ผลของมุมเอียงตัวที่มีต่อโครงสร้างการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดกะทัดรัดกรณีตัวเลขเรโนลด์ต่ำ

Effects of Inclination Angles on Flow Structure and Heat Transfer of Compact Heat Exchanger at Low Reynolds Number

ปฏิภาณ จึงอยู่สุข ณัฐ วรยศ ยศธนา คุณาทร และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ. ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ 0-5394-4146 โทรสาร 0-5355-2500 E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

Pathipan Jungyusook Nat Vorayos Yottana Khunatorn and Tanongkiat Kiatsiriroat
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Rd. Muang District, Chiang Mai 50200
Tel: 0-5394-4146 Fax: 0-5394-4145 E-mail: nat@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบจากมุมเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อน เพื่อสามารถหามุมการจัดวางอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิผลในการรับความร้อนจากอากาศร้อนที่ลอยตัวด้วยความเร็วต่ำ โดยได้ศึกษาประสิทธิภาพการไหลซึ่งเป็นตัวบ่งชี้รูปแบบการไหล ส่วนการถ่ายเทความร้อนได้ศึกษาค่าประสิทธิผลและค่า j Colburn factor ณ ค่า NTU และที่ตัวเลขเรโนลด์ต่าง ๆตามลำดับ ซึ่งจากแบบจำลองการไหลโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลพบว่าหากเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น 10 องศา จะทำให้ประสิทธิภาพการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นและจะค่อย ๆ ลดลงหากเพิ่มมุมเอียงเป็น 20 และ 30 องศา และเมื่อศึกษาผลจากการทดสอบการรับความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนพบว่า ณ ตำแหน่งมุมต่าง ๆแนวโน้มของค่าประสิทธิผลจะเป็นไปตามปกติคือ ค่าประสิทธิผลจะเพิ่มขึ้นหาก NTU มีค่ามากขึ้น แต่หากเปรียบเทียบ ณ ตำแหน่ง NTU และ Cr เดียวกันพบว่า เมื่อเพิ่มมุมเอียงอุปกรณ์ขึ้น 10 องศาจะทำให้ค่าประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นจะค่อย ๆลดลงเมื่อเพิ่มมุมเอียงเป็น 20 และ 30 องศา และจากศึกษาค่า j Colburn factor ที่ตัวเลขเรโนลด์ต่าง ๆ พบว่าหากค่าตัวเลขเรโนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า j Colburn factor ลดลง ซึ่งเป็นคุณลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบ ณ ค่าตัวเลขเรโนลด์เดียวกันพบว่าที่มุมเอียงอุปกรณ์ 10 องศามีค่า j Colburn factor สูงที่สุด และจะมีค่าลดลงที่มุมเอียง20 ,30 และ 0 องศาตามลำดับ

Abstract

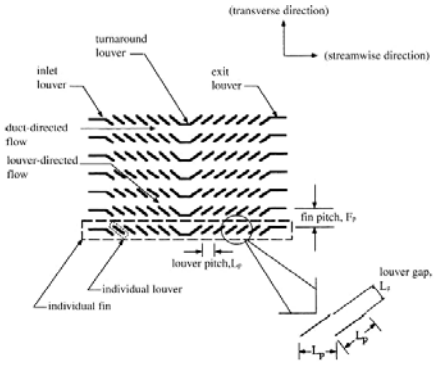
The objective of this project is to study the effect of the inclination angle on flow structure and heat transfer of the compact heat exchanger used to recover heat from incoming hot air. The inclination angle to obtain the most effective heat transfer from the low speed hot air is determined along with the flow efficiency as a parameter to determine the flow structure. j Colburn-factor and the NTU of the compact heat exchanger is also investigator with difference Reynolds number flow. Simulation from CFD modeling reveals that the inclination angle of 10°C yields the best flow efficiency which subsequently decreases if the angle increases to 20° and 30°. The experiment is carried out and also demonstrates the character of the typical heat exchanger, i.e. increasing effectiveness yields increasing NTU. However at each set of NTU and Cr when the inclination angle is increased to 10°, the heat exchanger shows higher effectiveness which declines if the inclination angle increases from 20° and 30°. The quite agrees with the computation. In terms of the j Colburn-factor; at difference value of Reynolds number of incoming flow, j Colburn-factor of the heat convection decreases when the Reynolds number of the flow increases as a typical scenario. At each value of Reynolds number, 10° inclination angle yields highest j Colburn-factor and, as expected, higher angle of inclination yields lower convective heat transfer.

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวรับความร้อนทั้งหมด (m^2)
A_o	พื้นที่ผิวภายนอกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)
A_i	พื้นที่ผิวภายในท่อ (m^2)
c_p	ค่าความร้อนจำเพาะ ($m^2/s^2.K$)
Fe	ประสิทธิภาพการไหล
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2.K$)
j	โคเบิร์นแฟกเตอร์
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K)
NTU	number of transfer units
P	ความดัน (Pa)
Pr	ตัวเลขพรันด์
Q_h	อัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลร้อน (W)
Q_c	อัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเย็น (W)
Re	ตัวเลขเรโนลด์ [$\rho u_o L_p/\mu$]
T	อุณหภูมิ (K)
u_i	เวกเตอร์ความเร็ว (m/s)
u_o	ความเร็วอากาศขาเข้า (m/s)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m.K)
x_i	ตัวแปรพิกัด(x,y)ในระนาบ X-Y
V	ความเร็วอากาศผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (m/s)
ρ	ความหนาแน่น (kg/m^3
μ	ความหนืดพลศาสตร์ (Kg/m.s)
η	ค่าประสิทธิภาพรวมของครีบ
η_f	ค่าประสิทธิภาพของครีบ
ε	ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

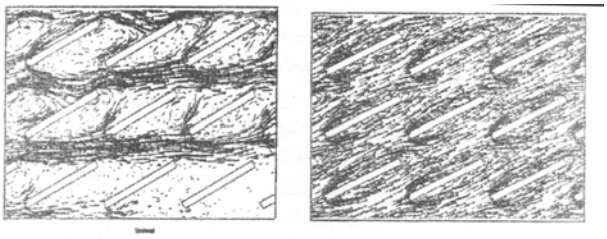
1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานได้เพิ่มอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง แต่พบว่าในโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งได้มีการปล่อยพลังงานความร้อนทิ้งสู่บรรยากาศอย่างเปล่าประโยชน์ ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งเหล่านั้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ก็จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้ทางหนึ่ง อุปกรณ์ในการนำความร้อนทิ้งกลับคืนคืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีอยู่หลายประเภท ในงานวิจัยนี้จะได้มุ่งเน้นการศึกษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัดใช้ครีบระบายความร้อนแบบเกล็ด ซึ่งในปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้งานหลายประเภท เช่น เป็นหม้อน้ำระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ เครื่องทำความเย็น และคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเหล่านี้ได้ถูกออกแบบให้รับการถ่ายเทความร้อนจากหรือแก่ก๊าซที่ถูกบังคับให้ไหลผ่านด้านที่ติดครีบด้วยการใช้พัดลม และเนื่องจากจุดเด่นที่สำคัญของผิวครีบแบบเกล็ดคือมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ช่วยให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมาก แต่ในขณะเดียวกันขนาดที่กะทัดรัดและช่องทางการไหลของอากาศที่ค่อนข้างซับซ้อน ทำให้เกิดความดันตกคร่อมสูงกว่าการไหลผ่านผิวครีบแบบแผ่นเรียบธรรมดา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการ ศึกษาออกแบบเพื่อให้ได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพสูงในการใช้งาน



รูป 1 ครีบแบบเกล็ดและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ[Wang and Lin]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ลักษณะทางกายภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น มุมเกล็ด ความกว้างและความยาวเกล็ด ระยะห่างระหว่างเกล็ด ความยาวครีบและระยะห่างระหว่างครีบ จะมีผลกระทบต่อลักษณะโครงสร้างการไหล และสภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน นอก จากลักษณะทางกายภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว Davenport (1980) พบว่าโครงสร้างการไหลและสภาพการถ่ายเทความร้อนยังขึ้นกับค่า เรย์โน-ลดส์นัมเบอร์ ของการไหลด้วย โดย ณ การไหลที่ตัวเลขเรโนลด์ต่ำ ๆ การไหลจะไหลไปตามแนวช่องว่างระหว่างครีบ หรือที่เรียกว่าการไหลตามแนวท่อ(Duct direct) ส่วนที่ตัวเลขเรโนลด์สูง ๆการไหลจะมีทิศทางไปตามแนวเกล็ดหรือเรียกว่าการไหลตามแนวเกล็ด(Louver direct) ในด้านการใช้วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาช่วยในการศึกษา Springer and Thole (1998) พบว่าแบบจำลองที่มีจำนวนครีบ 5 แถว การไหลจะเป็นการไหลตามแนวท่อส่วนแบบจำลองที่มีจำนวนครีบ 19 แถวการไหลจะเป็นการไหลตามแนวเกล็ด และเป็นการไหลแบบพีรีออดิก วีรชาติ และคณะ (2545) ได้ใช้กริดแบบผสม(Hybrid Mesh) และใช้เงื่อนไขที่ขอบแบบพีรีออดิก พบว่าสามารถเงื่อนไขนี้สามารถใช้ได้ดีกับการไหลที่มีค่าตัวเลขเรโนลด์น้อย วีรชาติ และคณะ (2546)ได้วิเคราะห์การไหลให้เป็นปัญหาแบบการไหลไม่คงตัว โดยพบว่า ณ การไหลที่ตัวเลขเรโนลด์เท่ากับ 450 การไหลจะเป็นการไหลแบบคงตัว ส่วนการไหลที่ตัวเลขเรโนลด์ 850 การไหลจะเป็นการไหลแบบไม่คงตัวและที่เกล็ดสุดท้ายจะมีการสลัดของวอร์เทคเกิดขึ้น ในด้านการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีบแบบเกล็ดมาใช้รับความร้อนทิ้ง เจนจิรา (2546) ได้ใช้คอนเดนเซอร์รถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยรับความร้อนจากก๊าซร้อนทิ้งที่ลอยตัวจากเตาย่างขนมไปใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อน จาก 30 °C เป็น 81 °C โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและประสิทธิผลของคอนเดนเซอร์มีค่าประมาณ 1.32 kW/K และ 0.55 ตามลำดับ



รูป 2 การไหลตามแนวท่อและการไหลตามแนวเกล็ด [Marlow and Springer]

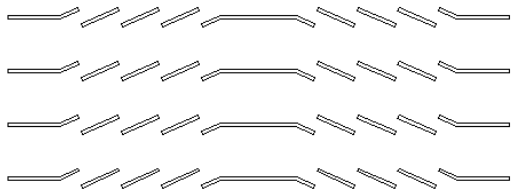
จะเห็นว่างานวิจัยที่ผ่านมาจะมีเป้าหมายหลักในการศึกษาเพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงและมีความดันตกคร่อมต่ำ โดยที่การไหลและการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบบังคับ ส่วนการศึกษาตัวแปรในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีครีบแบบเกล็ด และลักษณะการจัดวางอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนความเร็วต่ำที่ลอยขึ้นอย่างธรรมชาติยังไม่ปรากฏมาก่อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้ใช้วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาช่วยในการศึกษา โดยเงื่อนไขที่ขอบจะกำหนดเป็นแบบพีรีออดิก และเป็นการไหลแบบคงตัว เพื่อศึกษามุมเอียงตัวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนว่ามีผลต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อนอย่างไร

2.หลักการและทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือ 1. ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนว่ามีผลต่อรูปแบบการไหลอย่างไร 2. ทำการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมเอียงตัวต่างๆ ทั้งนี้สมการและเงื่อนไขต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดเมนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะประกอบไปด้วยแถวครีบแบบเกล็ดจำนวน 4 แถวซึ่งมีขนาดเท่ากับครีบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงไว้ในรูป 3 โดยใช้สมมุติฐานว่าอากาศเป็นของไหลแบบไม่อัดตัว มีคุณสมบัติคงที่เป็นชนิดนิวโทเนียน การไหลอยู่ในสภาวะคงตัว คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ (k , c_p) คงที่ ไม่คิดผลจากแรงโน้มถ่วง และเป็นการไหลใน 2 มิติ โดยมีสมการควบคุมดังนี้



รูป 3 โดเมนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \qquad (1)$$

สมการนาวิเยร์ – สโตกส์

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left\{\mu\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\mu\frac{\partial \mu_k}{\partial x_k}\delta_{ij}\right\} + \rho f_i \qquad (2)$$

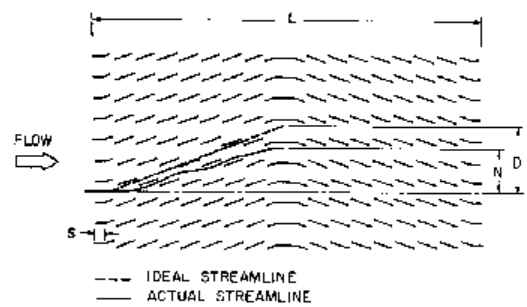
สมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\rho c_p u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = K\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\partial T}{\partial x_j}\right) + 2\mu\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho f_j u_j \qquad (3)$$

เงื่อนไขที่ขอบด้านทางเข้ากำหนดให้เป็นการไหลที่สม่ำเสมอ มีความเร็วและอุณหภูมิคงที่ ของไหลบริเวณที่ผิวของครีบและเกล็ดไม่มีการลื่นไถล อุณหภูมิที่ผิวเกล็ดมีค่าคงที่ บริเวณขอบบนและล่างของโดเมนการคำนวณใช้เงื่อนไขแบบพีรีออดิก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเงื่อนไขนี้สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการไหลของครีบแบบเกล็ดได้อย่างเหมาะสม

ในการศึกษานี้จะได้แสดงรูปแบบการไหลในรูปของค่าประสิทธิภาพการไหล (Flow efficiency:Fe) โดยในการคำนวณประสิทธิภาพการไหลสามารถแสดงได้ดังรูป 4 ซึ่งจะเห็นว่าหากค่าประสิทธิภาพการไหลมีค่ามากการไหลจะเป็นไปตามแนวเกล็ดแต่หากมีค่าน้อยการไหลจะเป็นไปตามแนวท่อ

$$Fe = \frac{N}{D} = \frac{actual\ \text{transverse distance}}{ideal\ \text{transverse distance}} \qquad (4)$$



รูป 4 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการไหล[Sahnoun and Webb]

2.2 การทดสอบหาประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

โดยทั่วไปแล้วหน้าที่ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ ถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งอัตราความร้อนที่ถูกถ่ายเทนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิของไหลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อของไหลไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังสมการ

$$Q_h = \dot{m}_h C_{p,h}\left(T_{h,in} - T_{h,out}\right) \quad \text{สำหรับของไหลร้อน} \qquad (5)$$

$$Q_c = \dot{m}_c C_{p,c}\left(T_{c,out} - T_{c,in}\right) \quad \text{สำหรับของไหลเย็น} \qquad (6)$$

นอกจากนั้นแล้วเรายังสามารถเขียนอัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิแตกต่างระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น ดังสมการ

$$Q = UA\Delta T_{lm} \tag{7}$$

โดย ΔT_{lm} คือค่าแตกต่างของอุณหภูมิแบบล็อกมีน (Logarithmic mean temperature) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (UA) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{\eta h_o A_o} + \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\delta_w}{k_w A_w} \tag{8}$$

โดยค่า η คือค่าประสิทธิภาพรวมของครีบหาได้จากสมการ

$$\eta = 1 - \frac{A_f}{A}\left(1 - \eta_f\right) \tag{9}$$

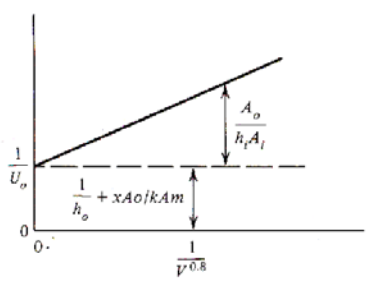
$$\eta_f = \frac{\tanh(ml)}{ml} \tag{10}$$

$$m = \sqrt{\left(\frac{2h_o}{kt}\right)} \tag{11}$$

การหาค่า h_i สามารถหาจากวิธีการวิลสันพล็อต (Wilson plot) โดยจะเป็นการพล็อตกราฟระหว่าง $\frac{1}{U}$ กับ $\frac{1}{V^{0.8}}$ ดังแสดงในรูป 5 ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$h_i = (const.)(V^{0.8}) \tag{12}$$

โดย V คือความเร็วของไหลในท่อ (m/s)



รูป 5 แสดงการพล็อตกราฟตามวิธีวิลสันพล็อต [Wilbert F.Stoecker]

ส่วนค่า h_o คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนทางด้านของไหลที่เป็นอากาศ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมานิยมหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนี้ในรูปของ โคเบิร์น แฟกเตอร์ (j Colburn factor), ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า h_o กับค่า j สามารถแสดงได้ดังนี้

$$j = \frac{h_o}{\rho V c_p}\Pr^{2/3} \tag{13}$$

ในการหาผลกระทบจากการทำมุมเอียงของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแล้วเรายังสามารถหาค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ค่ามุมต่างๆ ได้ดังสมการ

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \tag{14}$$

โดย Q คือความร้อนจริงที่ถ่ายเทผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ส่วน $Q_{\max}$ คือความร้อนสูงสุดที่สามารถถ่ายเทผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดย

$$Q_{\max} = \left(\dot{m}c_p\right)_{\min}\left(T_{h,in} - T_{c,in}\right) \tag{15}$$

นอกจากค่าต่างๆที่กล่าวมาแล้วยังมีตัวแปรอีกตัวหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิผลอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ Number of Transfer units (NTU) โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$NTU = \frac{\left(\dot{m}c_p\right)_{\min}}{UA} \tag{16}$$

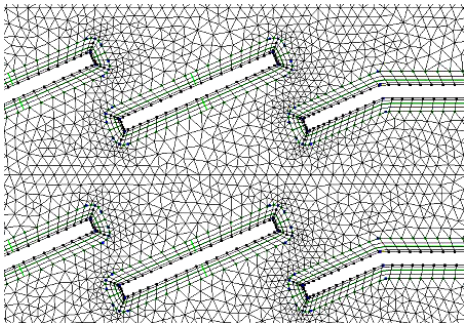
จากการหาค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้สามารถเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท ณ ค่ามุมต่างๆ ได้

3.วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการทำมุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีต่อรูปแบบการไหล ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อหาประสิทธิผลในการรับความร้อนที่มุมเอียงต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

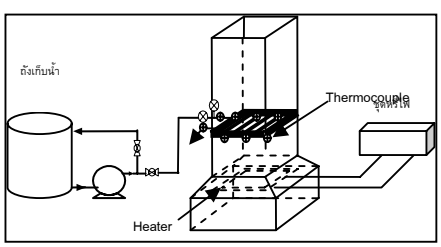
งานวิจัยนี้จะศึกษาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป **CFDRC®** ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์การไหลโดยใช้หลักการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computation Fluid Dynamic:CFD) โดยการสร้างแบบจำลองแสดงได้ในรูปที่ 3 ซึ่งจะกำหนดขนาดพื้นฐานดังนี้คือ Fp/L_p = 1.5, ความหนาครีบเท่ากับ 0.12 มิลลิเมตร, L_p = 1.5 มิลลิเมตร, θ =23.25° , s_1 และs_2 มีค่าเท่ากับ 2.65 และ2.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนกริดที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะใช้กริดแบบผสม ดังแสดงในรูป 6 ซึ่งกริดสี่เหลี่ยมที่ใช้จะมีจำนวน 6400 กริด ส่วนกริดสามเหลี่ยม จะมีจำนวนประมาณ 90000 กริด โดยกำหนดเงื่อนไขที่ขอบให้ความเร็วขาเข้าคงที่ อุณหภูมิที่ผิวคงที่ ที่ผิวไม่มีการลื่นไถล ซึ่งค่าเหล่านี้จะใช้ค่าที่วัดจากการทดสอบการรับความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในการศึกษาผลจากมุมเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลจะได้ทำการเอียงมุมของเวคเตอร์ความเร็วขาเข้าโดยให้ขนาดของเวคเตอร์ในแต่ละกรณีมีค่าคงที่ โดยจะได้ทำการศึกษาที่มุมเอียงเท่ากับ 0, 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้จะนำมาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการไหลซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ทิศทางการไหล เพื่อเปรียบเทียบการไหลของอากาศผ่านครีบที่มุมเอียงต่างๆ



รูป 6 ลักษณะของกริดที่ใช้ในการคำนวณ

3.2 การทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าประสิทธิผลและค่า j Colburn factor ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในการรับความร้อนจากอากาศร้อนที่มุมเอียงต่างๆ โดยชุดทดสอบแสดงได้ดังรูป 7 ประกอบไปด้วยปล่อง ภายในบรรจุด้วยแท่งฮีตเตอร์ขนาด 1000 วัตต์จำนวน 5 แท่งทำหน้าที่อุ่นอากาศให้ร้อนเพื่อให้อากาศลอยตัวขึ้น ผ่านแผงคอนเดนเซอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แท่งฮีตเตอร์สามารถปรับปริมาณไฟฟ้าได้โดยใช้ชุดหรี่ไฟเพื่อให้สามารถปรับความเร็วอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นจากฮีตเตอร์ได้ ส่วนภายนอกจะมีปั๊มน้ำหอยโข่ง (Centrifugal pump) ขนาด 1.5 แรงม้าทำหน้าที่บังคับให้น้ำป้อนไหลผ่านคอนเดนเซอร์ ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าระบบโดยการ bypass และใช้โรตามิเตอร์ในการวัดปริมาณการไหล แผงคอนเดนเซอร์สามารถปรับมุมการจัดวางได้เพื่อศึกษาผลกระทบจากมุมเอียงโดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาที่มุมเอียง 0, 10, 20 และ30 องศา โดยขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้ เริ่มจากปรับมุมเอียงแผงคอนเดนเซอร์จากนั้นเปิดไฟเข้าระบบแล้วปรับไฟให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการศึกษา จากนั้นเปิดปั๊มน้ำแล้วปรับให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการรอจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและออกชุดทดสอบ อยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) ซึ่งจะใช้เวลาเดินเครื่องประมาณ 1 ชั่วโมง จึงเริ่มเก็บข้อมูลของอุณหภูมิเข้า-ออกของก๊าซร้อน และน้ำป้อน โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ที่ใช้สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K โดยจะเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 15 นาที เป็นเวลาติดต่อกัน 120 นาที ซึ่งหลังจากได้ข้อมูลจากการทดสอบแล้วนำมาคำนวณหาค่า ประสิทธิผล และค่า j Colburn factor ที่ NTU และตัวเลขเรโนลด์ต่างๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบดังจะได้กล่าวต่อไป



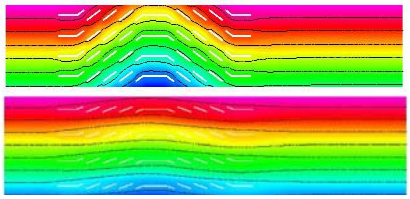
รูป 7 ชุดทดสอบผลของมุมเอียงที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4.ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

เมื่อได้ทำการทดสอบและคำนวณตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว จากนั้นจะได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาผลกระทบจากมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีต่อรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

4.1 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากผลการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการไหลและการถ่ายเทความร้อนจะสามารถแสดงโปรไฟล์การไหลได้ดังรูป 8

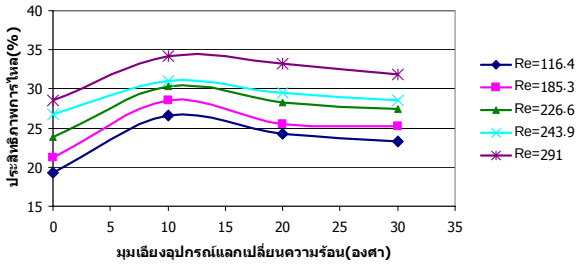


รูป 8 โปรไฟล์ของ Stream Function

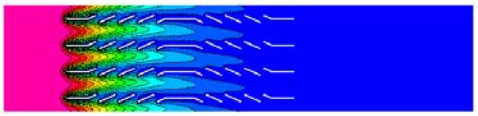
จากการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการไหลดังแสดงในรูป 9 พบว่าที่มุมเอียงตัวทุกมุมประสิทธิภาพการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากค่า Re มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคุณลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และในการเปรียบเทียบผลของมุมเอียงตัว ณ ตัวเลขเรโนลด์เท่ากันพบว่าหากเพิ่มมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจาก 0 เป็น 10 องศา ค่าประสิทธิภาพการไหล จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 25 % เนื่องจากการเอียงตัวจะทำให้อากาศบางส่วนสามารถไหลผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเกล็ดได้มากขึ้น และเมื่อดูจากโปรไฟล์ของอุณหภูมิดังรูป 10 พบว่าการเอียงตัวยังช่วยให้อากาศร้อนไหลเข้ามาในช่องระหว่างครีบได้มากขึ้นด้วย แต่หากเพิ่มมุมเอียงตัวเป็น 20 และ 30 องศา ประสิทธิภาพการไหลจะมีค่าค่อยๆลดลงคิดเป็น 18% และ 16 % ตามลำดับหากเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4.2 ผลจากการทดสอบหาประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

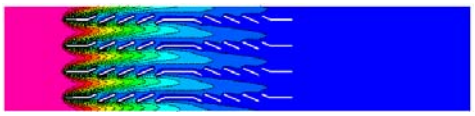
จากผลการทดสอบความสามารถในการรับความร้อนจากอากาศร้อนลอยตัวจากเครื่องกำเนิดความร้อนที่มุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูป 11 ซึ่งพบว่า ณ มุมเอียงตัวต่างๆ ค่าประสิทธิผลจะแปรผันตรงกับค่า NTU และ แปรผกผันกับอัตราส่วน C_{max}/C_{min} ซึ่งเป็นคุณลักษณะทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หากเปรียบเทียบประสิทธิผล ณ ตำแหน่ง NTU และ Cr เดียวกันพบว่าที่มุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 10 องศาจะมีค่าประสิทธิผลในการรับความร้อนมากที่สุดและจะลดลงเมื่อเพิ่มมุมเป็น 20 และ 30 องศาตามลำดับแต่ค่าประสิทธิผลที่ได้ก็ยังสูงกว่าที่กรณีมุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ซึ่งหมายความว่าการเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้



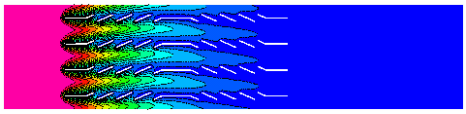
รูป 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการไหลกับมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ณ ค่าตัวเลขเรโนลด์ต่างๆ



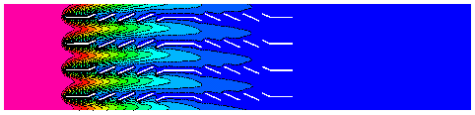
(ก) 0 องศา



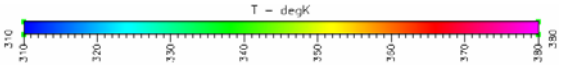
(ข) 10 องศา



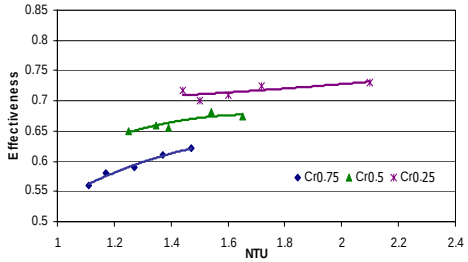
(ค) 20 องศา



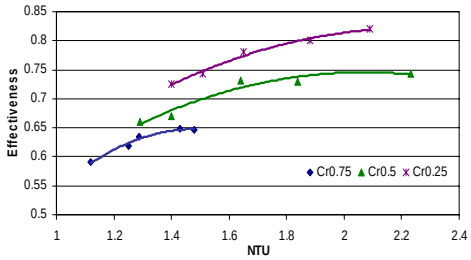
(ง) 30 องศา



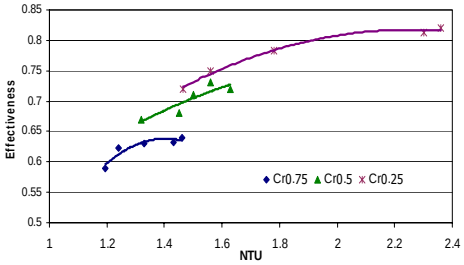
รูป 10 แสดงโปรไฟล์ของอุณหภูมิ ณ มุมเอียงต่างๆ



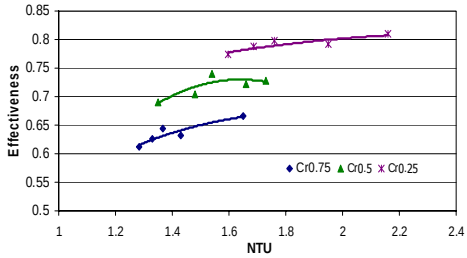
(ก) มุม 0 องศา



(ข) มุม 10 องศา

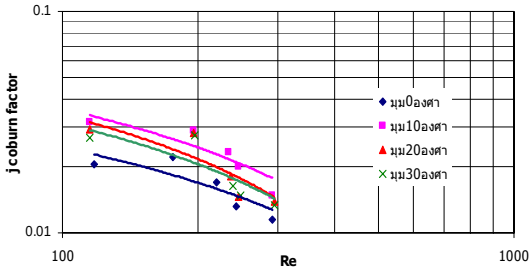


(ค) มุม 20 องศา



(ง) มุม 30 องศา

รูป 11 แสดงความสัมพันธ์ค่า NTU กับ ประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ



รูป 12 แสดงค่า j Colburn factor ที่ตัวเลขเรโนลด์และมุมเอียงตัวต่างๆ

จากรูป 12 จะเห็นว่า ค่า j Colburn factor จะแปรผกผันกับตัวเลขเรโนลด์ แต่หากเปรียบเทียบ ณ ตัวเลขเรโนลด์เท่ากัน พบว่าที่มุมเอียงเท่ากับ 10 องศา จะมีค่า j Colburn factor สูงที่สุดและจะมีค่าลดลงที่มุมเอียงเท่ากับ 20 ,30 องศา แต่ค่า j Colburn factor ที่ได้ก็ยังสูงกว่าที่กรณีมุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของรูปแบบการไหลจากแนวท่อมาเป็นแนวเกลด์ดังแสดงในรูปของประสิทธิภาพการไหล ซึ่งจะทำให้ครีบมีพื้นที่ในการรับความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

5.สรุปผล

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการไหลจะขึ้นกับค่าตัวเลขเรโนลด์และมุมเอียงตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยหากค่าตัวเลขเรโนลด์สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการไหลสูงขึ้น และหากเพิ่มมุมเอียงจาก 0 เป็น 10 องศาจะทำให้ประสิทธิภาพการไหลมีค่าสูงขึ้นซึ่งแสดงว่าการไหลมีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของทิศทางจากแนวท่อมาเป็นแนวเกลด์มากขึ้น แต่หากเพิ่มมุมเอียงเป็น 20 และ 30

องศาค่าประสิทธิภาพการไหลจะมีค่าลดลงเล็กน้อยตามลำดับ แต่ยังมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่มุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ส่วนด้านการถ่ายเทความร้อนพบว่า ณ ตำแหน่ง NTU และ Cr เดียวกันหากเพิ่มมุมเอียงตัวจาก 0 เป็น 10 องศาจะทำให้ประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นและค่อยๆ ลดลงที่มุม 20, 30 องศา ตามลำดับ และ ณ ค่าตัวเลขเรโนลด์เท่ากันที่มุมเอียงตัว 10 องศาจะให้ค่า j Colburn factor สูงที่สุดและจะมีค่าลดลงที่มุมเอียงเท่ากับ 20 ,30 องศาตามลำดับ แต่ค่า j Colburn factor ที่ได้ก็ยังสูงกว่าที่กรณีมุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเพิ่มมุมเอียงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหล และประสิทธิภาพการไหลที่เพิ่มขึ้นช่วยให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิผลดีขึ้น แต่ต้องเอียงด้วยมุมที่เหมาะสมจึงจะมีประสิทธิผลในการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษานี้จะนำไปสู่การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการไหลของอากาศร้อนที่ความเร็วต่ำ ซึ่งลอยตัวจากเตาในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิผลในการรับความร้อนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Davenport, C.J. ”Heat transfer and fluid flow in louvered triangular ducts”, Ph.D. Thesis, CNAA, Lanchester Polytechnic, 1980

[2] Marlow, E. ,Springer, Karen, A., Thole”Experimental design for flowfield studies of louvered fin”. Experiment Thermal and Fluid Science,1998, Vol 18 , pp.258-269

[3] วีรชาติ นวรุ่งเรือง, อุดมเกียรติ นนทแก้ว, พ.ต. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง,”การจำลองสนามการไหลของอากาศผ่านครีบระบายความร้อนแบบเกร็ดด้วยเงื่อนไขที่ขอบแบบพีรีออดิก., การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 ปี พ.ศ.2545

[4] วีรชาติ นวรุ่งเรือง, อุดมเกียรติ นนทแก้ว, พ.ต. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง,”การวิเคราะห์ผลการไหลแบบสภาวะไม่คงตัวผ่านครีบระบายความร้อนแบบเกล็ด”, การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ปี พ.ศ.2546

[5] เจนจิรา เปี่ยมดี, ณัฐ วรยศ, วงกต วงศ์อภัย,และ ณอคุณ สิทธิพงษ์ ,”ระบบนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่โดยใช้คอนเดนเซอร์สำหรับระบบปรับอากาศในรถยนต์เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 ปี พ.ศ. 2545 หน้า 643-648

[6] Tafti, D.K. , Wang, G. , Lin, W.,”Flow transition in a multilouvered fin array”, International Journal of Heat and Mass Transfer,2000, Vol.3, pp.901-919

[7] Wei-Mon, Yan, Pay-Jen, Sheen,”Heat transfer and friction characteristic of fin and tube heat exchangers”, International Journal of Heat and Mass Transfer,2000, Vol.43 , pp.1651-1659

[8] Sahnoun, A., Webb, R.L.,”Prediction of heat transfer and friction for the louver fin geometry”, International Journal of Heat Transfer,1992, Vol.114 , pp.895-900