

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านกลุ่มครีบทรงกรวยยอดตัด Heat Transfer and Flow Characteristics of Flowing through the Taper Pin Fins Array

อนุสรณ์ สุขเกษม ไพศาล นาผล* จุฑารัตน์ คุรุเจริญ พิชัย อัสฎมมงคล

ห้องปฏิบัติการเทอร์โม-ของไหลและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TFHT)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 63 ถ.รังสิต-นครนายก อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

E-mail address: paisarnn@swu.ac.th

Anusorn Sukkasem, Paisarn Naphon*, Jutarat Kurujareon, Pichai Assadamongkol

Thermo-Fluid and Heat Transfer Enhancement Lab. (TFHT),

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

Ongkharak, Nakhon-Nayok, 26120, Thailand

E-mail address: paisarnn@swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองและทางการคำนวณเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของการไหลผ่านกลุ่มครีบทรงกรวยยอดตัดภายใต้สภาวะการให้ความเข้มข้นความร้อนคงที่ โดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวใน 3 มิติ ที่ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมเพื่อจำลองการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลอง $k-\epsilon$ โดยมีรูปแบบการวางกริดแบบไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured grids) ซึ่งศึกษาถึงของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลในขณะไหลผ่านกลุ่มครีบ ผลการคำนวณเชิงตัวเลขถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยในการทดลองได้เปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นความร้อนอยู่ในช่วง 0.91-3.64 kW/m² ความเร็วของอากาศที่ไหลในอุโมงค์ลมอยู่ในช่วง 0.28-1.67 m/s จากการศึกษพบว่าผลที่ได้จากการคำนวณมีความสอดคล้องกันดีกับผลการทดลอง

Abstract

In this paper, the numerical and experimental investigations on the heat transfer and flow characteristics of flowing through the

taper pin fin arrays under constant heat flux conditions are studied. Air is used as working fluid. The turbulent flow and heat transfer developments are simulated by using the k-ε standard turbulence model. A finite volume method with an unstructured nonuniform grid system is employed for solving the model. Effects of relevant parameters on the heat transfer and flow characteristics are considered. The simulated results are validated by comparing with the present experiment. The test runs are done at the constant heat flux and air velocity ranging between 0.91 and 3.64 kW/m² and between 0.28 and 1.67 m/s, respectively. The predicted results for the convective heat transfer and flow characteristics are reasonable agreement with the experiments.

1. บทนำ

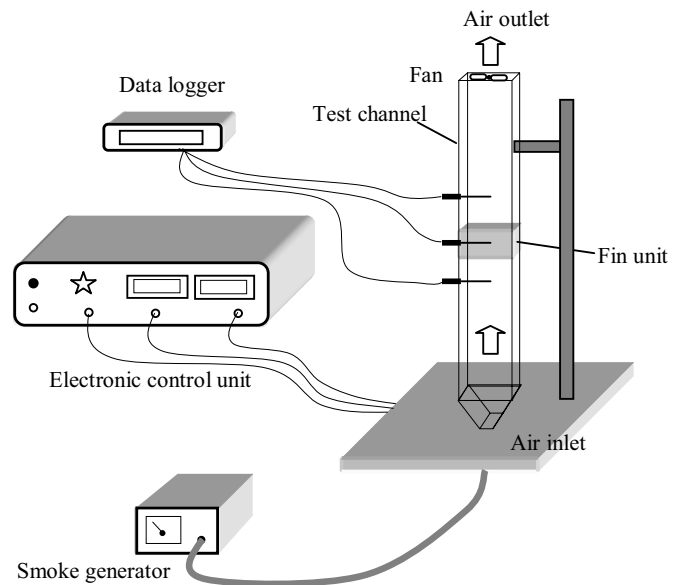
โลกของงานอุตสาหกรรมปัจจุบัน จะเห็นถึงความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะต้องเป็นเครื่องมือที่ความสามารถในการประมวลผลและมีความแม่นยำสูงมากๆ และที่สำคัญจะต้องมีขนาดเล็กด้วย เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ซึ่งการ

ที่เครื่องมือเหล่านี้มีลักษณะดังกล่าวนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบก็
 ต้องมากขึ้นตาม ดังนั้นระบบเครื่องมือวัดเหล่านี้จะต้องมีระบบระบาย
 ความร้อนที่ดี ซึ่งครีบบระบายความร้อนก็มีส่วนสำคัญในการทำงานของ
 อุปกรณ์เหล่านี้ ครีบบระบายความร้อนได้มีการศึกษาทั้งทางด้านกา
 ทดลองและการคำนวณทางทฤษฎี, Hag และคณะ [1] ได้ศึกษาถึงการ
 ระบายความร้อนแบบบังคับภายใต้สภาวะคงที่ของชุดระบายความร้อนที่
 มีลักษณะแบบทรงกระบอก Das and Razelos [2] ได้วิเคราะห์หา
 สมรรถนะและสภาวะที่เหมาะสมของครีบบแบบเข็มที่มีลักษณะแบบ
 สี่เหลี่ยมคางหมู Li และคณะ [3] ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความ
 ร้อนและการไหลผ่านครีบบที่มีลักษณะโปรไฟล์เป็นวงรี Hwang and Lui
 [4] ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านครีบบที่มี
 ลักษณะโปรไฟล์เป็นสี่เหลี่ยมคางหมู Maveety and Jung, Sara และ
 คณะ [5, 6, 7] ได้ศึกษาการทดลองและเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะ
 การไหลผ่านครีบบที่มีลักษณะโปรไฟล์เป็นสี่เหลี่ยม Won และคณะ [8] ได้
 ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านครีบบที่มีลักษณะ
 ทรงกระบอกที่เรียงตัวแบบสลับกัน Yu และคณะ [9] ได้ศึกษาการ
 ทดลองและเชิงตัวเลขเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของชุด
 ระบายความร้อน Ricci and Montelpare [10] ประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็ก
 ไฟฟ้าช่วยในการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนที่มีครีบบ
 ทรงกระบอก

ในการทำวิจัยในครั้งนี้จึงได้ศึกษาทั้งการทดลองและเชิงตัวเลข
 เกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านกลุ่มครีบบที่มี
 ลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีโปรไฟล์แบบทรงกรวยยอดตัดที่เรียงตัว
 แบบสลับภายใต้สภาวะความเข้มข้นความร้อนคงที่

2. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงระบบอุปกรณ์การทดลอง ระบบประกอบด้วยท่อลม
 ระบบควบคุมทางไฟฟ้า ระบบของชุดกำเนิดควัน และชุดของครีบบระบาย
 ความร้อน ชุดครีบบระบายความร้อนมีลักษณะเป็นแบบทรงกรวยยอดตัด
 ที่เรียงตัวแบบสลับ โดยทำจากอลูมิเนียม ชุดครีบบติดตั้งในท่อลมที่วางตัว
 ในแนวตั้ง ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับอัตราการให้ความร้อนได้เป็น
 ตัวให้ความร้อนกับชุดระบายความร้อน การระบายความร้อนของชุด
 ระบายความร้อนใช้อากาศเป็นสารหล่อเย็น โดยอากาศจะถูกดูดจาก
 ภายนอกท่อลมให้ไหลเข้าท่อลมทางปลายเปิดด้านล่างแล้วไหลผ่านชุด
 ครีบบเพื่อรับความร้อน หลังจากนั้นจะไหลออกจากท่อลมที่ปลายเปิดด้าน
 บนสุด โดยความเข้มข้นความร้อนที่ให้กับชุดครีบบทำได้โดยใช้ฮีตเตอร์
 ไฟฟ้า และควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature
 controller) อุณหภูมิของอากาศตำแหน่งต่างๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล
 ชนิด T ความเร็วของอากาศที่ไหลในท่อลมวัดโดยใช้ Hot wire
 anemometer ของโดยในการทดลองได้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น
 ความร้อนที่ให้กับชุดระบายความร้อน และลของอากาศ



รูปที่ 1 ใ้ดอะแกมรอุปกรณ์การทดลอง

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลผ่านกลุ่มครีบบนั้น
 สามารถอธิบายโดยใช้สมการสมดุลมวล สมการโมเมนตัม สมการ
 พลังงานและแบบจำลองความปั่นป่วน ซึ่งในงานศึกษานี้ได้ใช้
 แบบจำลองมาตรฐาน $k-\epsilon$ นำมาใช้วิเคราะห์สำหรับปัญหา ซึ่งมีสมการ
 ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

สมการต่อเนื่อง:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{U}) = 0 \tag{1}$$

สมการโมเมนตัม:

แกน x:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{M_x} \tag{2}$$

แกน y :

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{M_y} \tag{3}$$

แกน z:

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{M_z} \tag{4}$$

สมการพลังงาน:

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \operatorname{div} \mathbf{U} + \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + \Phi + S_i \quad (5)$$

สมการ Turbulent kinetic energy (k):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho k \mathbf{U}) = \operatorname{div} \left[\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \operatorname{grad} k \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \varepsilon \quad (6)$$

สมการ Turbulent kinetic energy dissipation (ε):

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \varepsilon \mathbf{U}) = \operatorname{div} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \operatorname{grad} \varepsilon \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

สมการขอบเขต:

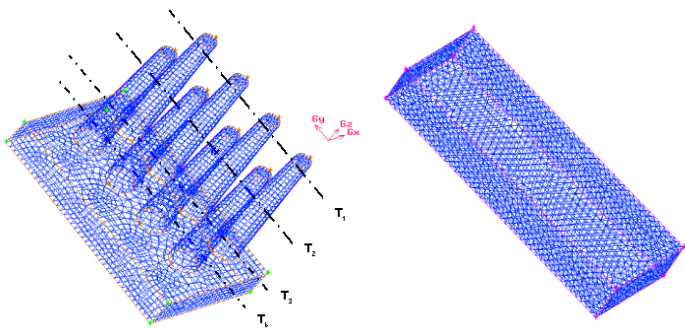
$$u = 0, v = 0, w = 0, q = q_{wall} \quad (8)$$

สมการเงื่อนไขเริ่มต้น:

$$u = u_{in}, v = 0, w = 0, T = T_{in}, k = k_{in}, \varepsilon = \varepsilon_{in} \quad (9)$$

4. การคำนวณเชิงตัวเลข

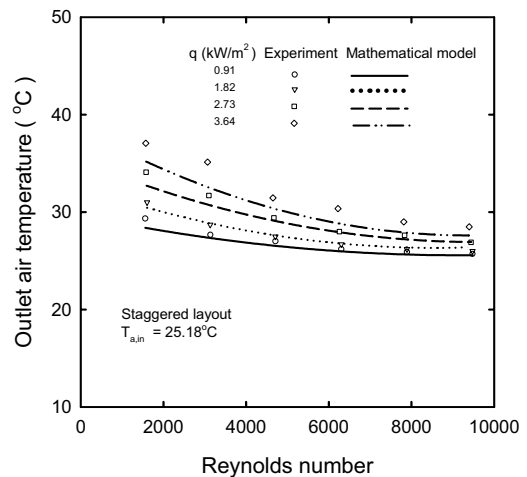
ในส่วนของการคำนวณระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนั้น ได้ใช้ระเบียบปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method) ด้วยโปรแกรม FLUENT 6.0 ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และใช้การประมาณค่าภายในด้วยวิธีผลต่างอันดับที่สองเพื่อลดข้อผิดพลาดของการพา สำหรับเทอมของความดันและความเร็วซึ่งคู่ควบกันอยู่ ได้ใช้กระบวนการหาคำตอบด้วยวิธี SIMPLEX รูปแบบการจัดวางกริดแบบไม่เป็นโครงสร้าง (Unstructured grids) ทั้งในส่วนของครีบบและส่วนของอากาศบริเวณรอบๆ ครีบ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Unstructured grids สำหรับครีบบและอากาศ

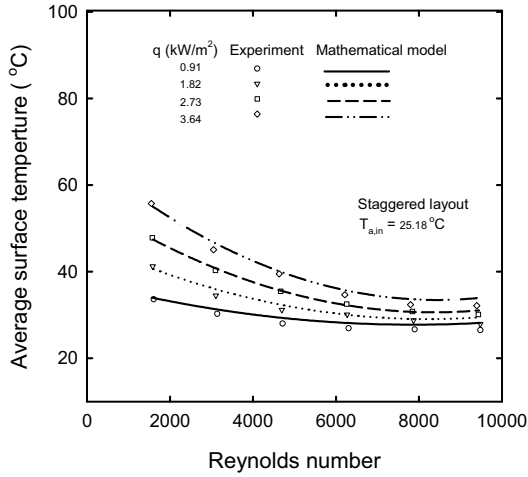
5. ผลและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีทั้งผลจากการทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลขแต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ ดังนั้นในบทความนี้จึงขอนำเสนอผลการศึกษาเพียงบางส่วนเท่านั้น รูปที่ 3 แสดงการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของอากาศกับค่าเรย์โนลด์ของอากาศ ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของอากาศวัดทั้งหมด 3 จุดด้วยกัน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของอากาศมีค่าลดต่ำลง เมื่อค่าเรย์โนลด์ของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนน้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าเรย์โนลด์ของอากาศ ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของอากาศจึงมีค่าลดลง และเมื่อให้อัตราการไหลของอากาศคงที่ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นความชื้นที่ให้กับชุดระบายความร้อนสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่ามีความสอดคล้องกันดี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.45%.

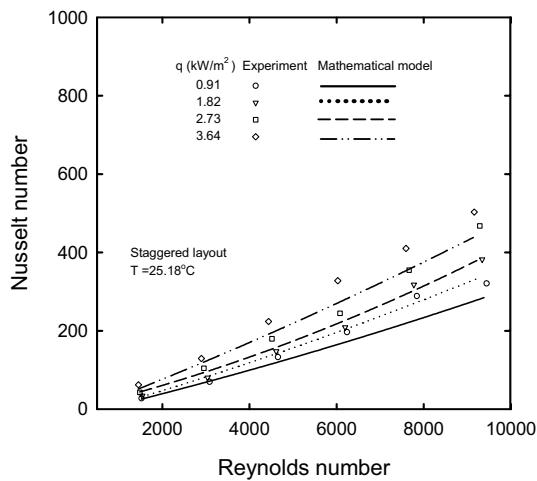


รูปที่ 3 การแปรเปลี่ยน $T_{a,out}$ กับ Re

รูปที่ 4 แสดงการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิผิวเฉลี่ยของชุดระบายความร้อนกับค่าเรย์โนลด์ของอากาศที่ความเข้มข้นความชื้นต่างๆ กัน อุณหภูมิผิวของชุดระบายความร้อนได้จากการเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิของส่วนที่เป็นครีบบและส่วนที่เป็นฐานของครีบบ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของชุดครีบบมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเรย์โนลด์ของอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากชุดครีบบไปที่อากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศสูงขึ้น เมื่อให้อัตราการไหลของอากาศคงที่ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของชุดครีบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นความชื้นที่ให้กับชุดครีบบ และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่ามีความสอดคล้องกันดี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.54%.

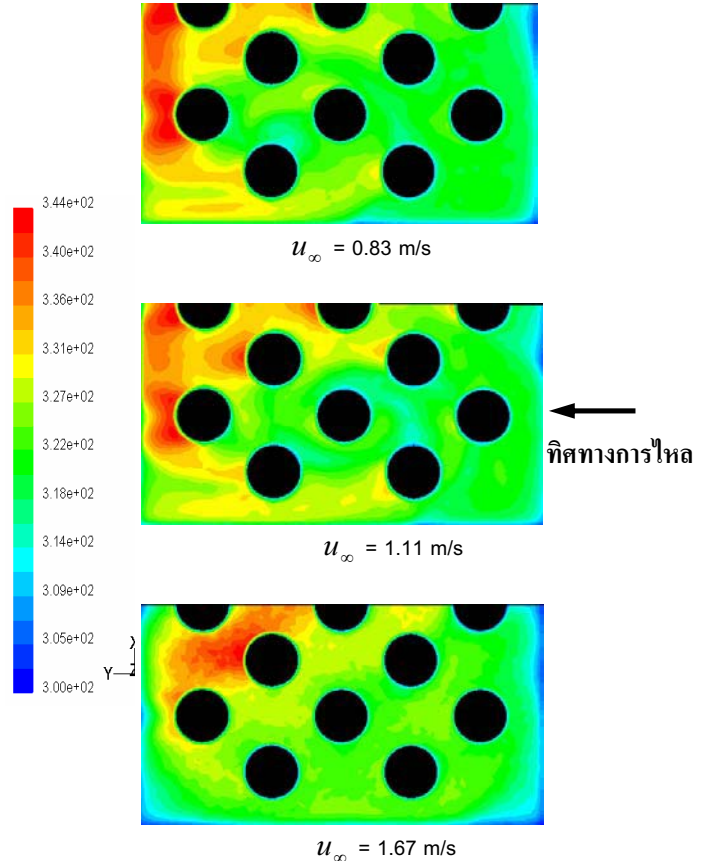


รูปที่ 4 การแปรเปลี่ยน $T_{s,ave}$ กับ Re



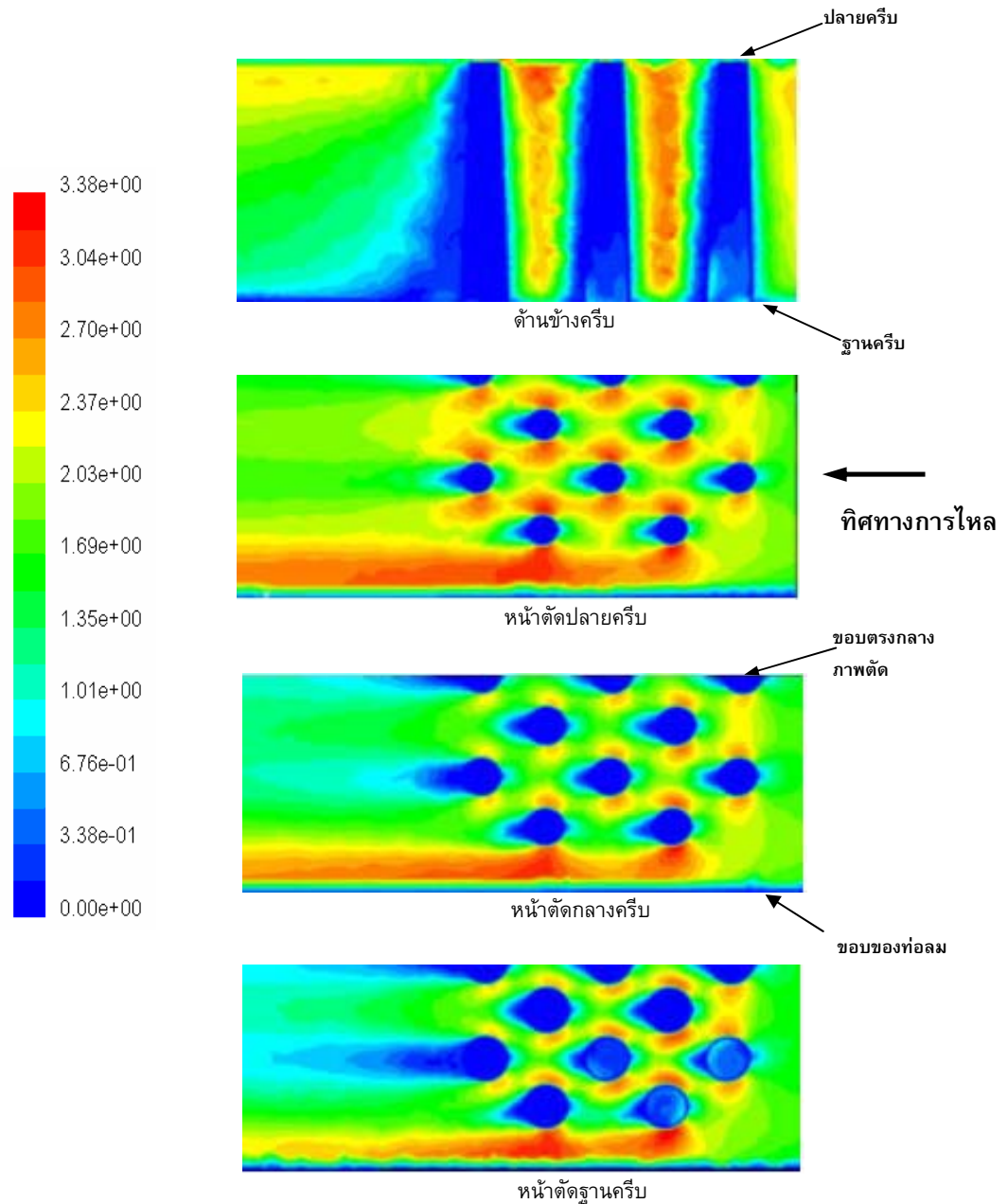
รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยน Nu กับ Re

รูปที่ 5 แสดงการแปรเปลี่ยนของค่า Nusselt number กับค่าเรย์โนลของอากาศ พบว่าค่า Nusselt number มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพื่อค่าเรย์โนลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่า Nusselt number แปรตามอัตราการถ่ายเทความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 10.25%.



รูปที่ 6 แสดง Contour of temperature (K) ที่ชั้นหน้าตัดปลายครีบริบที่ความเร็วของอากาศต่างๆ กัน

รูปที่ 6 แสดงเส้น Contour ของอุณหภูมิของอากาศในขณะที่ไหลผ่านกลุ่มครีบริบที่ชั้นหน้าตัดปลายครีบริบภายใต้สภาวะความเข้มข้นความร้อนที่ให้กับกลุ่มครีบริบที่ความเร็วต่างๆ กัน สังเกตพบว่าที่บริเวณด้านหลังของกลุ่มครีบริบจะมีอุณหภูมิสูงสุด ในขณะที่ส่วนบริเวณด้านหน้าจะมีอุณหภูมิต่ำสุด และลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนไปเมื่อความเร็วของอากาศเปลี่ยนไป รูปที่ 7 แสดง Contour ของขนาดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านกลุ่มครีบริบ ที่มุมมองด้านข้าง บริเวณหน้าตัดปลายครีบริบ ตรงกลางครีบริบ และที่หน้าตัดฐานครีบริบ พบว่าอากาศที่บริเวณขอบด้านข้างของครีบริบแต่ละอันมีความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่นๆ และที่บริเวณด้านหลังของครีบริบแต่ละอันมีความเร็วลดลง ซึ่งการกระจายตัวของความเร็วของอากาศมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและค่า Nusselt number ดังแสดงในภาพ



รูปที่ 7 แสดง Contour of velocity magnitude (m/s) ที่หน้าตัดต่างๆ กัน

6. สรุป

การศึกษาลักษณะการพาความร้อนโดยใช้การจำลองสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวใน 3 มิติ ของการไหลผ่านกลุ่มครีบริมทรงกรวยยอดตัด ภายใต้สภาวะความเข้มความร้อนคงที่ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่ามีความสอดคล้อง

กันเป็นอย่างดี จากการศึกษาเชิงพารามิเตอร์พบว่าลักษณะการถ่ายเทความร้อนและลักษณะการไหลขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลของอากาศและความเข้มความร้อนที่ให้กับครีบริม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. วรณวิไล ไกรเพชร ที่เอื้อเฟื้อในเรื่องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการศึกษาครั้งนี้

in line, Experimental Thermal and Fluid Science 30 (2006) 381–391.

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.F.B. Haq, K. Akintunde, S.D. Probert, Thermal performance of a pin-fin assembly, International Journal of Heat and Fluid Flow 16 (1995) 50-55.
- [2] S. Das, P. Razelos, Optimization of convective trapezoidal profile circular pin fins, International Communications in Heat Mass Transfer 24 (1997) 533-541.
- [3] Q. Li, Z. Chen, U. Flechtner, H. Warnecke, Heat transfer and pressure drop characteristics in rectangular channels with elliptic pin, International Journal of Heat and Fluid Flow 19 (1998) 245-250.
- [4] J.J. Hwang, C.C. Lui, Detailed heat transfer characteristic comparison in straight and 90-deg turned trapezoidal ducts with pin-fin arrays, International Journal of Heat and Mass Transfer 42 (1999) 4005-4016.
- [5] J.G. Maveety, H.H. Jung, Design of pin fin heat sink with air impingement cooling, International Communications in Heat Mass Transfer 27 (2000) 229-240.
- [6] O.N. Sara, S. Yapici, M. Yilmaz, Second law analysis of rectangular channels with square pin-fins, International Communications in Heat Mass Transfer 28 (2001) 617-630.
- [7] O.N. Sara, Performance analysis of rectangular ducts with staggered square pin fins, Energy Conversion and Management 44 (2003) 1787–1803.
- [8] S.Y. Won, G.I. Mahmood, P.M. Ligrani, Spatially-resolved heat transfer and flow structure in a rectangular channel with pin fins, International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 1731–1743.
- [9] X. Yu, J. Feng, Q. Feng, Q. Wang, Development of a plate-pin fin heat sink and its performance comparisons with a plate fin heat sink, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 173–182.
- [10] R. Ricci, S. Montelpare, An experimental IR thermographic method for the evaluation of the heat transfer coefficient of liquid-cooled short pin fins arranged