

# ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของเจ็ทพุ่งชนจากท่อขยายหน้าตัด Heat Transfer Characteristics on Surface of Jet Impingement from Expansion Pipe

<u>กลวัชร สงเคราะห</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

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนจากท่อขยายหน้าตัด ใน การทดลองได้กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อขยายหน้าตัด D=2d, 4d, 6d และ 8d ระยะระหว่างปากทางออก จากท่อเล็กถึงปากทางออกท่อขยาย L=2d, 4d, 6d และ 8d และระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน H=2d และ 8d (d คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเจ็ท) ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของเจ็ทท่อเปล่ากำหนดให้คงที่ Re=20,000 สำหรับ เจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดกำหนดให้อัตราการไหลเท่ากันทุกเงื่อนไขโดยเทียบกับอัตราการไหลของเจ็ทจากท่อเปล่า ใน การศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ใช้แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัลทำการวัดอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน และใช้ Image processing ในการหานัสเซิลต์นัมเบอร์ที่กระจายบนพื้นผิว นอกจากนี้ได้ศึกษาลักษณะการไหลของเจ็ท โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการไหล (CDF) จากผลการทดลองพบว่าเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดสามารถดึงอากาศ รอบๆเข้ามาผสมกับเจ็ทได้มากกว่าเจ็ทจากท่อเปล่า มีผลทำให้บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนมีอัตราการถ่ายเทความร้อน เพิ่มขึ้น

*คำหลัก:* เจ็ทพุ่งชน, ท่อขยายหน้าตัด, การถ่ายเทความร้อน

## Abstract

The aim of his research is to study the heat transfer characteristics on jet impinged wall from expansion pipe nozzle. The experimental parameters were given the inner diameter of expansion pipe in ranging of D=2d, 4d, 6d and 8d, the distance from jet outlet to expansion pipe outlet L=2d, 4d, 6d, 8d and the jet-to-plate distance H=2d and 8d (d is inner diameter of pipe nozzle). The Reynolds number of conventional jet was fixed at Re=20,000. The mass flow rate of jet from expansion pipe was fixed under every condition, and it was equaled to the mass flow rate of conventional jet. The heat transfer characteristic was studied by using thermochromic liquid crystal sheet, and the image processing technique was used for evaluating the distribution of Nusselt number. The flow characteristic of jet was studied by using CFD. The results show that the jet from expansion pipe can entrain the environmental air to the jet higher than the conventional jet. This affects the increasing of heat transfer rate at impinged region.

Keywords: Impinging jet, expansion pipe, Heat transfer

# 1. บทนำ

เจ็ทพุ่งชน (Jet impingement) ถูกออกแบบ นำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนบนพื้นผิวใน ภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การระบายความ ร้อนในใบพัดและห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ ไบน์ การระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การ นำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งอาหาร กระดาษและสิ่งทอ และใช้ในการระบายความร้อนในการผลิตโลหะแผ่นเป็น ต้น ในกรณีที่ออกแบบให้เจ็ทพุ่งชนสามารถเพิ่มอัตราการ ถ่ายเทความร้อนจะสามารถลดอัตราการไหลของเจ็ทได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในปั้มหรือพัดลม นอกจากนี้มีผลทำให้การให้ความร้อนหรือการระบาย

# TSF2022S

#### การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

**KM** UT

ความร้อนบนพื้นผิวรวดเร็วขึ้น และลดเวลาของ กระบวนการได้

ปัจจุบันได้มีการพยายามที่จะใช้วิธีการควบคุมการ ไหลของเจ็ทเพื่อเพิ่มความสามารถในการการถ่ายเทความ ร้อนของเจ็ท [1, 2] ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมการไหลแบ่ง ออกได้เป็น 2 วิธี คือ การควบคุมการไหลแบบกระตุ้น จากภายนอก (Active Control) เป็นการควบคุมการไหล โดยอาศัยพลังงานจากภายนอกในการควบคุมการไหล ของเจ็ท และการควบคุมการไหลแบบไม่มีการกระตุ้นจาก ภายนอก (Passive Control) เป็นการควบคุมการไหล แบบไม่อาศัยพลังงานจากภายนอก ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ซึ่งจะมีข้อดีกว่าแบบแรกคือไม่มีอุปกรณ์ควบคุมที่ซับซ้อน ราคาถูก สามารถใช้งานได้ง่ายในอุตสาหกรรม





(b) โครงสร้างการไหล รูปที่ 1. แสดงลักษณะการไหลและโครงสร้างการไหลของ เจ็ทจากท่อขยายหน้าตัด [3]

Reattached iet

การออกแบบให้ปากทางออกเจ็ทขยายหน้าตัด เป็น การควบคุมการไหลของเจ็ทรูปแบบหนึ่งที่ไม่มีการกระตุ้น จากภายนอก ซึ่งจะส่งผลทำให้การไหลของเจ็ทเกิดความ ปั่นป่วนมากกว่าเจ็ทที่ไหลออกจากปากทางออกเจ็ทแบบ ธรรมดา (แบบไม่ขยายหน้าตัด) รูปที่ 1 แสดงลักษณะการ ไหลและโครงสร้างการไหลของเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัด จากรูปที่ 1.(b) เจ็ทหลังจากที่ไหลออกจากปากทางออก ภายใน (รูเล็ก) จะเกิดการไหลแบบตกกระทบ (Reattachment flow) บนพื้นผิวภายในท่อขยายหน้า ตัด และไหลออกที่ปากทางออกภายนอก (รูใหญ่) ใน ลักษณะที่เป็นมุมกับแนวแกน นอกจากนี้เจ็ทบางส่วนไหล ย้อนกลับ (Recirculation flow) ผสมกับเจ็ทที่กำลังพุ่ง ออกจากปากทางออกรูเล็ก ทำให้สามารถดึงอากาศ ภายนอกเข้ามาผสมกับเจ็ทภายในห้องที่ทำการขยายหน้า ตัด ทำให้ความปั่นป่วนในการไหลของเจ็ทสูงกว่าเมื่อ เทียบกับเจ็ทธรรมดา [3]

การใช้หลักการควบคุมการไหลของเจ็ทแบบท่อ ขยายหน้าตัดส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในกรณีการเพิ่มอัตรา การผสมระหว่างของไหลสองชนิดด้วยเจ็ทผสม (Jet mixing) หรือใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของหัวเผา อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่จะนำหลักการดังกล่าวนี้ใช้ ในกรณีการเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนบน พื้นผิวด้วยเจ็ทพุ่งชน เนื่องจากตัวแปรสำคัญที่สามารถ ช่วยเพิ่มอัตราการการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิว คือ การเพิ่มความปั่นป่วนในการไหลของเจ็ทก่อนพุ่งชน พื้นผิว [4, 5]

ในงานวิจัยนี้จะศึกษากรณีเจ็ทที่ไหลออกจากท่อ ขยายหน้าตัด เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความ ร้อนบนพื้นผิว ในงานวิจัยได้พิจารณาผลของขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางของท่อขยายหน้าตัด ระยะระหว่างปาก ทางออกท่อเล็กและท่อใหญ่ และระยะจากปากทางออก เจ็ท (ท่อใหญ่) ถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน

# 2. ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง 2.1 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงโมเดลของเจ็ทแบบท่อขยายหน้าตัด เจ็ทอากาศจากหัวฉีดแบบท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน d=17.2 mm พุ่งชนตั้งฉากกับพื้นผิว ในการ ทดลองจะกำหนดให้พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนมีฟลักซ์ความร้อน คงที่ และจะใช้เจ็ทที่อุณหภูมิห้องพุ่งชนพื้นผิวเพื่อระบาย ความร้อน ในการทดลองกำหนดให้เจ็ทจากท่อเปล่ามีค่า เรย์โนลด์ของเจ็ทคงที่ Re=20,000 (ใช้ค่า เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อเจ็ทและความเร็วเฉลี่ยที่ ปากทางออกของเจ็ทในการคำนวณ) ในกรณีของเจ็ทแบบ ท่อขยายหน้าตัดได้กำหนดให้อัตราการไหลของเจ็ทคงที่ ตลอดการทดลองโดยเทียบกับอัตราการไหลของเจ็ทจาก ท่อเปล่า

สำหรับตัวแปรในการทดลองจะทำการปรับระยะจาก ปากทางออกเจ็ท(ท่อใหญ่)ถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน H=2d



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

# TSF2022S

จากท่อเปล่าเพื่อทำการเปรียบเทียบผลกับเจ็ทจากท่อ ขยายหน้าตัด สำหรับจุดกำเนิดของพิกัดฉากเริ่มต้นที่ ศูนย์กลางของปลายท่อเล็ก แกน X อยู่ในแนวเดียวกับท่อ เจ็ท แกน Y และ Z ตั้งฉากกับท่อเจ็ท

และ 6d โดยที่ d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ ท่อเล็ก และเปลี่ยนขนาดท่อด้านนอก(ท่อใหญ่)ที่เงื่อนไข D=2d, 4d, 6d และ 8d สำหรับระยะระหว่างปาก ทางออกท่อเล็กและท่อใหญ่กำหนดให้อยู่ในช่วง L=2d, 4d, 6d และ 8d นอกจากนี้ได้ทำการทดลองกรณีเจ็ท



รูปที่ 3 แสดงชุดทดลอง

## 2.2 ชุดทดลอง

ชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 3 ประกอบด้วยโบลเวอร์ใช้ สำหรับดูดอากาศแล้วส่งผ่านไปยังออริฟิสเพื่อวัดอัตรา การไหล จากนั้นอากาศจะผ่านห้องควบคุมอุณหภูมิที่ ติดตั้งฮีตเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศโดย คอนโทรลเลอร์และไหลออกจากท่อ ในการทดลองอัตรา การไหลของอากาศควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ที่ต่อกับโบล เวอร์ สำหรับอุณหภูมิเจ็ทได้กำหนดให้คงที่อยู่ในช่วง 26.5 ± 0.1 °C และควบคุมให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง แตกต่างไม่เกิน 0.5 °C

# 2.3 วิธีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้ แผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล (TLCs)

ในการทดลองนี้ได้ใช้แผ่นสเตนเลสแบบบาง (Stainless foil) ที่มีความหนา 0.03 mm เป็นผนังที่เจ็ท พุ่งชน แผ่นสเตนเลสนี้จะถูกขึงให้เรียบตึงกับแผ่น พลาสติกหนา 15 mm ที่เจาะหน้าต่างขนาด 220 mm x 220 mm ไว้กลางแผ่น โดยใช้แท่งทองแดงยึดแผ่นสเตน เลสไว้ทั้งสองข้าง และแท่งทองแดงทั้งสองนี้จะต่อเข้ากับ ขั้วของตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไหล



ผ่านแท่งทองแดงไปยังแผ่นสเตนเลส จะเกิดความร้อนขึ้น ทั่วทั้งแผ่นสเตนเลส ซึ่งอัตราการเกิดความร้อนนี้สามารถ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

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

เมื่อ I คือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นสเตนเลส R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นสแตนเลส และ A คือ พื้นที่ของพื้นผิวของแผ่นสเตนเลส

สำหรับการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนนั้น จะวัดโดยใช้แผ่น TLCs ติดด้านหลังของแผ่นสเตนเลส (ด้านตรงข้ามกับที่เจ็ทพุ่งชน) แผ่น TLCs ที่จะเลือกใช้ใน การทดลองนี้จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดง สี เหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 28°C ถึง 38°C ก่อนการทดลองได้ทำการสอบเทียบอุณหภูมิกับ สีที่ปรากฏบนแผ่น TLCs และได้ใช้เทคนิคการประมวล ภาพในการเปลี่ยนข้อมูลสีที่บันทึกด้วยกล้องดิจิตอลเป็น ข้อมูลส่วนประกอบของสีหลัก คือ แดง (R) เขียว (G) น้ำ เงิน (B) แล้วทำการแปลงเป็นระบบสี HSI (Hue, Saturation, Intensity) โดยนำค่า H เทียบกับข้อมูล อุณหภูมิแทนการใช้สายตาผู้สังเกตในการแยกแยะสีและ ประมาณค่าอุณหภูมิ

ในการทดลองนี้จะใช้เจ็ทอากาศที่ประมาณ อุณหภูมิห้อง พุ่งชนพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่เพื่อ 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,  $\varepsilon_{TLC}$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของ การแผ่รังสีความร้อนของแผ่นเทอร์โมลิกควิดคริสตัล (=0.9),  $T_s$  คืออุณหภูมิโดยรอบ,  $\overline{h_c}$  คือสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยบนแผ่นเทอร์โม ลิกควิดคริสตัลติดสู่อากาศรอบๆ จากสมการ (2) สามารถ คำนวนหาค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ได้จากสมการ

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

ในที่นี้ d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเจ็ท (ท่อเล็ก) และ *k* คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ อากาศ สำหรับค่า Nusselt number เฉลี่ยสามารถ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{hd}}{k} \tag{4}$$

ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย  $\bar{h}$  สามารถ คำนวณได้จากสมการ (2) โดยการแทนค่า $T_{w}$ เป็นอุณหภูมิ เฉลี่ย  $\overline{T_{w}}$ 

# การศึกษาลักษณะการไหลของเจ็ทโดยใช้วิธีเชิง ตัวเลข

ในการศึกษาลักษณะการไหลของเจ็ทได้ใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์จำลองการไหล (ANSYS13, Fluent) รูปที่ 4 แสดงโมเดลที่ใช้ในการจำลองการไหล ที่เป็นแบบ 3 มิติ โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเล็ก คงที่เท่ากับที่ใช้ในการทดลอง สำหรับระยะจากปาก ทางออกเจ็ท (ท่อใหญ่) ถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน H ระยะปาก ทางออกระหว่างท่อเล็กและท่อใหญ่ L และขนาดของท่อ ใหญ่ D สามารถปรับขนาดได้ตามตัวแปรที่ใช้ในการ ทดลอง โมเดลของการไหลแบบปั่นป่วนได้ใช้แบบ k-**E** (General wall-function) และใช้วิธีการคำนวณแบบ SIMPLE สำหรับค่าความผิดพลาดของการคำนวณครั้ง สุดท้ายได้กำหนดให้มีค่าต่ำกว่า 1×10<sup>-3</sup>



รูปที่ 4 แสดงโมเดลที่ใช้ในการจำลองการไหล

## 4. ผลการทดลอง

รูปที่ 5 และ 6 แสดงลักษณะการกระจาย ของนัสเซิลต์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนกรณี H=2d และ 6d โดยภาพรวมนัสเซิลต์นัมเบอร์มีค่าสูงบริเวณศูนย์กลางที่ เจ็ทพุ่งชน และจะค่อยๆลดลงตามแนวรัศมี สำหรับกรณี ของเจ็ทจากท่อเปล่าที่ระยะ H=2d (รูปที่ 5 (u)) จะ ปรากฏบริเวณที่มีค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงสุด (Peak) อยู่



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

# TSF2022S

จากรูปที่ 5 เจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดบางกรณี
น สามารถให้ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่าเจ็ทจากท่อปล่า
ก โดยเฉพาะบริเวณที่เจ็ทพุ่งชน (อยู่ในช่วง X/d, Y/d=±3)
6] เช่นกรณีระยะ L=2d ที่เงื่อนไข D=2d-8d (รูปที่ 5 (e),
(i), (m) และ (q)) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวแสดงถึงความ
ปั่นป่วนของเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดก่อนพุ่งชนพื้นผิวมี
ก่าสูงกว่าเจ็ทจากท่อเปล่า

สองตำแหน่งคือ (1) บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน และ (2) อยู่ในช่วงบริเวณ X/d, Y/d=±2.5 ซึ่งเป็น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปสำหรับกรณีที่ระยะจาก ปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนอยู่ในช่วงที่ต่ำ [6] แต่ในกรณีของเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัด (รูปที่ 5 (a)-(t)) จะไม่ปรากฏบริเวณค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงสุดลำดับที่สอง โดยค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงสุดจะปรากฏบริเวณศูนย์กลาง ที่เจ็ทพุ่งชนเพียงแค่จุดเดียว





ที่เงื่อนไข L=4d, D=6d (รูปที่ 6 (n)) และที่เงื่อนไข L=6d, D=6d (รูปที่ 6 (o))

ในกรณีที่เปรียบเทียบที่เงื่อนไข L และ D เดียวกัน ระหว่างระยะ H=2d (รูปที่ 5) และ H=6d (รูปที่ 6) โดย ภาพรวมพบว่าการกระจายตัวของนัสเซิลต์นัมเบอร์ที่ ระยะ H=6d มีค่าต่ำกว่าที่ระยะ H=2d เนื่องจากที่ระยะ

รูปที่ 6 แสดงการกระจายของนัสเซิลต์นัมเบอร์บน พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนกรณี H=6d จากรูปพบว่าเจ็ทจากท่อ ขยายหน้าตัดบางกรณีสามารถให้ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ บริเวณที่เจ็ทพุ่งชนสูงกว่าเจ็ทจากท่อปล่า เช่นกรณีที่ เงื่อนไข L=2d, D=2d-6d (รูปที่ 6 (e), (i) และ(m)) กรณี



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

# TSF2022S



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการกระจายของนัสเซิลต์นัมเบอร์บนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนกรณี H=6d (Re=20,000, Tj=26.5 °C)

ในกรณีที่เพิ่มระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชนเป็น H=6d ที่เงื่อนไข L=2d (รูปที่ 8(a)) พบ ว่านัสเซิลต์นัมเบอร์ของเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดแตกต่าง จากท่อเปล่าไม่มากนัก ยกเว้นที่เงื่อนไข D=6.0d นัสเซิลต์นัมเบอร์บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนสูงกว่าเจ็ท จากท่อเปล่าเล็กน้อย และกรณีที่เพิ่มระยะปากทางออก ระหว่างท่อเล็กและท่อใหญ่เป็น L=6d (รูปที่ 8 (b)) ทำให้ ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ต่ำกว่าเจ็ทจากท่อเปล่ายกเว้นที่ เงื่อนไข D=6.0d ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่าเจ็ทจากท่อ เปล่าเฉพาะที่อยู่ในช่วง X/d=±1.5

รูปที่ 7 และ 8 แสดงการกระจายนัสเซิลต์นัมเบอร์ บนพื้นผิวที่ตัดผ่านศูนย์กลางท่อเจ็ท (Y/d=0) จากรูปที่ 7(a) พบว่าเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดสามารถให้ ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่ากรณีเจ็ทจากท่อเปล่าเฉพาะที่ อยู่ในช่วง X/d=±1.5 ที่เงื่อนไข D=2.0d-6.0d สำหรับที่ เงื่อนไข D=1.3d และ 8.0d ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์แตกต่าง จากเจ็ทจากท่อเปล่าไม่มากนัก เมื่อเพิ่มระยะปาก ทางออกระหว่างท่อเล็กและท่อใหญ่เป็น L=6d (รูปที่ 7(b)) พบว่าค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ของเจ็ทจากท่อขยายหน้า ตัดมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเจ็ทจากท่อเปล่ายกเว้นที่ เงื่อนไข D=4.0d และ 6.0d เฉพาะที่อยู่ในช่วง X/d=±1.5 ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์สูงกว่าเจ็ทจากท่อเปล่า





การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย





ศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเจ็ทจากท่อเปล่า (ดูค่านัสเซิลต์นัม เบอร์บริเวณศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนในรูปที่ 7 (b) ระหว่าง เจ็ทจากท่อเปล่าและเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดที่เงื่อนไข L=6d, D=6d, H=2d) ในกรณีที่เพิ่มระยะจากปาก ทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนเป็น H=6d เจ็ทจากท่อ ขยายหน้าตัด (รูปที่ 9(d)) สามารถดึงอากาศที่อยู่ระหว่าง ปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนได้มาก จะส่งผลต่อ ความปั่นป่วนภายในเจ็ทสูงขึ้น ทำให้ศูนย์กลางบริเวณที เจ็ทพุ่งชนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่นๆ

รูปที่ 9 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของเจ็ทกรณีท่อเปล่า ที่ระยะ H=2d และ 6d (รูปที่ 9(a) และ (b)) และท่อ ขยายหน้าตัดที่เงื่อนไข L=6d, D=6d, H=2d และ L=6d, D=6d, H=6d (รูปที่ 9(c) และ (d)) ในกรณีของท่อเปล่า ที่ระยะ H=2d (รูปที่ 9(a)) เจ็ทที่ไหลออกจากท่อพุ่งชน พื้นผิวทันที ซึ่งจะแตกต่างจากท่อขยายหน้าตัด (รูปที่ 9(c)) อากาศรอบๆเจ็ทจะถูกดึง (Entrainment) เข้ามา ผสมกับเจ็ทภายในท่อหน้าตัดใหญ่ก่อนพุ่งชนพื้นผิว ซึ่ง การดึงอากาศภายนอกเข้ามาผสมกับเจ็ทจะเป็นการเพิ่ม ความปั่นป่วนภายในเจ็ทก่อนพุ่งชนพื้นผิว มีผลต่อบริเวณ

#### การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย





รูปที่ 9 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของเจ็ทที่ได้จากการจำลองการไหล

#### 4. สรุปผลการทดลอง

 แลของขนาดท่อใหญ่ที่อยู่ในช่วง D=2.0d-6.0d มี ส่วนช่วยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเจ็ทจากท่อ เปล่า โดยขึ้นอยู่กับตัวแปรระยะ L และ H แต่สำหรับ กรณี D=1.3d และ D=8.0d ไม่มีส่วนช่วยให้อัตราการ ถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเจ็ทจากท่อเปล่าทุกๆกรณีเงื่อนไข ระยะ L และ H

 2. โดยภาพรวมของผลการทดลองพบว่า อัตราการ ถ่ายเทความร้อนของเจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดที่ระยะจาก ปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนต่ำ (H=2d) ให้ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าที่ระยะจากปากทางออก เจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนสูง (H=6d)

 เจ็ทจากท่อขยายหน้าตัดสามารถดึงอากาศรอบๆ
เข้ามาผสมได้มากกว่าเจ็ทจากท่อเปล่า และเมื่อระยะจาก ปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนสูงขึ้น อากาศที่อยู่
รอบๆจะถูกดึงเข้ามาผสมกับเจ็ทมากขึ้น มีผลต่อบริเวณ ศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ 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] Nathan, G. J., Hill, S. J. and Luxton, R. E. (1998). An Axisymmetric 'Fluidic' Nozzle to Generate Jet Precession, *J. Fluid Mech*, vol. 370, pp.347-380.

[4] Ashforth-Frost, S., Jambunathan, K. and Whitney, C.F. (1997). Velocity and Turbulence Characteristics of a Semiconfined Orthogonally Impinging Slot Jet, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 14, pp.60-67.

[5] Zhou, D. W. and Lee, S. J. (2004). Heat Transfer Enhancement of Impinging Jets Using Mesh Screens, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp.2097-2108.

[6] Viskanta, R. (1993). Heat Transfer to Impinging Isothermal Gas and Flame Jets, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 6, pp.111-134.