การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนกับพื้นที่ผิวและน้ำหนักของท่อติดแถวครีบ

Analyzing and Comparing Heat Transferring with Area and Weight of Tube Extending Array of Fin

สิทธิพร ใหญ่ธนายศ[1]

บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับพื้นที่ผิวภายนอกและน้ำหนักของท่อติดแถวครีบ ซึ่งเป็นครีบสี่เหลี่ยมและครีบวงแหวนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆได้แก่ ขนาด, รูปทรง, ชนิดวัสดุ,ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและจำนวนครีบที่ใช้ โดยวิเคราะห์ครีบที่มีขนาดความหนา 1ถึง 2 mm , ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบตั้งแต่ 5 ถึง 30W/m^2°C ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกระหว่าง 1 ถึง 2 in.และค่าอัตราส่วนr_t/r_b ตั้งแต่ 1.5 ถึง 4 ทำจากทองแดงและเหล็กกล้าผสม ผลการวิเคราะห์พบว่าท่อที่ติดแถวครีบสี่เหลี่ยม 2แผ่น ที่ทำจากทองแดงได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 2.9 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบและถ้าทำจากเหล็กกล้าผสมได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 2.7 เท่า ของท่อที่ไม่ติดครีบในขณะที่มีพื้นที่ผิวภายนอกประมาณ 1.3 ถึง 2.9 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบ และมีน้ำหนักสูงสุดประมาณ 2.6 ของท่อที่ไม่ติดครีบ ส่วนท่อที่ติดแถวครีบวงแหวน 5 แผ่นที่ทำจากทองแดงได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 2.7 เท่าและถ้าทำจากเหล็กกล้าผสมได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดประมาณ 2.3 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบในขณะที่มีพื้นที่ผิวภายนอกประมาณ 1.07 ถึง 1.95 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบ ถ้าเป็นท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.0 in.และมีพื้นที่ผิวภายนอกประมาณ 1.15 ถึง 2.9 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบ ถ้าเป็นท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.0 in. และมีน้ำหนักสูงสุดประมาณ 2 เท่าของท่อที่ไม่ติดครีบ

คำสำคัญ : ครีบ , แถวครีบ , ครีบเชิงอุดมคติ , ประสิทธิภาพของครีบ

Abstract

This paper is analyzing and comparing between heat transfer rate and surface area and weight of tube with array of fin. They are rectangular and circular fins when are changed parameters such as size, shape, material, convective coefficient and number of fin. Analyzing fin of 1 to 2 mm thickness, convective coefficient around fin from 5 to 30W/m^2°C, tube outside diameter of 1 to 2 in. and ratio of r_t/r_b from 1.5 to 4. made of copper and alloy steel. In analyzing, it is found that tube extended with 2 rectangular fins made of copper gain maximum heat transfer rate about 2.9 time of tube without fin and if fins are made of alloy steel gain maximum heat transfer rate about 2.7 time of tube without fin while it has outside area about 1.3 to 2.9 time of tube without fin and has maximum weight about 2.6 time of tube without fin. Tube extended with 5 circular fins made of copper gain maximum heat transfer rate about 2.7 time of tube without fin and if fins are made of alloy steel gain maximum heat transfer rate about 2.3 time of tube without fin while it has outside area about 1.07 to 1.95 time of tube without fin if it has outside diameter of 1.0 in. and has outside area about 1.15 –2.9 time of tube without fin if it has outside diameter of 2.0 in. and has maximum weight to about 2 time of tube without fin

Keywords : Fin , Array of Fin , Ideal Fin , Fin Efficiency

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. บทนำ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน กับ พื้นที่ผิวภายนอก และน้ำหนักของท่อติดแถวครีบ โดยก่อนที่จะเสนอผลการ วิเคราะห์ จะได้กล่าวถึงขอบเขตการศึกษา อุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.1 ขอบเขตของการวิจัย

1. วิเคราะห์ถึงครีบที่มีรูปทรงเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ติดภายนอกท่อตามแนวความยาวท่อ และ ครีบที่มีรูปทรงเป็นแผ่นวงแหวนติดภายนอกท่อตามแนวเส้นรอบวง

2. วิเคราะห์ถึงท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1, 1¼ , 1 ½ และ 2 in.

3. วิเคราะห์ถึงครีบบาง ๆ ที่มีขนาดความหนา 1 ถึง 2 mm

4. ใช้ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมีที่ขอบผิวนอกของครีบ ต่อรัศมีผิวนอกท่อ 1.0 ถึง 4.0

5. วิเคราะห์ถึงวัสดุท่อ 2 ชนิด คือ ทองแดง และ เหล็กกล้าผสม ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพการนำความร้อนสูง

6. พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติประมาณ 5 ถึง 30 W/(m^2°C)

1.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการศึกษาวิเคราะห์

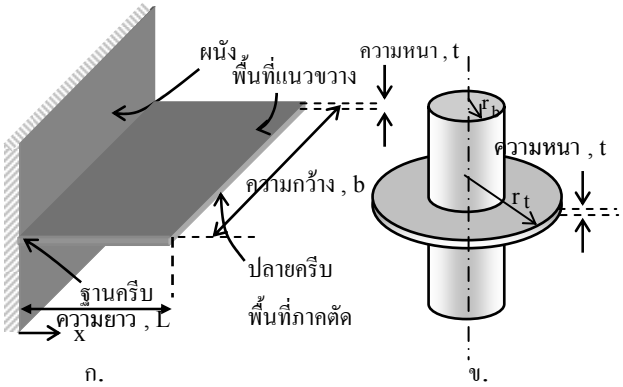
ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของครีบตามขนาด, รูปทรงและ วัสดุที่แตกต่างกัน คำนวณหาพื้นที่ผิวโดยรวมทั้งหมดสำหรับท่อที่ติดแถวครีบที่มีจำนวนครีบต่าง ๆจากค่าประสิทธิภาพของครีบ และ พื้นที่ผิวที่ได้นี้นำไปวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด เปรียบเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวท่อเดิมที่ไม่มีการติดครีบเลย พร้อมทั้งหาน้ำหนักรวมของท่อที่ติดแถวครีบที่เพิ่มขึ้นจากท่อเดิมที่ไม่มีครีบด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีโดยสำคัญจะเริ่มจากส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของครีบ สมการต่าง ๆที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ครีบ สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์การติดครีบเรียงเป็นแถวบนผิวนอกของท่อ

2.1 หลักการและส่วนประกอบของครีบ

ครีบระบายความร้อน (fins) เป็นพื้นผิวส่วนที่เพิ่มขึ้น จากผิวผนังหรือท่อที่มีอยู่ เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น ในการกล่าวถึงครีบแบบสี่เหลี่ยมหรือครีบแบบอื่น ๆที่ยื่นออกจากพื้นผิวเดิมมีส่วนประกอบสำคัญที่เหมือนกันตามที่แสดงในรูปที่ 1



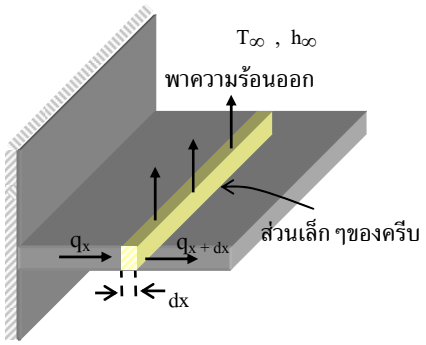
ก. ครีบสี่เหลี่ยมที่ยื่นออกจากผนัง

ข. ครีบวงกลมที่ติดอยู่ที่ผิวนอกของทรงกระบอก

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของครีบ

2.2 สมการสำหรับครีบ

ในการอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีบ ก็จะต้องทำการสมดุลพลังงานของครีบส่วนเล็ก ๆ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากการนำและการพาความร้อนที่ถ่ายเทออกไปกลับของไหล ตามรูปที่ 2 แสดงถึงครีบแผ่นสี่เหลี่ยมยื่นต่อจากผนังออกสู่ของไหลแวดล้อมที่มีอุณหภูมิ T_∞ และส่วนของฐานครีบที่ติดกับผนัง มีอุณหภูมิ T_0



รูปที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของส่วนเล็ก ๆของครีบที่ยื่นจากผนังราบ

จากการสมดุลพลังงานสำหรับส่วนเล็ก ๆของครีบ ,โดยใช้ตัวแปร $\theta = T - T_\infty$ จะได้สมการ

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{h_{\square\ddagger} P}{k A} . \theta = 0 \qquad (1)$$

P คือ ความยาวเส้นรอบวงของพื้นที่หน้าตัด A

เมื่อให้ $\frac{h_{\square\ddagger} P}{k A} = m^2$ ผลเฉลยของสมการที่ 1 คือ

$$\theta(x) = C_1 e^{-mx} + C_2 e^{mx} \qquad (2)$$

เมื่อใช้สภาพขอบเขตหรือลักษณะของครีบที่ได้วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นครีบที่มีขนาดความหนาไม่มาก การไม่คำนึงถึงการนำความร้อน

ผ่านออกที่ปลายครีบจึงไม่ทำให้เกิดผลผิดพลาดมากนัก โดยที่มีสภาพขอบเขต คือ

เมื่อ $x = 0$, $\theta = \theta_0$

และ เมื่อ $x = L$, $\frac{d\theta}{dx} = 0$

เมื่อเป็นครีบที่มีความหนาไม่มาก($t << b$) , $P = 2\ (b + t) \approx 2\ b$

$$m = \sqrt{\frac{h\,P}{k\,A}} \approx \sqrt{\frac{h\,(2\,b)}{k\,bt}} \approx \sqrt{\frac{2\,h}{k\,t}} \qquad (3)$$

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนออกทั้งหมดเมื่อมีการใช้ครีบ ก็ใช้สมการของการนำความร้อนที่ฐานของครีบ ($x = 0$) ,

$$\dot{Q} = -k\,A \left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0} \qquad (4)$$

จะได้สมการสำหรับคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน คือ

$$\dot{Q} = \sqrt{h\,P\,kA}\ \theta_0 \tanh(mL) \qquad (5)$$

สำหรับครีบแผ่นวงแหวนตามในรูปที่ 1 ข ซึ่งเป็นครีบที่มีขนาดความหนาคงที่ยึดติดกับผิวท่อทรงกระบอกกลมในแนวเส้นรอบวง เป็นครีบอีกรูปทรงหนึ่งที่ถูกนำมาพิจารณาใช้ในงานด้านวิศวกรรม

พื้นที่ภาคตัดและพื้นที่ผิวที่ของไหลไหลผ่านเป็นฟังก์ชันกับพิกัดในแนวรัศมี และมีการนำความร้อนผ่านเนื้อครีบตามแนวรัศมีเท่านั้น

พื้นที่ภาคตัด, $A = 2\,\pi\,r\,t$

พื้นที่ผิวที่ของไหลไหลผ่าน, $A_s = 2\,\pi\,(r_t^2 - r_b^2)$

เมื่อแทนค่าขนาดพื้นที่ภาคตัดและพื้นที่ผิวที่ของไหลไหลผ่าน จะได้

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{d\theta}{dr} - \frac{2h}{kt}\,\theta = 0 \qquad (6)$$

สมการนี้เรียกว่าสมการของเบสเซลอันดับศูนย์ (Bessel's equation of zero order) ซึ่งมีผลเฉลยสำหรับอุณหภูมิ θ อยู่ในรูปแบบ

$$\theta = B\,I_0(m\,r) + CK_0(mr) \qquad (7)$$

B และ C คือ ค่าคงที่ หาได้จากสภาพขอบเขต ดังนี้

ที่ฐานครีบ , $r = r_b$ มีอุณหภูมิคงที่ T_0 ได้ $\theta = \theta_0 = T - T_\infty$

และที่ปลายครีบ, $r = r_t$ เมื่อไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านปลายครีบ $\frac{dT}{dr} = \frac{d\theta}{dr} = 0$

ซึ่งจะใช้คุณสมบัติของค่าฟังก์ชันเบสเซลประเมินหาค่าคงที่ Bและ C

และคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีบวงแหวน โดยใช้สมการของการนำความร้อนที่ฐานของครีบ ($r = r_b$) เมื่อแทนสมการการกระจายอุณหภูมิตามระยะรัศมีจะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านครีบวงแหวนดังนี้

$$\dot{Q} = 2\,\pi kmt\theta_0 r_b \frac{K_1(mr_b).I_1(mr_t) - I_1(mr_b).K_1(mr_t)}{K_0(mr_b).I_1(mr_t) + I_0(mr_b).K_1(mr_t)} \qquad (8)$$

$I_0(x)$ และ $I_1(x)$ คือ ค่า Modified Bessel Functions of the first kind of order 0 and 1 ของ x ตามลำดับ

$K_0(x)$ และ $K_1(x)$ คือ ค่า Modified Bessel Functions of the second kind of order 0 and 1 ของ x ตามลำดับ

2.3 ประสิทธิภาพของครีบระบายความร้อน

แนวคิดที่ให้ความสะดวกต่อการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีบก็คือ ประสิทธิภาพของครีบ โดยประสิทธิภาพของครีบหมายถึงอัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนของครีบจริงกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของครีบเชิงอุดมคติ ,

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{ideal}} \qquad (9)$$

ครีบเชิงอุดมคติสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุด เนื่องจากคล้ายกับครีบที่ทำจากวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงมาก จนทำให้ตลอดระยะความยาวทั้งครีบจะมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิของฐานครีบ

สำหรับครีบแผ่นสี่เหลี่ยม จะได้

$$\dot{Q}_{ideal} = h\,A_s\,(T_0 - T_\infty) = h\,PL\,(T_0 - T_\infty) \qquad (10)$$

จากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจริง สำหรับครีบแผ่นสี่เหลี่ยมในกรณีที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านปลายครีบ ตามสมการที่ (5) , จะได้ค่าประสิทธิภาพของครีบแผ่นสี่เหลี่ยม คือ

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL)}{mL} \qquad (11)$$

สำหรับครีบวงแหวนได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในทางอุดมคติ ,

$$\dot{Q}_{ideal} = h\,A_s\,(T_0 - T_\infty) = 2\,\pi\,(r_t^2 - r_b^2)\,h\,(T_0 - T_\infty) \qquad (12)$$

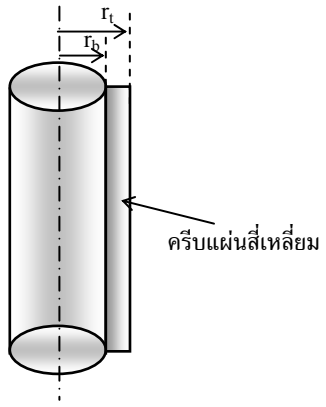
และจากค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจริงสำหรับครีบวงแหวนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านปลายครีบ ตามสมการที่ (8) จะได้ค่าประสิทธิภาพของครีบวงแหวน คือ

$$\eta_f = \frac{ktmr_b}{(r_t^2 - r_b^2)} \cdot \frac{K_1(mr_b).I_1(mr_t) - I_1(mr_b).K_1(mr_t)}{K_0(mr_b).I_1(mr_t) + I_0(mr_b).K_1(mr_t)} \qquad (13)$$

เมื่อให้ $\alpha = r_b / r_t$ และ $\beta = m\,r_t = r_t\sqrt{\frac{2h}{kt}}$ จะได้

$$\eta_f = \frac{2\alpha}{\beta(1-\alpha^2)} \cdot \frac{K_1(\alpha\beta).I_1(\beta) - I_1(\alpha\beta).K_1(\beta)}{K_0(\alpha\beta).I_1(\beta) + I_0(\alpha\beta).K_1(\beta)} \qquad (14)$$

ตามในรูปที่ 3 เป็นครีบแผ่นสี่เหลี่ยมที่ยึดติดกับผิวนอกของท่อซึ่งเป็นลักษณะของครีบที่ใช้วิจัยนี้ เนื่องจากเป็นครีบที่มีความหนาไม่มาก ถือได้ว่าผลจากผิวโค้งของท่อมีน้อย ก็วิเคราะห์แบบเดียวกับที่กล่าวมา



รูปที่ 3 ลักษณะครีบแผ่นสี่เหลี่ยมที่ยึดติดกับผิวนอกของท่อ

2.4 การติดครีบเรียงเป็นแถว (Array of Fins)

การใช้ครีบระบายความร้อนโดยทั่วไป จะใช้ครีบเรียงกันเป็นแถวหลาย ๆอันเพื่อให้ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นสูง ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 4 ดังนั้น จึงต้องวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการติดครีบเรียงกันหลายอัน โดยพื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านทั้งหมด คือ ในส่วนของพื้นที่ผิวของครีบที่ใช้ทั้งหมด, A_{fin} (มีพื้นผิว 2 ด้าน) และพื้นที่ผิวของท่อเดิมที่ไม่มีครีบติดอยู่, A_{unfin}

เมื่อเป็นครีบแผ่นสี่เหลี่ยมจำนวน n แผ่น

$$A_{fin} = 2\,n\,L\,b \qquad (15)$$

พื้นที่ผิวของท่อเดิมที่ไม่มีครีบติดอยู่ ,

$$A_{unfin} = b\,(2\,\pi r_b - n\,t) \qquad (16)$$

และ เมื่อเป็นครีบแผ่นวงแหวน จำนวน n แผ่น ,

$$A_{fin} = 2\,n\,\pi\,(r_t^2 - r_b^2) \qquad (17)$$

พื้นที่ผิวของท่อเดิมที่ไม่มีครีบติดอยู่ ,

$$A_{unfin} = 2\,\pi r_b\,(b - n\,t) \qquad (18)$$

เมื่อครีบและท่อทำจากวัสดุชนิดเดียวกันน้ำหนักของท่อติดแถวครีบคิดได้เท่ากับปริมาตรของท่อที่ติดครีบ

ID คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ Gage NO. ต่าง ๆ

OD_b คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อที่ฐานครีบ

OD_t คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกที่ปลายครีบ

V_0 คือ ปริมาตรของท่อเดิมต่อความยาว 1 m ,

$$V_0 = \frac{\pi}{4}\,(OD_b^2 - ID^2)\ \text{x}\ 1\ \text{m} \qquad (19)$$

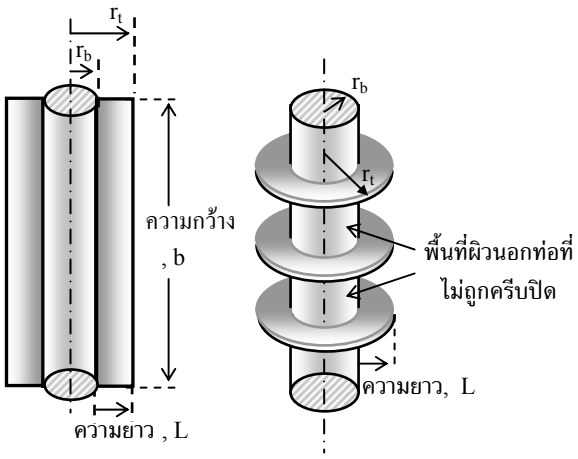
V_{fin}คือปริมาตรของครีบที่ใช้ทั้งหมด

เมื่อเป็นครีบแผ่นสี่เหลี่ยม จำนวน n แผ่น

$$V_{fin} = nLb\,t \qquad (20)$$

และเมื่อเป็นครีบแผ่นวงแหวนที่ใช้ทั้งหมด จำนวน n แผ่น

$$V_{fin} = n\frac{\pi}{4}\,(OD_t^2 - OD_b^2)\,t \qquad (21)$$



รูปที่ 4 การติดครีบเรียงกัน ยึดติดกับผิวนอกของท่อ
ก. ครีบแผ่นสี่เหลี่ยมติดเรียงตามแนวเส้นรอบวง
ข. ครีบแผ่นวงแหวนติดเรียงตามแนวความยาวของท่อ

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่ผิวของครีบที่ใช้ทั้งหมด ,

$$\dot{Q}_{fin} = \eta_f\,A_{fin}\,h\,\theta_0 \qquad (22)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่ผิวของท่อเดิมที่ไม่มีครีบติดอยู่ ,

$$\dot{Q}_{unfin} = (A - A_{fin})\,h\,\theta_0 \qquad (23)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดเมื่อติดครีบเรียงเป็นแถว,

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{fin} + \dot{Q}_{unfin} = \eta_f A_{fin}\,h\,\theta_0 + (A_t - A_{fin})\,h\,\theta_0 \qquad (24)$$

และคิดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยรวมทั้งหมด , η_O ตามสัดส่วนของพื้นผิวของครีบที่ติดทั้งหมดเมื่อติดครีบเรียงเป็นแถว คือ

$$\eta_O = 1 - \frac{A_{fin}}{A_t}\,(1 - \eta_f) \qquad (25)$$

หรือหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อติดครีบเรียงเป็นแถวได้จาก,

$$\dot{Q} = \eta_O\,A_t\,h\,\theta_0 \qquad (26)$$

3. ผลการศึกษาวิเคราะห์

จากการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีดังกล่าวทั้งหมด ได้นำมาใช้วิเคราะห์โดยจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ช่วยในการคำนวณ เนื่องจากมีตัวแปรจำนวนมากและสูตรคำนวณค่อนข้างซับซ้อน และแสดงผลการวิเคราะห์ ดังนี้

3.1 พื้นที่ผิวของท่อติดแถวครีบ

จากการป้อนข้อมูลต่าง ๆที่ใช้สำหรับคำนวณหาพื้นที่ผิวของท่อติดแถวครีบแผ่นสี่เหลี่ยมและครีบแผ่นวงแหวนเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ ได้ตัวอย่างผลการคำนวณวิเคราะห์ ตามตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวภายนอกของท่อติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมเรียงตามแนวเส้นรอบวง 2 แผ่นเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ (A_t / A_0)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	ความหนาของแผ่นครีบ (mm)	A_t / A_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
		2.0	3.0	4.0
1	1.0	1.61	2.25	2.88
	1.5	1.60	2.24	2.87
	2.0	1.59	2.22	2.86
1 ¼	1.0	1.62	2.25	2.89
	1.5	1.61	2.24	2.88
	2.0	1.60	2.23	2.87
1 ½	1.0	1.62	2.26	2.89
	1.5	1.61	2.25	2.88
	2.0	1.60	2.24	2.88
2	1.0	1.62	2.26	2.90
	1.5	1.62	2.25	2.89
	2.0	1.61	2.25	2.88

ตารางที่ 2 พื้นที่ผิวภายนอกของท่อติดครีบแผ่นวงแหวนเรียงตามแนวความยาวของท่อ 5 แผ่นเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ (A_t / A_0)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	ความหนาของแผ่นครีบ (mm)	A_t / A_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
		2.0	3.0	4.0
1	1.0	1.19	1.50	1.95
	1.5	1.18	1.50	1.95
	2.0	1.18	1.50	1.94
1 ¼	1.0	1.23	1.63	2.19
	1.5	1.23	1.63	2.18
	2.0	1.23	1.63	2.18
1 ½	1.0	1.28	1.76	2.42
	1.5	1.28	1.75	2.42
	2.0	1.28	1.75	2.42
2	1.0	1.38	2.01	2.90
	1.5	1.37	2.01	2.90
	2.0	1.37	2.01	2.90

ถ้ามีการติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมมากกว่า 2 แผ่น คือ 4 , 6 , 8 , 10 , 12 แผ่น ก็คิดคำนวณหาพื้นผิวภายนอกของท่อที่ติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมตามจำนวนแผ่นเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบได้ดังนี้

- ครีบมีขนาดความหนา , t = 1 mm ยึดติดกับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 in. , อัตราส่วนระยะรัศมีที่ขอบปลายครีบต่อรัศมีภายนอกของท่อ , r_t /r_b = 2 เมื่อมีจำนวน 4 แผ่น จะมีพื้นผิวภายนอกเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ คือ

$$(1.61 – 1) \text{ x } 4/2 + 1 = 2.22$$

และถ้ามีการติดครีบแผ่นวงแหวนมากกว่า 5 แผ่น คือ 10 , 20 , 40 แผ่นก็คิดคำนวณหาพื้นผิวภายนอกของท่อที่ติดครีบ ได้แบบเดียวกัน

- ครีบมีขนาดความหนา , t = 1 mm ยึดติดกับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 in. , อัตราส่วนระยะรัศมีที่ขอบปลายครีบต่อรัศมีภายนอกของท่อ , r_t /r_b = 2 เมื่อมีจำนวน 10 แผ่น จะมีพื้นผิวภายนอกเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ คือ

$$(1.19 – 1) \text{ x } 10/5 + 1 = 1.38$$

3.2 น้ำหนักของท่อติดแถวครีบ

จากการป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับคำนวณหาน้ำหนักของท่อติดแถวครีบแผ่นสี่เหลี่ยม และ ครีบแผ่นวงแหวนเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ ได้ตัวอย่างผลการคำนวณวิเคราะห์ สำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 และ 1 ½ in., Gage No. 12 , 14 , 16 และ18 ติดครีบที่มีความหนา (t) 1 ถึง 2 mm ตามตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 น้ำหนักของท่อติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมเรียงตามแนวเส้นรอบวง 2 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ (m_t / m_0)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	Gage No.	t (mm)	m_t / m_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
			2.0	3.0	4.0
1	12	1.0	1.129	1.258	1.387
		1.5	1.194	1.387	1.580
		2.0	1.258	1.516	1.774
	14	1.0	1.165	1.329	1.494
		1.5	1.247	1.494	1.740
		2.0	1.329	1.658	1.987
	16	1.0	1.206	1.413	1.619
		1.5	1.310	1.619	1.928
		2.0	1.413	1.825	2.238
	18	1.0	1.269	1.538	1.807
		1.5	1.403	1.807	2.210
		2.0	1.538	2.075	2.613
1 ½	12	1.0	1.124	1.248	1.372
		1.5	1.186	1.372	1.558
		2.0	1.248	1.496	1.744
	14	1.0	1.160	1.319	1.479
		1.5	1.240	1.479	1.719
		2.0	1.319	1.639	1.958

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	Gage No.	t (mm)	m_t / m_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
			2.0	3.0	4.0
1 ½	16	1.0	1.202	1.403	1.605
		1.5	1.303	1.605	1.907
		2.0	1.403	1.807	2.210
	18	1.0	1.264	1.529	1.793
		1.5	1.397	1.793	2.189
		2.0	1.529	2.057	2.586

ตารางที่ 4 น้ำหนักของท่อติดครีบแผ่นวงแหวนเรียงตามแนวความยาวของท่อ 5 แผ่นเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ (m_t / m_0)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	Gage No.	t (mm)	m_t / m_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
			2.0	3.0	4.0
1	12	1.0	1.039	1.103	1.193
		1.5	1.058	1.154	1.290
		2.0	1.077	1.206	1.386
	14	1.0	1.049	1.131	1.246
		1.5	1.074	1.197	1.369
		2.0	1.099	1.263	1.492
	16	1.0	1.062	1.165	1.309
		1.5	1.093	1.247	1.463
		2.0	1.124	1.329	1.617
	18	1.0	1.080	1.214	1.402
		1.5	1.121	1.322	1.603
		2.0	1.161	1.429	1.804
1 ½	12	1.0	1.056	1.148	1.278
		1.5	1.083	1.223	1.417
		2.0	1.111	1.297	1.556
	14	1.0	1.072	1.191	1.358
		1.5	1.108	1.287	1.538
		2.0	1.143	1.382	1.717
	16	1.0	1.091	1.241	1.453
		1.5	1.136	1.362	1.679
		2.0	1.181	1.483	1.905
	18	1.0	1.119	1.316	1.593
		1.5	1.178	1.475	1.890
		2.0	1.237	1.633	2.186

ถ้ามีการติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมมากกว่า 2 แผ่น คือ 4 , 6 , 8 , 10 , 12 แผ่น ก็คิดคำนวณหาน้ำหนักของท่อที่ติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยม ได้ดังนี้

- ครีบมีขนาดความหนา , t = 1 mm ยึดติดกับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 in. , Gage No.14 ,อัตราส่วนระยะรัศมีที่ขอบปลายครีบต่อรัศมีภายนอกของท่อ , r_t / r_b = 2

เมื่อมีจำนวน 4 แผ่น จะมีน้ำหนักเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ คือ

(1.165 – 1) x 4/2 + 1 = 1.329

และถ้ามีการติดครีบแผ่นวงแหวนมากกว่า 5 แผ่น คือ 10 , 20 , 40 แผ่นก็คิดคำนวณหาน้ำหนักของท่อที่ติดครีบ ได้แบบเดียวกัน

- ครีบมีขนาดความหนา , t = 1 mm ยึดติดกับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 in. , Gage No.14 ,อัตราส่วนระยะรัศมีที่ขอบปลายครีบต่อรัศมีภายนอกของท่อ , r_t / r_b = 2

เมื่อมีจำนวน 10 แผ่น จะมีน้ำหนักเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ คือ

(1.049 – 1) x 10/5 + 1 = 1.099

3.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อติดแถวครีบ

จากการป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับคำนวณวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทองแดง และ เหล็กกล้าผสมติดแถวครีบแผ่นสี่เหลี่ยมและครีบแผ่นวงแหวนเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ โดยใช้ค่าสภาพการนำความร้อน(k) สำหรับทองแดงที่ประมาณ 380 W/m°Cและสำหรับเหล็กกล้าผสมที่ประมาณ 40 W/m°C ตามตารางคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

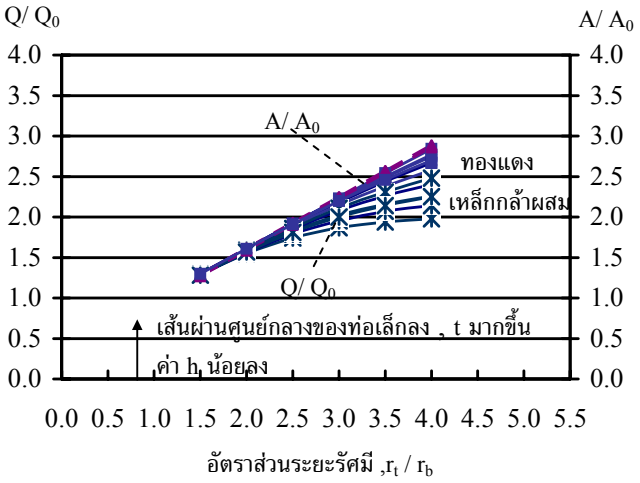
3.3.1 ท่อติดแถวครีบแผ่นสี่เหลี่ยม

ได้แสดงตัวอย่างผลการคำนวณวิเคราะห์ สำหรับท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก1และ 1 ½ in ติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความหนา (t) 1 ถึง 2 mm เรียงตามแนวเส้นรอบวง 2 แผ่น ในตารางที่ 5

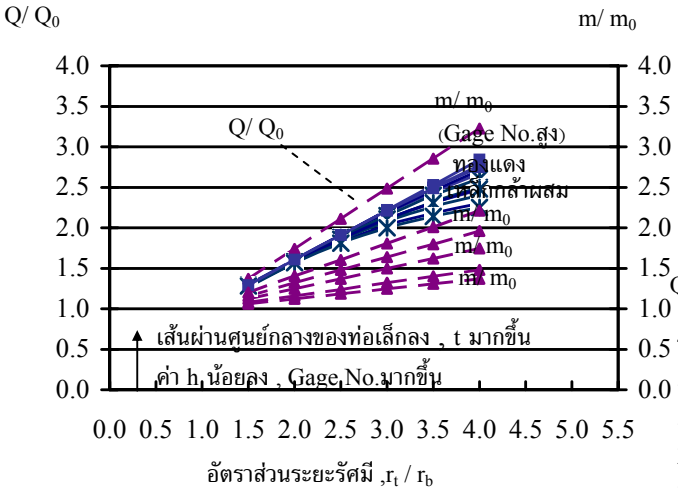
ตารางที่ 5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทองแดงติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมเรียงตามแนวเส้นรอบวง 2 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	t (mm)	h ($W/m^2°C$)	Q_t / Q_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
			2.0	3.0	4.0
1	1.0	10	1.61	2.23	2.84
		20	1.61	2.22	2.79
		30	1.61	2.21	2.75
	1.5	10	1.60	2.23	2.84
		20	1.60	2.22	2.81
		30	1.60	2.21	2.78
	2.0	10	1.59	2.22	2.84
		20	1.58	2.21	2.81
		30	1.58	2.20	2.79
1 ½	1.0	10	1.62	2.23	2.79
		20	1.61	2.20	2.70
		30	1.61	2.17	2.62
	1.5	10	1.61	2.23	2.82
		20	1.61	2.21	2.75
		30	1.60	2.19	2.69
	2.0	10	1.60	2.22	2.82
		20	1.60	2.21	2.77
		30	1.60	2.19	2.73

ในรูปที่ 5 และ 6 เป็นตัวอย่างของกราฟอัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่ผิวและน้ำหนักของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 ถึง 2 in ติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 1 ถึง 2 mm 2 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบที่ค่า h = 10 – 30 W/(m^2°C)



รูปที่ 5 อัตราการถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ผิวของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสม ติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยม 2 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ



รูปที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนและน้ำหนักของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสมติดครีบแผ่นสี่เหลี่ยม 2 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ

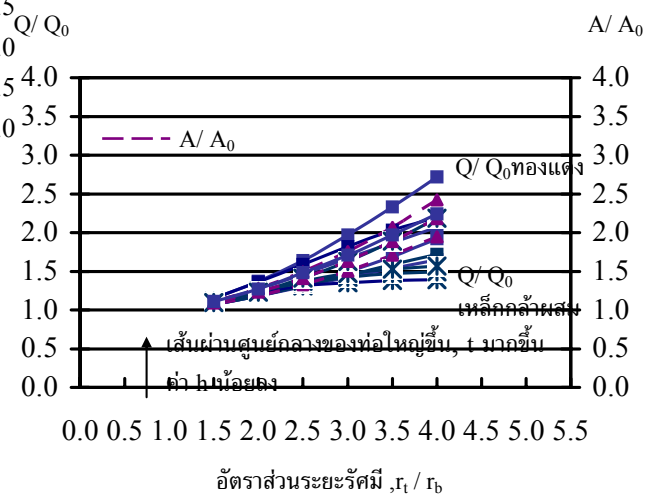
3.3.2 ท่อติดแถวครีบแผ่นวงแหวน

ได้แสดงตัวอย่างผลการคำนวณวิเคราะห์สำหรับท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1และ1½ in ติดครีบแผ่นวงแหวนที่มีความหนา 1ถึง 2 mm เรียงตามแนวความยาวของท่อ 5 แผ่นในตารางที่ 6

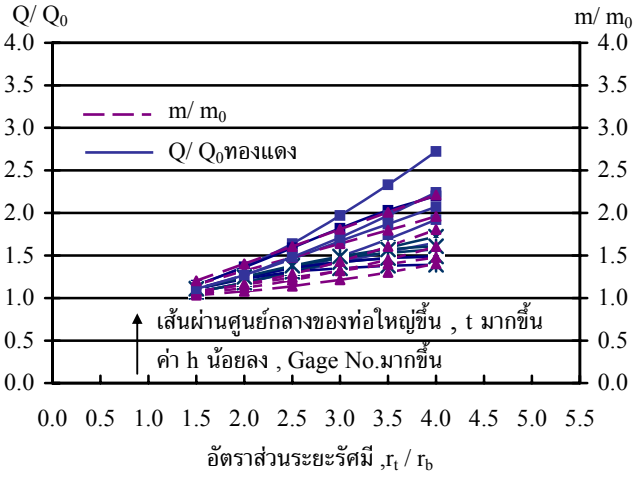
ในรูปที่ 7 และ 8 เป็นตัวอย่างของกราฟอัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่ผิวและน้ำหนักของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1 ถึง 2 in ติดครีบแผ่นวงแหวนที่มีความหนา 1 ถึง 2 mm 5 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบที่ค่า h = 10 – 30 W/(m^2°C)

ตารางที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อทองแดงติดครีบวงแหวนเรียงตามแนวความยาวท่อ5แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in.)	t (mm)	h (W/m^2°C)	Q_t / Q_0 ที่ค่าอัตราส่วนของระยะรัศมี , r_t / r_b		
			2.0	3.0	4.0
1	1.0	10	1.18	1.49	1.90
		20	1.18	1.48	1.86
		30	1.18	1.47	1.82
	1.5	10	1.18	1.49	1.91
		20	1.18	1.49	1.89
		30	1.18	1.48	1.86
	2.0	10	1.18	1.49	1.92
		20	1.18	1.49	1.90
		30	1.18	1.48	1.88
1 ½	1.0	10	1.28	1.72	2.27
		20	1.28	1.70	2.16
		30	1.27	1.67	2.07
	1.5	10	1.28	1.73	2.32
		20	1.27	1.71	2.24
		30	1.27	1.69	2.16
	2.0	10	1.27	1.74	2.34
		20	1.27	1.72	2.27
		30	1.27	1.70	2.21



รูปที่ 7 อัตราการถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ผิวของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสมติดครีบแผ่นวงแหวน 5 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ



รูปที่ 8 อัตราการถ่ายเทความร้อนและน้ำหนักของท่อทองแดงและเหล็กกล้าผสมติดครีบแผ่นวงแหวน 5 แผ่น เทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดครีบ

4. สรุป

จากตาราง และ เส้นกราฟตัวอย่างของค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่ผิวและน้ำหนักสำหรับท่อทองแดงและท่อเหล็กกล้าผสมที่ติดแถวครีบแผ่นสี่เหลี่ยม และแถวครีบแผ่นวงแหวน แสดงให้เห็นได้ดังนี้

1. สำหรับท่อที่ติดแถวครีบสี่เหลี่ยม เมื่อเป็นครีบที่มีความหนาขนาดหนึ่งที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบค่าหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน พื้นที่ผิว และ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะลดลง เมื่อเป็นท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใหญ่ขึ้น

2. สำหรับท่อที่ติดแถวครีบวงแหวน เมื่อเป็นครีบที่มีความหนาขนาดหนึ่งที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบค่าหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนพื้นที่ผิว และ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จะลดลงเมื่อเป็นท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเล็กลง

3. เมื่อค่าอัตราส่วน r_t/r_b ต่ำ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเท่าๆกับพื้นผิวภายนอกที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าอัตราส่วน r_t/r_b สูงขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งต่ำกว่าพื้นที่ผิวภายนอกที่เพิ่มขึ้น

4. สำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดหนึ่งติดแถวครีบที่มีความหนาขนาดหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งต่ำกว่าพื้นที่ผิวภายนอก และ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบสูงขึ้น

5. สำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดหนึ่งที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบค่าหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งต่ำกว่าพื้นที่ผิวภายนอกที่เพิ่มขึ้น เมื่อเป็นครีบที่มีขนาดความหนาน้อยลง

6. สำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดหนึ่งติดแถวครีบที่มีความหนาขนาดหนึ่ง และ ที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบค่าหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งสูงกว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อเป็นท่อที่มีความหนาของผนังท่อมากขึ้น (Gage No. น้อยลง)

7. สำหรับท่อที่มีความหนาของผนังขนาดหนึ่ง (Gage No. ค่าหนึ่ง) , ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดหนึ่งและที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบค่าหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งสูงกว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อเป็นครีบที่มีขนาดความหนาน้อยลง

8. อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะต่ำกว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ถ้าเป็นท่อที่มีผนังบาง (Gage No. มาก) , ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเล็ก , ติดแถวครีบที่ทำจากวัสดุที่มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำที่มีขนาดความหนามาก และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรอบครีบสูง

5. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยที่ได้จัดทำนี้ ได้มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาการศึกษาวิจัยต่อไปที่จะได้ประโยชน์มากขึ้น ดังนี้

1. ค่าคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความผิดพลาดจึงควรเพิ่มข้อมูลด้านนี้ในโปรแกรมสำเร็จรูป

2. วัสดุทองแดงและเหล็กที่ใช้ทั่วไป มีเกรดและส่วนประกอบต่าง ๆ หลายแบบ รวมทั้งวัสดุชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ถ้าเพิ่มข้อมูลด้านนี้ก็จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

3. การศึกษาวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ครีบที่มีรูปทรง 2 รูปแบบ ซึ่งการศึกษาวิจัยต่อไปอาจจะเป็นการวิเคราะห์ครีบที่มีรูปทรงแบบอื่น ๆ

4. การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาผลที่ได้จากการใช้แถวครีบที่ทราบชนิดวัสดุและขนาดต่าง ๆ ซึ่งการศึกษาวิจัยต่อไปอาจจะเป็นการวิเคราะห์หาชนิดวัสดุและขนาดต่าง ๆของครีบที่จะใช้เพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการ

5. การศึกษาวิจัยต่อไปอาจจะเป็นการวิเคราะห์หาผลที่ได้ของกรณีการใช้ครีบที่มีการใช้งานจริงเพื่อที่จะปรับปรุงให้ได้ผลที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิพร ใหญ่ธนายศ. การถ่ายเทความร้อน, โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547.

[2] Alan J. Chapman , "Heat Transfer" , 4 th ed. , Macmillan Publishing Company , New York , 1989

[3] B. Kandu and P.K.Das , 1997 "Performance Analysis and Optimization of Eccentric Disk Fins", Transaction of the ASME Journal of Heat Transfer ,Vol.121,No.1 ,pp.128-135.

[4] J.P.Holman.,"Heat Transfer." ,McGraw-Hill Book Company.,NewYork,1997.

[5] M.Necati Ozisik, "Heat Transfer." ,McGraw-Hill Book Company.,NewYork,1985.

[6] Spiegel Murray, "Mathematical Handbook" ,McGraw-Hill Book Company.,NewYork,1968.