TSF2021



## ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ลำเจ็ทพุ่งชน: กรณีติดตั้งตัวสร้างกระแสหมุนวนที่ปาก ทางออกเจ็ท

# Heat Transfer Characteristics on Jet Impinged surface: Attachment of vortex generators at Pipe Nozzle Exit

<u>บุรินทร์ แก้วไกรกรอง</u><sup>1</sup>, มักตาร์ แวหะยี<sup>1</sup>, ธีระยุทธ หลีวิจิตร<sup>1</sup> และ ชยุต นันทดุสิต<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 \*ติดต่อ: chayut@me.psu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 074-287035, เบอร์โทรสาร: 074-558830

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนจากหัวฉีดแบบท่อที่มีการ ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวน ในการทดลองได้ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวนแบบปีกรูปสามเหลี่ยมที่ปากทางออกภายในท่อ เจ็ท 2 และ 4 ตำแหน่ง มุมปะทะกับการไหลของเจ็ท θ=45° และ 60° และศึกษาผลของระยะจากปากทางออกเจ็ทจนถึง พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน H=D,2D, 4D, 6D และ 8D (โดย D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเจ็ท) ที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ของเจ็ท ท่อเปล่าคงที่ Re=29,500 สำหรับเจ็ทจากท่อที่ติดตัวสร้างแระแสไหลวนได้กำหนดให้อัตราการไหลเท่ากันทุกเงื่อนไขโดย เทียบกับอัตราการไหลของเจ็ทจากท่อเปล่า ในการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ใช้แผ่นเทอร์โมลิกควิด คริสตัลและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพในการหาการกระจายอุณหภูมิและนัสเซิลต์นัมเบอร์ที่กระจายบนพื้นผิว จากผล การทดลองพบว่าการติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวนสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่าเจ็ทจากท่อเปล่าเฉพาะ บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน ที่เงื่อนไขระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนอยู่ในช่วง H=4D-8D สำหรับที่ เงื่อนไขของการติดตัวสร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมุมปะทะ θ=45<sup>°</sup> ระยะ H=8D ให้ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยที่อยู่ ในช่วง 0<r/r>

้*คำหลัก:* เจ็ทพุ่งชน, ตัวสร้างกระแสหมุนวน, การเพิ่มความสามารถถ่ายเทความร้อน, แผ่นเทอร์โมโครมิคลิกควิดคริสตัล

#### Abstract

The objective of this paper is to study the heat transfer characteristics of impinging jet from pipe nozzle with vortex generators attachment. The vortex generators were mounted into inner pipe at nozzle exit with 2 and 4 positions and two kinds of vortex generator having attacking angle of  $\theta$ =45° and 60° were used for study. The effect of jet-to-plate distances were investigated at H=2D, 4D, 6D and 8D (D is the inner diameter of pipe nozzle), and jet Reynolds number was fixed at Re=29,500. The heat transfer characteristics were studied by using Thermochromic liquid crystal sheet and the image processing technique was used for evaluating the distribution of wall temperature and Nusselt number. The results show that the heat transfer for case of jet with vortex generators can be enhanced higher than conventional case of pipe nozzle for H=2D, 4D and 6D in region R/D less than 1. And case of vortex generators with attacking angle  $\theta$ =45° at 2 positions give the highest heat transfer rate.

*Keywords:* Impinging jet, Vortex generators, Heat transfer enhancement, Thermochromic liquid crystal sheet.

1. บทนำ

เจ็ทพุ่งชน (Impinging jet) ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ ด้านการถ่ายเทความร้อนในภาคอุตสาหกรรมอย่าง



## TSF2021S

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษากรณีการติดตัวสร้างกระแส ไหลวนแบบปีกรูปสามเหลี่ยมที่ปากทางออกเจ็ทเพื่อเพิ่ม ความสามารถการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิว โดย ได้ศึกษาผลของจำนวนตัวสร้างการไหลวนกรณีติดตั้ง 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง ทำมุมปะทะกับการไหลเจ็ท 45<sup>°</sup> และ 60<sup>°</sup> และผลของระยะจากปากทางออกเจ็ท จนถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่อยู่ในช่วง H=1D-8D และได้ ศึกษาเจ็ทท่อเปล่าเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างการไหลของกระแสหมุนวนผ่าน ปีกรูปสามเหลี่ยม [3]

## 2. ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง

#### 2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลอง อากาศ ภายในห้องทดลองจะถูกดูดผ่านโบรเวอร์โดยควบคุมอัตร ราการไหลด้วยวาล์วหลัก (Main valve) และวาล์วรอง (Bypass valve) หลังจากนั้นอากาศจะไหลผ่านออร์ริฟิส เพื่อวัดอัตราการไหล และผ่านไปยังห้องควบคุมอุณหภูมิ เจ็ทที่มีชุดฮีตเตอร์ติดตั้งอยู่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเจ็ท อากาศให้คงที่ก่อนที่จะไหลออกออกจากท่อเจ็ทที่ ้ออกแบบให้มีความยาวเพียงพอต่อการไหลที่เป็นแบบ พัฒนาตัวแล้ว (Fully developed flow) ภายในชุด ทดลองได้ทำการติดตั้งตะแกรงระหว่างท่อเจ็ทและ ห้องควบคุมอุณหภูมิเจ็ทเพื่อให้อุณหภูมิของเจ็ทมีความ สม่ำเสมอ ในทุกการทดลองที่ปลายทางออกของท่อเจ็ท ็จะติดตั้งผนังด้านท่อเจ็ท (Confined wall) หลังจากที่ เจ็ทพุ่งชนผนังแล้ว เจ็ทจะไหลออกทางด้านข้างในช่อง ระหว่างผนังของท่อเจ็ทและผนัง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดย ชุดทดลองนี้ออกแบบให้สามารถปรับระยะพุ่งชนได้

กว้างขวางโดยเฉพาะ อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ การผลิตแก้ว โลหะ สิ่งทอ เนื่องจากเจ็ทพุ่งชนเป็นวิธีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อน บนพื้นผิวที่สูง โดยเฉพาะบริเวณที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรง อีก ทั้งยังให้อัตราส่วนระหว่างปริมาณการถ่ายเทความร้อน และปริมาณการไหลของของไหลที่สูง จึงสามารถใช้ พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

ลักษณะและอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของ เจ็ทพุ่งชนจะขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลของเจ็ท โดยทั่วไป แล้วตัวแปรหลักที่มีผลต่อลักษณะการไหลและการถ่ายเท ความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิวมีอยู่สองประการคือ โม เมนตัมของเจ็ทที่พุ่งชนพื้นผิวและระดับของความปั่นป่วน (Turbulence intensity) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มโม เมนตัมของเจ็ทที่พุ่งชนพื้นผิวจะต้องเพิ่มความเร็วในการ ้ใหลของเจ็ท ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่นิยมเนื่องจากต้องใช้พลังงาน เพิ่มขึ้น สำหรับการเพิ่มระดับความปั่นป่วนสามารถ ควบคุมการไหลของเจ็ทได้สองวิธี คือแบบกระตุ้น (Active Control) เป็นการควบคุมการไหลของเจ็ทโดย อาศัยพลังงานจากภายนอก และแบบไม่มีการกระตุ้น (Passive Control) เป็นการควบคุมการไหลแบบไม่อาศัย พลังงานจากภายนอก ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว แต่จะใช้ ้อุปกรณ์บางอย่างติดตั้งเพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหล ของของไหล ซึ่งมีข้อดีคือไม่มีอุปกรณ์ควบคุมที่ซับซ้อน ราคาถูก สามารถใช้งานได้ง่ายในอุตสาหกรรม ดังนั้น หลายๆงานวิจัยมุ่งศึกษาในการควบคุมการไหลแบบไม่มีการ กระตุ้น

ปัจจุบันได้มีการพยายามที่จะใช้วิธีการควบคุมการ ไหลของเจ็ทแบบไม่มีการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถใน การการถ่ายเทความร้อนของเจ็ท [1, 2] การติดปีกรูป สามเหลี่ยมเป็นวิธีการหนึ่งที่ไม่มีการใช้พลังงานจาก ภายนอกมากระตุ้น ลักษณะการไหลของของไหลผ่านปีก รูปสามเหลี่ยมจะเกิดกระแสหมุนวนด้านปลายทางการ ไหล (Downstream) [3] ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 1 งานวิจัยในอดีตได้ศึกษาผลของการติดปีกรูปสามเหลี่ยมที่ ปากทางออกเจ็ท [4, 5] แต่ได้ศึกษาเฉพาะลักษณะการ ไหลและการกระจายตัวของเจ็ท จากการที่ได้ศึกษาพบว่า การติดปีกรูปสามเหลี่ยมมีผลทำให้การกระจายตัวของ เจ็ทเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถดึงอากาศรอบๆเข้ามาผสมกับเจ็ท มากขึ้น แต่ก็ยังไม่ได้ศึกษากรณีที่ใช้กับเจ็ทพุ่งชนเพื่อเพิ่ม อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

## TSF2021S



รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลอง

## 2.2 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

โมเดลที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน มีฟลักซ์ความร้อนแบบคงที่ เจ็ทอากาศไหลจากหัวฉีด แบบท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน D=28.15 mm พุ่งชนตั้งฉากกับพื้นผิว ในการทดลองได้ใช้เจ็ทที่ อุณหภูมิห้องพุ่งชนพื้นผิวเพื่อให้เกิดการระบายความร้อน สำหรับจุดกำเนิดของระบบพิกัดฉากอยู่ในตำแหน่งบน พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและตรงกับศูนย์กลางของท่อ เจ็ท โดยแกน X และ Y มีทิศทางขนานกับพื้นผิว แลกเปลี่ยนความร้อน และแกน Z อยู่ในตำแหน่ง ศูนย์กลางของท่อเจ็ทตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3



ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดให้ระยะจากปาก ทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน H=D,2D, 4D, 6D, และ 8D ในการทดลองจะทำการติดตัวสร้างกระแส ไหลวน 2 ตำแหน่ง (มุมระหว่างตำแหน่ง 180<sup>0</sup>) และ 4 ตำแหน่ง (มุมระหว่างตำแหน่ง 90<sup>°</sup>) สำหรับรูปแบบการ ติดตัวสร้างกระแสไหลวนที่ปากทางออกเจ็ทแสดงในรูปที่ 4 จากรูปตัวสร้างกระแสไหลวนทำจากอลูมีเนียมที่มีความ หนา t=0.5 mm โดยมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีมุม S=90<sup>°</sup> ความสูง h2=0.1D ระยะยื่นจากขอบในของท่อ เท่ากับ 0.1D ตัวสร้างกระแสไหลวนที่ใช้มีมุมปะทะของ อากาศ  $\theta$ =45<sup>°</sup> และ 60<sup>°</sup> ในการทดลองกำหนดให้ค่าเรย์ โนลด์ของเจ็ทคงที่ Re=29,500 (ใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในของท่อเจ็ทและอัตราการไหลของเจ็ทในการ คำนวณ) ทุกการทดลองได้กำหนดให้อัตราการไหลของ เจ็ทคงที่ตลอดการทดลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบกับ กรณีของเจ็ทจากท่อเปล่า สำหรับอุณหภูมิเจ็ทได้ กำหนดให้คงที่อยู่ในช่วง 26.5 ± 0.1 °C



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการติดตัวสร้างกระแสหมุนวน ภายในปากทางออกเจ็ท

## 2.3 วิธีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้ แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล

้ผนังที่ใช้สำหรับวัดการถ่ายเทความร้อนใช้พลาสติก หนา 15 mm ที่เจาะหน้าต่างขนาด 220 mm x 220 mm ไว้กลางแผ่นสำหรับตรึงแผ่นสแตนเลสแบบบาง (Stainless foil) ที่มีความหนา 0.03mm เพื่อใช้เป็นผนัง ที่เจ็ทพุ่งชน โดยแผ่นสเตนเลสนี้จะถูกขึงให้เรียบตึงและ . ปลายทั้งสองของแผ่นสเตนเลสนี้จะถูกยึดด้วยแท่ง ทองแดงกับแผ่นพลาสติก แท่งทองแดงทั้งสองนี้จะต่อเข้า ้กับขั้วของตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ใหลผ่านแท่งทองแดงไปยังแผ่นสเตนเลส จะเกิดความ ร้อนขึ้นทั่วทั้งแผ่นสเตนเลส ซึ่งอัตราการเกิดความร้อนนี้ ้สามารถใช้สมการคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\dot{q} = \frac{I^2 R}{A} \tag{1}$$

เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นสเตนเลส R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นสแตนเลส และ A คือ พื้นที่ของพื้นผิวของแผ่นสเตนเลส

ในการทดลองนี้จะใช้เจ็ทอากาศที่ประมาณ อุณหภูมิห้องพุ่งชนพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่เพื่อ ระบายความร้อน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความ ้ร้อน (h) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

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

โดยที่  $\dot{q}_r = \sigma \varepsilon_{TLC} (\overline{T_w} - T_s)$  และ  $\dot{q}_c = \overline{h_c} (\overline{T_w} - T_s)$  คืออัตรา การสูญเสียความร้อนที่ถ่ายโอนไปยังสิ่งแวดล้อมโดยการ แผ่รังสีและการพาความร้อนตามลำดับ สำหรับ  $\overline{T_w}$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิว,  $T_{j}$  คืออุณหภูมิของเจ็ท,  $\sigma$ คือ ้ค่าคงที่ Stefan-Boltzman. ะ<sub>แc</sub> คือค่าสัมประสิทธิ์ของ การแผ่รังสีความร้อนของแผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลติด (=0.9) [6],  $T_s$  คืออุณหภูมิโดยรอบ,  $\overline{h_c}$  คือสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยบนแผ่นเทอร์โม ลิกควิดคริสตัลติดสู่อากาศรอบๆ จากสมการ (2) สามารถ ้คำนวนหาค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ได้จากสมการ

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{3}$$

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากทางออก ท่อเจ็ท และ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ อากาศ สำหรับค่า Nusselt number เฉลี่ยสามารถ ้คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h}D}{k} \tag{4}$$

้ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย $ar{h}$  สามารถ ้คำนวณได้จากสมการ (2) โดยการแทนค่า<sub>*T* ูเป็นอุณหภูมิ</sub> เฉลี่ย T ภายในบริเวณที่สนใจ

สำหรับการวัดการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ท พุ่งชนนั้นวัดโดยใช้แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลติดด้านหลัง ของแผ่นสเตนเลส (ด้านตรงข้ามกับที่เจ็ทพุ่งชน) แผ่น เทอร์โมลิกควิดคริสตัลที่จะเลือกใช้ในการทดลองนี้จะมี คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดง สีเหลือง สีเขียว สีน้ำ เงิน เมื่ออุณหภูมิแตกต่างอยู่ในช่วง 28°C ถึง 38°C ก่อน การทดลองทำการสอบเทียบอุณหภูมิกับสีที่ปรากฏบน แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล จึงได้ใช้เทคนิคการประมวล ภาพเพื่อการเปลี่ยนข้อมูลสีที่ทำการบันทึกด้วยกล้อง ดิจิตอลเป็นข้อมูลส่วนประกอบของสีหลัก คือ แดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) แล้วทำการแปลงมาเป็นระบบสี HSI (Hue, Saturation, Intensity) โดยนำค่า H มาเทียบกัน กับข้อมูลอุณหภูมิแทนการใช้สายตาผู้สังเกตในการ แยกแยะสีและประมาณค่าอุณหภูมิ

### 3. ผลการทดลอง

## 3.1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน

ในกรณีของท่อที่ติดตัวสร้างกระแสไหลวนที่ระยะ ้จากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนต่ำ H=1D และ 2D จะเกิดบริเวณที่นัสเซิลต์นัมเบอร์มีค่าต่ำ (Nu<150) ตรงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวน เนื่องจาก อากาศที่ไหลออกจากท่อเจ็ทจะเกิดการแยกตัวเมื่อไหล ้ผ่านตัวสร้างกระแสไหลวนและไหลพ่งชนพื้นผิวทันที ทำ ให้อากาศไม่ปะทะบนพื้นผิวที่ตรงกับตำแหน่งที่ติดตั้งตัว สร้างกระแสไหลวนตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6(a) ในกรณีที่ ระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนเพิ่ม เป็น H=4D ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ตรงตำแหน่งที่ติดตั้งตัว สร้างกระแสไหลวนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ ระยะ H=1D และ 2D เนื่องจากอากาศที่ถูกแยกตัวเมื่อ ใหลผ่านตัวสร้างกระแสไหลวนได้รวมตัวกันอีกครั้งแล้วพุ่ง ชนพื้นผิวตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6(b) สำหรับกรณีที่ระยะ จากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนสูง H=6D และ 8D บริเวณที่ตรงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวนมี ้ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่าระยะ H=1D-4D เนื่องจาก อากาศที่ถูกแยกตัวเมื่อไหลผ่านตัวสร้างกระแสไหลวนได้ รวมตัวกันมากขึ้นจนเป็นลำเดียวกันและพุ่งชนพื้นผิว ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6(c)





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

## TSF2021S

สำหรับกรณีที่ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวน 4 ตำแหน่ง มุมปะทะมีผลต่อลักษณะการกระจายของ ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์น้อยมาก นัสเซิลต์นัมเบอร์ที่มีค่าสูง ยังคงเกิดขึ้นบริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน (คล้ายกับเจ็ท ท่อเปล่า) โดยค่านัสเซิลต์นัมเบอร์บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ท พุ่งชนมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเจ็ทท่อเปล่า

ในกรณีที่ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งที่ มุมปะทะ θ=60<sup>°</sup> ระยะ H=6D-8D (รูปที่ 5(n) และ (o)) ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงสุด (Peak) เกิดขึ้นสองตำแหน่งใน ลักษณะเยื้องทำมุมกับแกน X สอดคล้องกับทิศทางของ มุมปะทะกับการไหลของเจ็ท ขณะที่ที่เงื่อนไขมุมปะทะ θ=45<sup>°</sup> ระยะ H=6D-8D (รูปที่ 5(i) และ (j)) ผลของมุม ปะทะเกิดขึ้นน้อยกว่ากรณี θ=60<sup>°</sup>



รูปที่ 5 แสดงลักษณะการกระจายของนัสเซิลต์นัมเบอร์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน (Re=29,500 , T<sub>j</sub>=26.5 <sup>°</sup>C)



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการไหลของเจ็ทผ่านตัวสร้างกระแสหมุนวนที่ระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน (H) ที่ ระยะต่างๆ

> กว่าเจ็ทจากท่อเปล่าอย่างมาก เช่น ที่เงื่อนไขติดตัวตัว สร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมุมปะทะ θ=60<sup>°</sup> และ 4 ตำแหน่งมุมปะทะ θ=60<sup>°</sup> ระยะ H=4D ค่านัสเซิลต์นัม เบอร์เฉลี่ยทั้งสองกรณีสูงกว่าของเจ็ทจากท่อเปล่า ประมาณ 30% และ 35% ที่เงื่อนไขติดตัวตัวสร้างกระแส ไหลวน 2 ตำแหน่งมุมปะทะ θ=60<sup>°</sup> ระยะ H=6D ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยสูงกว่าของเจ็ทจากท่อเปล่า ประมาณ 20%

## 3.2 เปรียบเทียบนัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ย

รูปที่ 7 แสดงนัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยบนพื้นผิวที่เจ็ท พุ่งชนในบริเวณรัศมี 0<r/D<1 จากรูปพบว่าค่านัสเซิลต์ นัมเฉลี่ยของเจ็ทท่อเปล่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของระยะ H ในกรณีที่ระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่ง ชนต่ำ H=1D และ 2D ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยของเจ็ท จากท่อที่ติดตัวตัวสร้างกระแสไหลวนแตกต่างกันไม่มาก นักเมื่อเทียบกับเจ็ทท่อเปล่า แต่กรณีที่ระยะจากปาก ทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่สูงขึ้น ค่านัสเซิลต์นัม เฉลี่ยของเจ็ทที่ติดตัวตัวสร้างกระแสไหลวนบางเงื่อนไขสูง



รูปที่ 7 แสดงนัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่อยู่ในช่วง 0<r/D<1



รูปที่ 8 แสดงนัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่อยู่ในช่วง 0<r/D<3

รูปที่ 8 แสดงนัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยบนพื้นผิวที่เจ็ท พุ่งชนในบริเวณรัศมี 0<r/D<3 จากรูปพบว่ากรณีที่ระยะ จากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนต่ำ H=1D-2D ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยของเจ็ทจากท่อที่ติดตัวตัวสร้าง กระแสไหลวนบางเงื่อนไขสูงกว่าเจ็ทท่อเปล่าเล็กน้อยเช่น ตัวสร้างกระแสไหลวน 4 ตำแหน่งมุมปะทะ  $θ=60^{\circ}$ ระยะ H=1D และตัวสร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมุม ปะทะ  $θ=45^{\circ}$  ระยะ H=2D เป็นต้น แต่กรณีที่ระยะจาก ปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนสูง H=6D-8D ปรากฏว่าค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยของเจ็ทจากท่อที่ติด ตัวตัวสร้างกระแสไหลวนต่ำกว่าเจ็ทท่อเปล่าทุกเงื่อนไข ยกเว้นที่เงื่อนไขตัวสร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมุม ปะทะ  $θ=60^{\circ}$  ระยะ H=D ที่ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่า เจ็ทจากท่อเปล่า

#### 4.สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบน พื้นผิวที่เจ็ทจากหัวฉีดแบบท่อพุ่งชน กรณีติดตั้งตัวสร้าง กระแสไหลวนแบบต่างๆที่ปากทางออกเจ็ท และศึกษาผล ของระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน ซึ่ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

 การติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวนสามารถเพิ่ม อัตราการถ่ายเทความร้อนได้สูงเฉพาะบริเวณศูนย์กลางที่ เจ็ทพุ่งชน ที่เงื่อนไขระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชนอยู่ในช่วง H=4D-8D สำหรับที่เงื่อนไขของการ ติดตัวสร้างกระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมุมปะทะ θ=60<sup>0</sup> ระยะ H=4D นัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยที่อยู่ในช่วง 0<r/D<1 มีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าเจ็ทจากท่อเปล่าประมาณ 35% (2) ที่เงื่อนไขระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชนต่ำ H=1D และ 2D การติดตัวสร้างกระแส ไหลวนมีผลทำให้บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่ตรงตำแหน่งที่ ติดตั้งตัวสร้างกระแสไหลวนมีค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ต่ำ เนื่องจากอากาศที่ไหลออกจากท่อเจ็ทจะเกิดการแยกตัว เมื่อไหลผ่านตัวสร้างกระแสไหลวนและไหลพุ่งชนพื้นผิว ทันที ทำให้อากาศปะทะพื้นผิวที่ตรงกับตำแหน่งที่ติดตั้ง ตัวสร้างกระแสไหลวนได้น้อย

(3) มุมปะทะของตัวสร้างกระแสไหลวนมีผลต่อ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ติดตั้งตัวสร้าง กระแสไหลวน 2 ตำแหน่งมากกว่าการติดตั้ง 4 ตำแหน่ง

#### 5.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ สนับสนุนทุนอุดหนุนสัญญาเลขที่ ENG540633s

#### 6.เอกสารอ้างอิง

[1] Wang, X. K., Chue, L. P. and Yu, S. C. M.
(2003). On the Near-field of a Square Jet with Vortex-generating Tabs *Fluid Dynamics Research*, vol.32, pp.99-117.

[2] Nathan, G. J., Mi, J. Alwahabi, Z. T., Newbold, G. J. R., and Nobes, D. S. (2006). Impacts of a Jet's Exit Flow Pattern on Mixing and Combustion Performance, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol.32, pp.496-538.

[3] Biswas, G., Torii, K., Fujii, D. and Nishino, K., (1996). Numerical and experimental



determination of flow structure and heat transfer effects of longitudinal vortices in a channel flow, *Int. J. Heat Mass Transfer.* vol.39(16), pp.3441-3451,

[4] 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. [5] 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.

[6] 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.