

การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออริฟิส

COOLING OF A HOT SURFACE BY ORIFICE NOZZLE

เก่งกล้า กุณารักษ์

Kengkla Kunarak

Received : 02 Jun 2020

Revised : 05 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Corresponding author, E-mail : kengkla_stc@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนพื้นผิวร้อนด้วยหัวฉีดออริฟิสที่มีลักษณะต่างกัน 3 แบบ หัวฉีดออริฟิส, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ และหัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหัวฉีด $D = 20$ มม. และปลายหัวฉีดออริฟิสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 18$ มม. ใช้อากาศเป็นของไหลทดลองที่อัตราการไหลในเทอมเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) คงที่ 10,000 และระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. ผลการทดลองพบว่าหัวฉีดออริฟิสช่วยให้ระบายความร้อนบนพื้นผิวได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดา หัวฉีดออริฟิสทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 120$ มม. ให้ค่าการระบายความร้อนในเทอมของเลขนัสเซิลต์มากที่สุด อาจเกิดจากปลายออริฟิสจะทำลายชั้นการไหลบริเวณทางออกให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนช่วยให้เกิดการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การระบายความร้อน, หัวฉีดออริฟิส, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ, หัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง

Abstract

This paper studied cooling of a hot surface by orifice nozzle with 3 different styles, orifice nozzle, orifice nozzle with narrow chamfer and orifice nozzle with wide chamfer. The results obtained are compared with conventional nozzle. Orifice nozzle diameter $D = 20$ mm and the tip of the orifice nozzle has a diameter $d = 18$ mm. Using air as working fluid at flow rate in term of the Reynolds number (Re), constant at 10,000. nozzle-to-plate spacings $z = 40, 80, 120$ and 160 mm. The results showed that orifice nozzle helps cooling on surface higher than conventional nozzle. Orifice nozzle experiment at nozzle-to-plate spacing $z = 120$ mm gave highest cooling in term of the Nusselt number. It may be caused by the tip of the orifice breaking down the flow layer the exit area causes turbulent flow helps to create better cooling.

Keywords: Cooling, orifice nozzle, orifice nozzle with narrow chamfer, orifice nozzle with wide chamfer

1. บทนำ

การระบายความร้อนพื้นผิวร้อนมีความจำเป็นมากในกระบวนการผลิต เช่น การระบายความร้อนชิ้นส่วนต่างๆ ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การผลิตโลหะ อื่นๆ ได้มีการวิจัยและพัฒนาการระบายความร้อนด้วยหัวฉีดลักษณะต่างๆ เพื่อลดระยะเวลาในการผลิต มีนักวิจัยออกแบบหัวฉีดหลากหลายรูปแบบเพื่อสร้างการไหลแบบปั่นป่วนกระทบพื้นผิวเพื่อช่วยให้เพิ่มความสามารถในการระบายความร้อน มีงานวิจัยที่ผ่านมา ดังนี้

Colucci และ Vikanta. [1] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยใช้หัวฉีดที่มีลักษณะไฮเปอร์โบลิกและออร์ฟิสแบบขอบคม เพื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ทดลองที่อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 10,000 ถึง 50,000 สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (z/D) 0.25 ถึง 6.0 จากผลการทดลองพบว่าหัวฉีดทั้งไฮเปอร์โบลิกและออร์ฟิสแบบขอบคมมีการถ่ายเทความร้อนหรือการระบายความร้อนดีกว่าแบบธรรมดา และมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหล กล่าวได้ว่าลักษณะของหัวฉีดมีผลต่อการระบายความร้อน Brignoni และ Garimella [2] ทดลองผลกระทบของทางเข้าหัวฉีดที่มีลักษณะมุมตัด หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.18 มิลลิเมตร มีระยะมุมตัด 2.31 และ 0.64 มิลลิเมตร และมีมุมตัด 41° และ 60° ทดลองที่สัดส่วนระยะห่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (z/D) 1 และ 4 และอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 5000 ถึง 20,000 พบว่าหัวฉีดมุมตัดช่วยเพิ่มการระบายความร้อนบนพื้นผิว ที่ระยะห่างน้อยและอัตราการไหลมากให้ค่าการถ่ายเทความร้อนหรือระบายความร้อนได้ดีที่สุด J. Lee และ S.J. Lee. [3] ได้ทดลองผลกระทบของลักษณะหัวฉีด มี 3 ลักษณะ แบบธรรมดา ขอบตัด ขอบคม หัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สัดส่วนระยะห่างหัวฉีดต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (z/D) 2 ถึง 10 เลขเรย์โนลด์ส์ 5000-30,000 ผลการทดลองพบว่าหัวฉีดขอบคมช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีที่สุด การระบายความร้อนมีค่าสูงขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ส์ และระยะห่างหัวฉีดน้อย Gulati และคณะ [4] ทดลองการกระจายการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีด 3 ลักษณะ หัวฉีดกลม หัวฉีดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หัวฉีดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดเทียบเท่า 20 มิลลิเมตร อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) 5000 ถึง 15,000 สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (z/D) 0.5 ถึง 12.0 พบว่าหัวฉีดสี่เหลี่ยมผืนผ้าช่วยให้การถ่ายเทความร้อนหรือระบายความร้อนดีที่สุด และอัตราการไหลมีผลต่อการระบายความร้อน Vinze และคณะ [5] ศึกษาผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อน หัวฉีดมี 3 ลักษณะ หัวฉีดคอนทัวร์ หัวฉีดออร์ฟิส และท่อหัวฉีด ทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส์ 48,000, 82,000 และ 120,000 สัดส่วนระยะห่างหัวฉีด 1, 2, 6 และ 10 ผลการทดลองพบว่าท่อกว้างหัวฉีดช่วยให้ระบายความร้อนดีที่สุด และที่สัดส่วนระยะห่างหัวฉีด 6 ช่วยให้การระบายความร้อนดีที่สุด

จากผลการทดลองงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ สัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด และลักษณะหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อนบนพื้นผิว สำหรับการทดลองครั้งนี้ทดลองผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิส และสัดส่วนของระยะห่างหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา

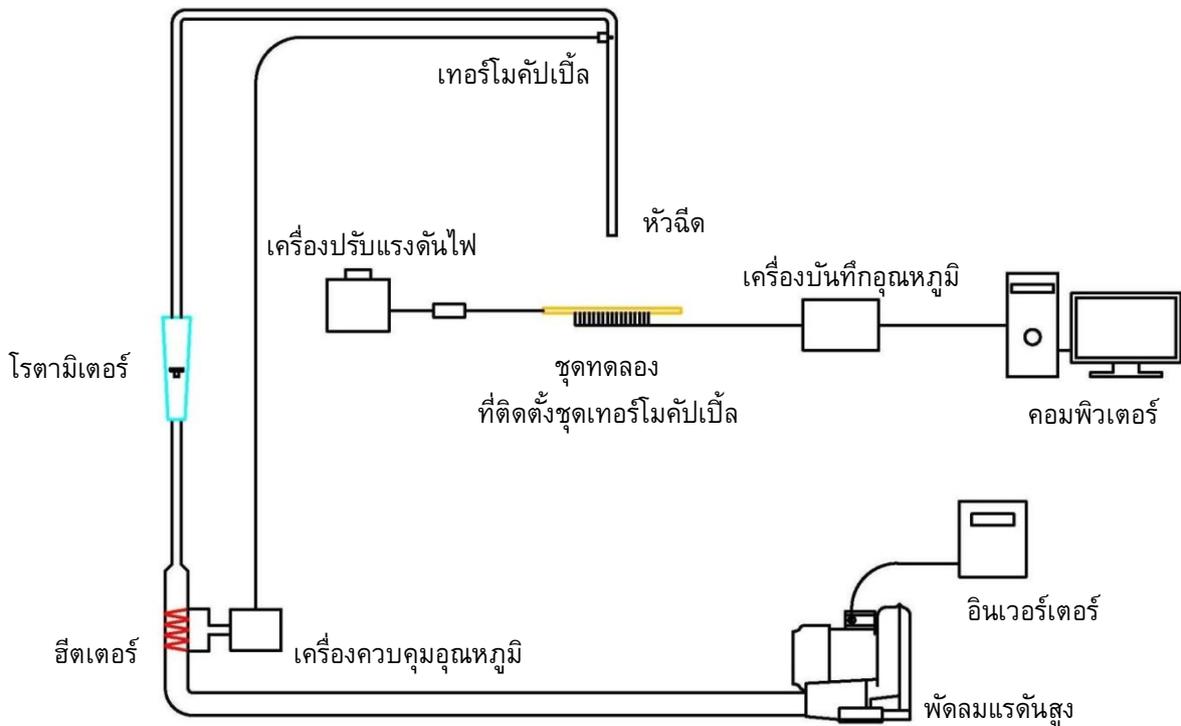
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิสลักษณะแตกต่างกันและผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว ส่งผลต่อการระบายความร้อนบนพื้นผิวร้อน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

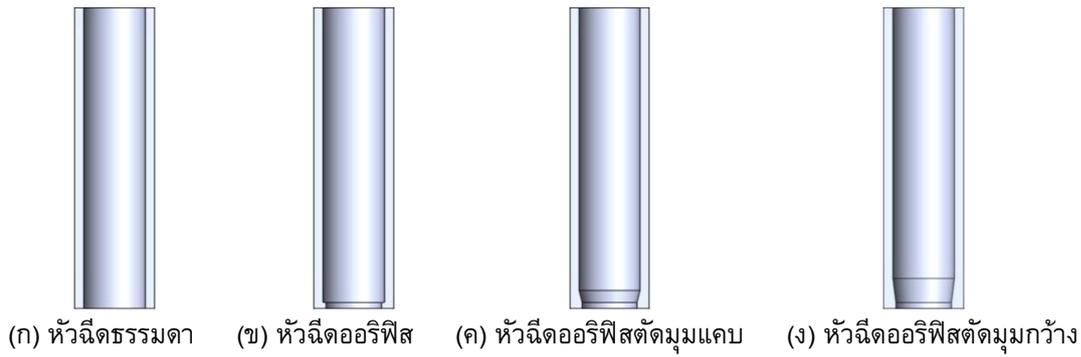
3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

ชุดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย (1) พัดลมแรงดันสูงใช้สำหรับส่งอากาศไปยังชุดทดลอง (2) อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม (3) ฮีตเตอร์และชุดควบคุมอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับเทอร์โมคัปเปิลซึ่งติดตั้งที่ทางเข้าของท่อทดลองสำหรับควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้คงที่ (4) โรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหลอากาศ (5) หัวฉีดมีทั้งหมด 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) หัวฉีดธรรมดา (ข) หัวฉีดออร์ฟิส (ค) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ (ง) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง (6) ชุดทดลองที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ชุดทดลองทำจากสเตนเลสสตีล ขนาด 300 x 300 มม. ให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์แบบแผ่นบาง และติดตั้งชุดเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิพื้นผิว (7) เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังฮีตเตอร์ที่ติดกับชุดทดลอง (8) เครื่องบันทึกอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับชุดเทอร์โมคัปเปิล (9) คอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 ไลอะแกรมของชุดทดลอง

ท่อหัวฉีดทุกท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $D = 20$ มม. มีทั้งหมด 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) หัวฉีดธรรมดา หรือแบบทั่วไป (ข) หัวฉีดออร์ฟิส มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสที่ปลายของหัวฉีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $d = 18$ มม. ความหนา 2 มม. (ค) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสและมีการตัดมุม chamfer 4 มม. (ง) หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง มีลักษณะเป็นแผ่นออร์ฟิสและมีการตัดมุม chamfer 8 มม.



รูปที่ 2 หัวฉีดสำหรับทดลอง

3.2 วิธีการทดลอง

ติดตั้งหัวฉีดธรรมดาเข้ากับชุดทดลอง เปิดการทำงานของอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด อากาศถูกส่งผ่านฮีตเตอร์ที่ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิซึ่งวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าท่อหัวฉีดสำหรับทดลอง ปรับตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิมองที่ 27 °C ตลอดการทดลอง อากาศไหลผ่านโรตารีเตอร์สำหรับวัดอัตราการไหล และควบคุมอัตราการไหลอากาศด้วยการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบพัดลม อากาศผ่านไปยังชุดทดลองด้วยอัตราการไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส $Re = 10,000$ ปรับเครื่องควบคุมไฟคงที่ 29 วัตต์ ตลอดการทดลอง ชุดทดลองถูกให้ความร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์แบบแผ่นบาง ในการทดลองครั้งนี้จะเรียกชุดทดลองว่า “พื้นผิวร้อน” วัดอุณหภูมิพื้นผิวร้อนด้วยชุดเทอร์โมคัปเปิลที่เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ แสดงผลและเก็บผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดลองหัวฉีดแต่ละแบบมีการปรับระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. ทำการทดลองการระบายความร้อนด้วยหัวฉีดลักษณะต่างๆ ด้วยวิธีการเดียวกันทุกขั้นตอน

3.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการทดลองการระบายความร้อนบนพื้นผิวได้จ่ายไฟให้กับชุดทดลอง (q) ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$q = IV \tag{1}$$

$$\dot{q} = q/A \tag{2}$$

เมื่อ \dot{q} คือฟลักซ์ความร้อน (W), V คือแรงดันไฟฟ้า (V), I คือกระแสไฟฟ้า (Amp) และ A คือพื้นที่หน้าตัดของชุดทดลอง (m^2)

$$h = \dot{q} / (T_w - T_f) \tag{3}$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2 K$), T_w คืออุณหภูมิพื้นผิวชุดทดลองที่วัดค่าด้วยเทอร์โมคัปเปิล ($^{\circ}C$) และ T_f คืออุณหภูมิอากาศที่หัวฉีดออร์ฟิส ($^{\circ}C$)

$$Nu = hD/k \tag{4}$$

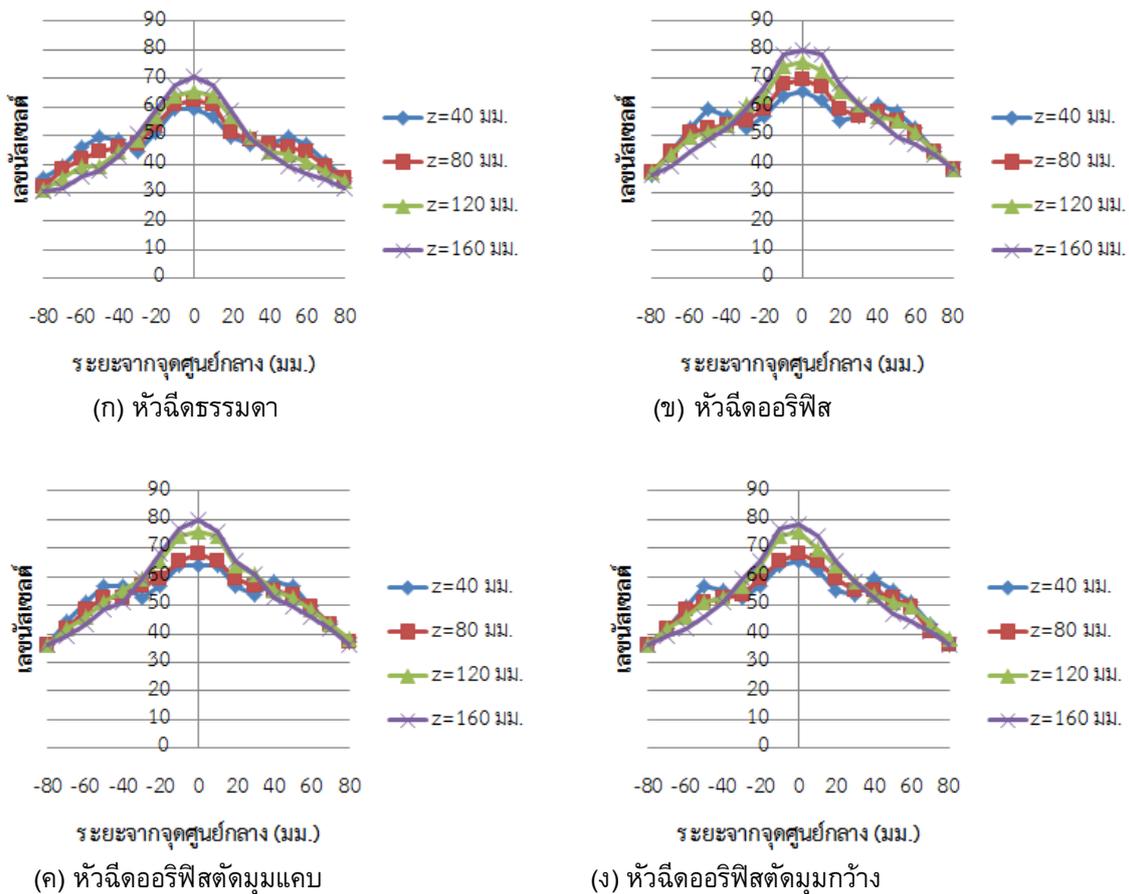
เมื่อ Nu เลขนัสเซลต์ ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ (งานวิจัยนี้นำเสนอการถ่ายเทความร้อนหรือการระบายความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลต์), D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด (m) และ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ (W/m K)

$$Re = \rho U D / \mu \tag{5}$$

เมื่อ Re คือเลขเรย์โนลด์ส์ ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ (งานวิจัยนี้เสนออัตราการไหลอากาศในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์), ρ คือความหนาแน่นของไหล (kg/m^3) และ μ คือความหนืดสัมบูรณ์ของไหล ($kg/m.s$)

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การทดลองการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีด 4 แบบ ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40, 80, 120$ และ 160 มม. และการวิเคราะห์ผลการทดลองวัดระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมีไปทางด้านซ้ายและขวา $r = -80$ ถึง 80 มม. และที่จุดศูนย์กลาง $r = 0$ มม.

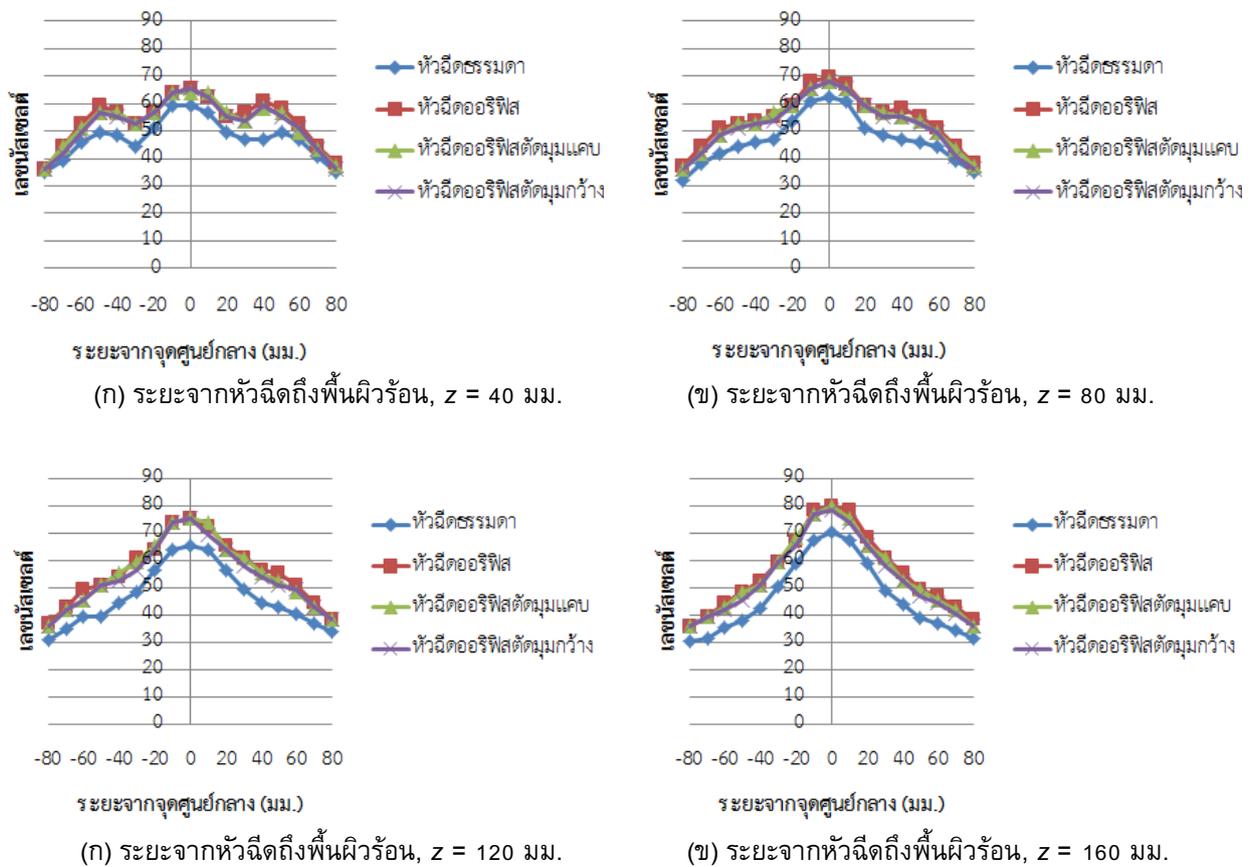


รูปที่ 3 ผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน

จากรูปที่ 3 แสดงผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวร้อน พบว่าระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวมีผลกระทบต่อ การระบายความร้อน ผลการทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวใกล้ $z = 40$ และ 80 มม. มีการระบายความร้อนบริเวณจุดศูนย์กลางต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวไกล $z = 120$ และ 160 มม. แต่จะมีผลการระบายความร้อน

ช่วงที่สองเกิดขึ้นบริเวณระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี $r = 40$ ถึง 50 มม. หลังจากระยะ $r = 50$ มม. ผลการระบายความร้อนจะค่อยๆ ลดลง และผลการทดลองที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวไกล $z = 120$ และ 160 มม. มีการระบายความร้อนบริเวณจุดศูนย์กลางสูงกว่าที่ระยะหัวฉีดถึงพื้นผิวใกล้ การระบายความร้อนสูงสุดที่จุดศูนย์กลางและค่อยๆ ลดลงตามการเพิ่มระยะจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ

ผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อนเปรียบเทียบที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าหัวฉีดออร์ฟิสทั้งสามแบบช่วยเพิ่มการระบายความร้อนพื้นผิวได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดาที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากัน หัวฉีดออร์ฟิสทำให้มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุด รองลงมาหัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมแคบ หัวฉีดออร์ฟิสตัดมุมกว้าง และหัวฉีดธรรมดา ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลกระทบของหัวฉีดออร์ฟิส

5. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาการระบายความร้อนบนพื้นผิวด้วยหัวฉีดออร์ฟิสสามแบบเปรียบเทียบกับหัวฉีดธรรมดา ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลกระทบของระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวส่งผลต่อการระบายความร้อน ที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40$ มม. มีการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกับ $z = 80$ มม. คือมีบริเวณการระบายความร้อนเกิดขึ้นสองที่ บริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นผิว $r = 0$ มม. และบริเวณตามแนวรัศมี $r = 40$ ถึง 50 มม. และที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 120$ มม. มีการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกับ $z = 160$ มม. การระบายความร้อนสูงสุดที่บริเวณศูนย์กลางค่อยๆ ลดลงตาม

<http://jeet.siamtechu.net>

ระยะตามแนวรัศมี และยังพบว่างหัวฉีดออริฟิสที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 120$ และ 160 มม. ทำให้ระบายความร้อนได้ดีกว่าที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิว $z = 40$ และ 80 มม.

ผลกระทบของหัวฉีดส่งผลต่อการระบายความร้อน พบว่าที่ระยะจากหัวฉีดถึงพื้นผิวเท่ากัน หัวฉีดออริฟิสทั้งสามแบบช่วยให้ระบายความร้อนได้ดีกว่าหัวฉีดธรรมดา และมีลักษณะการกระจายการระบายความร้อนคล้ายกัน

จากผลการทดลองพบว่าหัวฉีดออริฟิสช่วยเพิ่มความสามารถการระบายความร้อนพื้นผิวได้ดียิ่งขึ้น หัวฉีดออริฟิสช่วยให้ระบายความร้อนมากที่สุด มากกว่าหัวฉีดออริฟิสตัดมุมแคบ หัวฉีดออริฟิสตัดมุมกว้าง และหัวฉีดธรรมดาตามลำดับ สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.W. Colucci and R. Viskanta, "Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 13(1), 1996, pp. 71-80.
- [2] L.A. Brignoni and S.V. Garimella, "Effects of nozzle-inlet chamfering on pressure drop and heat transfer in confined air jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(7), 2000, pp. 1133-1139.
- [3] J. Lee and S.J. Lee, "The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(18), 2000, pp. 3497-3509.
- [4] P. Gulati, V. Katti, S.V. Prabhu, "Influence of the shape of the nozzle on local heat transfer distribution between smooth flat surface and impinging air jet", *International Journal of Thermal Sciences*, 48(3), 2009, pp. 602-617.
- [5] R. Vinze, S. Chandel, M.D. Limaye and S.V. Prabhu, "Effect of compressibility and nozzle configuration on heat transfer by impinging air jet over a smooth plate", *Applied Thermal Engineering*, 101, 2016 pp. 293-307.