

## การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ ที่มีการวางแผนกั้นบิตเพื่อสร้างความปั่นป่วน

### Heat transfer enhancement in two-pass channels with twisted baffle turbulators

พจนารณ อนุอัน<sup>1\*</sup> เก่งกล้า กุณรักษ์<sup>1</sup>, ขวัญชัย หนาแน่น<sup>2</sup> และ สมิทธ์ เอี่ยมสอาด<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

<sup>2</sup> สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เลขที่ 38 หมู่ 8 ถนนหาดเจ้าสำราญ ตำบลนาวิ่ง

อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

\*ติดต่อ: E-mail: potjanart.an@gmail.com โทรศัพท์: 0832829660

#### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบความเสียดทาน ภายในช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ (Two-pass Channel) ที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรง (Straight baffle) และแผ่นกั้นบิต (Twisted baffle) เพื่อสร้างความปั่นป่วนให้กับการไหล โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ ภายในช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับที่มีขนาดหน้าตัด 40 มม. x 20 มม. อัตราส่วนหน้าตัด (Aspect ratio : AR) เท่ากับ 2.0 มีการให้ความร้อนแบบคงตัวที่ผิวล่างของชุดทดสอบ และใช้แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล (Thermochromic liquid crystal : TLC) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงค่าสีตามอุณหภูมิที่สัมผัสมาเป็นตัวแสดงผล เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของของไหลทดสอบ โดยทำการทดลองที่ช่วงค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์ 5000 ถึง 20,000 กำหนดให้ความสูงของแผ่นกั้นที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 4 มม. อัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของช่องการไหลเท่ากับ 0.2 อัตราส่วนการบิดของแผ่นกั้น ( $y/w$ ) เท่ากับ 3 ในกรณีที่เป็นแผ่นกั้นบิต ระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูง ( $p/w$ ) เท่ากับ 10 ทำการศึกษาผลการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้รับผลกระทบจากรูปแบบของแผ่นกั้น คือแผ่นกั้นตรงเทียบกับแผ่นกั้นบิต ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าแผ่นกั้นบิตสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแผ่นกั้นตรง ในขณะที่เกิดค่าความเสียดทานในระบบต่ำกว่าแผ่นกั้นตรง

**คำหลัก:** การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, ตัวประกอบความเสียดทาน, แผ่นบิต, ครีบ, อุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน, แผ่นเทอร์โมโครมิกลิควิดคริสตัล

## Abstract

This study aims at investigating the heat transfer enhancement and friction factor of air in two-pass channel with 2 types of turbulators: straight baffles and twisted baffles. Test channel size dimension is 40 mm. x 20 mm, corresponding to aspect ratio (AR) of 2.0 All baffles had a height of 4 mm. Twisted baffles were fabricated with a twisted ratio (y/w) of 3.0 Baffles were installed with a regular baffle pitch (p/w) of 10, for all cases. Thermochromic liquid crystal (TLC) sheet was used to measure temperature of the bottom side of the channel. Experiments were performed under a constant heat flux condition for Reynolds numbers ranging from 5000 to 20,000. Heat transfer and flow friction were evaluated in terms of Nusselt number and friction factor. The results showed that the twisted baffles gave higher heat transfer while caused lower friction loss penalty than the straight baffles.

**Keywords:** Heat transfer enhancement, Friction factor, Twisted baffle, Rib, Turbulator, Thermochromic liquid crystal sheet (TLC)

## 1. บทนำ

กังหันก๊าซเป็นอุปกรณ์เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาเพื่อให้เปลี่ยนพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างสำคัญในการใช้งานที่สำคัญของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ คือ การใช้ประโยชน์จากเปลวหมุนไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas turbine power plant) และ การใช้กังหันก๊าซเพื่อสร้างแรงขับเคลื่อนความเร็วสูงในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน นอกจากนี้เครื่องยนต์กังหันก๊าซมีความสำคัญในแวดวงอุตสาหกรรมหลายๆแขนงอีกด้วย

จากหลักการทำงานของก๊าซที่มีการเผาไหม้อากาศที่มีความดันสูง ไบพัดกังหันก๊าซจึงต้องเจอก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงมาก ดังนั้นในไบพัดกังหันจึงต้องมีกลไกการระบายความร้อนที่ดีเพื่อป้องกันการเสียหายของไบพัด ขณะเดียวกันก็มีความพยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกังหันก๊าซ โดยการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซที่เข้ามาขับเคลื่อนไบพัด

ซึ่งบ่อยครั้งที่มีปัญหาเรื่องการเพิ่มอุณหภูมิทางเข้าให้สูงจนเลยขีดจำกัดทางด้านวัสดุที่ไบพัดสามารถทนรับได้ ทำให้ไบพัดที่ได้รับความร้อนสูงมากนั้นเกิดความเสียหายส่งผลทำให้เครื่องยนต์กังหันก๊าซไม่สามารถทำงานได้หรือ

อาจร้ายแรงจนกระทั่งเป็นอุบัติเหตุที่ส่งผลต่อชีวิตและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานได้ ปัจจุบันจึงยังมีการพัฒนาการระบายความร้อนให้กับไบพัดของกังหันก๊าซเพื่อที่จะให้ไบพัดสามารถใช้งานต่อไปได้ภายใต้สภาวะที่ปลอดภัยอยู่ตลอด

ซึ่งระยะหลังนี้ได้มีความพยายามที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายความร้อนที่ไบพัดกังหันก๊าซในหลายรูปแบบ โดยรูปแบบที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมนสูงในการศึกษาค้นคว้า คือ การเพิ่มตัวสร้างความปั่นป่วนภายในช่องการไหลของไบพัด (Rib turbulator cooling) เพื่อช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนให้ไบพัดสามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจทำการศึกษาค้นคว้าการสร้างตัวสร้างความปั่นป่วนภายในช่องการไหลด้วยวิธีใช้ครีบวางขวางการไหล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้กับไบพัดกังหันก๊าซ ให้สามารถใช้งานได้ในเรื่องนี้ที่ดียิ่งขึ้น

โดยได้มีงานวิจัยในอดีตที่ได้เคยทำการศึกษเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลด้วยวิธีต่างๆพอสมควรดังนี้

Chang and Gao [1] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการกระจายตัวของความร้อนเหนือชุดทดลองมีรูปแบบเดียวกับการ

ระบายความร้อนของใบพัดกังหันก๊าซ โดยเป็นช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ (Two-pass channel) ที่มีการออกแบบพื้นผิวข้างให้เป็นแบบลูกคลื่น ร่วมกับการวางครีบท่ามุม 45 องศากับการไหลเพื่อสร้างความปั่นป่วน โดยทำการทดลองในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) มีค่าระหว่าง 5000 ถึง 20,000 ใน 3 รูปแบบการทดลอง ที่ชุดทดสอบมีอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของหน้าตัด (Aspect ratio : AR) มีค่าเท่ากับ 0.5, 1, 2 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในช่องการไหลที่มีขนาด AR = 0.5, 1, 2 ตามลำดับ โดยจะพบค่าตัวเลขนัสเซิลท์ (Nu) ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 4.74-3.83, 6.25-4.94, 7.43-6.09 เท่าตามลำดับ

Singh and Ekkad [2] ทำการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับช่องการไหลแบบวกกลับเพื่อเป็นการนำไปประยุกต์ใช้งานกับการระบายความร้อนของใบพัดกังหันก๊าซ โดยใช้เทคนิคการใช้ครีบบางวางขวางการไหล ร่วมกับการสร้างร่องหลุมที่พื้นผิวช่องการไหล (Dimples) เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการไหลวน โดยที่การทดลองในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 19,500 – 69,000

Wang et al. [3] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกภายในช่องการไหล ที่มีการติดตั้งครีบ 7 รูปแบบเพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยทำการทดลองที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 20,000 และ 26,000 ครีบแต่ละรูปแบบได้มีการปรับองศาของมุมปะทะเพื่อศึกษาผลกระทบจากมุมการวางครีบบนพร้อมกันด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าครีบช่วยให้มีการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นไปพร้อมกับการสร้างความดันตกในระบบ เมื่อดูสมรรถนะทางความร้อนเปรียบเทียบกันพบว่ารูปแบบที่ให้ผลดีที่สุดในการทดลอง คือ ครีบบรูปตัว V วางในทิศทางตามการไหล โดยให้ค่าสมรรถนะทางความร้อนรวมประมาณ 2.3-2.6

Kumar et al. [4] ศึกษาการระบายความร้อนในใบพัดของกังหันก๊าซ โดยทำการทดลองเพื่อหาการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลแบบวกกลับ ที่มีการวางครีบบางวางขวางการไหล ร่วมกับการสร้างร่องหลุมที่ผิวช่องการไหล ทดลองที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 12,500 และ 28,500 โดยมีการวางครีบบรูปตัว V ในหลายลักษณะ เพื่อหารูปแบบที่ให้สมรรถนะทางความร้อนสูงที่สุดโดยพิจารณาค่าเลขนัสเซิลท์เป็นตัววัดพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแต่ละพื้นที่ จากผลการทดลองพบว่าการวางครีบบรูปตัว V กลับหัวในบริเวณทางเข้าและครีบบรูปตัว V ในบริเวณทางออก ให้ผลดีที่สุดในการถ่ายเทความร้อน และการสร้างร่องหลุมที่ผิวของช่องการไหลไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหล

Xie et al. [5] ได้ทำการศึกษาทดลองการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหล ที่มีการวางครีบโค้งสร้างการไหลปั่นป่วน เพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในช่องการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 8000 ถึง 24,000 ศึกษาครีบ 3 รูปแบบ คือ ครีบตรง ครีบโค้งตรงข้ามทางทิศการไหล และครีบโค้งตามทิศการไหล ผลการศึกษาพบว่าการวางครีบโค้งนั้นช่วยให้การไหลผสมผสานกันสูงขึ้น ลดความหนาของการไหลชั้นขอบเขตที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ ครีบโค้งจึงให้สมรรถนะทางความร้อนที่สูงกว่าครีบตรงธรรมดาถึง 21-41% ในขณะที่สร้างความดันตกในระบบมากถึง 15-80% อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยรูปแบบที่ให้สมรรถนะทางความร้อนสูงที่สุด คือ ช่องการไหลที่มีการวางครีบโค้งตามทิศทางการไหล

Kaewchoothong et al. [6] ศึกษาผลกระทบจากการจัดวางครีบแต่ละรูปแบบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลสี่เหลี่ยมที่ไม่มีการเคลื่อนที่ มีการติดตั้งครีบนหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่สองด้านของผนังช่องการไหล แบ่งการจัดวางครีบบางวางขวาง 3 รูปแบบ ทดลองในช่วงค่าตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 30,000 และทำการปรับเปลี่ยนมุมปะทะของครีบเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการถ่ายเท

ความร้อนโดยใช้แผ่นเทอร์โมโครมิกคริสตัล (Thermochromic liquid crystal : TLC) เพื่อวัดการกระจายตัวของความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ครีบบางเอียง 60°, ครีบบรูปตัว V สวนทางกับทิศการไหล วางมุม 45° และ 60° ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 20%, 25% และ 30% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่วาง ครีบบตรง ในการทดลองนี้รูปแบบให้การถ่ายเทความร้อน สูงที่สุด คือ ครีบบตัว V สวนทางกับทิศการไหล (60° V-shaped ribs)

ตามที่ได้กล่าวรายละเอียดมาในข้างต้น การใช้เทคนิคการวางแผ่นกันสร้างความปั่นป่วนเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเป็นวิธีการที่ได้ผลดีและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะประยุกต์นำเอา แผ่นบิด (Twisted tape) มาใช้เป็นแผ่นกันสร้างการไหลปั่นป่วน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบความเสียดทาน ภายในช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ เป็นการจำลองการถ่ายเทความร้อนของระบบระบายความร้อนในใบพัดกังหันก๊าซ เพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานภายในช่องการไหลที่มีการวางแผ่นกันสร้างการไหลปั่นป่วนนี้ มีตัวแปรสำคัญที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ผลดังนี้ คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ตัวเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน ( $f$ ) เลขเรย์โนลด์ส์มีสมการในการคำนวณหา ดังนี้

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (1)$$

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนแบบการพา ซึ่งค่าการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$Q = mc_p (T_o - T_i) = hA(T_w - T_b) \quad (2)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนจะได้ จากสมการดังนี้

$$h = \frac{Q}{A(T_w - T_b)} \quad (3)$$

การถ่ายเทความร้อนในทางทฤษฎีสามารถหาได้จาก สมการดังนี้

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

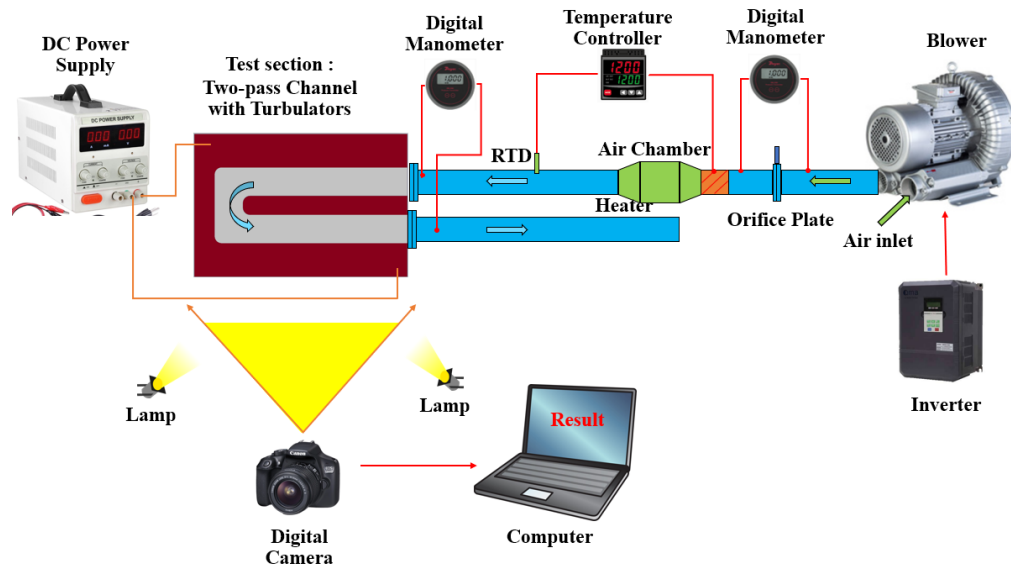
ตัวประกอบความเสียดทานหาได้จากสมการดังนี้

$$f = \frac{2D\Delta P}{\rho V^2 L} \quad (5)$$

## 3. อุปกรณ์และการทดลอง

ชุดทดลอง (Test section) เป็นช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ ที่มีอัตราส่วนหน้าตัด (Aspect ratio : AR) เท่ากับ 2 ขนาด 40 x 20 มม. มีการวางแผ่นกัน (Baffle) 2 รูปแบบ คือ แผ่นกันตรง (Straight baffle) และแผ่นกันบิด (Twisted baffle) ภายในช่องการไหล กำหนดให้ความสูงของแผ่นกัน ( $w$ ) ที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 4 มม. อัตราส่วนความสูงของแผ่นกันต่อความสูงของช่องการไหลเท่ากับ 0.2 อัตราส่วนการบิดของแผ่นกัน ( $y/w$ ) เท่ากับ 3 ในกรณีที่เป็แผ่นกันบิด ระยะห่างของแผ่นกันต่อความสูง ( $p/w$ ) เท่ากับ 10

การทดลองถูกออกแบบให้เครื่องเป่าลม (Blower) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนให้ของไหลทดสอบคืออากาศ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้า โดยการใช้ อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบเส้นลวดพันรอบท่อเพื่อให้ความร้อนกับอากาศจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ คือ 28 องศาเซลเซียส เมื่ออากาศไหลผ่านช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับ (Two-pass channel) ที่มีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์คงที่เข้ามาทางด้านผิวล่างของช่องการไหล โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแผ่นสแตนเลสบาง (Stainless sheet) ความหนา 0.03 มม. เพื่อทำหน้าที่เป็นแผ่นให้ความร้อน (Heater) กับอากาศที่ไหลผ่านช่องการไหล มีอากาศได้สัมผัสพื้นผิวช่องการไหลที่มีอุณหภูมิ



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

สูงกว่าก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณพื้นผิวไป  
ยังอากาศที่ไหลผ่าน

การศึกษารั้วนี้ใช้แผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตัล  
(Thermochromic liquid crystal : TLC) ซึ่งมีคุณสมบัติ  
ในการเปลี่ยนแปลงค่าสีตามอุณหภูมิที่สัมผัส เป็นอุปกรณ์  
ช่วยแสดงผลการถ่ายเทความร้อน โดยทำการถ่ายภาพ  
ผ่านกล้องดิจิทัลเพื่อนำไปแปลงเป็นค่าอุณหภูมิของ  
อากาศที่ไหลผ่านช่องการไหลในแต่ละบริเวณ ทำการ  
ทดลองในช่วงค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์ 5000 ถึง 20,000 เพื่อ  
ทำการศึกษาผลการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)  
และค่าตัวประกอบความเสียดทาน (Friction factor) ที่  
ได้รับผลกระทบจากรูปแบบของแผ่นกั้นสองรูปแบบ

#### 4. ผลการทดลอง

##### 4.1 การตรวจสอบช่องการไหลกับสหสัมพันธ์มาตรฐาน

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน  
และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในช่องการไหลแบบ  
วกกลับนี้ ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าตัวแปรที่สำคัญ คือ ตัวเลข  
นัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) ค่า Nu

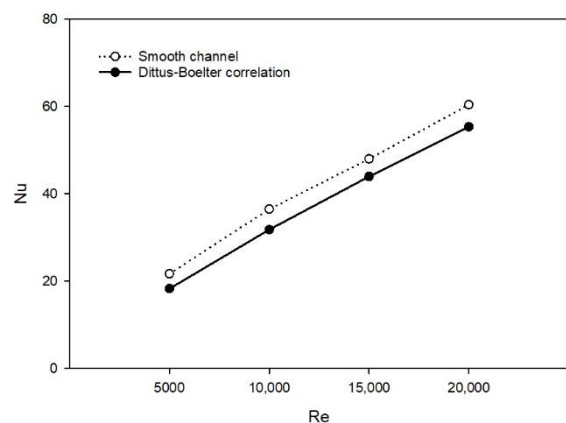
และ f ที่ได้จากการทดลองในช่องการไหลผิวเรียบ  
(Smooth channel) โดยการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์  
มาตรฐาน ได้แก่ สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ  
สหสัมพันธ์ของ Blasius ตามลำดับ เพื่อสอบเทียบความ  
ถูกต้องแม่นยำของผลการทดลอง

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter มีสมการดังนี้

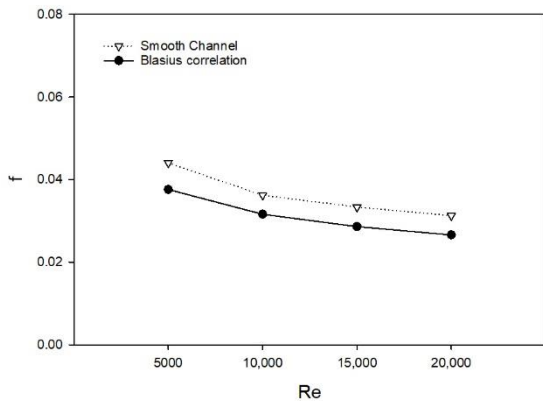
$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (6)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius มีสมการดังนี้

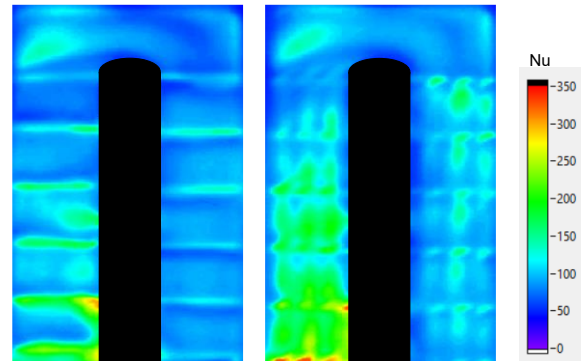
$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (7)$$



รูปที่ 2 การตรวจสอบค่า Nu ของช่องการไหลผิวเรียบ  
เทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter



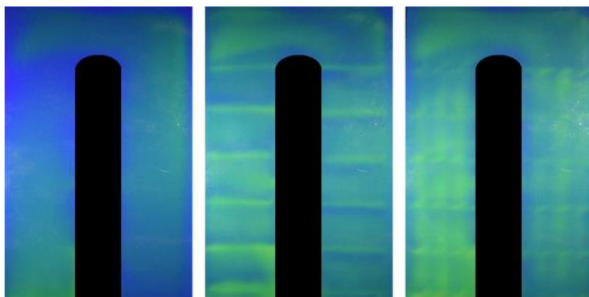
รูปที่ 3 การตรวจสอบค่า  $f$  ของช่องการไหลผิวเรียบ เทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius



รูปที่ 5 ค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) กรณีที่วางแผ่นกั้นตรงเทียบกับแผ่นกั้นบิด ที่  $Re = 20,000$

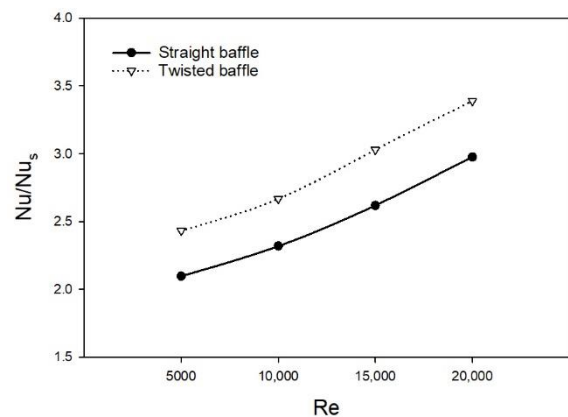
#### 4.2 การถ่ายเทความร้อน

ผลการทดลองที่ทำการบันทึกภาพผ่านแผ่นเทอร์โมโครมิคลิควิดคริสตัล (TLC) เพื่อให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวภายในช่องการไหล สามารถวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยพบว่ากรณีที่มีการวางแผ่นกั้นเพื่อช่วยสร้างความปั่นป่วนนั้นส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น โดยจากรูปที่ 2 จะพบว่ากรณีที่วางแผ่นกั้นจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า โดยรูปภาพที่ได้จากแผ่น TLC จะแสดงค่าในช่วงสีน้ำเงินอ่อนปนสีเขียวในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับกรณีช่องการไหลเรียบ (Smooth channel) ที่ไม่มีแผ่นกั้นจะเห็นความแตกต่างของอุณหภูมิที่เป็นสีน้ำเงินเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ



รูปที่ 4 ภาพถ่ายแผ่น TLC ของช่องการไหลทั้ง 3 รูปแบบ คือ ช่องการไหลผิวเรียบ ช่องการไหลวางแผ่นกั้นตรง และวางแผ่นกั้นบิด ตามลำดับ ที่  $Re = 20,000$

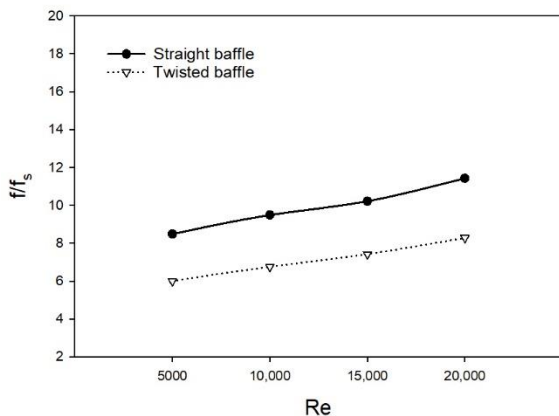
เมื่อทำการทดลองใช้แผ่นกั้นบิดที่มีอัตราส่วนการบิด ( $y/w$ ) เท่ากับ 3 เพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นตรง พบว่าช่องการไหลที่ติดตั้งแผ่นกั้นบิดสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแผ่นกั้นตรง เนื่องจากลักษณะของแผ่นกั้นบิดที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะการไหลของอากาศเมื่อกระทบแผ่นกั้น โดยลักษณะของแผ่นบิดที่มีช่องว่างให้อากาศไหลผ่านด้านล่างของแผ่นได้บางส่วน ขณะที่บางส่วนถูกทำให้เกิดความปั่นป่วน เนื่องจากอากาศได้สัมผัสกับบริเวณผนังช่องการไหลมากขึ้นจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ากว่าแผ่นกั้นตรง



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์

#### 4.3 ตัวประกอบความเสียดทาน

ในขณะที่การวางแผ่นกั้นแต่ละรูปแบบทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และแผ่นกั้นทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนด้วยจึงส่งผลให้ความเสียดทานในระบบก็เพิ่มขึ้นไปพร้อมกัน จึงจำเป็นที่จะต้องนำค่าตัวประกอบความเสียดทานนี้มาพิจารณาาร่วมด้วย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพรวมของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่อไป โดยจากการทดลองพบว่า แผ่นกั้นบิดให้ค่าความเสียดทานน้อยกว่าแผ่นกั้นตรงเนื่องจากลักษณะของแผ่นบิดที่มีอากาศไหลทั้งด้านบนและด้านล่างแผ่นบิดได้บางส่วน ค่าตัวประกอบความเสียดทานของการวางแผ่นกั้นตรงและแผ่นกั้นบิด ( $f/f_s$ ) เพิ่มขึ้นในช่วงระหว่าง 10.74-12.8 และ 7.6-9.27 เท่าของช่องการไหลผิวเรียบ ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มตัวประกอบความเสียดทานกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์

#### 5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบของแรงเสียดทานภายในช่องการไหลสี่เหลี่ยมแบบวกกลับที่มีการวางแผ่นกั้นบิดเพื่อสร้างความปั่นป่วนสามารถสรุป ได้ดังนี้

1. การวางแผ่นกั้นบิด อัตราส่วน ( $y/w$ ) เท่ากับ 3 ในช่องการไหลส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการวางแผ่นกั้นตรงธรรมดา และการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย

ค่าการถ่ายเทความร้อนของการวางแผ่นกั้นตรงและแผ่นกั้นบิด ( $Nu/Nu_s$ ) เพิ่มขึ้นในช่วงระหว่าง 2.09-2.97 และ 2.43-3.39 เท่าของช่องการไหลผิวเรียบ ตามลำดับ

2. แผ่นกั้นบิดให้ค่าความเสียดทานน้อยกว่าแผ่นกั้นตรง โดยค่าตัวประกอบความเสียดทานของการวางแผ่นกั้นตรงและแผ่นกั้นบิด ( $f/f_s$ ) เพิ่มขึ้นในช่วงระหว่าง 10.74-12.8 และ 7.6-9.27 เท่าของช่องการไหลผิวเรียบ ตามลำดับ

#### 6. สัญลักษณ์และอักษรย่อ

$Q$	อัตราการถ่ายเทความร้อน (watt)
$A$	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน ( $m^2$ )
$m$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
$C_p$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg C)
$T_i$	อุณหภูมิที่ทางเข้า ( $^{\circ}C$ )
$T_o$	อุณหภูมิที่ทางออก ( $^{\circ}C$ )
$T_w$	อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผนัง ( $^{\circ}C$ )
$T_b$	อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้าและทางออก ( $^{\circ}C$ )
$Re$	เลขเรย์โนลด์ส์
$\rho$	ความหนาแน่นของของไหล ( $kg/m^3$ )
$V$	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)
$D$	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ช่องการไหล (m)
$\mu$	ความหนืดของอากาศ ( $kg/m \cdot s$ )
$Nu$	เลขนัสเซลท์
$h$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2 C$ )
$k$	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $W/m C$ )
$f$	ตัวประกอบความเสียดทาน
$\Delta P$	ความดันตกคร่อมในช่องการไหล
$L$	ความยาวช่องการไหลที่ใช้ในการทดลอง (m)
$y$	ระยะห่างของช่วงการบิดใน 1 รอบ (m)
$w$	ความกว้างของแผ่นบิด (m)
$p$	ระยะห่างของแผ่นบิด (m)
$AR$	อัตราส่วนขนาดหน้าตัดช่องการไหล

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shyy Woei Chang and Jing Yan Gao (2014). Heat transfer enhancement by skewed wavy sidewall for two-pass ribbed channels with different aspect ratio, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.73, 2014, pp. 217–230.
- [2] Prashant Singh and Srinath Ekkad (2017). Experimental study of heat transfer augmentation in a two-pass channel featuring V-shaped ribs and cylindrical dimples, Applied Thermal Engineering, vol.116, 2017, pp. 205–216.
- [3] Chenglong Wang, Lei Wang and Bengt Sunden (2015). Heat transfer and pressure drop in a smooth and ribbed turn region of a two-pass channel, Applied Thermal Engineering, vol.85, 2015, pp. 225–233.
- [4] Sourabh Kumar, R. S. Amano and Jose Martinez Lucci (2013). Numerical simulations of heat transfer distribution of a two-pass square channel with V-tib turbulator and bleed holes, Heat Mass Transfer, vol.49, 2013, pp. 1141–1158.
- [5] Gongnan Xie, Xueting Liu, Hongbin Yan and Jiang Qin (2017). Turbulent flow characteristics and heat transfer enhancement in a square channel with various crescent ribs on one wall, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.115, 2017, pp. 283-295.
- [6] Natthaporn Kaewchoothong, Kittinan Maliwan, Chayut Nuntadusit and Takeishi Kenichiro (2017). Effect of Inclined Ribs on Heat Transfer Coefficient in Stationary Square Channel, Theoretical & Applied Mechanics Letters, vol.6, 2017, pp. 1-8.