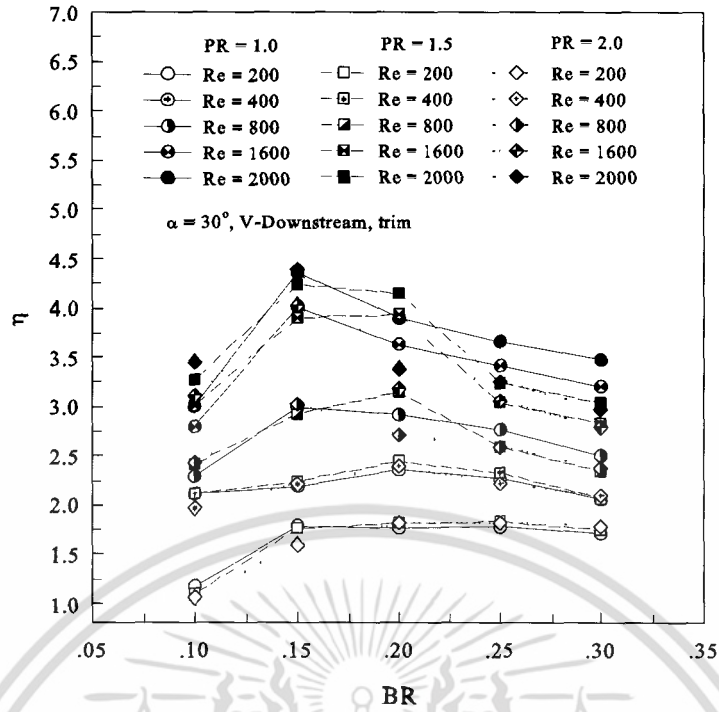
กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.87(ก) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.15$ สำหรับทุก ๆ ค่า PR โดยมีค่าเท่ากับ 4.36, 4.24 และ 4.39 สำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$ ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.87(ข) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.15$ สำหรับ $PR = 1.00$ ส่วนที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 ค่า $BR = 0.10$ มีค่า η มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 4.36, 4.24 และ 4.39 สำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

รูปที่ 8.88 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า ช่วง $BR = 0.15-0.20$ เป็นช่วงที่มีค่า η มากที่สุด สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าค่า η ที่มากที่สุดอยู่ในช่วงค่า $BR = 0.10-0.15$ และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า η กลับมีค่าลดลง

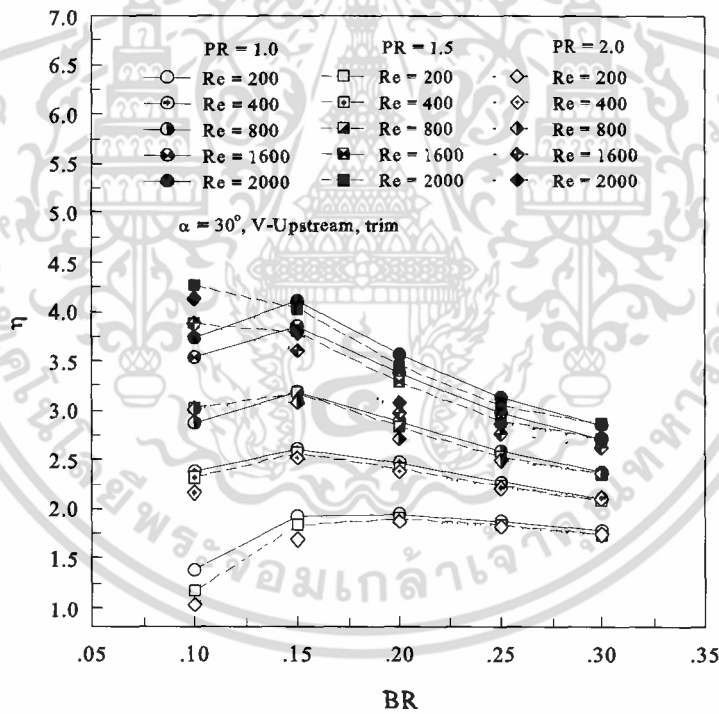


รูปที่ 8.87 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.88 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

8.8.4 สรุป

ผลจากการศึกษาการตัดขอบของแผ่นกั้นตัววี พบว่าแผ่นกั้นตัววีที่มีการตัดขอบจะช่วยลดค่าความดันตกคร่อมที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกั้นตัววี แต่ก็เป็นการลดค่าการถ่ายเทความร้อนด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังท่อมีความสม่ำเสมอมากกว่าแผ่นกั้นตัววีที่ไม่เอกสารถือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดขอบ เมื่อพิจารณาจากการกระจาย Nu_x ที่ผิวท่อ ซึ่งแสดงในบทที่ 7 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกั้นตัววีที่มีการตัดขอบและไม่ตัดขอบจะทำการเปรียบเทียบในหัวข้อ 8.11

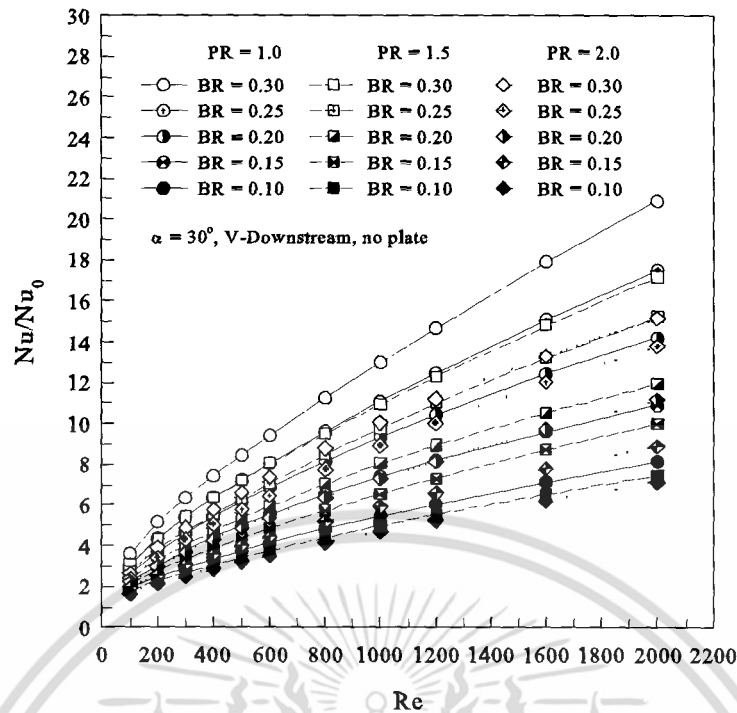
8.9 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง

อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววีที่มีการจัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีที่มีความสะดวกสบายมากกว่าติดตั้งที่ผิวท่อ สำหรับการติดตั้งในลักษณะนี้จะทำให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากกว่ากรณีติดตั้งที่ผิวท่อ ดังนั้นจึงทำการศึกษา โดยพิจารณาผลที่ได้จากการศึกษาและแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ Re และ ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ BR , ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า f/f_0 กับ Re และ ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า f/f_0 กับ BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง η กับ Re และ ความสัมพัทธ์ระหว่างค่า η กับ BR

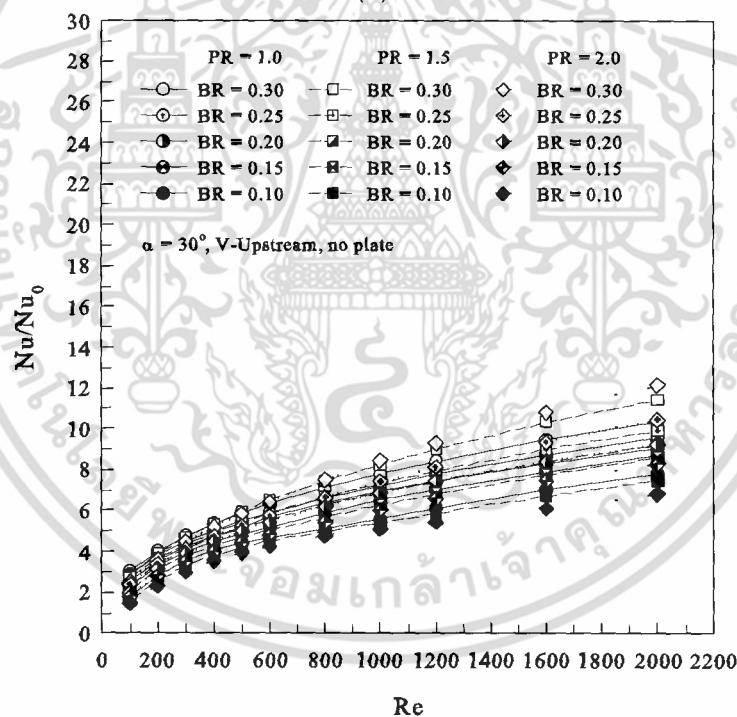
8.9.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.89 และความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.90

รูปที่ 8.89 แสดงความสัมพัทธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกกรณี เช่นเดียวกันกับกรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่พื้น เมื่อพิจารณาค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วน $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุด สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าที่ค่า $BR = 0.10-0.15$ ค่า $PR = 1.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่มากที่สุดและ $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุด และเมื่อค่า BR มากกว่า 0.15 ค่า $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่มากที่สุดและ $PR = 1.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุด ในส่วนของอิทธิพลของค่า BR พบว่าเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า Nu/Nu_0 ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยพบว่าที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด เมื่อพิจารณาที่ค่า PR เดียวกัน ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream สำหรับอิทธิพลของทิศทางการไหล พบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่ากรณี V-Upstream โดยเฉพาะที่ค่า $PR = 1.00$ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ากรณี V-Downstream จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า V-Upstream ส่วนที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับกรณี V-Downstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย



(ก)



(ข)

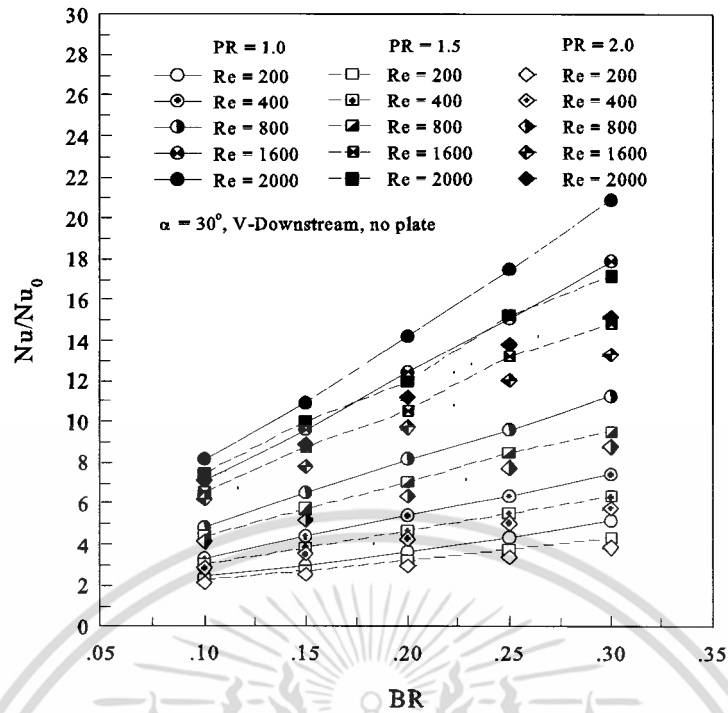
รูปที่ 8.89 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.89(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.96–8.18, 2.32–10.92, 2.66–14.23, 3.08–17.52 และ 3.60–20.91, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

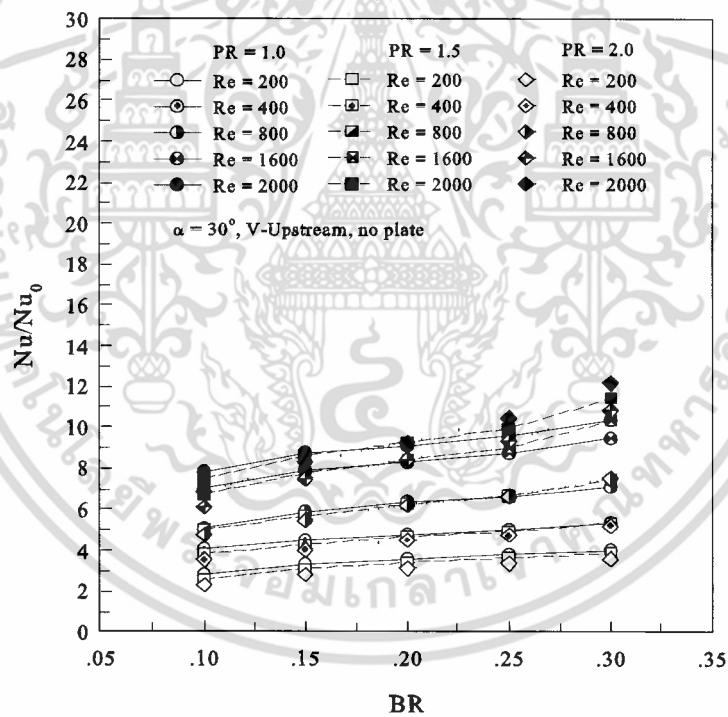
ค่าเท่ากับ 1.80–7.48, 2.14–10.03, 2.43–11.96, 2.76–15.24 และ 3.05–17.20, ที่ $PR = 2.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.66–7.17, 1.95–8.93, 2.19–11.19, 2.42–13.86 และ 2.67–15.20 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.89(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.81–7.86, 2.29–8.79, 2.60–9.11, 2.88–9.58 และ 3.04–10.40, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.62–7.52, 2.02–8.64, 2.32–9.27, 2.70–9.94 และ 2.81–11.47, ที่ $PR = 2.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.47–6.86, 1.78–8.30, 2.01–9.25, 2.40–10.47 และ 2.52–12.20 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

รูปที่ 8.90 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณี V-Downstream จะมีค่ามากกว่า V-Upstream โดยพบว่ากรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.90(ก) มีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 ในช่วงแต่ละ BR จะมีอัตราใกล้เคียงกัน สำหรับทุก ๆ ค่า PR ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.90(ข) พบว่าอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นมีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับทุก ๆ ค่า PR



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.90 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

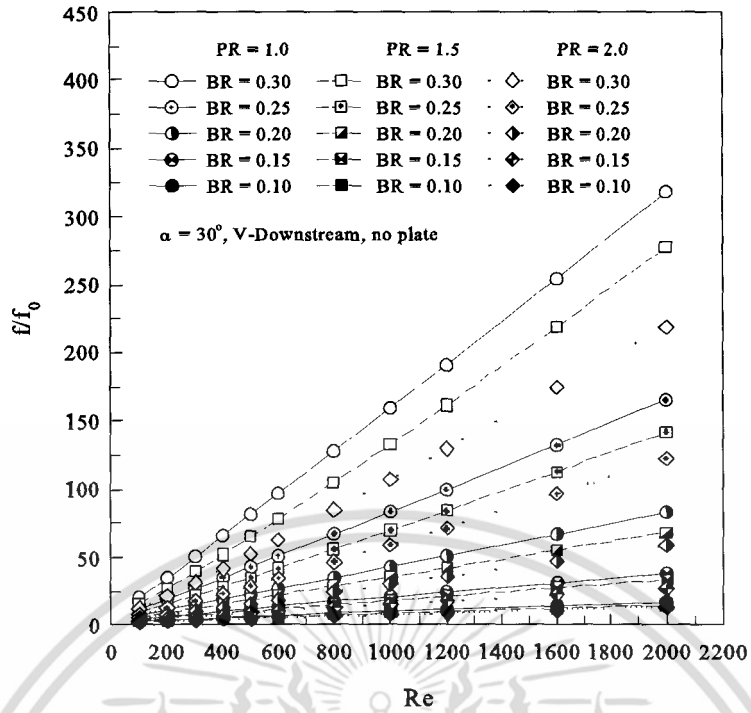
8.9.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง f ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า f_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.91 และความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.92

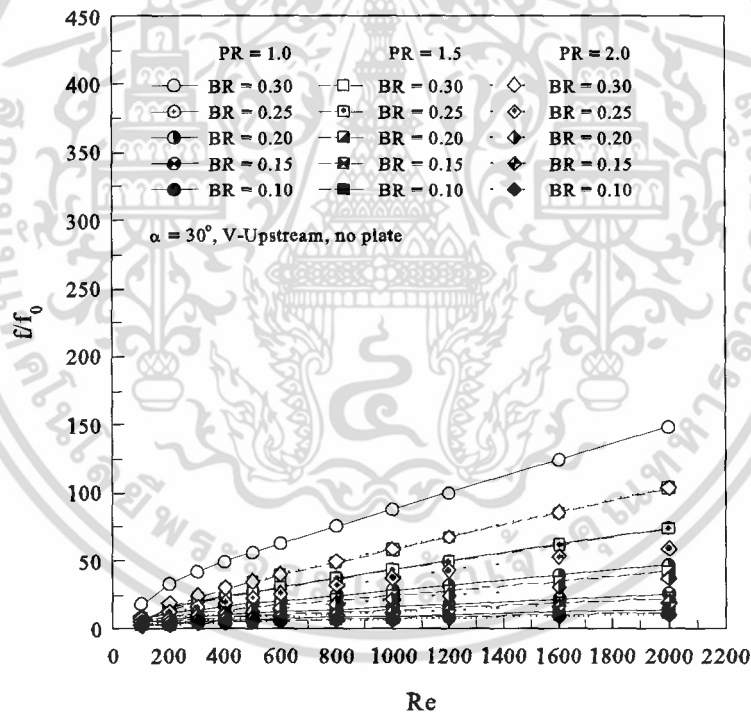
รูปที่ 8.91 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง fff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นค่า fff_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับทุก ๆ กรณี โดยพบว่าค่า fff_0 สำหรับกรณี V-Upstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เล็กน้อย เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า fff_0 มีค่าลดลง ที่ $PR = 1.00$ จะให้ค่า fff_0 มากที่สุดและที่ค่า $PR = 2.00$ จะให้ค่า fff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ส่วนอิทธิพลของค่า BR พบว่าที่ค่า PR เดียวกัน เมื่อ BR มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า fff_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า fff_0 มากที่สุด ส่วนที่ $BR = 0.10$ จะให้ค่า fff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.91(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 3.11–17.25, 4.68–38.35, 7.33–83.02, 11.95–165.10 และ 20.40–318.27, ที่ $PR = 1.50$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 2.69–14.93, 3.92–33.74, 5.95–68.28, 9.44–141.59 และ 15.65–276.92, ที่ $PR = 2.00$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 2.37–13.29, 3.36–27.61, 4.97–58.87, 7.69–122.19 และ 12.50–219.08 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.91(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 3.35–14.80, 5.14–26.43, 8.13–46.97, 7.03–74.19 และ 18.39–148.61, ที่ $PR = 1.50$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 2.76–12.35, 4.09–22.80, 6.27–42.16, 4.33–74.06 และ 4.19–103.87, ที่ $PR = 2.00$ ค่า fff_0 มีค่าเท่ากับ 2.39–10.85, 3.41–20.09, 5.06–37.02, 7.92–59.20 และ 9.42–104.14 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



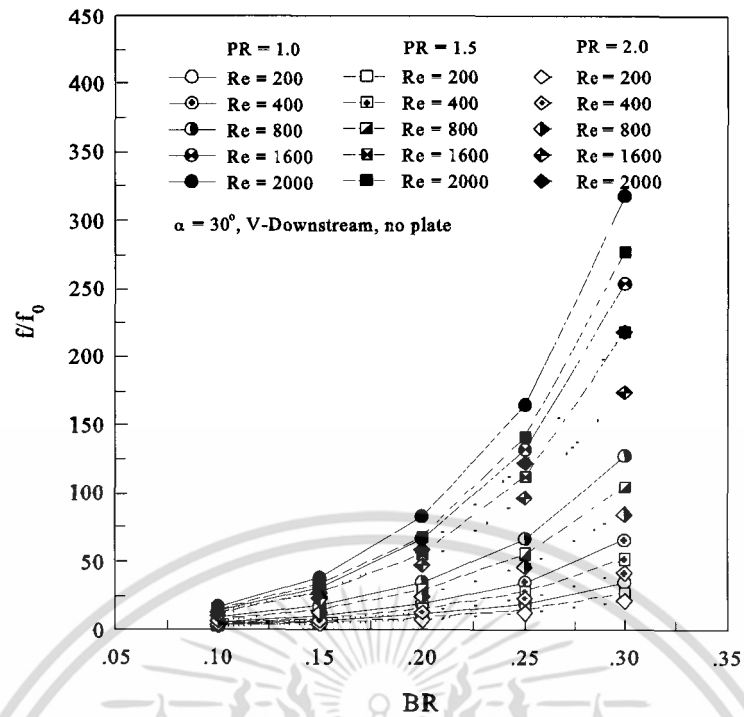
(ก)



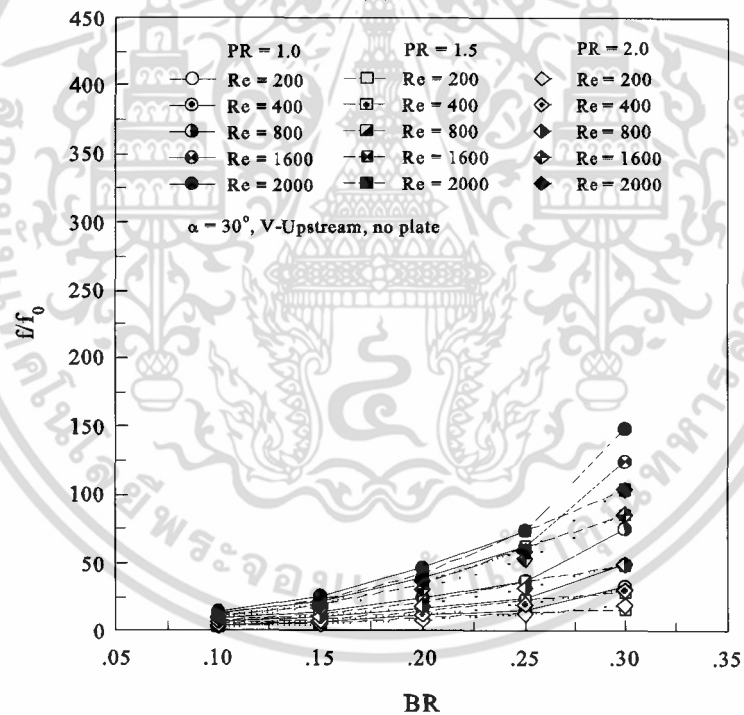
(ข)

รูปที่ 8.91 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.92 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.92 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ค่า ff_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา โดยพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 ในช่วง $BR = 0.20-0.30$ จะมีค่ามากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงที่ค่า BR มากกว่า 0.25 ซึ่งมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของ ff_0 ที่มีค่ามากที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 สำหรับกรณี V-Upstream จะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า V-Downstream เล็กน้อย

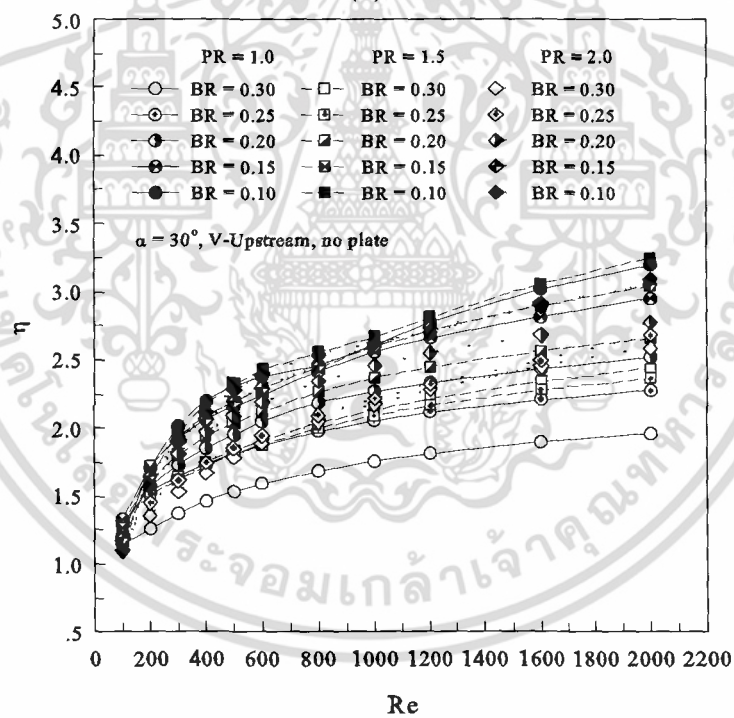
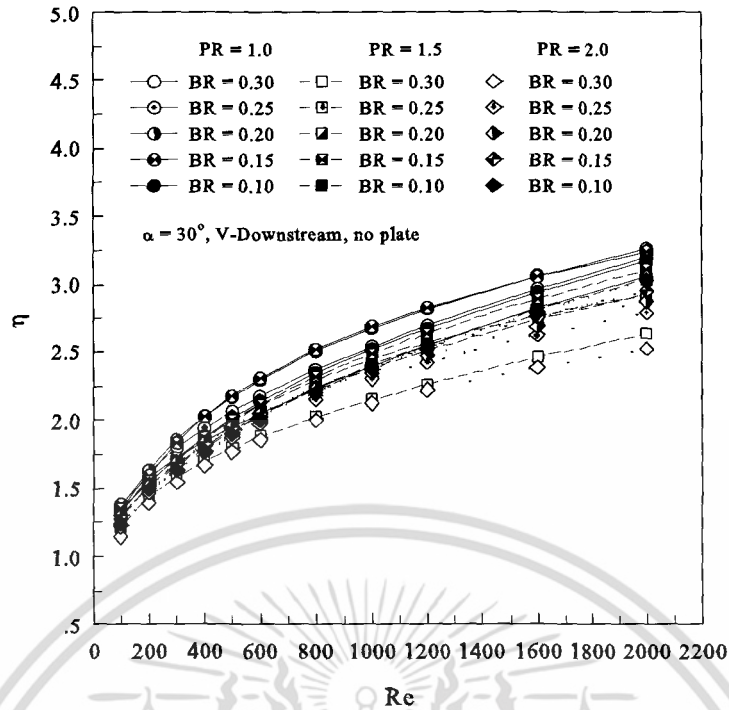
8.9.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของ η ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.93 และความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR ดังรูปที่ 8.94

รูปที่ 8.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ค่า η มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา โดยค่า η ที่มากที่สุดในแต่ละค่า PR มีค่าใกล้เคียงกันทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.93(ก) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.15$ สำหรับ $PR = 1.00$ และ 1.50 โดยมีค่าเท่ากับ 3.26 และ 3.10 สำหรับ $PR = 1.00$ และ 1.50 ตามลำดับ ส่วนที่ $PR = 2.00$ ค่า η ที่มากที่สุดเท่ากับ 3.03 ที่ $BR = 0.10$ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$ ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.93(ข) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.10$ สำหรับทุกค่า PR โดยมีค่าเท่ากับ 3.20, 3.25 และ 3.10 สำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

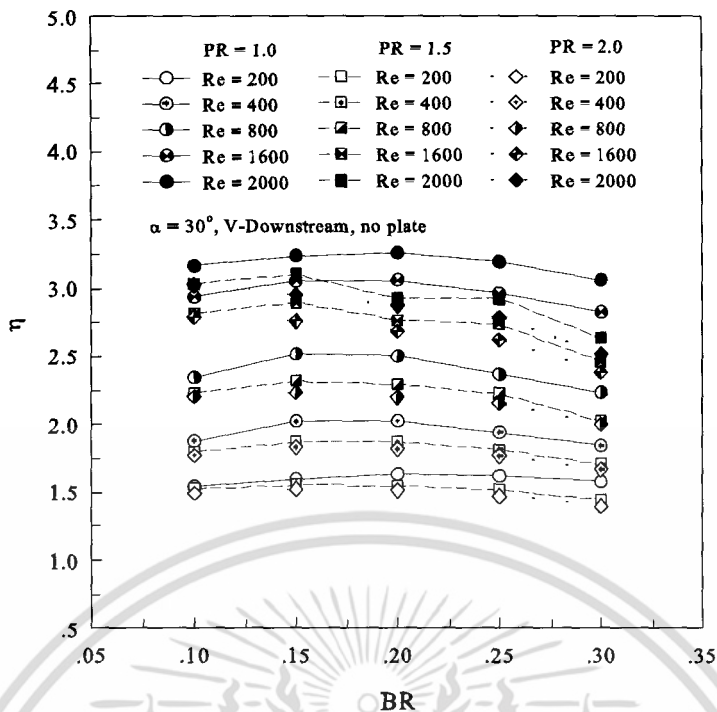
รูปที่ 8.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า แต่ละค่า BR มีค่า η ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ค่า PR สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าค่า η ที่มากที่สุดอยู่ในช่วงค่า $BR = 0.10-0.15$ และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า η กลับมีค่าลดลง



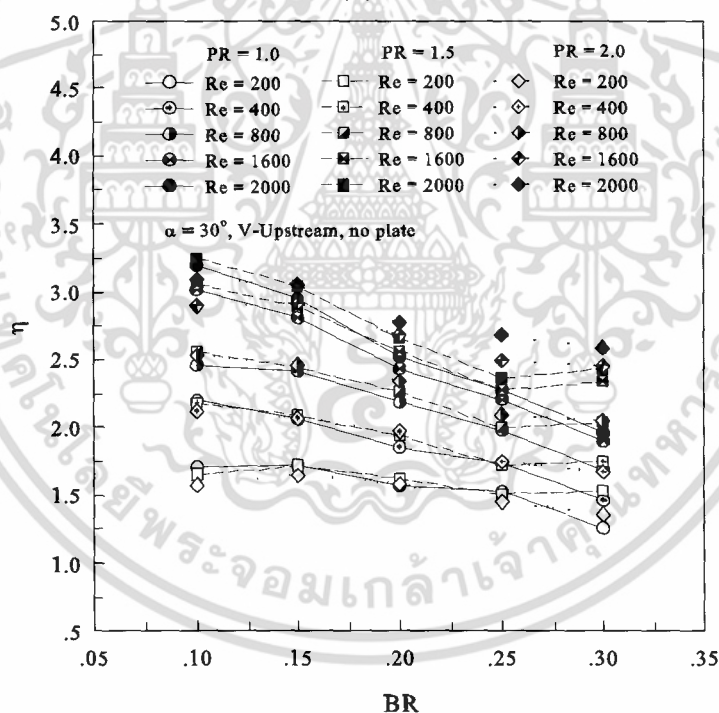
(ข)

รูปที่ 8.93 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.94 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.9.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง พบว่าความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่บริเวณผิวท่อ ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ผิวท่อกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อจะทำการเปรียบเทียบในหัวข้อ 8.12

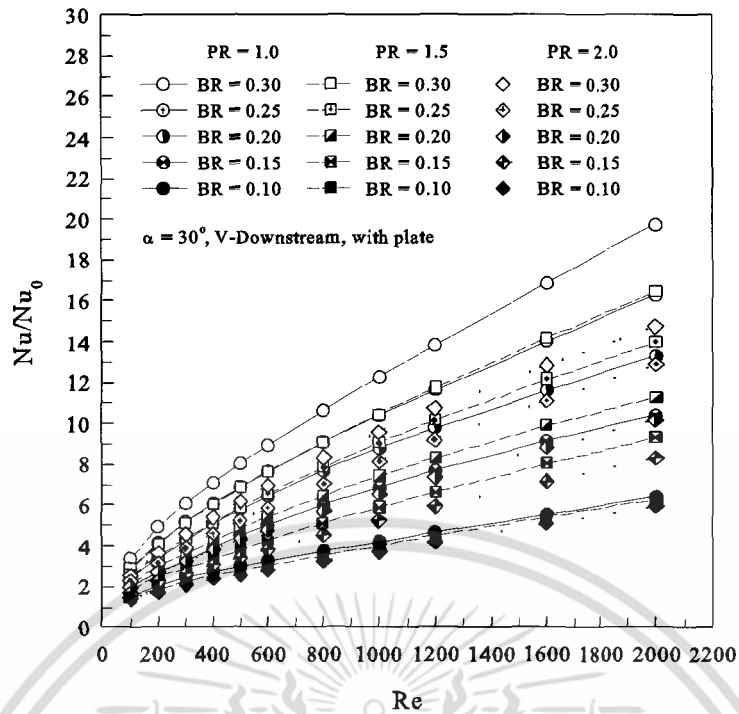
8.10 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง

อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีที่มีความสะดวกสบายมากกว่าติดตั้งที่ผิวท่อ สำหรับการติดตั้งในลักษณะนี้จะทำให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากกว่ากรณีติดตั้งที่ผิวท่อ ดังนั้นจึงทำการศึกษา โดยพิจารณาผลที่ได้จากการศึกษาและแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับ BR , ค่าความดันตกคร่อมนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ BR และส่วนสุดท้ายคือส่วนของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re และ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า η กับ BR

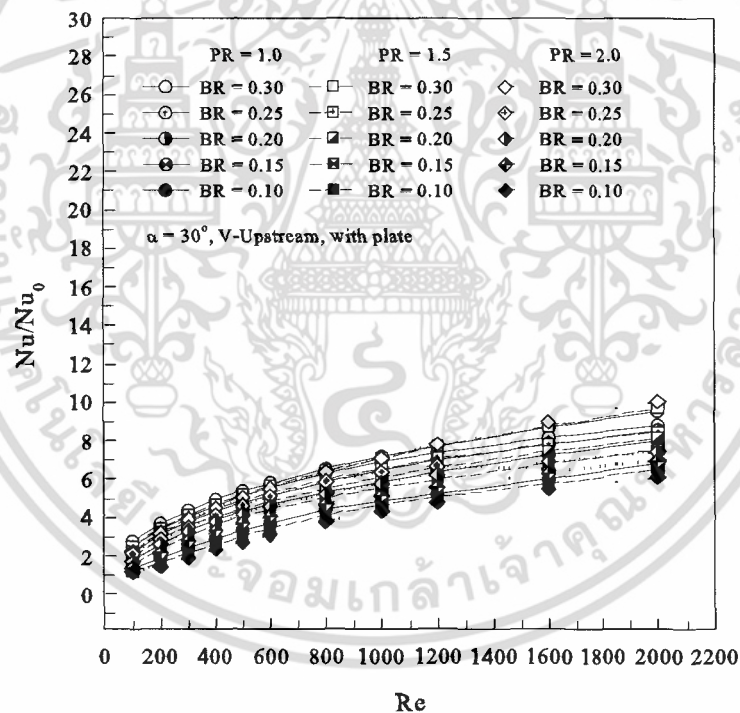
8.10.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.89 และความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.90

รูปที่ 8.95 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับสำหรับทุกกรณี เช่นเดียวกันกับกรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่พื้น เมื่อพิจารณาค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้นทำให้ Nu/Nu_0 มีค่าลดลง โดยที่ $PR = 1.00$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วน $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 ที่น้อยที่สุด สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าที่ค่า PR ต่าง ๆ ค่า Nu/Nu_0 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของอิทธิพลของค่า BR พบว่า เมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่า Nu/Nu_0 ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยพบว่าที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด เมื่อพิจารณาที่ค่า PR เดียวกัน สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าเมื่อค่า BR เพิ่มขึ้น ค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับอิทธิพลของทิศทางการไหล พบว่ากรณี V-Downstream ให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่ากรณี V-Upstream โดยเฉพาะที่ค่า $PR = 1.00$ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ากรณี V-Downstream จะให้ค่า Nu/Nu_0 มากกว่า V-Upstream ส่วนที่ $PR = 1.50$ และ 2.00 พบว่าค่า Nu/Nu_0 สำหรับกรณี V-Downstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Upstream เล็กน้อย



(ก)



(ข)

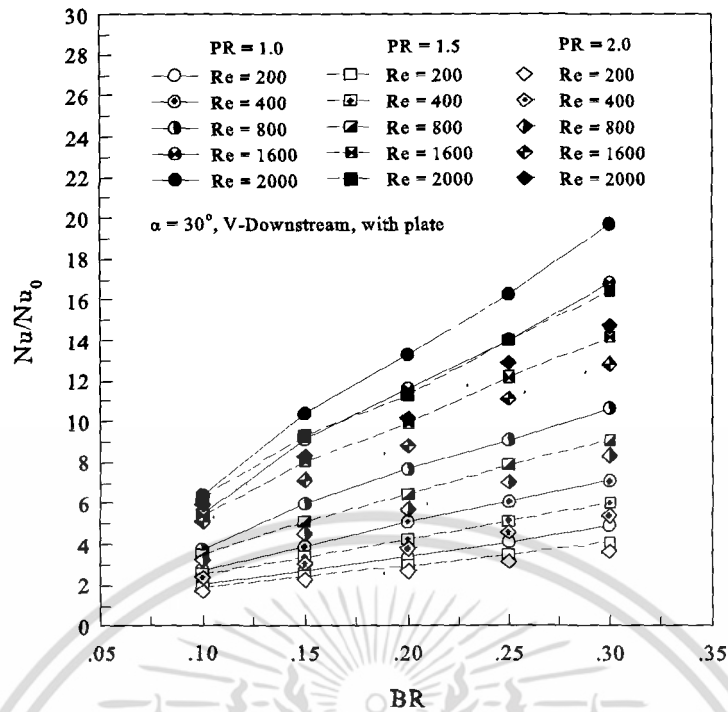
รูปที่ 8.95 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.95(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.57-6.43, 2.05-10.41, 2.48-13.31, 2.89-16.29 และ 3.39-19.73, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

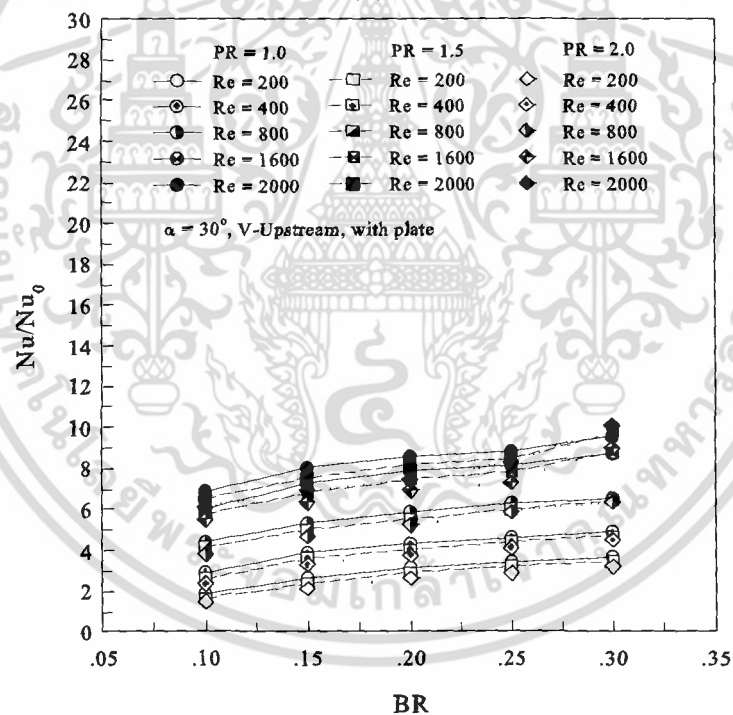
ค่าเท่ากับ 1.50–6.32, 1.84–9.31, 2.22–11.31, 2.56–14.01 และ 2.90–16.45, ที่ $PR = 2.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.44–5.97, 1.70–8.33, 2.01–10.21, 2.29–12.90 และ 2.55–14.74 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.95(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.33–6.89, 1.78–8.05, 2.21–8.58, 2.51–8.83 และ 2.78–9.57, ที่ $PR = 1.50$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.24–6.55, 1.56–7.57, 1.95–8.18, 2.24–8.47 และ 2.54–9.71, ที่ $PR = 2.00$ ค่า Nu/Nu_0 มีค่าเท่ากับ 1.20–6.13, 1.41–6.98, 1.72–7.45, 2.15–5.40 และ 2.27–10.08 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

รูปที่ 8.96 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณี V-Downstream จะมีค่ามากกว่า V-Upstream โดยพบว่ากรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.96(ก) มีอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 ในช่วงแต่ละ BR จะมีอัตราใกล้เคียงกัน สำหรับทุก ๆ ค่า PR ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.96(ข) พบว่าอัตราการเพิ่มของค่า Nu/Nu_0 เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นมีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับทุก ๆ ค่า PR



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.96 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

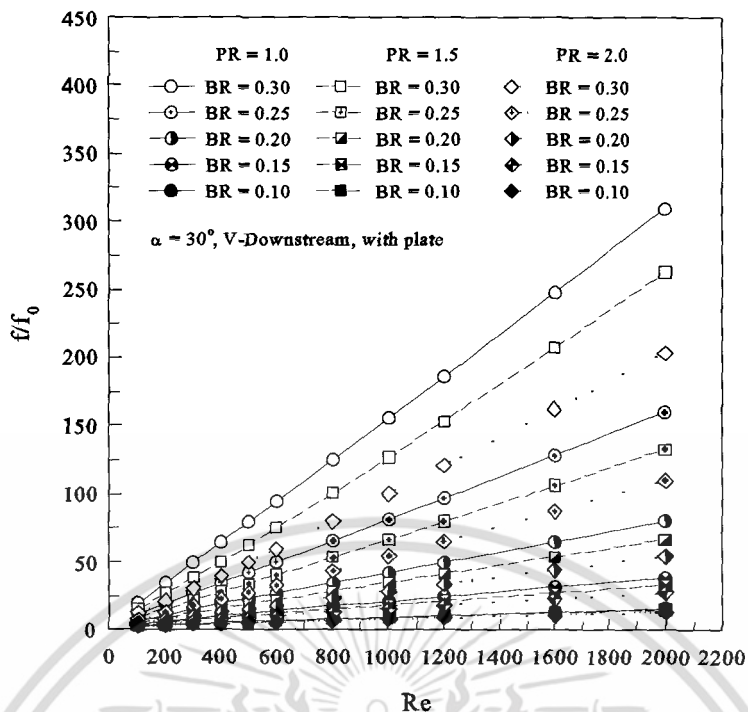
8.10.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง f ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า f_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.97 และความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ BR ดังรูปที่ 8.98

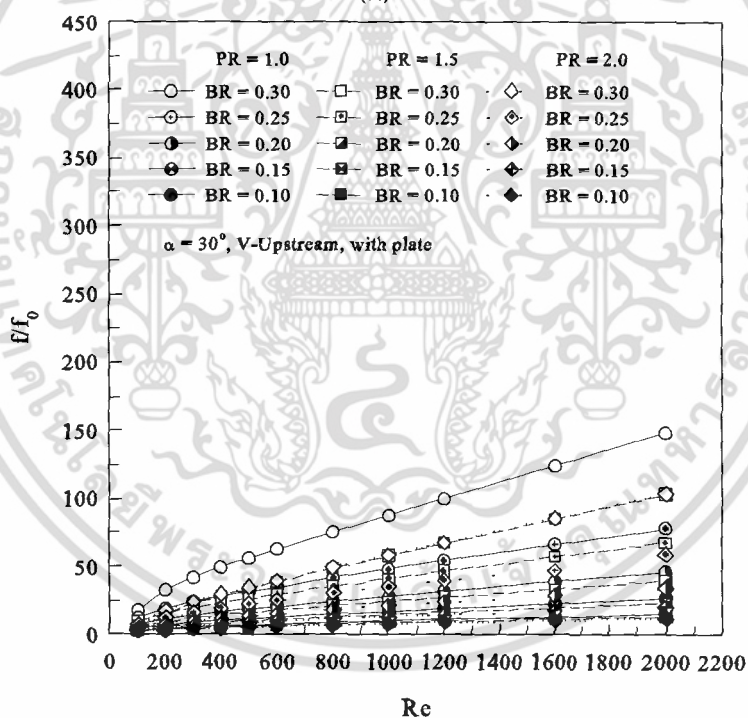
รูปที่ 8.97 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นค่า ff_0 จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับทุก ๆ กรณี โดยพบว่าค่า ff_0 สำหรับกรณี V-Upstream ให้ค่ามากกว่ากรณี V-Downstream เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่า PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า ff_0 มีค่าลดลง ที่ $PR = 1.00$ จะให้ค่า ff_0 มากที่สุดและที่ค่า $PR = 2.00$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ส่วนอิทธิพลของค่า BR พบว่าที่ค่า PR เดียวกัน เมื่อ BR มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า ff_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ที่ $BR = 0.30$ ให้ค่า ff_0 มากที่สุด ส่วนที่ $BR = 0.10$ จะให้ค่า ff_0 น้อยที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.97(ก) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.41–16.07, 4.76–38.68, 7.25–80.48, 11.72–160.12 และ 19.93–309.78, ที่ $PR = 1.50$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.23–15.12, 4.24–33.29, 6.10–66.98, 9.42–132.95 และ 15.46–262.72, ที่ $PR = 2.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.09–13.14, 3.87–27.93, 5.31–54.51, 7.87–110.21 และ 12.53–203.81 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.97(ข) พบว่า ที่ $PR = 1.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.60–15.52, 5.20–27.36, 8.00–46.51, 12.88–78.46 และ 18.24–148.60, ที่ $PR = 1.50$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.28–13.77, 4.41–23.47, 6.46–39.98, 9.99–67.92 และ 2.54–103.79, ที่ $PR = 2.00$ ค่า ff_0 มีค่าเท่ากับ 3.11–12.30, 3.95–20.46, 5.50–34.18, 8.20–59.36 และ 7.92–104.06 สำหรับ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



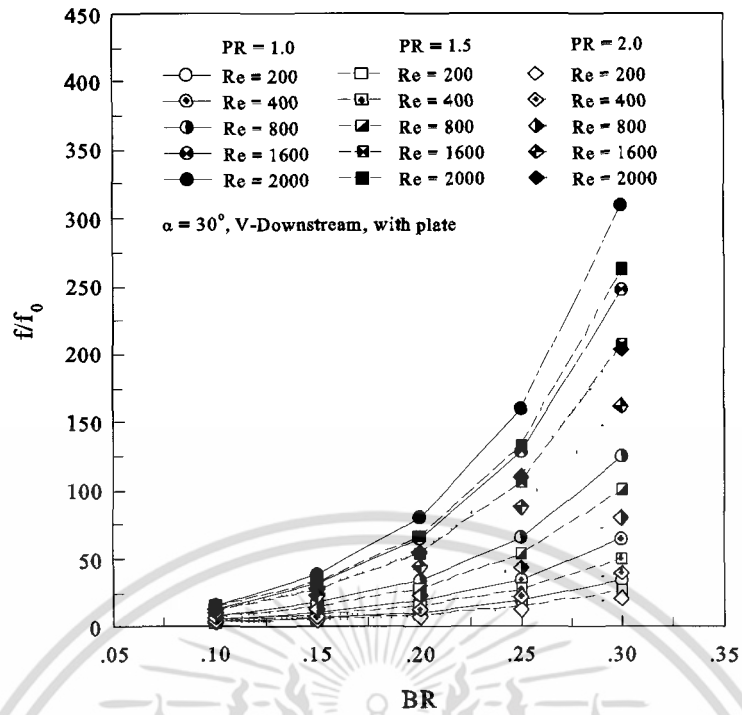
(ก)



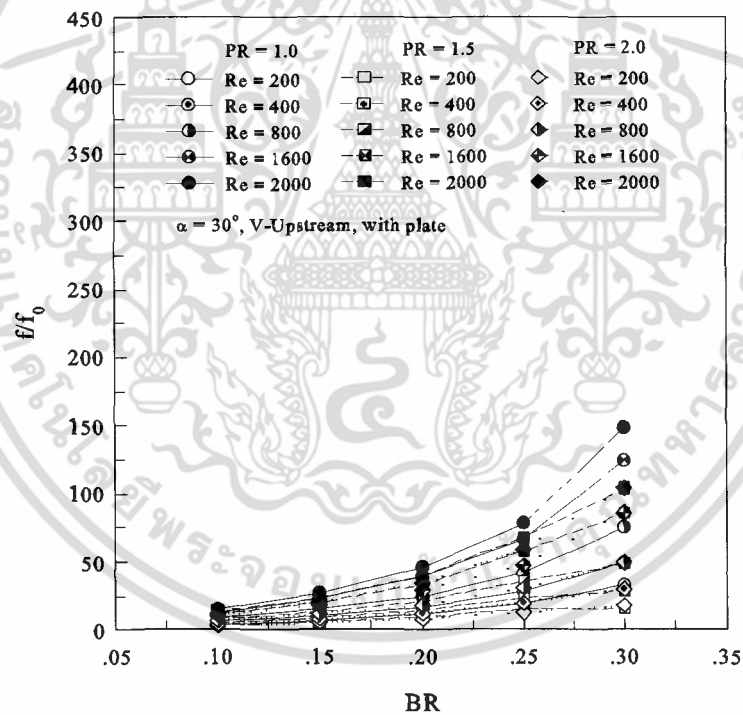
(ข)

รูปที่ 8.97 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.98 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.98 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ค่า ff_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา โดยพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 ในช่วง $BR = 0.20-0.30$ จะมีค่ามากที่สุด โดยเฉพาะในช่วงที่ค่า BR มากกว่า 0.25 ซึ่งมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของ ff_0 ที่มีค่ามากที่สุด ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า ff_0 สำหรับกรณี V-Upstream จะให้ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นที่มากกว่า V-Downstream เล็กน้อย

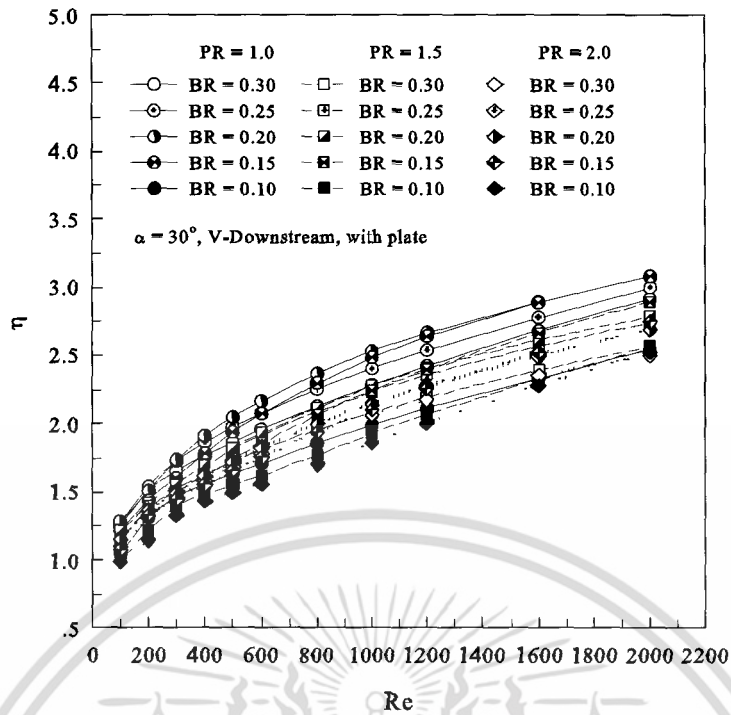
8.10.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของ η ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.99 และความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR ดังรูปที่ 8.100

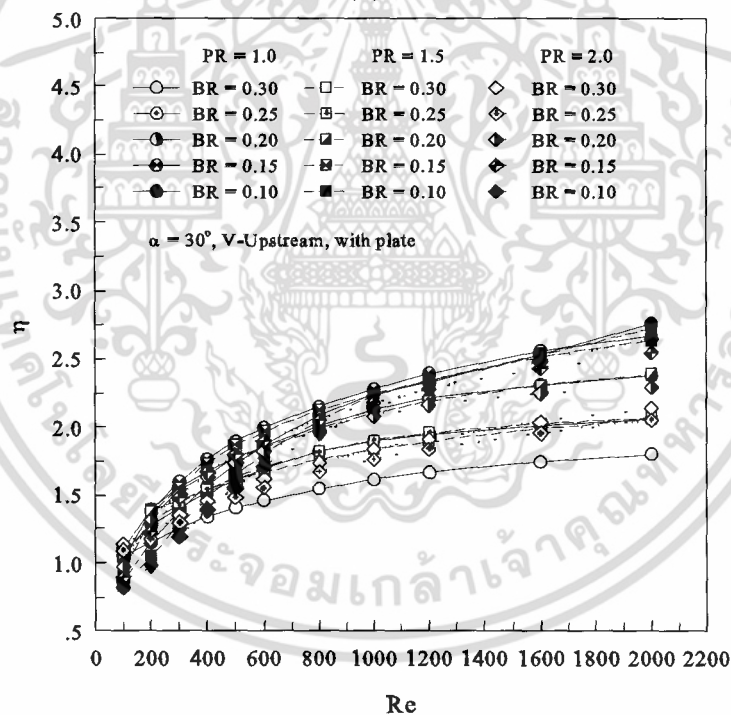
รูปที่ 8.99 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ค่า η มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา โดยค่า η ที่มากที่สุดในแต่ละค่า PR มีค่าใกล้เคียงกันทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream

กรณี V-Downstream แสดงดังรูปที่ 8.99(ก) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.15$ สำหรับทุกค่า PR โดยมีค่าเท่ากับ 3.08, 2.89 และ 2.75 สำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$ ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูปที่ 8.99(ข) พบว่า ค่า η ที่มากที่สุด ได้จาก $BR = 0.10$ สำหรับทุกค่า PR โดยมีค่าเท่ากับ 2.76, 2.73 และ 2.67 สำหรับ $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$

รูปที่ 8.100 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$ ที่ PR และ BR ต่าง ๆ สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า ที่ $BR = 0.15-0.20$ มีค่า η มากที่สุดในทุก ๆ ค่า PR สำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าค่า η ที่มากที่สุดอยู่ในช่วงค่า $BR = 0.10-0.15$ และเมื่อค่า BR มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่า η กลับมีค่าลดลง



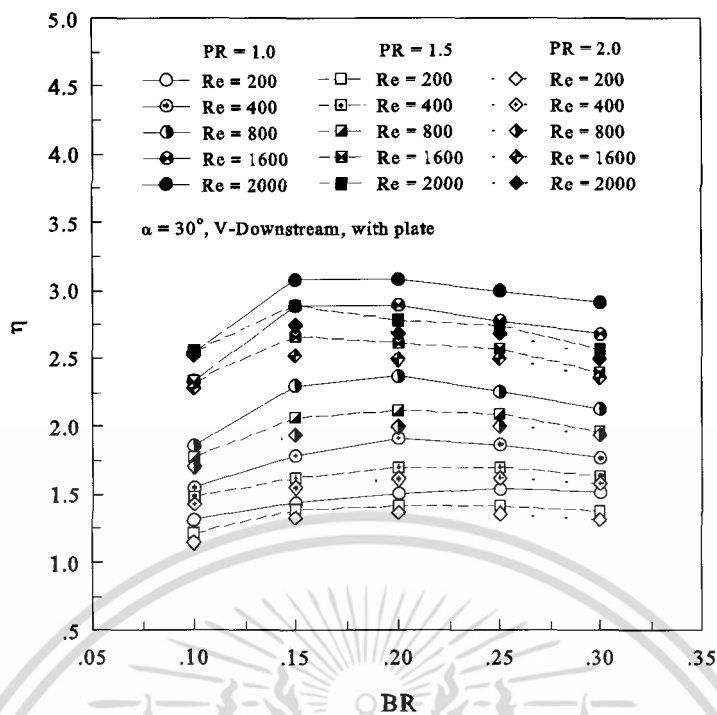
(ก)



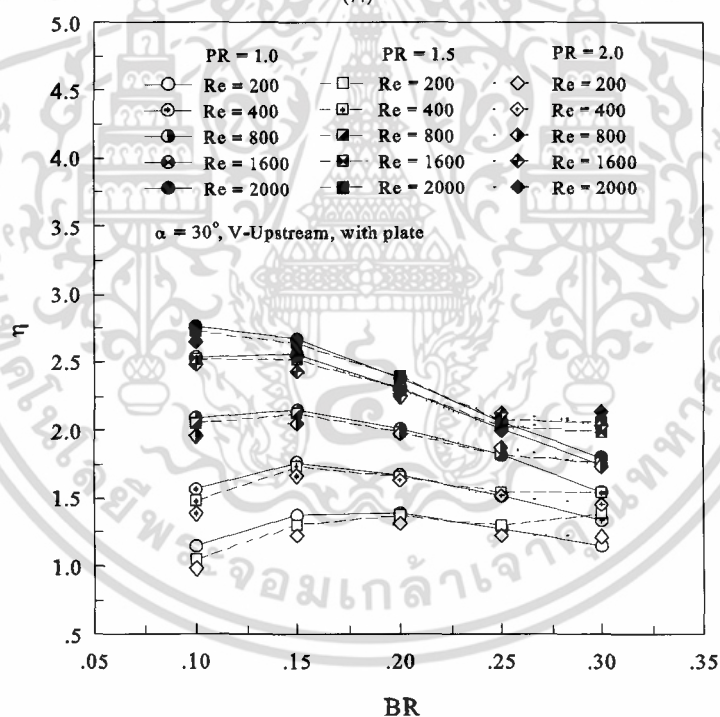
(ข)

รูปที่ 8.99 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$, 1.50 และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.100 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ BR กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00, 1.50$ และ 2.00 และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.10.4 สรุป

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกั้นตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง พบว่าความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่บริเวณผิวท่อ ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ผิวท่อกับแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อจะทำการเปรียบเทียบในหัวข้อ 8.12

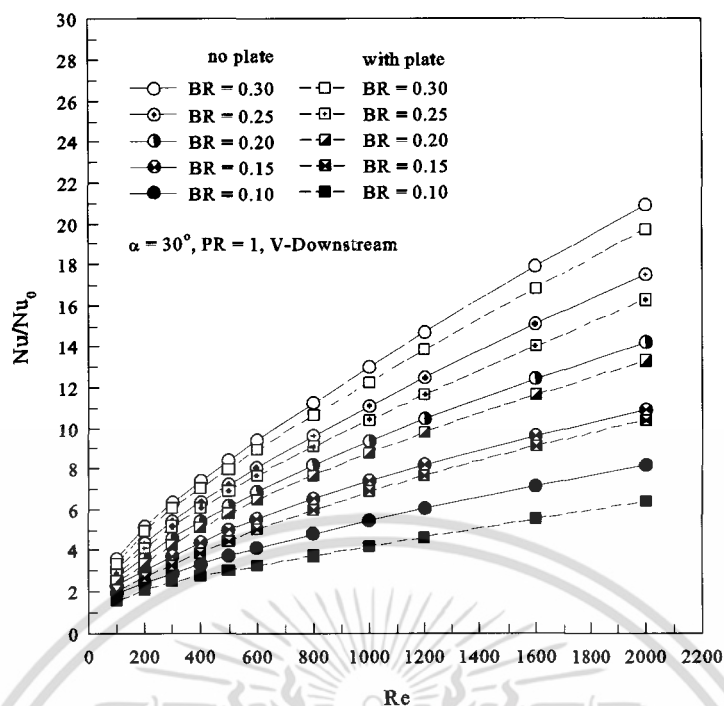
8.11 เปรียบเทียบแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง

การเปรียบเทียบอิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง ทั้งในส่วนค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

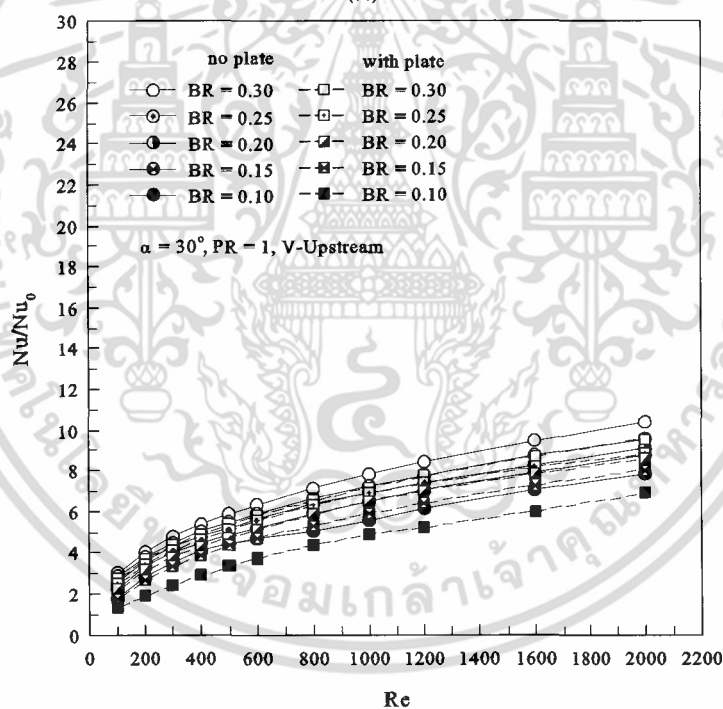
8.11.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.101

รูปที่ 8.101 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.101(ก) ค่า Nu/Nu_0 แบบไม่มีแผ่นกลางจะมีค่ามากกว่าแบบมีแผ่นกลาง โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 16.09–30.09%, 4.86–14.02%, 6.21–8.48%, 4.54–7.62% และ 4.43–6.33% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.101(ข) ค่า Nu/Nu_0 แบบไม่มีแผ่นกลางจะมีค่ามากกว่าแบบมีแผ่นกลาง โดยมีค่ามากกว่าเท่ากับ 14.06–48.68%, 8.75–28.47%, 5.71–17.40%, 4.93–14.87% และ 8.67–9.65% ที่ $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.101 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

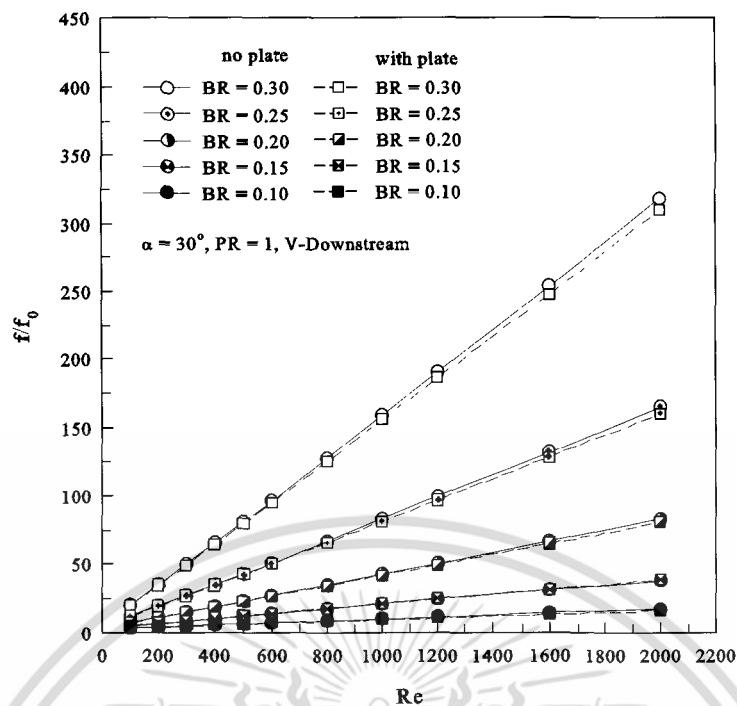
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.11.2 ความดันตกคร่อม

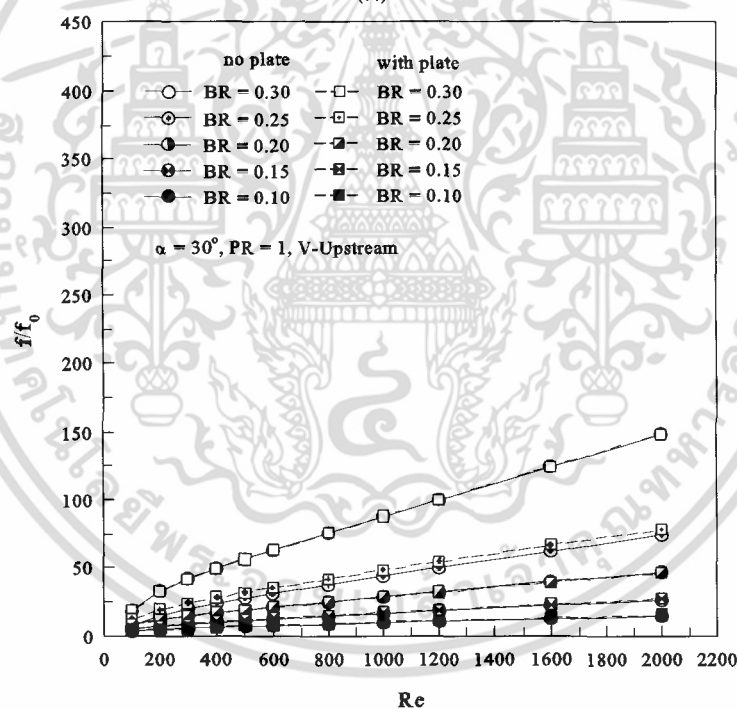
ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำการเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.102

รูปที่ 8.102 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream พบว่า ทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า ff_0 กรณีมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความแตกต่างไม่เกิน 4%





(ก)



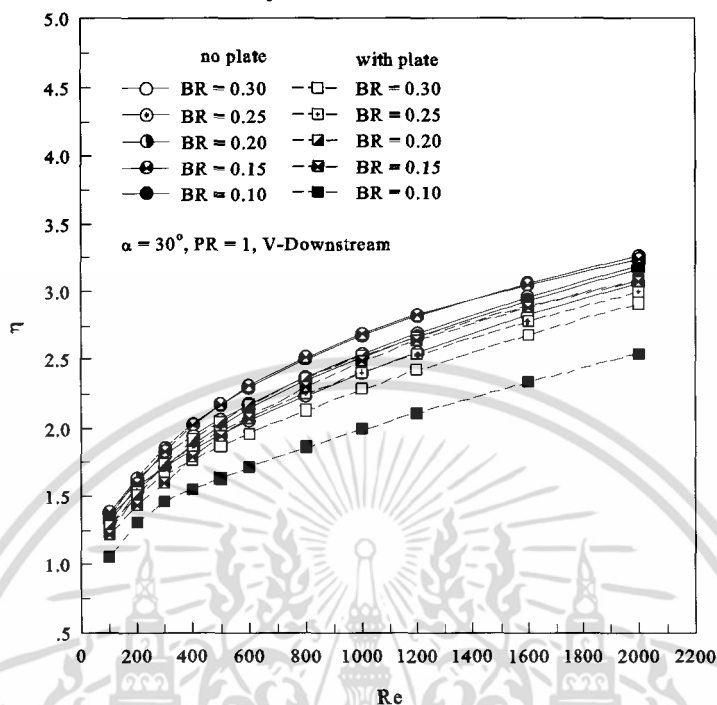
(ข)

รูปที่ 8.102 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

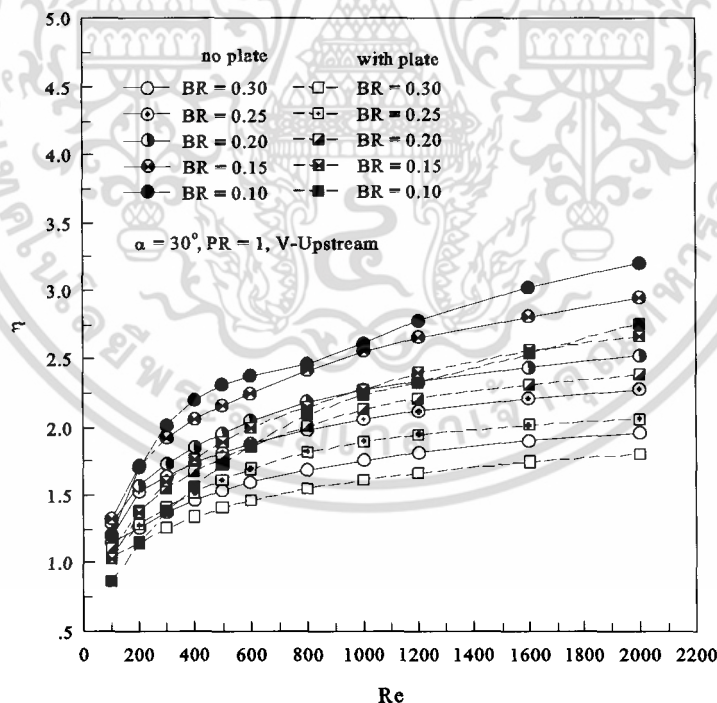
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.11.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปแบบของความสัมพัทธ์ระหว่างระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.103



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.103 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.103 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่าทั้งกรณี V-Downstream และ V-Upstream ค่า η กรณีไม่มีแผ่นกลางจะมีค่ามากกว่ากรณีมีแผ่นกลาง สำหรับกรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.103(ก) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.26 ที่ $BR = 0.20$ สำหรับกรณีไม่มีแผ่นกลาง และมีค่าเท่ากับ 3.08 ที่ $BR = 0.15$ และ 0.20 สำหรับกรณีมีแผ่นกลาง เมื่อพิจารณาที่ค่า $Re = 2000$ ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.103(ข) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.20 ที่ $BR = 0.10$ สำหรับกรณีไม่มีแผ่นกลาง และมีค่าเท่ากับ 2.76 ที่ $BR = 0.10$ สำหรับกรณีมีแผ่นกลาง

8.11.4 สรุป

ผลจากการศึกษาการเปรียบเทียบแผ่นกั้นตัวติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง พบว่าแผ่นกั้นตัวแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัวแบบมีแผ่นกลาง ส่วนค่า ff_0 ของทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่า η พบว่ากรณีแผ่นกั้นตัวแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่ามากกว่ากรณีแผ่นกั้นตัวแบบมีแผ่นกลาง เนื่องจากค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากกว่า ในขณะที่ค่าความดันตกคร่อมมีค่าใกล้เคียงกัน

8.12 เปรียบเทียบแผ่นกั้นตัวมุมปะทะ 30°

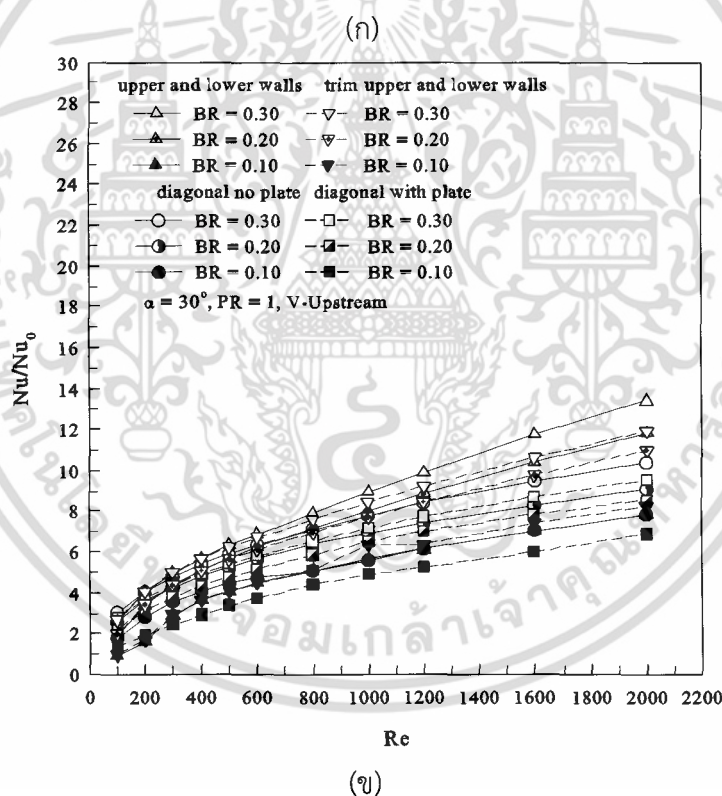
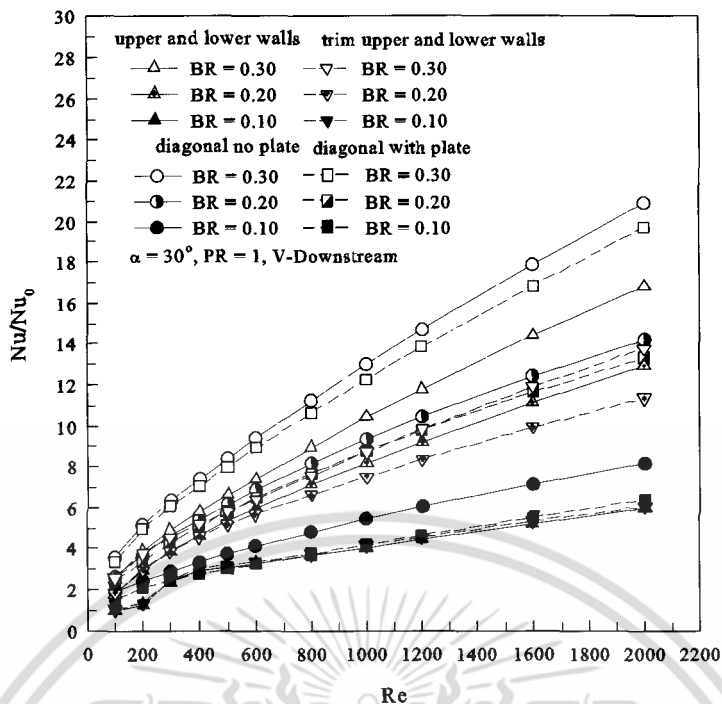
ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน สำหรับแผ่นกั้นตัวในลักษณะต่าง ๆ ประกอบด้วย

- กรณีที่ 1 แผ่นกั้นตัวที่มีการติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อแบบไม่ตัดขอบ
- กรณีที่ 2 แผ่นกั้นตัวที่มีการติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อแบบตัดขอบ
- กรณีที่ 3 แผ่นกั้นตัวที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลาง
- กรณีที่ 4 แผ่นกั้นตัวที่มีการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบไม่มีแผ่นกลาง

โดยทุกกรณีจะทำการเปรียบเทียบที่ $PR = 1.00$, $BR = 0.10$, 0.20 และ 0.30 สำหรับการจัดวางแบบ In-line โดยนำเสนอทั้งทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream

8.12.1 การถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาในรูปของอัตราส่วนระหว่าง Nu ของท่อที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นตัวต่อค่า Nu_0 ที่ได้จากท่อเปล่า แสดงรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re ดังรูปที่ 8.104



รูปที่ 8.104 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.104 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.104(ก) ที่ $BR = 0.10$ ค่า Nu/Nu_0 กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่ามากที่สุด ส่วนกรณีอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน, ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่ามากที่สุด ส่วนกรณีที่แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากเป็นอันดับที่ 2 ส่วนกรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบจะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด

ที่ $BR = 0.20$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลาง, แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 6.21–8.48%, 10.01–47.48% และ 17.97–42.12% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 2.92–37.48% และ 11.07–32.48% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 0.02–5.50%

ที่ $BR = 0.30$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลาง, แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 4.43–6.33%, 24.16–39.85% และ 37.75–51.51% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 16.78–31.74% และ 31.44–42.91% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 3.58–22.03%

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.104(ข) ที่ $BR = 0.10$ ค่า Nu/Nu_0 ทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อมีค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด ส่วนกรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีค่า Nu/Nu_0 มากเป็นอันดับที่ 2 และกรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางจะมีค่า Nu/Nu_0 น้อยที่สุด

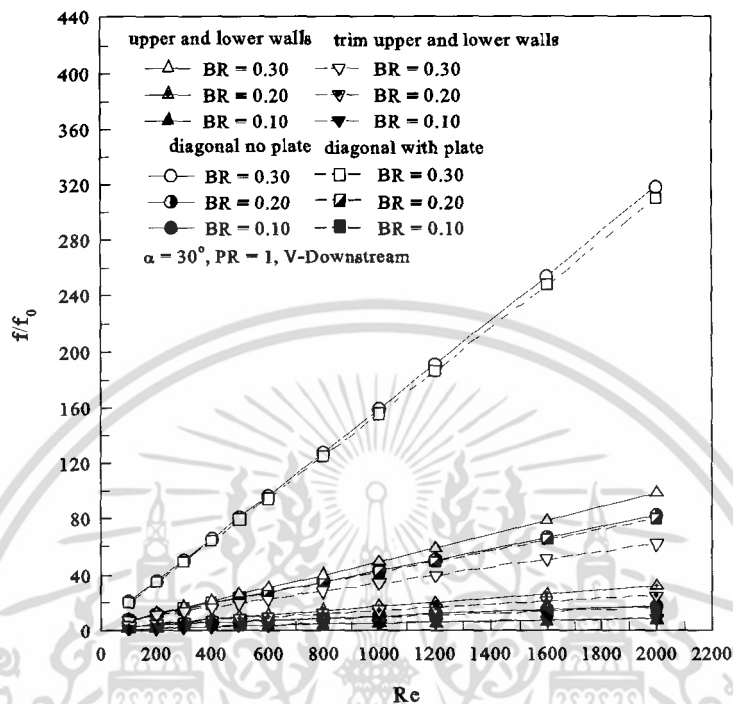
ที่ $BR = 0.20$ กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังที่มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ, แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 0.52–7.53%, 2.69–29.82% และ 7.62–37.87% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 2.89–20.72% และ 8.70–28.22% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 5.71–17.40%

ที่ $BR = 0.30$ กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังที่มีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ, แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 0.50–12.49%, 3.54–29.10% และ 8.94–40.29% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 0.82–14.77% และ 10.32–24.72% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า Nu/Nu_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลางเท่ากับ 8.67–9.65%

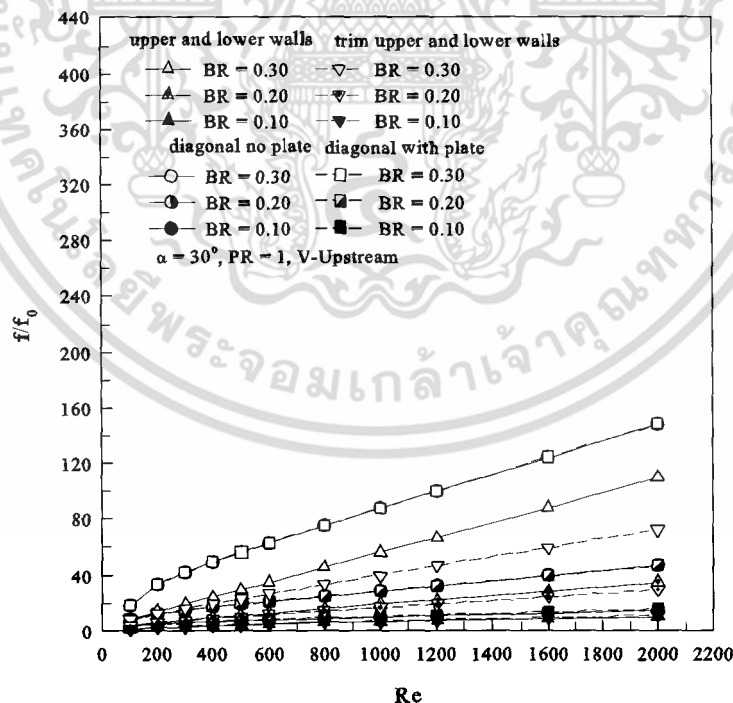
8.12.2 ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการพิจารณาค่าความดันตกคร่อมจะนำเสนอในรูปของค่า f ที่ได้จากกรณีที่ทำกรเพิ่มแผ่นกั้นตัววีกับ f_0 ของท่อเปล่า แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง ff_0 กับ Re ดังรูปที่

8.105



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.105 ความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 8.105 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ff_0 กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.105(ก) ที่ $BR = 0.10$ ค่า ff_0 สำหรับทุก ๆ กรณีมีค่าใกล้เคียงกัน, ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่ามากที่สุด ส่วนกรณีที่แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า ff_0 มากเป็นอันดับที่ 2 ส่วนกรณีที่แผ่นกั้นตัววีตัดขอบจะมีค่า ff_0 น้อยที่สุด

ที่ $BR = 0.20$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า ff_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลาง, แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 0.41–3.16%, 134.06–170.09% และ 135.93–233.27% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 133.03–166.93% และ 134.90–223.07% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 0.80–28.57%

ที่ $BR = 0.30$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางมีค่า ff_0 มากกว่าแบบมีแผ่นกลาง, แผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 1.98–2.74%, 176.47–221.35% และ 188.30–408.70% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบมีแผ่นกลางมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 170.09–213.92% และ 181.65–395.12% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 4.28–58.30%

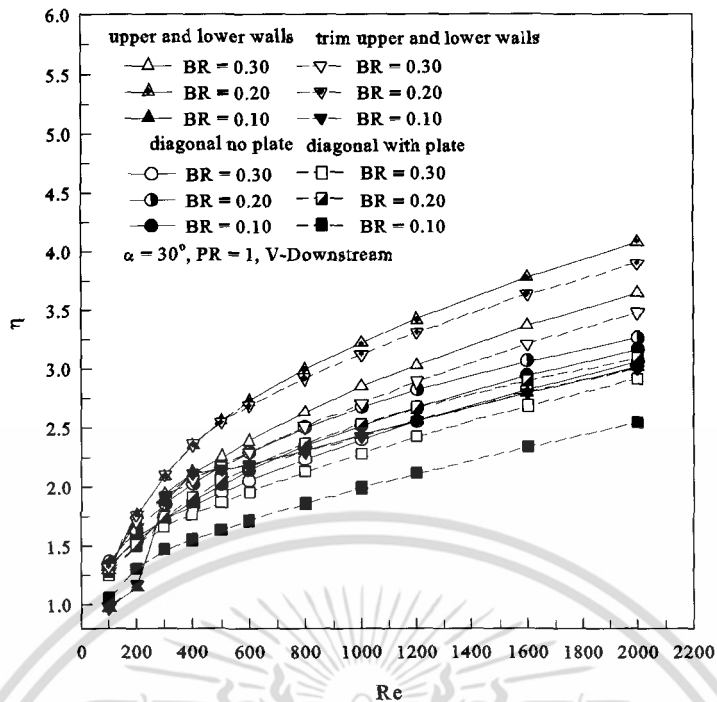
ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.105(ข) ที่ $BR = 0.10$ ค่า ff_0 ทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกัน ที่ $BR = 0.20$ และ 0.30 กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางมีค่า ff_0 ใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดของติดตั้งที่ผนังท่อ ส่วนแผ่นกั้นตัววีตัดขอบมีค่า ff_0 น้อยที่สุด

ที่ $BR = 0.20$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 34.04–151.00% และ 60.02–148.73% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 2.10–19.37%

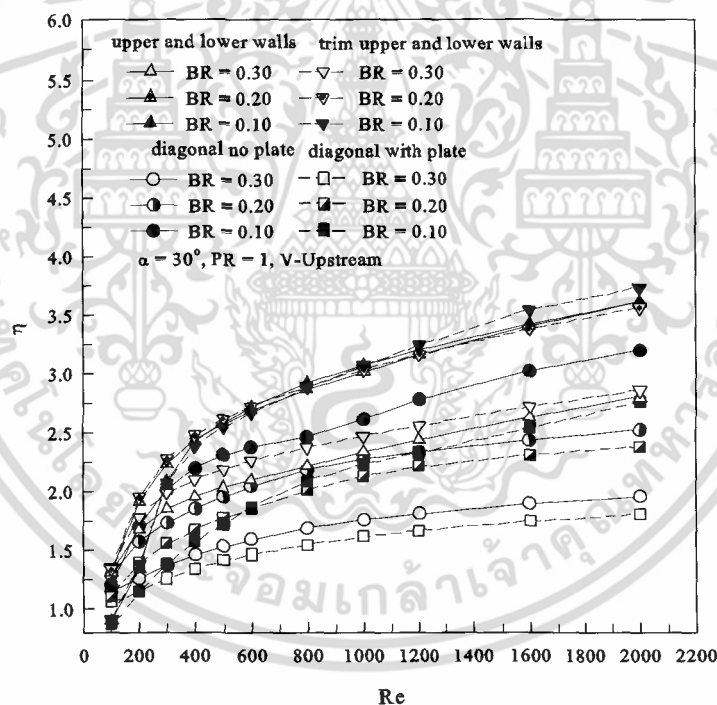
ที่ $BR = 0.30$ กรณีแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อและแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 35.09–140.80% และ 104.95–176.61% ตามลำดับ, กรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบมีค่า ff_0 มากกว่าแผ่นกั้นตัววีตัดขอบเท่ากับ 6.60–51.71%

8.12.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ในส่วนของการพิจารณาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะนำเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระหว่าง η กับ Re ดังรูปที่ 8.106



(ก)



(ข)

รูปที่ 8.106 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ (ก) V-Downstream และ (ข) V-Upstream

รูปที่ 8.106 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re กรณีแผ่นกั้นตัววีแบบต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$, $PR = 1.00$ และ In-line สำหรับ V-Downstream และ V-Upstream พบว่า กรณี V-Downstream แสดงดังรูป 8.106(ก) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.07, 3.90, 3.26 และ 3.08 ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$BR = 0.20$ สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ, แผ่นกั้นตัววีตัดขอบ, แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลาง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

ส่วนกรณี V-Upstream แสดงดังรูป 8.106(ข) ค่า η ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.74, 3.61, 3.20 และ 2.76 ที่ $BR = 0.10$ สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบ, แผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ, แผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางและแบบมีแผ่นกลาง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ $Re = 2000$

8.12.4 สรุป

ผลจากการศึกษาการเปรียบเทียบแผ่นกั้นตัววีกรณีต่าง ๆ ที่ $\alpha = 30^\circ$ พบว่ากรณี V-Downstream ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม สำหรับกรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นจะมีค่ามากที่สุด ส่วนแบบไม่มีแผ่นจะมีค่ามากเป็นอันดับที่ 2 และพบว่าแผ่นกั้นตัววีแบบไม่ตัดขอบจะมีค่ามากกว่าแผ่นกั้นตัววีแบบตัดขอบ ส่วนกรณี V-Upstream ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดจะได้จากกรณี แผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบติดตั้งที่ผนังท่อ ส่วนกรณีแผ่นกั้นตัววีตัดขอบจะมีค่ามากเป็นอันดับที่ 2 และพบว่าแผ่นกั้นตัววีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมแบบไม่มีแผ่นกลางให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากกว่าแบบมีแผ่นกลาง ในส่วนของค่าความดันตกคร่อม พบว่าการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีติดตั้งที่ผนังท่อ และพบว่าแผ่นกั้นไม่ตัดขอบให้ค่าความดันตกคร่อมมากกว่าแบบตัดขอบ ส่วนค่า η กรณี V-Downstream แผ่นกั้นตัววีที่ติดตั้งที่ผิวท่อจะมีค่ามากที่สุด โดยเฉพาะแผ่นกั้นตัววีไม่ตัดขอบที่ $BR=0.20$ ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าแผ่นกั้นตัววีที่ตัดขอบมีค่ามากกว่าไม่ตัดขอบเล็กน้อย ที่ $BR=0.10$

8.13 การสร้างสมการสัมพันธ์ตัววีเรกสชันเส้นตรงแบบหลายตัวแปร

โดยทั่วไปตัวแปรตามแต่ละตัวหรือผลตอบสนอง (Response;Y) จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ n (independent หรือ Regressor variable) เช่น x_1, x_2, \dots, x_n เป็นต้น ความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ สามารถอธิบายโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า “สมการรีเกรสชัน” (สมการถดถอย; Regression equation) แบบจำลองรีเกรสชันจะสอดคล้องกับกลุ่มของข้อมูลของตัวอย่างบางกรณีผู้ทดสอบทราบถึงฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปร จึงต้องมีการประมาณค่าของฟังก์ชันเพื่อประมาณค่า โดยในการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นเครื่องมือในการหาฟังก์ชันดังกล่าว

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในรูปของ Nu/Nu_0 มีตัวแปรอิสระที่น่าสนใจศึกษามากกว่า 1 ตัวแปร เช่น Re, Pr, BR, PR และ α แบบจำลองที่ไปที่ใช้จะอยู่ในรูปของ Multiple Exponential Regression Model ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$Y = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \dots x_n^{b_n} \quad (8.1)$$

ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูป Multiple Linear Regress in Logarithmic Scale คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln(Y) = \ln b_0 + b_1 \ln(x_1) + b_2 \ln(x_2) + b_3 \ln(x_3) \dots + b_n \ln(x_n) \quad (8.2)$$

เมื่อ b_0 = ค่าคงที่

b_i = ค่าสัมประสิทธิ์หรือพารามิเตอร์ของเส้นตรงของตัวแปร x_i

8.13.1 แผ่นกั้นตัววัดที่ตั้งที่ผนังท่อ

ความสัมพันธ์ของ Nu/Nu_0 และ f/f_0 กับ Re , BR , PR , Pr และ α ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามาเป็นสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยมีช่วงการใช้งานคือ $Re = 100-2000$, $\alpha = 20^\circ-45^\circ$, $BR = 0.10-0.30$, $PR = 1.00-2.00$ สำหรับการจัดวางแบบ In-line และทำการแยกสมการออกเป็นสมการสำหรับการไหลแบบ V-Downstream และสมการสำหรับการไหลแบบ V-Upstream สมการสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ส่วน $\alpha = 60^\circ$ ไม่ได้ทำการนำเสนอสมการสหสัมพันธ์ เนื่องจากกรณีมุมปะทะนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในช่วงการไหลและค่าพารามิเตอร์นี้

$$Nu / Nu_0 = 0.047 Re^{0.626} Pr^{0.4} (BR + 1)^{4.876} (PR + 1)^{-0.395} (1 + \tan \alpha)^{0.492} \quad (8.3)$$

$$f / f_0 = 0.006 Re^{0.770} (BR + 1)^{12.552} (PR + 1)^{-1.064} (1 + \tan \alpha)^{2.158} \quad (8.4)$$

สมการที่ 8.3 และ 8.4 สำหรับกรณี V-Downstream

$$Nu / Nu_0 = 0.068 Re^{0.634} Pr^{0.4} (BR + 1)^{3.297} (PR + 1)^{-0.405} (1 + \tan \alpha)^{0.334} \quad (8.5)$$

$$f / f_0 = 0.008 Re^{0.791} (BR + 1)^{12.032} (PR + 1)^{-1.103} (1 + \tan \alpha)^{1.831} \quad (8.6)$$

สมการที่ 8.5 และ 8.6 สำหรับกรณี V-Upstream

8.13.2 แผ่นกั้นตัววัดที่ตั้งที่ผนังท่อแบบตัดขอบ

ความสัมพันธ์ของ Nu/Nu_0 และ f/f_0 กับ Re , BR , PR และ Pr ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามาเป็นสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยมีช่วงการใช้งานคือ $Re = 100-2000$, $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.10-0.30$, $PR = 1.00-2.00$ สำหรับการจัดวางแบบ In-line และทำการแยกสมการออกเป็นสมการสำหรับการไหลแบบ V-Downstream และสมการสำหรับการไหลแบบ V-Upstream สมการสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$

$$Nu / Nu_0 = 0.090 Re^{0.588} Pr^{0.4} (BR + 1)^{3.835} (PR + 1)^{-0.375} \quad (8.7)$$

$$f / f_0 = 0.029 Re^{0.704} (BR + 1)^{10.533} (PR + 1)^{-0.895} \quad (8.8)$$

สมการที่ 8.7 และ 8.8 สำหรับกรณี V-Downstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu / Nu_0 = 0.129 Re^{0.588} Pr^{0.4} (BR + 1)^{2.572} (PR + 1)^{-0.441} \quad (8.9)$$

$$f / f_0 = 0.032 Re^{0.738} (BR + 1)^{10.094} (PR + 1)^{-0.971} \quad (8.10)$$

สมการที่ 8.9 และ 8.10 สำหรับกรณี V-Upstream

8.13.3 แผ่นกั้นตัววัดติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อ

ความสัมพันธ์ของ Nu/Nu_0 และ ff_0 กับ Re , BR , PR และ Pr ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามาเป็นสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ได้ โดยมีช่วงการใช้งานคือ $Re = 100-2000$, $\alpha = 30^\circ$, $BR = 0.10-0.30$, $PR = 1.00-2.00$ สำหรับการจัดวางแบบ In-line และทำการแยกสมการออกเป็นสมการสำหรับการไหลแบบ V-Downstream และสมการสำหรับการไหลแบบ V-Upstream โดยแบ่งการติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อเป็น 2 กรณี คือ แบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง สมการสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$

$$Nu / Nu_0 = 0.147 Re^{0.550} Pr^{0.4} (BR + 1)^{4.513} (PR + 1)^{-0.538} \quad (8.11)$$

$$f / f_0 = 0.020 Re^{0.806} (BR + 1)^{14.816} (PR + 1)^{-0.875} \quad (8.12)$$

สมการที่ 8.11 และ 8.12 สำหรับกรณี V-Downstream แบบไม่มีแผ่นกลาง

$$Nu / Nu_0 = 0.243 Re^{0.462} Pr^{0.4} (BR + 1)^{2.319} (PR + 1)^{-0.148} \quad (8.13)$$

$$f / f_0 = 0.073 Re^{0.647} (BR + 1)^{11.457} (PR + 1)^{-0.779} \quad (8.14)$$

สมการที่ 8.13 และ 8.14 สำหรับกรณี V-Upstream แบบไม่มีแผ่นกลาง

$$Nu / Nu_0 = 0.117 Re^{0.551} Pr^{0.4} (BR + 1)^{5.347} (PR + 1)^{-0.576} \quad (8.15)$$

$$f / f_0 = 0.026 Re^{0.777} (BR + 1)^{14.344} (PR + 1)^{-0.841} \quad (8.16)$$

สมการที่ 8.15 และ 8.16 สำหรับกรณี V-Downstream แบบมีแผ่นกลาง

$$Nu / Nu_0 = 0.185 Re^{0.484} Pr^{0.4} (BR + 1)^{3.012} (PR + 1)^{-0.329} \quad (8.17)$$

$$f / f_0 = 0.092 Re^{0.625} (BR + 1)^{11.011} (PR + 1)^{-0.834} \quad (8.18)$$

สมการที่ 8.17 และ 8.18 สำหรับกรณี V-Upstream แบบมีแผ่นกลาง

8.13.4 การออกแบบชิ้นงาน กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, In-line

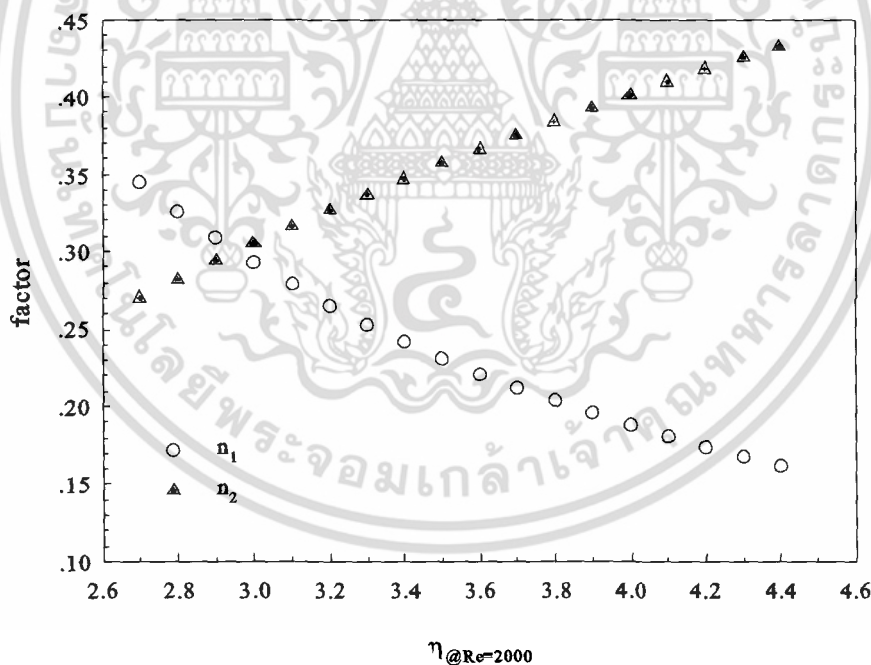
จากผลการศึกษาแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งที่ผนังท่อ $\alpha = 30^\circ$, In-line ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด พบว่าค่า BR , PR และ Re มีผลต่ออัตราการเพิ่มของ Nu/Nu_0 , ff_0 และ η จึงได้ทำการออกแบบกราฟเพื่อช่วยในการคำนวณค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

รูปที่ 8.108 และ 8.109 ได้นำเสนอกราฟค่า η ที่ $Re = 2000$ กรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 8.107 แสดงค่าแฟกเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า η ที่มากที่สุดที่ Re ต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

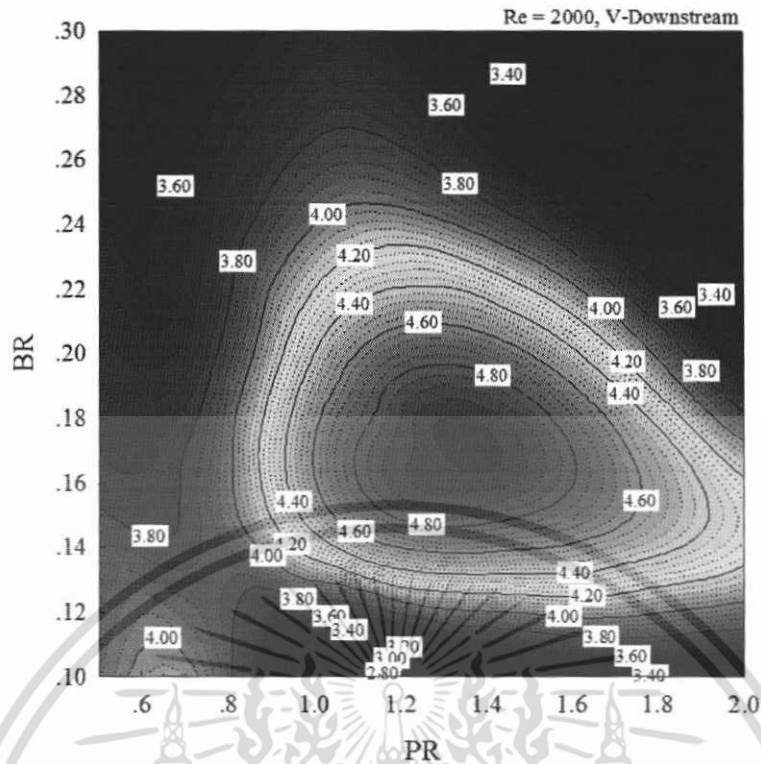
- ต้องทราบค่า BR หรือ PR สำหรับออกแบบชิ้นงาน โดยค่า BR อยู่ในช่วง 0.10–0.30 และค่า PR อยู่ในช่วง 0.50–2.00
 - สมมติให้ต้องการชิ้นงานแบบ V-Downstream ที่ค่า $BR = 0.18$ จากรูปที่ 8.108 พบว่าค่า η ที่มากที่สุดจะอยู่ที่ PR ประมาณ 0.90–1.80 ซึ่งมีค่า η ที่ใกล้เคียงกันมาก เลือก $PR = 0.90$ เนื่องจากจะได้ค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด จึงได้ η ประมาณ **4.21**
- ค่า Re อยู่ในช่วง 100–1200
 - สมมติให้อัตราการไหลที่ต้องการมีค่าเท่ากับ $Re = 650$ จากรูปที่ 8.107 พบว่า ที่ค่า η ประมาณ **4.21** จะมีค่า n_1 และ n_2 ประมาณ 0.171 และ 0.420 ตามลำดับ
- นำค่า n_1 และ n_2 ไปคำนวณในสมการที่ 8.19

$$\eta_{@Re} = n_1 Re^{n_2} \quad (8.19)$$
 - ดังนั้น $\eta_{@650} = 0.171 \times (650)^{0.420} = \mathbf{2.597}$
- จากค่า $BR = 0.18$, $PR = 0.90$ และ $Re = 650$ สามารถนำไปคำนวณหาค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 ได้โดยใช้สมการที่ 8.3 และ 8.4 ตามลำดับ

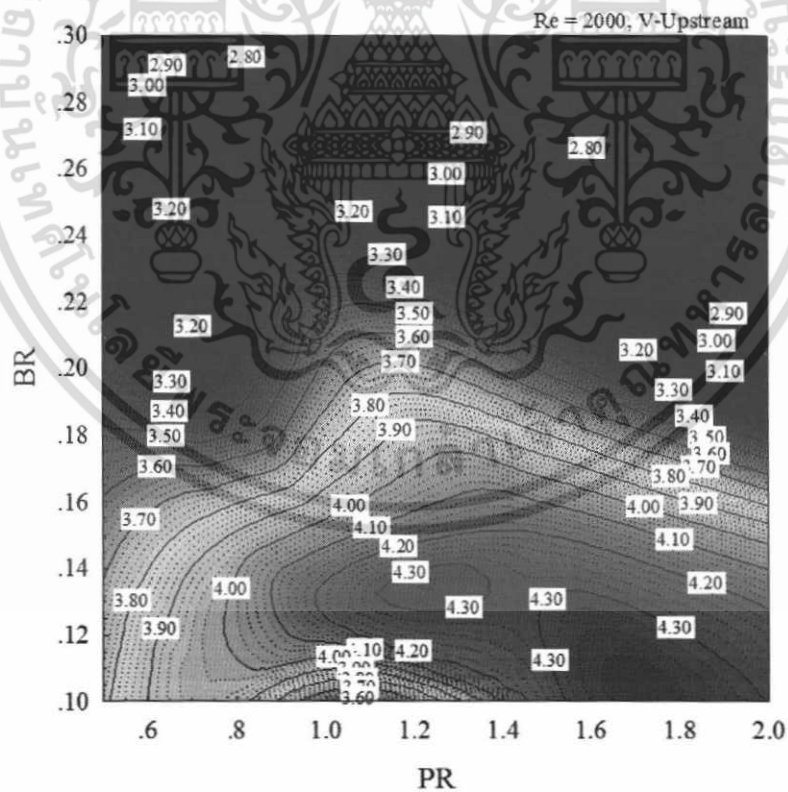


รูปที่ 8.107 แฟกเตอร์ n_1 และ n_2 สำหรับการคำนวณ η ที่ค่า Re ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

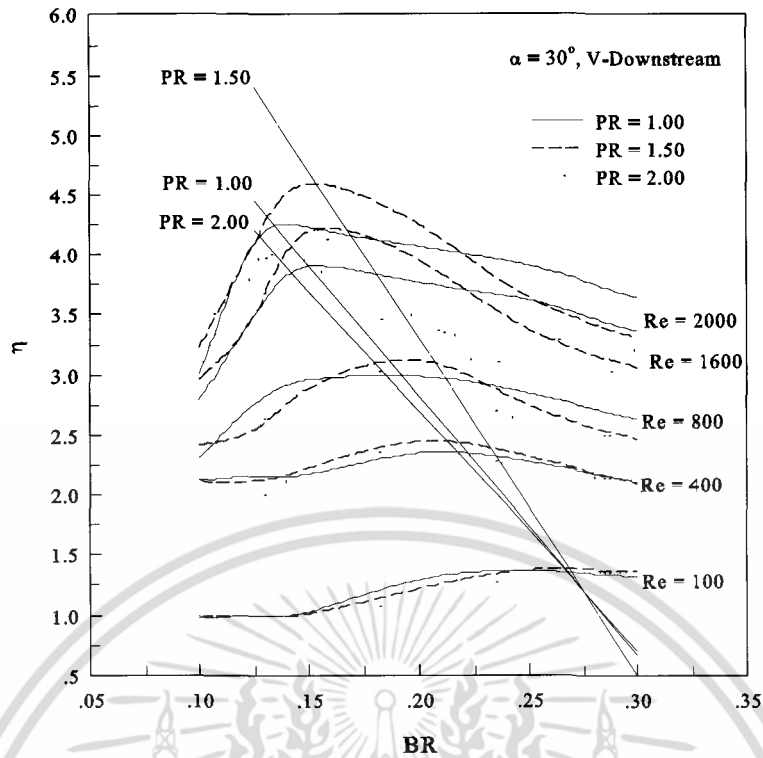


รูปที่ 8.108 การกระจายค่า η ที่ $Re = 2000$, BR และ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line

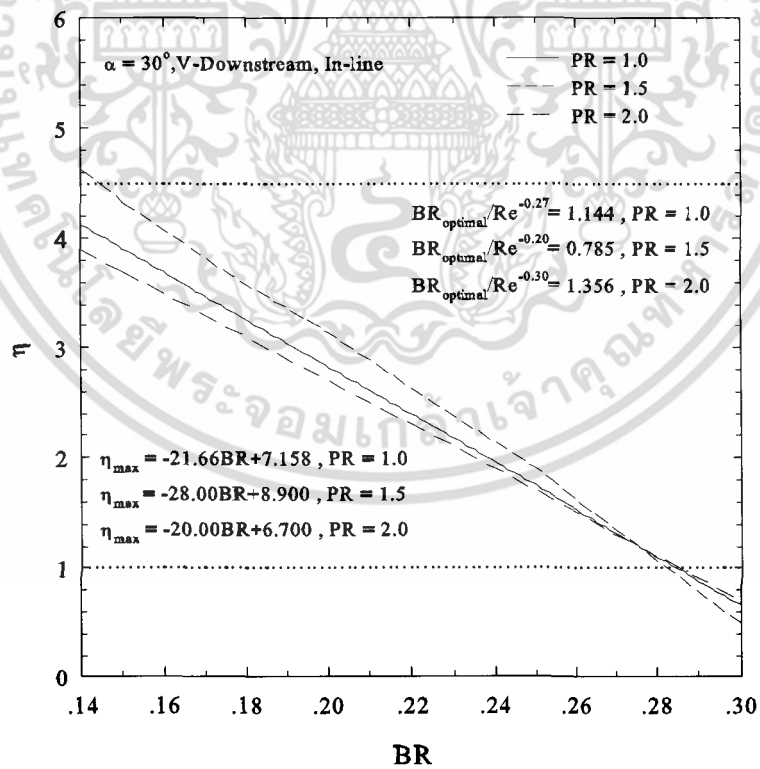


รูปที่ 8.109 การกระจายค่า η ที่ $Re = 2000$, BR และ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Upstream, In-line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

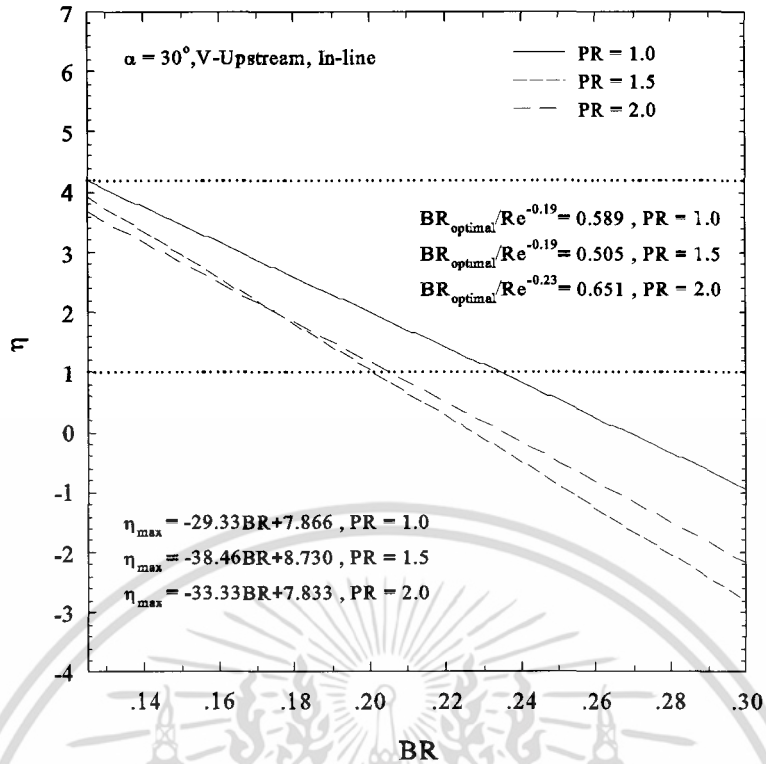


รูปที่ 8.110 ตัวอย่างการหาเส้นแนวโน้มค่า η ที่มากที่สุดที่ค่า Re ต่าง ๆ กรณี $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line

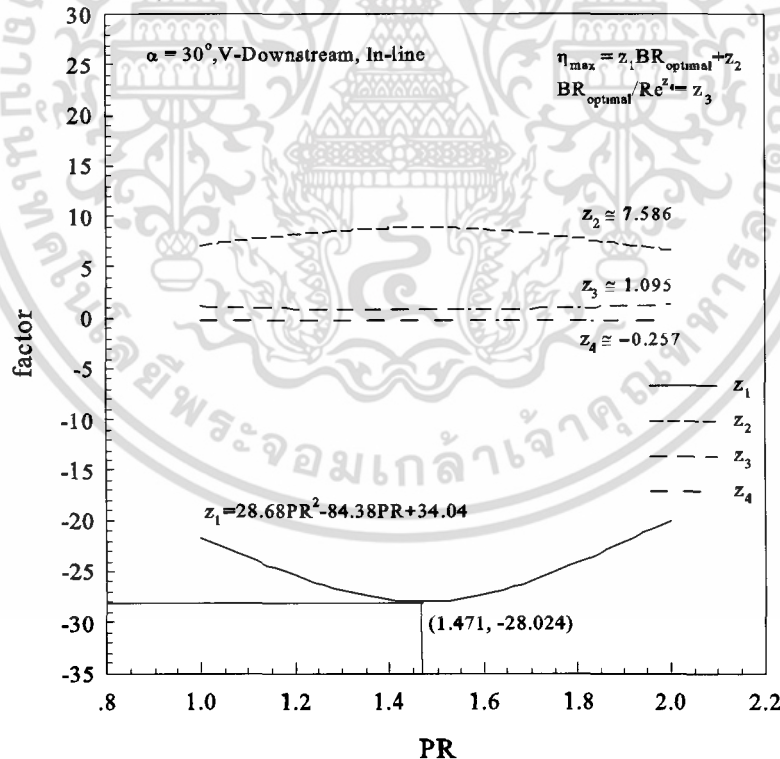


รูปที่ 8.111 ความสัมพันธ์ระหว่าง η และ BR ที่ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัวติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

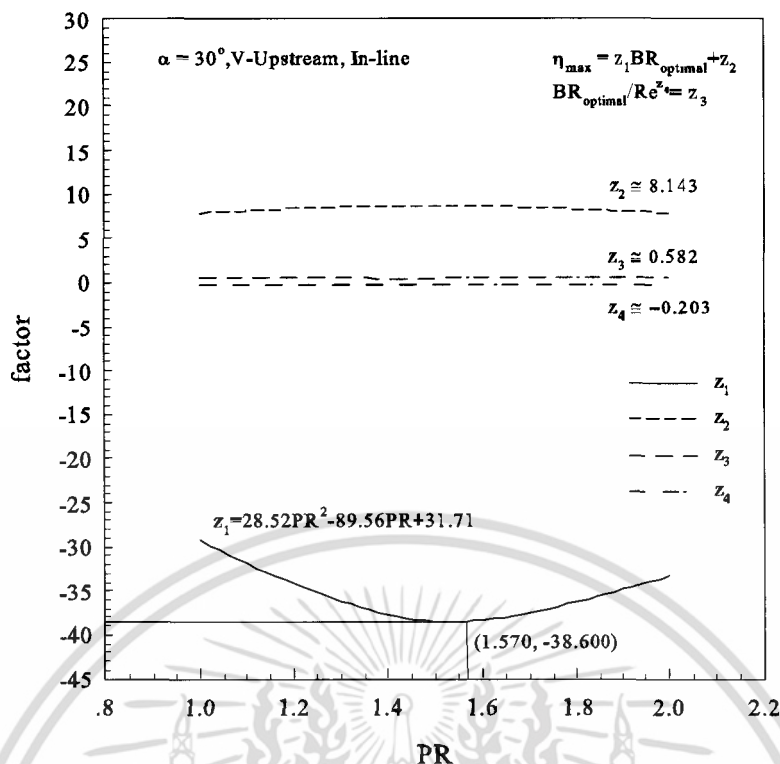


รูปที่ 8.112 ความสัมพันธ์ระหว่าง η และ BR ที่ PR ต่าง ๆ กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ, V\text{-Upstream, In-line}$



รูปที่ 8.113 แฟกเตอร์ z กรณีแผ่นกั้นตัววัดติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ, V\text{-Downstream, In-line}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.114 แฟกเตอร์ z กรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, V-Upstream, In-line

รูปที่ 8.111 และ 8.112 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง η ที่มากที่สุดในแต่ละ Re ซึ่งแสดงตัวอย่างการหาเส้นแนวโน้มสำหรับกรณี $\alpha = 30^\circ$, V-Downstream, In-line และ $PR = 1.00$ ดังรูปที่ 8.110 ที่จุด BR_{optimal} กรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ สำหรับแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, In-line จากรูปพบว่า ค่า BR ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 0.150–0.280 และ 0.125–0.200 สำหรับกรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการกระจายค่า η ดังรูปที่ 8.108 และ 8.109 ส่วนรูปที่ 8.113 และ 8.114 แสดงแฟกเตอร์ z กรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ สำหรับค่าพารามิเตอร์ η ในช่วง PR ในช่วง 1.00–2.00 จากกราฟพบว่าค่า z_2 , z_3 และ z_4 ในแต่ละค่า PR มีค่าใกล้เคียงกันจึงอาจประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่ ส่วนค่า z_1 จะมีความสัมพันธ์กับค่า PR ตามสมการรูปแบบโพลีโนเมียล ซึ่งพบว่าค่า PR ที่เหมาะสมหรือค่า PR_{optimal} จะมีค่าประมาณ 1.471 และ 1.570 สำหรับกรณี V-Downstream และ V-Upstream ตามลำดับ

8.13.4.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบชิ้นงานกรณีแผ่นกั้นตัววีติดตั้งที่ผนังท่อที่ $\alpha = 30^\circ$, In-line

- กรณีที่ใช้กราฟสำหรับการออกแบบแล้วพบว่าค่า η ที่มากที่สุดอยู่ในช่วง PR หลายค่า ให้เลือก PR ที่มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากที่ PR ที่น้อยที่สุด จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือค่า Nu/Nu_0 มากที่สุด
- กรณีที่ระบบงานคำนึงถึงค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นมากกว่าค่าการถ่ายเทความร้อน แนะนำให้เลือกค่า BR ที่น้อยที่สุด และค่า PR ที่มากที่สุด ในช่วง η ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเลือกการจัดวางแบบ V-Downstream หรือ V-Upstream ให้พิจารณาที่ตำแหน่งของการกระแทกของกระแสการไหล ซึ่งควรเป็นตำแหน่งเดียวกันกับพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบ นอกจากนี้ยังคำนึงถึงลักษณะของท่อและงาน เช่น การติดตั้งแบบ V-Downstream ไม่เหมาะกับท่อที่มีการติดตั้งแนวตั้งและมีทิศทางการไหลจากบนลงล่าง เนื่องจากอาจเกิดการตกค้างที่ปลายแผ่นกันตัววิถ้ำเป็นระบบของของเหลว
- สำหรับการออกแบบชิ้นงานวิธีที่ 1 คือการใช้คอนทอร์หรือกราฟค่าการกระจาย η จะเป็นวิธีที่ต้องเลือกคือ BR หรือ PR ก่อน จะได้ค่า η สำหรับค่า BR และ PR นั้น ๆ แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่า η ที่ Re ในระบบงานที่ใช้ วิธีนี้จะเหมาะสำหรับงานที่มีข้อจำกัดของอุปกรณ์ในส่วนของชิ้นงาน เช่น ความสูงของแผ่นกัน เป็นต้น
- สำหรับการออกแบบชิ้นงานวิธีที่ 2 เป็นการคำนวณหาค่า BR ที่เหมาะสมหรือ $BR_{optimal}$ จากค่า Re ของระบบงาน และจะได้ค่า η ที่มากที่สุดหรือค่า η_{max} สำหรับระบบนั้น ๆ ที่ค่า PR ในช่วง 1.00–2.00 เหมาะสำหรับระบบที่ต้องการค่า η ที่มากที่สุดในช่วง Re ของระบบงาน ดังนั้นวิธีนี้จะคำนึงถึงค่า η_{max} เป็นหลัก



สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาอิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสต่อพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม โดยศึกษาถึงอิทธิพลของ Re , BR , PR , α , ลักษณะการจัดวาง, ทิศทางการไหล, การลดความดันตกคร่อมโดยตัดขอบแผ่นกั้นตัววี และการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลาง

ทำการศึกษาในช่วงการไหลราบเรียบ ในช่วง $Re = 100 - 2000$ ที่ค่า $BR = 0.10 - 0.30$, $PR = 1.00 - 2.00$ แผ่นกั้นมีลักษณะเป็นรูปตัววีทำมุมปะทะการไหล $\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° จัดวางแบบ In-line และ Staggered และมีทิศทางการจัดวาง แบบ V-Downstream และ V-Upstream

โครงสร้างการไหลโดยทั่วไปของแผ่นกั้นตัววีที่มีการติดตั้งที่ผนังท่อจัตุรัสทั้งสองด้านในทิศทางตรงข้ามกันทำให้เกิดแกนการหมุนหลัก 4 แกนและแกนการหมุนน้อย ๆ ที่บริเวณขอบท่อ ลักษณะการหมุนและการกระแทกของกระแสการไหลขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ทำการศึกษา

9.1.1 อิทธิพลของเลขเรย์โนลด์

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของค่า Re พบว่าเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สำหรับทุกกรณีการศึกษา ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงค่าอัตราของความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับกรณีที่น่ามาศึกษา พบว่าที่ $Re = 2000$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 สูงที่สุดสำหรับ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° ส่วน $\alpha = 60^\circ$ พบว่าค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ที่มีค่ามากที่สุดจะได้จากค่า $Re=1200$ เนื่องจากที่ $\alpha = 60^\circ$ จะเกิดปรากฏการณ์ vortex shading จึงทำการศึกษาเฉพาะช่วง $Re = 100 - 1200$ เท่านั้น นอกจากค่า Re จะมีผลต่อ Nu/Nu_0 และ ff_0 แล้ว ค่า Re ยังมีผลต่อเกลียวการไหลของของไหลก่อนการกระแทกและหลังการกระแทกที่บริเวณผนังท่ออีกด้วย ทั้งนี้ความยาวของเกลียวยังขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ อีก แต่สำหรับอิทธิพลจากค่า Re จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น เกลียวของการหมุนก่อนการกระแทกและหลังการกระแทกจะสั้นลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อระดับความรุนแรงในการกระแทกอีกด้วย เมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น ความรุนแรงในการกระแทกก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อและของไหลในท่อได้ดีขึ้นแต่อย่างไรก็ตามค่าความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า Re เพิ่มมากขึ้น

9.1.2 อิทธิพลของอัตราส่วนการบล็อกการไหล

อิทธิพลของ BR พบว่าเมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา ที่ค่า $BR = 0.30$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 มากที่สุดและที่ค่า $BR=0.10$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ที่น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการไหล เมื่อค่า BR เพิ่มขึ้นระยะเกลียวก่อนการกระแทกผิวท่อและหลังการกระแทกผิวท่อจะมีระยะที่สั้นลง นอกจากนี้ความรุนแรงในการกระแทกผิวท่อก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยเมื่อค่า BR เพิ่มขึ้น

9.1.3 อิทธิพลของระยะพิตต์

อิทธิพลของ PR พบว่าเมื่อค่า PR เพิ่มมากขึ้น ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 กลับมีค่าลดลง สำหรับทุกกรณีที่ทำการศึกษา ที่ค่า $PR = 1.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 มากที่สุดส่วนที่ค่า $PR = 2.00$ จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาในส่วนของการสร้างการไหลเมื่อ ค่า PR แตกต่างกันพบว่าโครงสร้างหลักจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ดังนั้นจึงสามารถอธิบายถึงค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่แตกต่างกันในรูปของค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนกว่า การอธิบายด้วยโครงสร้างการไหล

9.1.4 อิทธิพลของมุมปะทะการไหล

อิทธิพลของมุมปะทะการไหล พบว่า ที่ $\alpha = 45^\circ$ ให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่า Nu/Nu_0 ซึ่งให้ค่ามากกว่า $\alpha = 30^\circ$ และ 20° ส่วน $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่า $\alpha = 20^\circ$ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้นนำไปสู่การเพิ่มของค่าความดันตกคร่อมหรือค่าความดันสูญเสียที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย พบว่าที่ $\alpha = 45^\circ$ ให้ค่าความดันตกคร่อมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ $\alpha = 20^\circ, 30^\circ$ และ 45° ส่วน $\alpha = 20^\circ$ ให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า ff_0 จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการค่าความดันตกคร่อมน้อย ๆ เพื่อให้เกิดการสิ้นเปลืองกำลังขับน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า $\alpha = 20^\circ$ ให้ค่าการกระจายของ Nu_x ได้สม่ำเสมอตลอดทั้งผิวท่อคือให้อัตราการถ่ายเทความร้อนทั่วทั้งผิวท่อมีความใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับมุมปะทะอื่น ๆ

สำหรับ $\alpha = 60^\circ$ พบว่าให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปของค่า Nu/Nu_0 มีค่าใกล้เคียงกับ $\alpha = 30^\circ$ เมื่อเปรียบเทียบในช่วง Re ที่ทำการศึกษาสำหรับ $\alpha = 60^\circ$ แต่ให้ค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มสูงมากกว่ามุมปะทะอื่น ๆ ดังนั้น สำหรับ $\alpha = 60^\circ$ อาจเหมาะสำหรับช่วง Re น้อย ๆ และงานที่ไม่ต้องคำนึงถึงค่าความดันตกคร่อมที่จะเกิดขึ้น หรืออาจต้องทำการปรับปรุงโดยการลดค่า BR , ตัดบางส่วนของแผ่นกัน เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมที่จะเกิดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมจริง แต่สำหรับช่วงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาที่ $\alpha = 60^\circ$ ไม่เหมาะในการนำไปใช้ในทางจริง

9.1.5 อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกัน

อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกันแบบ In-line และ Staggered ส่งผลต่อค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม ในรูปของ Nu/Nu_0 และ ff_0 ไม่มากนัก โดยการจัดวางแบบ In-line จะให้ค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในช่วงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

9.1.6 อิทธิพลของทิศทางการไหล

อิทธิพลของทิศทางการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream นั้นจะส่งผลต่อตำแหน่งของการเกิดการกระแทกเป็นประเด็นหลัก ส่วนค่า Nu/Nu_0 และ ff_0 ที่ได้จากทิศทางการไหลของของไหลทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงค่า BR น้อย ๆ แต่เมื่อค่า BR เพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกต่างก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ทำการศึกษา จึงไม่สามารถสรุปได้ว่า V-Downstream และ V-Upstream แบบไหนให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมมากกว่ากัน ดังนั้นประเด็นที่สำคัญที่เกิดจากการศึกษาการไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream จึงเน้นไปที่ตำแหน่งการกระแทกที่เกิดขึ้น พบว่าการไหลแบบ V-Downstream สำหรับทุก ๆ กรณีที่ทำการศึกษาก็จะทำให้เกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อ ด้านข้างทั้งสองด้านที่ไม่ได้มีการติดตั้งแผ่นกันเป็นหลักทำให้ค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของ Nu/Nu_0 เฉลี่ยที่ผนังท่อด้านข้างมีค่ามากกว่าด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกัน สำหรับที่ผนังด้านบนและด้านล่างก็เกิดการกระแทกของกระแสการไหลเช่นกัน โดยตำแหน่งที่เกิดการกระแทกจะอยู่บริเวณใกล้กับผนังด้านข้างทั้งสอง จุดที่เกิดการกระแทกจะแบ่งออกเป็นสองส่วนอย่างเห็นได้ชัดเจน

สำหรับแบบ V-Upstream จะเกิดการกระแทกที่ผนังด้านบนและด้านล่างที่มีการติดตั้งแผ่นกัน ดังนั้นจึงทำให้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในรูปของ Nu/Nu_0 เฉลี่ยที่ผนังท่อด้านบนและด้านล่างมีค่ามากกว่าผนังท่อด้านข้าง โดยจุดที่เกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่ผนังท่อด้านบนและด้านล่างจะอยู่บริเวณด้านหลังของแผ่นกันที่มุมตัววีเพียงจุดเดียว เช่นเดียวกันกับ V-Downstream ที่ผนังด้านข้างของท่อก็เกิดกระแทกเช่นเดียวกันแต่จุดที่เกิดการกระแทกของกระแสการไหลจะอยู่บริเวณใกล้กับผนังด้านบนและด้านล่างและแบ่งออกเป็น 2 จุดอย่างเห็นได้ชัดเจน

เมื่อพิจารณาในระนาบขวางการไหลพบว่าทั้งแบบ V-Downstream และ V-Upstream ให้แผนการหมุนวนหลัก 4 แกนและการหมุนวนย่อย ๆ ที่บริเวณขอบของท่อ แต่ทิศทางการหมุนของทั้งสองแบบมีลักษณะต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาที่แกนการหมุนวนหลักซึ่งเกิดจากแผ่นกันที่ติดตั้งที่ด้านล่างของท่อ พบว่า V-Downstream ทำให้เกิดการหมุนวนแบบ common-flow-up ส่วน V-Upstream ทำให้เกิดการหมุนวนแบบ common-flow-down ดังนั้นตำแหน่งที่เกิดการกระแทกของกระแสการไหลจึงมีตำแหน่งที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะทิศทางการไหลทั้งสองแบบ

สำหรับลักษณะการไหลในสามมิติของของไหลที่กระแทกใน 1 โมดูล พบว่าการจัดวางทั้งสองแบบทำให้เกิดการกระแทกที่ผนังด้านล่างและผนังด้านข้าง โดยกระแสการไหลทั้งสองส่วนจะแยกกันโดยสิ้นเชิงแต่หมุนวนพันกันเป็นริบบิ้นก่อนเกิดการกระแทกที่ผนังจึงเรียกเส้นกระแสการไหลนี้ว่า “เส้นกระแสการไหลคู่” หรือ “pair vortex, P-Vortex” ซึ่ง P-Vortex นี้เป็นพฤติกรรมการไหลเฉพาะที่เกิดจากการติดตั้งแผ่นกันตัววี ความรุนแรงในการกระแทก, ระยะเกลียวก่อนการกระแทก

และหลังการกระแทกของ P-Vortex ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในส่วนของ Re , BR , α และ PR

ในส่วนของกรไหลแบบ V-Downstream และ V-Upstream สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีการให้ความร้อนเพียงสองด้านได้ โดยสำหรับแบบ V-Downstream การให้ความร้อนสองด้านควรอยู่ที่ด้านที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นกัน เนื่องจาก V-Downstream จะเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณนี้มากกว่า ส่วน V-Upstream ควรมีการให้ความร้อนที่บริเวณผนังด้านที่มีการติดตั้งแผ่นกันเนื่องการจัดวางในลักษณะนี้ทำให้เกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผิวที่มีการติดตั้งแผ่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่า η ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาทั้งส่วนค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน Nu/Nu_0 และค่าความดันตกคร่อม ff_0 ที่เพิ่มมากขึ้น พบว่าที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่า ff_0 มากที่สุดจึงให้ค่า η น้อยที่สุดสำหรับทุกค่า Re , BR , PR ทั้งในส่วนของ V-Downstream และ V-Upstream จึงไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความรุนแรงของการกระแทกของกระแสการไหลที่ได้จากมุมนี้สามารถนำมาพัฒนาและประยุกต์เพื่อให้ได้ค่า η ที่เพิ่มมากขึ้น

สำหรับค่า η ของ $\alpha = 20^\circ$, 30° และ 45° นั้น พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันโดยค่าที่มากที่สุดจะอยู่ที่ค่า BR ในช่วง $0.15 - 0.20$ ที่ $PR = 1.50$

จากการศึกษาพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข สำหรับ $Re = 100-2000$, $\alpha = 20^\circ-45^\circ$, $BR = 0.10-0.30$, $PR=1.00-2.00$ จัดวางแบบ In-line และ Staggered มีการไหลแบบ V-Downstream และแบบ V-Upstream จะทำให้เกิด P-Vortex ซึ่งช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อและนำไปสู่ค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่า Nu/Nu_0 ที่ได้กรณีศึกษาอยู่ในช่วง $0.50-22.00$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า และให้ค่า ff_0 อยู่ในช่วง $1.00-220.00$ เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า นอกจากนี้พบว่าค่า η ที่ได้จากกรณีที่ทำการศึกษา มีค่าเท่ากับ $0.50-4.50$ ขึ้นอยู่กับค่า Re , BR , PR , α , การจัดวางและทิศทางการไหลของแผ่นกันตัววี

9.1.7 อิทธิพลของการตัดขอบแผ่นกันตัววี

สำหรับการพัฒนาแผ่นกันตัววีติดตั้งที่พื้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าความดันตกคร่อมในการตัดขอบของแผ่นกันตัววี พบว่าแผ่นกันตัววีที่มีการตัดขอบจะช่วยลดค่าความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ค่าการกระจายของการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวท่อมีความสม่ำเสมอมากกว่ากรณีแผ่นกันตัววีที่ไม่ได้ตัดขอบ แต่อย่างไรก็ตามแผ่นกันตัววีตัดขอบก็ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่น้อยลงด้วย เมื่อเทียบกับแผ่นกันตัววีแบบไม่ตัดขอบ

9.1.8 อิทธิพลของการติดตั้งแผ่นกันตัววีตามแนวเส้นทแยงมุม

ส่วนการติดตั้งแผ่นกันตัววีตามแนวเส้นทแยงมุมเพื่อจุดประสงค์ในการสร้างชิ้นงานและการติดตั้งแผ่นกันตัววีที่มีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น แผ่นกันตัววีที่ติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมของท่อทั้งกรณีแบบมีแผ่นกลางและไม่มีแผ่นกลางส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมเพิ่มมากกว่ากรณีแผ่นกันตัววีที่ติดตั้งที่ผนังท่อ ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นสำหรับกรณี V-Downstream ส่วนกรณี V-Upstream พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยกว่ากรณีแผ่นกันตัววีที่ติดตั้งที่ผนังท่อ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับกรณีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุม พบว่ามีค่าน้อยกว่ากรณีติดตั้งที่ผนังท้อ ส่วนค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดสำหรับกรณีติดตั้งตามแนวเส้นทแยงมุมมีค่ามากที่สุดที่ค่า BR น้อย ๆ

9.2 ข้อเสนอแนะการพัฒนางานวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอทำให้ทราบถึงข้อดีของการใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการไหล, ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อม เนื่องจากสามารถประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลองนอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย อย่างไรก็ตามการใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นเพียงแค่การทำนายถึงผลการทดลองที่มีความเป็นไปได้ทั้งนี้ความถูกต้องและแม่นยำขึ้นอยู่กับ การทดสอบเทียบความถูกต้องก่อนที่จะทำการศึกษาในกรณีต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 6 จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ได้นำเสนอในส่วนของ การไหลแบบเป็นคาบเนื่องจากระบบท้อในอุตสาหกรรมจริงมีความยาวมาก ดังนั้นพฤติกรรมต่าง ๆ จึงมีการประพัตติตัวในลักษณะเป็นคาบ นอกจากนี้งานวิจัยที่ได้นำเสนอเป็นช่วงการไหลราบเรียบซึ่งใช้ในระบบงานที่ต้องการความเงียบในการทำงาน เช่นการถ่ายเทความร้อนในระบบปรับอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้แนวคิดในการเพิ่มแผ่นกันตัววิวในท้อยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับช่วงการไหลปั่นป่วนได้อีกด้วย ซึ่งแนวโน้มของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากการติดตั้งในท้อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วยังสามารถติดตั้งแผ่นกันในตัวรูปแบบอื่น ๆ ได้อีก เช่น ท่อขนานซึ่งมีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับการติดตั้งแผ่นกันตัววิวในท้อขนาน นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้งในท้อกลมในลักษณะของชิ้นงานที่สามารถสอดเข้าไปในท้อ เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการทำความสะอาด ในส่วนของการเลือกค่าของพารามิเตอร์ในการใช้งานจริงควรจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของงาน ทั้งช่วงการทำงานและลักษณะความเหมาะสมของระบบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Anderson, J. D., Degroote, J., Degrez, G., Dick, E., Grundmann R., and Vierendeels, J. 1992. "Introduction to computation fluid dynamics". Edited by Wendt, John F. New York : **Springer-Verlag**.
- Beavers, G.S. and Joseph, D.D. 1967. "Boundary conditions at a naturally permeable wall." **J. Fluid Mech.** 30 : 197–207
- Bazdid–Tehrani, F. and Naderi-Abadi, M. 2004. "Numerical analysis of laminar heat transfer in entrance region of a horizontal channel with transverse fins." **Int. Commun. Heat Mass Transfer.** 31(2) : 211–220.
- Berner, C., Durst, F. and McEligot, D.M. 1984. "Streamwise-periodic flow around baffles." in: **Proceedings of the 2nd International Conference on Applications of Laser Anemometry to Fluid Mechanics.** Lisbon, Portugal.
- Berner, C., Durst, F. and McEligot, D.M. 1984. "Flow around baffles." **ASME J. Heat Transfer.** 106 : 743–749.
- Brown, G. L. and Roshko, A. 1974. "On density effects and large structure in turbulent mixing layers." **J. Fluid Mech.** 64 : 775–816.
- Cantwell, B. J. 1981. "Organized motion in turbulent flow." **Annual Review of Fluid Mechanics.** 13 : 457–515.
- Chakraborty, Pinaki, Balachandar, S., and Adrian, Ronald J. 2005. "On the relationships between local vortex identification schemes." **J. Fluid Mech.** 535 : 189–214.
- Chapra, Steven C. and Canale, Raymond P. 1988. **Numerical methods for engineers.** Singapore : McGraw–Hill.
- Cheng, C.H. and Huang, W.H. 1989. "Laminar Forced Convection Flows in Horizontal Channel with Transverse Fins Placed in Entrance Regions." **Numerical Heat Transfer. Part A.** (16) : 77–100.
- Cheng, C.H. and Huang W.H. 1991. "Numerical prediction for laminar forced convection in parallel-plate channels with transverse fin arrays." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 34 : 2739–2749.
- Cui, J., Patel, V. C. and Lin, C. L. 2003. "Large-eddy simulation of turbulent flow in a channel with rib roughness." **Int. J. Heat Fluid Flow.** 24(3) : 372–388.
- Dubief, Y. and Delcayre, F. 2000. "On coherent-vortex identification in turbulence." **J. of Turbulence.** 1(011) : 42, 44, 92, 143, 147, 162

- Dutta, S., Dutta, P., Jones, R.E. and Khan, J.A. 1997. "Experimental Study of Heat Transfer Coefficient Enhancement with Inclined Solid and Perforated Baffles." **International Mechanical Engineering Congress and Exposition**. Dallas, Texas, ASME Paper No. 97-WA/HT-4, November 1621.
- Dutta, P. and Dutta, S. 1998. "Effect of baffle size, perforation and orientation on internal heat transfer enhancement." **Int. J. Heat Mass Transfer**. 41(19) : 3005–3013.
- Dutta, P. and Hossain, A. 2005. "Internal cooling augmentation in rectangular channel using two inclined baffles." **Int. J. Heat Fluid Flow**. 26 : 223–232.
- Farrell, P., Wert, K. and Webb, R.L. 1991. "Heat transfer and friction characteristics of turbulator radiator tubes." **SAE Transactions**. (100) : 218–230.
- Ferziger, J. H. and Peric, M. 2002. **Computational Methods for Fluid Dynamics**. Springer.
- Founti, M.A. and Whitelaw, J.H. 1981. "Shell side flow in a model disc and doughnut heat exchanger." **Tech. Report FS/81/37**. Mech. Eng. Dept., Imperial College, London, UK.
- Fu, W.S., Huang, H.C. and Liou, W.Y. 1996. "Thermal enhancement in laminar channel flow with a porous block." **Int. J. Heat Mass Transfer**. 39 : 2165–2175.
- Garth, C., Tricoche, X., Salzbrunn, T., Bobach, T. and Scheuermann, G. 2004. "Surface Techniques for Vortex Visualization." In: **Joint EUROGRAPHICS – IEEE TCVG Symposium on Visualization**. 37
- Gee, D.L. and Webb, R.L. 1980. "Forced convection heat transfer in helically rib-roughened tubes." **Int. J. Heat Mass Transfer**. 23 : 1127–1136.
- Guo, Z. and Anand, N.K. 1997. "Three Dimensional Heat Transfer in a Channel with a Baffle in the Entrance Region." **Numerical Heat Transfer. Part A**. 31 : 21–35.
- Habib, M.A., Mobarak, A.M., Sallak, M.A., Abdel Hadi, E.A. and Affify, R.I. 1994. "Experimental investigation of heat transfer and flow over baffles of different heights." **ASME J. Heat Transfer**. 116 : 363–368.
- Hadim, A. 1994. "Forced convection in a porous channel with localized heat source." **Trans. ASME J. Heat Transfer**. 116 : 465–472.
- Han, J.C., Glicksman, L.R. and Rohsenow, W.M. 1978. "An investigation of heat transfer and friction for rib-roughened surfaces." **Int. J. Heat Mass Transfer**. 21 : 1143–1156.

- Han, J.C., Zhang, Y.M. and Lee, C.P. 1991. "Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed, and V-shaped angled ribs." **ASME J. Heat Transfer.** 113 : 590–596.
- Holmes, Philip, Lumley, John L. and Berkooz, Gal. 1996. **Turbulence, coherent structures, dynamical systems and symmetry.** Cambridge University Press. Chap. Coherent structures, (40) : 20–85.
- Hornung, H. and Perry, A. E. 1984. **Some aspects of three-dimensional separation, part 1: streamsurface bifurcations.** Zeitschrift für Flugwissenschaften und Weltraumforschung. 8(2) : 77–87.
- Huang, P.C. and Vafai, K. 1993. "Flow and heat transfer control over an external surface using a porous block array arrangement." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 36 : 4019–4032.
- Huang, P.C. and Vafai, K. 1994. "Analysis of forced convection enhancement in a channel using porous blacks." **AIAA J. Thermophys. Heat Transfer.** 8 : 563–573.
- Hunt, J. C. R., Wray, A. A. and Moin, P. 1988. "Eddies, Streams, and Convergence Zones in Turbulent Flows." In: **Proceedings of the summer Program. Center for Turbulence research.** 4 : 42, 92, 143.
- Hussain, A. K. M. F. 1980. **The role of coherent structures in modelling turbulence and mixing.** Springer. Chap. Coherent structures and studies of perturbed and unperturbed jets. 40
- Hussain, F, & Melander, M.V. 1991. **The Lumley Symposium: Studies in Turbulence.** Springer. Chap. Understanding turbulence via vortex dynamics. : 157–178.
- Hwang, G. J. and Chao, C. H. 1994. "Heat-Transfer Measurement and Analysis for Sintered Porous Channels." **ASME J. Heat Transfer.** 116 : 456–464.
- Hwang, J. J. and Liou, T. M. 1994. "Augmented Heat-Transfer in a Rectangular Channel with Permeable Ribs Mounted on the Wall." **ASME J. Heat Transfer.** 116 : 912–920.
- Hwang, J.J. 1997. "Turbulent heat transfer and fluid flow in a porous-baffled channel." **AIAA J. Thermophys. Heat Transfer** 11 : 429–436.
- Incropera, Frank P. and David P. Dewitt. 1996. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer.** John Wiley & Sons, New York : 419–461.
- Jeong, Jinhee, and Hussain, Fazle. 1995. "On the identification of a Vortex." **J. Fluid Mech.** 285 : 69–94.
- Kim, S. Y., Kang, B. H. and Kim, J. H. 2001. "Forced Convection from Aluminum Foam Materials in an Asymmetrically Heated Channel." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 44 : 1451–1454.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ko, K.H. and Anand, N.K. 2003. "Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 46 (22) : 4191–4199.
- Koh, J. C. Y. and Stevens, R. L. 1975. "Enhancement of Cooling Effectiveness by Porous Materials in Coolant Passage." **ASME J. Heat Transfer.** 97 : 309–311.
- Kuo, S. M. and Tien, C. L. 1988. "Heat Transfer Augmentation in a Foam–Material Filled Duct With Discrete Heat Sources." **Thermal Phenomena in the Fabrication and Operation of Electronic Components: I-THERM '88, Inter-Society Conference**, Los Angeles, California. : 87–91.
- Leonard, B.P. 1979. "A Stable and Accurate Convective Modelling Procedure Based on Quadratic Upstream Interpolation." **Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.** (19) : 59–98.
- Leonard, B.P. 1988. Elliptic Systems: Finite Difference Methods IV, in W.J. Minkwicz et al. (eds.), **Handbook of Numerical Heat Transfer.** : 347–378, John Wiley, N.Y.
- Liou, T. M. and Chen, S. H. 1998. "Turbulent Heat and Fluid Flow in a Passage Disturbed by Detached Perforated Ribs of Different Heights." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 41 : 1795–1806.
- Lopez, J.R., Anand, N.K. and Fletcher, L.S. 1996. "Heat transfer in a three-dimensional channel with baffles." **Numer. Heat Transfer A.** 30 : 189–205.
- Lumley, J. L. 1981. **Transition and turbulence.** Academic. Chap. Coherent structures in turbulence. : 215–242.
- Lumley, John L. and Yaglom, Akiva M. 2001. "A Century of Turbulence." **Flow, Turbulence and Combustion.** 66 : 241–286. 40.
- Megerlin, F. E., Murphy, R. W. and Bergles, A. E. 1974. "Augmentation of Heat-Transfer in Tubes by Use of Mesh and Brush Inserts." **ASME J. Heat Transfer.** 96 : 145–151.
- Mousavi, S.S. and Hooman, K. 2006. "Heat and fluid flow in entrance region of a channel with staged baffles." **Energy Conversion and Management.** 47 : 2011–2019.
- Olsson, C. O. and Sunden, B. 1996. "Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics of Ten Radiator Tubes." **Int. J. Heat Mass Transfer.** 39 : 3211–3220.
- Olsson, C. O. and Sunden, B. 1997ก. "Experimental Study of Flow and Heat Transfer in Rib-Roughened Channels." **Exp. Thermal Fluid Sci.** 16 : 349–365.
- Olsson, C. O. and Sunden, B. 1997ข. "Fluid Flow and Heat Transfer in Rib-Roughened Tubes." **Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics.** 3 : 1655–1662.

- Olsson, C.O. and Sunden, B. 1998. "Thermal and Hydraulic Performance of a Rectangular Duct With Multiple V-Shaped Ribs." *ASME J. Heat Transfer*. 120 : 1072–1077.
- Patankar, S. V., Liu, C. H. and Sparrow, E. M. 1977. "Fully Developed Flow and Heat-Transfer in Ducts Having Streamwise-Periodic Variations of Cross-Sectional Area." *ASME J. Heat Transfer*. 99 : 180–186.
- Rachedi, R. and Chikh, S. 2001. "Enhancement of Electronic Cooling by Insertion of Foam Materials." *Heat and Mass Transfer*. 37 : 371–378.
- Sripattanapipat, S., and P. Promvong. 2009. Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles. *Int. Comm. Heat Mass Transfer* 36: pp. 32–38.
- Taslim, M.E., T. Li, T. and Kercher, D.M. 1996. "Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls." *ASME J. Turbomachinery*. 118 : 20–28.
- Vafai, K. and Thiyagaraja, R. 1987. "Analysis of flow and heat transfer at the interface region of a porous medium." *Int. J. Heat Mass Transfer*. 30 : 1391–1405.
- Vafai, K. and Kim, S.J. 1990. "Fluid mechanics of the interface region between a porous medium and a fluid layer an exact solution." *Int. J. Heat Fluid Flow*. 11 : 254–256.
- Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. 1995. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Longman Scientific & Technical, Longman Group Limited, Essex, England.
- Webb G.W. and Ramadhyani S. 1985. "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs." *Int. J. Heat Mass Transfer*. 28 : 1679–1687.
- Yang, Y.T. and Hwang, C.Z. 2003. "Calculation of turbulent flow and heat transfer in a porous-baffled channel." *Int. J. Heat Mass Transfer*. 46 (5) : 771–780.
- Yilmaz, M. 2003. "The effect of inlet flow baffles on heat transfer." *Int. Commun. Heat Mass Transfer*. 30 (8) : 1169–1178.
- จารุวัตร เจริญสุข. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พงษ์เจต พรหมวงศ์. 2542. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 167–252.
- วีระชาติ นวรุ่งเรือง. 2546. การวิเคราะห์หัตถิพลลักษณะรูปทรงของครีบบระบายความร้อนแบบเกล็ดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน. *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 33–53.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

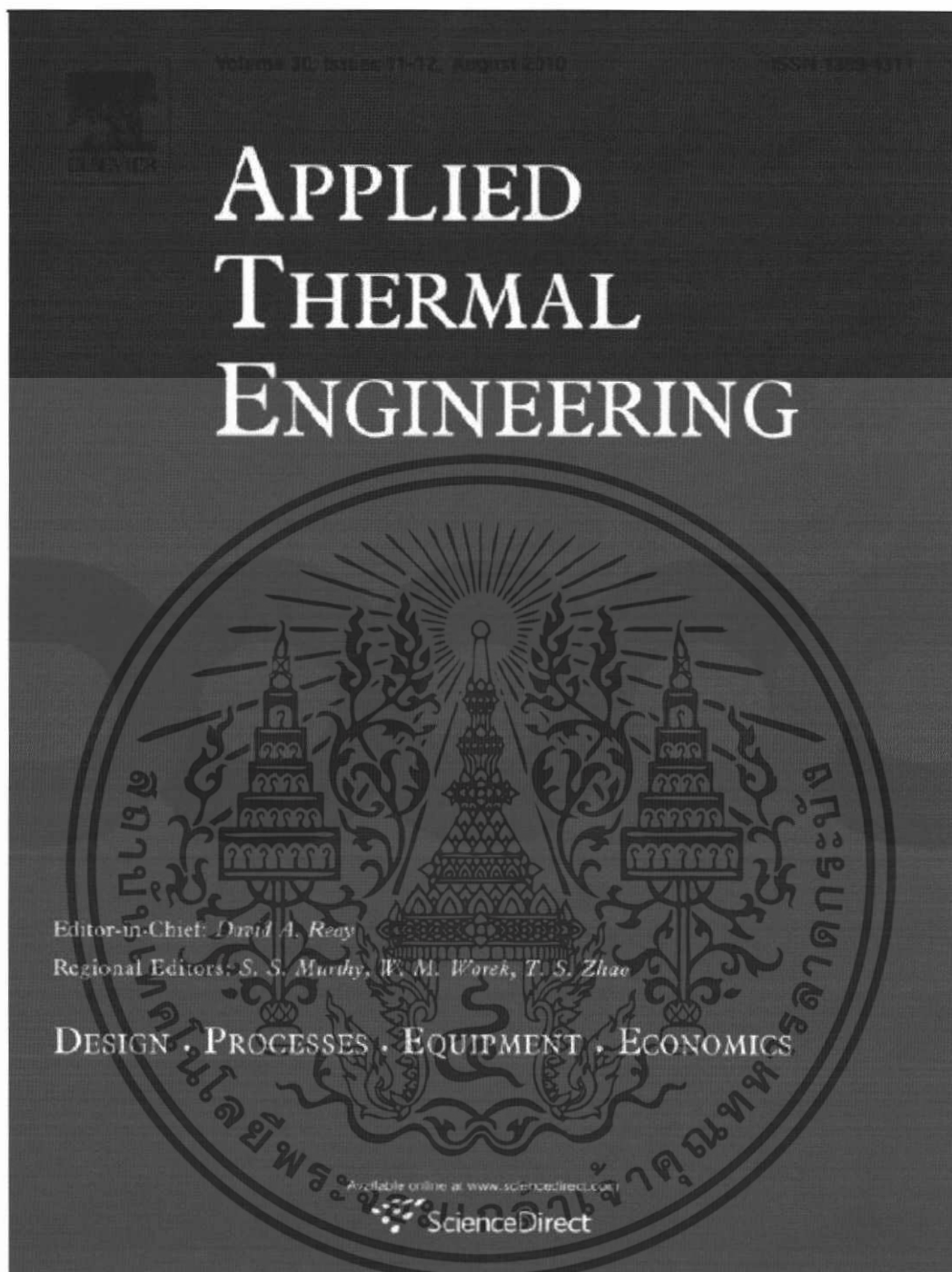
ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg.K)	$\mu \times 10^7$ (N.s/m ³)	ν (m ² /s)	$k \times 10^6$ (W/m.K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
อากาศ							
100	3.25562	1.032	71.1	2.0	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.59	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	22.5	0.707
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.990	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	441.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	67.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	296	137	589	0.672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Thermal Engineering

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/apthermeng

Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° inline angled baffle turbulators

Pongjet Promvong^a, Withada Jedsadaratanachai, Sutapat Kwankaomeng

^a Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:
Received 29 September 2009
Received in revised form 12 February 2010
Available online 23 February 2010

Keywords:
Periodic flow
Square channel
Laminar flow
Heat transfer
Angled baffle
Turbulator

ABSTRACT

This article presents a numerical investigation on periodic laminar flow and heat transfer behaviors in a three-dimensional rectangular wall square channel fitted with 30°-angled baffles on two opposite channel walls. The computation based on the finite volume method with the SIMPLE algorithm have been conducted for the fluid flow in terms of Reynolds numbers ranging from 100 to 2000. To generate a pair of streamwise counter-rotating vortices (P-vortices) flow through the tested channel, the angled baffles with the attack angle of 30° are mounted periodically and inline arrangement on the lower and upper channel walls. Effects of different baffle heights and time pitch ratios on heat transfer and flow behaviors in the channel are examined. It appears that P-vortices flows help to induce impinging flows over the baffle leading end side and the later baffle cavity walls resulting in drastic increase in heat transfer rate over the test channel. The computational results reveal that the maximum thermal enhancement factor for the baffle with PR = 1, 1.5 and 2 are found to be about 3.6, 3.8 and 4.9 at Re = 60, 0.2 and 0.15, respectively.
© 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The high-performance thermal systems are needed in many industrial applications such as shell-and-tube type heat exchangers, electronic cooling devices, thermal regenerators, and internal cooling systems of gas turbine blades and thus, several methods to improve heat transfer in the systems have been developed extensively with a view to reducing the size, weight and cost of the heat exchanger systems. Attempts have been made to enhance heat transfer in the heat exchangers by using various roughen surfaces or turbulators such as ribs [1], grooves/ridges [2], winglets [3,4] and baffles [5] in disturbing the flow and in providing transverse/longitudinal vortices or three-dimensional mixing. The use of ribs/baffles placed in the cooling channels or channel heat exchangers is one of the commonly used passive heat transfer enhancement technique in single-phase internal flows. Periodically positioned ribs/baffles in the channels interrupt hydrodynamic and thermal boundary layers. Downstream of each rib/baffle the flow separates, recirculates, and impinges on the channel wall and these effects are the main reasons for heat transfer enhancement in such channels. The use of ribs/baffles increases not only the heat transfer rate but also substantial the pressure loss. The

rib/baffle geometry and arrangement in the channel also alter the flow field resulting in different convective heat transfer distribution. In particular, the angled ribs, the rib cross-section, the rib-to-channel height ratio and the rib pitch-to-height ratio are all parameters that influence both the convective heat transfer coefficient and the overall thermal performance. It is, thus, difficult to realize the advantage of rib/baffle arrangements or geometry and the use of staggered rib/baffles with rib height and pitch spacing of 0.1 (0.5 for baffles) and 1 (two of the channel height) respectively is often recommended in most of the previous work.

For ribs, several investigations have been conducted to study the effect of these parameters on heat transfer and friction factor for two opposite roughened surfaces. Han et al. [6,7] studied experimentally the heat transfer in a square channel with different angled rib arrays on two walls for $Pr = 10$ and $Re = 0.0625$. They reported that the angled ribs and V ribs provided higher heat transfer enhancement than the constant ribs and the highest value is at the 60° orientation amongst the angled ribs. For heating either only one of the ribbed walls or both of them, or all four channel walls, they reported that the former two conditions resulted in an increase in the heat transfer with respect to the latter one. Murata and Mochizuki [8] studied numerically the heat transfer distribution in a ribbed square channel with $Re = 0.1$, $Pr = 10$ and 60° orientation using large eddy simulation. Their numerical result provided that the flow reattachment at the midpoint between ribs caused a significant increase in the local heat transfer. Comprehensive reviews on hot

* Corresponding author. Tel.: +66 2 3549177; fax: +66 2 3549198.
E-mail address: k.pongjet@kmitl.ac.th (P. Promvong).

0894-1775/\$ – see front matter © 2010 Elsevier Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.apthermeng.2010.07.014

Nomenclature		Greek letter	
BR	baffle ratio (b/H)	μ	dynamic viscosity, $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$
BLE	baffle leading end	Γ	thermal conductivity
BTE	baffle trailing end	D_h	hydraulic diameter
b	baffle height, m	α	baffle inclination angle or angle of attack, degree
D	hydraulic diameter of square channel ($=4H$)	λ	thermal conductivity, $W\ m^{-1}\ K^{-1}$
e	rib height, m	ρ	density, $kg\ m^{-3}$
f	friction factor	Subscript	
H	channel height, m	in	inlet
h	convective heat transfer coefficient, $W\ m^{-2}\ K^{-1}$	o	smooth channel
k	thermal conductivity, $W\ m^{-1}\ K^{-1}$	w	wall
L	cyclic length of one cell (or axial pitch length), m	pp	power
Nu	Nusselt number		
p	static pressure, Pa		
P	rib pitch length, m		
PR	baffle pitch or spacing ratio, L/P		
Pr	Prandtl number		
Re	Reynolds number, $\rho u D_h / \mu$		
S_f	rate of strain tensor		

transfer enhancement by periodic, surfaces mounted ribs in solid air heaters (or both numerical and experimental works) were reported by Hwang et al. [9] and Sparrow et al. [10].

For baffles, the concept of periodically fully developed flow was first introduced by Patankar et al. [11] to investigate numerically the flow and heat transfer characteristics in a duct and then, periodic duct flows for laminar and turbulent regimes have been applied extensively. Bessac et al. [12], studied laminar flow behaviors in a channel fitted with 90° transverse baffles mounted on two opposite walls with staggered array and found that the flow is free of vortex shedding at a Reynolds number below 600. Webb and Ramadhyani [13], based on the periodically fully developed flow conditions [11], numerically investigated the fluid flow and heat transfer characteristics in a smooth channel attached with staggered baffles. Kellar and Patankar [14] studied the heat transfer behaviors in a channel with staggered baffles and reported that the heat transfer increases with the rise in baffle height and with the decrease in baffle spacing.

A numerical investigation of laminar forced convection in a three-dimensional channel with baffles for periodically fully developed flow and with a uniform heat flux in the top and bottom walls was conducted by Lopez et al. [15]. Guo and Anand [16] studied the three-dimensional heat transfer in a channel with a single baffle in the entrance region. Ko and Anand [17] carried out an experiment for turbulent channel flow with porous baffles and found that the porous baffles prevent a flow behavior as good as the one with solid baffles. Mousavi and Hooman [18] numerically studied the heat transfer behavior in the entrance region of a channel with staggered baffles for Reynolds numbers ranging from 50 to 500 and baffle heights between 0 and 0.75 and reported that the Prandtl number affects the precise location of the periodically fully developed region. Promvong et al. [19] investigated numerically the laminar heat transfer enhancement in a square channel with 45° inclined baffle on one wall and a single baffle pitch. They found that a single streamwise vortex flow is created by the baffle throughout the test channel and P-vortex exists and helps to induce impinging jets on the upper, lower and BTE side walls. The appearance of vortex-induced impingement (VI) flows lead to the maximum thermal enhancement factor of about 2.2 at $BR = 0.4$ and $Re = 1200$. Promvong et al. [20] also investigated numerically the laminar flow structure and thermal behaviors in

a square channel with 45° inline baffles on two opposite walls and a single baffle pitch of $PR = 1$. Two streamwise, counter-rotating vortices flows were created over the channel and VI jets appeared on the upper, lower and BLE side walls while the maximum thermal enhancement factor of about 2.6 at $BR = 0.2$ and $Re = 1000$ was reported.

Since from ref. [20], most of the investigators for baffles mounted on two opposite walls, cited above, have considered the heat transfer characteristics for blockage and spacing ratio values only for porous or solid transverse baffles in staggered arrangement while for ribs, only square or thick ribs with Re of about 0.025–0.1 were investigated. The study on angled baffles for thin and high ribs with inline arrays in square channels has rarely been reported, especially for numerical investigations. In the present work, the numerical computations for three-dimensional laminar periodic channel flows over a 30°-angled baffle pair mounted in inline arrangement on two opposite channel walls with three pitch ratios are conducted with the main aim being to examine the changes in the flow structure and heat transfer behaviors. The use of the inline 30°-angled baffles placed periodically over the opposite walls of the tested channel is expected to generate a pair of longitudinal counter-vortex flows through the channel to better mixing of flow between the core and the wall leading to higher heat transfer rate in the channel.

2. Mathematical foundation

The numerical model for fluid flow and heat transfer in the square channel was developed under the following assumptions:

- Steady three-dimensional fluid flow and heat transfer.
- The flow is laminar and incompressible.
- Constant fluid properties.
- Body forces and viscous dissipation are ignored.
- Negligible radiation heat transfer.

Based on the above assumptions, the channel flow is governed by the continuity the Navier–Stokes equations and the energy equation. In the Cartesian tensor system these equations can be written as follows:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

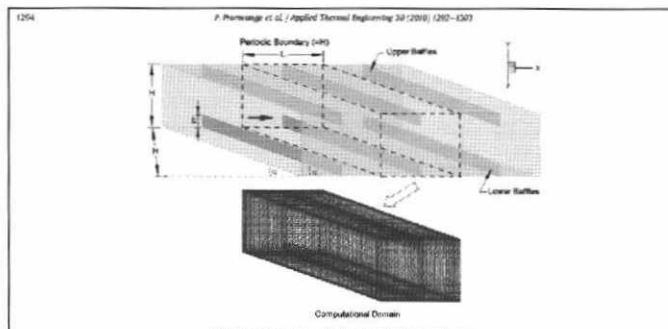


Fig. 1. Channel geometry and computational domain of periodic box.

Continuity equation:

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

Momentum equation:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

Energy equation:

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

where Γ is the thermal diffusivity and is given by

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad (4)$$

Re = $\rho U D_h / \mu$ (5)

Apart from the energy equation discretized by the QUICK scheme the governing equations were discretized by the power law differencing scheme, decoupling with the SIMPLE algorithm and solved using a finite volume approach [21]. The solutions were considered to be converged when the normalized residual values were less than 10^{-5} for all variables but less than 10^{-6} only for the energy equation. Four parameters of interest in the present work are the Reynolds number, friction factor, Nusselt number and thermal enhancement factor. The Reynolds number is defined as:

The friction factor, f , is computed by pressure drop, Δp across the length of the periodic channel, L , as

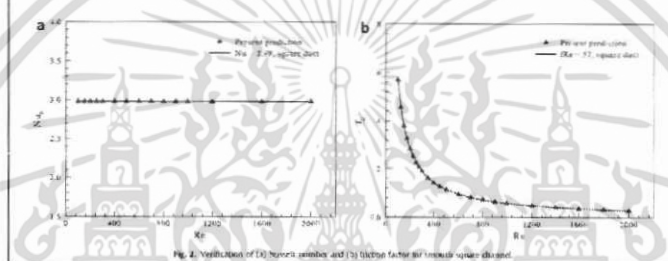


Fig. 4. Validation of (a) Reynolds number and (b) friction factor of present system (square duct).

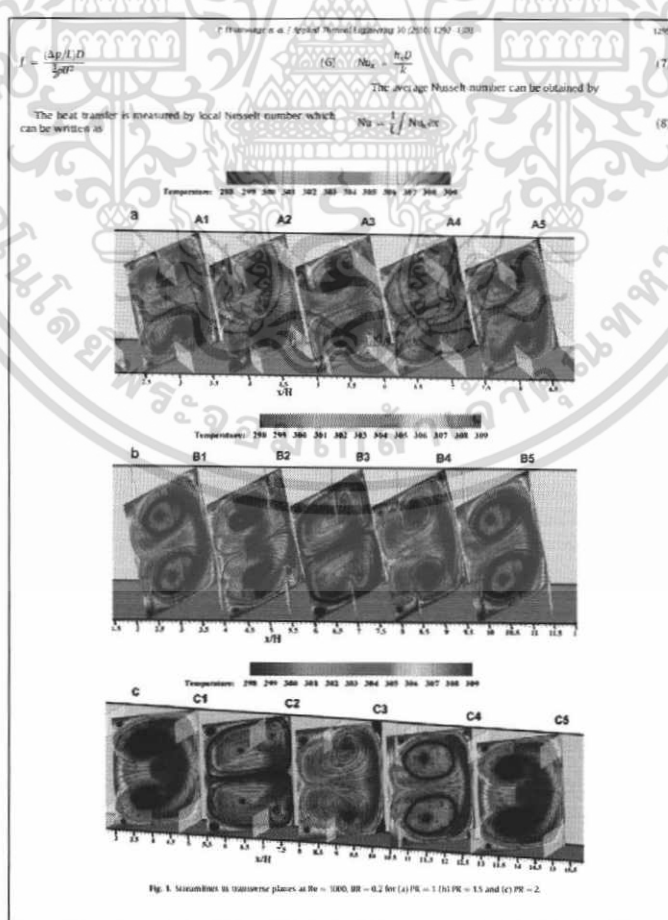
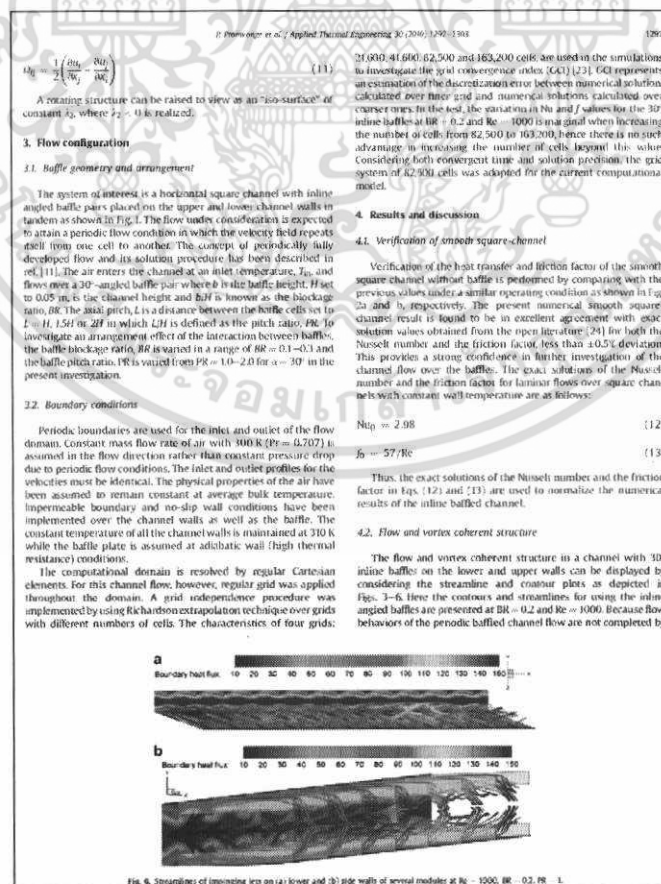
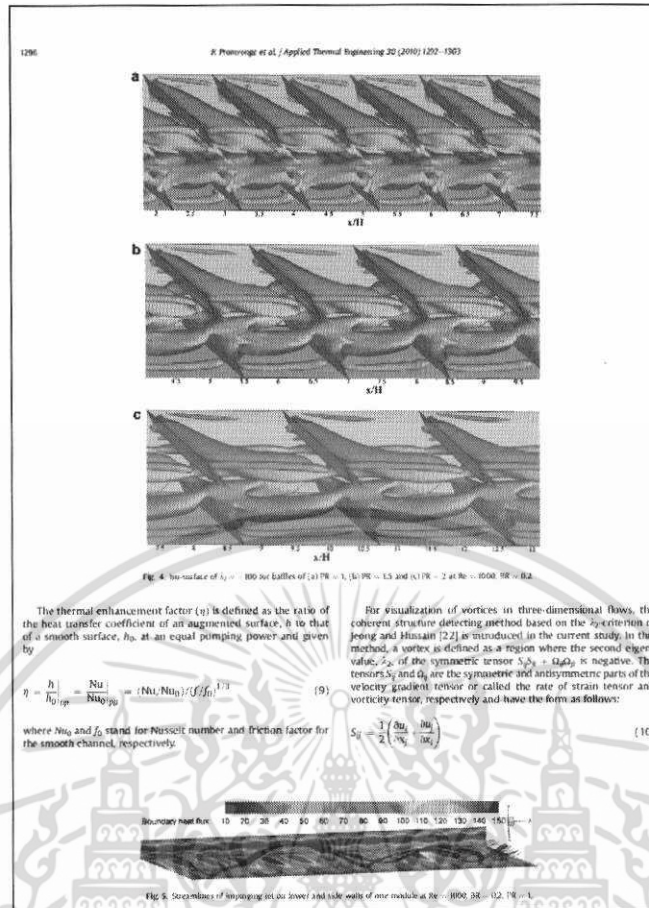
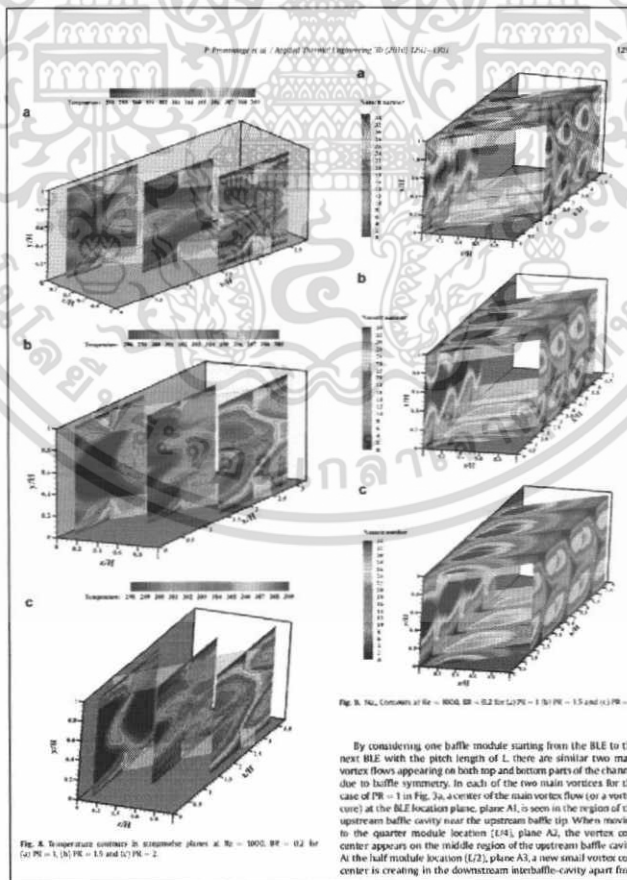
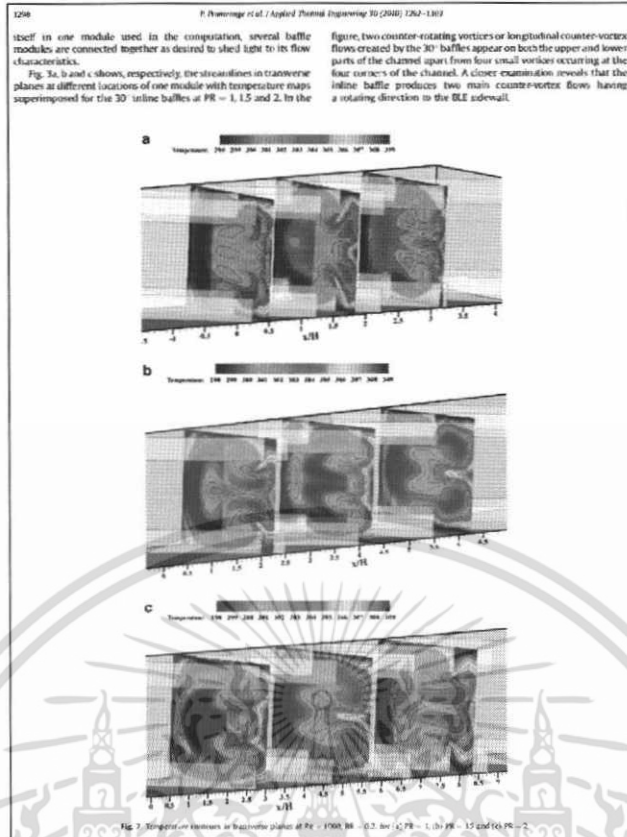


Fig. 5. Nusselt number in transverse planes at Re = 1000, BR = 0.2 for (a) PR = 1 (b) PR = 1.5 and (c) PR = 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the one, as mentioned in the planes A1 and A2, is the upstream one. The upstream vortex core center is gradually vanishing and moving to the downstream baffle cavity at the third quarter module location (3L/4) as seen in plane A4. Then, only the downstream one appears and the vortex flow repeats itself as it weakens the BLE of the next module (see planes A5). This vortex flow pattern is also similar for the cases of PR = 1.5, planes B1–B5 in Fig. 3b and PR = 2, planes C1–C5 in Fig. 3c, but a new vortex core center is created in the downstream baffle cavity at the quarter module location (plane B2 or C2) instead due to the longer baffle pitch length.

The direction of the vortices or center of the vortex flow can be visualized by considering the iso-surfaces of $f_{2,0}$ as can be seen in Fig. 4a, b and c for the inline angled baffles of PR = 1, 1.5 and 2, respectively. In the figure, it can be observed that in each module, the vortex core flow is found behind the BLE before moving across the baffle cavity to the BTE sidewall and then rolls up to become a helical flow to impinge on the BLE sidewall of the baffle cavity of the fourth or fifth module downstream. It is concluded that the presence of the 30° inline arrangement creates two main counter-rotating vortices resulting in impingement and longer flow including high strength of vortices due to changing in its orientation.

The plot of streamlines and channel wall heat flux showing the impingement jets on the lower wall and on the BLE sidewall of one module for the 30° baffles at PR = 1, Re = 1000 and BR = 0.2 is shown in Fig. 5. Fig. 6a and b also displays streamlines of multiple impinging jets on the lower wall and the BLE sidewall of several modules for the baffles at PR = 1, Re = 1000 and BR = 0.2, respectively. In these figures, it can be observed that impinging jets occur periodically in a central region of the BLE sidewall cells and in a region on the lower wall of the baffle cavity near the BLE sidewall (also on the upper one due to symmetry). A close examination reveals that the helical vortex flow moves along the baffle cavity to the BTE sidewall and rolls up across 4–5 modules to impinge on the BLE sidewall, the upper or lower walls of the fourth or fifth module downstream. After impingement, the jets split over the wall and recirculates into two helical streams (P-vortices) at the nearby baffle end to create vortex flows again with shorter pitch length (about 4H). The helical pitch length of the main vortex flow is about 4H–5H before impingement and becomes shorter after impingement. This means that the helical vortex flow passes over four or five baffle modules from a BTE side to the other BLE side before impingement. This behavior is identical on both the upper and lower parts as two streamlines counter-vortices with non-uniform helical pitch lengths form throughout the channel. It can be concluded that a pair of twisted vortex (P-vortices) flows with non-uniform helical pitches created by the inclined baffles placed periodically can induce two impingement flows, one on the wall region in the baffle cavity and the other on the BLE sidewall region or P-vortex induced impingements (VI) for two walls can occur periodically in a flow through the angled baffle.

4.3. Heat transfer

Fig. 7a, b and c displays the contour plots of temperature field in transverse planes for the 30° baffle with PR = 1, 1.5 and 2, respectively at Re = 1000 and BR = 0.2. Fig. 8a, b and c also presents the contour plots of temperature field but in streamwise planes. The figures show that there is a major change in the temperature field throughout the channel. This indicates that the VI flow provides a significant influence on the temperature field, because it can induce better fluid mixing between the wall and the core flow regions, leading to a high temperature gradient over the heating channel wall. The higher temperature gradient can be observed where the flow impinges the channel walls while the lower one is seen at the BTE sidewall region where the temperature

in this region is somewhat high indicating that low temperature gradient occurs. However, the temperature fields for all the three cases are seen to be similar and almost distributed uniformly in the entire flow indicating excellent mixing of the fluid flow.

Local Nu_x contours for the channel walls with the 30° inline baffles with PR = 1, 1.5 and 2 at Re = 1000, BR = 0.2 are shown in Fig. 9a, b and c, respectively. In the figure, it is apparent that the higher Nu_x values over the walls for the three PR baffles are seen to be in a larger area, except for a small region in the corner at the BTE. The peak values are found at the impingement areas on the BLE sidewall, the upper and lower walls. The peak Nu_x values for the 30° baffle are found to be about 10 times higher than those for the smooth channel. This indicates a merit of employing the 30° inline baffle over the smooth channel for enhancing heat transfer.

The variation of the average Nu/Nu_0 ratio with Re for the baffles at various PRs and BRs is depicted in Fig. 10. In the figure, it is visible that the Nu/Nu_0 value tends to increase with the rise of Re and BR for all PR values. The higher PR value leads to the decrease in Nu/Nu_0 . The 30° inline baffle with BR = 0.30 and PR = 1 provides the highest Nu/Nu_0 value. The maximum Nu/Nu_0 is found to be about 11.0 for PR = 1 while about 10 for both PR = 2 and PR = 1.5, all at BR = 0.30. The scrutiny of Fig. 10 reveals that the use of the 30° baffle with BRs and PRs studied yields heat transfer rate of about 12–11.0 times over the channel with no baffle, depending on the BR and PR values.

Fig. 11a, b and c displays the heat transfer on the two side walls and the upper wall of the baffled channel with PR = 1, 1.5 and 2, respectively. In the figure, it is visible that the maximum heat transfer is found on the BLE sidewall for all BR values while the heat transfer on the BTE and the upper walls is nearly the same. The heat transfer on the BLE sidewall for BR = 0.2 is seen to be higher than that on the BTE and the upper walls for all BRs and about 50% higher than that on the upper wall for the same BR = 0.3 case. At BR = 0.1, the heat transfer on the three walls appears to be almost the same while that on the BTE sidewall is found to be the lowest. This can be attributed to the VI flow effect induced by stronger P-vortex flows on the BLE sidewall, especially for BR > 0.2.

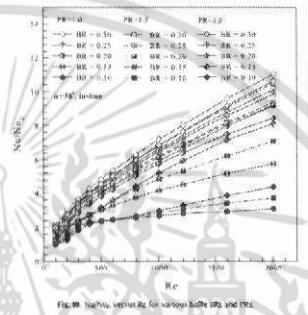


Fig. 10. Nu/Nu_0 versus Re for various baffle BRs and PRs.

4.4. Pressure loss

Fig. 12 displays the variation of the friction factor ratio, f/f_0 , with Re values for various BRs and PRs. In the figure, it is noted that the f/f_0 tends to increase with the rise of Re and BR values but to decrease with increasing PR values. The PR = 1 baffle case provides the highest f/f_0 value while the PR = 2 baffle case provides the lowest for all BRs. The friction factor for the 30° baffles appears to be about 1–54 times higher than that for the channel with no baffle. Thus the flow blockage due to the presence of the baffles is a vital factor to cause a high pressure drop. Effect of PR values on the friction factor ratio, f/f_0 , value is also depicted in Fig. 12. It is worth noting that the use of higher PR value provides much lower friction factor ratio value.

4.5. Performance evaluation

Fig. 13 shows the variation of thermal enhancement factor (η) for air flowing in the baffled square channel. In the figure, the enhancement factor of the 30° inline baffles tends to increase with the rise of Re and BR values whereas shows a uniform trend for PR = 0.1 and Re > 300. The highest enhancement factor for the 30° inline baffle with PR = 1 and 1.5 is found at BR = 0.20 while that with PR = 2 is at BR = 0.15. The enhancement factors of all the 30° baffle cases are seen to be above unity for all BRs and vary between 3.1 and 4.0, depending on the BR, PR and Re values. If to interpret to note that at Re = 2000, the maximum enhancement factors for the baffles with PR = 2, 1.5 and 1 are, respectively, about 4.0, 3.8 and 3.6 at BR = 0.15, 0.2 and 0.2.

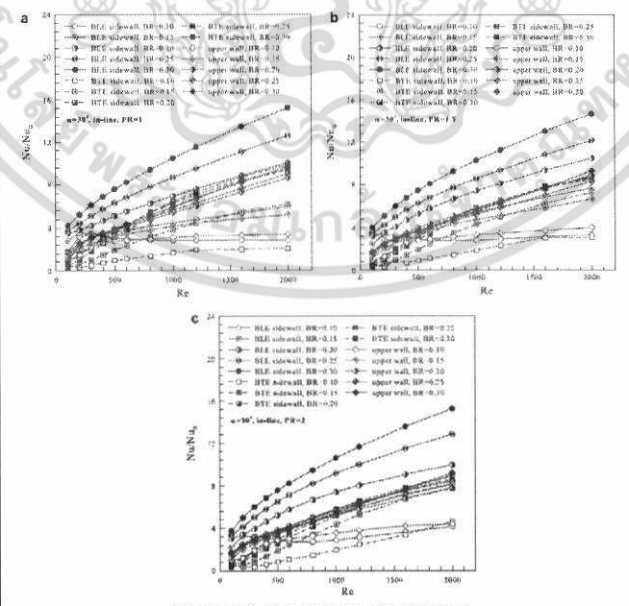
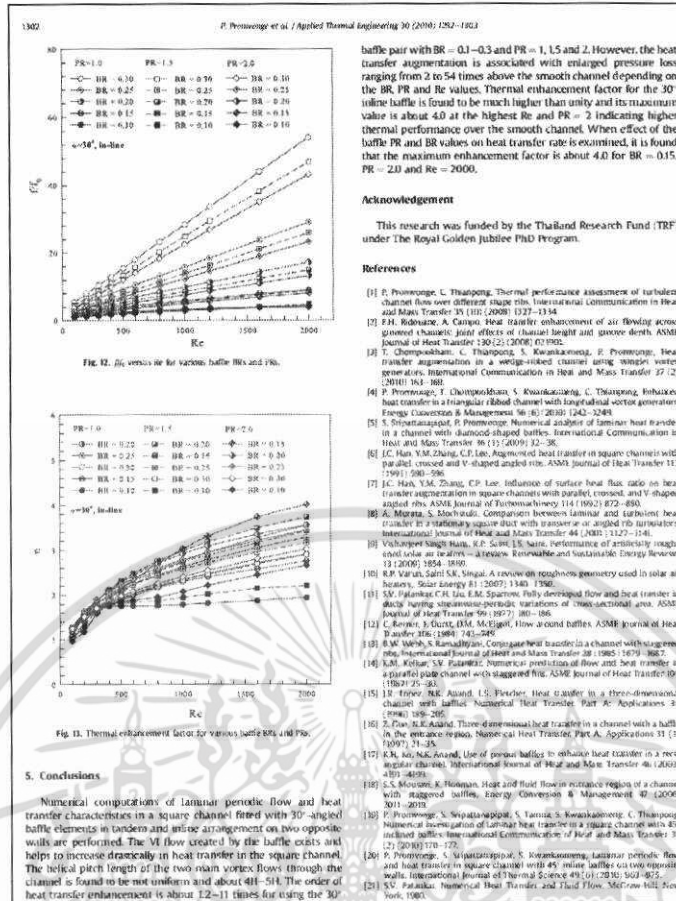


Fig. 11. Nu/Nu_0 versus Re for various walls at (a) PR = 1, (b) PR = 1.5 and (c) PR = 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. Conclusions

Numerical computation of laminar periodic flow and heat transfer characteristics in a square channel fitted with 30°-angled baffle elements in tandem and stagger arrangement on two opposite walls are performed. The VI flow created by the baffle exists and helps to increase dramatically in heat transfer in the square channel. The helical pitch length of the two main vortex flows through the channel is found to be not uniform and about 481–514. The order of heat transfer enhancement is about 1.2–11 times for using the 30°

baffle pair with $BR = 0.1$ – 0.3 and $PR = 1, 1.5$ and 2 . However, the heat transfer augmentation is associated with enlarged pressure loss ranging from 2 to 54 times above the smooth channel depending on the BR, PR and Re values. Thermal enhancement factor for the 30° angle baffle is found to be much higher than unity and its maximum value is about 4.0 at the highest Re and $PR = 2$ indicating higher thermal performance over the smooth channel. When effect of the baffle PR and BR values on heat transfer rate is examined, it is found that the maximum enhancement factor is about 4.0 for $BR = 0.15, PR = 2.0$ and $Re = 2000$.

Acknowledgement

This research was funded by the Thailand Research Fund (TRF) under The Royal Golden Jubilee PhD Program.

References

- [1] P. Promwong, L. Thaipong, Thermal performance assessment of turbulent channel flow over different shape ribs, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 15 (10) (2008) 1327–1344.
- [2] P.H. Reddy, A. Camp, Heat transfer enhancement of air flowing across staggered channels: joint effects of channel height and groove depth, *ASME Journal of Heat Transfer* 130 (2) (2008) 021902.
- [3] T. Chompoekham, C. Thaipong, S. Kawakamang, P. Promwong, Heat transfer augmentation in a wing-ribbed channel using staggered vortex generators, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 17 (2) (2010) 181–188.
- [4] P. Promwong, T. Chompoekham, S. Kawakamang, C. Thaipong, Enhanced heat transfer in a triangular ribbed channel with longitudinal vortex generators, *Energy Conversion & Management* 46 (6) (2005) 1242–1249.
- [5] S. Srivatsanaraj, P. Promwong, Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 16 (1) (2009) 32–38.
- [6] J.C. Han, Y.M. Zhang, C.F. Lee, Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs, *ASME Journal of Heat Transfer* 113 (1991) 580–586.
- [7] J.C. Han, Y.M. Zhang, C.P. Lee, Influence of surface heat flux ratio on heat transfer augmentation in square channels with parallel, crossed, and V-shaped angled ribs, *ASME Journal of Thermophysics* 14 (1992) 472–480.
- [8] A. Murata, S. Mochizuki, Comparison between laminar and turbulent heat transfer in stationary square duct with staggered or angled rib turbulators, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44 (2001) 1127–1141.
- [9] Vishaljeet Singh Bhat, K.P. Singh, L.S. Bhat, Performance of artificially roughened tubes at different Reynolds numbers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1854–1860.
- [10] R.P. Varun, Smiti S.K. Singh, A review on roughness geometry used in solar air heaters, *Solar Energy* 81 (2007) 1343–1360.
- [11] S.V. Patankar, C.H. Liu, E.M. Sparrow, Fully developed flow and heat transfer in duct having sinusoidal periodic variations of cross-sectional area, *ASME Journal of Heat Transfer* 99 (1977) 180–186.
- [12] C. Royner, J. Guiz, D.M. McElroy, Flow around baffles, *ASME Journal of Heat Transfer* 106 (1984) 142–149.
- [13] B.M. Webb, S. Ramadhyani, Compact heat exchanger in a channel with staggered ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 38 (1995) 1679–1687.
- [14] S.M. Kishor, S.V. Patankar, Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered ribs, *ASME Journal of Heat Transfer* 109 (1987) 25–31.
- [15] R. Enay, N.K. Awad, L.S. Fletcher, Heat transfer in a three-dimensional channel with baffles, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications* 40 (1994) 249–265.
- [16] Z. Du, J.K. Awad, Three-dimensional heat transfer in a channel with a baffle in the entrance region, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications* 31 (1997) 21–35.
- [17] R.H. Kay, N.K. Awad, Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46 (2003) 4375–4393.
- [18] S. S. Mousavi, S. Hosseini, Heat and fluid flow in entrance region of a channel with staggered baffles, *Energy Conversion & Management* 42 (2000) 2011–2019.
- [19] P. Promwong, S. Srivatsanaraj, S. Karnik, S. Kawakamang, C. Thaipong, Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45°-inclined baffles, *International Communication in Heat and Mass Transfer* 17 (2) (2010) 173–177.
- [20] P. Promwong, S. Srivatsanaraj, S. Kawakamang, Laminar periodic flow and heat transfer in square channel with 45° angle baffle on two opposite walls, *International Journal of Thermal Science* 49 (1) (2010) 901–925.
- [21] S.V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volume 39 Number 1

January 2012

ISSN 0735-1933

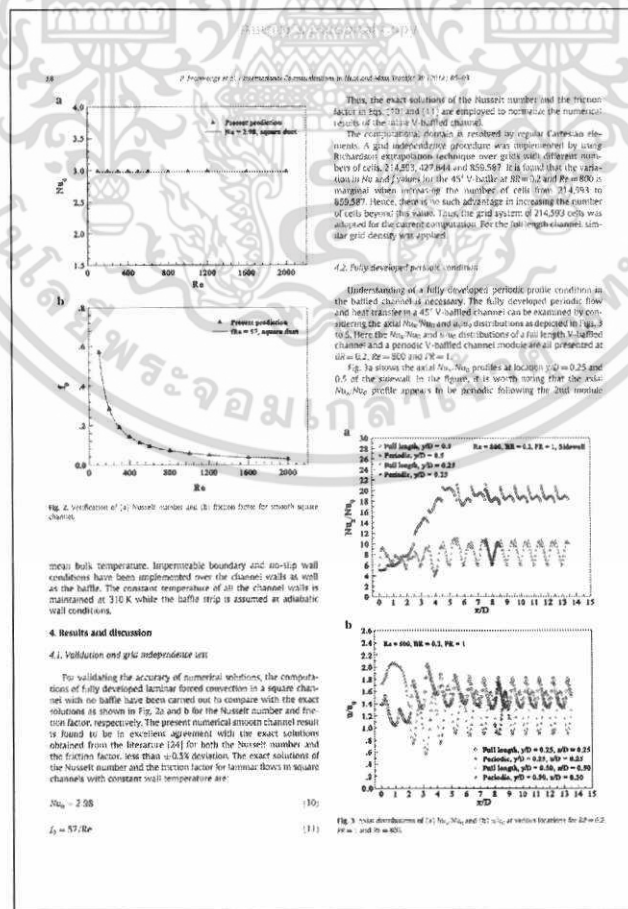
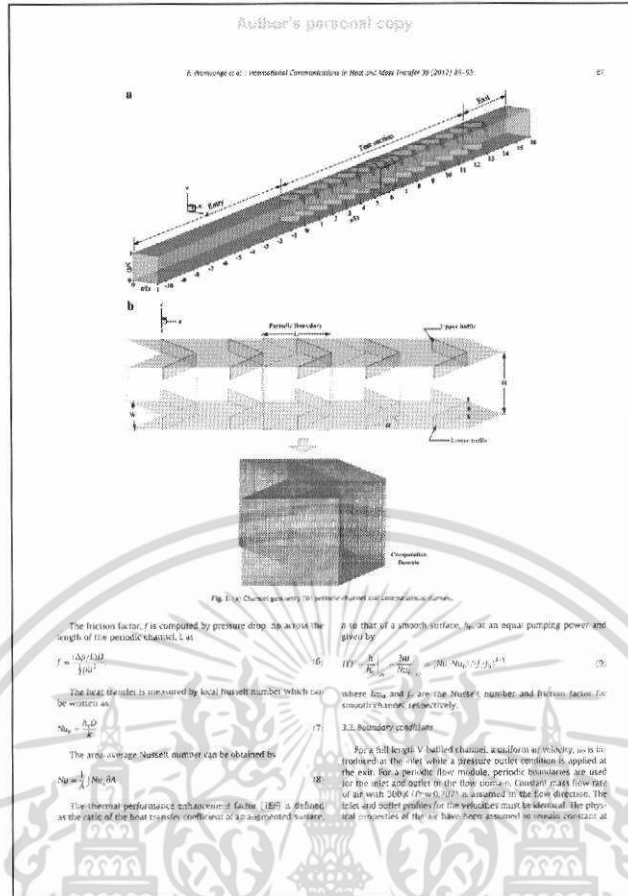
International Communications in
**HEAT and MASS
 TRANSFER**

Editor-in-Chief
 W.J. MINIKOWYCZ

Editors
 A.R. BALAKRISHNAN, B. CHENG, B. GREIF, G.P. LIGGONPOULOS, E. HAHNE,
 A.I. LEONTIEVSKI, M. MUKHTAROV, J.S. SHEN, S. TUNG, H. YOSHIKAWA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

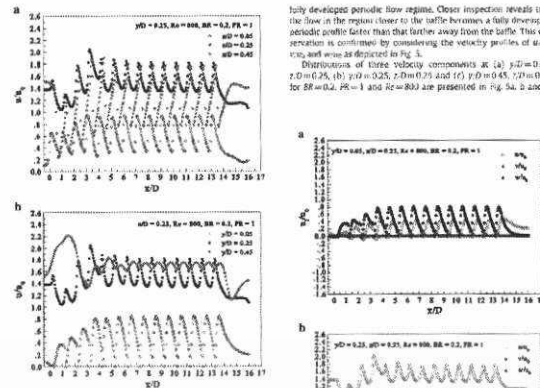


Fig. 4. Axial distributions of (a) flow at various x/D and (b) wall shear stress at various y/D for $Re = 0.2$, $PR = 1$ and $Re = 800$.

and then, tends to increase to become fully developed periodic at about the 7th module at $x/D = 7.0$ and $x/D = 0.2$ while seems to be periodic after the 1st module and becomes fully developed periodic around the 8th module at $x/D = 8.0$ for $y/D = 0.5$. This indicates that after the 8th module in x/D, the concept of fully developed periodic heat transfer condition is valid due to a constant flow dynamic profile. Scrutinizing Fig. 2a reveals that the available Nu_{eff} increase at the location close to the baffle openings to be fully developed periodic to constant periodic faster than that at location the crown of the baffle.

Fig. 3b displays the axial velocity profiles along the V-baffle channel with $Re = 0.2$ and $Re = 800$ at locations $x/D = 0.75, 2.75, 7.75, 12.75$ and $x/D = 0.2, 2.25, 7.25, 12.25$. It is seen in the figure that the velocity profile for all cases becomes periodic at the 2nd module and tends to increase to be a fully developed periodic flow at about the 7th 8th module at $x/D = 0.2$, similar to the periodic heat transfer condition. And the velocity profile at the location $y/D = 0.75$ becomes fully developed periodic slightly faster than the case at $y/D = 0.5$. In the present study, the periodic flow is found to be a fully developed periodic due to the periodic heat transfer.

Fig. 4a and 4b shows the axial distributions of flow for various locations at a fixed location of $y/D = 0.05$ and $y/D = 0.25$ respectively. In the figure, it is apparent that the velocity profiles for different x/D have a slight effect on the axial location of y/D for fully developed periodic flow regions. However, for different y/D locations at a fixed location of $x/D = 0.25$ show different locations to obtain the

fully developed periodic flow regions. Closer inspection reveals that the flow in the region closer to the baffle becomes a fully developed periodic profile faster than that further away from the baffle. This observation is confirmed by considering the velocity profiles of u, v, w , and w_{eff} displayed in Fig. 5.

Distributions of three velocity components at (a) $y/D = 0.05$, $x/D = 0.25$, (b) $y/D = 0.25$, $x/D = 0.75$ and (c) $y/D = 0.45$, $x/D = 0.25$ for $Re = 0.2$, $PR = 1$ and $Re = 800$ are presented in Fig. 5a, b and c.

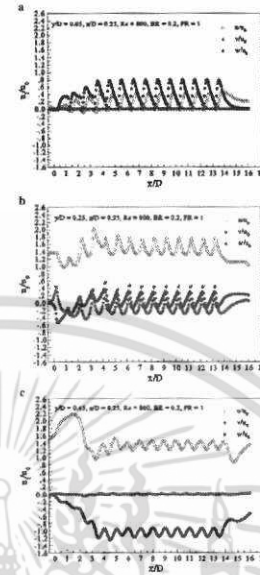


Fig. 5. Distributions of three velocity components at (a) $y/D = 0.05$, $x/D = 0.25$, (b) $y/D = 0.25$, $x/D = 0.75$ and (c) $y/D = 0.45$, $x/D = 0.25$ for $Re = 0.2$, $PR = 1$ and $Re = 800$.

respectively. The velocity profiles in Fig. 5a, b and c represent the case, the far and the nearest profile locations from the baffle, respectively. In the figure, it is visible that profiles of the u and w velocity u, v and w increase to be periodic at the 2nd module for locations $y/D = 0.05$ and $x/D = 0.25$ (Fig. 5a) and 3rd module for locations $y/D = 0.25$ (see Fig. 5b). A closer examination reveals that the velocity profiles are fully developed periodic after about the 4th, 6th and 8th modules at $x/D = 0.25$ and $y/D = 0.05, 0.25$ and $y/D = 0.45$, respectively. This observation indicates that the fully developed periodic flow condition depends on the baffle height and pitch ratio where the higher the PR and the smaller the PR lead faster to the fully developed periodic flow.

Therefore, the concept of fully developed periodic flow and heat transfer profiles can be applied exclusively to laminar channel flow through baffles if the top channel is completely baffle height. Considering both convective time and relative properties, only a fully developed periodic flow and heat transfer channel model (periodic flow model) is employed in the next computation.

4.1. Flow structure

The flow structure in the channel mounted repeatedly with the same 45° V-baffle can be displayed by considering the distribution in transverse planes for $Re = 0.2$ and $Re = 0.2$ as depicted in Fig. 6a and b for the full height and the periodic module, respectively. In Fig. 6a, the transverse planes for the full length seem to be periodic in plane and develop to a fully developed periodic profile around plane m_8 . For a periodic flow module, the development in transverse planes are shown in Fig. 6b. It is visible that two dominant rotating vortices generated by the V-baffle appear on the lower and upper parts of the module channel as depicted in planes A1 to

A5. The appearance of the vortices flow can help to increase higher heat transfer in the channel because of highly transporting the fluid from the central core to the wall region.

The plot of streamlines for Reynolds numbers ranging from the intermediate pitch ratio for lower wall and the intermediate pitch ratio for the upper wall and the intermediate pitch ratio for the lower wall and the intermediate pitch ratio for the upper wall are displayed in Fig. 7. In the figure, it can be observed that the impinging jet occur in central area of the sidewall and in some regions on the lower wall throughout the first channel also on the upper wall due to symmetry. A close examination reveals that the secondary jets on the sidewall and the lower wall come from the helical vortex flows. The helical flow follows the outer-baffle cavity, not the V-top and then make a helical ring to impinge on the sidewall lower wall regions. After impingement area, the flow is split, and then recombines with similar upper and lower wall periodic module flow to become a helical flow again. It is noted that the helical pitch length of the vortex flow is about $2.1 \sim 4.1$. The helical flow is induced from several intermediate pitch ratio region beneath the baffle to recombine to be a helical flow for the next impingement.

4.2. Heat transfer and pressure loss

Local Nu_{eff} contours for the channel with the V-baffle at $Re = 0.2$, $PR = 1$ and $Re = 800$ are depicted in Fig. 8a and b for the full length and the module, respectively. In the figure, it is apparent that the higher Nu_{eff} values on the channel walls can be seen in a larger area, except for small regions at the corners and around the baffle. The Nu_{eff} contours for both the full length and the module are similar. The peak values are found at the impingement area on the sidewall (on the upper and lower walls). The peak Nu_{eff} value for the V-baffle with $Re = 0.2$ is found to be about 145 (one higher than that for the smooth channel). This indicates a merit of employing the 45°

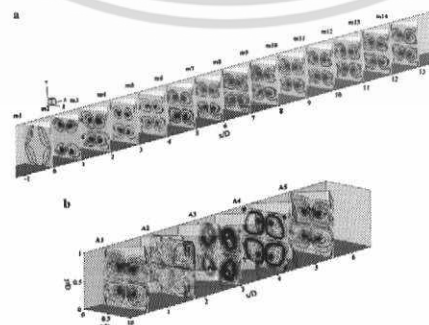


Fig. 6. Streamlines in transverse planes at $Re = 0.2$, $PR = 1$ for (a) full height and (b) V periodic channel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fig. 3. Schematics of impinging jets of air on lower and side walls at $Re = 1000$, $Pr = 1$ and $Re = 600$.

V-downstream baffle with $Re = 0.2$ over the smooth channel for air having best structure.

The variation of the average Nu_{top} ratio over Re for the baffles with various PR is presented in Fig. 6a. In the figure, it is visible that the Nu_{top} value tends to increase with the size of Re for all PR and PR values. The case of higher PR value leads to an increase in the Nu_{top} , while the case of PR yields the reduction in the Nu_{top} value. The V-baffle with $PR = 0.1$ provides the highest Nu_{top} value for all Re . The maximum Nu_{top} values at $Re = 0.5$ are found to be about 21.13 and 14.62 for $PR = 1.5$ and 2, respectively. A close examination reveals that the increase rate of the Nu_{top} is reduced greatly at $Re = 0.2$ especially for $PR = 1.5$ and 2. This shows that at $Re = 0.2$, the increase in PR is not efficient for enhancing heat transfer. The use of the V-baffle with Re range studied gives heat transfer rate of about 1–2.1 times over the square channel with no baffle, depending on the PR and Re values.

Fig. 6b displays the variation of the friction factor ratio, f_b , with Re for the baffles with various PR values. In the figure, it is noted that the f_b tends to increase with the rise of Re and PR values. The V-baffle with $PR = 0.1$ also gives the highest f_b . The increase in the PR results in lower friction factor ratios, especially at higher Re value. The increase rate of f_b is very high for $Re = 0.2$, indicating inefficient use at higher Re . The friction factor for the V-baffle appears to be about 1.1–3.75 times above that for the smooth channel with no baffle. Thus the low backage due to the presence of the V-baffle is a key factor for its choice as high pressure drop in the channel.

4.3. Performance evaluation

Fig. 10 presents a variation of the thermal performance enhancement factor, TPF, for air flowing in the V-baffled channel. In the figure, the TPF of using the baffle tends to increase with the rise in Re

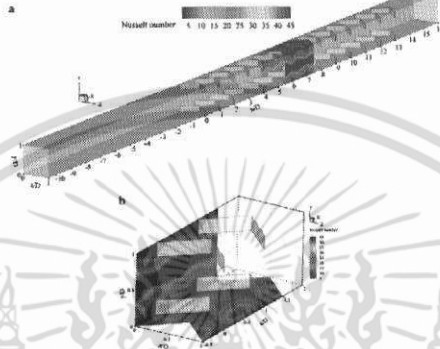


Fig. 4. Nu_{top} contours for a 45° V-baffle channel with $Re = 1000$, $Pr = 0.1$ and $Re = 600$.

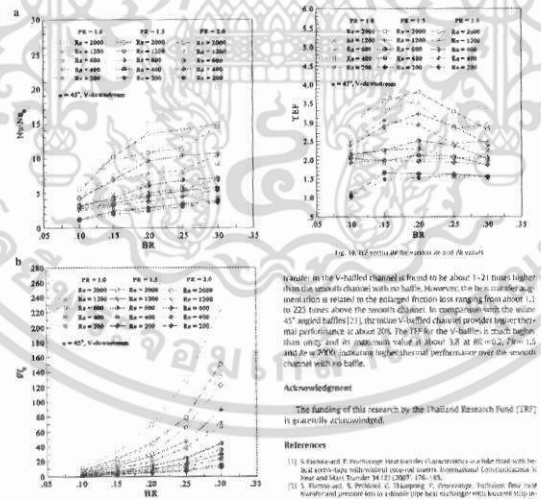


Fig. 6. (a) Nu_{top} and (b) f_b versus Re and PR values.

and PR values for all PR . It is found that the V-baffles with $Re = 0.20$, 0.20 and 0.15 provide the highest TPF of about 3.63, 3.81 and 2.72 for $PR = 1.5$ and 2, respectively. At a similar operating condition, the inline 45° V-baffle performs about 20% higher than the inline 15° angled baffle [21]. This shows the merits of using the V-baffle to enhance heat transfer in heat exchanger channels. The TPF of users is vary between 1.0 and 3.81, depending on the Re , PR and Re values.

5. Conclusions

Airflow flow and thermal characteristics in a square channel equipped symmetrically with inline 45° V-baffles on the upper and lower walls are investigated numerically. The V-baffled channel flow is found to be fully developed periodic flow and heat transfer profiles at about $x = 0.8$ downstream of the inlet channel inlet. The pressure loss caused by the V-baffle can be used to impinge attachment flow on the channel walls leading to drastic increase in the heat transfer rate. The heat

transfer rate in the V-baffled channel is found to be about 1–2.1 times higher than the smooth channel with no baffle. However, the heat transfer augmentation is related to the eddy friction loss ranging from about 1.1 to 3.75 times above the smooth channel. In comparison with the inline 45° angled baffle [21], the inline V-baffled channel provides higher thermal performance of about 20%. The TPF for the V-baffle is much higher than using an inline baffle of about 3.81 at $Re = 0.2$, $PR = 1.5$ and 2.0 at $Re = 2000$ indicating higher thermal performance over the smooth channel with no baffle.

Acknowledgment

The funding of this research by the Thailand Research Fund (TRF) is gratefully acknowledged.

References

[1] S. Ghosh and P. Promwong, Heat transfer characteristics in a fully developed turbulent flow with a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[2] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[3] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[4] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[5] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[6] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[7] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[8] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[9] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[10] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[11] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[12] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[13] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[14] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[15] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[16] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[17] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[18] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[19] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[20] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.
[21] S. Ghosh and P. Promwong, Convective heat transfer characteristics in a square channel equipped with a baffle, International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2014) 355–371.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RSCE 2010

The 17th Regional Symposium on Chemical Engineering

Proceedings of RSCE2010

The 17th Regional Symposium on Chemical Engineering

"Sharing Visions, Sharing Tomorrow"

November 22-23, 2010

Queen Sirikit National Convention Center,
Bangkok, Thailand

ISBN 978-974-466-513-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° staggered angled baffles

S. Kwankameng, W. Jedsadaratnuchai, C. Thimpong and P. Prouvong*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel.: +662-3298350-1; fax: +662-3298352
*e-mail address: kppong@kmutl.ac.th

Abstract

In the current work, a three-dimensional numerical simulation is performed to investigate a periodic laminar flow and heat transfer characteristics in an isothermal wall square channel fitted with 30° angled baffles. The computations based on a finite volume method with the SIMPLE algorithm for decoupling the governing equations have been conducted for the fluid flow in terms of Reynolds numbers ranging from 100 to 1200. The baffles with the attack angle of 30° mounted periodically on the channel wall are used to generate a flow of two streamwise counter-vortices through the tested channel. Effects of three different baffle height ratios (BR) and three axial pitch length ratios (PR) on heat transfer and flow behaviors in the square channel are examined. It is apparent that the streamwise vortex flow can induce impingement/attachment flows on the inter-baffle cavity wall region and on almost the BLE sidewall, resulting in drastic increase in heat transfer rate over the test channel. The computational results reveal that the maximum thermal enhancement factors for the baffles with BR=0.3, 0.2 and 0.1 are, respectively, found to be about 2.45, 2.95 and 1.86 at Re=1200 and PR=1.

Keywords: Periodic flow; Laminar flow; Heat transfer; Angled rib; Square channel.

Introduction

The application of ribs/baffles/winglets mounted in the cooling/heating ducts or heat exchanger tubes is one of the commonly used passive heat transfer enhancement technique in single-phase internal flows since periodically positioned ribs in the ducts interrupt hydrodynamic and thermal boundary layers, apart from inducing recirculation flow. Downstream of each rib/baffle the flow separates, recirculates, and impinges on the duct wall and these effects are the vital reasons for heat transfer enhancement in such ducts. The use of ribs/baffles/winglets [1]-[3] increases not only the heat transfer rate but also substantial the pressure loss. It is, thus, difficult to realize the advantage of rib/baffle arrangements and the staggered rib/baffle with its pitch spacing of 1 time the duct height is often recommended in most of previous work.

The first work on the numerical investigation of flow and heat transfer characteristics in a duct with the concept of periodically fully developed flow was conducted by Patankar et al. [4] and since then, periodic duct flows for laminar and turbulent regimes have been applied extensively. Berner et al. [5] suggested that a laminar behavior for a channel with transverse baffles positioned on two opposite walls as found at a Reynolds number

below 600 and for such conditions the flow is free of vortex shedding. Lopez et al. [6] carried out a numerical investigation on laminar forced convection in a three-dimensional channel with baffles for periodically fully developed flow and with a uniform heat flux in the top and bottom walls. Prouvong et al. [7] studied numerically the laminar heat transfer enhancement in a square channel with 45° inclined baffle on one wall and a single baffle pitch. They found that a single streamwise vortex flow is created by the baffle throughout the channel and a vortex flow exists and helps to induce impingement jets on the upper, lower and baffle trailing end (BLE) side walls. The appearance of vortex-induced impingement (VI) flows led to the maximum thermal enhancement factor of about 2.2 at BR=0.4 and Re=1200. Prouvong et al. [8] also investigated numerically the laminar flow structure and thermal behaviors in a square channel with 45° inline baffles on two opposite walls. Two streamwise counter-rotating vortex flows were created along the channel and VI jets appeared on the upper, lower and baffle leading end (BLE) side walls. The maximum thermal enhancement factors of about 2.6 at BR=0.2, PR=1 and Re=1000 were reported, respectively. A numerical investigation of Maata and Mochizuki [9] on heat transfer characteristics in

a ribbed square duct with $e/D=0.1$, $Pr=10$ and 60° orientation using a large-eddy simulation provided that the flow reattachment at the midpoint between ribs caused a significant increase in the local heat transfer.

Most of the investigations, cited above, have considered the heat transfer characteristics for only transverse ribs/baffles placed repeatedly in square/rectangular channels. The application of staggered angled baffle attached in square channel walls has rarely been reported. In the present work, the numerical computations for three-dimensional laminar periodic square channel flows over the 30° staggered angled baffle mounted periodically on the square channel wall are conducted with the main aim being to examine the changes in the flow structure and heat transfer behaviors. The application of the 30° staggered angled baffle placed periodically on the two opposite walls of the tested channel is expected to generate two longitudinal vortex flows through the square channel to better mixing of flows between the core and the wall resulting in higher heat transfer rate in the channel.

Mathematical Modeling

The numerical model for fluid flow and heat transfer in the square channel was developed under the following assumptions: steady three-dimensional, laminar and periodic incompressible fluid flow and ignoring body forces, viscous dissipation and radiation heat transfer. Based on the assumptions, the tube flow is governed by the continuity, the Navier-Stokes equations and the energy equation. In the Cartesian tensor system these equations can be written as follows:

Continuity equation:

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

Momentum equation:

$$\frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

Energy equation:

$$\frac{\partial (\rho u_i T)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

where Γ is the thermal diffusivity and is given by

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad (4)$$

Apart from the energy equation discretized by the QUICK scheme, the governing equations

were discretized by the power law differencing scheme, decoupling with the SIMPLE algorithm and solved using a finite volume approach [10]. The solutions were considered to be converged when the normalized residual values were less than 10^{-5} for all variables but less than 10^{-4} only for the energy equation.

Four parameters of interest in the present work are the Reynolds number (Re), friction factor (f), Nusselt number (Nu) and thermal enhancement factor (η). The Reynolds number is defined as

$$Re = \rho u D / \mu \quad (5)$$

The friction factor, f , is computed by pressure drop, Δp , across the length of the periodic tube, L , as

$$f = \frac{(\Delta p) L D}{\frac{1}{2} \rho u^2 L} \quad (6)$$

The heat transfer is measured by local Nusselt number which can be written as

$$Nu_x = \frac{h_x D}{k} \quad (7)$$

The average Nusselt number can be obtained by

$$Nu = \frac{1}{L} \int_0^L Nu_x dx \quad (8)$$

The thermal enhancement factor (η) is defined as the ratio of the heat transfer coefficient of an augmented surface, h , to that of a smooth surface, h_s , at an equal pumping power and given by

$$\eta = \frac{h}{h_s} = \frac{Nu}{Nu_{sp}} = (Nu/Nu_s) (f/f_s)^{-1/3} \quad (9)$$

where Nu_s and f_s stand for Nusselt number and friction factor for the smooth square channel, respectively.

Flow configuration

Baffle geometry and arrangement

The system of interest is a horizontal square channel with the 30° staggered angled baffle placed on the channel wall in tandem as shown in Fig. 1. The flow under consideration is expected to attain a periodic flow condition in which the velocity field repeats itself from one cell to another. The concept of periodically fully developed flow and its solution procedure has been described in Ref. [4]. The air enters the tube at an inlet temperature, T_a , and flows over the 30°-angled baffle where b is the baffle height, D set to 0.05 m, is the hydraulic diameter and b/H is known as the blockage ratio, BR. The axial pitch, L is a distance between the baffle cell set to $L = H, 2H$ and $3H$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

in which L/H is defined as the pitch ratios, $PR=1, 2$ and 3 . To investigate an effect of the interaction between baffles, the baffle blockage ratio, BR is varied in a range of $BR=0.1-0.3$ for $\alpha=30^\circ$ in the current investigation.

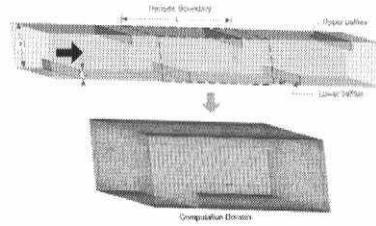


Fig. 1. Baffle geometry and computational domain of periodic flow

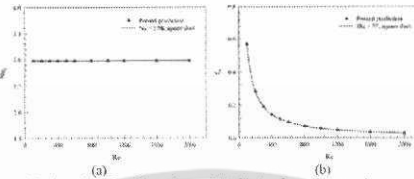


Fig. 2. Verification of (a) Nusselt number and (b) friction factor for smooth square channel

Boundary conditions

Periodic boundaries are used for the inlet and outlet of the flow domain. Constant mass flow rate of air with 300 K ($Pr=0.707$) is assumed due to periodic flow conditions. The physical properties of the air have been assumed to remain constant at mean bulk temperature. Impermeable boundary and no-slip wall conditions have been implemented over the square channel walls as well as the baffle. The constant temperature of the square channel walls is maintained at 310 K while the baffle plate is assumed as adiabatic wall conditions.

The computational domain is resolved by regular Cartesian elements and four grids of 20,600, 42,500, 83,500 and 164,200 cells are used to investigate the grid independence solution. In the test, the variation in Nu and f values for the 30° staggered angled baffles at $BR=0.2$ and $Re=800$ is marginal ($<0.3\%$) when

increasing the number of cells from 83,500 to 164,200, hence the grid system of 83,500 cells was adopted for the current computation.

Verification of the heat transfer and friction factor of the smooth channel without baffle is performed by comparing with the previous equations as shown in Fig. 2a and b, respectively. The present numerical smooth channel results are in excellent agreement with exact solution values obtained from the open literature [11] for both the Nusselt number and the friction factor, less than $\pm 0.5\%$ deviation. The exact solutions [11] of the Nusselt number and the friction factor for laminar flows over square channel with constant wall temperature are $Nu=2.98$ and $f=57/Re$, respectively. Therefore, these exact solutions are used to normalize the numerical results of the Nusselt number and the friction factor values.

Results and Discussion

Flow structure

The flow and vortex coherent structure in a square channel with 30° angled baffles on the channel wall can be displayed by considering the streamlines plots as depicted in Fig. 3. Here streamlines for using the staggered angled baffle are presented for $BR=0.3$, $Re=1000$ and $PR=2$. Because flow behaviors of the periodic baffled channel flow is not completed by itself in one calculated module, the calculated module will be copied and then connected together in a series to become a long channel with several modules as desired to shed light its flow characteristics.

Fig. 3 shows the streamlines in transverse planes at $Re=1000$ for the baffle with $BR=0.2$. In the figure, a longitudinal vortex flow created by the staggered angled baffle appears. A closer examination reveals that the baffle generates vortex flow having a direction along the middle region of the baffle cavity. In Fig. 3, it is visible that there are two main vortex flows in the channel which their vortex centers are at the upper-baffle upstream region and four small vortices at the corners of the channel, in plane A1. When moving to a quarter length of the upper-baffle module, plane A2, the upper vortex core center appear behind the downstream one and the upper and lower vortex core centers are coupled in vertical line. When moving to the downstream one at a half length of the upper-baffle module, the lower vortex core center is disappearing and the new one occurs behind the

downstream lower baffle as seen in plane A3. Then, both vortex centers move diagonally as it reaches a three quarter length of the module (plane A4) and the vortex flows repeat itself as they get to the next module (plane A5).



Fig. 3. Streamlines in transverse planes for $BR=0.2$ at $Re=1000$ and $PR=2$

Heat transfer and friction loss

Fig. 4a and b displays the contour plots of temperature field in transverse and streamwise planes, respectively at $Re=800$ and $PR=1$ for the baffle with $BR=0.2$. The figure shows that there is a major change in the temperature field over the channel for both plane cases. This means that the vortex flows provide a significant influence on the temperature field, because it can induce better fluid mixing between the wall and the core flow regions, leading to a high temperature gradient over the heating wall.

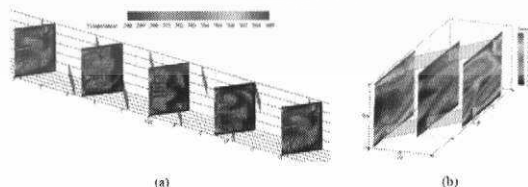


Fig. 4. Temperature contours (a) in transverse planes and (b) in streamwise planes for $BR=0.2$ at $Re=1000$ and $PR=2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

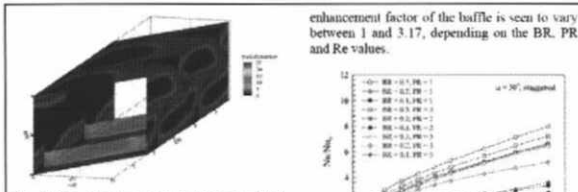


Fig. 5. Nu_x Contours for BR=0.5 at Re=1200 and PR=2.

Fig. 5 exhibits local Nu_x contours of the channel wall for the baffle with PR=2 at Re=1000, BR=0.2. It is visible in the figure that a larger area of high Nu_x values can be observed especially at the B.L.F. sidewall region.

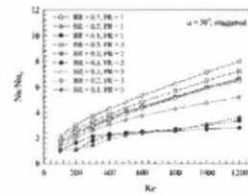
The variation of the average Nu/Nu_0 ratio with Re for the baffles with various BRs and PRs is presented in Fig. 6a. In the figure, it is visible that the Nu/Nu_0 value tends to increase with the rise of Re for all BR values. The use of higher BR value leads to the increase in Nu/Nu_0 while the higher PR value provides the decrease in Nu/Nu_0 . The angled baffle with BR=0.3 and PR=1 provides the highest Nu/Nu_0 value. The maximum Nu/Nu_0 values at PR=1 are found to be about 8.00, 6.66 and 1.80 for BR=0.3, 0.2 and 0.1, respectively. A closer examination reveals that the use of the angled baffle with BR ranges studied yields average heat transfer rate of about 1-8 times over the square channel with no baffle, depending on the BR and PR values.

Fig. 6b displays the variation of the friction factor ratio, f/f_0 with Re for various BR and PR values. In the figure, it is noted that the f/f_0 tends to increase with the rise of Re and BR values but to decrease with increasing PR value. The baffle with BR=0.3 and PR=1 gives the highest f/f_0 value. The friction factor for the angled baffle appears to be about 1-3.4 times above that for the smooth square channel with no baffle. Thus the flow blockage due to the presence of the baffles is a vital factor to cause a high pressure drop in the channel.

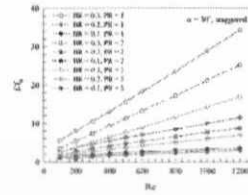
Performance evaluation

Fig. 7 shows the variation of thermal enhancement factor (η) for air flowing in the baffled channel. In the figure, the enhancement factor of using the baffle tends to increase with the rise in Re and BR values. It is found that the baffle with BR=0.2 and PR=2 provides the highest enhancement factor of 3.17. The

enhancement factor of the baffle is seen to vary between 1 and 3.17, depending on the BR, PR and Re values.



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Nu/Nu_0 and (b) f/f_0 versus Reynolds number at various baffle BRs and PRs

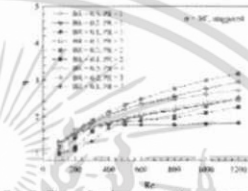


Fig. 7 Thermal enhancement factor at various baffle BRs and PRs

Conclusion

Numerical computations of laminar periodic flow with heat transfer characteristics in a square channel fitted with 30° staggered angled baffles in tandem on the channel wall are performed. The main vortex flow created by the angled baffle exists and helps to induce impingement

flows over the channel wall leading to drastic increase in heat transfer in the square channel. The order of heat transfer enhancement is about 1-8 times for using the baffle with BR=0.1-0.3 at PR vary from 1 to 3. The enlarged pressure loss is in a range of 1 to 3.4 times above the smooth square channel. Thermal enhancement factor for the angled baffle is higher than unity and its maximum value is about 3.17 at BR=0.2 and PR=2, indicating higher performance over the smooth square channel.

Acknowledgment

This work is funded by the National Science and Technology Development Agency of Thailand (NSTDA).

References

- 4) P. Promvong and C. Thirapong. Int. Commun. Heat Mass Transf. 35 (2008) 1327.
- 2) S. Sripathanapipit and P. Promvong. Int. Commun. Heat Mass Transf. 36 (2009) 32.

- 3) J.C. Han, Y.M. Zhang and C.P. Lee. ASME J. Heat Transf. 113 (1991) 500.
- 4) S.V. Patankar, C.H. Liu and E.M. Sparrow. ASME J. Heat Transf. 98 (1976) 1109.
- 5) C. Berner, F. Durst and D.M. McEligot. ASME J. Heat Transf. 106 (1984) 743.
- 6) J.R. Lopez, N.K. Anand and L.S. Fletcher. Numer. Heat Transfer, Part A: Appl. 30 (1996) 189.
- 7) P. Promvong, S. Sripathanapipit, S. Tansu, S. Kwankomeng and C. Thirapong. Int. Commun. Heat Mass Transf. 37 (2010) 170.
- 8) P. Promvong, S. Sripathanapipit and S. Kwankomeng. Int. J. Therm. Sci. 49 (2010) 963.
- 9) A. Manara and S. Moehrnks. Int. J. Heat Mass Transf. 44 (2001) 1127.
- 10) S.V. Patankar. Numerical heat transfer and fluid flow. McGraw-Hill, New York, 1980.
- 11) F. Incropera and P.D. Dewitt. Introduction to heat transfer, 5th ed. John Wiley & Sons Inc., 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Numerical Investigation of Laminar Heat Transfer in a Square Duct with Inclined Rectangular Orifices

S. Kwankaoneng, W. Jedsadaratanachai and P. Promvonge*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel.: +662-3298350-1; fax: +662-3298352
*e-mail address: kppongje@kmitl.ac.th

Abstract

In the present study, a numerical analysis of laminar periodic flow and heat transfer in a constant temperature-surfaced square channel fitted with inclined orifices. The computations are based on a finite volume method, and the SIMPLE algorithm has been implemented. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds number (Re) based on the hydraulic diameter (D) of the channel ranging from 100 to 2000. To generate a pair of streamwise counter-rotating vortex flows through the tested channel, rectangular orifices having a hydraulic diameter of d are placed repeatedly inside the channel. Effects of different diameter ratio ($DR=d/D$), DR in range from 0.4-0.9 with different pitch ratios on heat transfer and pressure loss in the square channel are investigated. It is found that P-vortex flows created by the inclined orifice exist and help to induce impinging flows on a side and the upper and lower wall leading to drastic increase in heat transfer rate over the test channel. In addition, the decrease in the DR results in the rise of Nusselt number (Nu) and friction factor (f) values. The computational results reveal that the optimum thermal enhancement factor of the inclined baffle is about 2.9 at $DR=0.6$ and $PR=1$.

Keywords: periodic flow, square channel, laminar flow, heat transfer, inclined orifice.

Introduction

For decades, turbulators such as ribs fins grooves or baffles have been used in many applied engineering works due to their high thermal loads and decreased dimensions. The cooling or heating fluid is supplied into the channels mostly equipped with several baffles to increase the degree of cooling or heating levels and this configuration is often used in the design of heat exchangers. Therefore, baffle spacing, angle of attack and height are among the most important parameters in the design of channel heat exchangers.

The concept of periodically fully developed flow was first introduced by Patankar et al. [1] to numerically investigate the heat transfer and flow characteristics in a duct. Since then, the periodically fully developed flow condition has been widely used to study thermal characteristics in staggered transverse-baffled channels with different baffle heights and pitch spacing lengths [2], [3].

A numerical investigation of laminar forced convection in a three-dimensional channel with baffles for periodically fully developed flow and with a uniform heat flux in the top and bottom walls was conducted by Lopez et al. [4].

Sripattanapit and Promvonge [5] numerically studied the laminar periodic flow and thermal behaviors in a two dimensional channel fitted with staggered diamond-shaped baffles and found that the diamond baffle with half apex angle of $5-10^\circ$ performs slightly better than the flat baffle. Promvonge et al. [6] also examined numerically the laminar heat transfer in a square channel with 45° angled baffle placed on one wall and reported that a single streamwise vortex flow occurs and induces impingement jets on the wall of the interbaffle cavity and the BTE sidewall. Again, Promvonge et al. [7], [8] also investigated numerically the laminar flow structure and thermal behaviors in a square channel with 30° or 45° inline baffles on two opposite walls. Two streamwise counter-rotating vortex flows were created along the channel and vortex-induced-impingement jets appeared on the upper, lower and baffle leading end side walls while the maximum thermal enhancement factors of about 2.6 at $BR=0.2$, $PR=1$ and $Re=1000$, and of around 4.0 at $BR=0.15$, $PR=2$ and $Re=2000$ for using the 45° and 30° baffles were reported, respectively.

Most of previous investigations on laminar flows have considered the heat transfer characteristics for transverse or inclined baffles

only. Therefore, the study on inclined orifice has rarely been reported. In the present work, the numerical computations for three dimensional laminar periodic channel flows over 45° inclined orifices placed on the channel walls in various DR s and PR s are conducted to examine the changes in the flow structure and its thermal performance.

Flow description

Inclined orifice geometry and arrangement

The system of interest is a square channel with a 45° inclined orifice mounted into the square channel in tandem as shown in Fig. 1. The flow under consideration is expected to attain a periodic flow condition in which the velocity field repeats itself from one cell to another. The

concept of periodically fully developed flow and its solution procedure has been described in Ref. [1]. The air enters the channel at an inlet temperature, T_{in} , and flows over a 45° inclined orifice where d is the hydraulic diameter of the inclined orifice or flow area, $D=H$ set to 0.05 m, is the channel height and d/D is known as the flow area ratio, DR . The axial pitch, L , or distance between the inclined orifice cell is set to $L=H$ and $2H$ in which L/H is defined as the pitch spacing ratio, $PR=1$ and 2 and the width of the channel, W is equal to H for the square channel. To investigate an effect of the interaction between orifices, the flow area ratio, DR is varied in a range of $DR=0.4-0.9$ for $\alpha=45^\circ$ in the present investigation.

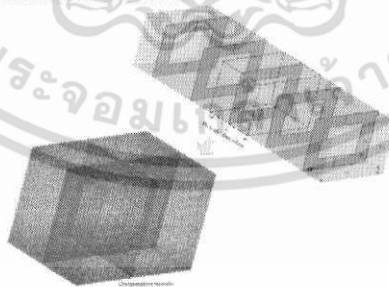


Fig. 1. Channel geometry and computational domain of periodic flow.

Boundary conditions

Periodic boundaries are used for the inlet and outlet of the flow domain. Constant mass flow rate of air with $300K$ ($Pr=0.7$) is assumed in the flow direction rather than constant pressure drop due to periodic flow conditions. The inlet and outlet profiles for the velocities must be identical. The physical properties of the air have been assumed to remain constant at average bulk temperature. Impermeable boundary and no-slip wall conditions have been implemented over the channel walls as well as the orifice. The constant temperature of all the channel walls is maintained at $310K$ while the orifice plate is assumed at adiabatic wall conditions.

Mathematical foundation

The numerical model for fluid flow and heat transfer in a square channel was developed under the following assumptions:

- Steady, three-dimensional, laminar and incompressible fluid flow.
- Constant fluid properties.
- Body forces, radiation heat transfer and viscous dissipation are ignored.

Based on the above assumptions, the channel flow is governed by the continuity, the Navier-Stokes equations and the energy equation. In the Cartesian tensor system these equations can be written as follows:

Continuity equation:

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

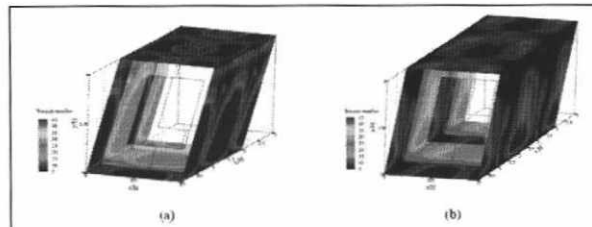


Fig. 5. Nu_s contours for (a) PR = 1 and (b) PR = 2 at DR = 0.6 and Re = 1200

Local Nu_s contours for the channel walls with the inclined orifice for DR = 0.6, Re = 1200 for PR = 1 and 2 are presented in Fig. 5a and b, respectively. In the figure, it appears that the higher Nu_s values over the walls are seen in a larger area, except for small regions in the

corner and the orifice base. The peaks are observed at the impingement areas on the sidewalls and the lower wall. It is found that the PR = 1 case provides larger high Nu_s area than the PR = 2.

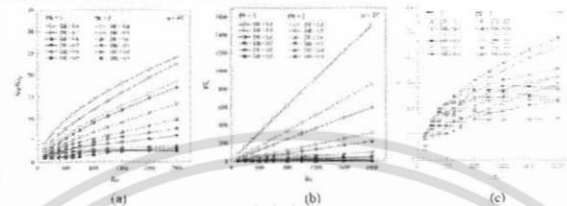


Fig. 6. Variation of (a) Nu/Nu_s , (b) f_0 , and (c) η with Reynolds number at various DRs and PRs

The variation of the average Nu/Nu_s ratio with Reynolds number at different DR and PR values is depicted in Fig. 6a. It is worth noting that the Nu/Nu_s value tends to increase with the rise in Reynolds number for all DR and PR values. The use of higher DR and PR results in the decrease in the Nu/Nu_s value. The Nu value for the orifice with DR = 0.4 is found to be about 25 and 18 times for PR = 1 and 2, respectively over the smooth channel. Thus, the generation of vortex flows from using the inclined orifice as well as the role of better fluid mixing and the impingement is the main reason for the augmentation in heat transfer of the channel. The use of the inclined orifice with the DR and PR ranges studied yields heat transfer rate of

about 1.25 times higher than the smooth channel with no orifice.

Fig. 6b presents the variation of the friction factor ratio, f_0 , with Reynolds number for various inclined orifice DRs and PRs. In the figure, it is noted that the f_0 tends to increase with the rise of Reynolds number and with decrease of DR and PR values. The use of the inclined orifice leads to a considerable increase in friction factor in comparison with the smooth channel with no orifice. The increase in the DR and PR values gives rise to the reduction of friction factor. The DR = 0.4 provides the highest value of friction factor for both PR = 1 and 2, around 1550 and 850 times above the smooth channel, respectively. The f_0 value for using

the inclined orifice is found to be about 1–1500 times over the smooth channel depending on the DR, PR and Reynolds number values.

Fig. 6c exhibits the variation of thermal enhancement factor (η) for air flowing in the channel with inclined orifices. In the figure, the enhancement factor for all DR values tends to increase with the rise of Re for PR = 2 while the PR = 1, DR = 0.8 and 0.9 tends to decrease with increase Re. The DR = 0.6 and PR = 1 orifice gives the highest enhancement factor of about 2.9 at the highest Re. The enhancement factor of using the inclined orifice is seen to be above unity for all DRs and varied between 1.0 and 2.9, depending on the DR, PR and Re values.

Conclusion

A numerical investigation has been conducted to examine laminar periodic flow and heat transfer characteristics in a square channel fitted with 45° inclined orifice mounted periodically in the channel in various DRs and PRs. The counter-vortex flows created by using the 45° inclined orifice help to induce impingement flows on the sidewalls and the lower wall leading to drastic increase in heat transfer rate in the channel. The order of enhancement is about 1–25 times the smooth channel for using the inclined orifice with DR = 0.4–0.9 and PR = 1 and 2. However, the heat transfer augmentation is associated with enlarged pressure loss ranging from 1 to 1500 times above the smooth channel. The highest thermal enhancement factor for the inclined orifice with DR = 0.6 and PR = 1 is found to be about 2.9.

Acknowledgment

The support from the National Science and Technology Development Agency of Thailand (NSTDA) is gratefully acknowledged.

References

- 1) S.V. Patankar, C.H. Liu and E.M. Sparrow: ASME J. Heat Transf., **99** (1977) 180.
- 2) B.W. Webb and S.Ramadhani: Int. J. Heat Mass Transf., **28** (1985) 1679.
- 3) K.M. Kelkar and S.V. Patankar: ASME J. Heat Transf., **109** (1987) 25.
- 4) J.R. Lopez, N.K. Anand and L.S. Fletcher: Numer. Heat Transf. A: Appl. **30** (1996) 189.
- 5) S. Sripattanapipat and P. Promvong: Int. Commun. Heat Mass Transf., **36** (2009) 52.
- 6) P. Promvong, S. Sripattanapipat, S. Tauma, S. Kwankaomeng and C.

Thaiphong: Int. Commun. Heat Mass Transf., **37** (2010) 170.

- 7) P. Promvong, S. Sripattanapipat and S. Kwankaomeng: Int. J. Therm. Sci., **49** (2010) 963.
- 8) P. Promvong, W. Jedsadaatanchai and S. Kwankaomeng: Appl. Therm. Eng., **30** (2010) 1292.
- 9) S.V. Patankar: Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill, New York, 1980.
- 10) I. Incropera and P.D. Dewitt: Introduction to heat transfer 5th edition, John Wiley & Sons Inc., 2005.

Nomenclature

A	channel wall area, m ²
DR	diameter ratio, (d/D)
OLE	orifice leading end
OTE	orifice trailing end
d	orifice hydraulic diameter, m
D	hydraulic diameter, (=2HW/(H+W))
f	friction factor
H	channel height, m
h	heat transfer coefficient, W m ⁻² K ⁻¹
k	thermal conductivity, W m ⁻¹ K ⁻¹
L	cyclic length of one module, m
Nu	Nusselt number, hD/k
Pr	Prandtl number
PR	pitch or spacing ratio, L/H
Re	Reynolds number, $\rho \bar{u} D/\mu$
T	temperature, K
u _x	velocity in x _s -direction, m s ⁻¹
\bar{u}	mean velocity in channel, m s ⁻¹
W	channel width (H), m

Greek letter

μ	dynamic viscosity, kg s ⁻¹ m ⁻¹
Γ	thermal diffusivity
α	orifice angle of attack, degree
η	thermal enhancement factor
ρ	density, kg m ⁻³

Subscript

0	smooth channel
w	wall
pp	pumping power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ประวัติส่วนตัว :

ชื่อ-สกุล นางสาววิฑาดา เจษฎารัตนชัย

วัน เดือน ปีเกิด 26 เมษายน พ.ศ.2529

ประวัติการศึกษา :

พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร (เกียรตินิยมอันดับ 1)

การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

1. P. Promvong, **W. Jedsadaratanachai** and S. Kwankaomeng, Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° inline angled baffle turbulators, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 1292-1303.
2. P. Promvong, **W. Jedsadaratanachai**, S. Kwankaomeng, C. Thianpong, 3D simulation of laminar flow and heat transfer in V-baffled square channel, *Int. Commun. Heat and Mass Transfer, In Press, Uncorrected Proof, Available online 23 September 2011*
3. **W. Jedsadaratanachai** and P. Promvong, Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° inline angled baffle turbulators, *Special Issue in Energy Procedia.* 9 (2011) 630-642.

ผลงานที่เคยได้รับการตีพิมพ์ :

1. **W. Jedsadaratanachai**, S. Kwankaomeng, P. Promvong, Turbulent Heat Transfer in a Channel Fitted with Rib/Groove, *World Renewable Energy Congress 2009-Asia, The 3rd International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2009)", 18-23 May 2009, Bangkok, Thailand.*
2. **วิฑาดา เจษฎารัตนชัย** และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อจัดรัศมี โคนการสอดใส่แผ่นติดครีบริบตัววี, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่*
3. **W. Jedsadaratanachai**, S. Sripattanapipat, A. Tantrapiwat and P. Promvong, Laminar Periodic Flow and Heat Transfer in Square Channel with 60° Inclined Baffles, *International Conference on Green and Sustainable Innovation 2009 (ICGSI 2009), 2-4 December 2009, Chiang Rai, Thailand.*
4. **W. Jedsadaratanachai**, S. Kwankaomeng, P. Promvong, Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with V-Upstream baffles, *The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Conference (TISD 2010)*, 4-6 March 2010, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.
5. S. Kwankaomeng, **W. Jedsadaratanachai** and P. Promvonge, Laminar Periodic Flow and Heat Transfer in Square Channel with 30° Inclined Baffles, *PEA-AIT International Conference on Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies (ESD 2010)*, 2-4 June 2010, The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand.
 6. **W. Jedsadaratanachai**, N. Jayranaiwachira and P. Promvonge, Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer Augmentation in a Square Channel fitted with V-Baffles, *The First TSME International Conference on Mechanical Engineering (Icome 2010)*, 20-22 October 2010, Ubon Ratchathani, Thailand.
 7. S. Kwankaomeng, **W. Jedsadaratanachai** and P. Promvonge, Numerical Investigation of Laminar Heat Transfer in a Square Duct with Inclined Rectangular Orifices, *17th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2010)*, 22 -23 November 2010, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
 8. S. Kwankaomeng, **W. Jedsadaratanachai**, C. Thianpong and P. Promvonge, Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° staggered angled baffles, *17th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2010)*, 22 -23 November 2010, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok, Thailand.
 9. สมชาย ศรีพัฒนพิพัฒน์, **วิชาดา เจษฎารัตนชัย**, มนต์ศักดิ์ พิมสาร, พงษ์เจต พรหมวงศ์, การไหลแบบราบเรียบและการถ่ายเทความร้อนในท่อจัดรัศมีที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7*, 3-5 พฤษภาคม 2554, จังหวัดภูเก็ต
 10. **W. Jedsadaratanachai**, S. Suwannapan, and P. Promvonge, Numerical study of laminar heat transfer in baffled square channel with various pitches, *9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium*, 25-28 May. 2011, Chiang Rai, Thailand.
 11. **W. Jedsadaratanachai**, S. Chokphoemphun, C. Thianpong and P. Promvonge, Periodic laminar flow and heat transfer in a square duct with 45° inclined orifices, *9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium*, 25-28 May. 2011, Chiang Rai, Thailand.
 12. **W. Jedsadaratanachai** and P. Promvonge, Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 30° inline angled baffle turbulators, *การประชุมวิชาการโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ครั้งที่ 12 (RGJ-Ph.D. Congress XII)*, 1-3 เมษายน 2554, จังหวัดชลบุรี
 13. เกียรติวีรชิต จันทราวิภาส, เฉลิมพล ไทพพฤกษ์, **วิชาดา เจษฎารัตนชัย**, มิ่ง โสกิจแสงทอง และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, 3D Simulation on Laminar Flow Structure, Friction loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- and Heat Transfer Behavior in Square Duct with Inclined Orifices, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25*, 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
14. จารุพัฒน์ เขียวชาญวิทย์กุล, ศตวรรษ กระเดื่องเดช, วิฑาตา เจษฎารัตนชัย, กิติธัญ คำพันธ์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, Effect of Baffle for Laminar Flow Behavior and Heat Transfer in Tube, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25*, 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
 15. ณัฐพล บุญเรือน, ปรมินทร์ บ่องพัฒนกุล, วิฑาตา เจษฎารัตนชัย, ดำริห์ จันทร์แสงสุข และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, Periodic Flow and Heat Transfer for Thin Ribbed Square Channel, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25*, 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
 16. ทศพล เจียรปีติวงศ์, วิฑาตา เจษฎารัตนชัย, ธิตีพัทธ์ ลิ้มกุล และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, Effect of Rectangular Winglets on Laminar Flow Structure and Heat Transfer in Square Duct, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25*, 19-21 ตุลาคม 2554, จังหวัดกระบี่
 17. S. Sripattanapipat, W. Jedsadaratanachai, K. Companyim and P. Promvonge, 3D Simulation on Laminar Flow and Heat Transfer Augmentation in a Square Channel fitted with 60° Square Orifice, *The Japan – Thailand – Lao P.D.R. Joint Friendship International Conference on Applied Electrical and Mechanical Engineering 2011 (JTLAEME '11)*, September 21 - 23, 2011 Grand Paradise Hotel , Nongkhai, Thailand
 18. S. Sripattanapipat, W. Jedsadaratanachai and P. Promvonge, Numerical study of laminar flow and heat transfer in square channel with 60° U-baffle, *The Japan – Thailand – Lao P.D.R. Joint Friendship International Conference on Applied Electrical and Mechanical Engineering 2011 (JTLAEME '11)*, September 21 - 23, 2011 Grand Paradise Hotel , Nongkhai, Thailand
 19. W. Jedsadaratanachai and P. Promvonge, 3D Analysis on Laminar Heat Transfer Augmentation in a Square Channel fitted with Rectangular Winglet Vortex Generator, *1st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2011)*, 23-26 November 2011, KMITL, Bangkok Thailand
 20. W. Jedsadaratanachai and P. Promvonge, 3D simulation on periodic laminar flow and heat transfer in a square channel with 45° discrete orifices, *1st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2011)*, 23-26 November 2011, KMITL, Bangkok Thailand