

**CST 43** 

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

# การศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานที่มีแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45° Numerical Heat Transfer Study in a Parallel Plate Channel with 45° V-Baffles

<u>สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์</u><sup>1</sup>\* และ พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 <sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 \*ผู้ติดต่อ: ssomchai@mut.ac.th, โทรศัพท์: 02-9883666 ต่อ 3117, โทรสาร: 02-9883666 ต่อ 3106

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในช่อง ขนานที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่ผนังด้านบนและด้านล่างตรงกัน ซึ่งมีมุมปะทะ (θ) เท่ากับ 45° และมีอัตราส่วนการปิดกั้น (Blockage ratio, BR) ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.30 ในการศึกษานี้อัตราการไหลที่ ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าตัวเลขเรยโนลด์ (Reynolds number, Re) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 100 จนถึง 1000 จากผลลัพธ์ ที่ได้จากช่องการไหลที่มีการติดแผ่นกั้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับช่องการไหลผิวเรียบ พบว่าช่องการไหลที่มีการติด แผ่นกั้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าช่องการไหลผิวเรียบ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการปิดกั้น ทำให้ค่า ตัวเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (η) สูงสุดเท่ากับ 2.2 ที่ BR=0.075 และ Re=1000 ของแผ่นกั้นรูปตัววี 45°

*ีดำหลัก:* การไหลราบเรียบ, การไหลแบบคาบ, แผ่นกั้นรูปตัววี

#### Abstract

This paper presents a numerical analysis of laminar periodic flow and heat transfer in a rectangular constant temperature-surfaced channel with 45 ° V-baffles. The V-baffles are introduced and mounted on the opposite walls of the channel with inline arrangements. The V-baffles are placed on the upper and lower walls with the baffle inclination angle or attack angle ( $\theta$ ) 45° and the baffle height ratio or blockage ratio, BR = b/H = 0.05 - 0.3. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds number (Re) values ranging from Re = 100 to 1000. It is found that the heat transfer in the channel with the V-baffle is more effective than that with no baffle. The increase in the blockage ratio, BR leads to a considerable increase in the Nusselt number and friction factor. The computational result reveals that the maximum value of the thermal enhancement factor,  $\eta$  is found to be 2.2 for using the 45° V-baffle with BR=0.075 at the highest Reynolds number regime.

Keywords: Laminar flow, Periodic flow, V-baffle

# **CST 43**

และครีบรูปตัววีให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูง กว่าครีบยาวต่อเนื่อง และยังพบว่าที่มุม 60° ให้การ ถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดใน จำนวนครีบที่วางเอียง Han และ Zhang [6] นำเสนอ การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อจัตุรัสด้วยครีบ ทั้งหมด 7 รูปทรงของครีบที่วางเว้นช่วง พบว่าครีบรูป ตัววีวางเว้นช่วงมุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนที่สูง กว่าท่อผิวเรียบ 4.5 เท่า และดีกว่าครีบวางต่อเนื่อง การทดลองทั้งหมดได้ติดครีบที่ผนังสองด้านและค่า ความสูงครีบต่อความสูงท่อมีค่า 0.0625 และระยะช่วง ครีบต่อความสูงครีบที่ค่า10 Liou และ Hwang [7,8] ได้ทำการทดลองครีบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ครีบสามเหลี่ยม และครีบครึ่งวงกลม พบว่าครีบสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้ สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในครีบทั้งหมดที่ ทดลอง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต นิยมใช้แผ่นกั้นตรง ช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน แต่ความดันตก คร่อมก็เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบของ แผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45° ที่ผนังด้านบนและล่าง ซึ่งจะ ช่วยลดความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น โดยใช้การคำนวณ เชิงตัวเลขสำหรับการใหลราบเรียบแบบ 3 มิติ ที่ พิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบ โดยศึกษาอิทธิพล ของความสูงแผ่นกั้น ต่อการถ่ายเทความร้อน ความ ดันสูญเสีย และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

# 2. ลักษณะของปัญหา

ปัญหาที่นำมาวิเคราะห์เป็นช่องขนานที่ติดตั้งแผ่น กั้นรูปตัววีมุม 45° ในแนวตรงกันทั้งด้านบนและ ด้านล่างดังแสดงในรูป 1(ก) ส่วนในรูปที่ 1(ข) แสดง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นตามแนวการไหล (L), ระยะห่างระหว่างยอดของแผ่นกั้นในแนวขวาง (L<sub>t</sub>), ความสูงของช่องขนาน (H), ความสูงของแผ่นกั้น (b) และมุมของแผ่นกั้นที่เอียงทำมุมกับแนวการไหล (θ) ในการศึกษานี้จะทำการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนการปิดกั้น (BR=b/H) โดยมีค่า BR ตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.3 ส่วน พารามิเตอร์อื่นกำหนดค่าคงที่ ดังนี้ L=0.03 เมตร, L<sub>t</sub>=0.03 เมตร, H=0.03 เมตร และ θ=45°



# 1. บทนำ

สำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องการ ใหลที่ได้ผลดีวิธีหนึ่งคือการติดครีบหรือแผ่นกั้นบน ้ผนังภายใน ซึ่งจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ้ความร้อน การทำในลักษณะดังกล่าวนำไปใช้อย่าง แพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบกะทัดรัด แผงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และ แผงระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งที่ผ่าน มาได้มีผู้ที่ศึกษาลักษณะการไหลในช่องการไหลที่มี แผ่นกั้นอยู่เป็นเวลานานแล้ว ดังเช่น Patankar และ คณะ [1] ทำการทำนายคุณลักษณะการไหลและการ ้ถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีแผ่นกั้น โดยอาศัยหลักการ ้คิดลักษณะการไหลเป็นคาบในช่วงการไหลที่มีการ พัฒนาเต็มที่ Berner และคณะ [2] ศึกษาพฤติกรรม การใหลแบบราบเรียบในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้น พบว่าที่ตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 600 จะไม่เกิด vortex shedding Webb และ Ramadhyani [3] คำนวณเชิง ์ตัวเลขของลักษณะการใหลและการถ่ายเทความร้อน ในช่องขนานผิวเรียบที่ติดแผ่นกั้นแนวเยื้องกัน โดยใช้ เงื่อนไขพื้นฐานลักษณะการไหลเป็นคาบในช่วงการ ใหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ของ Patankar และคณะ[1] Sripattanapipat และ Promvonge [4] วิเคราะห์เชิง ตัวเลขการถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบแบบ 2 มิติ ในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปเพชรที่ผนังบนและล่าง ์แนวเยื้อง โดยคิดลักษณะการใหลเป็นคาบ ที่มีเงื่อนไข อุณหภูมิผนังคงที่ ตัวเลขเรย์โนลด์ที่ใช้อยู่ในช่วง 100 ถึง 600 พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่า เลขนัสเสลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น และยัง พบว่าทุกค่าเลขเรย์โนลด์ที่ใช้มุมยอดเพชรที่ 5° และ 10<sup>°</sup> ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชร ที่ 0° (แผ่นกั้นธรรมดา) Han และคณะ [5] ศึกษาเชิง ทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อจัตุรัสที่ติดครีบบน ผนังสองด้านโดยใช้รูปทรงครีบแตกต่างกัน 9 แบบ และแต่ละรูปทรงจะพิจารณาที่ค่า ระยะช่วงครีบต่อ ความสูงครีบเท่ากับ 10 และ ความสูงครีบต่อความสูง ท่อเท่ากับ 0.0625 ผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อน เฉลี่ยและตัวประกอบเสียดทานพบว่าครีบวางทำมุม





รูปที่ 1 (ก) ช่องการไหลและแผ่นรูปตัววี (ข) พารามิเตอร์และเงื่อนไขขอบเขต (ค) รูปแบบของกริด ที่ใช้ในการคำนวณ

# 3. สมการพื้นฐาน

การคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเท ความร้อนมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

 การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็น แบบคงตัว 3 มิติ

- การใหลเป็นแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วง
- ไม่คิดผลของการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลในช่อง ขนาน สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการอนุรักษ์ มวล สมการโมเมนตัมและสมการพลังงาน ซึ่งสามารถ เขียนแบบเทนเซอร์ในพิกัดฉากดังนี้ สมการอนุรักษ์มวล:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \rho u_i \right) = 0 \tag{1}$$

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial \left(\rho u_{i} u_{j}\right)}{\partial x_{j}} = -\frac{\partial p}{\partial x_{i}} + \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{j}}{\partial x_{i}} \right) \right]$$
(2)

สมการพลังงาน:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left( \rho u_i T \right) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right)$$
(3)

เมื่อ Γ คือเทอมการแพร่ กำหนดโดย

$$\Gamma = \frac{\mu}{\Pr} \tag{4}$$

การคำนวณในที่นี่ สมการที่ (1), (2) และ (3) จะ ถูกแก้สมการด้วยวิธีการเชิงตัวเลขที่เรียกว่า วิธีการ ปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume method) โดยจะใช้ SIMPLE algorithm [9] ในการแยกความสัมพันธ์ที่มี ต่อกันระหว่างความดันกับความเร็ว และยังใช้ใน ขบวนการทำซ้ำ โดยใช้ QUICK schemes ในการ discretise เทอม convection ส่วน เทอม diffusion จะ ถูก discretise โดย central differencing scheme ใน การลู่เข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่า การแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10<sup>-5</sup> ของทุกตัวแปร

ในการศึกษานี้มีตัวแปรที่สำคัญ 4 ตัวแปร คือ ค่า ตัวเลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน ค่าตัวเลข นัสเซิลท์และสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าตัวเลขเรย์ โนลด์นิยามโดย

$$\mathrm{Re} = 
ho \overline{u} D_h / \mu$$
 (5)  
ตัวประกอบเสียดทาน, *f* คำนวณได้จากความดันตก  
คร่อม,  $\Delta \mathrm{p}$  ตลอดช่วงความยาวของช่องขนาน, L



$$f = \frac{(\Delta p / L)D_h}{(1/2)\rho \overline{u}^2} \tag{6}$$

ค่าตัวเลขนัสเซิลท์เฉพาะที่หาได้จาก

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \tag{7}$$

ค่าเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยหาได้จาก

$$Nu = \frac{1}{L} \int Nu_x \partial x \tag{8}$$

สมรรถนะเชิงความร้อน, $\eta$ 

$$\eta = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3}$$
(9)

เมื่อ Nu<sub>0</sub> และ f<sub>0</sub> คือ เลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสีย( ทานของช่องขนานเปล่า

เงื่อนไขทางเข้าและทางออกของช่องขนานเป็ แบบการไหลเป็นคาบในช่วงการไหลที่มีการพัฒน เต็มที่ อุณหภูมิอากาศในตอนเริ่มต้นเท่ากับ 300 K ใ การคำนวณจะกำหนดให้อัตราการไหลเชิงมวลคงที่ ใ บริเวณผนังกำหนดเงื่อนไขแบบไม่มีการลื่นไถล โดยม อุณหภูมิผนังคงที่เท่ากับ 310 K ส่วนแผ่นกั้นมองเป็น ฉนวนความร้อน

สำหรับการไหลในช่องขนานนี้ โดเมนที่ใช้ในการ คำนวณหาผลเฉลยแบ่งเป็นปริมาตรรูปทรงสี่เหลี่ยม แบบไม่สม่ำเสมอ การวิเคราะห์ผลของจำนวนกริดที่มี ผลต่อคำตอบที่ได้ ทำโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่าง กันคือที่ 83,200, 124,800 และ 187,200 พบว่าเมื่อ จำนวนกริดมากกว่า 124,800 ค่า Nu เปลี่ยนแปลง น้อยกว่า 0.25% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 124,800 ไปใช้ในการคำนวณ

# ผลการทำนายและการอภิปราย

# 3.1 การตรวจสอบผลการคำนวณ

ในการตรวจสอบความถูกต้องการคำนวณของ การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในช่อง ขนานผิวเรียบไม่มีครีบ ทำโดยการเปรียบเทียบค่าที่ ได้จากการทำนายเชิงตัวเลขกับผลเฉลยแม่นตรง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันซึ่งมีค่าผลเฉลยแม่น [10] ใน รูปที่ 2(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ Nu พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อน จากผลเฉลยแม่นตรงประมาณ 0.5% ส่วนรูปที่ 2(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ f พบว่าค่าที่ได้ จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลย แม่นตรงประมาณ 0.5% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิง ตัวเลขทั้งค่า Nu และ f มีความสอดคล้องกับผลเฉลย



รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของ (ก) เลขนัสเซิลท์ (ข) ตัวประกอบเสียดทานของช่องขนาน เปล่า

# 3.2 การกระจายอุณหภูมิใหช่องขนาน

รูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิในแต่ละหน้า ของช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปตัววีที่ค่า Re=1,000 รูป ที่ 3(ก) แสดงการกระจายอุณหภูมิที่แผ่นกั้น BR=0.05 พบว่าอากาศในบริเวณกึ่งกลางของช่องขนานแทบจะ ไม่เปลี่ยนแปลงในแต่ละหน้าตัด โดยอากาศเย็นจะไหล อยู่บริเวณกึ่งกลาง ส่วนอากาศในบริเวณผนังช่อง ขนานจะได้รับความร้อนทำให้อุณหภูมิสูง รูปที่ 3(ข) แสดงการกระจายอุณหภูมิที่แผ่นกั้น BR=0.10 พบว่า



อุณหภูมิอากาศในแต่หน้าตัดมีการเปลี่ยนแปลงไปใน แต่ละหน้า โดยอากาศเย็นจะถูกเหนี่ยวนำให้ลงมายัง บริเวณผนังช่องขนาน ทำให้ความแตกต่างของ อุณหภูมิมากในบริเวณดังกล่าว รูปที่ 3(ค) แสดงการ กระจายอุณหภูมิที่แผ่นกั้น BR=0.15 พบว่าลักษณะ การกระจายอุณหภูมิอากาศในแต่หน้าตัดมีลักษณะ เดี่ยวกับกรณี BR=0.10 แต่จะมีค่าความแตกต่างของ อุณหภูมิบริเวณผนังเพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะช่วยเพิ่มการ ถ่ายเทความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย

# 3.3 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์ (Nu/Nu<sub>0</sub>) กับอัตราส่วนการปิดกั้น (BR) ของช่องขนานติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45 ในแต่ละค่า Re จากรูปจะพบว่าเมื่อเพิ่มค่า BR ค่า Nu/Nu<sub>0</sub> จะมี ค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเมื่อ Re มากกว่า 300 การ เพิ่มขึ้นของ Nu/Nu<sub>0</sub> ดังกล่าวเป็นผลมาจากการ กระแทกของอากาศที่บริเวณด้านหลังของแผ่นกั้น ซึ่ง จะเกิดขึ้นเมื่อ BR มากกว่า 0.05 ส่วนที่ค่า BR เท่ากับ 0.05 จะพบว่าแทบจะไม่ผลต่อการถ่ายเทความร้อน

# 3.4 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัว ประกอบเสียดทาน (f/f<sub>0</sub>) กับอัตราส่วนการกั้น (BR) ของช่องขนานติดดั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45 ในแต่ละค่า Re จากรูปจะพบว่าเมื่อเพิ่มค่า BR ค่า f/f<sub>0</sub> จะมีค่า เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะที่ Re สูง ๆ ส่วนที่ค่า BR ต่ำกว่า 0.1 การเพิ่มอัตราการไหล (เพิ่มค่า Re) มีผล ไม่มากผลต่อการสูญเสียความดันในช่องขนาน

# 3.5 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะ เชิงความร้อน (ŋ) กับอัตราส่วนการปิดกั้น (BR) ของ ช่องขนานติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45° ในแต่ละค่า Re จากรูปจะพบว่าค่า ๆ มีค่าสูงสุดที่ 2.2 เมื่อ BR เท่ากับ 0.075 และ Re เท่ากับ 1,000 ซึ่งเป็นตำแหน่ง ที่สัดส่วนของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่อการเพิ่ม ความดันตกคร่อมสูงสุด แต่เมื่อ BR เพิ่มขึ้น สัดส่วน ดังกล่าวจะลดลง เพราะความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มความสูงของแผ่นกั้น





(ป)



รูปที่ 3 การกระจายตัวอุณหภูมิในแต่ละหน้าตัดของ ของช่องการไหลที่มีแผ่นกั้นความสูง (ก) BR=0.05, (ข) BR=0.10 และ (ค) BR=0.15







#### **4.** สรุป

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองการไหลแบบ ราบเรียบในช่องขนานที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 45° โดยแสดงผลที่ได้ในรูปของการถ่ายความร้อนและการ สูญเสียความดัน พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีจะ ช่วยให้เกิดการถ่ายความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน การสูญเสียความดันก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อมองค่า สมรรถนะเชิงความร้อน (ŋ) จะพบว่ามีค่ามากกว่า หนึ่งเกือบจะตลอดช่วงของพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยน ยกเว้นในกรณีที่อัตราการไหลต่ำๆ (Re น้อยกว่า 300)

### 5. เอกสารอ้างอิง

[1] S.V. Patankar, C.H. Liu, E.M. Sparrow, Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area, ASME J. Heat Transfer 99 (1977) 180–186.

[2] C. Berner, F. Durst, D.M. McEligot, Flow around baffles, Trans. ASME J. Heat Transfer 106 (1984) 743–749.

[3] B.W. Webb, S. Ramadhyani, Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs, Int. J. Heat Mass Transfer 28 (1985) 1679–1687.

[4] S. Sripattanapipat, P. Promvonge, Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009) 32–38.

[5] J.C. Han, Y.M. Zhang, C.P. Lee, Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs, ASME, Journal of Heat Transfer 113 (1991) 590–596.

[6] J.C. Han, Y.M. Zhang, High performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า η กับ BR ของ ช่องขนานติดตั้งแผ่นกั้นทำมุมปะทะ 45°



broken ribs, International Journal of Heat and Mass Transfer 35 (1992) 513–523.

[7] T.M. Liou, J.J. Hwang, Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows, ASME, Journal of Heat Transfer 114 (1992) 56–64.

[8] T.M. Liou, J.J. Hwang, Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel, International Journal of Heat and Mass Transfer 36 (1993) 931–940.

[9] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, New York, 1980.

[10] F. Incropera, P.D. Dewitt, Introduction to heat transfer, 3<sup>rd</sup> edition John Wiley & Sons Inc, 1996.