

## การศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจัตุรัสด้วยการใส่ครีบบเอียงทำมุม

### Experimental Study on Heat Transfer Characteristics in a Square-Duct Heat Exchanger Inserted with Angle-Ribbed

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์<sup>1</sup>, สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์<sup>2</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>2\*</sup>,  
ณรงค์ศักดิ์ อากมานนท์<sup>3</sup> และ สมพล สกุลหลง<sup>4</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

<sup>3</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง, หมู่ 3 ตำบลหนองตะพาน อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

<sup>4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา 199 หมู่ 6 ตำบลทุ่งสุขลา อำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

\*ติดต่อ: E-mail: kpongje@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยการใส่ครีบบเอียงทำมุมในแนวแท่งมุมของท่อ การทดลองนี้ใช้ค่าความเร็วสอดคล้องกับตัวเลขเรย์โนลด์สอยู่ในช่วงระหว่าง 4000 ถึง 25,000 มีมุมปะทะ ( $\alpha=30^\circ$ ), ระยะพิตต์ต่อความสูงท่อ (อัตราส่วนระยะพิตต์,  $P/H=PR=2$ ), ความสูงครีบบต่อความสูงท่อ (อัตราส่วนการปิดกั้นการไหล  $e/H=BR=0.1, 0.15$  และ  $0.2$ ) ผลการทดลองนี้ได้นำเสนอค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของตัวเลขนัสเซลท์และค่าการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน จากการทดลองพบว่าการใส่ครีบบเอียงทำมุมจะให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีท่อผนังเรียบทุกกรณีศึกษา การใส่ครีบบเอียงทำมุมที่ค่า  $BR=0.2$  ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าการสูญเสียความดันสูงที่สุด แต่ที่ค่า  $BR=0.1$  จะให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

**คำหลัก:** การถ่ายเทความร้อน, เลขนัสเซลท์, ตัวประกอบเสียดทาน, ครีบบเอียงทำมุม

#### Abstract

This work presents an experimental study on heat transfer and pressure loss characteristics in a square-duct inserted diagonally with angle-ribbed. The experiments are carried out by varying the airflow rate in terms of Reynolds number based on the hydraulic diameter of the duct ranging from 4000 to 25,000. The ribs attack angle, ( $\alpha=30^\circ$ ) was mounted in tandem, the ribs pitch to duct height ratio or pitch ratio ( $P/H=PR=2$ ). The effect of three rib to duct height ratios or blockage ratio ( $e/H=BR=0.1, 0.15, 0.2$ ) on heat transfer and pressure loss in the duct are investigated which presented in terms of Nusselt number

## TSF-255

and friction factor respectively. The experimental result reveals that the insertion of the angle-ribs provides considerably higher heat transfer and pressure loss values than the smooth duct for all cases. The rib with BR=0.2 gives the highest heat transfer and pressure loss, but the one at BR=0.1 yields the maximum thermal enhancement factor.

**Keywords:** Heat Transfer, Nusselt Number, Friction Factor, Angle-ribbed

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเข้ามามีบทบาทในสังคมมากขึ้นและมีนโยบายจากภาครัฐให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถนำพลังงานมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่าที่สุด โดยอุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ซึ่งการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรือช่วยลดการปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศโดยการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงขึ้น จากการศึกษาพบว่าตัวแปรสำคัญสำหรับการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้สมรรถนะสูงขึ้นคือการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ให้สูงขึ้นในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นไม่สูงมาก ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

Eiamsa-ard และคณะ [1] ทำการศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความสูญเสียจากการสอโตไบบิตเดี่ยว ไบบิตคู่ที่มีอัตราส่วนการบิด 3 ค่า ( $y/W=3.0, 4.0$  และ  $5.0$ ) และไบบิตคู่แบบแยกตัวที่อัตราส่วนการเว้นระยะ 3 ค่า ( $s/D=0.75, 1.5$  และ  $2.25$ ) ภายใต้สภาวะพลาจค์ความร้อนที่ผิวคงที่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ 4000-19000

Promvong [2] ได้รายงานถึงผลกระทบจากการใช้ลวดขดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อภายใต้พลาจค์ความร้อนที่ผิวคงที่ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับกรณีท่อที่ใช้ลวดขดหน้าตัดรูปวงกลม

ชมภูคำ และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นครีบริบทรง

W โดยแผ่นครีบริบทำการทดสอบที่มุมปะทะของครีบริบ  $\alpha$  3 ค่า คือ  $10^\circ, 15^\circ$  และ  $20^\circ$  โดยมีสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ ( $PR=P/H=1$ ) และสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงท่อ ( $e/H=0.2$ ) และมีช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ 4000-25,000.

### 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซลล์ (Nu) และการสูญเสียความดันของพัดลม ในรูปตัวประกอบเสียดทาน (f) โดยมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

พลังงานของพัดลม

$$\dot{W}_p = Q\Delta P \quad (1)$$

$$\Delta P = \rho gh \quad (2)$$

สมการการถ่ายเทความร้อน การสมดุลพลังงานกรณีพลาจค์ความร้อนคงที่

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_b) \quad (3)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re)

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (4)$$

ค่าตัวเลขนัสเซลล์ (Nu)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f)

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho \bar{V}^2} \quad (6)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF<sub>pp</sub>)

$$TEF_{pp} = (Nu/Nu_o)/(f/f_o)^{1/3} \quad (7)$$

### 3. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

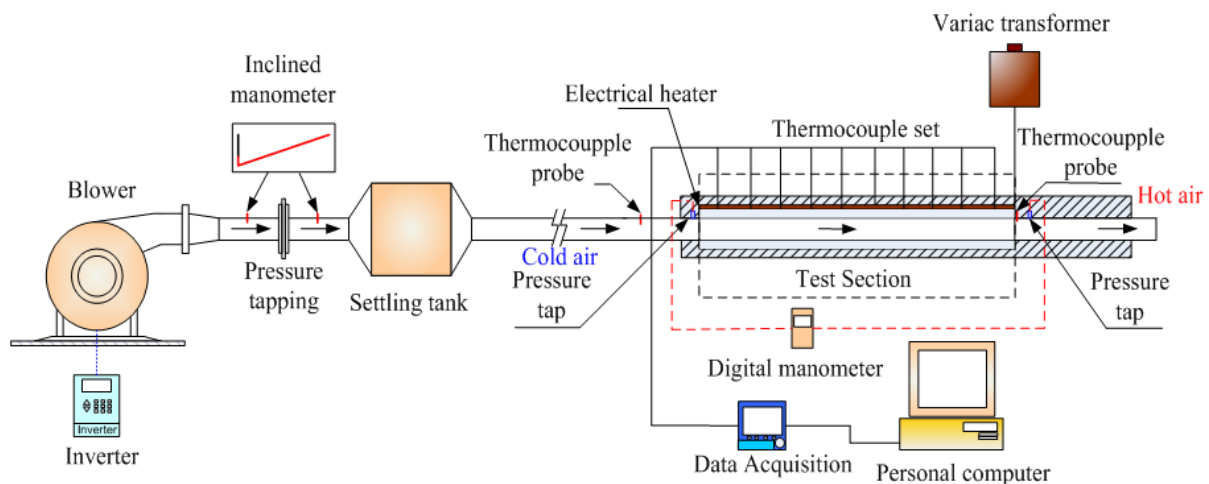
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานถูกจ่ายจาก

## TSF-255

พัดลมความดันสูงขนาด 1.45 kW ความเร็วของพัดลมสามารถกระทำได้โดยการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่นออริฟิต โดยใช้manoมิเตอร์แบบเอียง ผนังด้านนอกของช่วงท่อทดสอบทำการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลังความร้อนที่ผิวคงที่ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 28 ตัวติดตั้งที่ผนังด้านบน ด้านล่าง และด้านข้างของท่อ สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวตลอดแนวของช่วงทดสอบ และอีก 2 ตัว ติดตั้งที่บริเวณทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ ใช้สำหรับวัด

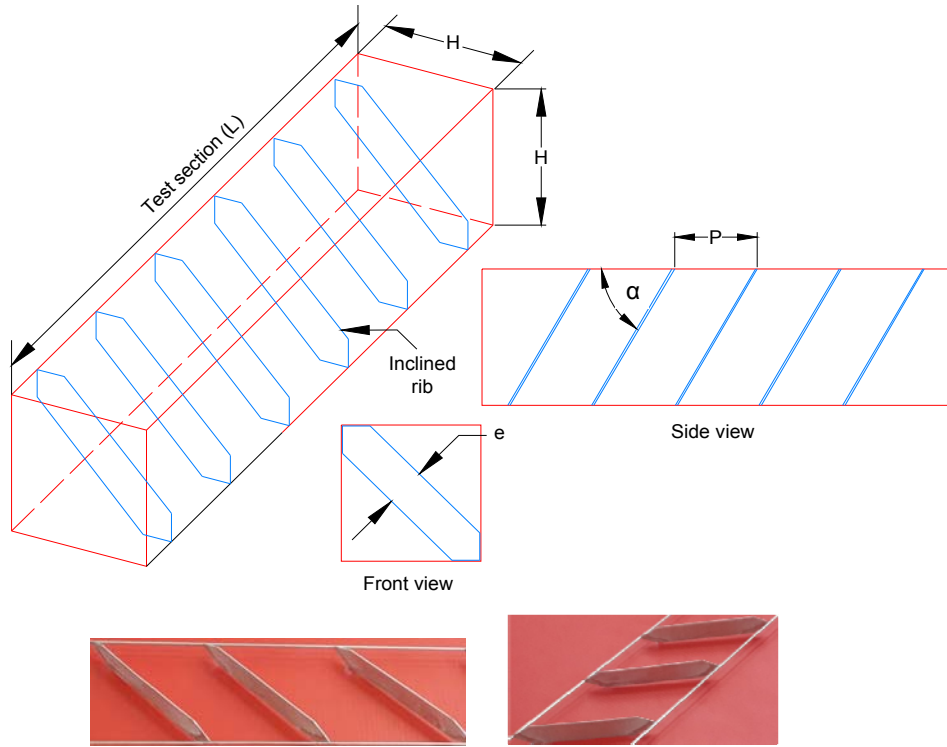
อุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ เครื่องบันทึกข้อมูลจะทำหน้าที่บันทึกค่าอุณหภูมิทั้งหมด และจะแสดงผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ค่าความดันตกคร่อมช่วงท่อทดสอบวัดค่าโดยเครื่องวัดความดันแตกต่างแบบดิจิตอล การทดสอบอยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 4000–25,000

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของแผ่นครีบเอียงทำมุมที่ใช้สำหรับสอดใส่ในท่อเพื่อทำการทดสอบ แผ่นครีบทำจากแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.3 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนระยะพิตต์ (PR=2.0), อัตราส่วนการปิดกั้นการไหล (BR=0.1, 0.15, 0.2)



รูปที่ 1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง

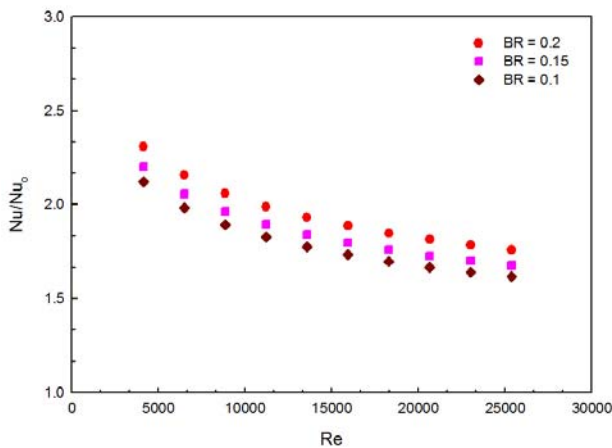
TSF-255



รูปที่ 2 ลักษณะครีบบเอียง

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

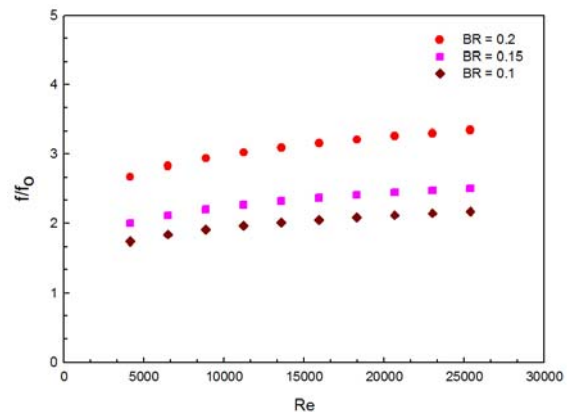
ผลของการทดลองแสดงในรูปความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $Nu/Nu_0$  กับ  $Re$

รูปที่ 3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $Nu/Nu_0$  กับ  $Re$  ที่มีการใส่ครีบบเอียงทำมุมที่มีค่า  $BR=0.2, 0.15$  และ  $0.1$  จากรูปพบว่าค่า  $Nu/Nu_0$  มีค่าลดลงเมื่อค่า  $Re$  เพิ่มสูงขึ้น ท่อที่ใส่ครีบบเอียงทำมุมที่มีค่า  $BR$  สูงจะ

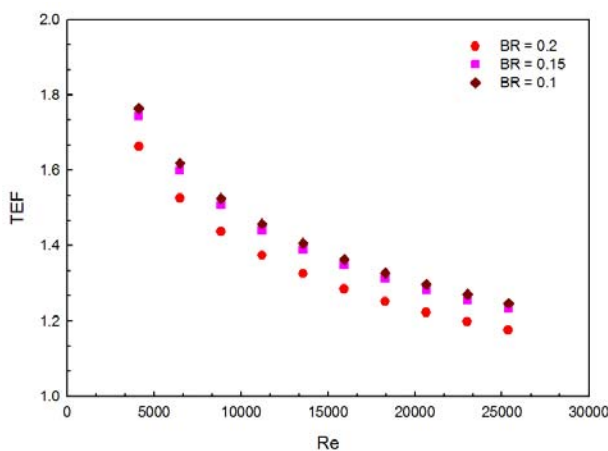
ให้ค่า  $Nu/Nu_0$  มากกว่าที่ค่า  $BR$  ต่ำกว่า เพราะว่าครีบบเอียงทำมุมที่มีค่า  $BR$  สูงจะไปขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการปะทะเกิดการไหลแบบหมุนควงที่รุนแรงกว่าที่ค่า  $BR$  ต่ำ ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้ได้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า ครีบบเอียงทำมุมที่มีค่า  $BR=0.2, 0.15$  และ  $0.1$  ให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบ เท่ากับ 2.3, 2.2 และ 2.1 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่าง  $f/f_0$  กับ  $Re$

## TSF-255

รูปที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $f/f_0$  กับ  $Re$  ที่ใส่ครีบบีบเอียงมุมที่ค่า  $BR = 0.2, 0.15$  และ  $0.1$  พบว่า ค่า  $f/f_0$  เพิ่มสูงขึ้นตามค่า  $Re$  เมื่อใส่ครีบบีบเอียงที่มีค่า  $BR$  สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า  $f/f_0$  เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากครีบบีบเอียงที่มี  $BR$  สูงจะไปบล็อกการไหลมากกว่าครีบบีบเอียงที่มีค่า  $BR$  ต่ำกว่า งามไปถึงผลของการไหลแบบย้อนกลับ ครีบบีบเอียงมุมที่ค่า  $BR = 0.2, 0.15$  และ  $0.1$  ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบเท่ากับ 3.7, 2.5 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ  $Re$

รูปที่ 5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ  $Re$  พบว่าเมื่อใส่ครีบบีบเอียงที่ค่า  $BR$  ลดลง มีผลทำให้ TEF สูงขึ้น โดยครีบบีบเอียงที่ค่า  $BR=0.1$  จะให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.76 ในช่วงค่า  $Re$  ที่ต่ำและค่อยๆ ลดลงที่ค่า  $Re$  เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ครีบบีบเอียงทำมุมที่มีค่า  $BR=0.15$  และ  $0.2$  ให้ค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.74 และ 1.66 ตามลำดับ

### 5. สรุปผลการทดลอง

การถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบเสียดทาน และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นครีบบีบเอียงทำมุม  $30^\circ$  ในช่วงค่า  $Re=4000-25,000$  ที่  $BR$  ต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การติดตั้งครีบบีบเอียงทำมุมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น โดยเฉพาะที่  $BR=0.2$  มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด
2. การติดตั้งครีบบีบเอียงทำมุมที่ค่า  $BR=0.1$  ให้ค่า TEF สูงสุด เนื่องจากให้ค่าตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่า  $BR=0.15$  และ  $0.2$  ค่อนข้างมาก สำหรับการประยุกต์ควรเลือกใช้ครีบบีบเอียงที่  $BR=0.1$  เพราะให้ค่า TEF สูงสุด

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Eiamsa-ard, S. Thianpong, C. Eiamsa-ard, P. and Promvong, P. (2010). Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 37, 2010, pp. 39–46.
- [2] P. Promvong, (2008). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, Energy Conversion and Management, vol. 49, 2008, pp. 980–987.
- [3] ชีรพัฒน์ ชมภูคำ, สิริสวัสดิ์ จีงเจริญนิรรช และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2556). คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งแผ่นครีบบีบเอียง W, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดนครนายก.