



## การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อน

### Heat transfer and friction in solar air heater duct with curved-winglet roughness on absorber plate

โชติวุฒิ ประสพสุข<sup>1</sup>, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง<sup>1</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>2</sup>, สุชาติพิทย์ วิทยปิยานนท์<sup>3</sup> และ สมพล สุกุลหลง<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

\*ติดต่อ: E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการทดลองของสมรรถนะเชิงความร้อนในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อน จุดมุ่งหมายของการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนควงชนิดปีกโค้งคือสร้างการไหลหมุนควงซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลและนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบ อิทธิพลของความสูงปีกได้รับการตรวจสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่เหมาะสมในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5400 ถึง 23,000 ปีกโค้งทำมุมเอียง  $45^\circ$  ตามทิศทางการไหลโดยมีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ( $b/H=BR$ ) 4 ค่า คือ 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ที่สัดส่วนระยะพิตซ์ตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ( $P/H=PR$ ) เท่ากับ 2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งปีกโค้งให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบ การติดตั้งปีกโค้งที่มีค่า BR สูงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าการติดตั้งปีกที่มีค่า BR ต่ำ จากการเปรียบเทียบ ปีกโค้งที่มีค่า BR สูงสุด ( $BR = 0.6$ ) มีค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number,  $Nu$ ) และความเสียดทานในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor,  $f$ ) สูงสุด อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดกลับพบที่  $BR = 0.4$

**คำหลัก:** ปีกโค้ง, เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์, แผ่นดูดซับความร้อน, สมรรถนะเชิงความร้อน, การไหลหมุนควง

#### Abstract

This paper presents the results of an experimental investigation of thermal performance characteristics in a solar air heater duct with curved-winglet vortex generators (CWs) on the absorber plate. The aim at using the CWs is to create co-rotating vortex flows having a significant influence on the flow turbulence intensity leading to higher heat transfer enhancement in the tested duct. Effect of the CW height is examined to find the optimum thermal performance for the Reynolds number from 5400 to 23,000. The CWs inclined to  $45^\circ$  relative to the main flow direction are characterized at three winglet- to channel-height ratios ( $b/H=BR=0.3, 0.4, 0.5$  and  $0.6$ ) at a single winglet pitch ratio ( $P/H=RP=2$ ). The experimental results show a significant effect of the presence of the CW on the heat transfer rate and friction loss over the flat-plate duct with no winglet. The  $45^\circ$  CW with larger BR provides higher heat transfer and friction loss than the one with smaller BR. In comparison, the highest BR ( $BR=0.6$ ) of the CW yields the highest increase in both the Nusselt number ( $Nu$ ) and friction factor ( $f$ ) while the  $BR=0.4$  provides the best thermal performance.

**Keywords:** Curved-winglet, Solar air heater, Absorber plate, Thermal performance, Vortex generator.



## 1. บทนำ

ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานชนิดต่างๆ บนโลก เช่น ฟอสซิล ฯ เริ่มลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ความต้องการทางด้านพลังงานรวมทั้งความสะดวกสบายของมนุษย์ นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจึงพัฒนาอุปกรณ์สำหรับรองรับพลังงานหมุนเวียน (พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อนำพลังงานเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและทดแทนพลังงานเก่าที่ลดน้อยลง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่สะอาดปราศจากมลพิษและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลก การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาใช้ในสองรูปแบบ คือ (1) การผลิตไฟฟ้าโดยใช้หลักการตกกระทบของแสงบนวัสดุ และ เปลี่ยน พลังงาน แสง เป็น พลังงาน ไฟฟ้า (Photovoltaic, PV) ซึ่งวิธีนี้มีระบบค่อนข้างซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง (2) การดึงความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การบ่มผลไม้ เป็นต้น สำหรับวิธีนี้มีระบบที่ไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตต่ำ อุปกรณ์ที่ทำงานลักษณะนี้คือเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (Solar air heater, SAH)

เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เป็นที่นิยมใช้ในหลายๆ ประเทศและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มสมรรถนะให้แก่อุปกรณ์ดังกล่าว โดย Singh et al. [1] ศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบริปตัววีแยกตัวแบบปลายวีซึ่งตามกระแสการไหลที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งครีบบนผิวร้อน (แผ่นดูดซับความร้อน) มีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียหายเพิ่มสูงขึ้น 3.04 และ 3.11 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ Jin et al. [2] ศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยครีบริปตัววีต่อเนื่องโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) จากผลการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่า ครีบริปที่มุมปะทะ  $45^\circ$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด Kumar and Kim [3] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขถึงผลกระทบของการติดตั้งครีบริปตัววีต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ผลการคำนวณพบว่า การจัดวางครีบริป

สัดส่วนความกว้างเท่ากับ 6 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Pandey et al. [4] ศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดผิวโค้งแบบเว้าในช่วงในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ( $Re=2100-21,000$ ) ผลการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวมีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียหายสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนแบบธรรมดา (ท่อผิวเรียบ) ถึง 5.85 และ 4.96 เท่า Tamna et al. [5] ทำการศึกษาเชิงทดลองร่วมกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของพฤติกรรมความร้อนภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี พบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูดซับความร้อนด้านเดียวให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดและผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข Zhou and Ye [6] ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะทางความร้อนและการไหลของปิกสี่เหลี่ยมคางหมูผิวโค้งที่มุมปะทะต่างๆ ผลการทดลองพบว่า ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดพบที่การจัดวางปิกที่มีมุมปะทะสูง Skullong and Promvong [7] ทำการทดลองเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งปิกสามเหลี่ยมเพื่อสร้างการไหลหมุนควงตามแนวยาว ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งปิกบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียหายสูงกว่าการติดตั้งปิกบริเวณก่อนทางเข้าส่วนทดสอบ Skullong et al. [8] ศึกษาพฤติกรรมความร้อนและการต้านทานการไหลภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องผสมปิกพรุน การทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลสูงกว่าท่อผิวเรียบและมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องเพียงอย่างเดียวในช่วง 37.7-46.3%

จากการวิจัยเชิงทดลองรวมทั้งการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งปิกสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ได้สูงกว่าการใช้ครีบริปเนื่องจากปิกสามารถสร้างการไหลหมุนควงภายในท่อและเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับของไหลได้ดีกว่าครีบริป อย่างไรก็ตามการวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของการติดตั้งปิกต่อสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์มีจำนวนน้อย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงชนิดปิก



โดยทำการติดตั้งปีกโค้งบนผิวร้อนหรือแผ่นดูดซับความร้อน (Absorber plate) ที่มีแผ่นฮีตเตอร์จำลองเป็นพลังงานแสงอาทิตย์และจ่ายความร้อนให้แก่แผ่นดูดซับความร้อนในสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) การทดลองใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 5400 ถึง 23,000 เพื่อศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ( $b/H=BR$ ) ที่มีต่อค่าสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

## 2. ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดัน และสมรรถนะเชิงความร้อนภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบสามารถแสดงได้ดังนี้

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ ( $Q_{air}$ ) และการพาความร้อน ( $Q_{conv}$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ( $h$ ) หาค่าได้จาก

$$h = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A(\tilde{T}_w - T_b)} \quad (2)$$

เมื่อ  $T_b = (T_o + T_i)/2$  และ  $\tilde{T}_w = \sum T_w / 12$

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย ( $Nu$ ) หาค่าได้จาก

$$Nu = hD_h / k \quad (3)$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ( $D_h$ ) สามารถเขียนได้เป็น

$$Re = UD_h / \nu \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (5)$$

โดยที่

$A$  คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนโดยการพาของแผ่นดูดซับความร้อน

$C_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

$T_o$  คือ อุณหภูมิทางออก

$T_i$  คือ อุณหภูมิทางเข้า

$\tilde{T}_w$  คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยของแผ่นดูดซับความร้อน

$m$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

$U$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ

$\nu$  คือ ความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ ( $h$ ) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวเรียบ ( $h_o$ ) ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน จากเอกสารอ้างอิง [1-8] โดยสามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$TEF = \frac{h}{h_o} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_o} \Big|_{pp} = \left( \frac{Nu}{Nu_o} \right) \left( \frac{f}{f_o} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

## 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงชนิดปีกโค้ง

แผ่นอะลูมิเนียมถูกนำมาใช้ในการทำส่วนทดสอบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าความยาวรวม 2000 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบยาว ( $L$ ) 420 มิลลิเมตร กว้าง ( $W$ ) 300 มิลลิเมตร และสูง ( $H$ ) 30 มิลลิเมตร โดยมีสัดส่วนความกว้างต่อความสูง ( $W/H=AR$ ) เท่ากับ 10 อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงชนิดปีกโค้งถูกติดตั้ง 3 แถว บนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อสร้างการไหลหมุนควงตามแนวกระแสการไหล โดยมีระยะพิตซ์ตามแนวการไหล  $P_t=60$  มิลลิเมตร หรือสองเท่าของความสูงท่อ ( $2H$ ) ระยะพิตซ์ตามแนวขวางการไหล  $P_t=120$  มิลลิเมตร หรือสี่เท่าของความสูงท่อ ( $4H$ ) และมุมปะทะ  $\alpha = 45^\circ$  โดยมีสัดส่วนความสูงปีกต่อความสูงท่อ ( $b/H=BR$ ) 4 ค่า คือ 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 ดังแสดงในรูปที่ 1 แผ่นดูดซับความร้อนถูกทำให้ร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ (จำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) และมีการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก

### 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

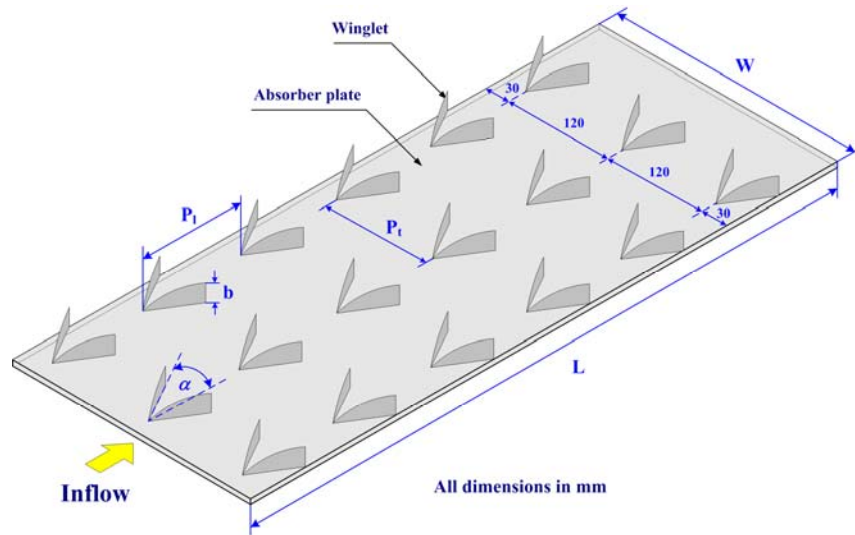
อุปกรณ์ชุดทดลองเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปอุปกรณ์ประกอบด้วยพัดลมแรงดันสูงขนาด 2 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้เป็นแหล่งต้นกำลัง แผ่นออริฟิส (Orifice plate) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ Inclined manometer เป็นอุปกรณ์วัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Settling

tank ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลให้แก่อากาศ ช่องปรับสภาพการไหล (Calm section) ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของอากาศให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ เทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-type thermocouple) จำนวน 12 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนดังแสดงในรูปที่ 3 เช่นเซอร์วิตดอุณหภูมิชนิด RTD (PT100) จำนวน 2 ตัว ใช้ในการวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบ โดยอุณหภูมิทั้งหมดจะส่งสัญญาณไปยัง Data Logger รุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะที่ดีจีตอลมานอมิเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบ ค่าความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดแสดง

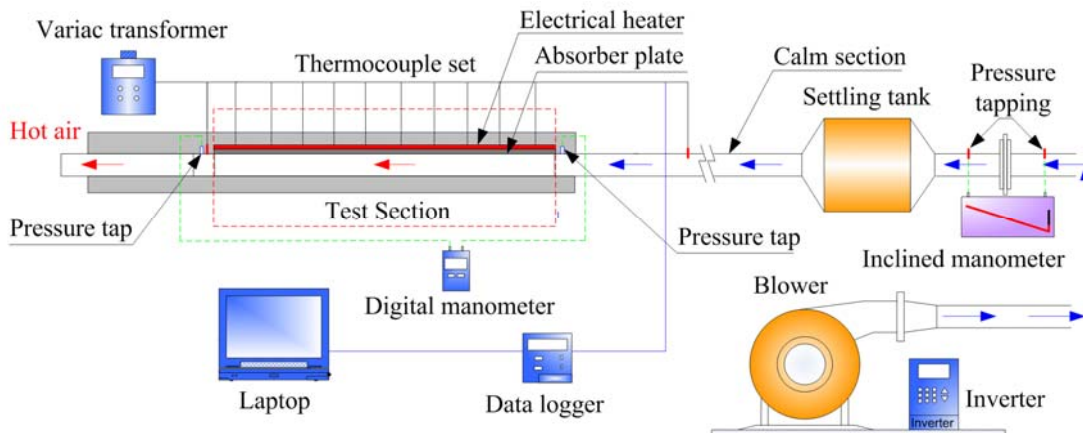
รายละเอียดในเอกสารอ้างอิง [5,8] รายละเอียดของเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ

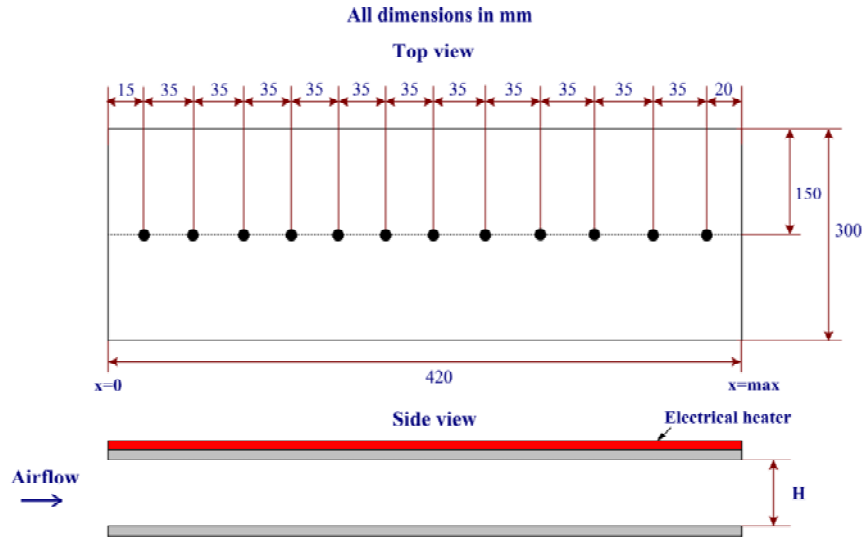
Working fluid	Air
Reynolds number	5400 to 23,000
$\alpha$	45°
BR	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
PR	2
Winglet thickness	0.5 mm



รูปที่ 1 อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงชนิดปีกโค้ง



รูปที่ 2 เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์



รูปที่ 3 ตำแหน่งเทอร์โมคัปเปิล

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบท่อผิวเรียบ

เพื่อความถูกต้องของชุดทดลองและข้อมูลการทดลอง การตรวจสอบท่อผิวเรียบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นก่อนติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงบนแผ่นดูดซับความร้อนจึงต้องทำการตรวจสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบก่อน โดยใช้สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Blasius จากเอกสารอ้างอิง [9] ในการตรวจสอบผลของค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor, f) โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

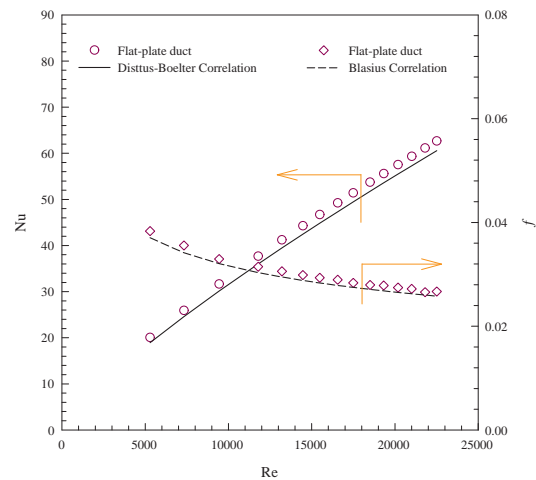
สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \tag{7}$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \tag{8}$$

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ พบว่า ค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6% ขณะที่ f มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 7%

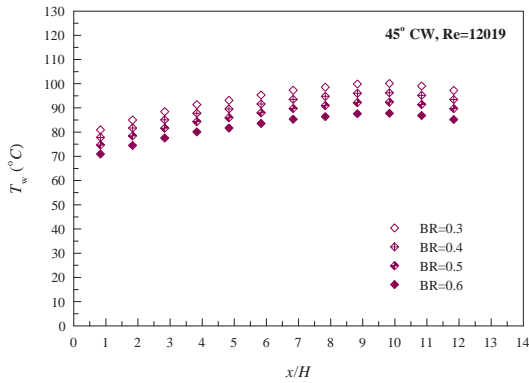


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ f กับ Re กรณีท่อผิวเรียบ

4.2 การกระจายอุณหภูมิบนแผ่นดูดซับความร้อน

รูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน ( $T_w$ ) ที่สัดส่วนระยะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลต่อความสูงท่อ ( $x/H$ ) ค่าต่างๆ ที่  $Re=12019$  จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะ  $x/H$  และลดลงเล็กน้อยที่ระยะ  $x/H \approx 11$  และ 12 เนื่องจากผลกระทบของการแผ่รังสีและบรรยากาศภายนอก การติดตั้งปีกที่  $BR=0.6$  มีค่าอุณหภูมิผิวต่ำสุดเนื่องจากสามารถระบายความร้อนจากแผ่นดูดซับความร้อนได้สูงกว่าการติดตั้งปีกที่ค่า  $BR$  อื่นๆ

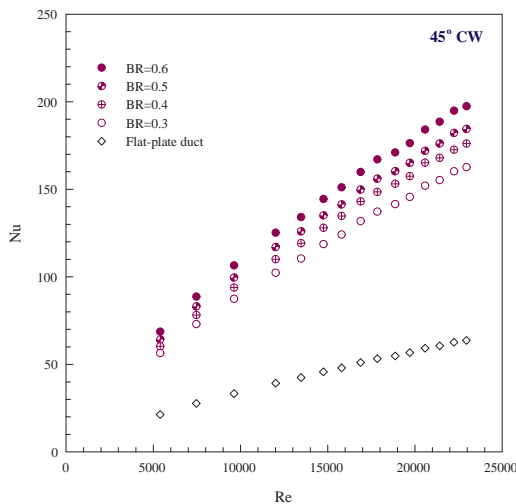




รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_w$  กับ  $x/H$

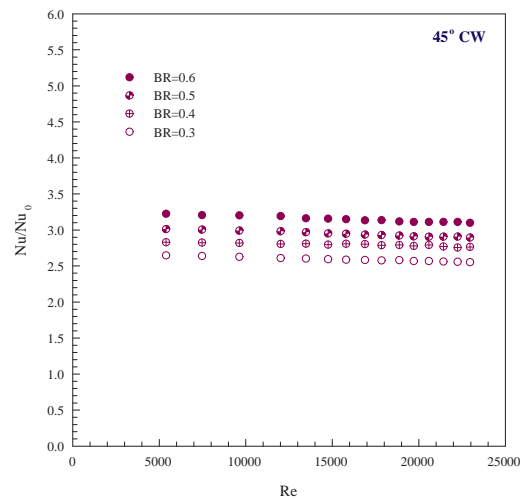
### 4.3 การถ่ายเทความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่าง  $Nu$  กับ  $Re$  แสดงดังรูปที่ 6 จากการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อม  $Nu$  เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า  $Re$  การติดตั้งปีกโค้งที่  $BR=0.6$  บนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่า  $Nu$  สูงสุดตามด้วย  $BR=0.5, 0.4, 0.3$  และท่อผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากการติดตั้งปีกที่มีขนาดใหญ่ ( $BR=0.6$ ) ส่งผลให้เกิดระดับการไหลหมุนควงตามแนวยาว (longitudinal vortex generator) ที่แข็งแรงกว่าปีกที่มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้ดีและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวและของไหลที่ดีกว่าการติดตั้งปีกที่  $BR$  ค่าอื่นๆ โดยการติดตั้งปีกโค้งให้ค่า  $Nu$  สูงกว่ากรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 60-70%



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $Nu$  กับ  $Re$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีติดตั้งปีกโค้งต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผิวเรียบ ( $Nu/Nu_0$ ) กับ  $Re$  แสดงในรูปที่ 7 จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่า  $Nu/Nu_0$  มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มขึ้น แผ่นดูดซับความร้อนที่มีการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนควงชนิดปีกโค้งสามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยกรณี  $BR = 0.6, 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  มีค่า  $Nu/Nu_0$  เฉลี่ยเท่ากับ 3.2, 2.9, 2.8 และ 2.6 ตามลำดับ การติดตั้งปีกโค้งที่  $BR = 0.6$  ให้ค่า  $Nu/Nu_0$  เฉลี่ยสูงกว่าการติดตั้งปีกโค้งที่  $BR = 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  เท่ากับ 6.6%, 11.2% และ 17.7% ตามลำดับ

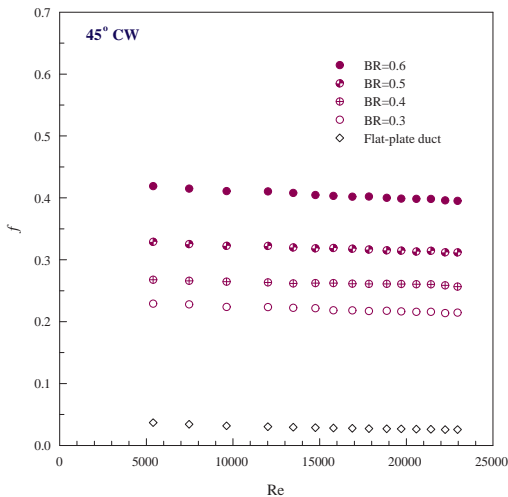


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $Nu/Nu_0$  กับ  $Re$

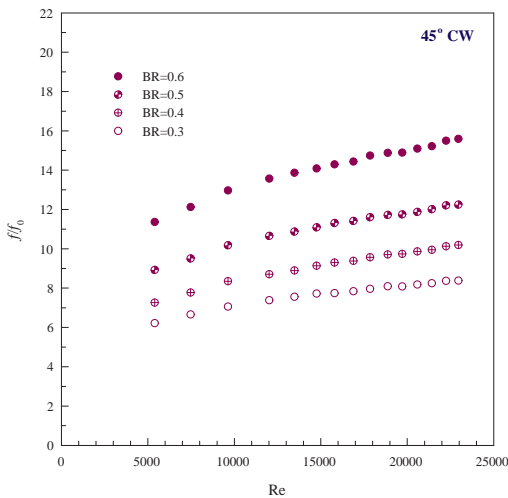
### 4.4 ความเสียดทาน

การต้านทานการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นดูดซับความร้อนที่มีการติดตั้งปีกแสดงในท่อมของตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน ( $f/f_0$ )

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $f$  กับ  $Re$  จากรูปแสดงให้เห็นถึงความเสียดทานที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบเนื่องจากการติดตั้งปีกโค้งจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนควงและเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับของไหลภายในท่อทดสอบก่อให้เกิดความเสียดทานสูงขึ้น โดยการติดตั้งปีกโค้งมีค่า  $f$  สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 84-94% กรณี  $BR = 0.6$  มีค่า  $f$  สูงสุดตามด้วย  $BR = 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $f$  กับ  $Re$



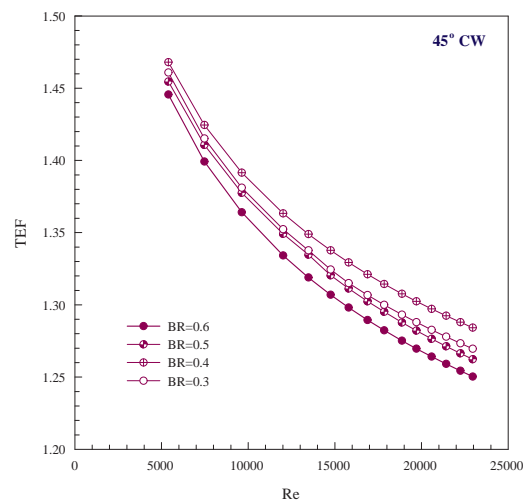
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $f/f_0$  กับ  $Re$

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณีติดตั้งปีกโค้งต่อตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ ( $f/f_0$ ) จากการทดลองพบว่าเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า  $f/f_0$  เพิ่มขึ้นตาม โดย  $f/f_0$  มีค่าอยู่ในช่วง 11.4–15.4, 8.9–12.1, 7.3–10 และ 6.2–8.4 สำหรับกรณีการติดตั้งปีกที่  $BR = 0.6, 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  ตามลำดับ กรณีปีกโค้งที่  $BR = 0.6$  มีค่า  $f/f_0$  เฉลี่ยสูงกว่าการติดตั้งปีกที่  $BR = 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  เท่ากับ 21.2%, 35.2% และ 45.6% ตามลำดับ

4.5 สมรรถนะเชิงความร้อน

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) จากสมการที่ (6) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลสมรรถนะของเครื่อง

อุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยแสดงดังรูปที่ 10 จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ  $Re$  ซึ่งเป็นข้อมูลที่คำนวณจากค่า  $Nu$  และ  $f$  ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน โดยพบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่า  $Re$  การติดตั้งปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อนมีค่า TEF อยู่ในช่วง 1.24–1.43, 1.26–1.45, 1.28–1.46 และ 1.26–1.44 สำหรับ  $BR = 0.6, 0.5, 0.4$  และ  $0.3$  ตามลำดับ การติดตั้งปีกที่  $BR = 0.4$  มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.46 ที่  $Re = 5400$  โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการติดตั้งปีกที่  $BR = 0.3, 0.5$  และ  $0.6$  เท่ากับ 1.3%, 1.9% และ 2.6% ตามลำดับ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ  $Re$

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของความสูงปีกที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า  $Re = 5400-23,000$  แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนชนิดปีกโค้งบนแผ่นดูดซับความร้อนสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 60–70% โดยการติดตั้งปีกที่  $BR = 0.6$  มีค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุดขณะที่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) สูงสุดในกรณีทดสอบพบที่การติดตั้งปีกโค้งกรณี  $BR = 0.4$  โดยมีค่าเท่ากับ 1.46 และมีค่าสูงกว่า  $BR = 0.3, 0.5$  และ  $0.6$  เท่ากับ 1.3%, 1.9% และ 2.6% ตามลำดับ



## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Singh, S., Chander, S., Saini, J.S. (2011). Heat transfer and friction factor correlations of solar air heater ducts artificially roughened with discrete V-down ribs, *Energy*, vol. 36, 2011, pp. 5053–5064.
- [2] Jin, D., Zhang, M., Wang, P., Xu, S. (2015). Numerical investigation of heat transfer and fluid flow in a solar air heater duct with multi V-shaped ribs on the absorber plate, *Energy*, vol. 89, 2015, pp. 178–190.
- [3] Kumar, A., Kim, M.H. (2015). Effect of roughness width ratios in discrete multi V-rib with staggered rib roughness on overall thermal performance of solar air channel, *Solar Energy*, vol. 119, pp. 399–414.
- [4] Pandey, N.K., Bajpai, V.K., Varun. (2016). Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater, *Solar Energy*, vol. 134, pp. 314–326.
- [5] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C., Promvonge, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, *Solar Energy*, vol. 110, pp. 720–735.
- [6] Zhou, G.B., Ye, Q.L. (2012). Experimental investigations of thermal and flow characteristics of curved trapezoidal winglet type vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, vol. 37, pp. 241–248.
- [7] Skullong, S., Promvonge, P. (2014). Experimental investigation on turbulent convection in solar air heater channel fitted with delta winglet vortex generator, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, pp. 1–10.
- [8] Skullong, S., Promvonge, P., Thianpong, C., Pimsarn, M. (2016). Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, vol. 100, pp. 611–620.
- [9] Incropera, F.P., Dewitt, P.D., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2012). *Foundations of Heat Transfer*, sixth ed., John-Wiley & Sons Inc.