

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ลำเจ็ทพุ่งชน: กรณีติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกท่อเจ็ท

Heat Transfer Characteristics on Jet Impinging Surface: Attachment of Delta Tabs at Pipe Nozzle Exit

บูรินทร์ แก้วไกรกรอง¹, กลวัชร สงเคราะห์¹, มัถดาร์ แวหะยี¹ และ ชยุต นันทดุสิต^{*1}

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงานและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*ติดต่อ: โทรศัพท์: 074 287 035, โทรสาร: 074 558 830

E-mail: chayut@me.psu.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนในกรณีที่ติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยม (Delta Tabs) ที่ปากทางออกท่อเจ็ท ในการทดลองได้ใช้แผ่นสามเหลี่ยมที่มีมุมในส่วนที่ยื่นขวางลำเจ็ท 2 แบบ คือ แบบมุม 45° และ 90° ติดตั้งแบบ 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่งที่หน้าปากทางออกท่อเจ็ท โดยกำหนดให้ระยะที่แผ่นสามเหลี่ยมสอดเข้าไปขวางการไหลของเจ็ทคงที่เท่ากับ $0.1D$ (โดย D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเจ็ท) และศึกษาผลของระยะจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน $H=2D, 4D, 6D$ และ $8D$ ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว สำหรับการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ใช้แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลติดด้านหลังพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนเพื่อดูลักษณะการกระจายอุณหภูมิและนำไปคำนวณหาการกระจายของนัสเซิลต์นัมเบอร์ ในแต่ละการทดลองกำหนดให้ค่าเรย์โนลด์สของเจ็ทคงที่ $Re=24,000$ ผลการศึกษาพบว่าการติดแผ่นสามเหลี่ยมช่วยให้การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีของท่อเปล่า ยกเว้นการติดแผ่นสามเหลี่ยมที่มีมุม 90° จำนวน 4 จุด และพบว่าเงื่อนไขที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉพาะจุดสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะ $H=6D$ โดยการติดแผ่นสามเหลี่ยมแบบ 90° จำนวน 2 ตำแหน่ง

คำหลัก: เจ็ทพุ่งชน, แผ่นสามเหลี่ยม, การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล

Abstract

In this study, the heat transfer characteristics on jet impinging wall were investigated for pipe nozzle attached with delta tabs at nozzle exit. The delta tab with angle 45° and 90° was studied by attaching on the nozzle exit for case of 2 tabs and 4 tabs. For all experiment the delta tabs was inserted to block the jet flow about $0.1D$ (D is inner diameter of pipe nozzle.). The effect of distance from nozzle to impinging surface on heat transfer characteristics at $H=2D, 4D, 6D$ and $8D$ was also studied. The heat

transfer characteristic was visualized by attaching Thermochromic liquid crystal sheet on the rear side of jet impinging surface and the image processing technique was used for evaluating the distribution of Nusselt number. For all experiments, the Reynolds number of jet was constant at $Re=24,000$. The results show that pipe nozzle with tabs can enhance heat transfer when compare with case of pipe nozzle, except for case of 4 delta tabs with angle 90° . It was also found that maximum heat transfer rate can be obtained at $H=6D$ for case of 2 delta tabs with angle 90° .

Keywords: Impinging jet, Delta tabs, Heat transfer enhancement, Thermochromic liquid crystal sheet

1. บทนำ

เจ็ทพุ่งชนเป็นการบังคับให้ล้าของไหลที่มีความเร็วหรือเจ็ทไหลปะทะกับพื้นผิวโดยตรง วิธีนี้ถูกนำมาใช้ในระบบระบายความร้อนของใบพัดแก๊สเทอร์ไบน์ ผนังห้องเผาไหม้ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงโดยเฉพาะพื้นผิวบริเวณที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรง และยังเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการให้ความร้อนหรือระบายความร้อนบนพื้นผิวอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้ง กระบวนการให้ความร้อนและระบายความร้อนในอุตสาหกรรม รวมถึงใช้ในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ทางความร้อนเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง (Compact High Intensity Cooler, CHIC) เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการพยายามที่จะใช้วิธีการควบคุมการไหลของเจ็ทเพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเจ็ท ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมการไหลแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การควบคุมการไหลแบบกระตุ้นจากภายนอก (Active Control) เป็นการควบคุมการไหลโดยอาศัยพลังงานจากภายนอกในการควบคุมการไหลของเจ็ท และการควบคุมการไหลแบบไม่มีการกระตุ้นจากภายนอก (Passive Control) เป็นการควบคุมการไหลแบบไม่อาศัยพลังงานจากภายนอก ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ซึ่งจะมีข้อดีกว่าแบบแรกคือไม่มีอุปกรณ์ควบคุมที่ซับซ้อน ราคาถูก สามารถใช้งานได้ง่ายในอุตสาหกรรม

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า การติดแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ทมีผลทำให้การผสมและความปั่นป่วน (Turbulent intensity) ภายในเจ็ทสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น Mi และ Nathan [1] ได้ศึกษาลักษณะการไหลและการกระจายของอุณหภูมิของเจ็ทที่ติดแผ่นรูปร่างสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ท ในการทดลองได้กำหนดให้อุณหภูมิเจ็ทสูงกว่าอุณหภูมิอากาศรอบๆ จากนั้นได้ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ปากทางออกเจ็ท พบว่าลักษณะการไหลของเจ็ทที่ติดแผ่นสามเหลี่ยมมีการผสมกับอากาศรอบๆ ได้ดีกว่าเจ็ทที่ไม่ติดแผ่นสามเหลี่ยมโดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้กับปากทางออกเจ็ท

Carletti และคณะ [2] ได้ทดลองติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ทเพื่อที่จะศึกษาลักษณะการผสมของเจ็ท จากการทดลองพบว่าระดับการผสมภายในเจ็ทกับของไหลรอบๆ ก่อนข้างสูงเมื่อมีการติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ท

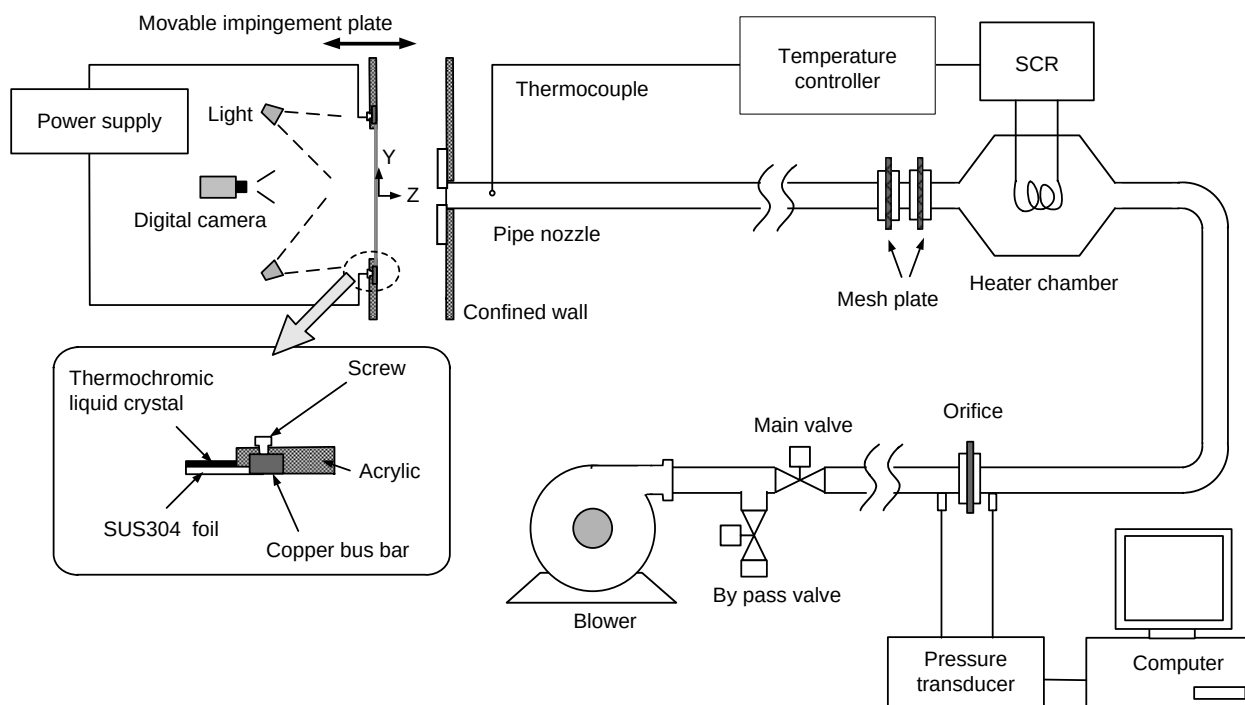
ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนโดยการติดแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ท โดยศึกษากรณีที่ใช้แผ่นสามเหลี่ยมแบบทำมุม 45° และ 90° โดยระยะยื่นจากขอบภายในท่อ $0.1D$ ในการทดลองจะทำการติดแผ่นสามเหลี่ยมจำนวน 2 และ 4 ตำแหน่ง และศึกษาผลของระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน $H=2D, 4D, 6D$, และ $8D$ สำหรับค่าเรย์โนลด์สแบบเรย์ของเจ็ทท่อเปล่ากำหนดให้คงที่ $Re=24,000$ โดยกำหนดให้เจ็ทที่ติดแผ่นสามเหลี่ยมมีอัตราการไหลเท่ากับกรณีของเจ็ทท่อเปล่า

2. ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงรายละเอียดของชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อากาศภายในห้องทดลองจะถูกดูดผ่านโบรเวอร์โดยควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วหลัก (main valve) และวาล์วรอง (by pass valve) หลังจากนั้นอากาศจะไหลผ่านออรัฟิสเพื่อวัดอัตราการไหลและผ่านไปยังห้องควบคุมอุณหภูมิเจ็ทที่มีชุดฮีตเตอร์ติดตั้งอยู่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเจ็ทอากาศให้คงที่ก่อนที่จะไหลออกออกจากท่อเจ็ทที่ออกแบบให้มีความ

ยาวเพียงพอต่อการไหลที่เป็นแบบพัฒนาตัวแล้ว (Fully developed flow) จากชุดทดลองได้ทำการติดตั้งตะแกรงระหว่างท่อเจ็ทและห้องควบคุมอุณหภูมิเจ็ทเพื่อให้อุณหภูมิของเจ็ทมีความสม่ำเสมอ ในการทดลองนี้ที่ปลายทางออกของท่อเจ็ทจะติดตั้งผนังของท่อเจ็ท (confined wall jet) ไว้ดังแสดงในรูปที่ 1 หลังจากเจ็ทพุ่งชนผนังแล้ว เจ็ทจะไหลออกทางด้านข้างในช่องระหว่างผนังของท่อเจ็ทและผนังที่เจ็ทพุ่งชน โดยชุดทดลองนี้ถูกออกแบบให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างผนังทั้งสองได้



รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลอง

2.2 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

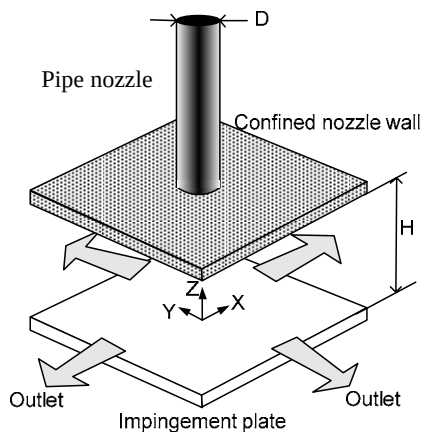
รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของโมเดลที่ใช้ในการทดลอง เจ็ทอากาศจากหัวฉีดแบบท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D=28$ mm พุ่งชนตั้งฉากกับพื้นผิว ในการทดลองจะกำหนดให้พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนมีฟลักซ์ความร้อนคงที่ และใช้เจ็ทที่อุณหภูมิห้อง พุ่งชนพื้นผิวเพื่อระบายความร้อน

สำหรับจุดกำเนิดของระบบพิกัดฉากอยู่ในตำแหน่งบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนซึ่งตรงกับศูนย์กลาง

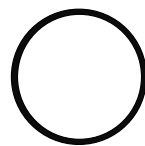
ของท่อเจ็ท โดยแกน X และแกน Y มีทิศทางขนานกับพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนและแกน Z มีทิศทางขนานกับท่อเจ็ทตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน $H=2D$, $4D$, $6D$, และ $8D$ สำหรับรูปแบบการติดตั้งสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ทแสดงในรูปที่ 3 จากรูปแผ่นสามเหลี่ยมทำจากอะลูมิเนียมที่มีความหนา $t=0.5$ mm โดยระยะยื่นจากขอบภายในท่อ $0.1D$ สำหรับ

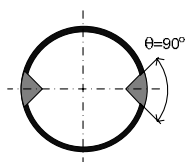
ส่วนที่ยื่นเข้าขวางการไหลของเจ็ทมีมุมเท่ากับ 45° และ 90° ในการทดลองจะทำการติดแผ่นสามเหลี่ยมจำนวน 2 ตำแหน่ง (ตำแหน่งมุมระหว่างแผ่นสามเหลี่ยม 180°) และ 4 ตำแหน่ง (ตำแหน่งมุมระหว่างแผ่นสามเหลี่ยม 90°)



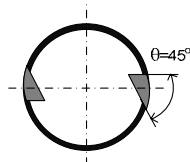
รูปที่ 2 แสดงโมเดลของการทดลอง



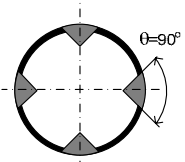
(ก) เจ็ททอเปล่า



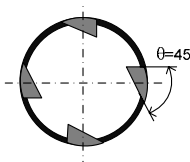
(ข) ติดแทบมุม 90°
2 ตำแหน่ง



(ค) ติดแทบมุม 45°
2 ตำแหน่ง



(ง) ติดแทบมุม 90°
4 ตำแหน่ง



(จ) ติดแทบมุม 45°
4 ตำแหน่ง

รูปที่ 3 แสดงลักษณะและตำแหน่งการติดแทบรูปสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ท

ในการทดลองกำหนดให้เจ็ททอเปล่ามีค่าเรย์โนลด์สของเจ็ทคงที่ $Re=24,000 (=UD/\nu)$ โดยใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของทอเจ็ทและความเร็วเฉลี่ยที่ปากทางออกของเจ็ทในการคำนวณ) ในกรณีของเจ็ทที่ติดแผ่นสามเหลี่ยมได้กำหนดให้อัตราการไหลของเจ็ทคงที่เท่ากับกรณีของเจ็ททอเปล่า สำหรับอุณหภูมิเจ็ทได้กำหนดให้คงที่ในช่วง $27.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$

2.3 วิธีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล (TLCs)

ในการทดลองนี้จะใช้แผ่นสแตนเลสแบบบาง (SUS304) ที่มีความหนา 0.03 mm เป็นผนังที่เจ็ทพุ่งชน แผ่นสแตนเลสนี้จะถูกขึงให้เรียบติดกับแผ่นพลาสติกหนา 15 mm ที่เจาะเป็นช่องขนาด 220 mm x 220 mm ไว้กลางแผ่น โดยใช้แท่งทองแดงยึดแผ่นสแตนเลสไว้ทั้งสองข้าง และแท่งทองแดงทั้งสองนี้จะต่อเข้ากับขั้วของตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านแท่งทองแดงไปยังแผ่นสแตนเลส จะเกิดความร้อนขึ้นทั่วทั้งแผ่นสแตนเลส ซึ่งอัตราการเกิดความร้อนนี้สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\dot{q} = \frac{I^2 R}{A} \quad (1)$$

เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นสแตนเลส R คือค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นสแตนเลส และ A คือพื้นที่ของพื้นผิวของแผ่นสแตนเลส

สำหรับการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนนั้นจะวัดโดยใช้แผ่น TLCs ติดด้านหลังของแผ่นสแตนเลส (ด้านตรงข้ามกับที่เจ็ทพุ่งชน) แผ่น TLCs ที่จะเลือกใช้ในการทดลองนี้จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงสีจากสีดำ เป็นสีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 28°C ถึง 38°C ก่อนการทดลองได้ทำการสอบเทียบอุณหภูมิกับสีที่ปรากฏบนแผ่น TLCs และได้ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพในการเปลี่ยนข้อมูลสีที่บันทึกด้วยกล้องดิจิทัลเป็นข้อมูลส่วนประกอบของสีหลัก คือ แดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) แล้วทำการแปลงเป็นระบบสี HSI (Hue, Saturation, Intensity) โดยนำค่า

เจดส์ H เทียบกับข้อมูลอุณหภูมิแทนการใช้สายตาผู้สังเกตในการแยกแยะสีและประมาณค่าอุณหภูมิ

ในการทดลองนี้จะใช้เจ็ทอากาศที่ประมาณอุณหภูมิห้อง พุ่งชนพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่เพื่อระบายความร้อน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) สามารถคำนวณได้จาก

$$h = \frac{\dot{Q}_{input} - \dot{Q}_{losses}}{A(T_w - T_j)} = \frac{\dot{q}_{input} - \dot{q}_r - \dot{q}_c}{T_w - T_j} \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{q}_r = \sigma \varepsilon_{TLC} (\bar{T}_w - T_s)$ และ $\dot{q}_c = \bar{h}_c (\bar{T}_w - T_s)$ คืออัตราการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีและการพาความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมตามลำดับ สำหรับ $\bar{T}_w$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิว, T_j คืออุณหภูมิของเจ็ท, σ คือค่าคงที่ Stefan-Boltzman, ε_{TLC} คือค่าสัมประสิทธิ์ของการแผ่รังสีความร้อนของแผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลติด (=0.9) [3], T_s คืออุณหภูมิในห้อง, $\bar{h}_c$ คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยบนแผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลติดสู่อากาศรอบๆ จากสมการ (2) สามารถคำนวณหาค่านัสเซลต์นัมเบอร์ได้จากสมการ

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (3)$$

ในที่นี้ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากทางออกท่อเจ็ท และ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ สำหรับค่า Nusselt number เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\bar{Nu} = \frac{\bar{h}D}{k} \quad (4)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย $\bar{h}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) โดยการแทนค่า T_w เป็นอุณหภูมิเฉลี่ย $\bar{T}_w$

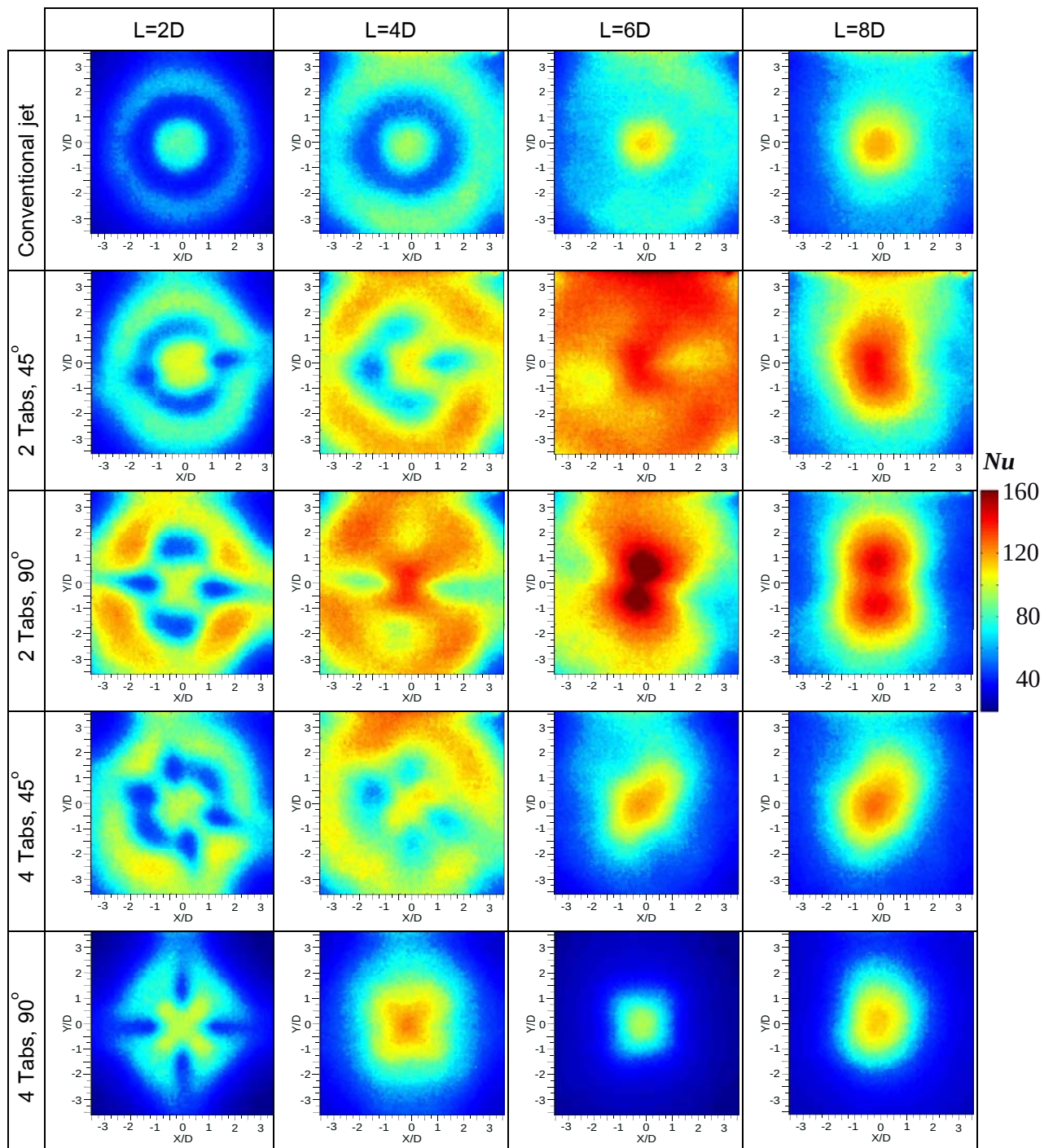
3. ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการกระจายของนัสเซลต์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน จากรูปกรณีของเจ็ทท่อเปล่าที่ระยะ H ต่างๆพบว่า การกระจายของค่านัสเซลต์นัมเบอร์จะมีค่าสูงสุดบริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน จากนั้นจะลดลงไปตามแนวรัศมี แต่ที่ระยะ

H=2D และ 4D พบว่า การกระจายของนัสเซลต์มีค่าสูงสุดอันดับสองเกิดขึ้น (Secondary peak heat transfer) โดยที่ระยะ H=2D จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง $r=2D$ และที่ H=4D ที่ตำแหน่ง $r=2.5D$ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นผลมาจากการที่ระยะพุ่งชนที่อยู่ในช่วงดังกล่าวนี้ มี Potential core ซึ่งมีความเร็วใกล้เคียงกับที่ปากทางออกของเจ็ทและมีระดับความปั่นป่วนค่อนข้างต่ำพุ่งชนบนผนัง หลังจากเจ็ทไหลบนพื้นผิวในแนวรัศมีแล้วระดับความปั่นป่วนของการไหลเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเกิดเป็นค่านัสเซลต์นัมเบอร์สูงสุดอันดับที่สอง [4]

กรณีที่ระยะ H=2D พบว่าการติดแผ่นสามเหลี่ยมทั้งสองแบบ มีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของค่านัสเซลต์นัมเบอร์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนอย่างมาก นัสเซลต์นัมเบอร์ที่กระจายบนพื้นผิวมีความแตกต่างกันตามลักษณะการติดแผ่นแทบรูปสามเหลี่ยมโดยบริเวณที่มีค่านัสเซลต์นัมเบอร์ต่ำจะตรงกับตำแหน่งที่ติดแผ่นแทบ และบริเวณที่มีค่านัสเซลต์สูงจะตรงกับตำแหน่งด้านข้างของการติดแทบ เมื่อเจ็ทไหลผ่านแผ่นแทบรูปสามเหลี่ยมจะเกิดการแยกตัวและพุ่งชนพื้นผิวทันที เนื่องจากอยู่ในช่วงระยะ H ต่ำ ทำให้การไหลของเจ็ทพุ่งชนพื้นผิวได้น้อยบริเวณที่ตรงกับตำแหน่งที่ติดแผ่นแทบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดค่านัสเซลต์นัมเบอร์ต่ำ และการไหลของเจ็ทจะพุ่งชนพื้นผิวได้มากกว่าบริเวณที่ตรงกับตำแหน่งที่ไม่มีแผ่นแทบรูปสามเหลี่ยมทำให้บริเวณดังกล่าวมีค่านัสเซลต์นัมเบอร์ที่สูงขึ้น สำหรับเจ็ทที่ไหลผ่านแผ่นแทบที่มีมุม 90° จะเกิดการแยกตัวมากกว่าแผ่นแทบที่มีมุม 45° เนื่องจากพื้นที่ของแผ่นแทบที่ยื่นเข้าไปภายในท่อเจ็ทแบบมุม 90° มากกว่าแบบมุม 45° โดยจากการเปรียบเทียบผลการทดลองรูปที่ 5 ที่ระยะ H=2D ระหว่างกรณีใช้แผ่นแทบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่งกับกรณีใช้แผ่นแทบมุม 45° ติดตั้ง 2 ตำแหน่ง หรือกรณีใช้แผ่นแทบมุม 90° ติดตั้ง 4 ตำแหน่งกับกรณีใช้แผ่นแทบมุม 45° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการกระจายของนัสเซลต์นัมเบอร์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน ($Re=24,000$, $T_j=27^\circ C$)

กรณีระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนเพิ่มขึ้นเป็น $H=4D$ พบว่าบริเวณที่ตรงกับตำแหน่งที่ติดแผ่นแทบสามเหลี่ยม นัสเซลต์นัมเบอร์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณี $H=2D$ เนื่องจากที่ระยะ H สูงขึ้น ทำให้เจ็ทที่ไหลแยกตัวเกิดการรวมตัวอีกครั้ง สำหรับกรณีของแผ่นแทบสามเหลี่ยมมุม 90°

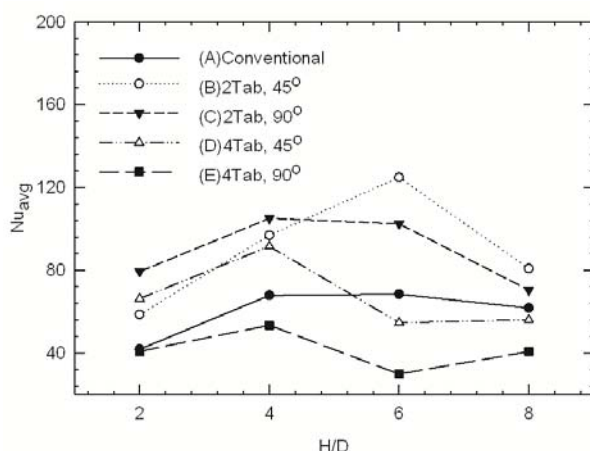
ติดตั้ง 2 ตำแหน่งที่ระยะ $H=6D$ พบว่า การกระจายตัวของบริเวณที่มีค่า นัสเซลต์นัมเบอร์สูงค่อนข้างสม่ำเสมอ และลักษณะการกระจายยึดตัวออกในแนวแกน Y

กรณีที่ระยะ $H=8D$ พบว่าการติดแผ่นแทบจะช่วยให้ นัสเซลต์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นเฉพาะบริเวณที่เป็น

ศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนเท่านั้น เฉพาะกรณีแผ่นสามเหลี่ยมแบบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่ง และกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 2 ตำแหน่ง สำหรับแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 90° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง และกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง ไม่ได้ช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง ค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์บริเวณศูนย์กลางและบริเวณรอบๆที่เจ็ทพุ่งชนมีค่าต่ำกว่ากรณีของเจ็ทจากท่อเปล่า และจากรูปพบว่าทิศของการถ่ายเทความร้อนแยกออกเป็นสองตำแหน่งตามแนวแกน Y ในกรณีของแผ่นสามเหลี่ยมแบบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่ง

3.2 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ย

รูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ยที่คำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยในบริเวณเดียวกับรูปที่ 4 จากรูปพบว่าเมื่อเพิ่มระยะ H ค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ยจะลดลงเมื่อ $H=8D$ ยกเว้นกรณีของแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 90° ติดตั้ง 4 ตำแหน่งและกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย สำหรับค่าสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ยสูงสุดเกิดขึ้นที่ระยะ $L=6D$ ในกรณีของการติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมแบบแบบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์นัมเบอร์เฉลี่ยที่ H/D ต่างๆ

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกของท่อเจ็ทที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน โดยศึกษาที่ระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) การติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ทมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเพิ่มขึ้น ยกเว้นแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 4 ตำแหน่ง สำหรับจำนวนของการติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยม 2 ตำแหน่ง มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงกว่าการติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมแบบ 4 ตำแหน่ง

(2) ที่ระยะ $H=2D$ และ $4D$ การติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่งให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงกว่ากรณีอื่นๆ และที่ระยะ $H=6D$ และ $8D$ การติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 45° ติดตั้ง 2 ตำแหน่งให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงสุด โดยที่ระยะ $H=6D$ การติดตั้งแผ่นสามเหลี่ยมแบบกรณีติดตั้งแบบมุม 90° ติดตั้ง 2 ตำแหน่งให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mi, J., and Nathan, G.J., (1999), Effect of small vortex-generators on scalar mixing in the developing region of a turbulent jet, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol.42, pp. 3919-3926.
- [2] Carletti, M.J., Rogers, C.B., Parekh, D.E., (1996), Parametric study of jet mixing enhancement by vortex generators, tabs and deflector plates, *Proc. of 1996 Fluid Eng. Conf., (FED-237)*, ASME, Vol.2, pp.303-312.

- [3] Geers, L.F.G., Tummers, M.J., Bueninck, T.J. and Hanjalic, K. (2008), Heat transfer correlation for hexagonal and in-line arrays of impinging jets, *Heat and Mass Transfer Int. J.*, vol. 51, pp. 5389 – 5399.
- [4] Lytle, D., and Webb, B.W., (1991), Secondary heat transfer maxima for air jet impingement at low nozzle-to-plate spacing. *J. Experimental heat transfer, Elsevier*, pp. 776-783.