

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การถ่ายเทความร้อนของเจ็ทพุ่งชนในกระแสไหลตัด : ผลของสัดส่วนระหว่างความเร็ว กระแสไหลตัดและเจ็ท

Heat Transfer of An Impinging Jet in Crossflow : Effect of Velocity Ratio between Crossflow and Jet Flow

มักตาร์ แวหะยี และ ชยุต นันทดุสิต*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

* ติดต่อ: E-mail: chayut@me.psu.ac.th, โทรศัพท์: 074 287 035, โทรสาร: 074 212 893

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของกระแสไหลตัดที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทภายในอุโมงค์ลม หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการทดลองใช้เจ็ทที่ไหลออกจากปากทางออกแบบท่อพุ่งชนบนผนังอุโมงค์ลมที่อยู่ตรงข้าม โดยกำหนดความเร็วเจ็ทให้คงที่และเปลี่ยนความเร็วกระแสไหลตัดในอุโมงค์ลม ทำการทดลองที่เงื่อนไขสัดส่วนระหว่างความเร็วกระแสไหลตัดและความเร็วเจ็ท 3 ค่า คือ 0.35, 0.55 และ 0.75 และระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน $L=2D$, $4D$ สำหรับการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ศึกษากรณีที่ใช้เจ็ทพุ่งชนพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนเพื่อระบายความร้อนและกรณีที่ใช้เจ็ทอุณหภูมิสูงพุ่งชนให้ความร้อนพื้นผิว ในการวัดการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนได้ใช้กล้องอินฟราเรด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนระหว่างความเร็วกระแสไหลตัดและความเร็วเจ็ท จะทำให้การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวดลดลง เนื่องจากลำเจ็ทถูกพัดพาโดยกระแสไหลตัดและเกิดการผสมกับกระแสไหลตัดก่อนที่จะพุ่งชนพื้นผิว

คำหลัก: เจ็ทพุ่งชน, กระแสไหลตัด, การถ่ายเทความร้อน, สัดส่วนระหว่างความเร็วกระแสไหลตัดและความเร็วเจ็ท

Abstract

In this study, the effect of crossflow on heat transfer characteristics of impinging jet was studied in a wind tunnel with rectangular cross section. In the experiment, the jet from pipe nozzle impinged on the other side of wind tunnel wall. The velocity of jet was set at constant and the velocity of crossflow in wind tunnel was varied. The experiment was conducted by varying velocity ratio between crossflow and jet flow at $M=0.35$, 0.55 and 0.75 . The nozzle to impinged surface distance was also conducted at condition $L=2D$ and $4D$. The heat transfer characteristic of impinging jet was studied for case of impingement cooling jet and impingement heating jet. The infrared camera was used for temperature measurement on jet impinged surface. It was found that the heat transfer on jet impinged surface

decreases when increasing the velocity ratio or nozzle to impinged surface distance. It is due to the jet flow was bent by crossflow and mixed with crossflow before impinging on surface.

Keywords: Impinging jet, Crossflow, Heat transfer, Velocity ratio between crossflow and jet flow

1. บทนำ

การใช้เจ็ทพุ่งชนพื้นผิวเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างเจ็ทของไหลและพื้นผิวที่นิยมใช้ในการระบายความร้อนใบพัดแก๊สเทอร์ไบน์ ผนังห้องเผาไหม้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง โดยเฉพาะพื้นผิวบริเวณที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้ความร้อนหรือระบายความร้อนบนพื้นผิวอย่างรวดเร็ว รวมถึงใช้ในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ทางความร้อน เช่น อุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง (Compact High Intensity Cooler, CHIC) โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่กล่าวมาจะมีพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่กว้าง จำเป็นต้องใช้เจ็ทหลายลำหรือกลุ่มเจ็ท เพื่อให้เพียงพอต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นในเจ็ทกลุ่มคือ การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของกลุ่มเจ็ทจะไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะกรณีที่มีผนังจำกัดการไหล เนื่องจากหลังจากที่เจ็ทไหลพุ่งชนพื้นผิวแล้ว เจ็ทจะเกิดการรวมตัวกัน เกิดเป็นกระแสการไหลระหว่างผนังที่เจ็ทพุ่งชนและผนังจำกัดการไหล และกระแสการไหลนี้จะไหลตัดผ่านเจ็ทที่อยู่ด้านปลายทางการไหล ทำให้การถ่ายเทความร้อนของเจ็ทลดลง [1-5]

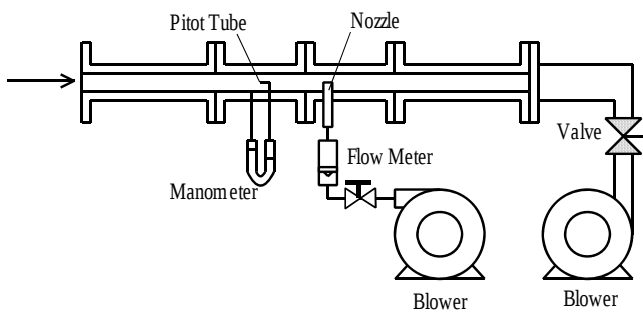
ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว โดยการปรับปรุงรูปร่างของปากทางออกเจ็ท เพื่อลดอิทธิพลของกระแสไหลตัด ในเบื้องต้นได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทจากท่อกลม 1 ท่อ ในกรณีที่มีกระแสไหลผ่านลำเจ็ท ในการทดลองกำหนดให้ความเร็วของเจ็ทคงที่ และเปลี่ยนความเร็วของกระแสไหลตัด เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระแสไหลตัดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของเจ็ท และทดลองที่เงื่อนไขระยะห่างระหว่างปาก

ทางออกเจ็ทกับผนังที่เจ็ทพุ่งชน $L=2D$ และ $4D$ (D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกเจ็ท) สำหรับวิธีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวจะใช้กล้องอินฟราเรดวัดการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน

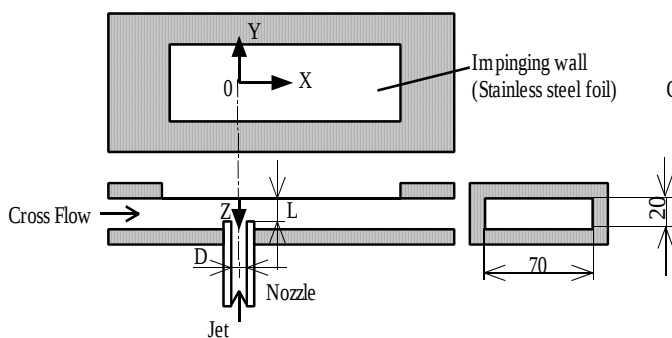
2. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของชุดทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลองทำจากแผ่นพลาสติกใสหนา 10 mm ช่องการไหลมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 70 mm สูง 20 mm มีความยาวทั้งหมด 3720 mm โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนต้นทางการไหลยาว 1400 mm ส่วนสำหรับวัดความเร็วยาว 390 mm ส่วน Test section ยาว 440 mm และส่วนปลายทางการไหลยาว 1040 mm ในส่วนทางด้านปลายทางการไหลจะต่อเข้ากับโบลเวอร์ทางด้านดูดอากาศ เพื่อดูดอากาศภายในห้องทดลองให้เข้าอุโมงค์ลมในส่วนต้นทางการไหล เกิดเป็นกระแสไหลตัดของเจ็ท ในส่วนของท่อเจ็ทได้ใช้ท่อทองเหลืองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D=5$ mm ยาว 115 mm โดยลมจากโบลเวอร์สำหรับกำเนิดเจ็ทจะไหลผ่านวาล์วและอุปกรณ์วัดอัตราการไหล แล้วจึงไหลผ่านท่อเจ็ทและพุ่งชนตั้งฉากกับผนังอุโมงค์ลมด้านตรงข้าม ในส่วนของการวัดความเร็วของกระแสไหลตัดจะวัดในส่วนของอุโมงค์ลมก่อนเข้า Test section โดยใช้ Pitot-Static tube ต่อเข้ากับमानอมิเตอร์แบบเอียงเพื่อวัดผลต่างความดัน ในส่วนนี้ตัว Pitot-Static tube ที่ติดตั้งกับผนังอุโมงค์ลมจะสามารถเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อวัดการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลมได้ นอกจากนี้ได้ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิของเจ็ทและอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าอุโมงค์ด้วย



รูปที่ 1 รายละเอียดชุดทดลอง

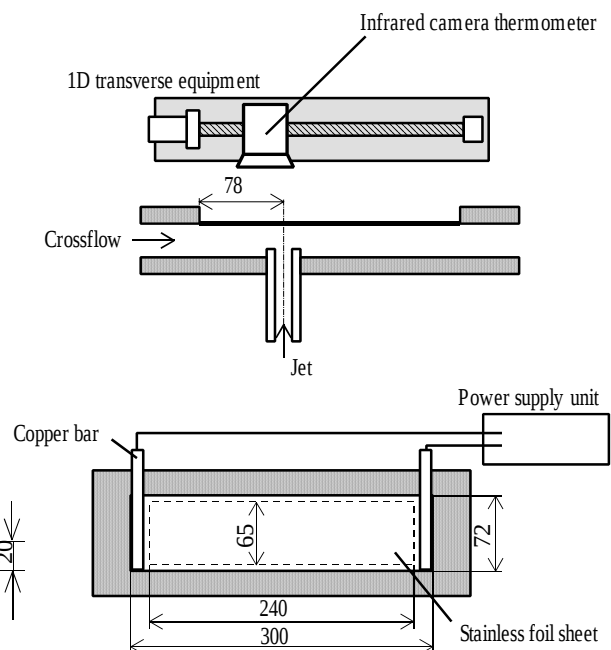


รูปที่ 2 รายละเอียดของส่วน Test section และระบบ พิกัดที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของส่วน Test section และระบบพิกัดที่ใช้ในงานวิจัย จากรูปท่อกำหนดจะ สามารถเลื่อนขึ้นลงในแนวแกน Z เพื่อเปลี่ยนระยะ จากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน (L) และใน รูปกำหนดให้จุดกำเนิดของระบบพิกัดอยู่ที่ตำแหน่ง บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนอยู่ในแนวเดียวกับจุดศูนย์กลาง ของท่อกำหนด โดยที่แกน X อยู่ในแนวการไหลของ กระแสไหลตัด แกน Y อยู่ในแนวด้านความสูงของ อุโมงค์ลม และแกน Z อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชน

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดของผนังที่ใช้วัดการ ถ่ายเทความร้อนในส่วน Test Section ใน การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทจะใช้แผ่นสแตน เลส SUS304 ขนาดสูง 72 mm กว้าง 300 mm หนา 30 ไมครอนเป็นผนังที่เจ็ทพุ่งชน โดยแผ่นสแตนเลสนี้ จะถูกขึงให้ตึงโดยใช้ขั้วแผ่นทองแดงยึดทั้งสองข้างกับ ผนังของอุโมงค์ลมดังรูปที่ 3 ในการทดลองจะจ่าย

ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วแผ่นทองแดงทำให้เกิดฟลักซ์ ความร้อนบนแผ่นสแตนเลส



รูปที่ 3 รายละเอียดของผนังที่ใช้วัดการถ่ายเทความร้อนในส่วน Test Section

สำหรับการวัดการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชน ในการทดลองนี้ใช้กล้องอินฟราเรดวัดการ กระจายอุณหภูมิจากพื้นผิวด้านหลังของแผ่นสแตนเลส (ด้านที่ไม่โดนเจ็ทพุ่งชน) ผนังของอุโมงค์ลมด้านที่เจ็ท พุ่งชนจะถูกเจาะเป็นหน้าต่างขนาดสูง 65 mm กว้าง 240 mm สำหรับวัดอุณหภูมิโดยกล้องอินฟราเรด และ บนแผ่นสแตนเลสด้านที่วัดอุณหภูมิจะถูกพันด้วย สเปรย์สีดำด้าน ให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 0.97 ในการทดลองเนื่องจากแผ่นสแตน เลสที่ใช้บางมาก จึงสามารถสมมุติให้อุณหภูมิของ แผ่นสแตนเลสด้านที่เจ็ทพุ่งชนเท่ากับอุณหภูมิของ แผ่นทางด้านหลังที่ใช้วัดอุณหภูมิ

2.2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาใช้ลำเจ็ทพุ่งชนพื้นผิวเพื่อ ระบายความร้อน ในส่วนนี้จะกำหนดให้อุณหภูมิเจ็ท เท่ากับอุณหภูมิของกระแสไหลตัดที่อุณหภูมิเท่ากับ $T_j = T_c = 25^\circ\text{C}$ พุ่งชนพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่

$q=1,567 \text{ W/m}^2$ นอกจากนี้ได้ทำการทดลองในกรณีที่ไม่มีการเจ็ทพองชนมีแต่กระแสไหลตัดไหลผ่านผนัง ในส่วนที่สองเป็นการศึกษากรณีที่ใช้เจ็ทพองชนให้ความร้อนพื้นผิวในกระแสไหลตัด ในกรณีนี้จะกำหนดให้อุณหภูมิเจ็ท $T_j=38^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิกระแสไหลตัด $T_c=25^\circ\text{C}$ และผนังที่เจ็ทพองชนมีฟลักซ์ความร้อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

อัตราส่วนความเร็ว ($M=V_c/V_j$)	0.35, 0.55, 0.75
ความเร็วกระแสไหลตัด (V_c)	12.5, 19.6, 26.8 m/s
ความเร็วเจ็ท (V_j)	35.7 m/s ($Re=11,590$)
ระยะจากปากทางออกถึง พื้นผิวที่เจ็ทพองชน (L)	2D, 4D

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ในทุกการทดลองได้กำหนดให้ความเร็วของเจ็ทคงที่ และทำการเปลี่ยนความเร็วของกระแสไหลตัดเพื่อเปลี่ยนเงื่อนไขอัตราส่วนความเร็ว นอกจากนี้ได้ศึกษากรณีที่ระยะห่างจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพองชน $L=2D, 4D$

ในการศึกษาการระบายความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพองชน ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นสเตนเลสสามารถคำนวณจากสมการที่ (1) โดยที่ I คือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แผ่นสเตนเลส และ R คือความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นสเตนเลส สำหรับสมการที่การพาความร้อนและตัวเลขนัสเซลล์สามารถคำนวณจากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ โดยที่ T_w คืออุณหภูมิของพื้นผิวที่เจ็ทพองชน และ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ ในที่นี้ผลรวมการสูญเสียความร้อนของแผ่นสเตนเลสเนื่องจากการพาความร้อนแบบธรรมชาติและการแผ่รังสี $\dot{Q}_{losses}$ ทางด้านหลังของแผ่นสเตนเลสมีค่าน้อยมาก จึงไม่นำมาคิดในงานวิจัยนี้

$$\dot{Q}_{input} = I^2 R \quad (1)$$

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

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

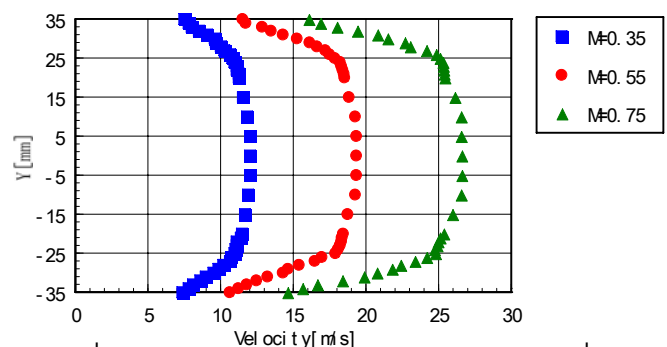
ในกรณีที่ใช้เจ็ทพองชนให้ความร้อนพื้นผิวในกระแสไหลตัด อุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพองชนจะถูกแสดงให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนดังนี้

$$\eta = \frac{T_w - T_c}{T_j - T_c} \quad (4)$$

3. ผลการทดลอง

3.1 การกระจายความเร็วของกระแสไหลตัด

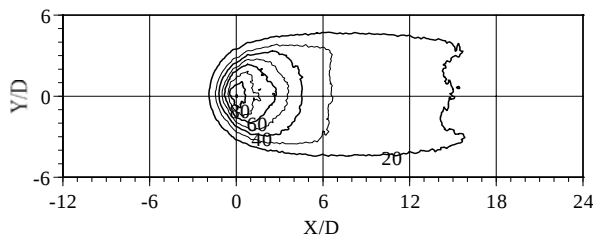
รูปที่ 4 แสดงการกระจายความเร็วตามแนวแกน Z ที่ผ่านกลางหน้าตัดอุโมงค์ลม ในกรณีที่ไม่มีกระแสไหลของเจ็ทมีแต่กระแสไหลตัดที่ความเร็ว 12.5, 19.6, 26.8 m/s จากรูปพบว่าที่บริเวณกลางอุโมงค์ลมในช่วง $-15\text{mm} < Z < 15\text{mm}$ จะมีการกระจายความเร็วที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ



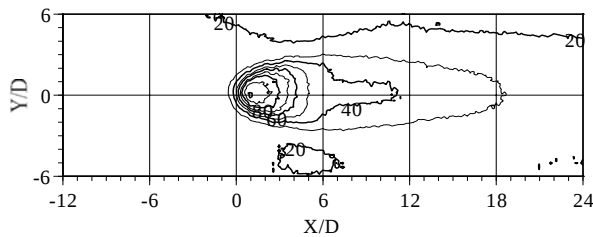
รูปที่ 4 การกระจายความเร็วตามแนวแกน Z ที่ผ่านกลางหน้าตัดของอุโมงค์ลม

3.2 ลักษณะการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์ในกรณีที่ลำเจ็ทพองชนพื้นผิวเพื่อระบายความร้อนในกระแสไหลตัด

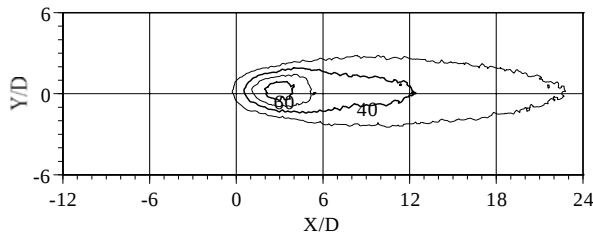
รูปที่ 5 และ 6 แสดงผลของอัตราส่วนความเร็วระหว่างกระแสไหลตัดและเจ็ท (M) ที่มีต่อการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวที่เจ็ทพองชนที่เงื่อนไข $L=2D$ และ $L=4D$ ตามลำดับ



(ก) กรณีที่ $M=0.35$



(ข) กรณีที่ $M=0.55$

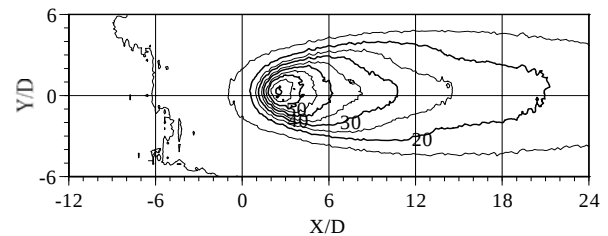


(ค) กรณีที่ $M=0.75$

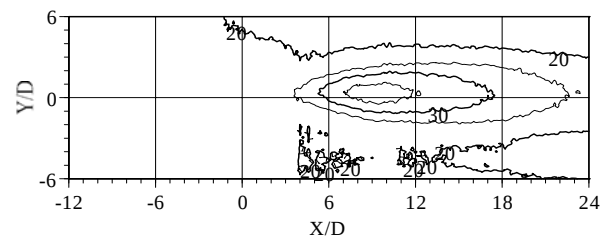
รูปที่ 5 ผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่เงื่อนไข $L=2D$

จากรูปที่ 5 พบว่าที่เงื่อนไข $L=2D$ ในกรณีที่ $M=0.35$ ตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวจะสูงที่สุดที่ตำแหน่งศูนย์กลางของปากทางออกเจ็ท $X/D=0$ และ $Z/D=0$ และบริเวณทางด้านที่กระแสไหลตัดปะทะกับลำเจ็ทจะมีการเปลี่ยนแปลงตัวเลขนัสเซลล์ที่ค่อนข้างชันกว่าทางด้านปลายทางการไหลของเจ็ท นอกจากนี้ลักษณะการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์จะมีการขยายออกทางด้านข้างในแนวแกน Z เมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็วเป็น $M=0.55$ พบว่าตำแหน่งที่มีค่าตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดจะเคลื่อนไปทางปลายทางการไหลเล็กน้อย การกระจายของตัวเลขนัสเซลล์ทางด้านหลังของเจ็ทจะมีลักษณะยืดออกไปทางปลายทางการไหล และการขยายตัวออกทางด้านข้างจะลดลง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็วเป็น $M=0.75$ พบว่าตำแหน่งที่มีค่า

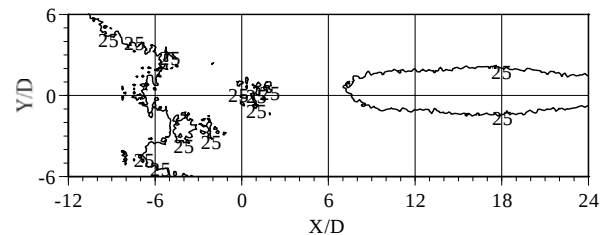
ตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดจะเคลื่อนไปทางปลายทางการไหลอีก และลักษณะการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์จะยืดตัวไปทางด้านปลายทางการไหลเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระจายออกทางด้านข้างจะลดลง



(ก) กรณีที่ $M=0.35$



(ข) กรณีที่ $M=0.55$



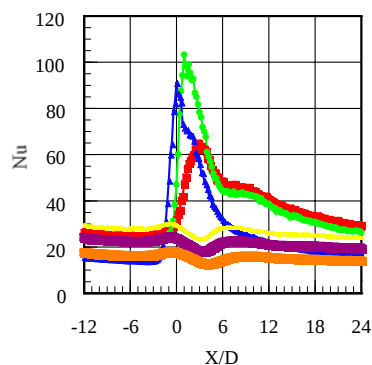
(ค) กรณีที่ $M=0.75$

รูปที่ 6 ผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อการกระจายของตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่เงื่อนไข $L=4D$

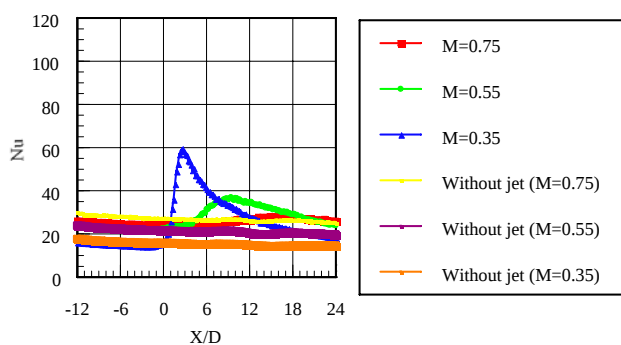
สำหรับกรณีที่เงื่อนไข $L=4D$ พบว่า เมื่อ $M=0.35$ ตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดจะมีค่าลดลง และตำแหน่งของตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดจะเคลื่อนไปยังปลายทางการไหลเมื่อเทียบกับกรณี $L=2D$ การกระจายของตัวเลขนัสเซลล์จะมีลักษณะยืดออกไปทางปลายทางการไหลมากขึ้นและการขยายตัวทางด้านข้างลดลงเมื่อเทียบกับกรณี $L=2D$ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็วเป็น $M=0.55$ และ 0.75 ตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดบนพื้นผิวจะลดลงอย่างรวดเร็ว และลำเจ็ทจะถูกพัดพาโดยกระแสไหลตัดทำให้ตำแหน่งที่ตัวเลขนัสเซลล์สูงที่สุดหรือ

ตำแหน่งที่เจ็ทปะทะพื้นผิวเคลื่อนไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น

รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงตัวเลขนัสเซลล์บนแกน X ในกรณีที่มีเจ็ทพุ่งชนในกระแสไหลตัดที่เงื่อนไข $L=2D$ และ $4D$ จากรูปพบว่าทางด้านที่การไหลของกระแสไหลตัดปะทะกับลำเจ็ท ตัวเลขนัสเซลล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นทางด้านปลายทางการไหลของเจ็ทค่าตัวเลขนัสเซลล์จะค่อยๆ ลดลง และพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M มีผลทำให้ตัวเลขนัสเซลล์สูงสุดลดลง และตำแหน่งที่ตัวเลขนัสเซลล์สูงสุดเคลื่อนไปทางด้านปลายทางการไหลมากขึ้น โดยเฉพาะกรณีที่ $L=4D$ ในรูปที่ 7 ยังแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวเลขนัสเซลล์ในกรณีที่ไม่มีกระแสไหลของเจ็ทพุ่งชนมีแต่กระแสไหลตัดเท่านั้น พบว่าในกรณีที่ $L=4D$ และ $M=0.75$ การใช้เจ็ทพุ่งชนพื้นผิวแทบจะไม่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเลย



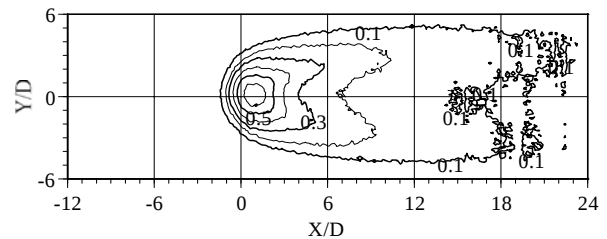
(ก) กรณีที่ $L=2D$



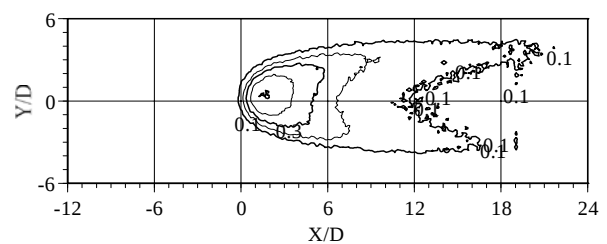
(ข) กรณีที่ $L=4D$

รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงตัวเลขนัสเซลล์บนแกน X ในกรณีที่มีเจ็ทพุ่งชนในกระแสไหลตัด

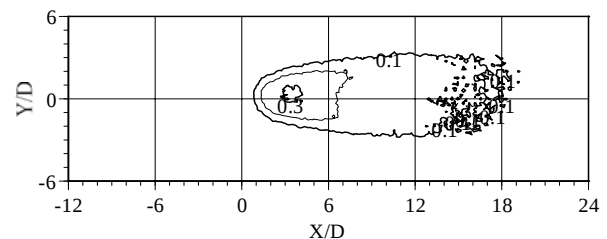
3.3 ลักษณะการกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนในกรณีที่ลำเจ็ทพุ่งชนพื้นผิวเพื่อให้ความร้อนในกระแสไหลตัด



(ก) กรณีที่ $M=0.35$



(ข) กรณีที่ $M=0.55$

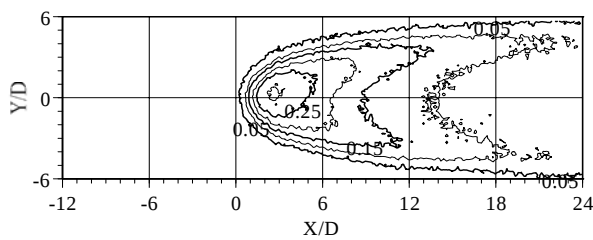


(ค) กรณีที่ $M=0.75$

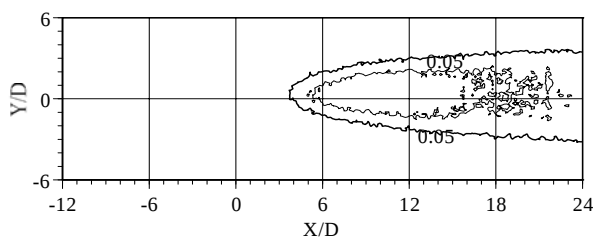
รูปที่ 8 ผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อการกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่เงื่อนไข $L=2D$

รูปที่ 8 และ 9 แสดงผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อการกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่เงื่อนไข $L=2D$ และ $4D$ ตามลำดับ จากรูปพบว่าลักษณะการกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวจะมีลักษณะเหมือนรูปเกือกม้า ซึ่งแตกต่างจากลักษณะการกระจายตัวเลขนัสเซลล์บนพื้นผิวที่เงื่อนไข M และ L เดียวกัน เนื่องจากการทดลองนี้เจ็ทมีอุณหภูมิสูงกว่ากระแสไหลตัด ก่อนที่เจ็ทจะไหลปะทะพื้นผิวจะเกิดการผสมกันระหว่างเจ็ทกับกระแสไหลตัดทำให้อุณหภูมิของเจ็ทที่ปะทะพื้นผิวลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M

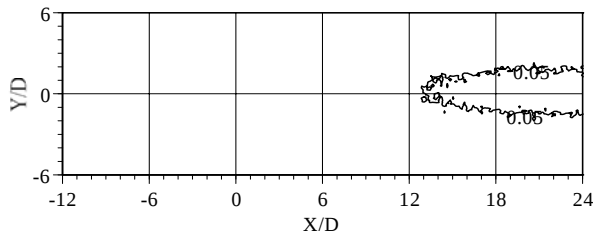
ค่าสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวจะลดลง และตำแหน่งที่มีค่าสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนจะเลื่อนไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น นอกจากนี้จะมีลักษณะการกระจายที่ยืดออกไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณี $L=4D$ การเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M จะทำให้สัมประสิทธิ์การให้ความร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว



(ก) กรณีที่ $M=0.35$



(ข) กรณีที่ $M=0.55$

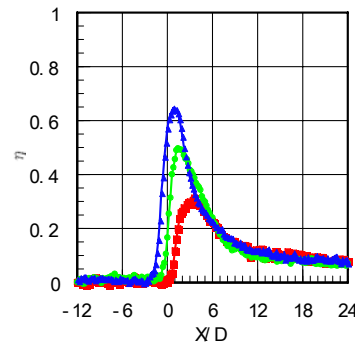


(ค) กรณีที่ $M=0.75$

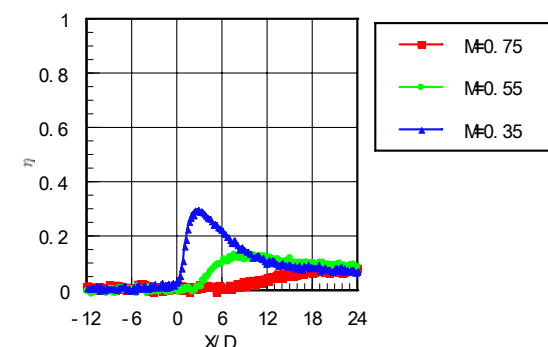
รูปที่ 9 ผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อการกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่เงื่อนไข $L=4D$

รูปที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนแกน X ในกรณี $L=2D$ และ $4D$ จากรูปพบว่าทางด้านที่กระแสน้ำไหลตัดปะทะกับเจ็ทอากาศร้อนสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุด หลังจากนั้นสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนจะค่อยๆ ลดลงทางด้านปลายทางการไหลของเจ็ท เมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M จะมีผลทำ

ให้ค่าสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนสูงสุดลดลง และตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนสูงสุดเลื่อนไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น เมื่อเพิ่มระยะ L จาก $2D$ เป็น $4D$ สัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดการผสมระหว่างกระแสไหลตัดและเจ็ทก่อนพุ่งชนผนังมากขึ้น



(ก) กรณีที่ $L=2D$



(ข) กรณีที่ $L=4D$

รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนแกน X ในกรณีที่มีเจ็ทพุ่งชนในกระแสน้ำไหลตัด

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของกระแสน้ำไหลตัดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทพุ่งชน โดยใช้อุโมงค์ลมในการสร้างกระแสน้ำไหลตัดตั้งฉากกับลำเจ็ทจากหัวฉีดแบบทอ สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

ในกรณีที่ไม่มีผลต่างอุณหภูมิระหว่างกระแสน้ำไหลตัดและเจ็ทอากาศ ได้ทำการวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M หรือระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน L ลำเจ็ทจะได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำไหลตัดเพิ่มขึ้น ก่อนชนพื้นผิวลำเจ็ทจะถูกพัดไปทางปลาย

ทางการไหลโดยกระแสไหลตัดทำให้การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนลดลง และตำแหน่งที่เจ็ทพุ่งชนพื้นผิวเคลื่อนไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น ทำให้ลักษณะการกระจายของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนยืดยาวออกไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น

ในกรณีที่มีผลต่างอุณหภูมิระหว่างกระแสไหลตัดและลำเจ็ท ได้ทำการวัดสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิว พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M หรือระยะห่างจากปากทางออกถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน L ก่อนที่เจ็ทพุ่งชนพื้นผิวจะเกิดการผสมกันระหว่างกระแสไหลตัดและลำเจ็ท ทำให้อุณหภูมิของเจ็ทที่พุ่งชนพื้นผิวลดลง และสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวลดลงด้วย การกระจายของสัมประสิทธิ์การให้ความร้อนบนพื้นผิวจะมีลักษณะคล้ายกับรูปเกือกม้า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนความเร็ว M หรือระยะพุ่งชน L การกระจายจะมีลักษณะยืดยาวออกไปทางปลายทางการไหลมากขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sparrow, E.M., Goldstein, R.J. and Rouf, M.A. (1975). Effect of nozzle-surface separation distance on impingement heat transfer for a jet in a crossflow, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, vol. 97, pp.528-533.
- [2] Catalano, G.D., Chang, K.S. and Mathis, J.A. (1989). Investigation of turbulent jet impingement in a confined crossflow, *AIAA J.*, vol.27, pp.1530-1535.
- [3] Barata, J.M.M., Durao, D.F.G. and Heitor, M.V. (1991). Impingement of single and twin turbulent jets through a crossflow, *AIAA J.*, vol.29, pp.595-602.
- [4] Barata, J.M.M., Durao, D.F.G. and Heitor, M.V. (1992). Velocity characteristics of multiple impinging jets through a crossflow, *Trans. ASME J. of Fluids Engineering*, vol.114, pp.231-239.

- [5] Barata, J.M.M. (1996). Fountain flows produced by multiple impinging jets in a crossflow, *AIAA J.*, vol.34, pp.2523-2530.