

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในการไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องขนานที่มีตัวสร้างการหมุนควงแบบปีก Turbulent Heat Transfer Enhancement in a Channel with Winglet Vortex Generator

สมพล สกกุลหลง¹ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลวงกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

¹E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, โทรศัพท์: 0-3835-4580-4, โทรสาร: 0-3835-4849

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนานที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน การทดลองใช้อัตราการไหลอากาศในระดับต่าง ๆ กัน โดยค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 5000 ถึง 25,000 ให้ความร้อนที่ผิวด้านบนของช่องขนานในสภาวะแบบพลังความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) โดยติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมก่อนทางเข้าส่วนทดสอบ สัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (Aspect Ratio, AR) = 10 ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร ปีกมีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงช่องขนาน (b/H) = 0.4 มุมปะทะ (α) = 30°, 45° และ 60° ทำการติดตั้งปีกรูปทรงสี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ผิวล่างก่อนทางเข้าส่วนทดสอบเพื่อเป็นตัวสร้างการไหลหมุนควง โดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่าการติดตั้งปีกก่อนทางเข้าส่วนทดสอบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานที่มีผนังเรียบ การติดตั้งปีกมุมปะทะสูง $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันสูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30°

คำสำคัญ: ปีกสี่เหลี่ยม; การไหลปั่นป่วน; การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The paper presents an experimental study on heat transfer enhancement and friction loss for turbulent airflow through a constant surface heat flux on the upper plate of the channel for Reynolds number ranging from 5000 to 25,000. Measurements are carried out for the rectangular channel of aspect ratio, $AR = 10$ and height, $H = 30$ mm with the winglet to channel height ratio, $b/H = 0.4$. The ten pair rectangular winglets arranged with attack angles (α) of 30°, 45° and 60° are mounted at the entrance of the lower wall of the tested channel to create multiple vortex flows at the entry. The heat transfer and pressure drop in the channel are presented in terms of Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively. The experimental results show that the use of the winglets leads to a considerable increase in heat transfer coefficient and friction factor in comparison with the smooth channel. The largest attack angle $\alpha = 60^\circ$ provides higher heat transfer and friction factor than the $\alpha = 45^\circ$ and 30° ones.

Keywords: rectangular winglet; turbulent flow; heat transfer

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในชีวิตประจำวันและภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้มีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารทำงานให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งเราสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในเครื่องอบแห้ง เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ในห้างสรรพสินค้า ตู้แช่ ตู้เย็น หม้อน้ำรถยนต์ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องระบายความร้อนให้แก่หม้อน้ำเครื่องของเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เป็นต้น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเหล่านี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนหากมีการแลกเปลี่ยนที่ได้อุปกรณ์จะตัดการทำงานเร็วขึ้น ทำให้อุปกรณ์นั้นประหยัดพลังงานมากขึ้น ตัวอย่างเช่น กระบวนการอบแห้ง ยิ่งเราสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี เราก็สามารถนำเอาลมร้อนนั้นมาใช้งานได้อย่างคุ้มค่า เครื่องปรับอากาศ ถ้าหากคอยล์ร้อนหรือคอยล์เย็นแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศได้ดีขึ้นจะทำให้คอมเพรสเซอร์ที่อัดสารทำความเย็นตัดการทำงานเร็วขึ้นทำให้ประหยัดไฟฟ้ามากขึ้น เพราะฉะนั้นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาประเทศให้เดินหน้าต่อไปได้อย่างมั่นคง

ในอดีตถึงปัจจุบันมีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานที่พื้นผิวของส่วนทดสอบ Gentry and Jacobi [1] ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อน โดยการใช้ตัวสร้างการหมุนควงแบบปีก รูปทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ติดตั้งตามกระแสการไหลปรับค่ามุมปะทะตั้งแต่ 25° ถึง 55° พบว่า สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 50–60% เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดพบที่มุมปะทะ 40° Olsson and Sundén [2] ทำการศึกษารูปแบบการไหล ความดันตกคร่อม และการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบ ช่วงที่ค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 500-15,000$ ค่า (aspect ratio) AR ของท่อสี่เหลี่ยม คือ 1- 8, และทำการทดสอบครีบต่าง ๆ ดังนี้ ครีปลูกติดในแนวตัดกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม, ครีปลูกติดในแนวขนานบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม, ครีปลูกติดในแนวตัดกันบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม, ครีปลูกติดในแนวขนานบนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม และครีปลูกติดแบบต่อสลับทิศทางการไหล (แนวครีปลูกติดวิธีทิศทางการไหลและการไหลและมีทิศทางการตรงข้ามกับการไหลสลับกันตลอดหน้าตัด) บนผิวท่อที่อยู่ตรงข้าม การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมถูกแสดงโดยตัวประกอบ j (colburn heat transfer factor) และตัวประกอบ C_f (fanning friction factor) พบว่า ครีปลูกติดวิธีแบบต่อ

สลับทิศทางกันให้ค่าตัวประกอบ j และค่าตัวประกอบ C_f มากกว่า
ครีรูปอื่น ๆ ของการศึกษานี้ ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 1000 - 2000$ Promvong and Thianpong [3] ทำการศึกษาสมรรถนะเชิง
ความร้อนของครีสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม
ครีสามเหลี่ยมหน้าจั่วและครีสี่เหลี่ยม ที่ค่าสัดส่วนความสูงครีต่อ
ความสูงท่อ $e/H = 0.3$ และสัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครี $P/e = 6.67$ ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มี $AR = 15$ พบว่า การจัดวาง
ครีสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเท
ความร้อนสูงสุดแต่ครีสามเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเอียงกันให้ตัว
ประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด Thianpong et. al [4]
ทำการศึกษาค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนของครีสามเหลี่ยมหน้า
จั่วที่ค่า $e/H = 0.13, 0.2, 0.26$ เท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากันโดย
สลับค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่
ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มี $AR = 10$ พบว่าครีแบบความสูงเท่ากัน
ให้ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าแบบความสูงไม่เท่ากัน การ
จัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม
มากกว่าแบบเอียงกัน ครีที่มีความสูงมากที่สุดให้การถ่ายเทความร้อนและ
ความดันตกคร่อมสูงสุด แต่ครีที่มีความสูงต่ำสุดจัดวางแบบเอียงกันให้ตัว
ประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด และมีงานวิจัยอีกหลาย ๆ งานที่ให้
ความสนใจในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน Promvong et. al [5] ศึกษา
เชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมความร้อนในเครื่องอุณหภูมิกว้าง
แสงอาทิตย์ โดยใช้ครีและปีก โดยปีกจัดวางแบบตามกระแสและทวน
กระแสการไหล ที่มุมปะทะ $30^\circ, 45^\circ$ และ 60° พบว่า การใช้ครี
ร่วมกับปีกส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นและการจัดวางปีกที่มี
ทิศทางตามกระแสการไหลมุมปะทะ 60° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน
สูงสุด อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดกลับพบที่มุมปะทะ
 30° Ahn [6] ทำการศึกษาลักษณะของครีรูปแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานในท่อ
สี่เหลี่ยม โดยทำการศึกษารูปทรงครี 5 ชนิด ได้แก่ ครีรูปสี่เหลี่ยม
ครีรูปสามเหลี่ยม ครีวงกลม ครีครึ่งวงกลมทรงต่ำ และครีครึ่ง
วงกลมทรงสูง โดยทำการศึกษาค่าความสูงครีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮ
ดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.0476 อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครี
(P/e) เท่ากับ 8 และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงเท่ากับ 2.33 จาก
การทดลองพบว่า แผ่นครีสามเหลี่ยมมีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเท
ความร้อนดีที่สุดในท่อสี่เหลี่ยม ส่วนครีวงกลมและครึ่งวงกลม
มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน โดยที่ช่วงค่าเลข
เรย์โนลด์ $Re = 10,000$ แผ่นครีสามเหลี่ยมมีค่าสัมประสิทธิ์การ
ถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นเรียบ 3 เท่า ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 20,000$
จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อ
พิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมพบว่า แผ่นครีสามเหลี่ยมมี
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมมากที่สุด ตามด้วยแผ่นครีสี่เหลี่ยม

Karwa [7] ทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบ
เสียดทานที่เกิดขึ้นภายในท่อสี่เหลี่ยมที่มีติดตั้งครีด้านเดียว โดยครีที่
ทดสอบมีลักษณะเป็นครีตรง ครีเอียง ครีรูปตัววี ทั้งในลักษณะ
ยาวต่อเนื่อง และแบบแยกส่วน โดยอุปกรณ์ที่ทดสอบมีอัตราส่วนความ
กว้างต่อความสูงท่อสี่เหลี่ยมเท่ากับ 7.19 ถึง 7.75 อัตราส่วนความสูง
ครีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h) เท่ากับ 0.0476 และ
 0.050 และอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครี (P/e) เท่ากับ 10 โดย
ครีรูปตัววีที่ทดสอบเป็นครีรูปตัววีทำมุม 60° และครีทแยงมุม โดย
ทำการทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 2800-15,000$ และความร้อน
ที่ให้กับท่อสี่เหลี่ยมเป็นฟลักซ์ความร้อนคงที่ จากผลการทดลอง

พบว่า แผ่นครีรูปตัววียาวต่อเนื่อง ทำให้เกิดค่าตัวประกอบเสียดทาน
มากที่สุด และมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบประมาณ 3.40 ถึง 3.92 เท่า ส่วน
แผ่นครีรูปตัววีชนิดยาวไม่ต่อเนื่องมีค่าตัวประกอบเสียดทานน้อยที่สุด
เมื่อเทียบกับแผ่นครีลักษณะต่าง ๆ และมีค่ามากกว่าแผ่นเรียบ
ประมาณ 2.35 ถึง 2.47 เท่า ในขณะที่ค่าเลขสแตนต์ (Stanton
number, St) สำหรับแผ่นครีรูปตัววีมีทิศทางตรงกันข้ามกับการไหล
จะมีแนวโน้มมากที่สุด คือ 2.10 ถึง 2.47 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นเรียบ
และมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับครีตรง

Tanda [8] ทำการศึกษาค่าการเพิ่มตัวประกอบ
สมรรถนะเชิงความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครียาวต่อเนื่องและ
ครียาวไม่ต่อเนื่อง ทดลองในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 8,900-28,500$
อัตราส่วนความสูงครีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (e/D_h)
เท่ากับ 0.09 และ 0.15 อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงครี (P/e)
เท่ากับ 8 และ 13.3 และอัตราส่วนความสูงครีต่อความสูงแผ่นช่อง
ขนานเท่ากับ 0.15 และ 0.25 โดยครีมีความหนา (t) 3 มิลลิเมตร
ความสูง (e) 3 และ 5 มิลลิเมตร และระยะพิชต์ (P) 40 มิลลิเมตร
แผ่นครีรูปตัววีมุม 45° และ 60° และครียาวไม่ต่อเนื่องมีระยะห่าง
ระหว่างแต่ละครี (d') 20 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ครี
ภายในท่อสี่เหลี่ยมให้ค่าการเพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน
เพิ่มมากขึ้น โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางครีและรูปแบบครี ค่าการ
เพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสูง
ครีมีค่าเพิ่มขึ้น ครียาวไม่ต่อเนื่องที่ระยะพิชต์ 50 มิลลิเมตร มีค่า
การเพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่าที่ระยะพิชต์ 30
มิลลิเมตร ส่วนค่าตัวประกอบเสียดทาน มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูง
ครีมีค่าลดลง สกูลหลง และ พรหมวงศ์ [9] ศึกษาอิทธิพลของตัวสร้าง
การไหลหมุนควงแบบปีกต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน โดยใช้ปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่ ติดตั้งก่อนทางเข้าซุกทดสอบที่
 $e/H=0.4$ มุมปะทะ $30^\circ, 45^\circ$ และ 60° พบว่า การติดตั้งปีกก่อน
ทางเข้าส่วนทดสอบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานเพิ่ม
สูงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานที่มีผนังเรียบ การติดตั้งปีกมุม
 60° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด ในขณะที่มุม
 30° ให้ค่าที่ต่ำสุด อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะความร้อนสูงสุดกลับพบที่
 $\alpha = 30^\circ$

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาคุณลักษณะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการ
สูญเสียความดันภายในท่อสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งปีกเพื่อเป็นตัวสร้างการไหล
หมุนควง (vortex generator) โดยการวิเคราะห์ทางการทดลองที่มี
ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2.2 เปรียบเทียบผลการทดลองของท่อที่มีการติดตั้งปีก มุม
ปะทะต่าง ๆ กับท่อผนังเรียบ

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ทำการศึกษาเชิงการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าเลขนัสเซลท์
(Nu) ตัวประกอบเสียดทาน (f) และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
(η)

3.2 ของไหลในการทดสอบ คือ อากาศ

3.3 ความเร็วอากาศ อยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5000 ถึง
 $25,000$

3.4 การให้ความร้อนที่ผิวเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่
(Constant heat flux) โดยให้ที่ผิวบนของท่อสี่เหลี่ยม

3.5 ส่วนทดสอบ ติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมบริเวณก่อนทางเข้าส่วนทดสอบมีมุมปะทะต่างๆ 3 ค่า ($\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60°) และอัตราส่วนส่วนความสูงปีกต่อความสูงช่องขนาน ($b/H=0.4$)

4. ทฤษฎี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาน โดยเลขเรย์โนลด์แสดงในพจน์ของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h / \nu \quad (1)$$

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$), สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = VI \quad (2)$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\tilde{T}_s - T_b)} \quad (3)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (4)$$

และ

$$\tilde{T}_s = \sum T_s / 12 \quad (5)$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \tilde{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยพจน์ \dot{m} , C_p , V และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (6)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (7)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับ

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน ดังแสดงในสมการที่ (8)

$$\eta = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (8)$$

5. อุปกรณ์ทดลอง

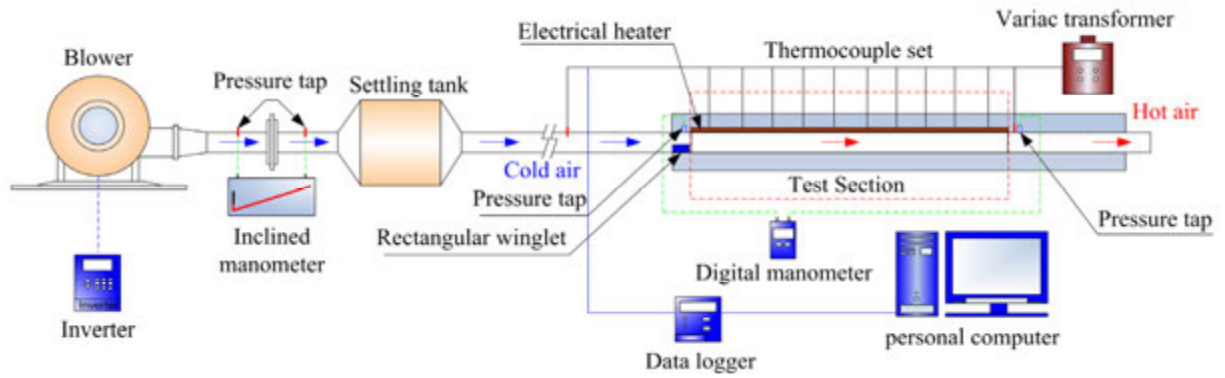
อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในภาพที่ 1 ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 2000 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (AR) = 10 ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) = 300 มิลลิเมตร พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ Control valve ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Inclined manometer, Settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด ช่องขนานปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น Fully develop และไหลเข้าสู่ส่วนทดสอบ แผ่นช่องขนานถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ติดตั้งที่แผ่นด้านบนของช่องขนาน เครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์ แบบปรับค่าโวลต์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโวลต์เตจที่ให้กับแผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลเชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 12 ตัว วัดอุณหภูมิผิว 10 ตำแหน่ง อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกอีก 2 ตำแหน่ง เครื่องวัดความดันตกคร่อม TESTO 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม

ปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ถูกติดตั้งก่อนทางเข้าส่วนทดสอบเพื่อสร้างการไหลหมุนควง มีมุมปะทะ $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° สัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงช่องขนาน (b/H) = 0.4 ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยส่วนทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

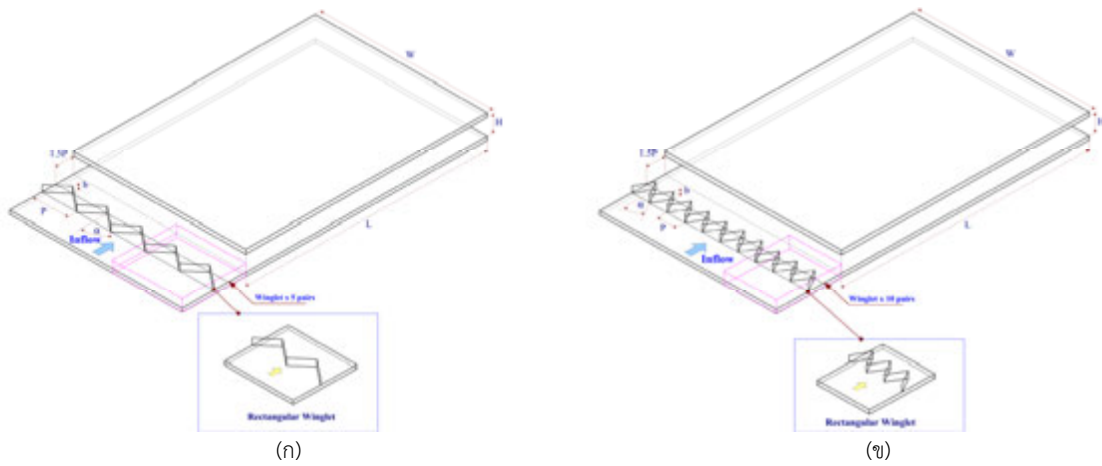
6. วิธีการทดลอง

ตรวจสอบเครื่องมือ อุปกรณ์ให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมใช้งาน จากนั้นเริ่มการทดลองโดยเปิดพัดลมและปรับความเร็วลมให้อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ที่กำหนด โดยความเร็วอากาศอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 6.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5000 ถึง 25,000 ก่อนทำการบันทึกค่าตั้งให้อุณหภูมิผิวภายในส่วนทดสอบและอุณหภูมิทางเข้า-ออกมีค่าคงที่ก่อนโดยอุณหภูมิผิวของส่วนทดสอบ วัดค่าทั้งหมด 10 จุด และอุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ 2 จุด ขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบด้วย จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลของค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์

ค่าการสูญเสียความดันซึ่งอยู่ในรูปของตัวประกอบเสียดทาน และ
 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



ภาพที่ 2 ส่วนทดสอบ การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม (ก) 5 คู่ จากเอกสารอ้างอิง [9] และ (ข) 10 คู่

7. ผลการทดลอง

7.1 การทวนสอบช่องขนานผนังเรียบ

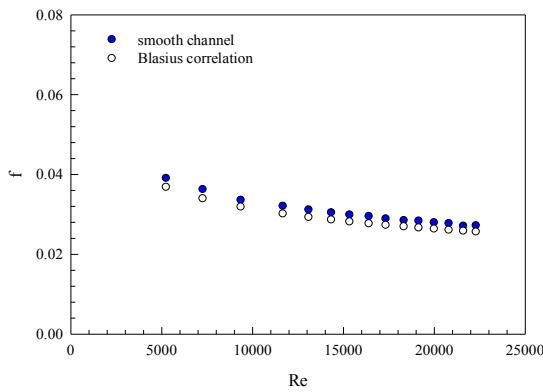
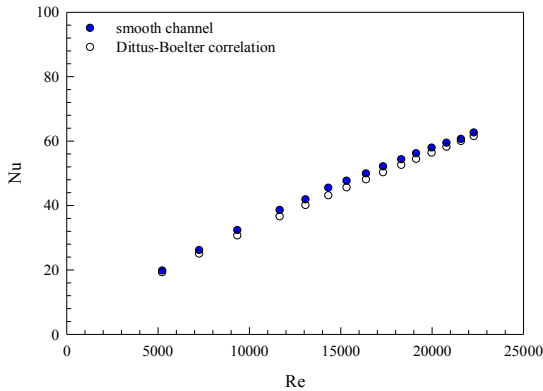
เพื่อให้การทดลองนี้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำจึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Blasius เอกสารอ้างอิง [10] ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$
 สำหรับการให้ความร้อน (9)

สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316 Re^{-0.25}$$
 สำหรับ $3000 \leq Re \leq 20,000$ (10)



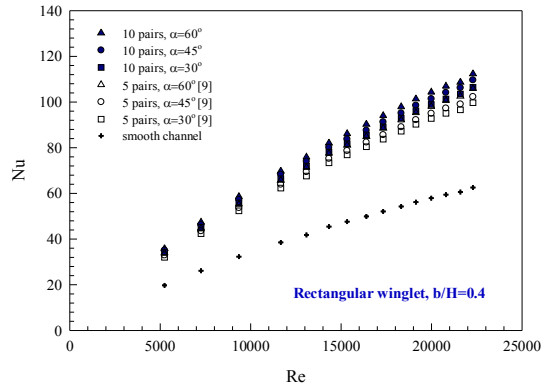
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของท่อผนังเรียบ

ภาพที่ 3 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์และ (ข) ตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (9) และ (10) พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 6% ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน

7.2 การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทาน

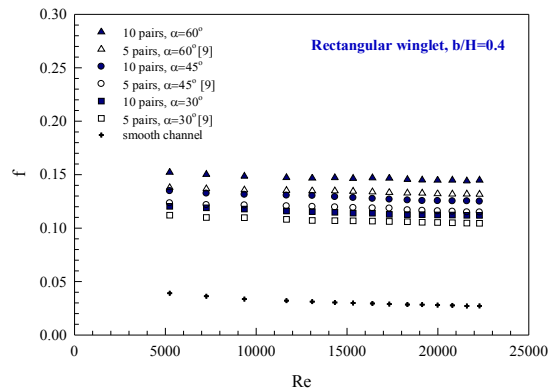
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ จากการทดลองพบว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่ [9] และท่อผนังเรียบตามลำดับ เนื่องจากมีจำนวนปีกที่มากกว่าจึงส่งผลให้สามารถสร้างการไหลแบบหมุนควงได้มากกว่า สำหรับการติดตั้งปีก

สี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30° ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองกรณีปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ พบว่า เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยและเกือบจะคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ค่าสูง การติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่ [9] และท่อผนังเรียบตามลำดับ เนื่องจากเกิดการขวางกั้นการไหล (flow blockage) และการไหลแบบหมุนควงที่ค่อนข้างสูง สำหรับการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30° ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองกรณีปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่

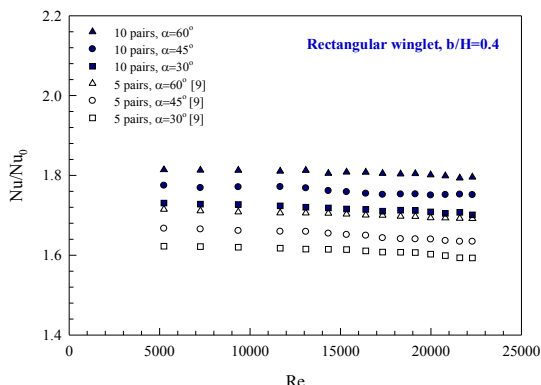


ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

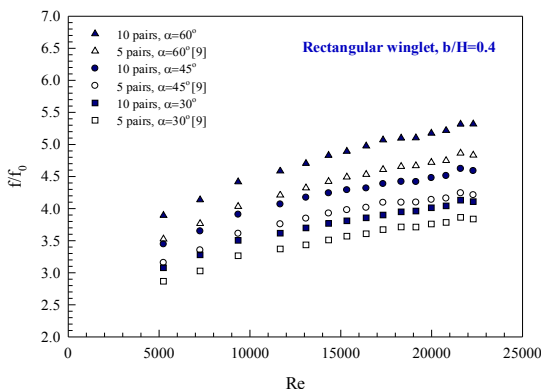
ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่า ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น กรณีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์สูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30° โดยมีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 1.82, 1.78 และ 1.76 เท่า ตามลำดับ

ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น กรณีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้

ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30° โดยมีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.8, 4.2 และ 3.9 ตามลำดับ



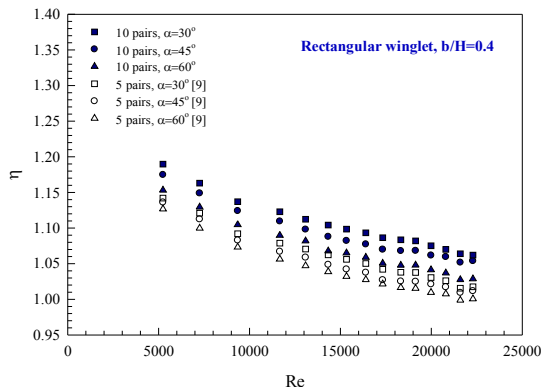
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์

7.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานที่กล่าวข้างต้น พบว่า สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น กรณีการติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ที่ $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 60° โดยให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.17, 1.13 และ 1.09 สำหรับ $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° ตามลำดับ



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์

8. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน, $(AR) = 10$, ความสูงช่องขนาน $(H) = 30$ มิลลิเมตร โดยติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ก่อนทางเข้าส่วนทดสอบที่มีมุมปะทะ $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ และ 60° โดยทำการทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่เลขเรย์โนลด์ ตั้งแต่ 5000 ถึง 25,000 พบว่า เมื่อติดตั้งปีกสี่เหลี่ยม 10 คู่ ส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าปีกสี่เหลี่ยม 5 คู่ และท่อผนังเรียบ โดยมีอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ (Nu/Nu_0) มีค่าเท่ากับ 1.82, 1.78 และ 1.76 ที่ $\alpha = 60^\circ, 45^\circ$ และ 30° ตามลำดับ อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ (f/f_0) มีค่าเท่ากับ 4.8, 4.2 และ 3.9 ที่ $\alpha = 60^\circ, 45^\circ$ และ 30° ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) สูงสุดกลับพบที่ $\alpha = 30^\circ$ โดยมีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.2 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำสุด

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gentry, M.C. and Jacobi, A.M. 1997. "Heat transfer enhancement by delta-wing vortex generators on a flat plate: vortex interactions with the boundary layer.", *Experimental Thermal and Fluid science*, 14: 231-242.
- [2] Olsson, C.O. and Sunden, B. 1998. "Experimental study of flow and heat transfer in rib-roughened rectangular channels.", *Exp. Thermal Fluid Science*. 16: 349-365.
- [3] Promvong P., Thianpong C. 2008. "Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs.", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 35: 1327-1334.
- [4] Thianpong C., Chompookham T., Skullong S., Promvong P. 2009. "Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs.", *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 36: 712-717.

- [5] Promvonge, P., Khanoknaiyakarn, C., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. 2011. “Thermal behavior in solar air heater channel fitted with combined rib and delta-winglet.”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 38: 749-756.
- [6] Ahn, S.W. 2001. “The effects of roughness types on friction factors and heat transfer in roughened rectangular duct.”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 28: 933-942.
- [7] Karwa, R. 2003. “Studies of Augmented Heat Transfer and Friction in Asymmetrically Heated Rectangular Ducts with Ribs on The heated wall in Transverse, Inclined, V-Continuous and V-Discrete Pattern.”, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 30: 241-250.
- [8] Tanda, G. 2004. “Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs. *Int. J. Heat Mass Transfer*.”, 47: 229-243.
- [9] สมพล สุกุลหลง และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, 2556. “อิทธิพลของตัวสร้างการไหลหมุนควงแบบปีกต่อการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน”, การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 12, 14-15 มีนาคม 2556 โรงแรมอิมพีเรียลโกลเด้นไทรแองเกิ้ล รีสอร์ท จังหวัดเชียงราย
- [10] F. Incropera, P.D. Dewitt, 1996. *Introduction to heat transfer*, 3rd edition, John Wiley & Sons Inc.