

การถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์  
ที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมมีบานเกล็ด

NUMERICAL HEAT TRANSFER IN SOLAR AIR HEATER DUCT MOUNTED  
WITH RECTANGULAR LOUVERED WINGLETS



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

การถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์  
ที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมมีบานเกล็ด

NUMERICAL HEAT TRANSFER IN SOLAR AIR HEATER DUCT MOUNTED  
WITH RECTANGULAR LOUVERED WINGLETS



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NUMERICAL HEAT TRANSFER IN SOLAR AIR HEATER DUCT MOUNTED  
WITH RECTANGULAR LOUVERED WINGLETS



PANTHID

LOHAKIT

RATTANANET

POSAARD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมมีบานเกล็ด  
Numerical heat transfer in solar air heater duct mounted with rectangular  
louvered winglets

ผู้จัดทำ

1. นายพันธิตร โลหกิจ รหัสประจำตัว 61010727
2. นางสาวรัตนเนตร โพธิ์สอาด รหัสประจำตัว 61010902



อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

(รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์)

การถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมมีบานเกล็ด

นายพันธิตร์ โลหกิจ 61010727  
นางสาวรัตนเนตร โพธิ์สอาด 61010902  
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2564

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยศึกษาพฤติกรรมความร้อนของการไหลแบบปั่นป่วนในท่อสี่เหลี่ยมด้วยวิธีการเชิงตัวเลขโดยมีการใช้ปีกสี่เหลี่ยมเพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวที่มุมปะทะเท่ากับ  $45^\circ$  โดยมีอากาศเป็นของไหล ทดสอบในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 16000 ในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ช่วงทดสอบมีความยาว 800 มิลลิเมตร ความกว้าง 200 มิลลิเมตรและความสูงท่อ 25 มิลลิเมตร โดยมี ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่เท่ากับ  $500 \text{ W/m}^2$  พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของปีก ได้แก่ ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R = 0.3, 0.35, 0.4$  และ  $0.45$ ) ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R = 0.8, 1.0$  และ  $1.2$ ) และมุมของช่องเจาะตรงปีก (ตั้งแต่  $0^\circ$  ถึง  $90^\circ$ ) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงกับความแข็งแรงของกระแสหมุนควงตามแนวยาวและตัวประกอบเสียดทาน เมื่อเพิ่มความสูงปีกสัมพันธ์และระยะพิทช์สัมพันธ์ ความแข็งแรงของกระแสหมุนควงตามยาวจะมากขึ้นทำให้เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้น จากการสร้างแบบจำลองท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์ที่มีปีกรูปสี่เหลี่ยมพบว่าปีกที่มีอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ที่มากที่สุด คือ ปีกที่มีค่า  $B_R = 0.45$  และ  $P_R = 0.8$  ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.94 อัตราส่วนเลขนัสเซลท์เท่ากับ 10.97 และอัตราส่วนของตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 382.56 จากนั้นนำปีกไปเจาะช่องบานเกล็ดเพื่อลดตัวประกอบเสียดทานและเพิ่มค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน โดยบานเกล็ดมีความกว้างและความสูงเท่ากับ 92% และ 20% ของความสูงปีกตามลำดับ และมีลักษณะเปิดแฉกด้านล่าง 1 บานโดยบานเกล็ดมีมุมเปิดเท่ากับ  $30^\circ$  ปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.05 อัตราส่วนเลขนัสเซลท์เท่ากับ 10.19 และอัตราส่วนของตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 246.01 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ลดลงเพียง 7.08% แต่สามารถลดอัตราส่วนของตัวประกอบเสียดทานได้ถึง 35.69%

Numerical heat transfer in solar air heater duct mounted with rectangular louvered winglets

Panthid                      Lohakit                      61010727  
Rattananet                      Posaard                      61010902  
Assoc.Prof.Dr.Pongjet      Promvonge      Advisor  
Year 2021

**ABSTRACT**

This research presents the enhancement of heat transfer efficiency by studying the thermal behavior of turbulent flow in rectangular duct by numerical method. A rectangular winglet is used to make a longitudinal-vortex at an attack angle of  $45^\circ$ . Tested in the Reynolds number range from 4000 to 16000. The dimension of the test section was 800 mm(length) , 200 mm(width) and 25 mm(height) , with a constant surface heat flux of 500 W/m<sup>2</sup>. The parameters studied are four blockage ratios ( $B_R = 0.3, 0.35, 0.4$  and  $0.45$ ), three relative winglets pitch ( $P_R = 0.8, 1.0$  and  $1.2$ ) and angle of hole at the winglets ( $0^\circ$  to  $90^\circ$ ). These factors directly affect the strength of the longitudinal-vortex and friction factor. When increasing the blockage ratios and decreasing the relative winglets pitch, the strength of the longitudinal-vortex will be large, it raises the nusselt number and the friction factor. The simulation has shown that rectangular winglets at  $B_R = 0.45, P_R = 0.8$  provides the greatest the nusselt number ratio about 10.97, the thermal enhancement factor about 1.94, and the friction factor ratio about 382.56. This winglet was modified by punching a rectangular hole like a louver and has an opening angle of 30 degrees (the louver has a width and height about 92% and 20% of the winglet height respectively). As a result, the thermal enhancement factor was increased to 2.05, the nusselt number ratio was 10.19, and the friction factor ratio was 246.01. All the above showed that the nusselt ratio was reduced by only 7.08%, but the friction factor ratio reduced up to 35.69%

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์การถ่ายเทความร้อนเชิงตัวเลขในท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมมีบานเกล็ดนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษาการเอาใจใส่การให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณพี่ปริญญาเอกที่คอยให้คำแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับโปรแกรมและคำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้คอมพิวเตอร์ในการศึกษาเชิงตัวเลขและค้นคว้าหาความรู้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนในกลุ่มและครอบครัวที่ให้การสนับสนุนจนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายพันธิตร์

โลหกิจ

นางสาวรัตนเนตร

โพธิ์สอาด

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	12
3.1 เครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ (Solar air heater) .....	12
3.1.1 บทนำ.....	12
3.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์.....	13
3.2 การพาความร้อน (convection) .....	15
3.2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ.....	15
3.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ.....	15

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การไหลภายในท่อ.....	16
3.3.1 สภาวะของของไหล.....	16
3.3.2 ความเร็วเฉลี่ย( $V_{avg}$ ).....	17
3.3.3 อุณหภูมิเฉลี่ย( $T_m$ ).....	17
3.3.4 เลขเรย์โนลด์ส์( $Re$ ).....	18
3.3.5 ความดันตกคร่อมและตัวประกอบเสียดทาน( $f$ ).....	19
3.3.6 เลขนัสเซิลท์( $Nu$ ).....	20
3.3.7 ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน.....	20
3.3.8 การถ่ายเทความร้อน.....	20
บทที่ 4 แบบจำลองเชิงตัวเลข.....	23
4.1 สมมติฐานและสมการควบคุมการไหล.....	23
4.2 การกำหนดลักษณะของช่วงทดสอบและปีกสี่เหลี่ยม.....	24
4.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ.....	26
4.4 การตรวจสอบขอบเขตการคำนวณ.....	27
4.4.1 การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระ.....	27
4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม.....	28
บทที่ 5 ผลการจำลองเชิงตัวเลข.....	30
5.1. การถ่ายเทความร้อนในท่ออุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	30
5.2 ตัวประกอบเสียดทานในท่ออุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	32
5.3 ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่ออุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	33
5.4 โครงสร้างการไหลในท่ออุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์.....	34
5.5 การเจาะช่องบานเกล็ดเพื่อลดความเสียดทานและตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อน.....	35

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.6 การหาขนาดมุมเปิดบานเกล็ดที่ทำให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่ามากที่สุด.....	50
5.6.1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทความร้อนในแง่ของเลขนัสเซิลท์เมื่อปีกมีบานเกล็ด.....	50
5.6.2 การเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบเสียดทานเมื่อปีกมีบานเกล็ด.....	52
5.6.3 การเพิ่มขึ้นของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อปีกมีบานเกล็ด.....	53
5.7 ตัวอย่างการไหลแบบหมุนควงตามยาวของอากาศเมื่อปีกมีบานเกล็ด.....	54
บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง.....	55
6.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อน.....	55
6.2 แบบจำลองของเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกโดยไม่เปิดช่องบานเกล็ด....	55
6.3 แบบจำลองของเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกโดยเปิดช่องบานเกล็ด.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	57

# สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของไหลบางชนิด ..... 16



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะปีก (WVG) ที่ติดตั้งเพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว.....	5
2.2 ลักษณะของปีกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (RWVG) และปีกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (TWVG).....	6
2.3 อุปกรณ์สร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวทั้งสามแถว.....	7
2.4 ลักษณะของปีกทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	8
2.5 ลักษณะปีกที่ใช้ในการสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว.....	9
2.6 ลักษณะของปีกแบบ delta-winglet ที่มีการเจาะรู.....	9
2.7 ลักษณะของปีกแบบตัว c (ก)ไม่มีรู (ข)มีรู.....	10
2.8 อุปกรณ์สร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวแบบทรงกรวยและติดแบบเอียง.....	11
3.1 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย.....	12
3.2 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่ายที่มีการเคลือบกระจก.....	13
3.3 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งเครื่องเป่าลม.....	13
3.4 สภาวะการไหลของไหล.....	16
3.5 ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านท่อ.....	17
3.6 ลักษณะของท่อสี่เหลี่ยม.....	18
3.7 การไหลผ่านท่อกรณี (ก)อุณหภูมิผิวคงที่ และ (ข)ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่.....	21
4.1 ขนาดของช่วงทดสอบ.....	24
4.2 พารามิเตอร์ที่กำหนดลักษณะและระยะห่างของปีก.....	25
4.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโดเมนที่ใช้ในการคำนวณ.....	26
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกริดกับเลขนัสเซลล์ท์ ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	27
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกริดกับตัวประกอบความเสียดทาน ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	28
4.6 การเปรียบเทียบเลขนัสเซลล์ท์ที่ได้มาจากการคำนวณเชิงตัวเลขที่โมเดล การไหลปั่นป่วนแตกต่างกันและจากการทดลอง.....	28

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบตัวประกอบความเสียดทานที่ได้มาจากการคำนวณเชิงตัวเลข ที่โมเดลการไหลปั่นป่วนแตกต่างกันและที่จากการทดลอง.....	29
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)เลขนัสเซิลท์ และ (ข)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์	30
5.2 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลท์บริเวณผนังด้านบน ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	31
5.3 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อบนหน้าตัดตามขวาง ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	31
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)ตัวประกอบความเสียดทานและ (ข)อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์.....	32
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์.....	33
5.6 เส้นกระแสการไหลหมุนควงตามยาวผ่านปีกสี่เหลี่ยม ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	34
5.7 แกนการไหลหมุนวนผ่านปีกสี่เหลี่ยมที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$ .....	34
5.8 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านบน.....	35
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 120%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านบน...	36
5.10 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านล่าง.....	37
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 120%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง	37
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อนกับความกว้างในช่วง 80% ถึง 100%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง	39
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40% ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง.....	39
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิง ความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 20%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง.....	40
5.15 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านบนทั้ง 2 บาน.....	41

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านบน...	41
5.17 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านล่างทั้ง 2 บาน.....	42
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง..	43
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 30% ถึง 50%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง..	43
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง.....	44
5.21 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 4 บานโดยแถวบนมีมุมเปิดด้านบนและแถวล่างมีมุมเปิดด้านล่าง..	45
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดสลับบนล่าง.....	46
5.23 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 4 บานและมีมุมเปิดด้านล่างทั้งหมด.....	47
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง..	47
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 20% ถึง 40%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง..	48
5.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง.....	49
5.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)เลขนัสเซลล์ท์และ (ข)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์กับเลขเรย์โนลด์ส์.....	50
5.28 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์บริเวณผนังด้านบน ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 30^\circ$ .....	51
5.29 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อบนหน้าตัดตามขวาง ที่ $Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 30^\circ$ .....	51
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง(ก)ตัวประกอบความเสียดทานและ (ข)อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์.....	51

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์บริเวณผนังด้านบน ที่ $Re = 4000$ , $B_R = 0.4$ , $P_R = 0.8$ , $\theta = 30^\circ$ .....	51
5.29 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อบนหน้าตัดตามขวาง ที่ $Re = 4000$ , $B_R = 0.4$ , $P_R = 0.8$ , $\theta = 30^\circ$ .....	51
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)ตัวประกอบความเสียหายและ (ข)อัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายกับเลขเรย์โนลด์ส์.....	52
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน ของสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์.....	53
5.32 เส้นกระแสการไหลหมุนควงตามยาวผ่านปีกสี่เหลี่ยม ที่ $Re = 4000$ , $B_R = 0.4$ , $P_R = 0.8$ , $\theta = 30^\circ$ .....	54
5.33 แกนการไหลหมุนวนผ่านปีกสี่เหลี่ยมที่ $Re = 4000$ , $B_R = 0.4$ , $P_R = 0.8$ , $\theta = 30^\circ$ .....	54

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์

$A_c$	พื้นที่หน้าตัด, $m^2$
$B_R$	ความสูงปีกสัมผัส
$c_p$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะภายใต้กรณีความดันคงที่, $J/(kg \cdot K)$
$D_h$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, $m$
$f$	ตัวประกอบเสียดทาน
$f_0$	ตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบ
$f_R$	อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน
$H$	ความสูงของท่อช่วงทดสอบ, $mm$
$h$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน $w/(m^2 \cdot K)$
$k$	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน $w/(m \cdot K)$
$L$	ความยาวของท่อช่วงทดสอบ, $mm$
$\dot{m}$	อัตราไหลเชิงมวล, $kg/s$
$Nu$	เลขนัสเซลท์
$Nu_0$	เลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบ
$Nu_R$	อัตราส่วนเลขนัสเซลท์
$Pr$	เลขพรานด์เทิล
$Pr$	ระยะพิทซ์สัมผัส
$\Delta p$	ความดันตกคร่อมของไหล, $N/m^2$
$\dot{Q}$	อัตราการถ่ายเทความร้อน, $W$

## รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

$Re$	เลขเรย์โนลด์ส์
$T$	อุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่งใดใด, $K$
$T_m$	อุณหภูมิเฉลี่ยของไหล, $K$
$T_i$	อุณหภูมิทางเข้าของไหล, $K$
$T_e$	อุณหภูมิทางออกของไหล, $K$
$TEF$	ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน
$u_m$	ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ, $m/s$
$W$	ความกว้างของท่อช่วงทดสอบ, $mm$
$\mu$	ความหนืดของไหล, $kg/(m \cdot s)$
$\rho$	ความหนาแน่นของไหล, $kg/m^3$
$\theta$	มุมของช่องที่เจาะตรงจุดเซนทรอยด์ของปีก, องศา ( $^\circ$ )
$\alpha$	มุมปะทะของปีก, องศา ( $^\circ$ )
$\eta$	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโลกของเรามีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมไปอย่างรวดเร็วและประชากรที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ความต้องการที่จะใช้พลังงานมีเพิ่มมากขึ้น แต่ทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น นั้นมีอยู่จำกัด แน่หนอนว่าการใช้ทรัพยากรเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมซึ่งมีทั้งทางตรงและทางอ้อมไม่ว่าจะเป็น การลดลงของแหล่งพลังงาน การเกิดภาวะมลพิษจากการเผาไหม้หรือปล่อยของเสียสู่สภาพแวดล้อมและชั้นบรรยากาศ การเกิดก๊าซเรือนกระจก การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ภาวะโลกร้อน มลพิษทางอากาศ ฝนกรด มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดินและการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดของเสีย ดังนั้นเราจึงควรมีความตระหนักถึงการนำทรัพยากรเหล่านั้นมาใช้อย่างประหยัดและใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเพื่อให้ผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับปัญหาข้างต้นมีน้อยที่สุด

พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและมีอย่างไม่จำกัด จึงมีการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญเป็นอย่างมากเพื่อที่จะช่วยลดปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ปัจจุบันมีการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในหลายๆด้าน เช่น เครื่องทำความร้อน หม้อน้ำ เครื่องอบแห้ง เป็นต้น การออกแบบอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนจึงควรออกแบบให้มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนแต่ยังคงประสิทธิภาพไว้ได้ เพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการอันได้แก่ ลดการใช้พลังงาน ลดต้นทุนการผลิต ลดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อประหยัดพื้นที่ในการใช้งาน และสะดวกในการซ่อมบำรุง

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยการติดปีกเข้ากับท่อเพื่อทำให้การไหลของอากาศเกิดการหมุนควงตามแนวยาว แน่หนอนว่าหากมีการหมุนควงตามแนวยาวของอากาศที่แข็งแกร่งก็ยิ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ผลเสียที่ตามมา คือ ความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันภายในท่อลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นพารามิเตอร์ที่กำหนดลักษณะของปีกที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ ความสูงปีกสัมพันธ์ ระยะพิทช์สัมพันธ์ ขนาดของช่องที่เจาะตรงจุดเซน

ทรอยด์ของปีก และมุมของช่องที่เจาะตรงจุดเซนทรอยด์ของปีก เพื่อให้อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนนี้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานโดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุด

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาการถ่ายเทความร้อนของท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์ให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มากกว่า 10 และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่า 2
- 1.2.2 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการไหลและการพาความร้อนในท่ออุ่นอากาศ
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่มีการติดปีก สี่เหลี่ยมกับท่อผนังเรียบ

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศและการพาความร้อนในท่ออุ่นอากาศแสงอาทิตย์ ได้แก่ ความสูงปีกสัมพันธ์ ระยะพิทช์สัมพันธ์ ขนาดของช่องบานเกล็ดที่เจาะบนปีก และมุมของช่องบานเกล็ด
- 1.3.2 ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการเจาะช่องบานเกล็ดบนปีกโดยอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ลดลงเล็กน้อย

## 1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาโดยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข
- 1.4.2 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการไหลของอากาศและการพาความร้อนในท่ออุ่นอากาศ โดยประกอบไปด้วย
  - ความสูงปีกสัมพันธ์ (0.3, 0.35, 0.4 และ 0.45 เท่าของความสูงท่อ)
  - ระยะพิทช์สัมพันธ์ (0.8, 1 และ 1.2 เท่าของความสูงท่อ)
  - มุมของช่องบานเกล็ด ( $0^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  และ  $90^{\circ}$ )
3. ศึกษาในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 16,000

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.5.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของท่ออ่อนอากาศแสงอาทิตย์
- 1.5.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย และวางแผนขั้นตอนการศึกษา
- 1.5.3 ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม Ansys Fluent เพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข
- 1.5.4 ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบกับผลทดลอง
- 1.5.5 สร้างแบบจำลองตามลักษณะต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา และหาผลเฉลย
- 1.5.6 บันทึกและวิเคราะห์ผลการศึกษา
- 1.5.7 สรุปผลการศึกษา



## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 บทนำ

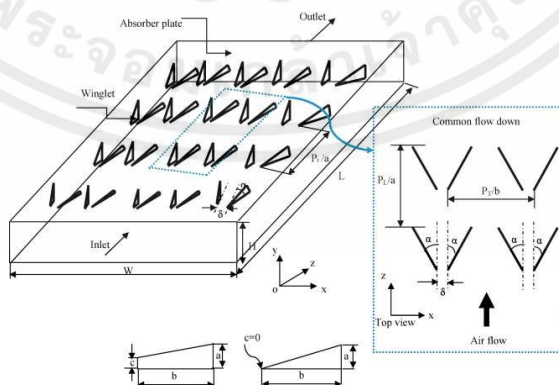
บทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยการติดอุปกรณ์สร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวของของไหลในรูปแบบของแผ่นกั้นลักษณะต่างๆ ซึ่งงานวิจัยที่ถูกรวบรวมมามีทั้งการศึกษาแบบทดลองและแบบเชิงตัวเลข เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ให้มากขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Skullong et al. [1] ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะความเสียดทานของการไหลในช่องเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกสามเหลี่ยม (Delta-winglet, DWs) เพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว การทดลองดำเนินการโดยเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศและทดลองในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ 5000 ถึง 24,000 ในส่วนของการทดสอบ (Test section) มีการให้พล็อตความร้อนสม่ำเสมอที่ผนังช่องด้านบน การติดปีกเพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวแบบแรกจะติดตั้งเฉพาะที่ทางเข้าผนังด้านล่างของช่องทดสอบ เรียกว่าปีกแบบ DW-E โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะพิทช์ตามขวาง ( $R_p = P_t/H = 1, 2$ ) มุมปะทะ ( $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  และ  $60^\circ$ ) และความสูงปีกสัมพันธ์ ( $b/H = 0.5$ ) และปีกแบบที่สองจะติดตั้งไว้ที่ผนังด้านบนของช่องทดสอบ เรียกว่าปีกแบบ DW-A ที่มีมุมปะทะเท่ากับ  $30^\circ$  โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $b/H = 0.3, 0.4$  และ  $0.5$ ) ผลการทดลองพบว่าปีกแบบ DW-E ที่มีมุมปะทะเท่ากับ  $60^\circ$  ที่  $R_p = 1$  ให้การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด ในขณะที่ปีกแบบ DW-E ที่มีมุมปะทะเท่ากับ  $30^\circ$  ที่มี  $R_p = 1$  มีภาพรวมที่ดีกว่าแบบอื่นๆ และในกรณีของปีกแบบ DW-A มุมปะทะ  $30^\circ$  ที่มี  $b/H = 0.5$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด แต่ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุดอยู่ที่  $b/H = 0.4$

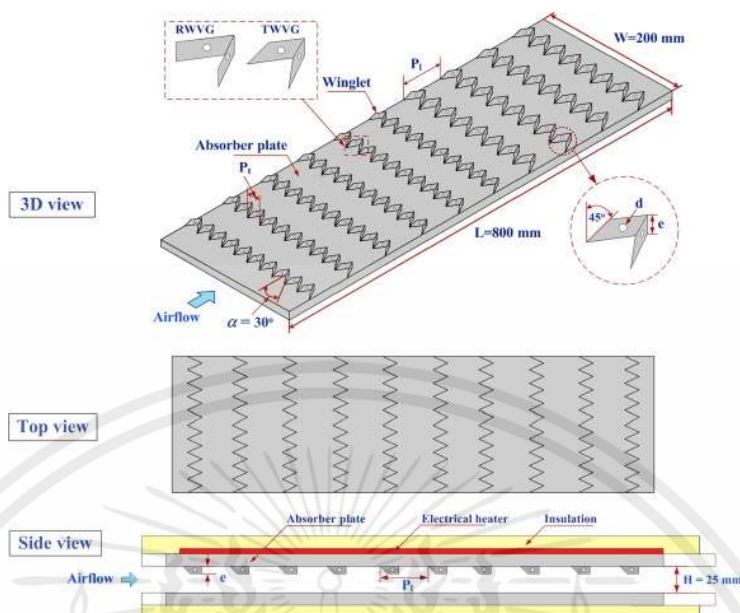
Tamna et al. [2] นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดกระแสหมุนควงตามแนวยาวแบบแผ่นกั้นตัววี (V-baffle ,BVG) หลายตัว ในการทดสอบอากาศถูกส่งผ่านช่องทดสอบภายใต้หลักความร้อนที่ผนังสม่ำเสมอ ลักษณะการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 21000 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R = b/H = 0.25$ ) และมุมปะทะ  $45^\circ$  เมื่อเทียบกับทิศทางการไหลหลัก นอกจากนี้ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R = P/H = 0.5, 1$  และ  $2$ ) ที่แตกต่างกันยังมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในรูปแบบของเลขนัสเซลท์และความเสียดทาน นอกจากนี้ยังมีการทดสอบ BVG สามแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ กรณีติดตั้งBVGที่ผนังด้านเดียว,กรณีติดตั้งBVGที่ผนังสองด้านแบบวางตรงกันและวางเยื้องกัน ผลการทดลองพบว่า  $P_R$  ที่เล็กกว่านั้นให้การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด

Chamoli et al. [3] ทำการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาลักษณะทางความร้อนและลักษณะการไหลในเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีก (WVG) ดังรูปที่ 2.1 เพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว ศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 3500 ถึง 16,000 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ อัตราส่วนขอบปลาย ( $c/a = 0 - 1$ ) และมุมปะทะ ( $\alpha = 30^\circ - 90^\circ$ ) ซึ่งคำนวณโดยใช้อัลกอริธึมแบบ SIMPLE จากการศึกษาพบว่าเลขนัสเซลท์และความเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะเริ่มจาก  $30^\circ$  เป็น  $60^\circ$  แล้วลดลงเมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นต่อไปอีก เลขนัสเซลท์และความเสียดทานมีค่าสูงที่สุดเมื่อมุมปะทะเท่ากับ  $60^\circ$  และ  $c/a = 1$  และปีกที่มีมุมปะทะเท่ากับ  $30^\circ$  และ  $c/a = 0$  ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) ดีที่สุดในช่วงตั้งแต่ 1.72 ถึง 2.20 นอกจากนี้ยังมีวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลภายในพร้อมกับการกระจายของอุณหภูมิเพื่ออธิบายผลการเปลี่ยนพารามิเตอร์ลักษณะของปีกต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทาน



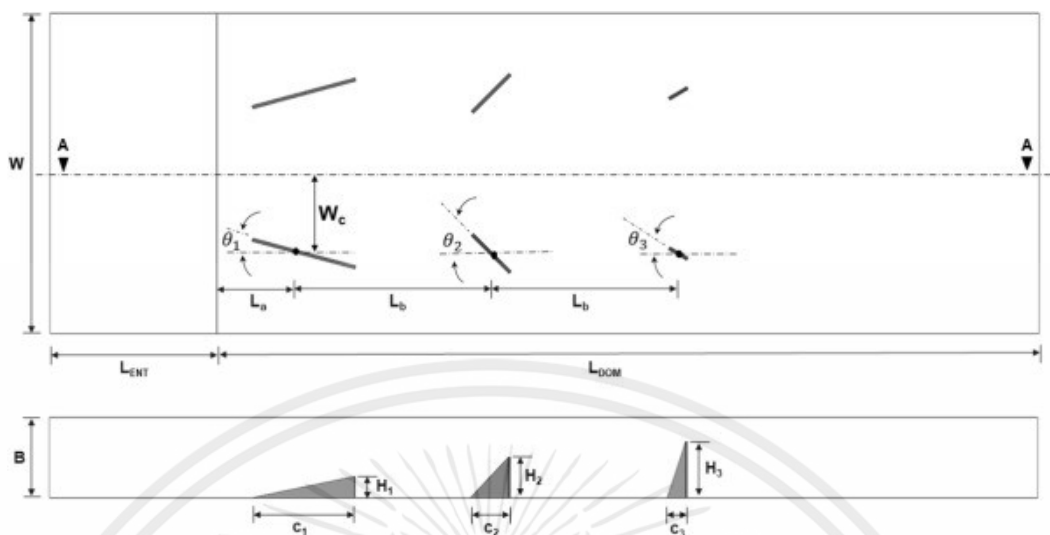
รูปที่ 2.1 ลักษณะปีก (WVG) ที่ติดตั้งเพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว

Skullong et al. [4] ทำการศึกษาเชิงทดลองและเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งปีก (WVGs) เพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว โดยทำการศึกษากายใต้เงื่อนไขพลั๊กความร้อนคงที่ที่ผนังด้านบน ศึกษาที่เลขเรย์โนลด์สระหว่าง 4100 ถึง 25000 โดยปีกที่ใช้ในการสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวมี 2 แบบได้แก่ ปีกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (RWVG) และปีกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (TWVG) ดังรูปที่ 2.2 โดยพารามิเตอร์ของที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R = e/h = 0.2, 0.48$ ) ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R = P/H = 1, 1.5$  และ  $2$ ) และมุมปะทะ ( $\alpha = 30^\circ$ ) จากผลการทดลองพบว่าปีกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มี  $B_R = 0.48$  และ  $P_R = 1$  ให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนและความเสียดทานสูงสุดอยู่ที่ 7.1 และ 109.5 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับท่อเรียบธรรมดา ในขณะที่ปีกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มี  $B_R = 0.2$  และ  $P_R = 1.5$  ให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.84 จากนั้นทำการลดความเสียดทานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยนำปีกทั้งสองแบบที่มี  $B_R = 0.48$  และ  $P_R = 1.5$  มาทำการเจาะรูวงกลมและกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางรูจำนวน 4 ค่า ( $d = 1, 3, 5$  และ  $7$  มิลลิเมตร) จากการทดลองพบว่าปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการเจาะรูขนาด 1 มิลลิเมตร ให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนและความเสียดทานสูงถึง 6.78 และ 84.32 เท่าตามลำดับซึ่งสูงกว่าท่อเรียบธรรมดา แต่ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีการเจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตรมีตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่ดีที่สุดประมาณ 2.01



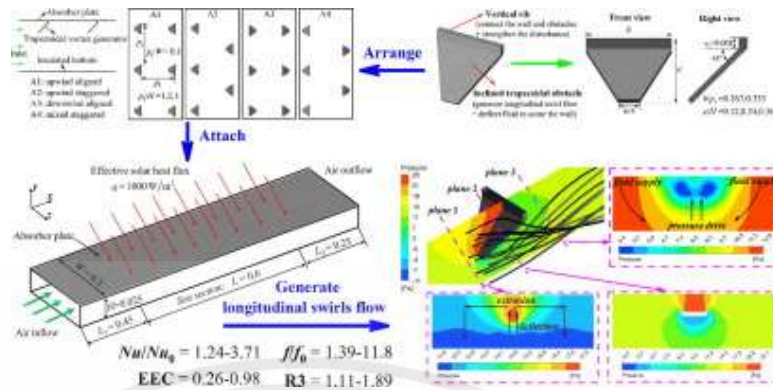
รูปที่ 2.2 ลักษณะของปีกแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (RWVG) และปีกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (TWVG)

Dezan et al. [5] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพประเภทที่อ่อนอากาศ แสงอาทิตย์โดยใช้ปีกคู่แบบสามเหลี่ยมสามแถวเรียงแบบ Common-Flow-Down และ Common-Flow-Up ดังรูปที่ 2.3 ทำการวิเคราะห์ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 5000 ถึง 10,000 พิจารณา ประสิทธิภาพจากความผันแปรของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความยาว ความสูง และมุมปะทะของแต่ละแถวของคู่ของปีกสามเหลี่ยม ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าจะได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออุปกรณ์สร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวไม่ได้กระจายไปตามช่องเป็นระยะ สำหรับอัตราส่วนพลังงาน การติดปีกแบบ Common-Flow-Up ทำงานได้ดีกว่าการติดปีกแบบ Common-Flow-Down การหมุนวนที่มุมจะอ่อนและสลายตัวไปอย่างรวดเร็วตามระยะห่างของการไหลหลักทั้งการจัดเรียงปีกแบบ Common-Flow-Up และ Common-Flow-Down



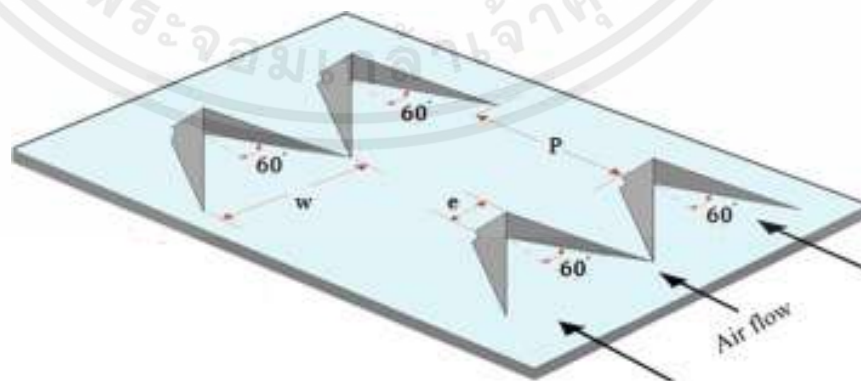
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์สร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวทั้งสามแถว

Xiao et al. [6] ท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์ (SAHs) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่ำแต่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนต่ำ จึงได้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดกระแสหมุนควงตามแนวยาวรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู (ITVGs) ดังรูปที่ 2.4 ทำการศึกษาเชิงตัวเลขซึ่งพบการหมุนวนตามยาวคู่หนึ่งใกล้กับทั้งสองด้านของแต่ละ ITVG จากการศึกษาทดลองจะได้ลำดับของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนโดยรวมสำหรับการจัดวางที่แตกต่างกันสี่แบบได้แก่ : Flow-up วางเรียงตามแนว (A1) > แบบผสม (A4) > Flow-up วางสลับกัน (A2) > Flow-Down วางเรียงตามแนว (A3) ดังนั้นการจัดเรียงแบบ A1 ซึ่งเป็นแบบที่ดีที่สุดจึงถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาสมรรถนะของเชิงความร้อนโดยการเปลี่ยนพารามิเตอร์  $b/p$ ,  $e/H$  และ  $p/H$  ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ ตั้งแต่ 6000 ถึง 18,000 ซึ่งช่วงของ  $Nu/Nu_0$ ,  $f/f_0$ , EEC และ  $R3$  คือ 1.24 – 3.71, 1.39 – 11.8, 0.26 – 0.98 และ 1.11 – 1.89 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพ Exergy เพิ่มขึ้นสูงสุด 24% และ 31% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์แบบเรียบ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของปีกทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

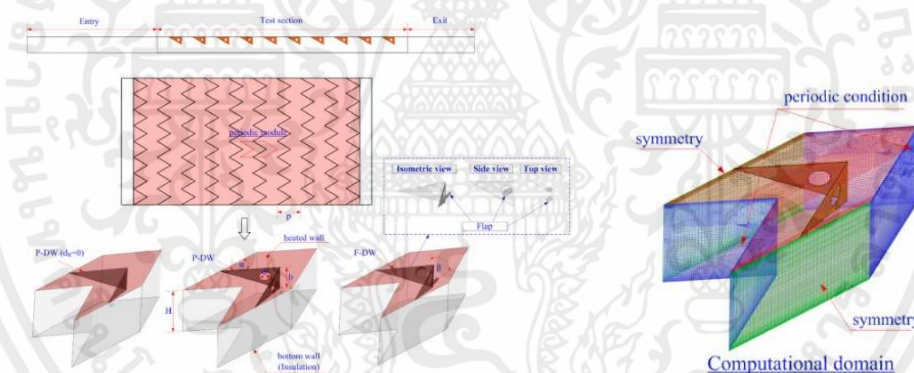
Kumar et al. [7] ทำการศึกษาการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนด้วยการติดตั้งปีกเพื่อสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาวดังรูปที่ 2.5 โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผ่านกล้อง CCD ซึ่งรูปแบบสีที่จับได้จะแปลงเป็นดิจิทัลและถอดรหัสเป็น HIS (Hue, Intensity และ Saturation) โดยรูปแบบสีที่จับได้ คือ  $R, G, B_0$  (แดง เขียว และน้ำเงิน) ที่ได้มาจากเทคนิคการถ่ายภาพความร้อนด้วยผลึกเหลว ซึ่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P/e = 5 - 12$ ), มุมปะทะ ( $\alpha = 30^\circ - 75^\circ$ ) และค่าความกว้างสัมพันธ์ ( $W/w = 3 - 7$ ) และทำการศึกษาที่เลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 3000 ถึง 22000 จากการศึกษาพบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่  $P/e = 8$  ในขณะที่ความเสียหายลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระดับความกว้างสัมพันธ์ และการมีรูเล็กๆ ที่ส่วนปลายของปีกทำให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยได้การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของเลขนัสเซิลท์เหมาะสมที่สุดที่  $W/w$  เท่ากับ 5 และค่าตัวประกอบการความเสียหายมีค่าสูงที่สุดเมื่อ  $W/w$  เท่ากับ 3 เมื่อพิจารณามุมปะทะที่  $60^\circ$



รูปที่ 2.5 ลักษณะปีกที่ใช้ในการสร้างกระแสหมุนควงตามแนวยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

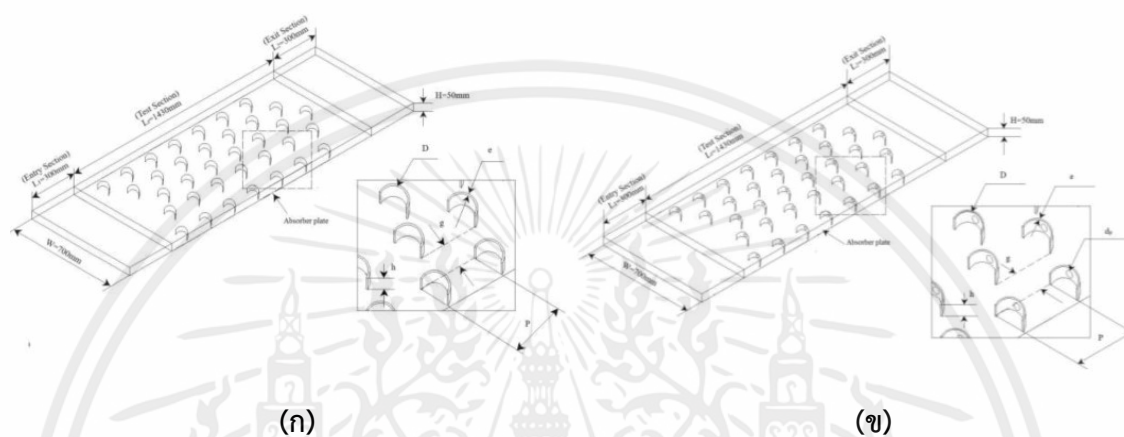
**Promvonge et al.** [8] ทำการติดปีกแบบ delta-winglet ที่มีการเจาะรู (P-DW) ดังรูปที่ 2.6 ไว้บนตัวดูดซับของท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลข พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R = 1 - 2$ ) และขนาดรูเจาะสัมพันธ์ ( $d_R = 0 - 0.583$ ) ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R = 0.48$ ) และมุมปะทะ ( $\alpha = 30^\circ$ ) ภายใต้เลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 24,000 และการจำลองได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ k- $\epsilon$  มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์มากที่สุด จากผลการคำนวณเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าการลดลงของระยะพิทช์สัมพันธ์และขนาดรูเจาะสัมพันธ์ทำให้ความเสียดทานและเลขนัสเซิลท์เพิ่มขึ้น แต่ถึงอย่างนั้นการติดปีกแบบ P-DW นั้นให้เลขนัสเซิลท์และความเสียดทานมากกว่าแผ่นเรียบธรรมดา 3.92 – 5.9 และ 17.1 – 78.21 เท่าตามลำดับ และให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 2.1 นอกจากนี้ปีกแบบ P-DW ยังได้รับการปรับปรุงโดยการปิดรูที่เจาะบางส่วนด้วยแผ่นปิดวงกลมเรียกว่าปีกแบบ F-DW ซึ่งทำให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 2.16 ซึ่งสูงกว่าปีกแบบ P-DW ประมาณ 2.9%



รูปที่ 2.6 ลักษณะของปีกแบบ delta-winglet ที่มีการเจาะรู

**Saravanan et al.** [9] ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผ่นดูดซับติดปีกทั้งแบบเจาะรูและไม่เจาะรูรูปตัว C หลายแผ่นดังรูปที่ 2.7 (ก) และ 2.7 (ข) การทดลองได้ดำเนินการในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ ตั้งแต่ 3000 ถึง 27,000 และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ระยะพิทช์สัมพันธ์ 3.4 ถึง 3.8 ความสูงปีกสัมพันธ์ 0.3 ถึง 0.7 และอัตราส่วนการเจาะรูแบบสัมพันธ์ 1.5 ถึง 3 โดยการวิเคราะห์จะเน้นที่อิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองพบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงขึ้นเมื่อระยะพิทช์สัมพันธ์เท่ากับ 3.8 ความสูงปีกสัมพันธ์ เท่ากับ 0.6 และอัตราส่วนการเจาะรูแบบสัมพันธ์เท่ากับ 3 และสำหรับตัว

ประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนและความเสียดทานของการติดปีกรูปตัว C ไม่เจาะรู ที่มีระยะพิทช์สัมพันธ์เท่ากับ 3.8 และความสูงปีกสัมพันธ์ เท่ากับ 0.6 คือ 2.61 และ 5.93 เท่าของท่อเรียบตามลำดับ และการติดปีกรูปตัว C เจาะรูที่มีอัตราส่วนสัมพันธ์เท่ากันให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนและตัวประกอบเสียดทาน 2.67 และ 5.34 เท่าซึ่งสูงกว่าท่อแบบเรียบ ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 ลักษณะของปีกแบบตัว c (ก)ไม่มีรู (ข)มีรู

**Bezbaruah et al. [10]** ทำการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดกระแสหมุนควงตามแนวยาวทรงกรวยแบบเอียงดังรูปที่ 2.8 โดยกำหนดระยะพิทช์สัมพันธ์อยู่ระหว่าง 2.67 – 15 และความสูงปีกสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.17 – 0.34 ทำการศึกษาที่เลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 3500 – 16000 จากผลการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนดีขึ้น 257% และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.04



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์สร้างกระแสมุนคองตามแนวยาวแบบทรงกรวยและติดแบบเอียง

## บทที่ 3

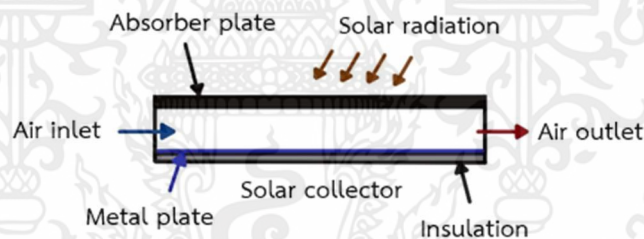
### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 เครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ (Solar air heater)

##### 3.1.1 บทนำ

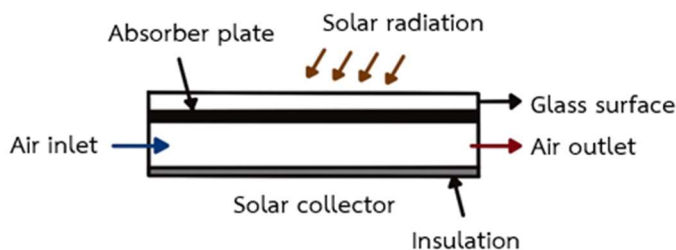
เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ได้พลังงานมาจากดวงอาทิตย์ แสงอาทิตย์จะถูกดูดซับด้วยแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) และนำความร้อนมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การปรับอากาศภายในอาคาร การใช้เพื่อแปรรูปอาหาร การใช้เพื่ออบแห้งผลผลิตทางเกษตร เป็นต้น

เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่ายประกอบไปด้วย แผ่นดูดซับที่มีสีดำสนิทอยู่ด้านบนสุด แผ่นโลหะเปล้า (metal plate) และส่วนด้านล่างติดตั้งแผ่นที่เป็นฉนวน ช่องว่างระหว่างแผ่นดูดซับและแผ่นโลหะเปล้าเป็นท่อสำหรับส่งอากาศผ่าน (air flow duct) ดังรูปที่ 3.1 เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบริเวณแผ่นดูดซับความร้อนจะถูกดูดกลืนและถ่ายเทไปยังอากาศที่ไหลผ่านภายในท่อ



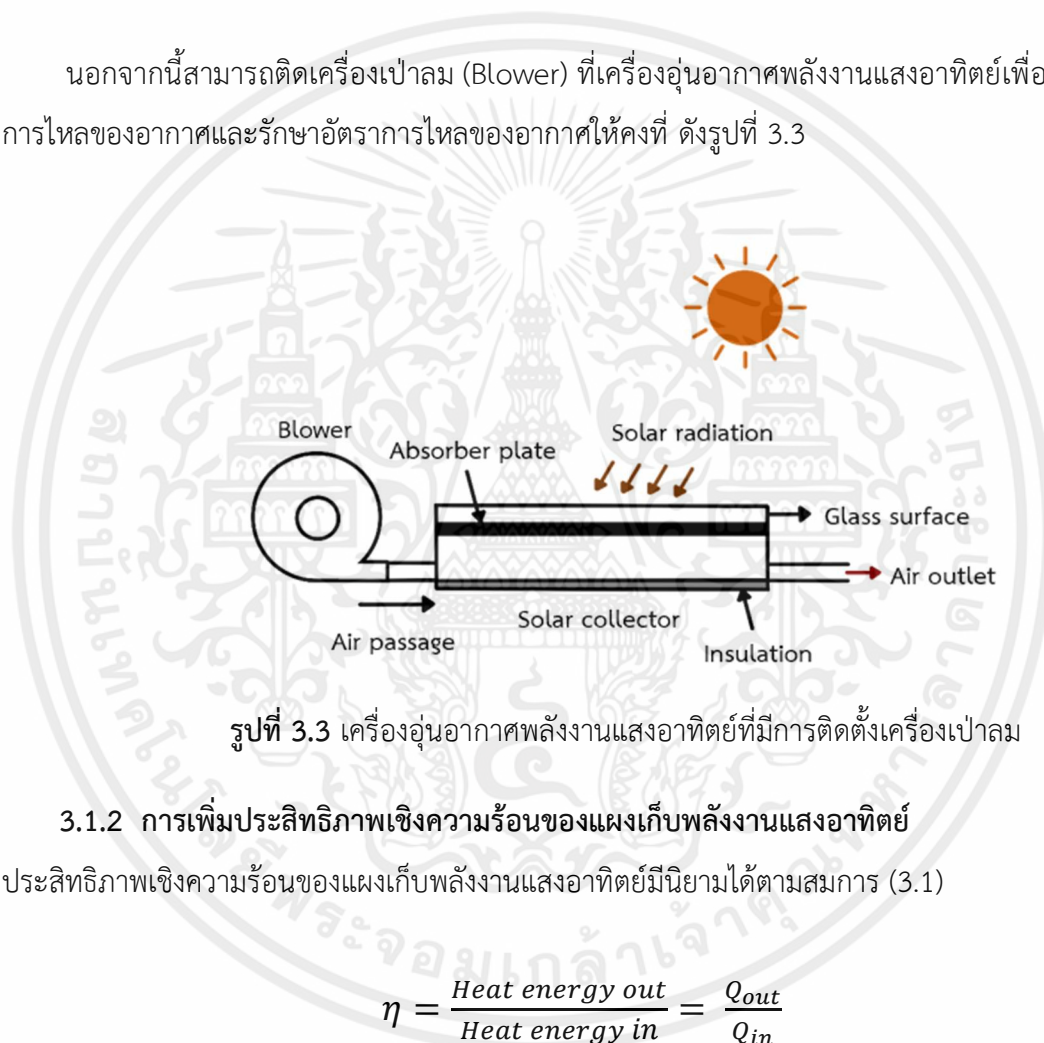
รูปที่ 3.1 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย

ข้อเสียของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่าย คือ ส่วนที่เก็บพลังงานแสงอาทิตย์เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสี ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดการสูญเสียความร้อน โดยการครอบแผ่นดูดซับความร้อนด้วยฝาครอบที่มีความโปร่งใสหรือที่เรียกว่า การเคลือบกระจก ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบอย่างง่ายที่มีการเคลือบกระจก

นอกจากนี้สามารถติดตั้งเครื่องเป่าลม (Blower) ที่เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและรักษาอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งเครื่องเป่าลม

### 3.1.2 การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์มีนิยามได้ตามสมการ (3.1)

$$\eta = \frac{\text{Heat energy out}}{\text{Heat energy in}} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (3.1)$$

อัตราการความร้อนที่ถูกดึงออกมาจากแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ( $\dot{Q}_{out}$ ) หาได้จากสมการ (3.2)

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (3.2)$$

อัตราการความร้อนที่แผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับ ( $\dot{Q}_{in}$ ) หาได้จากสมการ (3.3)

$$\dot{Q}_{in} = G_T A_C \quad (3.3)$$

ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat Removal Factor :  $F_R$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ถูกดึงออกมาจากแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายโอนและถูกดึงโดยของไหลในแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งเขียนได้ดังสมการ (3.4)

$$F_R = \frac{\dot{m}_f c_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c (G_T \tau \alpha - U_L (T_{fi} - T_a))} \quad (3.4)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้ตามสมการ (3.5)

$$\dot{Q}_{out} = A_c F_R [G_T \tau \alpha - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (3.5)$$

สมการที่ (3.6) เป็นสมการของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด คือ

$$\eta = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{G_T} \quad (3.6)$$

เมื่อ $\eta$	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของอุปกรณ์เก็บอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
$F_R$	คือ ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน
$U_L$	คือ อัตราการสูญเสียความร้อนรวม ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )
$\tau$	คือ ค่าการส่งผ่านรังสีของฝาครอบกระจก
$\alpha$	คือ ค่าการดูดซับความร้อนของแผ่นดูดซับ
$T_{fi}$	คือ อุณหภูมิทางเข้าของอากาศ ( $^\circ C$ )
$T_{fo}$	คือ อุณหภูมิทางออกของอากาศ ( $^\circ C$ )
$T_a$	คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ( $^\circ C$ )
$G_T$	คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $W/m^2$ )

การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- เพิ่มอัตราการไหลของมวลต่อหน่วยพื้นที่
- เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศและแผ่นดูดซับ
- เพิ่มการหมุนวนของอากาศโดยการติดตั้งปีก

## 3.2 การพาความร้อน (convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านสสารที่เป็นของเหลวหรือก๊าซเท่านั้น โดยการพาความร้อนประกอบด้วย 2 กลไก ได้แก่ ความร้อนเกิดการถ่ายเทเนื่องจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และจากการเคลื่อนที่ของไหล โดยการถ่ายเทความร้อนนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไหล ได้แก่ ความหนืดพลวัต ( $\mu$ ), สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $k$ ), ความหนาแน่น ( $\rho$ ), ความร้อนจำเพาะ ( $c_p$ ) ซึ่งรวมไปถึงความเร็ว ( $V$ ) ของของไหลด้วย การถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

### 3.2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ของไหลไม่ได้ถูกทำให้เคลื่อนที่จากกลไกภายนอกแต่เคลื่อนที่ได้เองจากแรงลอยตัว ซึ่งแรงลอยตัวเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหล การพาความร้อนแบบธรรมชาติเริ่มต้นจากโมเลกุลของของไหลได้รับความร้อนทำให้เกิดการขยายตัวและมีความหนาแน่นน้อยลง ทำให้ของไหลลอยตัวสูงขึ้นซึ่งจะนำพาความร้อนเคลื่อนที่ติดไปด้วย จากนั้นของไหลบริเวณใกล้เคียงที่มีความเย็นและความหนาแน่นมากกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ จึงเกิดการไหลเวียนของของไหลขึ้น

### 3.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ

ของไหลถูกทำให้เคลื่อนที่จากกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบ เป็นต้น การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติ จากตารางที่ 3.1 เมื่อเปรียบเทียบที่ชนิดของไหลเดียวกันแต่คนละลักษณะการพาความร้อนจะเห็นว่าที่ชนิดของไหลเดียวกัน การพาความร้อนแบบบังคับจะมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากกว่า ซึ่งส่งผลให้การพาความร้อนแบบบังคับมีการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของไหลบางชนิด

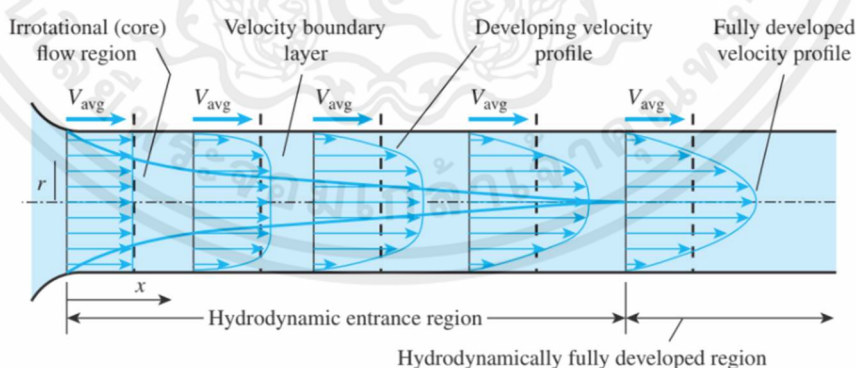
ประเภทการพาความร้อนและชนิดของการไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $W/(m^2 K)$ )
การพาความร้อนแบบธรรมชาติ(อากาศ)	5-25
การพาความร้อนแบบธรรมชาติ(น้ำ)	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ(อากาศ)	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ(น้ำ)	50-10,000

### 3.3 การไหลภายในท่อ

การไหลภายในท่อแตกต่างจากการไหลภายนอกตรงที่การไหลภายนอกเป็นการไหลที่ไม่มีขอบเขต การไหลสามารถเพิ่มขอบเขตการไหลได้อย่างอิสระแต่การไหลภายในท่อนั้นของไหลจะถูกจำกัดขอบเขต การไหลด้วยพื้นผิวที่ล้อมรอบ ซึ่งทฤษฎีและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

#### 3.3.1 สถานะของของไหล

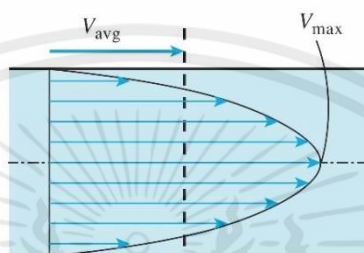
เมื่อของไหลไหลเข้ามาในท่อสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปคือ รูปร่างของความเร็วของของไหล ของไหลจะเข้ามาในท่อด้วยความเร็วที่เท่ากันจากนั้นชั้นของไหลที่สัมผัสบริเวณผิวท่อจะเริ่มหยุดจนมีค่าความเร็วเท่ากับ ศูนย์เนื่องจากเงื่อนไข ไม่มีการลื่นไถล ชั้นของไหลที่สัมผัสกับพื้นผิวท่อจะต้านทานชั้นของไหลที่อยู่ติดกัน ทำให้ชั้นของไหลถัดมามีความเร็วที่ช้าลงก่อดังกันเป็นรูปแบบโปรไฟล์ความเร็วดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สถานะการไหลของไหล

จากรูปที่ 3.4 ตรงบริเวณที่รูปร่างของความเร็วมีลักษณะชัดเจนไม่เปลี่ยนแปลงต่อไปอีก บริเวณนี้เรียกว่า การไหลที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed flow) ส่วนการไหลก่อนหน้าเรียกว่า การไหลที่กำลังปรับตัว (developing flow)

### 3.3.2 ความเร็วเฉลี่ย ( $V_{avg}$ )



รูปที่ 3.5 ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านท่อ

ความเร็วของไหลบริเวณที่ผิวท่อจะมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากเงื่อนไขไม่มีการเลื่อนไถลและมีค่าสูงสุดที่บริเวณจุดศูนย์กลางท่อดังรูปที่ 3.5 หากรู้รูปแบบโปรไฟล์ของความเร็วสามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลได้จากสมการ (3.7)

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho u(r) dA_c \quad (3.7)$$

เมื่อ  $u(r)$  คือรูปแบบโปรไฟล์ของของไหลหากรู้ค่าของตัวแปรความเร็วเฉลี่ยสามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลได้เลย จากความหนาแน่นของของไหลคูณด้วยความเร็วเฉลี่ยและพื้นที่หน้าตัดของท่อเขียนได้ดังสมการ (3.8)

$$\dot{m} = \rho V_{avg} A_c \quad (3.8)$$

### 3.3.3 อุณหภูมิเฉลี่ย ( $T_m$ )

ในการคำนวณต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ยคำนวณเนื่องจากว่าอุณหภูมิแต่ละจุดภายในท่ออาจจะมีค่าไม่คงที่ซึ่งในการหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการการถ่ายเทความร้อนดังสมการ (3.9)

$$\dot{E}_{fluid} = \dot{m}c_p T_m = \int_{A_c} c_p T(r) \delta \dot{m} = \int_{A_c} \rho c_p T(r) u(r) dA_c \quad (3.9)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (3.9) ใหม่จะได้นิยามของอุณหภูมิเฉลี่ย ( $T_m$ ) ดังสมการที่ (3.10)

$$T_m = \frac{\int_{A_c} \rho c_p T(r) u(r) dA_c}{\dot{m}c_p} \quad (3.10)$$

สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยบัลด์หาได้จากสมการ (3.11)

$$T_b = \frac{T_i + T_e}{2} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $T_b$  = อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าและทางออกของของไหล

### 3.3.4 เลขเรย์โนลด์ส์ ( $Re$ )

เลขเรย์โนลด์ส์ คือ ตัวแปรไร้มิติที่มีนิยามว่า เป็นอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงของความหนืด ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการกำหนดลักษณะการไหล ดังนี้

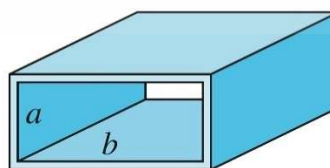
- เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) เมื่อ  $Re < 2,300$
- เป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงชั่วคราว (Transient) เมื่อ  $2,300 < Re < 4,000$
- เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) เมื่อ  $Re > 4,000$

เลขเรย์โนลด์ส์สามารถหาได้จากสมการ (3.12)

$$Re = \frac{\rho V_{avg} D_h}{\mu} \quad (3.12)$$

เนื่องจากการวิจัยฉบับทำการศึกษาการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยม ลักษณะท่อจึงเป็นดังรูปที่ 3.6

Rectangular duct:



รูปที่ 3.6 ลักษณะของท่อสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 3.6 พื้นที่หน้าตัด ( $A_c$ ) หาได้จากสมการ (3.13)

$$A_c = ab \quad (3.13)$$

และเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกหาได้จากสมการ (3.14)

$$D_h = \frac{2(ab)}{a+b} \quad (3.14)$$

### 3.3.5 ความดันตกคร่อมและตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ )

ความดันตกคร่อมในการไหลภายในท่อเป็นตัวแปรที่สำคัญเนื่องจากเป็นสิ่งที่กำหนดขนาดกำลังของพัดลมหรือปั๊มเพื่อรักษาอัตราการไหลให้คงที่ ซึ่งสามารถหาความดันตกคร่อมระหว่าง  $x_1$  ถึง  $x_2$  ได้จาก

$$\begin{aligned} \Delta p = p_1 - p_2 &= - \int_{p_1}^{p_2} dp = \frac{f \rho u_m^2}{2D_h} \int_{x_1}^{x_2} dx \\ &= \frac{f \rho u_m^2}{2D_h} (x_2 - x_1) \end{aligned} \quad (3.15)$$

ตัวประกอบความเสียดทานหาได้จากสมการ (3.16)

$$f = \frac{-2(dp/dx)D_h}{\rho u_m^2} \quad (3.16)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius หาได้จากสมการ (3.17)

$$f_0 = 0.3164Re^{-0.25} \quad (3.17)$$

อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานหาได้จากสมการ (3.18)

$$f_R = \frac{f}{f_0} \quad (3.18)$$

### 3.3.6 เลขนัสเซลท์ ( $Nu$ )

เลขนัสเซลท์ คือ อัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหลโดยการพาความร้อน ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหลโดยการนำความร้อน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (3.19)

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (3.19)$$

สหสัมพันธ์ของ Dittus – Boelter หาได้จากสมการ (3.20)

$$Nu_0 = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (3.20)$$

อัตราส่วนเลขนัสเซลท์หาได้จากสมการ (3.21)

$$Nu_R = \frac{Nu}{Nu_0} \quad (3.21)$$

### 3.3.7 ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน

ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างการถ่ายเทความร้อนกับการสูญเสียจากการไหล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (3.22)

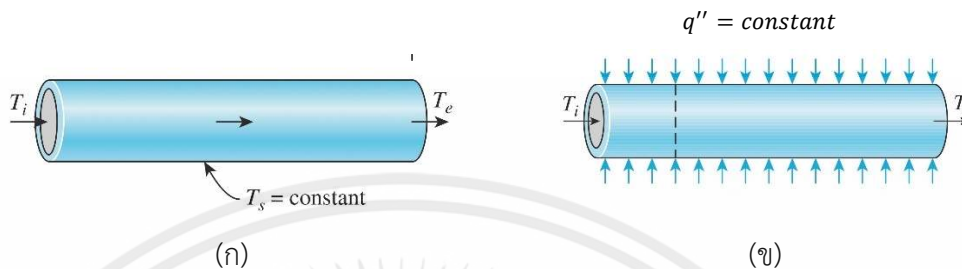
$$TEF = \left( \frac{Nu}{Nu_0} \right)_{Re} / \left( \frac{f}{f_0} \right)_{Re}^{0.8} \quad (3.22)$$

### 3.3.8 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งพลังงานความร้อนระหว่างตัวกลางที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน หากตัวกลางมีอุณหภูมิเท่ากันจะไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลที่ไหลเข้าไปในท่อคือ การเพิ่มพลังงานให้กับของไหล ซึ่งมีนิยามว่า

$$\dot{Q}_{conv} = \dot{m} c_p (T_e - T_i) \quad (3.23)$$

จากรูปที่ 3.7(ก) และ 3.7(ข) เมื่อคุณสมบัติของผิวท่อมีค่าคงที่ไม่่ว่าจะเป็นอุณหภูมิผิวคงที่ ( $T_s = \text{constant}$ ) หรือฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อมีค่าคงที่ ( $q'' = \text{constant}$ )



รูปที่ 3.7 การไหลผ่านท่อกรณี(ก)อุณหภูมิผิวคงที่และ(ข)ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่

กรณีที่ผิวท่อมีอุณหภูมิคงที่ จะมีนิยามว่า

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{lm} \quad (3.24)$$

เมื่อ  $T_{lm}$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกการิทึม (The log mean temperature difference)

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_i - T_e}{\ln[(T_s - T_e)/(T_s - T_i)]} \quad (3.25)$$

กรณีผิวท่อมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ จะมีนิยามว่า

$$\dot{q}_s = h(T_s - T_b) \quad (3.26)$$

## บทที่ 4

### แบบจำลองเชิงตัวเลข

#### 4.1 สมมติฐานและสมการควบคุมการไหล

ในการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่ออุณหอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง  
ปีกลีสมมติฐานดังนี้

1. ของไหลมีคุณสมบัติคงที่และอัดตัวไม่ได้
2. การไหลของไหลเป็นแบบปั่นป่วน
3. การไหลและการถ่ายเทความร้อนของไหลเป็นแบบคงตัวสามมิติ
4. เป็นการไหลและการถ่ายเทความร้อนที่พัฒนาอย่างสมบูรณ์และซ้ำเป็นช่วง
5. ไม่คำนึงถึงแรงอันเนื่องมาจากน้ำหนัก
6. ไม่คำนึงถึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้นจะได้สมการควบคุมการไหลดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (4.1)$$

สมการโมเมนตัม

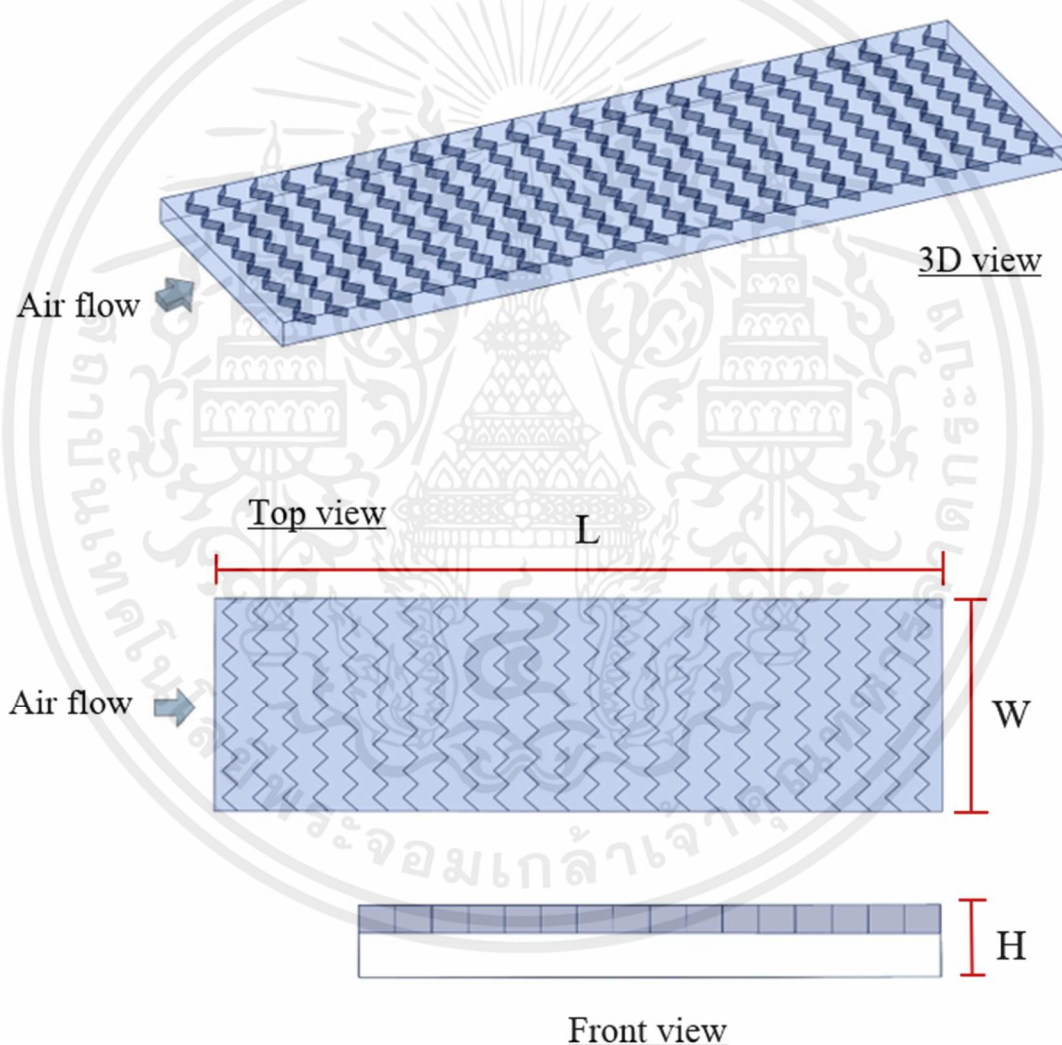
$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\mu + \mu_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.2)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right] \quad (4.3)$$

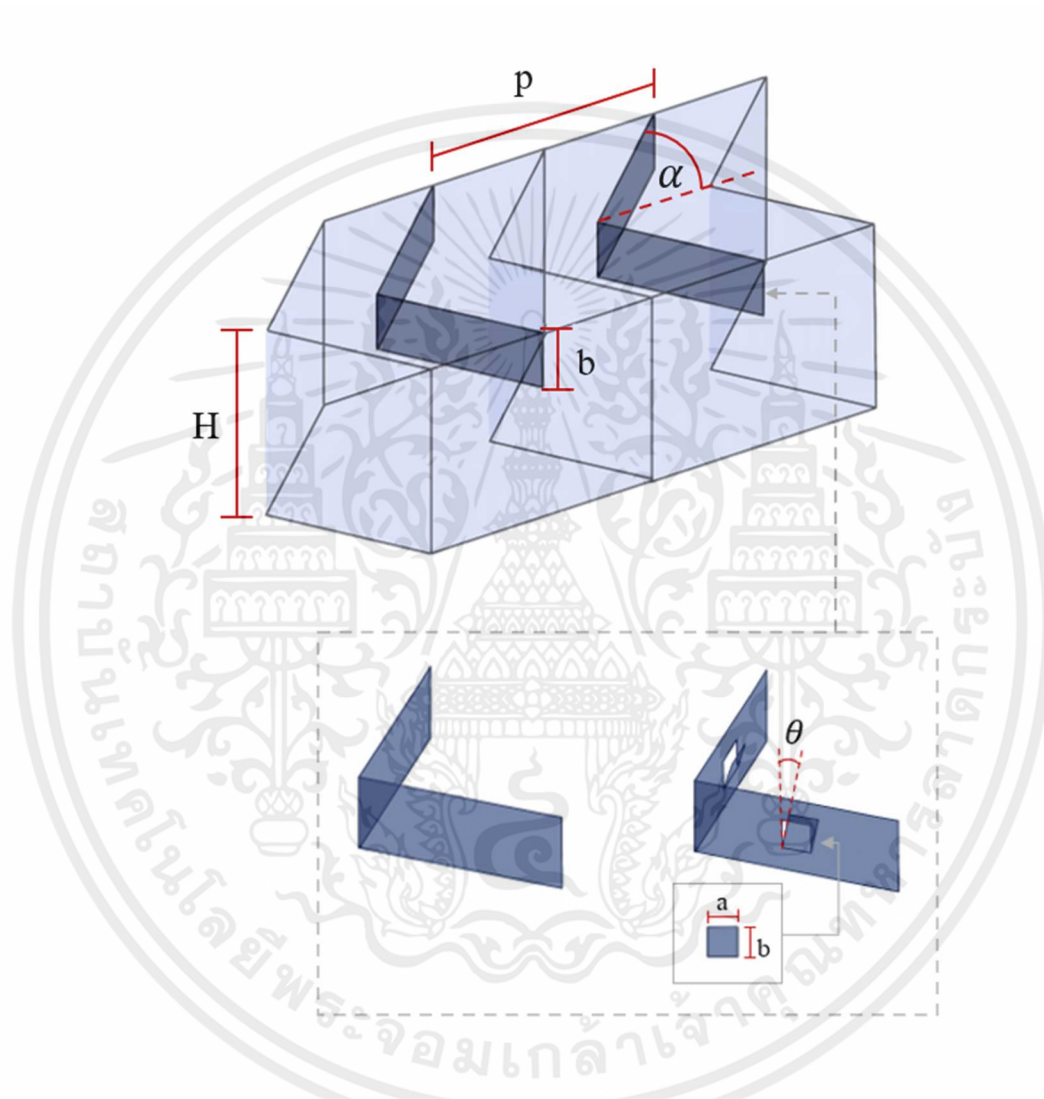
## 4.2 การกำหนดลักษณะของช่วงทดสอบและปีกสี่เหลี่ยม

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยพบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพของท่ออ่อนอากาศแสงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการติดตั้งแผ่นกั้นลักษณะต่างๆ เพื่อสร้างกระแสหมุนวนตามแนวยาวของอากาศซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากยิ่งขึ้น งานวิจัยเล่มนี้จึงได้จำลองแผ่นกั้นที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมติดไว้ภายในท่ออ่อนอากาศแสงอาทิตย์ โดยท่อช่วงทดสอบมีความยาว (L) 800 มิลลิเมตร ความกว้าง (W) 200 มิลลิเมตร ความสูง (H) 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขนาดของช่วงทดสอบ

ในส่วนของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดลักษณะและระยะห่างของปีกมีดังนี้ ความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R = b/H = 0.3, 0.35, 0.4$  และ  $0.45$ ) ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R = p/H = 0.8, 1$  และ  $1.2$ ) มุมปะทะ ( $\alpha = 45^\circ$ ) และมุมของช่องบานเกล็ดที่เจาะบนปีก ( $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  และ  $90^\circ$ ) ดังรูปที่ 4.2

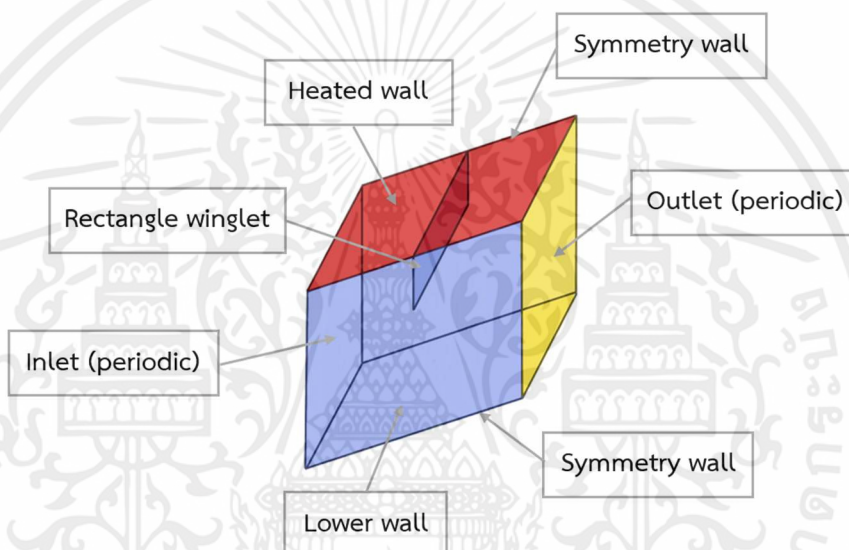


รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่กำหนดลักษณะและระยะห่างของปีก

### 4.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการคำนวณการไหลสามมิติ

1. เงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic
2. เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านบนเป็น wall ที่ได้รับฟลักซ์ความร้อนคงที่ ( $q'' = 500 \text{ W/m}^2$ )
3. เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านล่างเป็น wall และเป็นฉนวน
4. เงื่อนไขขอบเขตที่ผนังด้านข้างทั้งซ้ายและขวาเป็นแบบ symmetry

โดยเงื่อนไขข้อ 1 ถึง 4 เป็นการกำหนดประเภทของผนังในแต่ละด้านซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโดเมนที่ใช้ในการคำนวณ

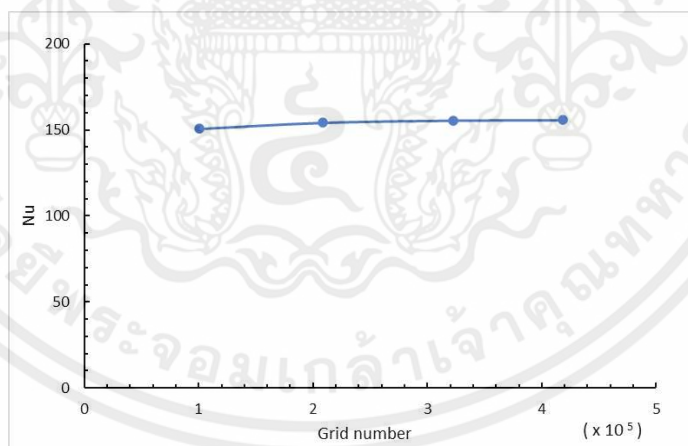
โดยที่เงื่อนไขขอบเขตทางโมเมนตัมที่ผนังเป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary) และไม่เกิดการลื่นไถล (no slip) ในส่วนของของไหลที่ใช้ในการทดสอบ คือ อากาศ และคุณสมบัติต่างๆของอากาศมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ 300 K ทำการศึกษาในช่วงการไหลที่มีเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4000 ถึง 16000 และในการคำนวณการไหลแบบสามมิติใช้อัลกอริทึมแบบ Coupled ในเงื่อนไขความดันและความเร็วและรูปแบบตัวเลขเป็นแบบ QUICK สำหรับเกณฑ์ที่ใช้กำหนดการลู่เข้าของค่าความแตกต่างต้องต่ำกว่า  $10^{-6}$  สำหรับทุกสมการ ยกเว้นสมการพลังงานที่ต้องต่ำกว่า  $10^{-9}$

#### 4.4 การตรวจสอบขอบเขตการคำนวณ

การตรวจสอบขอบเขตการคำนวณเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อที่จะยืนยันว่าผลการคำนวณจากโปรแกรมมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองมากน้อยเพียงใด ซึ่งการตรวจสอบขอบเขตการคำนวณจะประกอบไปด้วย การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระและการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

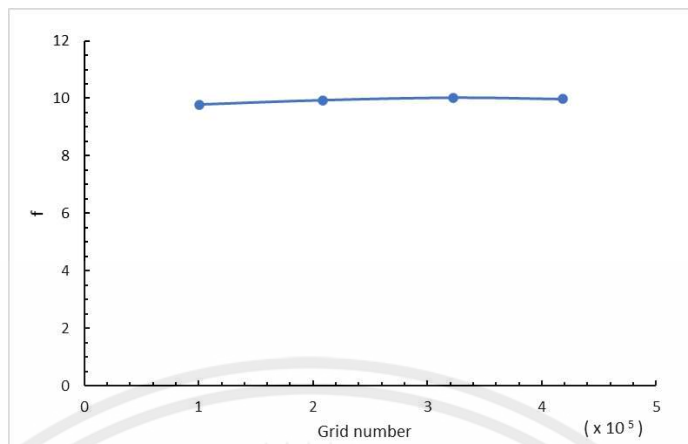
##### 4.4.1 การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระ

การตรวจสอบหาจำนวนกริดอิสระ ทำเพื่อหาจำนวนกริดอิสระที่ทำให้ผลการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และใช้เวลาในการคำนวณไม่มากจนเกินไป การทดสอบนี้ทำโดยการจำลองโมดูลปีกสี่เหลี่ยมที่มีความสูงปีกสัมพันธ์ ( $B_R$ ) เท่ากับ 0.4 ระยะพิทช์สัมพันธ์ ( $P_R$ ) เท่ากับ 0.8 มุมของช่องที่เจาะเป็น  $0^\circ$  และทดสอบที่เลขเรย์โนลด์ส์ 4000 ด้วยจำนวนกริดเซลล์ 100877, 208436, 322484 และ 418118 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของเลขนัสเซลล์และค่าความเสียดทานมีน้อยกว่า 1 % ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 สำหรับการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์จาก 208436 เป็น 322484 ด้วยเหตุผลนี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีประโยชน์เมื่อมีการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์ขึ้นและเพื่อให้ได้ค่า  $y^+$  น้อยกว่า 1 สำหรับเซลล์ที่ใกล้กับผนัง จึงเลือกจำนวนกริดเซลล์ที่ 208436 ที่ให้ทั้งความแม่นยำของผลเฉลยและประหยัดเวลาในการคำนวณเพื่อทำการศึกษาวิจัยนี้ต่อไป



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกริดกับเลขนัสเซลล์

ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.4$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 0^\circ$

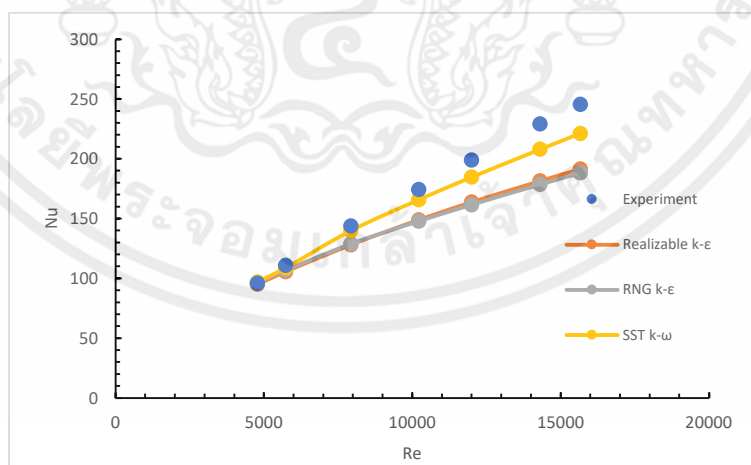


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกริดกับตัวประกอบความเสียดทาน

$$\text{ที่ } Re = 4000, B_R = 0.4, P_R = 0.8, \theta = 0^\circ$$

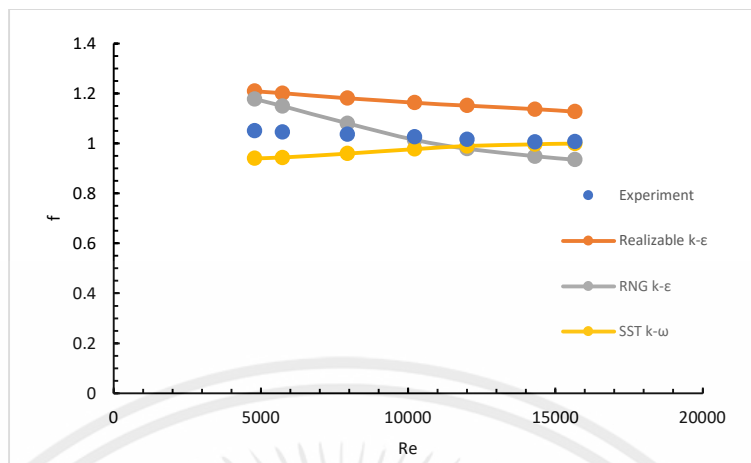
#### 4.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมทำได้โดยการเปรียบเทียบเลขนัสเซลล์และตัวประกอบความเสียดทานที่ได้มาจากการคำนวณเชิงตัวเลขโดยโปรแกรมและที่ได้มาจากการทดลอง โดยการคำนวณเชิงตัวเลขผ่านโปรแกรมมีการใช้โมเดลในการคำนวณ 3 แบบ ได้แก่ realizable  $k - \epsilon$ , Shear Stress Transport (SST)  $k - \omega$  และ Renormalized Group (RNG)  $k - \epsilon$  เพื่อที่จะหาโมเดลที่มีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบเลขนัสเซลล์ที่ได้มาจากการคำนวณเชิงตัวเลขที่โมเดล

การไหลปั่นป่วนแตกต่างกันและจากการทดลอง



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบตัวประกอบความเสียดทานที่ได้มาจากการคำนวณเชิงตัวเลขที่โมเดลการไหลปั่นป่วนแตกต่างกันและที่จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่าหากคำนวณเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมและใช้โมเดล Shear Stress Transport (SST)  $k - \omega$  จะมีความใกล้เคียงกับผลทดลองมากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการวิจัยและศึกษาต่อจากนี้จะคำนวณเชิงตัวเลข ด้วยโปรแกรมและใช้โมเดล Shear Stress Transport (SST)  $k - \omega$  ทั้งหมด ซึ่งสมการของแบบจำลองความปั่นป่วนแบบโมเดล Shear Stress Transport (SST)  $k - \omega$  มีดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_k \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + G_\omega - Y_\omega + D_\omega \quad (4.5)$$

เมื่อ  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\omega$  และ  $\mu_t$  เป็นเลขพรานด์เทิลแบบช่วงการไหลปั่นป่วนสำหรับ  $k$ ,  $\omega$  และความหนืดแบบปั่นป่วนตามลำดับ

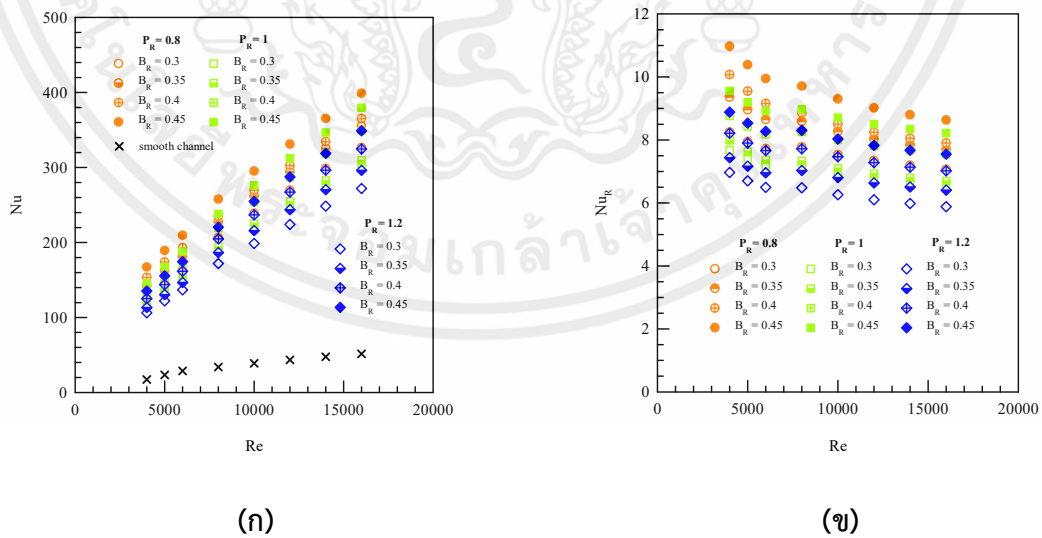
## บทที่ 5

### ผลจากการจำลองเชิงตัวเลข

#### 5.1. การถ่ายเทความร้อนในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

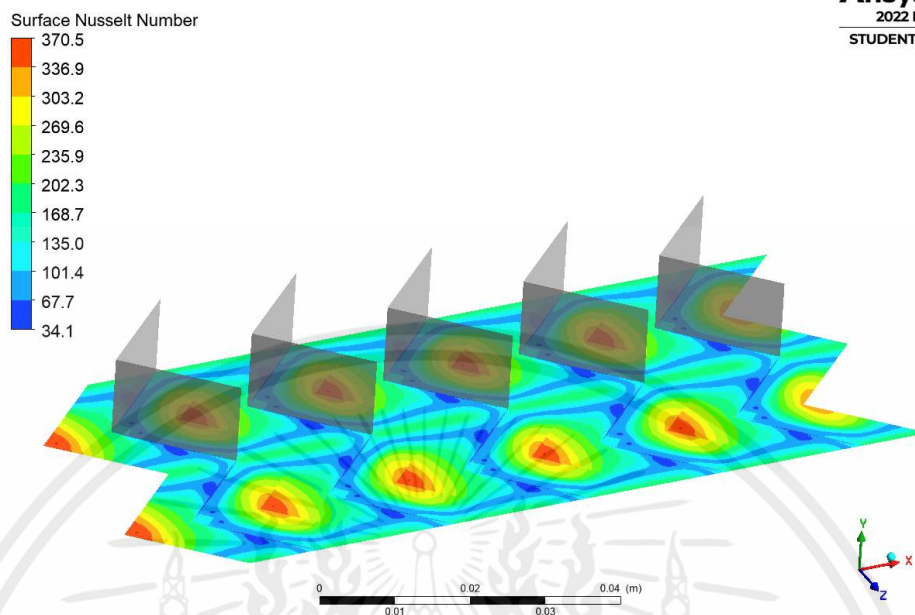
จากรูปที่ 5.1(ก) และ 5.1(ข) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของเลขนัสเซิลท์และอัตราส่วนของเลขนัสเซิลท์เมื่อทำการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.1(ก) ความสูงปีกสัมพันธ์ที่มากที่สุด ( $B_R = 0.45$ ) จะให้ค่าเลขนัสเซิลท์มากที่สุดเสมอเมื่อพิจารณาในแต่ละระยะพิทช์สัมพันธ์เนื่องจากว่ายิ่งปีกมีขนาดใหญ่ยิ่งทำให้เกิดการต้านการไหลได้มากและสร้างกระแสหมุนควงตามยาวได้มากยิ่งขึ้น และหากพิจารณาระยะพิทช์สัมพันธ์ควบคู่ไปกับความสูงปีกสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของเลขนัสเซิลท์เมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบที่  $B_R = 0.3 - 0.45$  สำหรับ  $P_R = 0.8, 1.0, 1.2$  มีค่าประมาณ 606.8 – 997.36%, 546.82 – 856.03% และ 488.47 – 788.2% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.1(ข) จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์มีค่าเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับความสูงปีกสัมพันธ์ แต่กลับลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สและระยะพิทช์สัมพันธ์เพิ่มขึ้นโดยมีเหตุผลเนื่องจากเลขนัสเซิลท์ของท่อเรียบ (สมการที่ 3.20) เพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์สจึงทำให้อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ลดลงเพราะตัวส่วน ( $Nu_0$ ) ของอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลที่ได้คือที่  $B_R = 0.3 - 0.45$  สำหรับ  $P_R = 0.8, 1.0, 1.2$  มีค่าประมาณ 7.07 – 10.97 เท่า , 6.47 – 9.56 เท่า และ 5.88 – 8.88 เท่าตามลำดับ



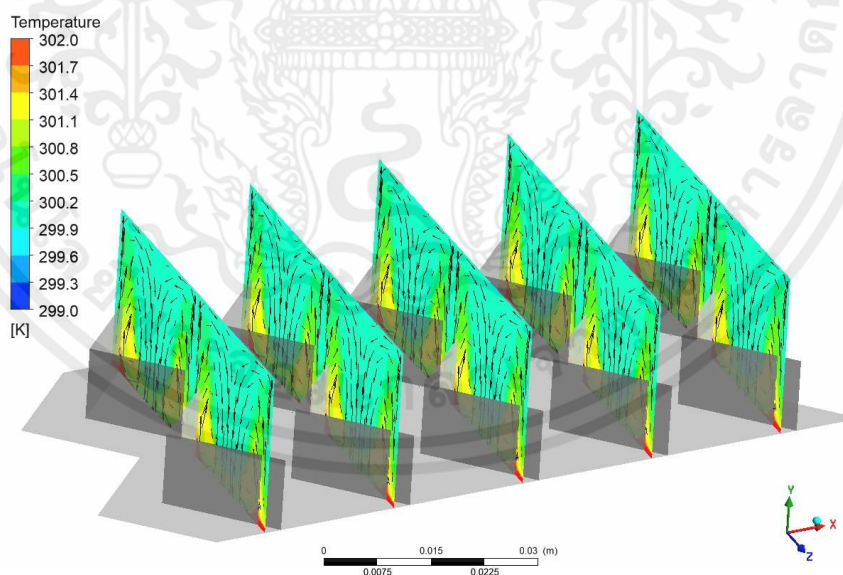
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง(ก)เลขนัสเซิลท์และ

(ข)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 5.2 การกระจายตัวของเลขนัสเซิลท์บริเวณผนังด้านบน

ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 0^\circ$



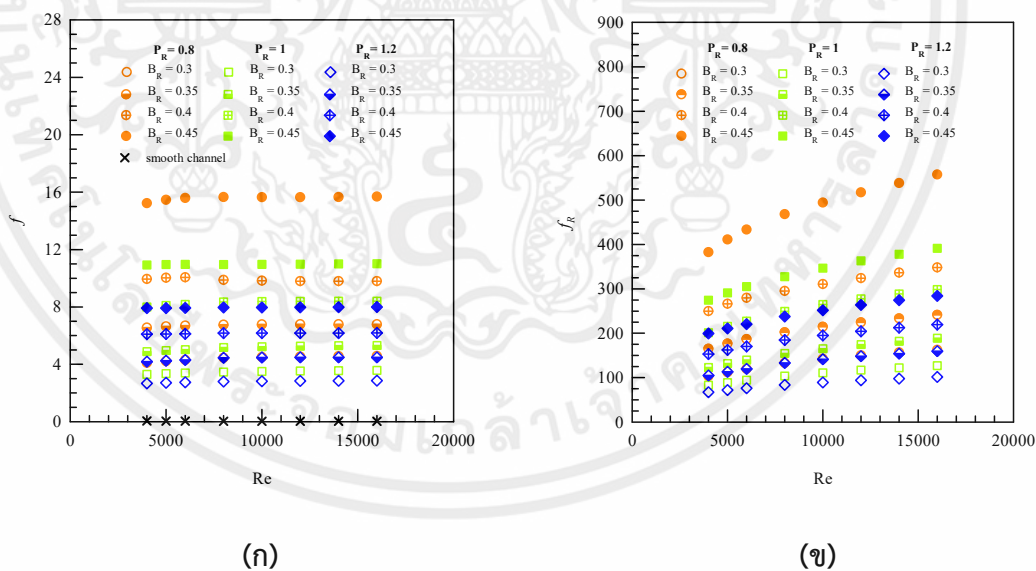
รูปที่ 5.3 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อบนหน้าตัดตามขวาง

ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 0^\circ$

## 5.2 ตัวประกอบเสียดทานในท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5.4(ก) และ 5.4(ข) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเมื่อทำการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม เมื่อพิจารณารูปที่ 5.4(ก) จะพบว่าความสูงปีกสัมพันธ์ที่มากที่สุด ( $B_R = 0.45$ ) จะให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดเสมอเมื่อพิจารณาในแต่ละระยะพิทซ์สัมพันธ์เนื่องจากว่ายิ่งปีกมีขนาดใหญ่ยิ่งทำให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างของไหลกับผนังเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เกิดความเสียดทานมากขึ้น และหากพิจารณาระยะพิทซ์สัมพันธ์ควบคู่ไปกับความสูงปีกสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานที่  $B_R = 0.3 - 0.45$  สำหรับ  $P_R = 0.8, 1.0, 1.2$  มีค่าประมาณ  $4.09 - 15.68$ ,  $3.29 - 11.01$  และ  $2.67 - 7.99$  ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.4(ข) จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับเลขเรย์โนลด์สและความสูงปีกสัมพันธ์ แต่กลับลดลงเมื่อระยะพิทซ์สัมพันธ์เพิ่มขึ้น โดยมีเหตุผลเนื่องจากตัวประกอบความเสียดทานของท่อเรียบ(สมการที่ 3.17) ลดลงตามเลขเรย์โนลด์สจึงทำให้อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานเพิ่มขึ้นเพราะตัวส่วน ( $f_0$ ) ของอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีค่าน้อยลง ผลที่ได้คือที่  $B_R = 0.3 - 0.45$  สำหรับ  $P_R = 0.8, 1.0, 1.2$  มีค่าประมาณ  $102.79 - 557.3$  เท่า,  $82.83 - 391.5$  เท่า และ  $67.12 - 284.16$  เท่า ตามลำดับ

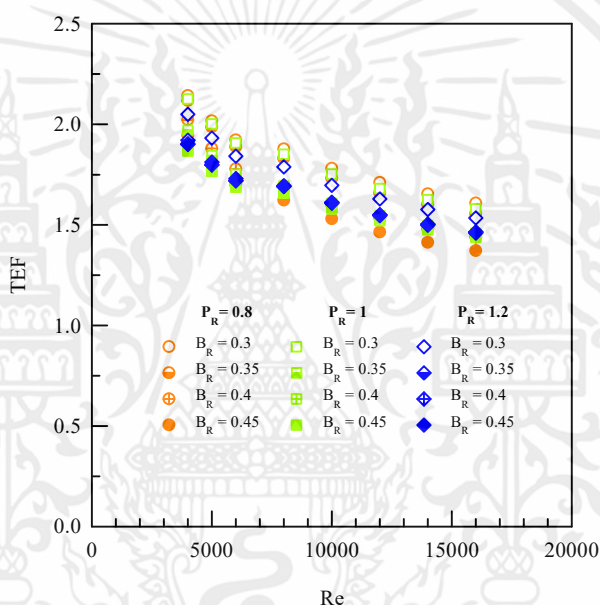


รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)ตัวประกอบความเสียดทานและ

(ข)อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส

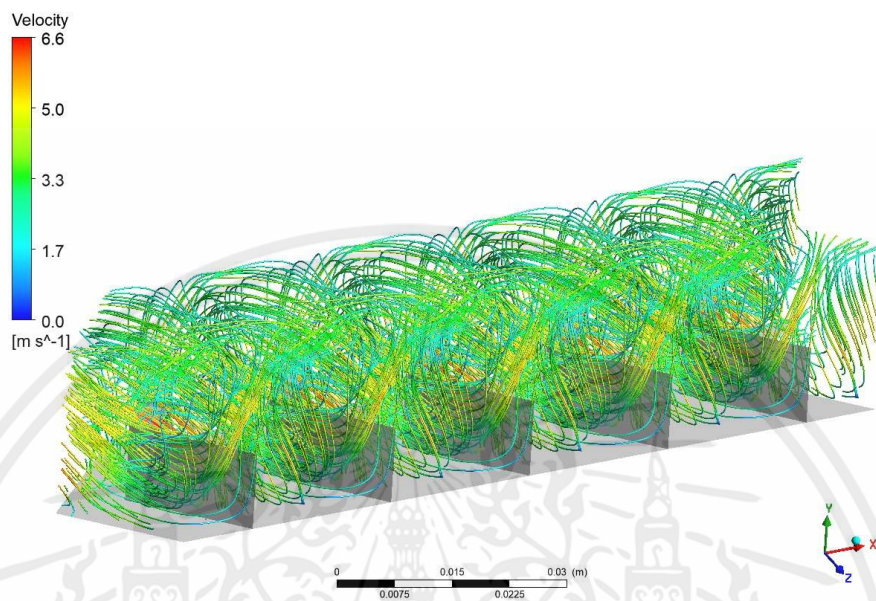
### 5.3 ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อทำการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมในลักษณะที่ต่างกัน โดยตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่  $B_R = 0.3 - 0.45$  สำหรับ  $P_R = 0.8, 1.0, 1.2$  มีค่าประมาณ 1.37 - 2.14, 1.44 - 2.13 และ 1.46 - 2.05 เท่าตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้จะนำปีกที่มีอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่มากที่สุด คือ ปีกที่มีค่า  $B_R = 0.45$  และ  $P_R = 0.8$  ไปทำการเจาะช่องที่จุดเซนทรอยด์เพื่อลดความเสียหายและเพิ่มประสิทธิภาพในลำดับถัดไป

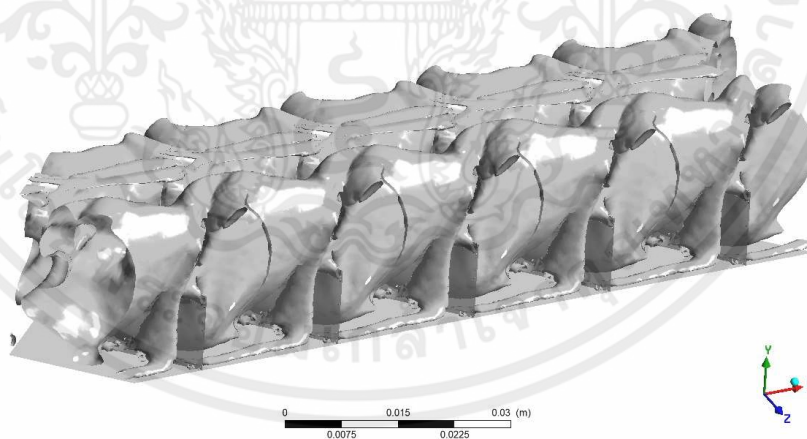


รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

## 5.4 โครงสร้างการไหลในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.6 เส้นกระแสการไหลหมุนควงตามยาวผ่านปีกสี่เหลี่ยม  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 0^\circ$

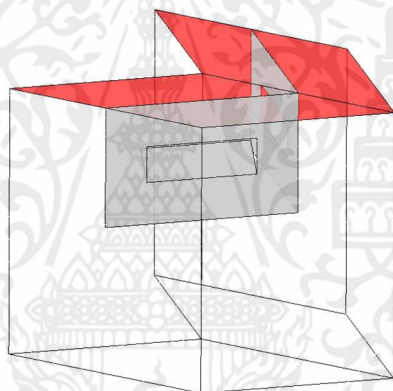


รูปที่ 5.7 แกนการไหลหมุนวนผ่านปีกสี่เหลี่ยม  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 0^\circ$

## 5.5 การเจาะช่องบานเกล็ดเพื่อลดความเสียหายและตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน

จากการสร้างแบบจำลองที่อุณหภูมิอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปีกรูปสี่เหลี่ยมพบว่าปีกที่มีอัตราส่วนเลขนัยสเกลาร์ที่มากที่สุด คือ ปีกที่มีค่า  $B_R = 0.45$  และ  $P_R = 0.8$  ซึ่งมีตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.94 และอัตราส่วนเลขนัยสเกลาร์เท่ากับ 10.97 ในขั้นตอนต่อไปงานวิจัยเล่มนี้จะนำปีกที่มีอัตราส่วนเลขนัยสเกลาร์มากที่สุดไปทำการจำลองเจาะช่องบานเกล็ดเพื่อลดตัวประกอบความเสียหายและเพิ่มสัมประสิทธิ์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งมีลักษณะบานเกล็ดทั้งหมด 6 กรณี โดยมีขั้นตอนการหาขนาดของบานเกล็ดมีดังนี้

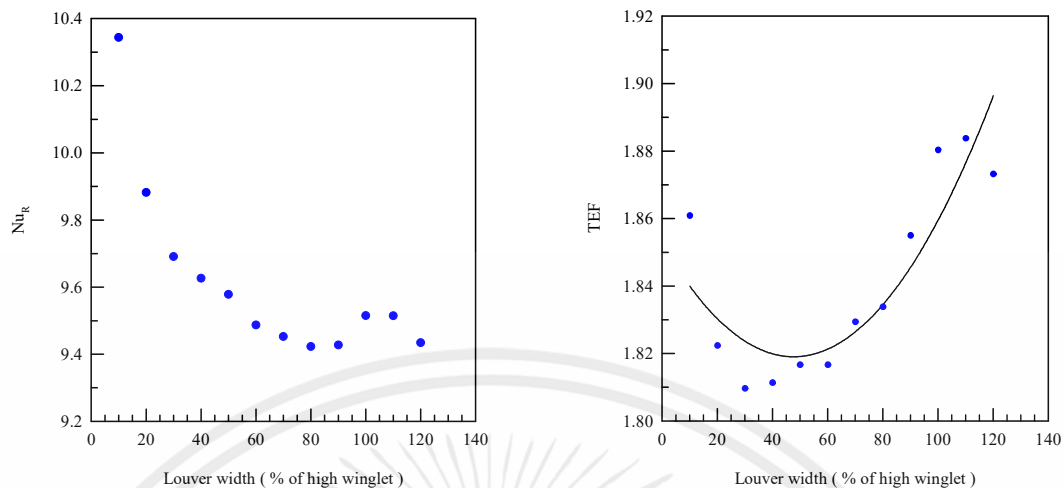
กรณีที่ปีกมีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านบน



รูปที่ 5.8 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านบน

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 120% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัยสเกลาร์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



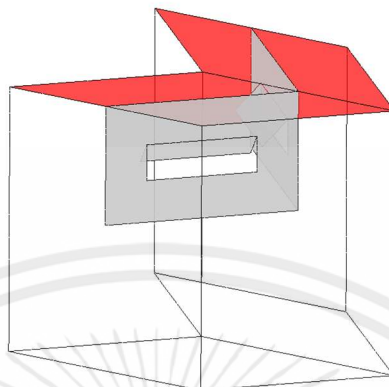
(ก)

(ข)

รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 120%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านบน

จากรูปที่ 5.9(ก) และ 5.9(ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเจาะช่องบานเกล็ดและเปิดด้านบน ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าน้อยกว่าปีกที่ไม่มีการเจาะรูและอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ จึงสรุปได้ว่าการจำลองเจาะช่องบานเกล็ดโดยที่บานเกล็ดมีมุมเปิดด้านบนไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายได้

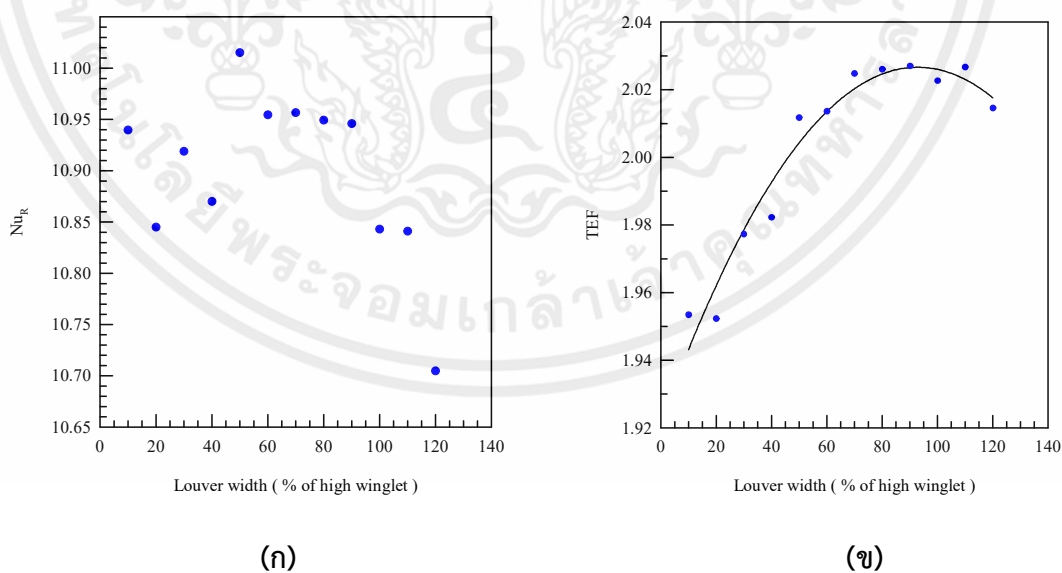
กรณีที่มีปีกมีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านล่าง



รูปที่ 5.10 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 1 บานและมีมุมเปิดด้านล่าง

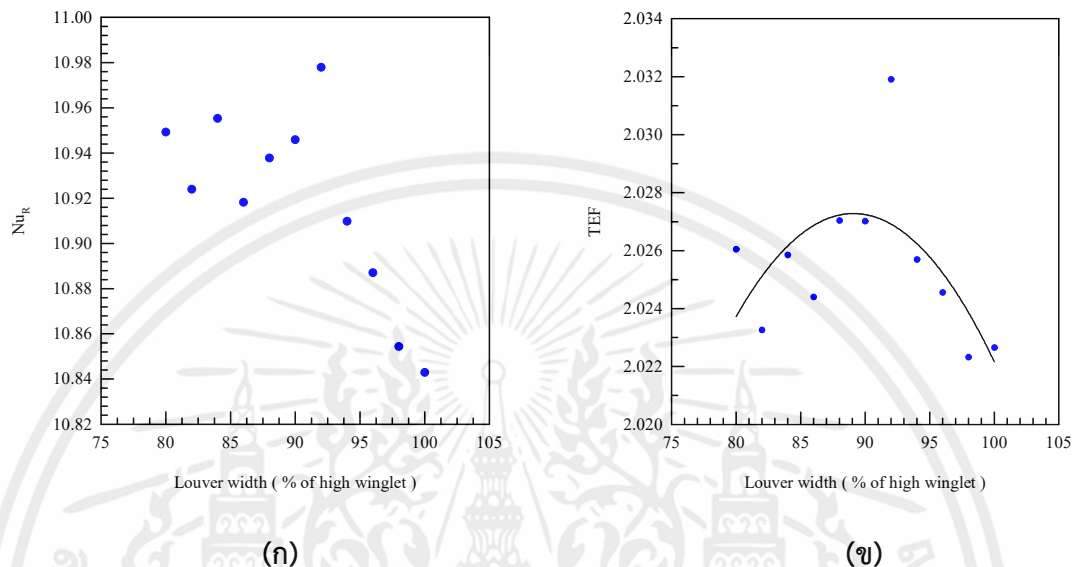
ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 120% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 120%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.11(ก) และ 5.11(ข) แสดงให้เห็นถึงความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด อยู่ในช่วงความกว้าง 80% - 100% ของปีก ดังนั้นจึงทำการหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความกว้างเท่ากับ 80% - 100% ของปีก

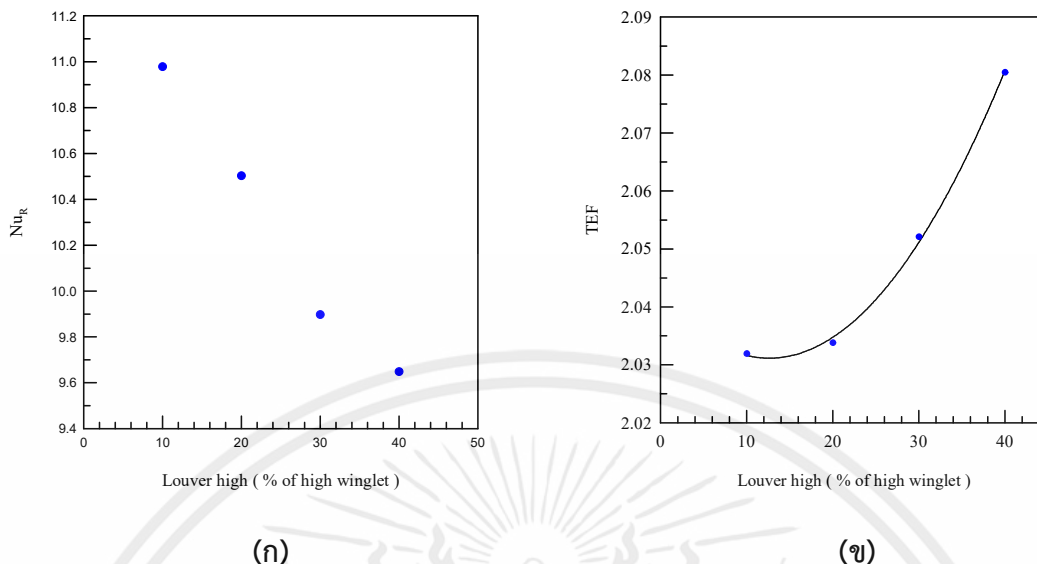


รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 80% ถึง 100%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.12(ก) และ 5.12(ข) แสดงให้เห็นถึงเมื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความกว้าง 80% - 100% ของปีก พบว่าเมื่อความกว้างของปีกเท่ากับ 92% จะให้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 2.032

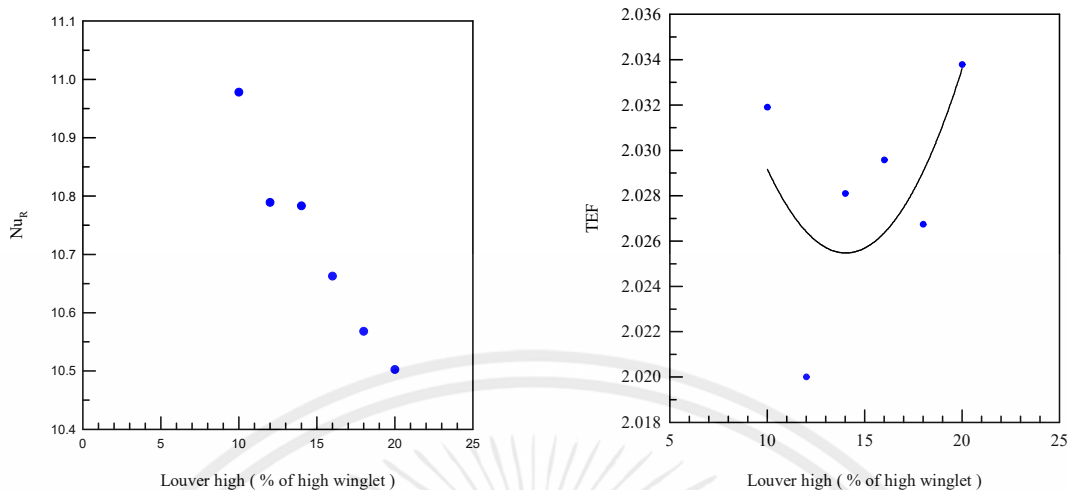
ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดความกว้าง (a) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความยาวของบานเกล็ด (b) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดความกว้างของบานเกล็ดเท่ากับ 92% ของปีกซึ่งเป็นความกว้างที่ทำให้ได้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความสูงของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 40% ของปีก เพื่อหาขนาดความสูงของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ต์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40% ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.13(ก) และ 5.13(ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความสูงของบานเกล็ดเพิ่มขึ้น ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ต์ประกอบด้วย พบว่าเมื่อความสูงของบานเกล็ดอยู่ในช่วง 30%-40% ของปีก จะให้อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ต์น้อยกว่า 10 ซึ่งไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จึงสรุปได้ว่าค่าความสูงของบานเกล็ดในช่วง 10%-20% ทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดและอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ต์ตรงตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงทำการหาขนาดความสูงของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความสูงเท่ากับ 10%-20% ของปีก



(ก)

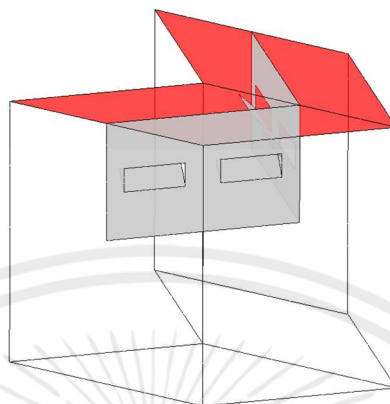
(ข)

รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 20%ของความสูงปีกกรณี 1 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.14(ก) และ 5.14(ข) แสดงให้เห็นถึงเมื่อหาขนาดความสูงของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความสูง 10% - 20% ของปีก จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงของปีกเท่ากับ 20% จะให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดและอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์ตรงตามวัตถุประสงค์

จากการสร้างแบบจำลองและปรับค่าเพื่อหาขนาดบานเกล็ดที่ทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดและอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์ตรงตามวัตถุประสงค์ สรุปได้ว่าขนาดบานเกล็ดที่ได้คือ บานเกล็ดที่มีความสูงเท่ากับ 20% ของปีกและความกว้างเท่ากับ 92% ของปีก ซึ่งทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 2.034 และอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์เท่ากับ 10.502

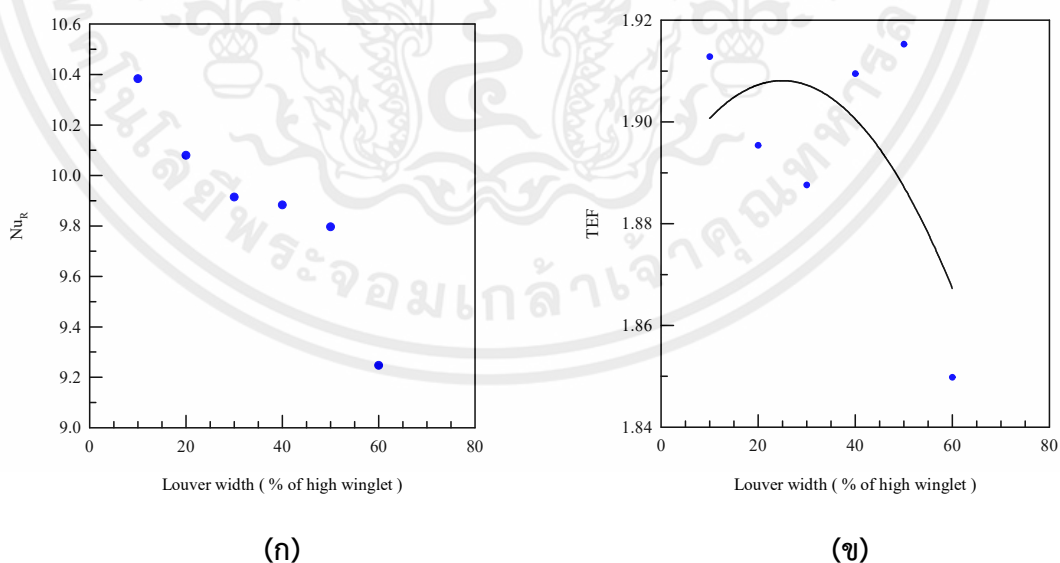
กรณีที่มีปีกมีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านบนทั้ง 2 บาน



รูปที่ 5.15 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านบนทั้ง 2 บาน

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

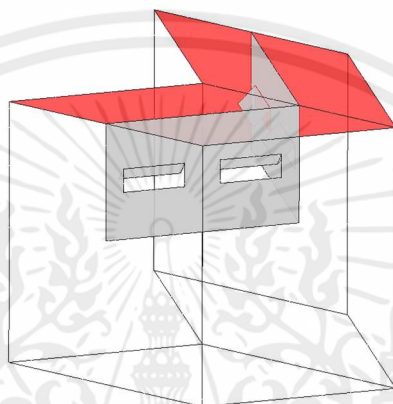
กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 60% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัยสเกลที่ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัยสเกลและ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 600%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านบน

จากรูปที่ 5.16(ก) และ 5.16(ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเจาะช่องบานเกล็ดและเปิดด้านบนตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าลดน้อยลงและอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์

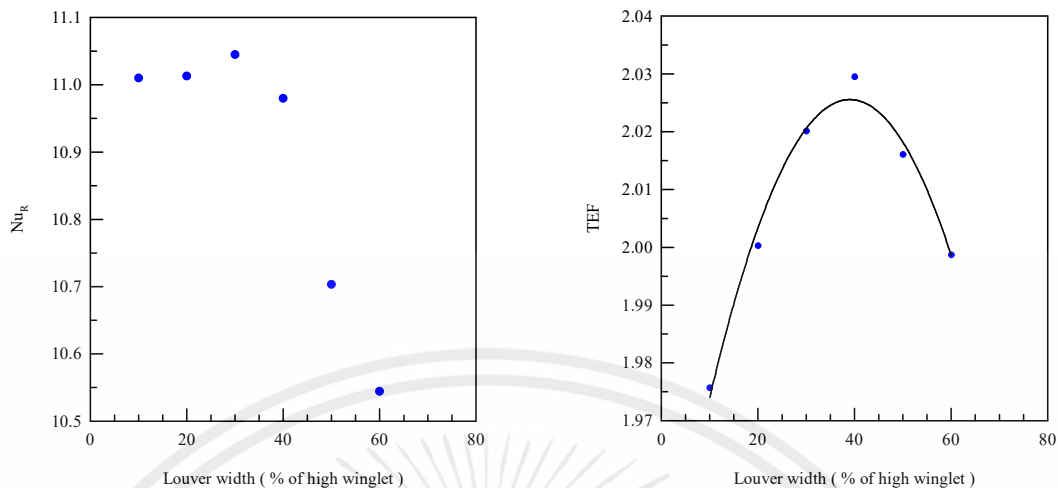
กรณีที่พักมีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านล่างทั้ง 2 บาน



**รูปที่ 5.17** ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 2 บานและมีมุมเปิดด้านล่างทั้ง 2 บาน

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 60% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด

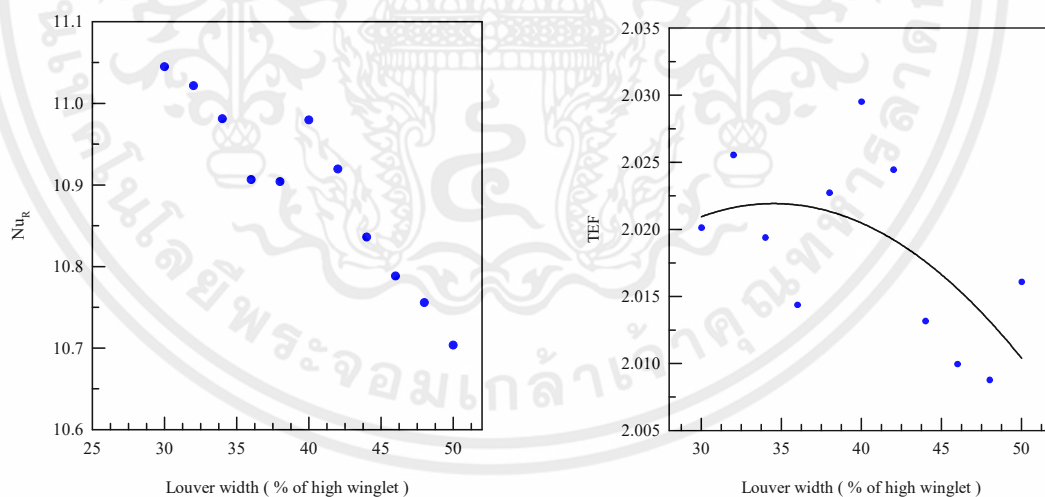


(ก)

(ข)

รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.18(ก) และ 5.18(ข) แสดงให้เห็นถึงความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด อยู่ในช่วงความกว้าง 30% - 50% ของปีก ดังนั้นจึงทำการหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดเข้าในช่วงความกว้างเท่ากับ 30% - 50% ของปีก



(ก)

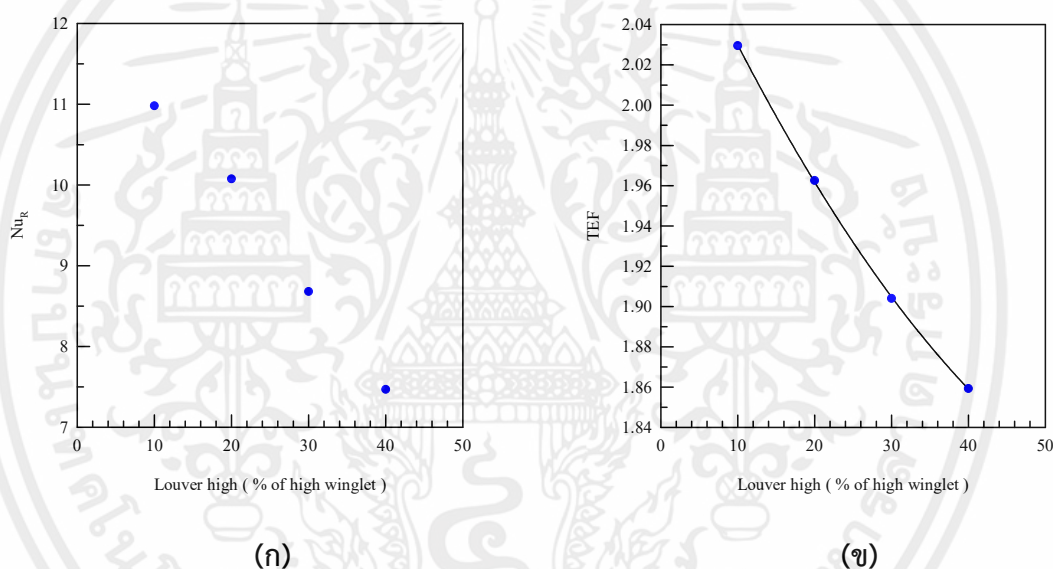
(ข)

รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนีสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 30% ถึง 50%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.19(ก) และ 5.19(ข) แสดงให้เห็นถึงเมื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความกว้าง 30% - 50% ของปีก พบว่าเมื่อความกว้างของปีกเท่ากับ 40% จะให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 2.029

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดความกว้าง (a) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความยาวของบานเกล็ด (b) โดยมีรายละเอียดดังนี้

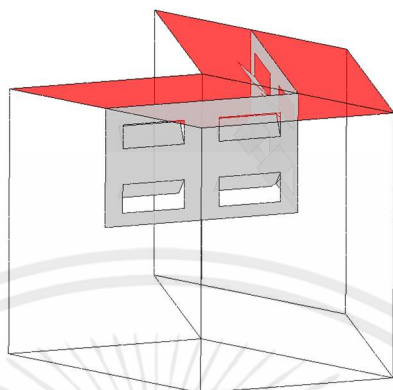
กำหนดความกว้างของบานเกล็ดเท่ากับ 40% ของปีกซึ่งเป็นความกว้างที่ทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความสูงของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 40% ของปีก เพื่อหาขนาดความสูงของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40%ของความสูงปีกกรณี 2 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.20(ก) และ 5.20(ข) แสดงให้เห็นว่าในขณะที่ค่าความสูงของบานเกล็ดเพิ่มขึ้น ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกลับลดลง จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อความกว้างของปีกเท่ากับ 40% ของความสูงปีก และความสูงของปีกเท่ากับ 10% ของความสูงปีกจะให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.029 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปีกที่มีบานเกล็ด 1 บานเกล็ดเปิดด้านล่าง

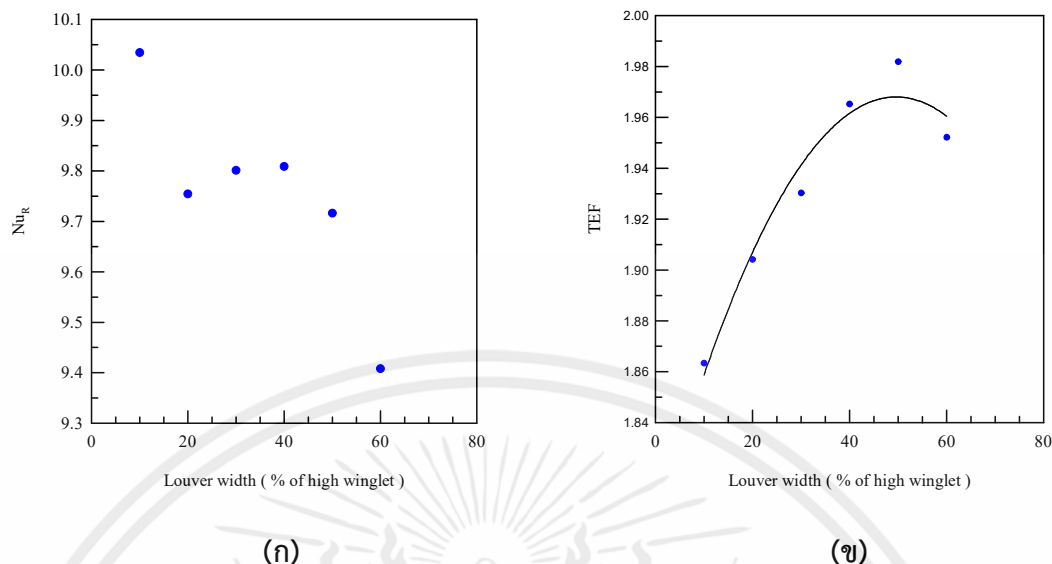
กรณีที่พักมีบานเกล็ด 4 บาน โดยแถวบนมีมุมเปิดด้านบนและแถวล่างมีมุมเปิดด้านล่าง



รูปที่ 5.21 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 4 บาน  
โดยแถวบนมีมุมเปิดด้านบนและแถวล่างมีมุมเปิดด้านล่าง

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หากความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

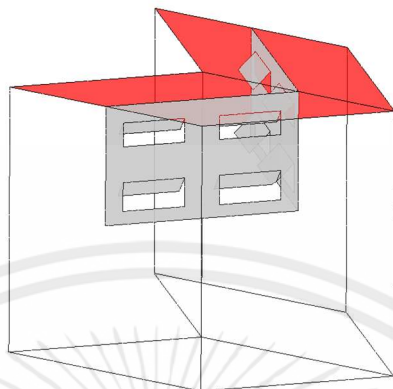
กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 60% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัยเชิงลต์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขน้สเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดสลับบนล่าง

จากรูปที่ 5.22(ก) และ 5.22(ข) แสดงให้เห็นถึงความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด อยู่ในช่วงความกว้าง 40% - 60% ของปีก แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนเลขน้สเซลล์ท์ประกอบด้วย พบว่าเมื่อความสูงของบานเกล็ดอยู่ในช่วง 40%-60 %ของปีก จะให้อัตราส่วนเลขน้สเซลล์ท์น้อยกว่า 10 ซึ่งไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จึงสรุปได้ว่าการจำลองเจาะช่องบานเกล็ดโดยที่บานเกล็ดแถวบนมีมุมเปิดด้านบนและบานเกล็ดแถวล่างมีมุมเปิดด้านล่างไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายได้

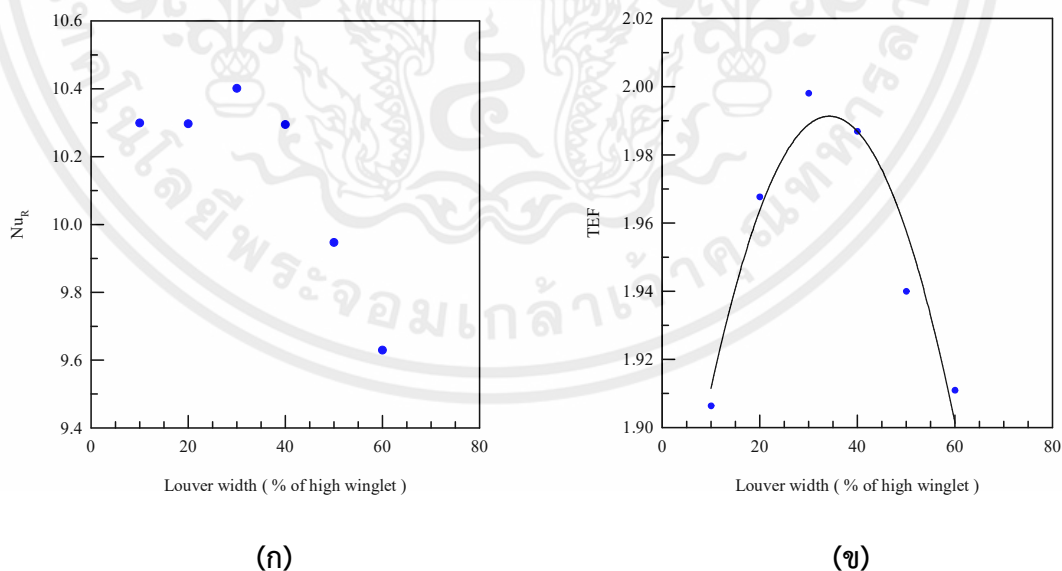
กรณีที่พักมีบานเกล็ด 4 บาน โดยมีมุมเปิดด้านล่างทั้งหมด



รูปที่ 5.23 ลักษณะปีกที่มีบานเกล็ด 4 บานและมีมุมเปิดด้านล่างทั้งหมด

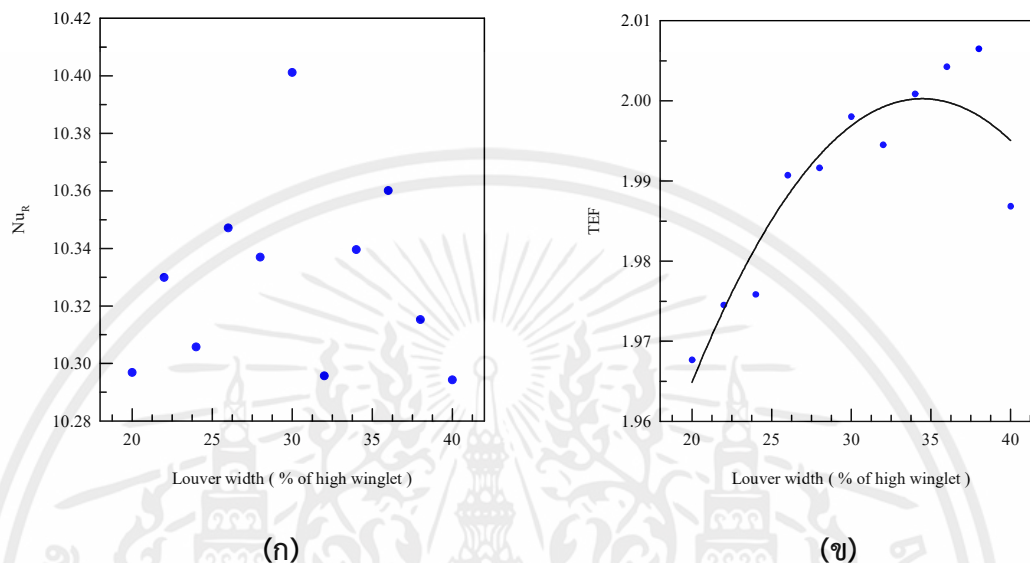
ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดความสูง (b) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความกว้างของบานเกล็ด (a) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดค่าความสูงของบานเกล็ดไว้ที่ 10% ของความสูงปีก กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความกว้างของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 60% ของปีก เพื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 10% ถึง 60%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.24(ก) และ 5.24(ข) แสดงให้เห็นถึงความกว้างของบานเกล็ดที่ทำให้ได้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด อยู่ในช่วงความกว้าง 20% - 40% ของปีก ดังนั้นจึงทำการหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความกว้างเท่ากับ 20% - 40% ของปีก

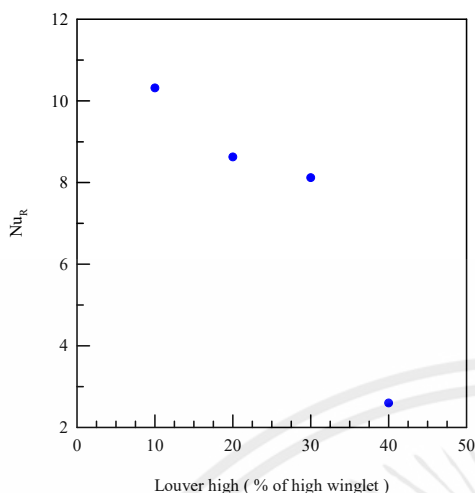


รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และ (ข)ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความกว้างในช่วง 20% ถึง 40%ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง

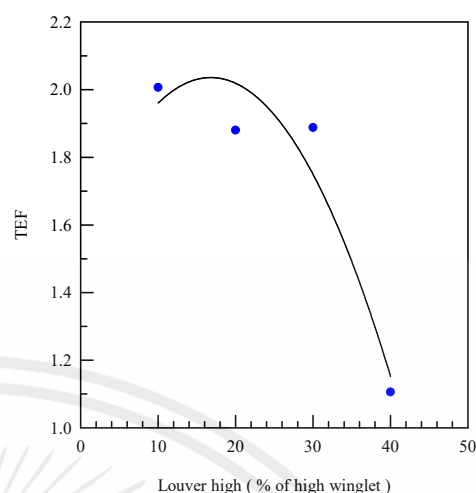
จากรูปที่ 5.25(ก) และ 5.25(ข) แสดงให้เห็นถึงเมื่อหาขนาดความกว้างของบานเกล็ดซ้ำในช่วงความกว้าง 20% - 40% ของปีก พบว่าเมื่อความกว้างของปีกเท่ากับ 38% จะให้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 2.0065

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดความกว้าง (a) และมุมเปิดของบานเกล็ด ( $\theta$ ) หาความยาวของบานเกล็ด (b) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กำหนดความกว้างของบานเกล็ดเท่ากับ 38% ของปีกซึ่งเป็นความกว้างที่ทำให้ได้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด กำหนดมุมเปิดของบานเกล็ดไว้ที่ 20 องศา และปรับค่าความสูงของบานเกล็ดให้อยู่ในช่วง 10% - 40% ของปีก เพื่อหาขนาดความสูงของบานเกล็ดที่ทำให้ได้อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ตรงตามวัตถุประสงค์และตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุด



รูปที่ 5.26(ก)



รูปที่ 5.26(ข)

**รูปที่ 5.26** ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)อัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์และ (ข)ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกับความสูงในช่วง 10% ถึง 40% ของความสูงปีกกรณี 4 บานมุมเปิดด้านล่าง

จากรูปที่ 5.26(ก) และ 5.26(ข) แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ค่าความสูงของบานเกล็ดเพิ่มขึ้น ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนกลับลดลง จึงสรุปได้ว่าเมื่อความกว้างของบานเกล็ดเท่ากับ 38% ของความสูงปีก และความสูงของบานเกล็ดเท่ากับ 10% ของความสูงปีกจะให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.0065 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปีกที่มีรูเจาะ 1 รูเปิดด้านล่าง

ผลการหาขนาดบานเกล็ดเพื่อลดความเสียหายและเพิ่มค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน

จากผลการหาขนาดบานเกล็ดเพื่อลดความเสียหายและเพิ่มค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนทั้งหมด 6 กรณี แสดงให้เห็นว่าเมื่อปีกถูกเจาะช่องบานเกล็ดจำนวน 1 บานจะให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าปีกที่มีช่องบานเกล็ด 2 และ 4 บานเนื่องจากการเจาะช่องบานเกล็ดจำนวน 2 และ 4 บานมีการทำลายกระแสนวนควงตามแนวยาวมากเกินไปถึงแม้ว่าจะลดความเสียหายได้มากก็ตาม แต่ผลที่ตามมาส่งผลให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนน้อยกว่าการเจาะช่องบานเกล็ด 1 บาน เมื่อทำการเจาะช่องบานเกล็ดจำนวน 1 บานถึงแม้ว่าจะลดความเสียหายได้น้อยกว่าแต่การเจาะช่องบานเกล็ด 1 บานนั้นไม่ทำลายกระแสนวนควงตามแนวยาวมากเกินไปจึงสรุปได้ว่าการเจาะช่องบานเกล็ด 1 บานดีกว่าการเจาะช่องบานเกล็ด 2 และ 4 บาน

ซึ่งการเจาะช่องบานเกล็ด 1 บานที่มีลักษณะเปิดด้านล่าง ขนาดความกว้างเท่ากับ 92% ของปีก และความสูงเท่ากับ 20% ของปีก(เมื่อกำหนดมุมเปิดไว้ที่ 20 องศา) ทำให้ได้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดเท่ากับเท่ากับ 2.034 และอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ท์ตรงตามวัตถุประสงค์เท่ากับ 10.502

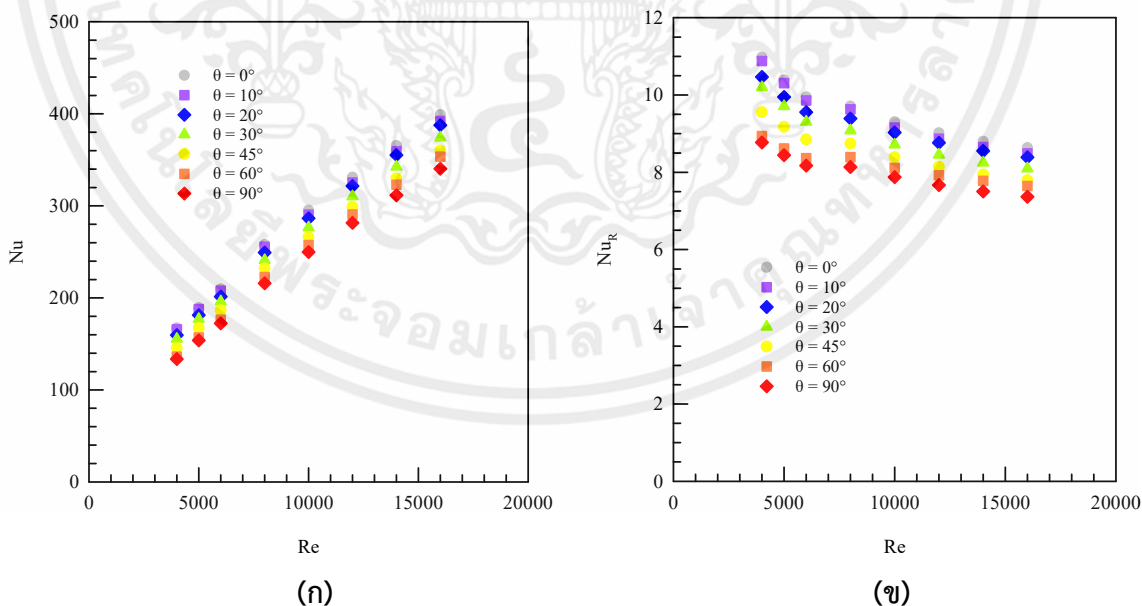
## 5.6 การหาขนาดมุมเปิดบานเกล็ดที่ทำให้ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน ความร้อนมีค่ามากที่สุด

ในขั้นตอนต่อไปก็มีการเจาะช่องบานเกล็ด 1 บานเปิดด้านล่างที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 92% ของปีกและความสูงเท่ากับ 20% จะถูกนำมาจำลองหาขนาดมุมเปิดของบานเกล็ดที่ทำให้ได้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมากที่สุดโดยมีผลการจำลองดังนี้

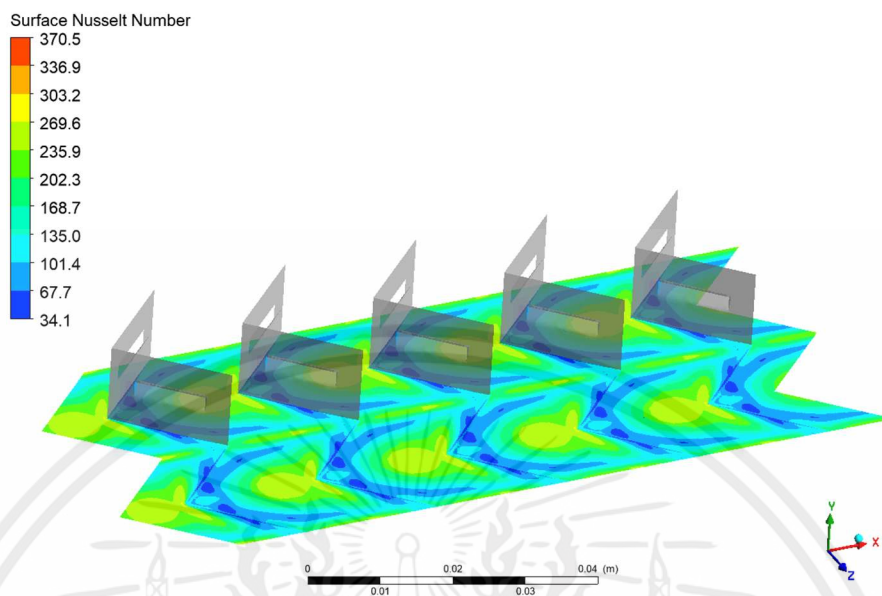
### 5.6.1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทความร้อนในแง่ของเลขนัสเซิลท์เมื่อปีกมีบานเกล็ด

จากรูปที่ 5.27(ก) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเลขนัสเซิลท์และอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์โดยเลขนัสเซิลท์มีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมเปิดของช่องเปิดบานเกล็ดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าลดลงเนื่องจากการทำลายกระแสหมุนควงตามยาวด้านหลังปีก ด้วยกระแสที่ผ่านบานเกล็ด โดยค่าเลขนัสเซิลท์จะมีค่าลดลง 0.72%-1.68% , 2.75%-4.61% , 6.24%-7.08% , 9.76%-12.96% , 11.41%-18.55% และ 14.68%-20.06% เทียบกับปีกที่ไม่ได้เปิดบานเกล็ดที่ความสูงปีกสัมพันธ์และระยะพิทช์สัมพันธ์เดียวกัน เมื่อมุมของช่องเปิดบานเกล็ดเท่ากับ 10°, 20°, 30°, 45°, 60° และ 90° ตามลำดับ

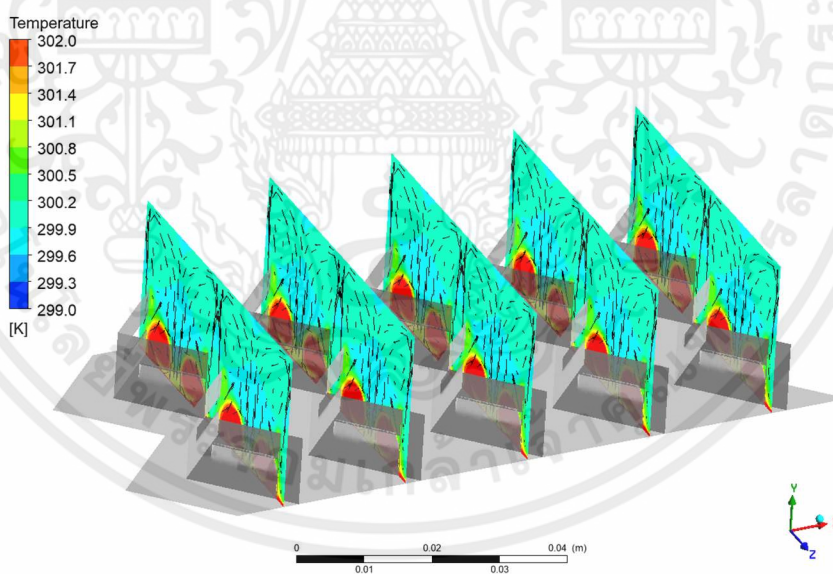
จากรูปที่ 5.27(ข) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มมากขึ้น แต่มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมุมเปิดของบานเกล็ดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยการทดลองนี้มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ประมาณ 8.63-10.97 , 8.48-10.88 , 8.38-10.46 , 8.09-10.19 , 7.79-9.55 , 7.64-8.93 และ 7.36-8.77 เท่า เมื่อมุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ 0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60° และ 90° ตามลำดับ



รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)เลขนัสเซิลท์  
และ (ข)อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส



รูปที่ 5.28 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ท์บริเวณผนังด้านบน  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 30^\circ$

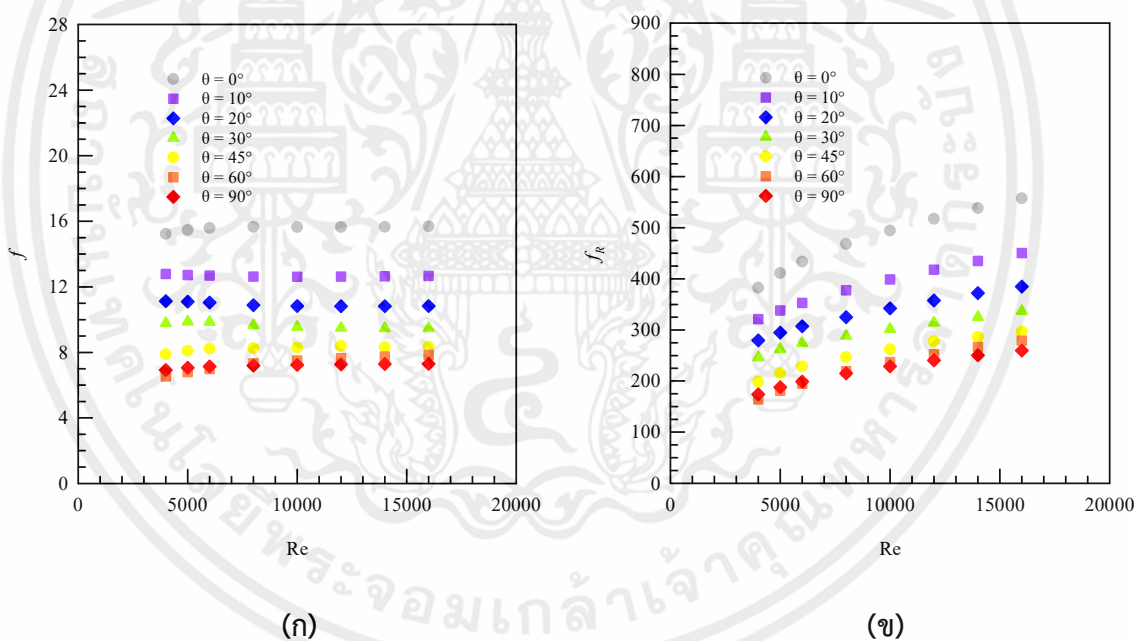


รูปที่ 5.29 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในท่อบนหน้าตัดตามขวาง  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 30^\circ$

### 5.6.2 การเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบเสียดทานเมื่อปีกมีบานเกล็ด

จากรูปที่ 5.30(ก) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานซึ่งผลกระทบที่ได้จากการเปิดช่องบานเกล็ดจะทำให้มีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเมื่อมุมเปิดของช่องบานเกล็ดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีค่าลด 15.96%-19.3% , 26.88%-30.93 , 35.96%-39.59% , 46.76%-48.23% , 49.94%-57.1% และ 53.39%-54.49% เมื่อมุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  และ  $90^\circ$  ตามลำดับ

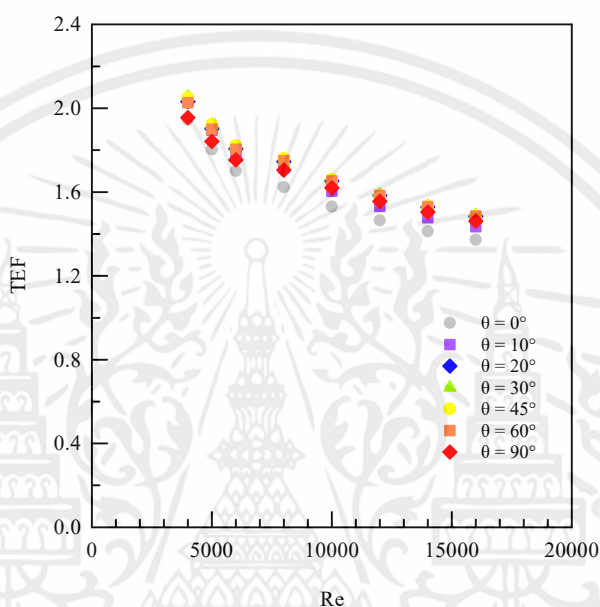
จากรูปที่ 5.30(ข) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับเลขเรย์โนลด์สแต่กลับมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีมุมเปิดของช่องบานเกล็ดที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานจะมีค่าประมาณ 382.56-557.36 , 321.48-450.41 , 279.72-384.94 , 246.01-336.67 , 198.04-296.73 , 164.11-279.01 และ 174.07-259.74 เท่า เมื่อมุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  และ  $90^\circ$  ตามลำดับ



รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก)ตัวประกอบความเสียดทานและ (ข)อัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส

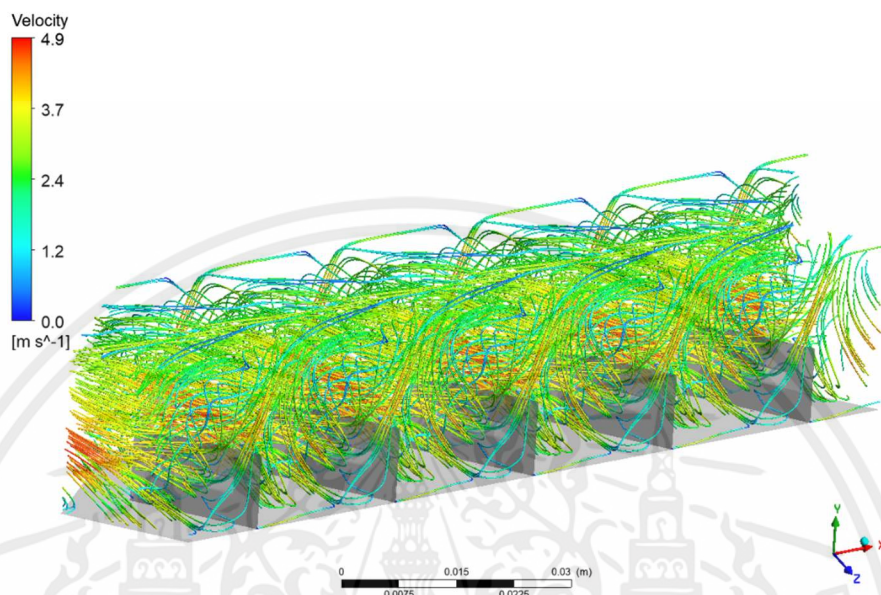
### 5.6.3 การเพิ่มขึ้นของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเมื่อปีกมีบานเกล็ด

จากอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่ลดน้อยกว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบความเสียดทานอย่างมากทำให้ค่าของตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.05 ที่มุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ 30 องศาและค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.94 ที่มุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ 0 องศา

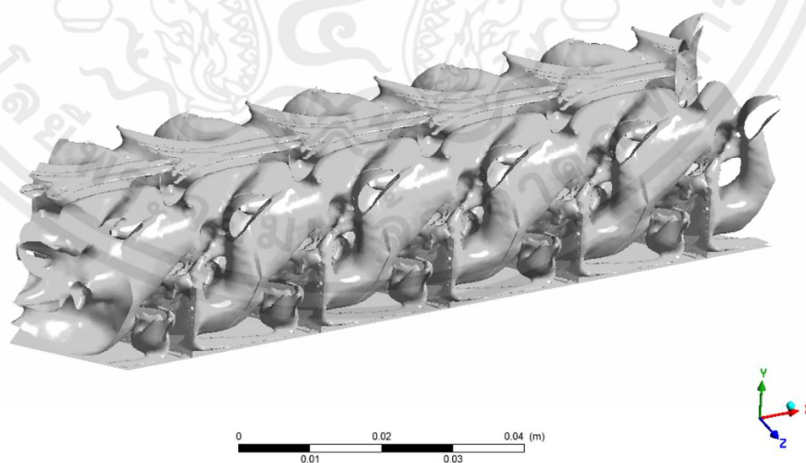


รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

## 5.7 ตัวอย่างการไหลแบบหมุนควงตามยาวของอากาศเมื่อปีกมีบานเกล็ด



รูปที่ 5.32 เส้นกระแสการไหลหมุนควงตามยาวผ่านปีกสี่เหลี่ยม  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 30^\circ$



รูปที่ 5.33 แกนการไหลหมุนวนผ่านปีกสี่เหลี่ยม  
ที่  $Re = 4000$ ,  $B_R = 0.45$ ,  $P_R = 0.8$ ,  $\theta = 30^\circ$

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง

### 6.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อน

การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมที่มีค่าระยะพิทช์สัมพันธ์และความสูงปีกสัมพันธ์ต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มระยะพิทช์สัมพันธ์จะทำให้อัตราส่วนของเลขนีสเซลล์ลดลงในทางกลับกันการเพิ่มความสูงปีกสัมพันธ์จะทำให้อัตราส่วนของเลขนีสเซลล์เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากทำให้กระแสหมุนวนตามยาวเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการปรับปรุงในส่วนนี้ทำได้โดยการเปิดช่องบานเกล็ดเพื่อลดอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานแต่ยังคงทำให้ค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์ลดลงเพียงเล็กน้อย โดยขนาดมุมที่เยอะขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานและอัตราส่วนเลขนีสเซลล์มีค่าลดลง

### 6.2 แบบจำลองของเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกโดยไม่เปิดช่องบานเกล็ด

จากผลการทดสอบแบบจำลองในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด พารามิเตอร์กำหนดลักษณะของปีกที่ทำให้ได้ค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด คือ ปีกที่มีระยะพิทช์สัมพันธ์เท่ากับ 0.8 และความสูงปีกสัมพันธ์ 0.45 โดยค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์เท่ากับ 10.97 อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 382.56 และ ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 1.94 โดยจะนำปีกที่มีลักษณะดังกล่าวไปพัฒนาต่อเพื่อเพิ่มตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนโดยการเปิดช่องบานเกล็ด

### 6.3 แบบจำลองของเครื่องอุ่นอากาศแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งปีกโดยเปิดช่องบานเกล็ด

จากผลการทดสอบแบบจำลองในส่วนนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนที่มากที่สุดด้วยปีกสี่เหลี่ยมที่ระยะพิทช์สัมพันธ์เท่ากับ 0.8 และความสูงปีกสัมพันธ์ เท่ากับ 0.45 พบว่าเมื่อปีกทำการเจาะช่องบานเกล็ดที่มีลักษณะเปิดด้านล่าง โดยมีความกว้างและความสูงเท่ากับ 92% และ 20% ของความสูงปีกตามลำดับ และมุมเปิดของช่องบานเกล็ดเท่ากับ 30 องศา จะให้ค่าอัตราส่วนเลขนีสเซลล์เท่ากับ 10.19 อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเท่ากับ 246.01 และ ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนเท่ากับ 2.05 เมื่อเทียบกับปีกที่ไม่ได้เปิดช่องบานเกล็ดแล้ว

พบว่าค่าอัตราส่วนเลขนี้สเซลท์ลดลงเพียง 7.08% แต่สามารถลดอัตราส่วนตัวประกอบเสียคทานได้ถึง 35.69%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Promvonge, P. and Skullong, S. (2014). Experimental Investigation on Turbulent Convection in Solar Air Heater Channel Fitted with Delta Winglet Vortex Generator, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, January 2014, pp.1-10
- [2] Tamna, S. Skullong, S. Thianpong, C. and Promvonge, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, *Solar Energy*, vol. 110, December 2014, pp.720-735
- [3] SN. Chamoli, RX. Lu, DH. Xu and P. Yu. (2018). Thermal performance improvement of a solar air heater fitted with winglet vortex generators, *Solar energy*, vol.159, January 2018, pp. 966-983.
- [4] Skullong, S. Promthaisong, P. Promvonge, P. Thianpong, C. and Pimsarn, M. (2018). Thermal performance in solar air heater with perforated-winglet-type vortex generator, *Solar Energy*, vol.170, August 2018, pp.1101-1117
- [5] Dezan, D. Rocha, A. and Ferreira, W. (2020). Parametric sensitivity analysis and optimisation of a solar air heater with multiple rows of longitudinal vortex generators, *Applied Energy*, vol.263, April 2020, pp.114556
- [6] Xiao, H. Dong, Z. Liu, Z. and Liu, W. (2020). Heat transfer performance and flow characteristics of solar air heaters with inclined trapezoidal vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, vol.179, October 2020, pp.115484
- [7] Kumar, A. and Layek, A. (2020). Nusselt number and friction characteristics of a solar air heater that has a winglet type vortex generator in the absorber surface, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol.119, November 2020, pp.110204

- [8] Promvong, P. Promthaisong, P. and Skullong, S. (2021). Numerical heat transfer in a solar air heater duct with punched delta-winglet vortex generators, *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, August 2021, pp.101088
- [9] A. Saravanan, M. Murugan, M. Reddy, P.S.Ranjit, P.V.Elumalai, Kumar, P. and S. RamaSree. (2021). Thermo-hydraulic performance of a solar air heater with staggered C-shape finned absorber plate, *International Journal of Thermal Sciences*, vol.168, October 2021, pp.107068
- [10] Bezbaruah, P. Das, R. and Sarkar, B. (2021) Experimental and numerical analysis of solar air heater accoutered with modified conical vortex generators in a staggered fashion, *Renewable Energy*, vol.180, December 2021, pp.109-131
- [11] “การวิเคราะห์การเกิดความร้อนในยางครูปที่มีสารตัวเติมภายใต้สภาวะการเสีรูปแบบวงรอบโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์” สถาพร ว่างฉาย ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์แลอริสรา ชัยกิตติรัตน์นา : วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ (The Journal of KMUTNB., Vol. 21, No. 1, Jan. - Apr. 2011)
- [12] Chandra, R. 2018. *Solar Thermal Technologies*. New Delhi : M/s Public Printing
- [13] Solar air heater, *Solar Air Heating Systems*, URL : [http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/sol\\_air.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/sol_air.htm), access on 20/10/2021.
- [14] Solar air heating in factories reduces carbon emissions, URL : <https://indiaclimatedialogue.net/2017/03/10/solar-air-heating-factories-reduces-carbon-emissions/>, access on 20/10/2021.