บทที่ 5
สรุปผลจากการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยทั้งวิธีการทดลองและการคำนวณทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ทำการคำนวณหาค่า h_a และแสดงผลในรูปของค่า Nu เฉลี่ยทั้งท่อสำหรับท่อที่ติดปล่องแบบถ่างและปล่องแบบตรงแนวดิ่งเปรียบเทียบกับท่อที่ไม่ได้ติดปล่อง โดยท่อที่ติดปล่องแบบถ่างได้ทำการศึกษาวิจัยในกรณีที่สัดส่วน L_h/b เท่ากับ 2.5 และ 5 สัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 และ 3 และสัดส่วน B/b มีค่าอยู่ในช่วง 1-7 โดยให้ความร้อนแก่ผนังท่อในสองกรณี คือ 100 และ 300 W/m^2 ส่วนท่อที่ติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งได้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะกรณีที่สัดส่วน L_h/b เท่ากับ 5 โดยที่สัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 และ 3 และสัดส่วน B/b มีค่าอยู่ในช่วง 1-7 ซึ่งได้ให้ความร้อนแก่ผนังท่อ 100 W/m^2 โดยผลจากการคำนวณค่าตัวเลขดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบเกี่ยวกับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของท่อที่ไม่ได้ติดปล่องและติดปล่อง ซึ่งมีสัดส่วนต่าง ๆ ได้ตามวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัย ในส่วนของค่า h_a ที่อยู่ในรูปของค่า Nu นี้ ได้ถูกวิเคราะห์เปรียบเทียบ ซึ่งแสดงอยู่ในบทก่อนหน้านี้ โดยที่ผลการคำนวณหาค่า h_a ได้ถูกแสดงอยู่ในภาคผนวก ก และ ข โดยผลจากการศึกษาวิจัยดังกล่าวสามารถรวบรวมข้อสรุปและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลจากการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีโดยภาพรวมแล้วได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน คือ การติดปล่องแบบถ่างและปล่องแบบตรงแนวดิ่งจะมีผลต่อการระบายความร้อนจากผนังท่อ ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดความสามารถในการระบายความร้อนจากผนังท่อคือ สัดส่วน L/L_h และสัดส่วน B/b โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ผนังท่อ และค่า Nu โดยในกรณีที่ติดปล่องแบบถ่างและปล่องแบบตรงแนวดิ่งซึ่งมีสัดส่วน B/b ในช่วง 2-7 สำหรับสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 และ 3 จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ผนังท่อกับอุณหภูมิของอากาศขาเข้ามีค่าลดลง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า Nu ที่เพิ่มขึ้นจากกรณีท่อที่ไม่ได้ติดปล่อง โดยที่ลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า Nu ตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน B/b ที่ได้จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีมีลักษณะคล้ายกัน และยังพบว่าการติดปล่องแบบถ่างที่มีค่าสัดส่วน B/b มากเกินไปจะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของอากาศภายในปล่อง และเกิดการไหลของอากาศจากภายนอกเข้ามาที่ขอบด้านบนของปล่อง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการระบายความร้อนจากผนังท่อลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการศึกษาวิจัยด้วยการคำนวณทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า การระบายความร้อนจากผนังท่อที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะมีความสัมพันธ์กับช่วงการไหลแบบพัฒนาอุณหภูมิ คือ การติดปล่องบนท่อที่ทำให้ช่วงการไหลแบบพัฒนาอุณหภูมิขยายบริเวณกว้างขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงการไหลแบบพัฒนาความเร็วที่ขยายบริเวณกว้างขึ้นด้วย จะทำให้มีการระบายความร้อนโดยการพาความร้อนจากผนังท่อดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มีค่ามากขึ้น โดยการที่ช่วงการไหลแบบพัฒนาความเร็วขยายบริเวณกว้างขึ้นนั้น มีผลทำให้ได้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากขอบเขตชั้นการไหลของความเร็วจากผนังทั้งสองด้านสัมผัสกันไกลขึ้น ซึ่งทำให้บริเวณตรงกลางท่อในช่วงการไหลแบบพัฒนาความเร็วที่มีความเร็วสูงขยายบริเวณกว้างขึ้น สำหรับกรณีที่ติดปล่องบนท่อทั้งปล่องแบบตรงแนวดิ่งและปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน B/b มีค่าอยู่ในช่วง 2-7 เมื่อ L/L_h มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 จะสามารถทำให้ช่วงการไหลแบบพัฒนาอุณหภูมิขยายบริเวณกว้างขึ้นจากกรณีท่อที่ไม่ได้ติดปล่อง ซึ่งทำให้มีการระบายความร้อนจากผนังท่อดีขึ้น

การศึกษาวิจัยนี้ได้มีการค้นพบสัดส่วนของการติดปล่องแบบถ่างและปล่องแบบตรงแนวดิ่ง ที่มีสัดส่วน B/b ค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้มีการระบายความร้อนจากผนังท่อดีที่สุด โดยตัวเลขของสัดส่วนดังกล่าว ไม่ว่าจะได้จากการทดลองหรือการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปล้วนมีค่าสอดคล้องกัน ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับสัดส่วนของท่อ (L_h/b) ดังนี้

(1) กรณีท่อมีสัดส่วน L_h/b เท่ากับ 2.5

การติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 จะมีสัดส่วน B/b ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 3 ส่วนการติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 3 จะมีสัดส่วน B/b ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 4 โดยการติดปล่องที่มีสัดส่วน B/b ดีที่สุดสำหรับกรณี L/L_h เท่ากับ 3 นี้จะทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ผนังท่อกับอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าท่อมีค่าลดลงและทำให้ได้ค่า Nu เพิ่มขึ้นจากกรณีท่อที่ไม่ได้ติดปล่องมากกว่าการติดปล่องที่มีสัดส่วน B/b ดีที่สุดสำหรับกรณี L/L_h เท่ากับ 2 โดยสัดส่วน B/b ดีที่สุดในแต่ละสัดส่วน L/L_h จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่ให้แก่ผนังท่อ แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาวิจัยนี้ได้พิจารณาค่าความร้อนที่ให้แก่ผนังท่อเพียงสองค่าเท่านั้น คือ 100 และ 300 W/m^2 ซึ่งที่ค่าความร้อนอื่นอาจจะได้สัดส่วนที่ดีที่สุดของปล่องแตกต่างจากการศึกษาวิจัยนี้

(2) กรณีท่อมีสัดส่วน L_h/b เท่ากับ 5

จากการศึกษาวิจัยในกรณีติดปล่องแบบถ่างบนท่อที่มีสัดส่วน L_h/b เท่ากับ 5 สำหรับการให้ความร้อนแก่ผนังท่อทั้ง 100 และ 300 W/m^2 พบว่าการติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 จะมีสัดส่วน B/b ดีที่สุดเท่ากับ 4 ส่วนการติดปล่องที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 3 จะมีสัดส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

B/b ดีที่สุดเท่ากับ 5 โดยการติดปล่องที่มีสัดส่วน B/b ดีที่สุดสำหรับกรณี L/L_h เท่ากับ 3 นี้จะทำให้มีการระบายความร้อนจากผนังท่อดีกว่ากรณีที่ดีที่สุดสำหรับการติดปล่องที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2

ผลจากการติดปล่องแบบถ่าง ณ ที่สัดส่วน B/b ดีที่สุดในแต่ละกรณี L_h/b และ L/L_h โดยภาพรวมแล้วจะทำให้ได้ค่า Nu เพิ่มขึ้นประมาณ 7-24 %

ส่วนกรณีที่ติดปล่องแบบตรงแนวดิ่ง ซึ่งได้ศึกษาวิจัยในกรณีที่ให้ความร้อนแก่ผนังท่อ 100 W/m^2 จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน คือ การติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งโดยมีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 จะมีสัดส่วน B/b ดีที่สุดเท่ากับ 3 โดยจะทำให้เกิดการระบายความร้อนจากผนังท่อดีกว่ากรณีที่ติดปล่องโดยมีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 3 ซึ่งมีสัดส่วน B/b ดีที่สุดเท่ากับ 5

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งกับปล่องแบบถ่าง ซึ่งมีความสอดคล้องกันทั้งผลจากการทดลองและจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยพบว่าการติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 จะช่วยให้มีการระบายความร้อนจากผนังท่อดีกว่าการติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 และ 3 เมื่อสัดส่วน B/b มีค่าไม่เกิน 3 แต่เมื่อติดปล่องโดยที่สัดส่วน B/b มีค่ามากกว่า 3 การติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 3 จะช่วยให้มีการระบายความร้อนจากผนังท่อได้ดีกว่าการติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 และ 3 ดังลักษณะกราฟค่า Nu ที่ได้แสดงอยู่ในบทที่ 4 แต่ถ้าพิจารณาที่สัดส่วน B/b และ L/L_h ดีที่สุดในการติดปล่องทั้งสองแบบพบว่าการติดปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 3 โดยที่สัดส่วน B/b เท่ากับ 5 จะทำให้ได้ค่า Nu มากกว่ากรณีติดปล่องแบบตรงแนวดิ่งที่มีสัดส่วน L/L_h เท่ากับ 2 โดยที่สัดส่วน B/b เท่ากับ 3 ประมาณ 1.9% ซึ่งถ้าคำนึงถึงการลดอุณหภูมิของผนังท่อให้ต่ำที่สุดโดยไม่คำนึงถึงปริมาณวัสดุแล้วควรจะใช้ปล่องแบบถ่างที่มีสัดส่วนดีที่สุดดังกล่าว

สำหรับผลการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีที่มีความแตกต่างกัน คือ ในบางกรณีที่ผลจากการทดลองได้ค่า Nu มากกว่าอีกกรณีหนึ่ง แต่ผลที่ได้จากการคำนวณทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลขกลับได้ผลตรงกันข้าม และค่า Nu ที่ได้จากการทดลองส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าค่า Nu ที่ได้จากผลการคำนวณทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยค่า Nu ในแต่ละกรณีที่ได้จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันประมาณ 1-9% ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ในการแบ่งเอลิเมนต์สำหรับแบบจำลองของโปรแกรมมีลักษณะไม่สมมาตรและไม่เหมาะสมในบางส่วนเนื่องจากความสามารถของโปรแกรมมีจำกัด และการคำนวณของโปรแกรมไม่ได้คิดผลจากการแผ่รังสีความร้อน ส่วนในการทดลองได้รับผลจากการแผ่รังสีความร้อนและมีการพาความร้อนที่ขอบผนังท่อไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้โดยตรง อีกทั้งยังเกิดการนำความร้อนที่ผนังท่อ จึงทำให้ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน

ผลการคำนวณค่า Nu ที่ได้จากการศึกษาวิจัยทั้งสองวิธี ได้นำไปวิเคราะห์ทางสถิติการถดถอย ซึ่งใช้รูปแบบของสมการเหมือนกับงานวิจัยของ Straatman และคณะ (1993) และงานวิจัยของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Auletta และคณะ (2000) โดยได้รูปแบบสมการถดถอยที่สามารถใช้คำนวณเพื่อประมาณค่า Nu ในกรณีท่อที่ติดปล่องแบบถ่าง ดังนี้

(1) สมการที่ได้จากผลการทดลอง

$$Nu = \left(\frac{L}{L_h}\right)^{0.0122} \left\{ \left[0.260 \left(Ra \frac{B}{b} \right)^{0.276} \right]^{-2.124} + \left[1.367 \left(Ra \frac{B}{b} \right)^{0.156} \right]^{-2.124} \right\}^{\frac{1}{-2.124}} \quad (5.1)$$

โดยที่ $R^2 = 0.986$, สำหรับ L/L_h เท่ากับ 2 และ 3, $1 \le B/b \le 5$ และ $10^5 \le RaB/b \le 6 \times 10^7$

(2) สมการที่ได้จากผลการคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

$$Nu = \left(\frac{L}{L_h}\right)^{0.0104} \left\{ \left[0.262 \left(Ra \frac{B}{b} \right)^{0.273} \right]^{-2.121} + \left[1.328 \left(Ra \frac{B}{b} \right)^{0.154} \right]^{-2.121} \right\}^{\frac{1}{-2.121}} \quad (5.2)$$

โดยที่ $R^2 = 0.990$, สำหรับ L/L_h เท่ากับ 2 และ 3, $1 \le B/b \le 5$ และ $10^5 \le RaB/b \le 6 \times 10^7$

ค่า Nu ที่คำนวณได้จากสมการ 5.1 และ 5.2 เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีความแตกต่างกันประมาณ 4-6%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมกรณีสัดส่วน L_h/b, L/L_h และการให้ความร้อนแก่ผนังท่อในค่าอื่น ๆ เพื่อขยายองค์ความรู้ที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาการระบายอากาศในห้องหรือถังอุปกรณ์โดยการประยุกต์ใช้ท่อที่มีการติดปล่อง ซึ่งใช้ความร้อนทิ้งจากอุปกรณ์ หรือ เครื่องจักรอื่น มาให้ความร้อนกับผนังท่อ

5.2.3 ควรศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อที่ติดปล่องที่มีรูปทรงแบบอื่น เพื่อค้นหาลักษณะของปล่องที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อมากที่สุด

5.2.4 ควรศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อ หรือ ลักษณะการไหลของอากาศภายในท่อ สำหรับกรณีที่ผนังท่อไม่ขนานกัน หรือ วางท่อแนวเอียง โดยให้ความร้อนแก่ผนังท่อทั้งสองด้าน หรือ เพียงด้านเดียว ซึ่งสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2.5 ศึกษาเพิ่มเติมผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างพื้นกับปลายท่อที่ด้านทางเข้าของอากาศ และระยะห่างระหว่างปลายท่อหรือปล่องที่ด้านทางออกของอากาศกับเพดาน เพื่อสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่มีการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มการระบายความร้อน เช่น ในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีโครงหุ้มอุปกรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved