การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

# การคำนวณการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในช่องสี่เหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างของช่วงร่องบนผนังด้านล่าง

Numerical heat transfer and pressure drop in a rectangular channel with different shapes of periodically grooved parts on the bottom side

วาโย ช้างเจริญ $^{1*}$  สมิทธ์ เอี่ยมสอาด  $^1$  และ พงษ์เจต พรหมวงศ์  $^2$ 

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร หนองจอก กรุงเทพฯ 10530

โทร 0-2988-3666 ต่อ 241 โทรสาร 0-2988-3666 ต่อ 241 <sup>\*</sup>อีเมล์ popkmitl@yahoo.com

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ

10520

โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4197 อีเมล์ kppongje@kmitl.ac.th

Wayo Changcharoen<sup>1\*</sup>, Smith Eiamsa-ard<sup>1</sup> and Pongjet Promvonge<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakron university of Technology,

Bangkok, 10530, Thailand

Tel: 0-2988-3666 ext 241, Fax: 0-2988-3666 ext 241, \*E-mail: popkmitl@yahoo.com

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang,

Lardkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4197, E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ด้วยการคำนวณการถ่ายเทความร้อน และความดัน ตกคร่อม ในช่องสี่เหลี่ยมที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของช่วงร่องบนผนัง ้ด้านล่าง ให้ความร้อนที่ผนังทั้งหมดของช่วงร่อง มีการไหลแบบปั้นป่วน และมีลักษณะการไหลแบบ 2 มิติ (ซึ่งดำเนินการวิเคราะห์ในช่วงตัวเลข เรย์โนลดส์ 12000 ถึง 22000) โดยเบื้องต้นได้ศึกษาถึง ความเหมาะสม ของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน 2 แบบ คือ แบบจำลอง SST  $k-\omega$  และ RNG  $k-\varepsilon$  เทียบกับผลการทดลองของการไหลผ่าน ร่องสี่เหลี่ยมตามขวางในเอกสารอ้างอิง ซึ่งให้ผลลัพธ์ของการทำนาย การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ กับช่องเปล่า และพบว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG k-arepsilonสอดคล้องกันดีกับผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ SST  $k-\omega$  ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการไหลผ่านช่วงร่องที่มีรูปร่างต่างกัน 5 รูปแบบ ด้วยการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG  $k-\varepsilon$  เพื่อ เปรียบเทียบถึงผลของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และดรรชนี้บ่งสมรรถนะ

A computational analysis of heat transfer and pressure drop due to various periodically grooved parts on the bottom side, heated all wall of periodically grooved parts for turbulent flow by assuming two-dimensional (Reynolds number range 12,000-22,000) has been carried out. RNG  $k - \varepsilon$  turbulence model is selected by comparing the predictions of SST  $k - \omega$  turbulence model with experimental results available in the literature. The results predict a significant enhancement of heat transfer in comparison to that for a smooth surface. There is a good matching between the predictions by RNG  $k - \varepsilon$  and experimental results. In this work, five different shapes of periodically grooved parts are examined using RNG  $k - \varepsilon$ model and compared on the basis of heat transfer enhancement, friction characteristics and performance index.

#### สัญลักษณ์

Nu ตัวเลขนัสเซลท์ =  $hD / k_{air}$ 

#### Abstract

H	ความสูงของช่องทางไหล
D	ความยาวบ่งลักษณะ = 2 <i>H</i>
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = $Q/\Delta t A$
k <sub>air</sub>	ค่าการนำความร้อนของอากาศ
Re	ตัวเลขเรย์โนลดส์ = $ ho vD/\mu$
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ
μ	ความหนืดสัมบูรณ์
v	ความเร็วเฉลี่ยที่ทางเข้าช่องทางไหล
$y^+$	ระยะห่างไร้มิติจากผนัง (= $ ho u_{ au} y/\mu$ )
$\Delta p$	ความดันตกคร่อม
$L_f$	ช่วงความยาวที่ใช้วัดค่าของความดันตกคร่อม
p/e	ระยะห่างของความขรุขระสัมพัทธ์
е	ความสูงของริบ หรือความลึกของร่อง

#### 1. บทนำ

พื้นผิวขรุขระที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อส่งผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อน มีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างหลากหลาย เช่น ใน ช่องหล่อเย็นของใบกังหันแก๊ส เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่อง ปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และในเครื่องให้ความร้อนสู่อากาศด้วยแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการศึกษาด้วยการทดลองจำนวนมากในเรื่องนี้ แต่มีความพยายาม ในการตรวจสอบด้วยผลของการคำนวณน้อยมาก อันเนื่องมาจาก ฐปแบบของการไหลที่ซับซ้อน และมีข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ ใน งานวิจัยนี้มีความพยายามในการทำนายผลเชิงตัวเลข เทียบกับผลที่ได้ จากการทดลองของการไหลผ่านแถวของร่องที่วางตัวตามขวาง ซึ่งมี จุดเด่นคือให้ค่าของความดันตกคร่อมต่ำ เมื่อเทียบกับการไหลผ่านแถว ของริบ (rib) ที่มีเงื่อนไขการไหลเดียวกัน การไหลผ่านแถวของร่อง สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้เนื่องจาก มีการขัดขวางชั้นความ หนาแบบราบเรียบ ทำให้เกิดการไหลแบบปั้นป่วน มีการไหลแยกตัว แล้วตกกระทบพื้นผิว และนำไปสู่ค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความ ร้อนที่สูงขึ้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องนี้ เช่น

Lorenz และคณะ [1] ได้ศึกษาด้วยการทดลองอย่างละเอียดของ การไหลผ่านแถวของร่องที่มีการไหลแบบปั่นป่วน โดยพิจารณาวัดค่า การถ่ายเทความร้อนที่ผนังด้านข้างของร่องด้วย โดยมีค่า *p/e* = 4 และ *p/H* = 2 พวกเขาสรุปว่า การไหลเริ่มเกิดซ้ำเป็นช่วงๆ (periodic) ทางความร้อน หลังจากริบตัวที่ 5 จุดหยุดนิ่งที่เกิดการแยก ไหลนั้น เกิดขึ้นที่ขอบด้านหน้าของริบ ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนเฉพาะถิ่นเกิดขึ้นที่จุดหยุดนิ่ง และค่าน้อยสุดเกิดขึ้นที่ ผนังด้านหลังของริบ

Tanda [2] ได้ตรวจสอบด้วยการทดลองผลของการถ่ายเทความ ร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่มีริบวางตามขวาง และริบแบบแยกตัวรูปตัววี โดย ใช้ ลิควิดคริสตอล (liquid crystal) เขาสรุปว่าลักษณะการกระจายตัว ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างริบ สัมพันธ์กันอย่างมาก กับรูปร่าง และเรขาคณิตของริบ สำหรับริบที่เรียงด้วอย่างต่อเนื่องตาม แนวขวางกับการไหล ค่าสูงสุดสัมพัทธ์อยู่ที่บริเวณด้านท้ายกระแสของ แต่ละริบ (เนื่องจากการไหลตกกลับสู่พื้นผิว) Chaube และคณะ [3] ได้ศึกษาด้วยการคำนวณโดยใช้โปรแกรม FLUENT 6.1 และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลองของ Tanda [2] ที่ มีการไหลผ่านแถวริบเรียงตัวตามขวางมีค่า p/e = 13.3, p/H = 2ที่ Re = 8900 โดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ SST  $k - \omega$ ซึ่งเหมาะสมกว่าแบบจำลองการไหลแบบอื่นๆ พวกเขาสรุปว่า การ วิเคราะห์ด้วยการไหลแบบ 2 มิติ เข้ากันได้ดีกับผลของการทดลอง เนื่องจากสามารถละทิ้งผลของการไหลขั้นที่สองได้ และในบริเวณ ระหว่างริบ ค่าสูงสุดของการถ่ายเทความร้อนเฉพาะถิ่น และความเข้ม ของความปั่นป่วน เกิดขึ้นที่จุดตกกระทบ และค่าการถ่ายเทความร้อน เริ่มเกิดเป็นช่วงๆ ทางความร้อน ระหว่างริบตัวที่ 3 และ 4 ซึ่ง สอดคล้องกับผลของการทดลอง

Jaurker และคณะ [4] ได้ศึกษาด้วยการทดลองการถ่ายเท ความร้อนและลักษณะของความเสียดทาน ของการไหลผ่านริบที่มีร่อง สามเหลี่ยมอยู่ระหว่างริบ ซึ่งเรียกว่า ริบ-ร่อง ในช่วงตัวเลขเรย์โนลดส์ 3000 ถึง 21000 *e*/*H* ในช่วง 0.0181-0.0363, p/e ในช่วง 4.5-10 และตำแหน่งของร่องต่อระยะห่างระหว่างริบอยู่ในช่วง 0.3-0.7 พวก เขาสรุปว่า ด้วยตำแหน่งการวางตัวของริบและร่องที่เหมาะสม สัดส่วน ของตัวเลขนัสเซลท์สัมพัทธ์สูงถึง 2.7 ขณะที่ความเสียดทานสัมพัทธ์มี ค่า 3.6 ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีต่อการถ่ายเทความร้อน

จุดมุ่งหมายหลักของการเสนองานวิจัยนี้คือ การตรวจสอบการไหล และลักษณะการถ่ายเทความร้อน ที่มีการไหลแบบปั่นป่วนแบบ 2 มิติ ของของไหลผ่านท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม ที่มีแถวของร่องวางตัวตามขวางที่ ผนังด้านล่าง มีการให้ความร้อนแบบอัตราคงที่ทุกพื้นผิวของร่องและริบ ซึ่งได้วิเคราะห์โดยการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนที่เหมาะสม เทียบกับ ผลการทดลองของ Lorenz และคณะ [1] ซึ่งพวกเขาได้ทำการวัดค่า ของตัวเลขนัสเซลท์ที่ผนังด้านข้างของร่องด้วย และเสนอการปรับปรุง รูปร่างของร่องเพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น

### 2. ขอบเขตของการแก้ปัญหา

ขอบเขตของการแก้ปัญหา มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) และรูปที่ 2 (ข) แสดงกริดแบบสี่เหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ ที่มีความหนาแน่น สูงในบริเวณผิวร่องและริบ พร้อมด้วยการใช้กริดสำหรับ y<sup>+</sup> ≈ 1 ที่ ติดกับบริเวณใกล้ๆ ผนัง ซึ่งใช้เพื่อแก้ปัญหาชั้นความหนาแบบ ราบเรียบ (y<sup>+</sup> < 5) ซึ่งได้ขยายรูปเพื่อแสดงให้เห็นรายละเอียดของ กริดเซลล์ในกรอบเส้นประของรูป ที่ 1 (ก) ซึ่งการศึกษานี้มีขอบเขตการ วิเคราะห์เทียบกับรายละเอียดจากการทดลอง ที่นำข้อมูลมาจาก Lorenz และคณะ [1] ดังนี้

ความสูงของช่องทางไหล = H = 40 มิลลิเมตร ความลึกของร่อง = e = 20 มิลลิเมตร = 0.5H ความกว้างของริบ = s = 40 มิลลิเมตร = H อัตราส่วนของระยะห่างริบ (p) ต่อความสูง = p/e = 4 ความยาวทางเข้า = 600 มิลลิเมตร = 15H ริบและร่องมีการให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ = 50  $W/m^2$ ความกว้างของท่อ (B) = 800 มิลลิเมตร = 20H







ร**ูปที่ 1.** (ก) เรขาคณิตของท่อและ ร่อง-ริบ ที่มีริบ 8 แถว (ข) กริด สี่เหลี่ยมไม่สม่ำเสมอมีความหนาแน่นกริดสูงใกล้ผนัง

อัตราส่วนบ่งลักษณะ (Aspect ratio)	= B/H = 20		
ระยะห่างระหว่างริบ ( <i>p</i> )	= 80 มิลลิเมตร = 2 <i>H</i>		
ความยาวของส่วนทดลอง	= 680 มิลลิเมตร = 16 <i>H</i>		
ความยาวช่วงทางออก	= 400 มิลลิเมตร=10 <i>H</i>		
ตัวเลขเรย์โนลดส์	= Re = 12000 และ 22000		
ระยะการวัดค่าของตัวเลขนัสเซลท์ไปตามผิวของริบ-ร่อง = L			

## 3. สมการควบคุม และวิธีการจำลองเชิงตัวเลข

การจำลองเชิงตัวเลขแบบ 2 มิติ (สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นการ ใหลแบบ 2 มิติ เนื่องจากข้อมูลจากการทดลองของอัตราส่วนบ่ง ลักษณะช่องทางไหลมีค่าสูงคือ *B / H* = 20) โดยใช้โปรแกรม การคำนวณการไหล FLUENT 6.1 สำหรับการถ่ายเทความร้อน ทุกๆ พื้นผิวของร่องพิจารณาว่ามีการให้ความร้อนในอัตราคงที่ และมีสมการ ควบคุมดังนี้

 $\frac{\alpha \lambda n r s_{2} \delta n \delta v_{1} \delta v_{2}}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\rho \vec{v}\right) = 0$ (1)

<u>สมการอนุรักษ์โมเมนตัม</u>

$$\frac{\partial(\rho\vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\rho\vec{v}\vec{v}\right) = \rho g - \nabla p - \nabla \cdot \left(\overline{\overline{\tau}}\right)$$
<sup>(2)</sup>

$$\frac{\underline{a}\underline{u}\underline{n}\underline{r}\underline{s}\underline{n}\underline{v}\underline{v}\underline{v}\underline{v}}{\partial t} + \nabla \cdot \left( \vec{v} \left( \rho E + p \right) \right) = \nabla \cdot \left( k_{eff} \nabla T + \left( \overline{\overline{t}}_{eff} \cdot \vec{v} \right) \right)$$
(3)

เมื่อ

$$\overline{\overline{\tau}} = \mu \left( \left( \nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T \right) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right)$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

$$\qquad \text{язллтялтя візвічни цийлави RNG } k - \varepsilon$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M$$

$$(4)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon v_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b)$$

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho\varepsilon v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \alpha_{\varepsilon} \mu_{eff} \frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_{\varepsilon} + S_{\varepsilon}$$
(5)

สมการการส่งถ่ายสำหรับแบบจำลอง SST  $k-\omega$ 

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k$$
(6)  
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega$$
(7)

ความหมายเพิ่มเติมของแต่ละพจน์ในแบบจำลอง SST  $k-\omega$ และ RNG  $k-\varepsilon$  มีอธิบายในเอกสารของ FLUENT [5]

วิธีปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume methods) ด้วยกริดโครงสร้าง นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการไหล 2 มิติ แบบคงตัว ไม่อัดตัว ในสมการ นา วิเยร์ –สโตคส์ การคู่ควบของความเร็วและความดัน ใช้อัลกอริธึมแบบ SIMPLE และใช้กริดแบบสี่เหลี่ยม เงื่อนไขขอบเขตของการคำนวณใช้ เงื่อนไขเดียวกันกับการทดลองที่อ้างอิง และที่ทุกพื้นผิวเป็นแบบไม่ลื่น ไถล เงื่อนไขขอบทางเข้าเป็นชนิดป้อนค่าความเร็วทางเข้า และความ ดันที่ทางออกเท่ากับความดันบรรยากาศ

## 4. เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณกับการทดลอง

ในการเลือกแบบจำลองความปั่นป่วนที่เหมาะสม วิเคราะห์โดย การเปรียบเทียบการทำนายผล ด้วยแบบจำลองเซิงตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำ ได้แก่ SST *k*-ω และ RNG *k*-ε เนื่องจากแบบจำลองเซิง ตัวเลขเรย์โนลดส์ต่ำดังกล่าวนี้ สามารถนำมาใช้ได้ดีสำหรับบริเวณ ใกล้ๆ ผนังของร่อง และ ริบ ซึ่งแบบจำลองเชิงตัวเลขเรย์โนลดส์สูงไม่ เหมาะสมกับบริเวณดังกล่าวนี้ [3]





ร**ูปที่ 2.** แสดงอิทธิพลของจำนวนกริดเซลล์ ต่อค่าของการกระจายของ ตัวเลขนัสเซลท์เฉพาะถิ่นไปตามผิวริบตัวที่ 7

สำหรับการทดสอบความเป็นอิสระจากจำนวนกริดเซลล์ ของการ ใหลผ่านแถวของร่อง แสดงในรูปที่ 2. ซึ่งวัดค่าของตัวเลขนัสเซลท์ไป ตามผิวของริบโดยมีทิศทางการวัดตามรูปที่ 1 (ก) ตามระยะ *L* บนริบ ตัวที่ 7 โดยใช้จำนวนของกริดเซลล์เปลี่ยนค่าจาก 50960 จนถึง 200722 ซึ่งพบว่าหลังจากเพิ่มจำนวนกริดเซลล์ ให้มากกว่า 154902 แล้วจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการกระจายตัวเลขนัสเซลท์เฉพาะถิ่น ซึ่ง ในการศึกษาขั้นต่อไปจะนำค่าความหนาแน่นของกริดเซลล์และลักษณะ การสร้างกริดที่เหมาะสมดังกล่าวนี้มาใช้ในการคำนวณ



ร**ูปที่ 3.** แสดงอิทธิพลของแบบจำลองความปั่นป่วนต่อการกระจายของ



รูปที่ 3. เปรียบเทียบผลการคำนวณการไหลผ่านแถวของร่องโดย ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ SST *k* – *ω* และแบบ RNG *k* – *ε* เทียบกับผลการทดลอง ซึ่งพบว่าการทำนายผลด้วยแบบจำลอง RNG *k* – *ε* สอดคล้องกันระหว่างผลการคำนวณและผลการทดลอง โดยที่รูป ที่ 3 (ก) ที่ตัวเลขเรย์โนลดส์ 12000 แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG *k* – *ε* ทำนายผลได้ดีที่บริเวณผิวริบ แต่ให้ค่าการกระจาย ตัวเลขนัสเซลท์สูงกว่าการทดลองเล็กน้อยที่บริเวณผิวร่อง และเมื่อค่า ของตัวเลขเรย์โนลดส์สูงขึ้นเป็น 22000 แสดงในรูปที่ 3.(ข) แบบจำลอง RNG *k* – *ε* ทำนายผลได้ดีที่บริเวณผิวของร่อง แต่ให้ค่าการกระจาย ตัวเลขนัสเซลท์สู่งกว่าการทดลองเล็กน้อยที่บริเวณผิวร่อง ด้วยเหตุนี้ การศึกษาในขั้นต่อไป จะทำการคำนวณในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 12000 ถึง 22000 ซึ่งเป็นช่วงเหมาะสมที่ให้ค่าการทำนายผลด้วยการ คำนวณสอดคล้องกับการทดลอง



ร**ูปที่ 4.** แสดงการกระจายค่าของตัวเลขนัสเซลท์เฉพาะถิ่นบนผิวริบ ทั้ง 8 ริบ

รูปที่ 4. แสดงให้เห็นว่า การกระจายค่าของตัวเลขนัสเซลท์ เฉพาะถิ่น เริ่มซ้ำเป็นช่วงๆ (periordic) ทางความร้อน หลังจากริบตัวที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองของ Lorenz และคณะ [1] ดังนั้นในการคำนวณหาค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย จะใช้ค่าเฉลี่ยจากทุก พื้นผิวของบริเวณริบตัวที่ 7

## อิทธิพลของรูปร่างของร่องต่อการถ่ายเทความร้อนและ ความดันตกคร่อม

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของตัวเลขนัสเซลท์ ไปตามผิวริบ และ ร่อง ในรูปที่ 3. พบว่าค่าของตัวเลขนัสเซลท์มีค่าสูงมากบริเวณ ด้านหน้าและผิวบนของริบ แต่มีค่าต่ำในบริเวณร่อง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ จะปรับปรุงรูปร่างของริบและร่อง เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพต่อ การถ่ายเทความร้อน ดังนี้



รูปที่ 5. แสดงรูปร่างแบบต่างๆ ของริบ โดยตัดตามแนวเส้นประ

รูปที่ 5. แสดงรูปร่างของริบ ที่แตกต่างกัน 4 แบบ เพื่อนำไปใช้ใน การเพิ่มประสิทธิภาพของการ ถ่ายเทความร้อน ด้วยการปาดผิวทาง ด้านหน้าของริบ เพื่อเพิ่มบริเวณการปะทะการไหลให้มากขึ้น





พิจารณา รูปที่ 6. สังเกตพบว่า ในแต่ละค่าของตัวเลขเรย์โนลดส์ ที่พิจารณา ค่าของริบที่มีอัตราส่วน c/e = 1.0 ให้ค่าของสัดส่วนของ  ตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยเทียบกับช่องเปล่า มีค่าสูงที่สุดและใกล้เคียงกัน มากกับค่า c/e = 1.5 และ 2.0 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าของตัวเลข เรย์โนลดส์เพิ่มขึ้น โดยที่ข้อมูลของการวัดค่าการถ่ายเทความร้อน สำหรับการให้ความร้อน ที่ผิวล่างของช่องเปล่าเสนอโดย Sparrow และ คณะ [6] ซึ่งเหมาะสมในช่วงตัวเลขเรย์โนลดส์ 10000 ถึง 120000 มี สมการดังนี้



(8)

ร**ูปที่ 7.** แสดงเส้นชั้นของความเข้มของความปั่นป่วน (%) ระหว่างริบ ตัวที่ 7-8 ที่ Re=12000 (ก) การไหลผ่านร่อง (ข) การไหล ผ่านริบที่มี c/e = 1.0

ซึ่งเมื่อพิจารณา รูปที่ 7. แสดงเส้นชั้นของความเข้มของ ความปั้นป่วน (%) เห็นได้อย่างชัดเจนว่า บริเวณของความเข้มของ ความปั้นป่วนของริบที่ c/e = 1.0 มีพื้นที่และกระจายตัวมากกว่า กรณี การไหลผ่านร่อง ซึ่งมีสาเหตุมาจากของไหล ไหลมาปะทะบริเวณ ด้านหน้าของริบ แล้วเกิดกระแสวนขนาดใหญ่ ในบริเวณร่องทาง ด้านหลังริบ ซึ่งครอบคลุมบริเวณกว้าง และส่งผลให้เกิดความปั้นป่วน สูง ค่าของตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยจึงเพิ่มสูงขึ้น





ตัวเลขเรย์โนลดส์สำหรับรูปแบบที่แตกต่างกันของริบ เมื่อกระแสวนมีขนาดใหญ่ขึ้นและครอบคลุมบริเวณกว้าง ค่าของ ความดันตกคร่อมจึงมีขนาดสูงขึ้นตาม เนื่องจากกระแสวนที่เกิดขึ้นไป ขวางการไหลหลัก ซึ่งสังเกตเห็นได้จากค่าของกราฟ ในรูปที่ 8. และ พบว่า ริบที่มีค่า c/e = 2 มีค่าของสัดส่วนปัจจัยแห่งความเสียดทานสูง ที่สุดที่ทุกค่าของตัวเลขเรย์โนลดส์ และมีแนวโน้มลดลง เมื่อตัวเลขเรย์ โนลดส์สูงขึ้น ซึ่งรูปร่างริบแบบอื่นๆ ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยที่ค่า ของปัจจัยแห่งความเสียดทาน (friction factor) ของช่องทางไหลเปล่า ที่เสนอโดย Dean [7] มีสมการดังนี้

$$f_{plane} = 0.0868 \,\mathrm{Re}_D^{-1/4} \tag{9}$$

้ค่าของตัวเลขที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน ้คือ ดรรชนีบ่งสมรรถนะ (Efficiency index) ซึ่งมีสมการดังนี้

 $Nu = hD / k_{air}$ 

$$\frac{Nu / Nu_{plane}}{\left(f / f_{plane}\right)^{1/3}}$$
(10)

(11)

(12)

โดยที่



รูปที่ 9. กราฟระหว่างดรรชนีบ่งสมรรถนะและตัวเลขเรย์โนลดส์ สำหรับรูปแบบที่แตกต่างกันของริบ

พิจารณารูปที่ 9. ซึ่งแสดงถึงค่าของดรรชนีบ่งสมรรถนะและ ้ตัวเลขเรย์โนลดส์ สำหรับรูปแบบที่แตกต่างกันของริบทั้ง 5 แบบ สังเกตเห็นได้ว่า มีเพียงค่าของริบที่ c/e = 1.0 เท่านั้นที่ให้ค่าของ ดรรชนีบ่งสมรรถนะ สูงกว่าค่าจากการใหลผ่านแถวของร่อง เนื่องจาก ้ค่าของสัดส่วนตัวเลขนัสเซลท์ของริบที่ c/e = 1.0, 1.5, 2.0 มีค่าสูงและ ใกล้เคียงกัน (ซึ่งสูงกว่าค่าจากการไหลผ่านแถวของร่อง) แต่ค่าของ สัดส่วนปัจจัยแห่งความเสียดทานของริบที่ c/e = 1.0 มีค่าต่ำกว่า จึง ส่งผลให้ค่าของดรรชนีบ่งสมรรถนะมีค่าสูงที่สุด และในแต่ละรูปแบบที่ มีแนวโน้มของค่าดรรชนีบ่งสมรรถนะลดลงเมื่อ แตกต่างกันของริบ ตัวเลขเรย์โนลดส์สูงขึ้น

### สรป

การเสนอการวิเคราะห์การไหลด้วยการคำนวณในช่องทางไหลที่มี การให้ความร้อนกับร่องตามขวางที่วางตัวอยู่ที่ผนังด้านล่าง ด้วยการ เลือกแบบจำลองความปั่นป่วนที่เหมาะสม และมีการนำเสนอรูปแบบ ของร่อง-ริบ ที่แตกต่างกัน 5 ฐปแบบ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ

การถ่ายเทความร้อน ในภาพรวมของการเสนอการวิเคราะห์มีข้อสรุป ดังต่อไปนี้

(1) แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG มีความ  $k - \varepsilon$ เหมาะสมต่อการคำนวณการไหลผ่านแถวของร่อง มากว่าแบบจำลอง SST  $k - \omega$  ที่ค่าของตัวเลขเรย์โนลดส์ 12000 และ 22000

(2) แบบจำลองการวิเคราะห์แบบ 2 มิติ ให้ค่าของผลลัพธ์ใกล้เคียง การทดลองซึ่งส่งผลดีต่อการใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์และช่วย ลดเวลาในการคำนวณ

(3) ริบที่มีสัดส่วน c/e = 1.0 ให้ค่าของตัวเลขนัสเซลท์ และ มีค่าสูงที่สุด สัดส่วนของตัวเลขนัสเซลท์เทียบกับช่องเปล่า ซึ่งค่า ้ตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสูงกว่าช่องเปล่า 53.4 % และสูงกว่าการไหลผ่าน ร่อง 12.7% และใกล้เคียงกันมากกับค่า c/e =1.5 และ 2.0

(4) ที่ค่าของตัวเลขเรย์โนลดส์เดียวกัน เมื่อค่าของสัดส่วน c/e สูงขึ้น ปัจจัยแห่งความเสียดทานมีค่าสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อ ตัวเลขเรย์โนลดส์เพิ่มขึ้น

(5) ริบที่มีสัดส่วน c/e = 1.0 ให้ค่าของดรรชนีบ่งสมรรถนะสูง ที่สุดที่ทุกค่าของตัวเลขเรย์โนลดส์ ที่ได้ทำการคำนวณ

### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อุดมเกียรติ นนทแก้ว ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

#### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lorenz s. Distribution of the Heat Transfer Coefficient in a Channel with Periodic Transverse Grooves. Experimental Thermal and I~luid Science 1995; I 1:234 242.
- [2] Tanda G. Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs. Int J Heat Mass Transfer 2004;47:229-43.
- [3] Chaube A. Analysis of heat transfer augmentation and flow Characteristics due to rib roughness over absorber plate of a solar air heater. Renewable Energy 31(2006); 317- 331.
- [4] Jaurker A.R. Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness. Solar Energy 80 (2006) 895–907.
- [5] Fluent 6.0 User's Guide, vol. 2; 2001.
- Sparrow, E. M., Lloyd, J. R., and Hixon, C. W., Experiments [6] onTurbulent Heat Transfer in an Asymmetrically Heated Rectangular Duct, J. Heat Transfer, 88, 17(I-174, May 1966.
- Dean, R. B., Reynolds Number Dependence of Skin Friction [7] and Other Bulk Flow Variables in Two Dimensional Rectangular Duct Flow, J. Fhdds Eng., 100, 215 223, 1978.

และ