

## การศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน A Study of Heat Transfer on a Surface for Impinging Flame Jet

ณัฐภูมิ สุวรรณมาลา มั๊กตาร์ แวหะयी สมชาย แซ่อึ้ง ชยุต นันทดูลิต\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: [chayut@me.psu.ac.th](mailto:chayut@me.psu.ac.th), เบอร์โทรศัพท์ 074-287035, แฟกซ์ 074-287035

Nattapoom Suwanmala Makatar Wae-hayee Somchai Sea-ung Chayut Nuntadusit\*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: [chayut@me.psu.ac.th](mailto:chayut@me.psu.ac.th), Tel. 073-287035, Fax. 074-287035

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน โดยพิจารณาผลของระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ในช่วง  $H=2D$ ,  $4D$ ,  $6D$ ,  $8D$  และ  $10D$  โดยที่  $D$  คือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวฉีดมีค่าเท่ากับ  $6\text{ mm}$  ในการทดลองได้ใช้ระบบหัวเผาแบบ Diffusion โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง และได้กำหนดให้อัตราการไหลของ LPG คงที่ที่  $0.14\text{ kg/s}$  สำหรับการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้ใช้วิธีแบบสถานะคงตัวโดยใช้น้ำหล่อเย็นด้านหลังของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน และใช้เทอร์โมคัปเปิลแสดงการกระจายอุณหภูมิบนพื้นผิว นอกจากนี้ได้ทำการถ่ายภาพลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวพุ่งชนโดยใช้กล้องดิจิทัล จากผลการทดลองพบว่า การกระจายของอุณหภูมิจะมีค่าสูงในบริเวณที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรงและบริเวณรอบๆ สำหรับเงื่อนไขระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิว  $H=6D-8D$  ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงสุด

**คำหลัก:** เจ็ทเปลวไฟ, การถ่ายเทความร้อน, หัวเผาแบบ Diffusion, เชื้อเพลิง LPG

### Abstract

In this research, the heat transfer on a surface for impinging flame jet was studied. The effect of nozzle-to-plate distance was considered in range of  $H = 2D$ ,  $4D$ ,  $6D$ ,  $8D$  and  $10D$  where  $D$  is the inside diameter of nozzle  $6\text{ mm}$ . The diffusion burner was investigated by using LPG at constant flow rate  $0.14\text{ kg/s}$ . The heat transfer was measured by using a steady state method with coolant water flow on backside of heat transfer surface. The temperature distribution was indicated by using some of thermocouples. In addition, flame jet flow was visualized by using a digital camera. The results show that the temperature distribution is increase on impinged region and around this area. For the nozzle-to-plate distance  $H=6D-8D$ , it has highest heat transfer on a surface.

**Keywords:** Flame Jet, Heat Transfer, Diffusion Burner, LPG

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วโดยวิธีใช้เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนบนพื้นผิวโดยตรงเป็นวิธีการให้ความร้อนแก่พื้นผิวที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่นการผลิตโลหะ แก้ว และกระดาษ รวมถึงกระบวนการตัด เชื่อม หลอมเหลวโลหะ เป็นต้น เนื่องจากการใช้เปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวโดยตรงเป็นวิธีการพาความร้อนแบบบังคับ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูงโดยเฉพาะบริเวณที่เปลวไฟพุ่งชนโดยตรง โดยวิธีดังกล่าวสามารถแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนได้อย่างเร็วส่งผลทำให้สามารถลดระยะเวลาของกระบวนการให้ความร้อนและช่วยประหยัดพลังงานได้ดีเมื่อเทียบกับวิธีเดิมที่ใช้กลไกการแผ่รังสีความร้อน

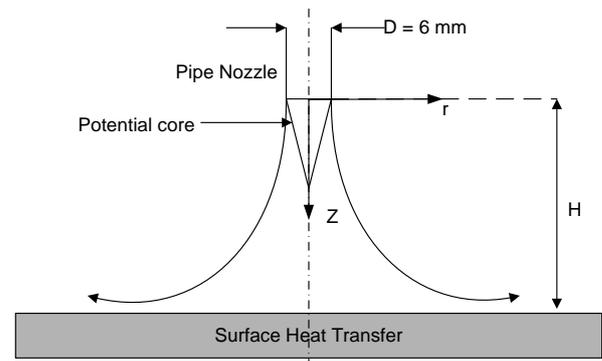
สำหรับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้เปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวโดยตรงจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างการไหลของเปลวไฟ เช่น เปลวเพลิงประเภทผสมก่อน (Premixed flame) หรือ เปลวเพลิงผสมภายหลัง (Diffusion flame) ระยะห่างระหว่างหัวเผาและพื้นผิวให้ความร้อน ชนิดของเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดเซอร์ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio) และเรย์โนลด์นัมเบอร์ ซึ่งตัวแปรทั้งหมดมีผลต่อลักษณะและอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว จากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนบนพื้นผิวเรียบเป็นจำนวนมาก มีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเปลวไฟ [1-3] การถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟบนพื้นผิวทั้งแบบเฉพาะจุดและแบบเฉลี่ย [4-7] และการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ของเปลวไฟ [8 และ 9]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน โดยพิจารณาผลของระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ในช่วง  $H=2D, 4D, 6D, 8D$  และ  $10D$  โดยที่  $D$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวฉีดมีค่าเท่ากับ  $6\text{ mm}$ . ในการทดลองได้ใช้ระบบหัวเผาแบบ Diffusion โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยกำหนดให้อัตราการไหลของแก๊ส LPG คงที่ที่  $0.14\text{ kg/s}$  และ

นอกจากนี้ได้ใช้กล้องดิจิทัลทำการบันทึกภาพลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟ เพื่อศึกษาลักษณะการไหลกรณีที่เป็นเจ็ทเปลวไฟอิสระและเจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิว

## 2. โมเดลและชุดทดลอง

### 2.1 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง



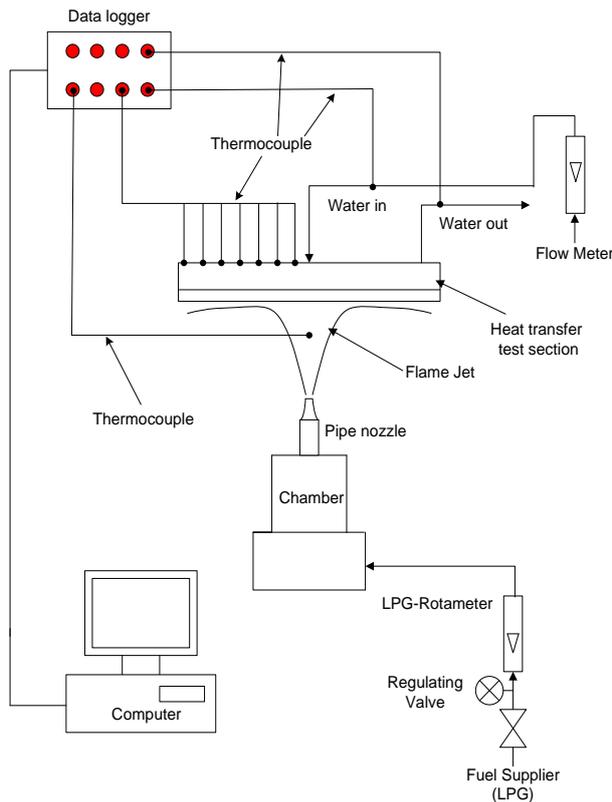
รูปที่ 1 แสดงโมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงโมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลองจากโมเดลเปลวเพลิงจะไหลพุ่งชนในลักษณะที่ตั้งฉากกับพื้นผิว แล้วทำการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างเปลวเพลิงกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนระยะจากปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ในช่วง  $H=2D, 4D, 6D, 8D$  และ  $10D$  โดยที่  $D$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวเผามีค่าเท่ากับ  $6\text{ mm}$

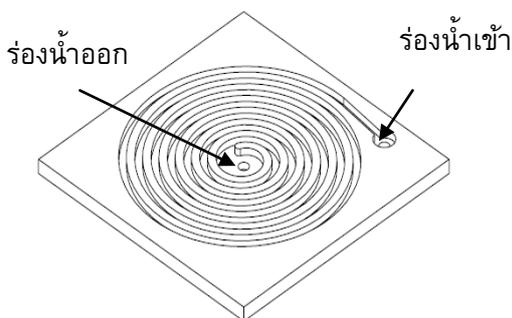
### 2.2 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน จากรูปพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนทำมาจากแผ่นสเตนเลสขนาด กว้าง  $250\text{ mm}$  ยาว  $250\text{ mm}$  หนา  $4.5\text{ mm}$  สำหรับด้านหลังของแผ่นสเตนเลส (ด้านตรงข้ามที่เจ็ทพุ่งชน) มีร่องสำหรับให้น้ำไหลผ่าน โดยลักษณะของร่องน้ำเป็นแบบขดยาว  $2.4\text{ m}$  มีหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง  $8\text{ mm}$  ลึก  $6\text{ mm}$  ตามที่แสดงในรูปที่ 3 ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ใช้โรตารีมิเตอร์ติดตั้งก่อนเข้าสู่ Test section สำหรับหัวฉีดที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบท่อมี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $16.5\text{ mm}$  ยาว  $300\text{ mm}$

โดยที่ปากทางออกหัวฉีดเป็นแบบข้อต่อลดหน้าตัด เป็นรูปทรงกรวย โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ หัวฉีดที่บริเวณปากทางออกของเจ็ทเปลวไฟมีขนาด  $D=6\text{ mm}$  สำหรับผนังที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนได้ออกแบบ ให้สามารถเลื่อนระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ท เปลวไฟถึงพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 แสดงลักษณะร่อนน้ำบนพื้นผิวแลกเปลี่ยน ความร้อน

สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองเป็น LPG โดย เชื้อเพลิงจะถูกส่งมาจากถังบรรจุก๊าซผ่านวาล์ว ควบคุมความดันแล้วทำการวัดอัตราการไหลโดยใช้โร

ตามิเตอร์ จากนั้นเชื้อเพลิงจะไหลเข้าพักในถังกัก เชื้อเพลิงก่อนที่จะไหลออกที่ปากทางออกหัวฉีด ใน การทดลองแต่ละครั้งได้กำหนดให้อัตราการไหลของ เชื้อเพลิงคงที่ที่  $0.14\text{ kg/s}$

### 3 วิธีการทดลอง

#### 3.1 การศึกษาลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟ

ในการศึกษาลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟได้ ใช้กล้องดิจิทัลทำการบันทึกภาพในกรณีที่เป็นเจ็ท เปลวไฟอิสระและเจ็ทเปลวไฟแบบพุ่งชนที่ระยะห่าง จากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน ต่าง ๆ ในการทดลองได้ทำการบันทึกภาพสเกล เพื่อที่จะนำมาเทียบกับกรณีที่เป็นภาพเจ็ทเปลวไฟ โดยทำการติดตั้งกล้องดิจิทัลที่ตำแหน่งเดิมของทุกๆ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.2 การวัดการกระจายอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิว

ในการวัดการกระจายอุณหภูมิมบนพื้นผิวได้ใช้ เทอร์โมคัปเปิลติดตั้งในแผ่นสแตนเลสจำนวน 6 จุด กระจายตามแนวรัศมีที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน โดยระยะ จากพื้นผิวแผ่นสแตนเลส (ด้านที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน) ถึงหัววัดเทอร์โมคัปเปิลมีค่า  $1\text{ mm}$  ในการทดลองได้ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ไหลคงที่ไหลผ่านตาม ร่องน้ำที่ประกอบในชุด Test section ในการบันทึก ข้อมูลการกระจายอุณหภูมิมบนพื้นผิวแต่ละจุด ได้ใช้ Data logger แล้วทำการบันทึกข้อมูลลงใน คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลหลังจากที่ ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

สำหรับการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยบน พื้นผิวหาได้จากสมการ

$$\dot{q} = mc_p \Delta T \quad (1)$$

โดยที่  $c_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ,  $m$  และ  $\Delta T$  คือ อัตราการไหลและผลต่างของอุณหภูมิ ของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก สำหรับการหาค่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวหาได้จาก สมการ

$$\bar{h} = \frac{\dot{q}}{(T_f - T_w)} \quad (2)$$

โดย  $q$  คือฟลักซ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิว จากสมการที่ (1)  $T_f$  คืออุณหภูมิของเจ็ทเปลวไฟ และ  $T_w$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิว (เฉลี่ยจากการวัดการกระจายอุณหภูมิทั้ง 6 จุด)

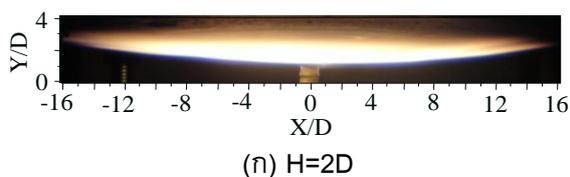
4. ผลการทดลอง

4.1 โครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวไฟ

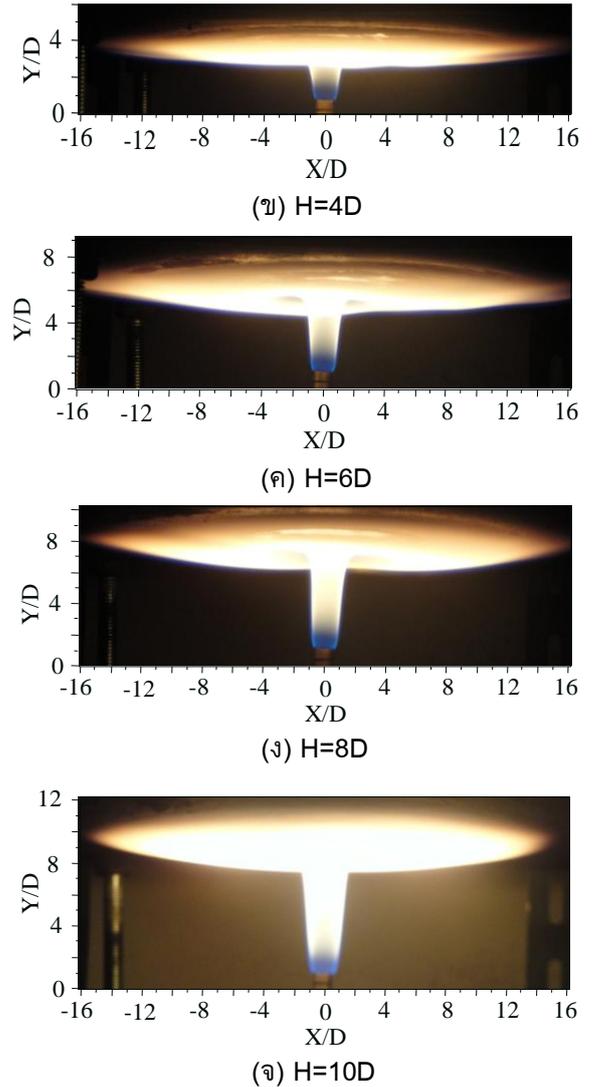


รูปที่ 4 แสดงลักษณะของเจ็ทเปลวไฟอิสระ

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการเผาไหม้ของเจ็ทเปลวไฟอิสระ โดยเปลวเพลิงที่อยู่ในช่วงระยะ  $Y/D=0-12$  มีรูปทรงคงที่และมีลักษณะเป็นกรวยทรงกระบอก โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเจ็ทเปลวไฟที่ปากทางออกหัวฉีดมีขนาดใหญ่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเล็กน้อย จากนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของระยะ  $Y/D$  และหลังจากที่ระยะ  $Y/D>12$  รูปทรงของเจ็ทเปลวไฟมีลักษณะไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา



(น) H=2D



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างและลักษณะของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิว

รูปที่ 5 แสดงลักษณะการไหลพุ่งชนพื้นผิวของเจ็ทเปลวไฟ โดยแต่ละรูปแสดงที่เงื่อนไขระยะห่างจากปากทางออกเจ็ทเปลวไฟถึงพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน (H) ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าลักษณะโครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิวแบ่งเป็นสามบริเวณ (1) ส่วนของเจ็ทอิสระเป็นบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลออกจากปากทางออกหัวฉีดซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเจ็ทเปลวไฟอิสระตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4 (2) บริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลพุ่งชนพื้นผิว และ (3) บริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลตามพื้นผิว อย่างไรก็ตามโครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวทั้งสามบริเวณจะมีลักษณะแตกต่างกันตามระยะ H

รูปที่ 5 (ก) แสดงลักษณะการไหลพุ่งชนของเจ็ทเปลวไฟกรณีที่เงื่อนไขระยะ  $H=2D$  จากรูปสามารถสังเกตได้เฉพาะบริเวณที่เจ็ทไหลตามพื้นผิว เนื่องจากเป็นระยะ  $H$  ที่แคบมาก ทำให้บริเวณของเจ็ทอิสระเกิดขึ้นน้อยมาก ในกรณีที่ระยะ  $H=4D$  (รูปที่ 5 (ข)) พบว่า สามารถสังเกตในส่วนของเจ็ทอิสระได้มากขึ้น แต่ไม่สามารถสังเกตบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวได้ และกรณีที่ระยะ  $H=6D, 8D$  และ  $10D$  (รูปที่ 5 (ค)-(จ)) สามารถสังเกตบริเวณของเจ็ทเปลวไฟอิสระ เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิว และเจ็ทเปลวไฟที่ไหลตามพื้นผิว โดยระหว่างบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวและบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลตามพื้นผิวเป็นการเปลี่ยนแปลงการไหลบนพื้นผิวจากการไหลในแนวแกนเป็นการไหลในแนวรัศมีบนพื้นผิว ซึ่งช่วงเริ่มต้นที่มีการไหลในแนวรัศมีลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟจะยกตัวสูงจากพื้นผิวเล็กน้อย จากนั้นความสูงของเปลวไฟที่ไหลตามพื้นผิวจะค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะ  $X$

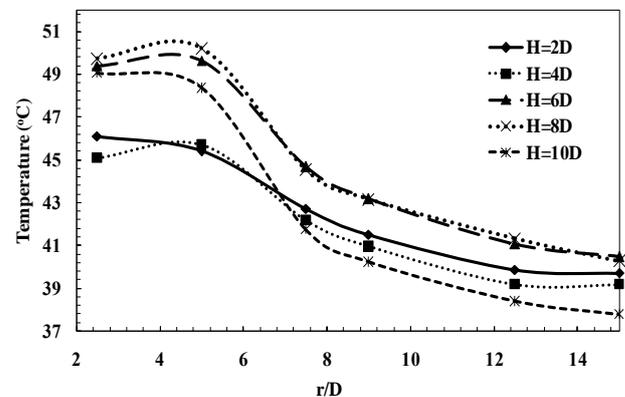
#### 4.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิว

จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะการกระจายอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน จากรูปลักษณะการกระจายอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิวแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรก (1) อุณหภูมิมีค่าสูงอยู่ในช่วง  $r/D=2-5$  ซึ่งเมื่อเทียบกับลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟในรูปที่ 5 พบว่าเป็นบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวโดยตรง และเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนจากการไหลในแนวแกนเป็นการไหลในแนวรัศมี ส่วนที่สอง (2) เป็นบริเวณที่อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอยู่ในช่วง  $r/D=5-8$  เมื่อเทียบกับลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟในรูปที่ 5 พบว่าเป็นบริเวณที่เจ็ทเริ่มต้นไหลบนพื้นผิว และส่วนที่สาม (3) อุณหภูมิมีค่าต่ำและลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 5 พบว่าเป็นบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลขนานกับพื้นผิวแล้วเปลวไฟค่อยๆ หายไป

ในกรณีที่เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ระยะ  $H$  ต่างๆ พบว่า ที่ระยะ  $H=2D$  และ  $4D$  ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจะใกล้เคียงกัน และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระยะ  $H$  อื่นๆ ยกเว้นในช่วง  $r/D=7-15$  ที่เงื่อนไขระยะ  $H=10D$  อุณหภูมิบน

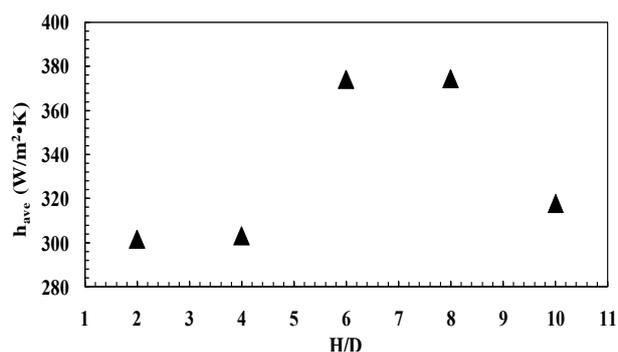
พื้นผิวมีค่าต่ำสุด สำหรับกรณีที่ระยะ  $H=6D$  และ  $8D$  ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิจะใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าที่เงื่อนไขระยะ  $H$  อื่นๆ โดยที่เงื่อนไข  $H=8D$  ที่อยู่ในช่วง  $r/D=2-6$  อุณหภูมิบนพื้นผิวมีค่าสูงสุด

จากผลการทดลองการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิวพบว่า โครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวไฟมีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิว โดยบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะตรงกับลักษณะการไหลของเจ็ทเปลวไฟที่พุ่งชนพื้นผิวและบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลบนพื้นผิวจากแนวแกนเป็นแนวรัศมี



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์การกระจายอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิวที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิว

รูปที่ 7 แสดงสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวที่ระยะ  $H$  ต่างๆ จากรูปที่ระยะ  $H=2D$  และ  $4D$  สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวมีค่าต่ำกว่าที่ระยะ  $H$  อื่นๆ โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีที่ระยะ  $H=6D$  และ  $8D$  สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวมีค่าสูงสุดและใกล้เคียงกัน และที่ระยะ  $H=10D$  สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวมีค่าลดลงต่ำกว่าที่ระยะ  $H=6D$  และ  $8D$  ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการกระจายอุณหภูมิตั้งบนพื้นผิวตามที่ได้แสดงในรูปที่ 6 จากผลการวัดสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวพบว่าระยะที่ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดบนพื้นผิวอยู่ในช่วง  $H=6D$  และ  $8D$



รูปที่ 7 แสดงสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวที่ระยะ H ต่างๆ

### 5. สรุป

(1) ที่ระยะ  $Y/D=0-12$  เจ็ทเปลวไฟอิสระมีรูปทรงคงที่ โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกรวย และที่ระยะ  $Y/D>12$  เจ็ทเปลวไฟอิสระมีรูปทรงไม่คงที่

(2) โครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวพุ่งชนแบ่งได้ 3 บริเวณ (1) บริเวณที่เจ็ทเปลวไฟอิสระ (2) บริเวณที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวและ (3) บริเวณที่เจ็ทเปลวไฟไหลตามพื้นผิว

(3) โครงสร้างการไหลของเจ็ทเปลวไฟมีผลอย่างมากต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิบนพื้นผิว โดยบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะตรงกับบริเวณที่เจ็ทเปลวไฟพุ่งชนพื้นผิวและบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลบนพื้นผิวจากแนวแกนเป็นแนวรัศมี

(4) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยบนพื้นผิวสูงสุดอยู่ในช่วง  $H=6D$  และ  $8D$  ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่จะนำไปออกแบบการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่ใช้เจ็ทเปลวไฟพุ่งชน

### 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

### 7. เอกสารอ้างอิง

[1] Mohr, J. W., Seyed-Yagoobi, J. and Page, R. H., (1997). Heat transfer characteristics of a radial jet reattachment flame, *J. Heat transfer*, Vol. 119, pp. 258-264.

[2] Zhang, Y. and Bray, K. N. C., (1999). Characterization of impinging jet flame, *J. Combustion and flame*, Vol. 116, pp. 671-674.

[3] Foat, T., Yap, K. P. and Zhang, Y., (2001). The visualization and mapping of turbulent premixed impinging flame, *J. Combustion and Flame*, Vol. 125, pp. 839-851.

[4] Baukal, C. E. and Gebhart, B., (1997). Surface condition effects on flame impingement heat transfer, *J. Exp. Thermal Fluid Sci.*, Vol. 15, pp. 323-335.

[5] Baukal, C. E. and Gebhart, B., (1998). Heat transfer from oxygen-enhanced/natural gas flames impinging normal to a plane surface, *Exp. Thermal Fluid Sci*, Vol. 16, pp. 247-259.

[6] Mishra, D. P., (2002). Experimental Studies of LPG-air Premixed Flame Impingement Heat Transfer, *Proceedings of Internation Symposium on Recent Trends in Heat and Mass Transfer*, pp. 45-66.

[7] Tuttle, S. G., Webb, B. W., and McQuay, M. Q., (2005). Convective heat transfer from a partially premixed impinging flame jet. Part I: Time-averaged results, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, pp. 1236-1251.

[8] Mohr, J. W., Seyed-Yagoobi, J. and Page, R. H., (1996). Combustion measurement from an impinging radial reattachment flame, *J. Combust. Flame*, Vol. 106, pp. 69-80.

[9] Mishra, D. P., (2004). Emission Studies of Impinging Premixed Flames, *J. Fuel*, Vol. 83, pp. 1743-1748.