

TSF 33

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 19-21 ดุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

อิทธิพลของการสั่นของการไหลเจ็ทที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว ที่เจ็ทพุ่งชน

Effect of pulsating of jet flow on heat transfer on jet impinged surface

<u>เอกพจน์ วิเชียรโชติ¹,</u> กิตตินันท์ มลิวรรณ¹, มักตาร์ แวหะยี¹ และ ชยุต นันทดุสิต¹

¹ สถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงานและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90112 * ติดต่อ: โทรศัพท์: 074 287 035, โทรสาร: 074 558 830 E-mail: chayut@me.psu.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการสั่นของการไหลของเจ็ทที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนบน พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน ในการสร้างการสั่นของเจ็ทได้ใช้วิธีติดตั้งบอลล์วาล์วซึ่งต่อกับมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็วรอบ ด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อเปิดบิดการไหลก่อนที่ส่งไปยังท่อเจ็ท ในทุกการทดลองได้กำหนดให้อัตราไหลเฉลี่ยของเจ็ท คงที่ และศึกษาผลของตัวแปรความถี่ในการสั่นในช่วง f=0-20 Hz และผลของระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึง พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนในช่วง L=2D-10D ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเจ็ทตามเวลาที่ตำแหน่งปากทางออก เจ็ทได้ใช้ hot wire probe และใช้เทคนิค smoke wire ในการศึกษาโครงสร้างการไหลของเจ็ทอิสระ สำหรับ การศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนได้ติดตั้งเซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อนบนพื้นผิวในบริเวณที่เจ็ทพุ่ง ชนโดยตรง จากผลการทดลองพบว่าเจ็ทการไหลแบบสั่นเป็นจังหวะที่เงื่อนไข St=0.024 ,0.032 และ 0.041 สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวได้เมื่อเทียบกับเจ็ทการไหลแบบต่อเนื่อง

คำสำคัญ: เจ็ทพุ่งชน, เจ็ทแบบสั่น, การถ่ายเทความร้อน, เซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อน

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of pulsating jet flow on heat transfer on jet impinged surface. Pulsating jet was generated by installing ball valve connected to the motor controlled with inverter for open-close flow before send through jet pipe. In all experiments, the average flow rate of jet flow was constant. The effect of pulsating frequency f=0-20 Hz and distance from pipe exit to impinged surface L=2D-10D were studied. The variation of jet velocity with time at the pipe exit was measured with hot wire probe and the smoke wire technique was used to visualize flow structure of free jet. For study the heat transfer on impinged surface, the heat flux sensor was attached on region which jet impinged directly. From the results, It is found that the pulsating jet with Strouhal number St= 0.024, 0.032 and



0.041 can increase heat transfer rate on impinged surface when compare with case of continuous jet flow.

Keywords: Impinging jet, Pulsating jet, Heat transfer, Heat flux sensor

1. บทนำ

เจ็ทพุ่งชนเป็นวิธีการบังคับให้ลำของไหลที่มี ความเร็วสูงหรือเจ็ทไหลปะทะกับพื้นผิวโดยตรง เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง โดยเฉพาะพื้นผิวบริเวณที่เจ็ทพุ่งชนโดยตรง จึงเหมาะ สำหรับงานที่ต้องการให้ความร้อนหรือระบายความ ร้อนบนพื้นผิวอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้ง กระบวนการให้ความร้อนหรือให้ความเย็นใน อุตสาหกรรม รวมถึงการใช้ในการเพิ่มอัตราการ แลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ทางความร้อน เช่น อุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง

(Compact High Intensity Cooler, CHIC) เป็นต้น ป ัจ จุ บัน ไ ด้ มี ก า ร พ ย า ย า ม ที่ จ ะ เ พิ่ ม ความสามารถการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่ง ชนโดยใช้วิธีการควบคุมการไหล เช่น การสร้างเจ็ทที่ ไหลเป็นจังหวะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มอัตราการ ถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว [1, 2, 3] เนื่องจากการไหล บนพื้นผิวเป็นจังหวะจะทำให้กระแสการไหลหมุน วนรอบ ๆลำเจ็ทมีขนาดเพิ่มขึ้น และชนทำลายชั้น ขอบเขตการไหลระหว่างของไหลกับพื้นผิว ส่งผลทำ ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวเพิ่มขึ้น

Mladin และ Zumbrunnen [1] ได้ศึกษาการ ถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนแบบจังหวะโดย ใช้บอลวาล์วเป็นตัวปิดและเปิดการไหลของอากาศ จากการทดลองพบว่าที่ระยะ L=3D-6D เจ็ทพุ่งชน แบบจังหวะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูง กว่าเจ็ทพุ่งชนแบบต่อเนื่อง

Hofmann และคณะ [4] ได้ศึกษาลักษณะการ ใหลและการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน แบบจังหวะ ในการศึกษาได้พิจารณานัสเซิลต์นัมเบอร์ เฉพาะจุดที่กระจายบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน ในกรณีที่ ระยะ L=2D ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์ของเจ็ทพุ่งชนแบบ จังหวะมีค่าสูงกว่าเจ็ทพุ่งชนแบบต่อเนื่องเฉพาะแนว รัศมีที่เจ็ทพุ่งชนที่อยู่ในช่วง r<2D สำหรับที่รัศมีที่เจ็ท พุ่งชนอยู่ในช่วง r>2D ค่านัสเซิลด์นัมเบอร์ของเจ็ทพุ่ง ชนแบบต่อเนื่องและเจ็ทพุ่งชนแบบจังหวะมีความ แตกต่างกันไม่มากนัก

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนบน พื้นผิวที่เจ็ทไหลเป็นจังหวะพุ่งชน ในเบื้องต้นได้ ทำการศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเฉพาะ รอบจุดศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน (Stagnation point) โดยใช้เซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อน นอกจากนี้ได้ศึกษา ลักษณะการไหลของเจ็ทอิสระด้วยโดยใช้วิธี Smoke wire ในการทดลองจะทำการปรับความถี่ของเจ็ทอยู่ ในช่วง *f*=0-20 Hz สำหรับระยะจากปากทางออกท่อ เจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนอยู่ในช่วง L=2D-10D สำหรับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของเจ็ทท่อเปล่าที่คิดจาก อัตราการไหลเฉลี่ยกำหนดให้คงที่ที่ Re=20,000

2. โมเดลและชุดทดลอง
2.1 โมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงโมเดลและตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

TSF 33



แสดงรายละเอียดของโมเดลที่ใช้ใน

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้จุดกำเนิด

การทดลอง เจ็ทจะใหลออกจากหัวฉีดที่เป็นแบบท่อที่

ี่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D) 25.4 mm พุ่ง ชนตั้งฉากกับพื้นผิวที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่ ในการ

ทดลองจะใช้เจ็ทที่อุณหภูมิห้องพุ่งชนพื้นผิวเพื่อ

ของระบบพิกัดฉากอยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของปาก

ทางออกเจ็ท โดยแกน X มีทิศทางขนานกับท่อเจ็ท แกน Y และแกน Z มีทิศทางขนานกับพื้นผิวที่เจ็ทพุ่ง

ชนและตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางท่อเจ็ทตามที่ได้แสดง

รปที่ 1

ระบายความร้อน

ในรูปที่ 2

สำหรับ ตัว แ ป ร ที่ ใ ช้ ใ น การทดล อง ประกอบด้วยระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวที่ เจ็ทพุ่งชน L=2D, 4D, 6D, 8D และ 10D โดยทดลอง เจ็ทที่เป็นแบบไหลต่อเนื่อง (continuous jet) และเจ็ท ที่ไหลเป็นแบบจังหวะ (pulsating jet) สำหรับการไหล ของเจ็ทแบบจังหวะกำหนดให้อยู่ในช่วง *f*=0-20 Hz โดยสามารถคำนวณเป็นค่า Strouhal number (St = fD/U)อยู่ในช่วง 0.00 < St < 0.041 สำหรับ เจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่องกำหนดให้ค่าเรยโนลด์นัมเบอร์ Re=UD/บ=20,000 จากนั้นกำหนดให้เจ็ทที่ไหลเป็น จังหวะมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วของเจ็ทที่ไหล แบบต่อเนื่อง

แบบต่อเนื่อง Movable Thermocouple impingement plate Temperature SCR controller Ball valve 00 Pipe nozzle Heater chamber Inverter Confined wall AC Moter Orifice Inverter Blower Pressure Computer transducer

รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลอง

ฮิตเตอร์ติดตั้งอยู่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเจ็ทอากาศ ให้คงที่ก่อนที่จะไหลออกจากท่อเจ็ทที่ติดตั้งบอลล์ วาล์ว แล้วพุ่งชนตั้งฉากกับพื้นผิว ในกรณีการไหลของ เจ็ทแบบต่อเนื่อง จะทำการปรับบอลล์วาล์วให้อยู่ใน ตำแหน่งเปิดสุด สำหรับการสร้างเจ็ทที่ไหลแบบ จังหวะจะทำการหมุนมอเตอร์ที่ต่อแกนเข้ากับบอลล์

2.2 ชุดทดลอง

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของชุดทดลองที่ใช้ ในงานวิจัยนี้ อากาศภายในห้องทดลองจะถูกดูดผ่าน โบรเวอร์โดยควบคุมอัตราการไหลด้วยอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นอากาศจะไหลผ่านออร์ริฟิสเพื่อวัดอัตรา การไหล และผ่านไปยังห้องควบคุมอุณหภูมิเจ็ทที่มีชุด



วาล์วโดยสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย อินเวอร์เตอร์ ในการทดลองนี้ที่ปลายทางออกของท่อ เจ็ทจะติดตั้งผนังกำกับของด้านท่อเจ็ท (Confined wall) หลังจากที่เจ็ทพุ่งชนผนังแล้ว เจ็ทจะไหลออก ทางด้านข้างในช่องระหว่างผนังของท่อเจ็ทและผนังที่ เจ็ทพุ่งชน โดยชุดทดลองนี้ถูกออกแบบให้สามารถ ปรับระยะจากปากทางออกเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนได้ และออกแบบให้สามารถถอดประกอบผนังที่เจ็ทพุ่งชน เพื่อใช้ในการศึกษาการไหลของเจ็ทอิสระ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดย ใช้เซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อน

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ใน การวัดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่ง ศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนโดยใช้เซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อน ้ผนังที่เจ็ทพุ่งชนทำมาจากแผ่นสเตนเลสแบบบาง (Stainless foil) หนา 0.03 mm ถูกขึ้งให้เรียบตึงกับ แผ่นพลาสติกหนา 15 mm โดยใช้แท่งทองแดงยึด แผ่นสเตนเลสไว้ทั้งสองข้าง และแท่งทองแดงทั้งสองนี้ ้จะต่อเข้ากับขั้วของตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงไหลผ่านแท่งทองแดงไปยังแผ่นสเตนเลส จะเกิดฟลักซ์ความร้อนคงที่ขึ้นทั่วทั้งแผ่นสเตนเลส แล้วใช้เจ็ทที่อุณหภูมิห้องพุ่งชนระบายความร้อนบน พื้นผิวแผ่นสเตนเลส สำหรับการพาความร้อนบน พื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนสามารถวัดโดยใช้เซนเซอร์ฟลักซ์ ความร้อน (บริษัท Captec) ติดบนแผ่นสเตนเลสที่ ดำแหน่งศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชน โดยสัมประสิทธิ์การพา ้ความร้อนเป็นค่าเฉลี่ยที่วัดบนพื้นที่ของเซนเซอร์ฟ ้ลักซ์ความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ใน การหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่ ตำแหน่งศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนหาได้จากสมการ

$$\overline{h} = \frac{\dot{q}}{(\overline{T}_{w} - T_{j})}$$
(1)

ในที่นี้ q่ คือฟลักซ์การถ่ายเทความร้อน หาได้จาก เซนเซอร์ฟลักซ์ความร้อนที่ติดอยู่บนแผ่นสเตนเลส, T_w คืออุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวของเซนเซอร์ฟลักซ์ ความร้อน และ T_i คืออุณหภูมิของเจ็ท และนัสเซิลด์ นัมเฉลี่ยเบอร์บนพื้นผิวรอบตำแหน่งศูนย์กลางที่เจ็ท พุ่งชนคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\overline{\mathrm{Nu}} = \frac{\overline{\mathrm{h}} \ \mathrm{D}}{\mathrm{k}}$$
(2)

ในที่นี้ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเจ็ทและ k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ

สำหรับผลจากการทดลองได้ทำการบันทึกค่า หลังจากอุณหภูมิและฟลักซ์ความร้อนบนพื้นผิวเข้าสู่ สภาวะคงตัว แล้วนำค่าที่วัดได้ที่เวลาต่างๆมาหา ค่าเฉลี่ยก่อนนำไปใช้ในสมการ (1)



รูปที่ 3 แสดงไดอะแกรมที่ใช้ในการวัดการถ่ายเท ความร้อนบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนโดยใช้เซนเซอร์ฟลักซ์ ความร้อน

3.2 การวัดความเร็วเจ็ทและศึกษาลักษณะการ ไหลของเจ็ทด้วยวิธี Smoke wire

ในการวัดความเร็วเจ็ทที่ปากทางออกได้ใช้ Hot wire probe และ CTA (Constant temperature anemometer) ซึ่งได้ทำการสอบเทียบความเร็วกับ Pitot-static tube ในการศึกษาลักษณะการไหลของ เจ็ทอิสระ ได้สร้างแผ่นแสงโดยใช้ผนังที่มีช่องโปร่งแสง เป็นแนวยาวตามที่ได้แสดงในรูปที่ 4 และด้านหลัง ของผนังได้ติดตั้งหลอดไฟสำหรับเป็นตัวกำเนิดแสง สำหรับด้านหน้าของปากทางออกท่อเจ็ทได้ติดตั้งลวด นิโครม ซึ่งปลายทั้งสองต่อไปยังเครื่องกำเนิด กระแสไฟฟ้า ในการทดลองได้ทาน้ำมันบนลวดนิโครม จากนั้นทำการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านลวดนิโครมทำให้ ลวดนิโครมเกิดความร้อนจนทำให้น้ำมันกลายเป็น ควัน หลังจากที่เจ็ทไหลผ่านกลุ่มควันทำให้สามารถ



สังเกตโครงสร้างการไหลของเจ็ทที่ตัดกับแผ่นแสง แล้วทำการบันทึกภาพแบบต่อเนื่องด้วยกล้องดิจิตอล เพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4 แสดงอุปกรณ์ในการใช้ศึกษาโครงสร้างการ ใหลของเจ็ทด้วยเทคนิค Smoke wire

4. ผลการทดลอง

4.1 โครงสร้างการไหลของเจ็ทอิสระ

จากรูปที่ 5 แสดงลักษณะการไหลของเจ็ท อิสระแบบไหลต่อเนื่องและไหลเป็นจังหวะ

ในกรณีของเจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง (รูปที่ 5 (ก)) ลักษณะการไหลของเจ็ทจะเป็นลำ จากนั้นที่ ดำแหน่ง X/D=3.5 เริ่มกระแสหมุนวนรอบๆลำเจ็ท เนื่องจากเกิดการผสมกับอากาศที่อยู่นิ่งรอบๆ

สำหรับในกรณีการไหลของเจ็ทแบบจังหวะ (รูปที่ 5 (ข) และ (ค)) พบว่า ความยาวของลำเจ็ทจะ สั้นกว่าเจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง และเมื่อความถี่ของ เจ็ทเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มจะทำให้ระยะที่เกิดกระแสหมุน วนสั้นลง โดยระยะที่เริ่มเกิดเป็นกระแสหมุนวนเริ่มที่ X/D=3 และ X/D=2.5 สำหรับเจ็ทที่มีความถี่ในการสั่น St=0.008 และ St=0.041



รูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายลักษณะการไหลของเจ็ท แบบต่อเนื่องและเจ็ทไหลแบบจังหวะ (Re=5,000) ที่ เวลาหนึ่ง

4.2 ผลจากการวัดความเร็วเจ็ท

จากรูปที่ 6 แสดงผลการวัดความเร็วเจ็ทที่อยู่ ในช่วงความถี่ในการสั่นต่าง ๆ จากการทดลองพบว่า เจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง (รูปที่ 6 (ก)) การเปลี่ยนแปลง ของความเร็วเกือบคงที่ โดยค่าเฉลี่ยของความเร็วอยู่ ในช่วง 12 m/s ในกรณีการไหลของเจ็ทเป็นจังหวะ (รูปที่ 6 (ข)-(ฉ)) พบว่าแอมปลิจูดของความเร็วมี แนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความเร็วเฉลี่ยของเจ็ทมีค่าใกล้เคียงกับกรณีของเจ็ทที่ ไหลแบบต่อเนื่อง







 r< 5cm จากผลการทดลองพบว่า กรณีของเจ็ทไหล แบบต่อเนื่อง ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยสูงสุดเกิดขึ้นที่
ระยะ L/D=4 และค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยลดลงเมื่อ
ระยะ L/D>4 ในกรณีเจ็ทที่ไหลแบบจังหวะพบว่า ผล
ของค่า Strouhal number อยู่ในช่วงที่ต่ำ (St=0.008)

4.3 ผลของระยะห่างจากปากทางออกของเจ็ทถึง พื้นผิวที่พุ่งชนและความถี่ในการสั่นที่มีต่อ ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ย

รูปที่ 7 แสดงค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยรอบ ดำแหน่งจุดศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนในบริเวณ -5cm <



ศูนย์กลางที่เจ็ทพุ่งชนพบว่า เจ็ทที่ไหลแบบจังหวะที่ เงื่อนไขRe 20,000, St=0.032, L/D=8 และ St=0.024, L/D=4 มีค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยสูงสุด

อย่างไรก็ตามเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการ ถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องมีการศึกษา ลักษณะการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว รวมถึง ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นใกล้กับพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน เพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Mladin, E.C. and Zumbrunnen, D.A., (1997), Local convective heat transfer to submerged pulsating jets, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 46, No.14, pp. 3305-3321.

[2] Travnicek, Z. and Tesar, V., (2003), Annular synthetic jet used for impinging flow mass-transfer, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, pp. 3291-3297.

[3] Chaudhari, M., Puranik, B. and Agrawal, A., (2010), Effect of orifice shape in synthetic jet based impingement cooling, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34, pp. 246-256.

[4] Hofmann, H. M., Movileanu, D. L. Kind, M. and Martin H., (2007), Influence of a pulsation on heat transfer and flow structure in submerged impinging jets, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 3638-3648.

และ 0.016) แนวโน้มของค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยต่ำ กว่าเจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง ยกเว้นที่ระยะ L/D=2

ในกรณีที่ค่า Strouhal number อยู่ในช่วงที่ สูง (St>0.016) แนวโน้มของค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ย สูงกว่าเจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง และสำหรับที่เงื่อนไข St=0.032, L/D=8 และ St=0.024, L/D=4 มี ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยสูงสุด เมื่อนำรูปที่ 5 มา อธิบายจะเห็นว่าการไหลแบบต่อเนื่องจะเกิดกระแส หมุนวนที่ยาวกว่าการไหลแบบจังหวะ ซึ่งกระแสหมุน วนที่พุ่งชนพื้นผิวจะเกิดการไหลตามแนวรัศมี กลายเป็นชั้นขอบเขตเคลือบผิวไว้ ทำให้ค่านัสเซิลต์ นัมเบอร์เฉลี่ยมีค่าต่ำ และเมื่อกระแสหมุนวนมีขนาดที่ สั้นลง ทำให้การไหลที่ทำให้เกิดชั้นขอบเขตถูกกำลาย จึงทำให้ค่านัสเซิลต์นัมเบอร์เฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้น



5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความถี่ในการ ใหลเป็นจังหวะของเจ็ท และระยะจากปากทางออก ของเจ็ทถึงพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชนที่มีผลต่อการไหลและ การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิว จากการศึกษาพบว่า เจ็ทที่ไหลแบบจังหวะมีผลทำให้กระแสหมุนวนสั้นกว่า เจ็ทที่ไหลแบบต่อเนื่อง ซึ่งกระแสหมุนวนที่พุ่งชนและ ไหลออกตามแนวรัศมีทำให้เกิดชั้นขอบเขตเคลือบที่ ผิวทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง และจาก การศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตำแหน่ง