

## วิธีการหาค่าต่ำสุดของตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรชันสำหรับครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม Entropy Generation Number Minimization Method for Longitudinal Fins of Rectangular Profile

วัชรกร จันทร์ฟอง<sup>1</sup>, สรายงค์ เหลืองวรา<sup>1</sup>, หัตยา เรียงสันเทียะ<sup>1</sup>, ศราวุธ ปลูกใจ<sup>1</sup>, และ วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20131

\*ติดต่อ: worapiro@eng.buu.ac.th, worapiro@gmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ จะเป็นการศึกษาเชิงทฤษฎี เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเอนโทรปีเจเนเนอเรชันที่ต่ำที่สุดกับครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม วิธีเอนโทรปีเจเนเนอเรชันที่ต่ำที่สุดจะอาศัยการคำนวณเอนโทรปีเจเนเนอเรชันที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนและโมเมนตัมที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมซึ่งมีการถ่ายโอนความร้อนมาจากฐานครีบบแล้วนำเสนออยู่ในรูปของตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรชัน โดยสมภาวะการไหลของอากาศที่มีตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรชันที่ต่ำที่สุดจะเป็นสมภาวะที่ถูกพิจารณาว่ามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม จากผลลัพธ์ที่ได้ จะพบว่าเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์ของอากาศที่ไหลผ่านครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมเพิ่มขึ้น ตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรชันจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าหนึ่ง จากนั้น ตัวเลขเอนโทรปีจะเพิ่มขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่า มีสมภาวะหนึ่งที่ทำให้ตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรชันมีค่าต่ำที่สุด สมภาวะนี้ จะเป็นสมภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม เพื่อการระบายความร้อน นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอแผนภาพสำหรับเลือกขนาดครีบบที่เหมาะสมและแผนภาพสำหรับกำหนดสมภาวะการทำงานของครีบบไว้อีกด้วย

**คำหลัก:** ครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม, เอนโทรปีเจเนเนอเรชันที่ต่ำที่สุด, สมภาวะที่เหมาะสมสำหรับครีบบ

### Abstract

This research presents the theoretical study for applying the entropy generation minimization method to the longitudinal fin of rectangular profile. The method of entropy generation minimization is done by calculating the entropy generation from momentum and heat transfer of air flow along the longitudinal fin of rectangular profile. The entropy generation number is presented. At the minimum entropy generation number, the air condition is presented to the optimum condition for the longitudinal fin of rectangular profile. From the results, when the Reynolds number increases, the entropy generation number decreases to a value. Therefrom, the entropy generation number increases with the decreasing Reynold number. It can be concluded that there is a condition of air that gives the minimum entropy generation number, and this condition is the optimum condition for cooling by the longitudinal fin of rectangular profile. Moreover, in this research, the selection chart of longitudinal fin of rectangular profile is presented.

**Keywords:** Entropy generation minimization, Optimum condition, Longitudinal fin of rectangular profile

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน ครัว ถูกใช้เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนต่างๆ ซึ่งใช้ครัวในการเพิ่มพื้นผิวขยาย เป็นต้น โดยในการใช้งานครัวนั้น ครัวอาจจะอยู่ในสถานะแห้งหรือสถานะเปียกก็ได้ เช่น ในระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ ซึ่งใช้ครัวระบายความร้อนในคอนเดนเซอร์และเครื่องระเหย โดยในคอนเดนเซอร์นั้น ครัวจะอยู่ในสถานะแห้ง ในขณะที่ ในเครื่องระเหยนั้น ครัวจะอยู่ในสถานะเปียก

สำหรับครัวผิวแห้งนั้น ในปี ค.ศ. 1972 Kern and Kraus [1] ได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณประสิทธิภาพของครัว ตามแนวยาว ครัวหนา รวมถึงครัววงกลม ต่อมาในปี ค.ศ. 1982 Poulikakos and Bejan [2] ได้เสนอสมการสำหรับครัวชนิดต่างๆ ที่อยู่ในสถานะแห้งโดยใช้วิธีเอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์ที่ต่ำที่สุด

จากนั้น Wang and Chan [3], Kim and Jakobi [4], Shin and Ha [5] ได้เสนอตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของครัวผิวเรียบ ภายใต้สภาวะลดความชื้น ต่อมา Wang et al. [6], Ma et al. [7], Yun et al. [8] ได้เสนอตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของครัวแบบเขาสระร่อง ภายใต้สภาวะลดความชื้น

จากนั้น Jhee et al. [9], Huang et al. [10], Wang et al. [11] ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของครัวผิวเรียบ ภายใต้สภาวะเยือกแข็ง ต่อมา Shin et al. [12], Cai et al. [13] ได้ศึกษาครัวเรียบเดี่ยวโดยวางตามแนวราบ ภายใต้สภาวะเยือกแข็ง

ในปี พ.ศ. 2556 รชตและคณะ [14] ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณประสิทธิภาพของครัวตามแนวยาว 4 ชนิด ที่อยู่ในสถานะเปียก ในปี พ.ศ. 2557 ธนวัฒน์และคณะ [15] ได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณ

ประสิทธิภาพของครัวหนา 4 ชนิด ในปี 2558 ญัฐพลและคณะ [16] ได้นำเสนอแผนภาพสำหรับเลือกขนาดครัวตามแนวยาว 2 ชนิด ในปี พ.ศ.2560 กิตติพลและคณะ [17] ได้นำเสนอแผนภาพสำหรับเลือกขนาดครัวตามแนวยาว 2 ชนิดที่แตกต่างจากงานวิจัยของญัฐพลและคณะ [16]

ในปี พ.ศ. 2561 กิตติพลและคณะ [18] ได้นำเสนอวิธีเอนโทรปีของการเกิดที่ต่ำที่สุดสำหรับครัวตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม

นอกจากนี้ Pirompugd and Wongwises [19, 20] ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณประสิทธิภาพของครัวเปียกบางส่วน สำหรับครัวตามแนวยาว 4 ชนิด และครัวหนา 4 ชนิด พร้อมทั้งเสนอสมการคำนวณหาระยะครัวที่เกิดการควบแน่น โดยใช้วิธีศัลย์เอนทัลปี ซึ่งเป็นวิธีที่ซับซ้อนและมีข้อจำกัดบางประการสำหรับ ของไหลในท่อ

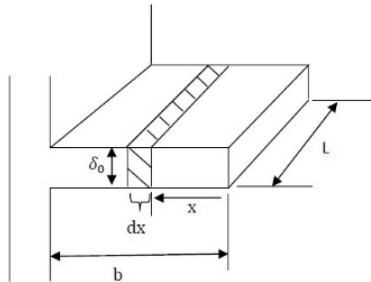
ต่อมาในปี ค.ศ. 2015 และ 2017 Pirompugd et al. [21, 22] ได้เสนอวิธีอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่แท้จริง (Actual dry bulb temperature method) สำหรับใช้ทำนายสมรรถนะของการถ่ายโอนความร้อนที่มีความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงไปพร้อมๆ กัน

จากการสืบค้นข้อมูลวิจัยต่างๆ ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาวิธีเอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์ที่ต่ำที่สุดสำหรับครัวตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมที่อยู่ในสถานะผิวแห้ง

## 2.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 2.1 สมการทั่วไปของครัว

ครัวตามแนวยาว คือ ครัวที่มีพื้นที่หน้าตัดด้านข้างเป็นแนวยาว ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 และเป็นไปตามสมการที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ครีบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม

$$f(x) = \frac{\delta_0}{2} \quad (1)$$

ประสิทธิภาพของครีบถูกนิยามดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{q_{\text{actual}}}{q_{\text{ideal}}} \quad (2)$$

## 2.2 อัตราการถ่ายโอนความร้อนของครีบ

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจากฐานครีบผ่านครีบไปยังอากาศ ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะสามารถอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านส่วนเล็กๆ ซึ่งยาว  $dx$  ได้ดังนี้

$$dq = kL\delta_0 \frac{d^2\theta}{dx^2} dx \quad (3)$$

เมื่อ  $\theta$  คือ อุณหภูมิของครีบ ( $T$ ) – อุณหภูมิของอากาศ ( $T_a$ ) จะได้

เมื่อคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากผิวครีบไปยังอากาศ จะได้ ดังต่อไปนี้

$$dq = 2hL\theta dx + 2h\delta_0\theta dx \quad (4)$$

กรณีครีบบางมาก  $\delta_0 \ll L$  ทำให้  $2h\delta_0\theta dx \ll 2hL\theta dx$  ซึ่งจะได้

$$dq \approx 2hL\theta dx \quad (5)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีบไปยังอากาศจากสมการที่ (3) จะต้องมีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากสมการที่ (5) ดังนี้

$$kL\delta_0 \frac{d^2\theta}{dx^2} dx = 2hL\theta dx$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{2h}{k\delta_0}\theta = 0 \quad (6)$$

จากสมการที่ 6 จะได้คำตอบทั่วไปของสมการคือ

$$\theta = c_1 e^{Mx} + c_2 e^{-Mx} \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } M = \sqrt{\frac{2h}{k\delta_0}}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขต คือ

$$\text{เมื่อ } x = b \text{ แล้ว } \theta = \theta_0$$

$$\text{เมื่อ } x = 0 \text{ แล้ว } \frac{d\theta}{dx} = 0$$

โดย  $\theta_0$  คือ อุณหภูมิฐานครีบ ( $T_0$ ) - อุณหภูมิของอากาศชั้น ( $T_a$ )

เมื่อแทนเงื่อนไขขอบเขต จะได้

$$\theta = \theta_0 \left( \frac{\cosh Mx}{\cosh Mb} \right) \quad (8)$$

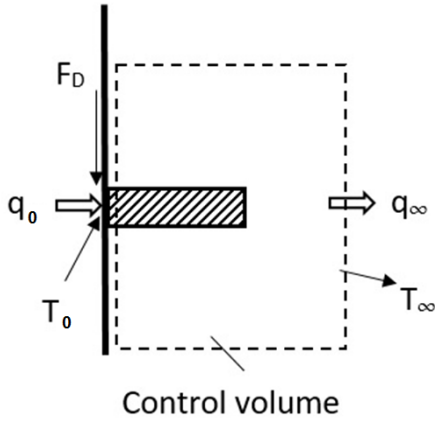
ดังนั้น จะสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อน ได้ดังนี้

$$q_0 = k\delta_0 LM_T \theta_0 \tanh Mb \quad (9)$$

และประสิทธิภาพของครีบจะสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{\tanh Mb}{Mb} \quad (10)$$

## 2.3 เอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์หรือเอนโทรปีของการเกิด



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมสำหรับครีบบที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม  
จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และรูปที่ 2 จะได้

$$q_0 - q_\infty + F_D U_\infty = 0 \quad (11)$$

$$\frac{q_\infty}{T_\infty} = \frac{q_0}{T_\infty} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} \quad (12)$$

จากกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

$$S_{gen} = \frac{q_\infty}{T_\infty} - \frac{q_0}{T_B} \quad (13)$$

แทนค่าสมการที่ 11 ในสมการ 13 จะได้

$$S_{gen} = \frac{q_0}{T_\infty} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} - \frac{q_0}{T_B} \quad (14)$$

$$S_{gen} = \frac{q_0}{T_\infty} - \frac{q_0}{\theta_0 + T_\infty} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} \quad (15)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$S_{gen} = \frac{q_0 \theta_0}{T_\infty^2 (\frac{\theta_0}{T_\infty} + 1)} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} \quad (16)$$

ในกรณีที่  $\theta_B \ll T_\infty$  จะทำให้  $(\frac{\theta_B}{T_\infty} + 1) \approx 1$  และได้  
 $S_{gen}$  ดังนี้

$$S_{gen} = \frac{q_0 \theta_0}{T_\infty^2} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} \quad (17)$$

แทนค่าสมการ 9 ในสมการ 17 จะได้

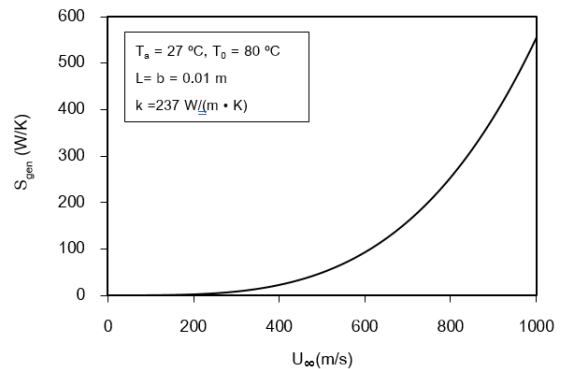
$$S_{gen} = \frac{k \delta_0 L M \theta_0 \tanh(Mb) \theta_B}{T_\infty^2} + \frac{F_D U_\infty}{T_\infty} \quad (18)$$

ดังนั้น สามารถตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์,  $N_s$  ได้ดังนี้

$$N_s = S_{gen} / (\frac{q_B^2 U_\infty}{k v T_\infty}) \quad (19)$$

## 3. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

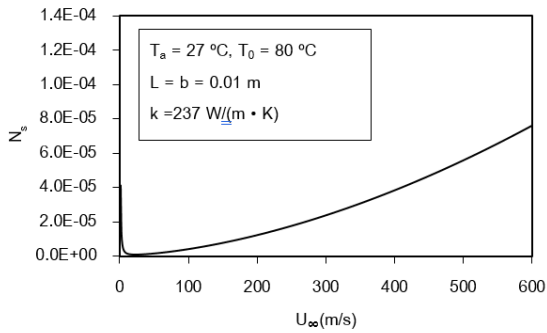
คณะผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์  
สำหรับหาขนาดของครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์  
สี่เหลี่ยมที่เหมาะสม โดยครีบบจะอยู่ในสภาวะแห้งและ  
แบบจำลองจะอยู่บนพื้นฐานของวิธีเอนโทรปี  
เจเนเนอเรนซ์หรือเอนโทรปีของการเกิดที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 3 เอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์ที่ความเร็วต่างๆ

จากรูปที่ 3 จะพบว่า เอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์จะมีค่า  
เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาตัวเลข  
เอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4 จะพบว่า  
ในช่วงแรกซึ่งความเร็วค่อยๆ เพิ่มจาก 0 m/s ตัวเลข  
เอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์ จะมีค่าลดลง จนถึงจุดหนึ่ง  
ตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์จะมีค่าต่ำที่สุด จากนั้น  
เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ตัวเลขเอนโทรปีเจเนเนอเรนซ์จะ  
เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากผลลัพธ์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า จะมี  
ความเร็วอากาศเพียงค่าหนึ่ง ที่ให้ค่าตัวเลขเอนโทรปี

เงินเนอเรนซ์ต่ำที่สุด ดังนั้น ตำแหน่งนี้ จะเป็นตำแหน่ง  
ที่ถูกใช้ในการเลือกใช้ครับ

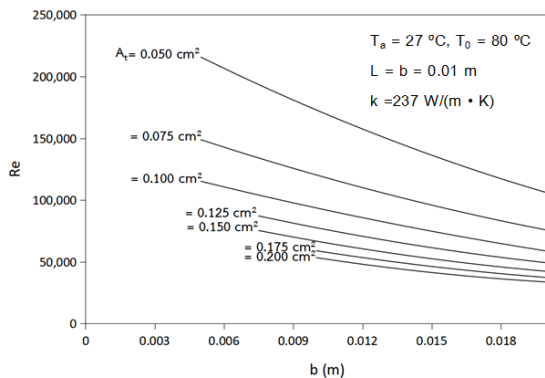


รูปที่ 4 ตัวเลขเอนโทรปีเงินเนอเรนซ์ที่ความเร็วต่างๆ

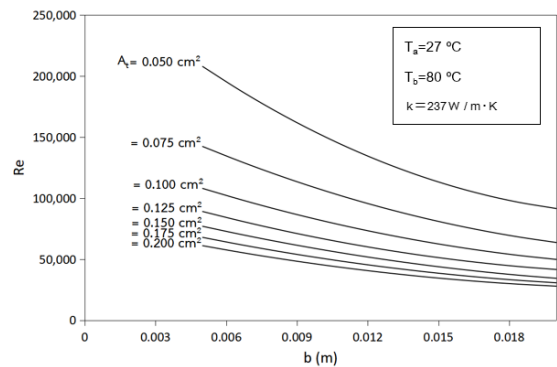
รูปที่ 5(ก) และ 6(ข) แสดงตัวเลขเรย์โนลด์และ  
อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สถานะที่เหมาะสมสำหรับ  
ครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม โดยครีบบดังกล่าว  
จะมีปริมาตรเท่ากับ  $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3$

โดยจากรูปที่ 5(ก) และ 5(ข) นั้น ทุกตำแหน่งบน  
เส้นกราฟจะเป็นสถานะที่ให้ตัวเลขเอนโทรปีเงินเนอ  
เรนซ์ต่ำที่สุด ในการเลือกขนาดของครีบบ สามารถทำได้  
โดยกำหนดความยาวครีบบตามที่ต้องการ แต่ถ้าหากไม่มี  
ข้อจำกัดทางด้านขนาดของครีบบ ควรอาศัยรูปที่ 5(ข)  
ในการเลือกอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด และ  
ในรูปที่ 5(ข) นี้ จะได้ขนาดพื้นที่ด้านข้างของครีบบอีกด้วย  
แล้วจึงอาศัย รูปที่ 5(ก) ในการกำหนดความเร็วของ  
อากาศ ก็จะได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับครีบบตาม  
แนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม

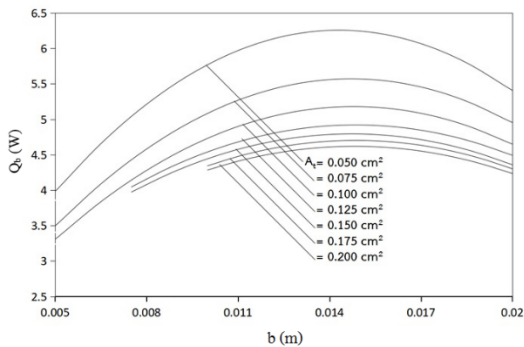
สำหรับรูปที่ 6 จะเป็นแผนภาพเลือกขนาดและ  
กำหนดสถานะการทำงานของครีบบตามแนวยาวที่มี  
โปรไฟล์สี่เหลี่ยม เช่นเดียวกับรูปที่ 5 แต่เป็นครีบบที่มี  
ปริมาตร เท่ากับ  $5 \times 10^{-8} \text{ m}^3$



5(ก) ตัวเลขเรย์โนลด์

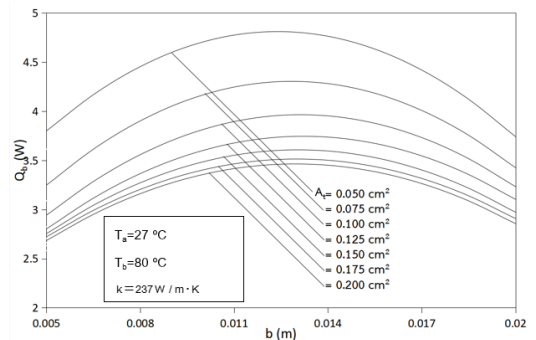


6(ก) ตัวเลขเรย์โนลด์



5(ข) อัตราการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5 แผนภาพเลือกขนาดครีบบ ( $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ )



6(ข) อัตราการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 6 แผนภาพเลือกขนาดครีบบ ( $5 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ )

#### 4. สรุป

4.1 ในงานวิจัย ได้นำเสนอสมการสำหรับคำนวณหาขนาดของครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมที่เหมาะสม โดยอาศัยวิธีเอนโทรปีต่ำที่สุด

4.2 จากผลการวิจัย จะพบว่า เมื่ออากาศที่ไหลผ่านครีบบ จะมีความเร็วเพียงค่าหนึ่ง ที่ทำให้ตัวเลขเอนโทรปีมีค่าต่ำที่สุด

4.3 ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอแผนภาพสำหรับเลือกขนาดของครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมที่มีปริมาตร เท่ากับ  $1 \times 10^{-7}$  และ  $5 \times 10^{-8} \text{ m}^3$

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนสามารถพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาได้

#### 6. รายการสัญลักษณ์

$A_t$	พื้นที่ด้านข้างของครีบบ ( $\text{m}^2$ )
$b$	ความยาวครีบบ (m)
$h$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ )
$k$	ค่าการนำความร้อน ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
$L$	ความกว้างหรือความลึกของครีบบ (m)
$q_{\text{actual}}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริง (W)
$q_{\text{ideal}}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ (W)
$q$	อัตราการถ่ายเทความร้อนของครีบบ ( $\text{W m}^{-1}$ )
$Re$	ตัวเลขเรย์โนลด์
$S_{\text{gen}}$	เอนโทรปีของการเกิด ( $\text{W K}^{-1}$ )
$N_s$	ตัวเลขการเกิดของเอนโทรปี
$T$	อุณหภูมิของครีบบ (K)
$T_0$	อุณหภูมิที่ฐานครีบบ (K)
$T_\infty$	อุณหภูมิของของไหล (K)
$U_\infty$	ความเร็วของของไหล ( $\text{m s}^{-1}$ )

$x$	ระยะตามความยาวของครีบบ (m) โดยเริ่มวัดจากที่ปลายครีบบ
$\delta_0$	ความหนาของครีบบ (m)
$\eta$	ประสิทธิภาพของครีบบ
$\theta$	ผลต่างของอุณหภูมิ (K) หรือ $(T-T_a)$
$\theta_0$	ผลต่างของอุณหภูมิ (K) หรือ $(T_0-T_a)$

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.D. Kraus, D.Q. Kern, Extended Surface Heat Transfer, John Wiley, New York, 1972.
- [2] D. Poulidakos, A. Bejan, Fin Geometry for minimum entropy Generation in Forced Convection, Journal of Heat Transfer. 104 (4) (1982) 616-623.
- [3] C.-C. Wang, C.-T. Chang, Heat and mass transfer for plate fin-and-tube heat exchangers, with and without hydrophilic coating, International Journal of Heat and Mass Transfer, 41(20) (1998) 3109-3120.
- [4] G.J. Kim, A.M. Jacobi, Condensate accumulation effects on the air-side thermal performance of slit-fin surfaces, Air Conditioning and Refrigeration Center, College of Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2000.
- [5] J. Shin, S. Ha, The effect of hydrophilicity on condensation over various types of fin-and-tube heat exchangers, International Journal of Refrigerator. 25 (6) (2002) 688-694.
- [6] C.-C. Wang, W.-S. Lee, W.-J. Sheu, Y.-J. Chang, A comparison of the airside performance of the fin-and-tube heat exchangers in wet conditions; with and without hydrophilic



coating, Applied Thermal Engineering. 22(3) (2002) 267-278.

[7] X. Ma, G. Ding, Z. Zhang, K. Wang, Airside heat transfer and friction characteristic for enhanced fin-and-tube heat exchanger with hydrophilic coating under wet condition, International Journal of Refrigerator. 30 (7) (2007) 1153-1167.

[8] R. Yun, Y. Kim, Y. Kim, Air side heat transfer characteristics of plate finned tube heat exchangers with slit fin configuration under wet conditions, Applied Thermal Engineering. 29 (14) (2009) 3014-3020.

[9] S. Jhee, K.-S. Lee, W.-S. Kim, Effect of surface treatments on the frosting/defrosting behavior of a fin-tube heat exchanger, International Journal of Refrigerator. (8) (2002) 1047-1059.

[10] L. Huang, Z. Liu, Y. Gou, J. Wang, Experimental study on frost release on fin-and-tube heat exchangers by use of a novel anti-frosting paint, Experimental Thermal and Fluid Science. 33 (7) (2009) 1049-1054.

[11] F. Wang, C. Liang, M. Yang, C. Fan, X. Zhang, Effects of surface characteristic on frosting and defrosting behavior of fin-tube heat exchangers, Applied Thermal Engineering, 75 (2015) 1126-1132.

[12] J. Shin, A.V. Tikhonov, C. Kim, Experimental study on frost structure on surfaces with different hydrophilicity: density and thermal conductivity, Journal of Heat Transfer. 125 (1) (2003) 84-94.

[13] L. Cai, R. Wang, P. Hou, X. Zhang, Study on restraining frost growth at initial stage by hydrophobic coating and hygroscopic coating, Energy and Buildings. 43 (5) (2011) 1159-1163.

[14] รชต อมรพัฒน์นาวิวัฒน์, ณัฐวัฒน์ วรพรพงศ์, พงศกร รัตนวิเชียรวงศ์, ร้อยทิศ ญาติเจริญ, วริศรา จินดารุ่งเรือง, อดุลย์ โพธิ์แก้ว, วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, ประสิทธิภาพของครีบบตามแนวยาว 4 ชนิด ในสภาวะลดความชื้น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, 16-18 ตุลาคม 2556, โรงแรมดุสิตธานี พัทยา, จังหวัดชลบุรี.

[15] ณัฐวัฒน์ จีใจหล้า, รชต อมรพัฒน์นาวิวัฒน์, วริศรา จินดารุ่งเรือง, อดุลย์ โพธิ์แก้ว, ไสภณ ตันติภูษานนท์ และวรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายสมรรถนะของครีบบทนาม 4 ชนิด ในสภาวะลดความชื้น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, 15-17 ตุลาคม 2557, โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น, ขอนแก่น, 2557.

[16] ณัฐพล เงินเจือ, ณัฐวัฒน์ จีใจหล้า, ศิรินทิพย์ กิติ์ปกูล, ไสภณ ตันติภูษานนท์, ธันยพัฒน์ ชุระท่า, ธนวันต์ กังวลกิจ, และวรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, แผนภาพสำหรับเลือกขนาดครีบบตามแนวยาวที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมและพาราโบลาโค้งเว้าที่อยู่ในสภาวะลดความชื้น, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, 1-3 กรกฎาคม 2558, โรงแรม เดอะกรีนเนอรี เขาใหญ่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา.

[17] กิตติพล กองกิจ, ณัฐวัฒน์ จีใจหล้า, ศิรินทิพย์ กิติ์ปกูล, ไสภณ ตันติภูษานนท์, และวรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, แผนภาพสำหรับเลือกขนาดครีบบตามแนวยาวที่มีลักษณะสามเหลี่ยมและพาราโบลาโค้งนูนที่อยู่ในสภาวะลดความชื้น, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, 4-7 กรกฎาคม 2560, ภูเขางามรีสอร์ท จ.นครนายก.



[18] กิติพล กองกิจ, และวรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, วิธีการหาค่าเอนโทรปีต่ำที่สุดสำหรับครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยมภายใต้สภาวะลดความชื้น, การประชุมเครื่องถ่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32, 3-6 กรกฎาคม 2561, โรงแรมมุกดาหารแกรนด์ จังหวัดมุกดาหาร.

[19] W. Pirompugd, C.C. Wang, S. Wongwises, The new mathematical models for plain fin-and-tube heat exchangers with dehumidifying, ASME Journal of Heat Transfer, 137(3) (2015) 11 pages.

[20] W. Pirompugd, S. Wongwises, Efficiencies for partially wetted spine fins: uniform cross section, conical, concave parabolic, and convex parabolic spines, ASME Journal of Heat Transfer, 135(8) (2013) 11 pages.

[21] W. Pirompugd, S. Wongwises, Actual dry-bulb temperature and equivalent dry-bulb temperature methods for wavy fin-and-tube heat exchangers with dehumidification, International Journal of Heat and Mass Transfer, 106 (2017): 675-685.

[22] W. Pirompugd, C.C. Wang, S. Wongwises, The new mathematical models for plain fin-and-tube heat exchangers with dehumidifying, ASME Journal of Heat Transfer, 137(3) (2015) 11 pages.