

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

สภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหลผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า

Heat Transfer Characteristics of Fluid Flow through a Tube Bank under Electric Field

สุจินต์ จิระชีวะนันท์ และ จิรวรรณ เตียรย์สุวรรณ

คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Sujin Jiracheewanun and Jirawan Tainsuwan

School of Energy and Materials King Mongkut's of Technology Thonburi Bangkok 10140

Tanongkiat Kiatsirirot

Department of Mechanical Engineering Chiang Mai University Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อโดยใช้สนามไฟฟ้า (Electrohydrodynamic, EHD) และปรากฏการณ์การไหลของของไหลภายใต้สนามไฟฟ้า ทดลองโดยใช้อากาศเป็นสารทำงาน ระบายความร้อนให้กับกลุ่มท่อ กลุ่มท่อประกอบด้วย ท่อทองแดงจำนวน 3x3 แถว มีอิเล็กโตรแบบแท่งสวมอัดอยู่ภายในแต่ละท่อ วางในแนวเดียวกัน (in-line array) โดยมีค่า Sn/d และ Sp/d เท่ากับ 3.0 และใช้หลอดทองแดงเป็นฮีตเตอร์ รอบๆ ท่อทองแดงที่ระยะห่างระหว่างท่อ การทดลองทำโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศและเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่สร้างสนามไฟฟ้า พบว่าที่เรย์โนลด์ส์เบอร์ต่ำๆ สามารถเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าที่ค่าเรย์โนลด์ส์เบอร์สูงๆ ที่เรย์โนลด์ส์เบอร์ 213.3 และแรงเคลื่อนในการสร้างสนามไฟฟ้า 16 kV สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยได้ 1.54 เท่า และที่แรงเคลื่อนในการสร้างสนามไฟฟ้า 15 kV เป็นช่วงที่ประหยัดพลังงานสูงสุด สำหรับการศึกษาลักษณะการไหลของของไหลภายใต้สนามไฟฟ้าโดยใช้ควัน พบว่าเมื่อแรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้าที่ 12 kV ลักษณะการไหลของของไหลจะเริ่มปั่นป่วนมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท

ความร้อนเริ่มเพิ่มขึ้นเช่นกัน และเพิ่มแรงเคลื่อนจาก 12 kV เป็น 16 kV ลักษณะการไหลจะปั่นป่วนมากขึ้นตามลำดับ

Abstract

Experimental study of electrohydrodynamic (EHD) enhancement on average heat transfer coefficient of fluid flow through a tube bank and the fluid flow visualization are presented. The tube bank is 3x3 in-line arrangement with pitch-to diameter ratio of 3. The electrodes wires are set at four corner of a square surrounded each tube. The heat generated in each tube is performed by an electrical heater inside the tube. The experiments have been carried out for Reynolds number (Re) of 200-900 and EHD supplied voltage of 1-16 kV. It could be found that the EHD has strong effect on heat transfer at low Re. Lower the Re results in higher the heat enhancement ratio.

With a smoke generate, the fluid flow under the electric field could be visualized. When the EHD supplied voltage is over 12 kV, significant turbulence

compared with that without the EHD is observed. As the supplied voltage is higher, better heat transfer coefficient is obtained.

1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีวิธีการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันออกไป การถ่ายเทความร้อนผ่านท่อหรือกลุ่มท่อเป็นวิธีหนึ่ง ที่นิยมใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น การผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ และเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่นำความร้อนทั้งกลับมาใช้งาน เช่น เครื่องปรับอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน ต้องการให้ความแตกต่างอุณหภูมิของสารทำงานที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกันมีค่าต่ำ เพื่อให้ได้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ วิธีแบบ passive และวิธีแบบ active [1] วิธีแบบ passive ไม่ต้องใช้พลังงานภายนอกมาช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน เช่นการติดครีป การทำให้ผิวสัมผัสขรุขระ การใส่อุปกรณ์เสริมเพื่อให้การไหลหมุนวนมากขึ้น และการใส่ฟองหรืออนุภาคของแข็งในสนามการไหล เป็นต้น สำหรับวิธีแบบ active นั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานภายนอก เช่น วิธีทางกลโดยการใช้ใบพัดกวน การทำให้ของไหลหรือผิวสัมผัสสั่นสะเทือน และการใช้สนามไฟฟ้า เป็นต้น วิธีการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สนามไฟฟ้า (electric field) หรือที่เรียกว่า electrohydrodynamic (EHD) ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น ใช้งานง่าย ติดตั้งสะดวก ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ความดันตกคร่อมน้อย ไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา เสียงและการสั่นสะเทือนต่ำ และควบคุมการถ่ายเทความร้อนได้ง่าย [2,3]

วิธีการใช้สนามไฟฟ้า ในการเพิ่มความสามารถในการพาความร้อนของของไหล เกิดขึ้นโดยการป้อนไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงระหว่างอิเล็กโทรดขั้วหนึ่ง ซึ่งอาจเป็น ลวดขนาดเล็ก กับอิเล็กโทรดอีกขั้วหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นแผ่นแบนเรียบหรือท่อโลหะขนาดใหญ่กว่า ของไหลที่ไหลผ่านสนามไฟฟ้าก็จะเกิดการแตกตัว (ionization) ไอออนซึ่งถูกนำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงคูลอมบ์ (Coulomb force) ส่งถ่ายโมเมนตัมให้กับอนุภาคที่เป็นกลางของของไหล เป็นผลให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า ionic wind หรือ corona wind ซึ่งจะ

ช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำสนามไฟฟ้าไปเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนหลายรูปแบบ [4] เช่น การถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นเรียบ แท่งความร้อนในแนวนอน และแนวตั้ง เป็นต้น ซึ่งพบว่า เมื่อใช้สนามไฟฟ้าแล้วจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น Vasiliev [1] ได้ทดลองการเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สนามไฟฟ้ากับชุดฮีตปั๊ม โดยทดลองที่แรงเคลื่อน 0-36 kV และค่าเรย์โนลด์ส์ในช่วง 1,000-10,000 พบว่าสนามไฟฟ้าช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และได้เสนอสมการไว้ดังนี้

$$q = 35.1(Re)^{1/2} + 6.3V^{1/2} + 3980 \quad (1)$$

$$h = 0.1646 \times 10^{-2} (Re)^2 + 0.08126V^{1/2} + 47.54 \quad (2)$$

เมื่อ q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ h คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน Re คือค่าเรย์โนลด์ส์ นัมเบอร์ และ V คือแรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้า

นอกจากนี้ ได้มีการศึกษา ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า โดยสังเกตเม็ดพลาสติกที่จมอยู่ในของเหลว พบว่าเมื่อมีสนามไฟฟ้าเม็ดพลาสติกจะเกิดการหมุนวน [5] และในกรณีที่ใช้อากาศเป็นสารทำงาน ระหว่างแผ่นความร้อน พบว่า ควันท้ายใต้สนามไฟฟ้าเกิดการหมุนวน [6] เช่นกัน จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การใช้สนามไฟฟ้าสามารถเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาศึกษาการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อ โดยใช้สนามไฟฟ้า และใช้อากาศ เป็นสารทำงานนั้น ยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาปรากฏการณ์การไหลของของไหลที่ไหลผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า และหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับกลุ่มตัวแปรไร้มิติต่างๆ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\bar{h} = \frac{Q}{A \Delta T_{\text{lmtd}}} \quad (3)$$

โดยที่ Q คืออัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มท่อ A คือพื้นที่การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มท่อ ΔT_{lmtd} คือ อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก และ h คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย

Holman [7] ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณหาค่าความสัมพัทธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อดังนี้

$$\frac{\bar{h}d}{k_f} = C Re_{max}^n Pr_f^{1/3} F \quad (4)$$

เมื่อ C และ n คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างท่อ F คือค่าแก้ไขเนื่องจากผลของจำนวนแถวของกลุ่มท่อ

2.2 ทฤษฎีสนามไฟฟ้า

การเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สนามไฟฟ้านั้น ขึ้นอยู่กับแรงเนื่องจากอิเล็กโตรโอสแตติกส์ (EHD force), $\vec{F}_e$ ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรซึ่งเกิดจากสนามไฟฟ้า กระทำต่ออนุภาคของของไหลภายใต้ความเข้มของสนามไฟฟ้า E , dielectric permittivity ϵ ของของไหล ϵ , ความหนาแน่นของประจุ ρ_e ที่อุณหภูมิ T ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [8]

$$\vec{F}_e = \rho_e \vec{E} - \frac{1}{2} \vec{E}^2 \nabla \epsilon + \frac{1}{2} \nabla \left[\vec{E}^2 \rho \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \right) \right]_T \quad (5)$$

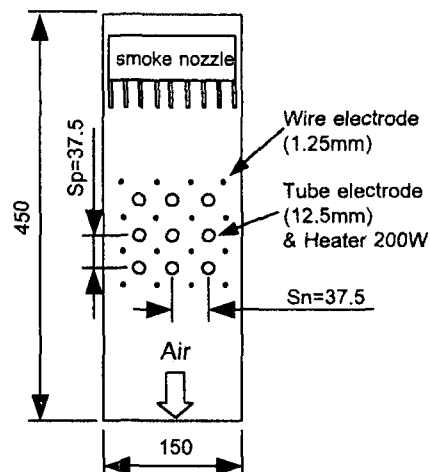
เมื่อเทอมแรกทางด้านขวามือของสมการที่ 5 คือ Coulomb force หรือ electrophoretic force ซึ่งเป็นผลมาจากประจุอิสระรวมทั้งหมด (net free charge) ภายในของไหล และความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งเทอมนี้จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคอย่างมาก เทอมที่สองและสามประกอบด้วย dielectrophoretic และ electrostrictive force ซึ่ง dielectrophoretic force เกิดจากความสัมพัทธ์ระหว่างไฟฟ้าและความร้อนทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลง และสำหรับ electrostrictive force นั้นเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของความเข้มสนามไฟฟ้าในสนามการไหล ดังนั้นถ้าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และความเข้มสนาม

ไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอ เทอมที่สองและสามก็จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมแรก

3. เครื่องมือและวิธีการศึกษา

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและปรากฏการณ์การไหลของอากาศที่ไหลผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า ได้สร้างชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ชุดการไหลมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 150x150x450 มม. ซึ่งทำจากพลาสติกใส ภายในประกอบด้วยชุดแหล่งความร้อนซึ่งเป็นแท่งความร้อนขนาด 200 วัตต์ สวมอัดในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 มม. จำนวน 9 แท่ง วางในแนวเดียวกัน (in-line array) 3x3 แถว

โดยที่ S_n และ S_p เท่ากับ 37.5 มม. และค่า $\frac{S_n}{D}$ และ $\frac{S_p}{D}$ มีค่าเท่ากับ 3 ชุดแหล่งความร้อนจะมีอุปกรณ์ปรับแรงเคลื่อน (variac) เพื่อควบคุมอุณหภูมิ บริเวณรอบๆ แท่งความร้อนจะประกอบด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มม. โดยระยะห่างระหว่างผิวท่อกับอิเล็กโตรดเท่ากับ 30.6 มม. การสร้างสนามไฟฟ้าใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูง (0-25 kV) จ่ายไฟให้กับท่อทองแดงทำหน้าที่เป็นขั้วลบ (-) และลวดทองแดงเป็นขั้วบวก (+) ส่วนชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถป้อนแรงเคลื่อนในการสร้างสนามไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 17 kV เกิดการแตกตัว (break down) ของอากาศ สำหรับชุดสังเกตปรากฏการณ์การไหลนั้นใช้วิธีฉีดควันเข้าไปในสนามการไหล ชุดสร้างควันประกอบด้วยเครื่องสร้างควัน ซึ่งใช้แท่งความร้อนให้ความร้อนกับน้ำมันทำให้เกิดควันขึ้นมา แล้วฉีดควันเข้าไปในสนามการไหลโดย



รูปที่ 1 ชุดทดลองและลักษณะการวางกลุ่มท่อ

ผ่านหัวฉีดสำหรับฉีดควันเข้าไปในสนามการไหลโดยผ่านหัวฉีดสำหรับฉีดควัน ซึ่งติดตั้งอยู่ทางเข้าชุดกลุ่มท่อ

การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยทำได้โดยปรับอัตราการไหลของชุดทดลอง ปรับแรงเคลื่อนที่ป้อนให้กับชุดแห่งความร้อน ทำการวัดค่าแรงเคลื่อนและกระแส วัดอุณหภูมิบริเวณทางเข้า ทางออก และผิวท่อ หลังจากอุณหภูมิของผิวท่ออยู่ในสภาวะคงที่แล้ว จึงเริ่มทำการทดลอง โดยปรับแรงเคลื่อนที่ป้อนให้กับชุดสร้างสนามไฟฟ้าจาก 0-16 kV รอจนถึงสภาวะคงที่ จึงบันทึกอุณหภูมิทางเข้า ทางออก และผิวท่ออีกครั้ง ในการทดลองได้ทดลองที่ความเร็วอากาศบริเวณกลุ่มท่อประมาณ 0.2-1.2 m/s เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ กัน สำหรับการสังเกตปรากฏการณ์การไหลนั้น ทดลองโดยเปิดสวิทช์เครื่องสร้างควันท้องมีควันทะลุสำหรับการสังเกต หลังจากนั้นจึงปล่อยควันเข้าไปในชุดทดสอบโดยผ่านหัวฉีดฉีดควัน ทำการปรับแรงเคลื่อนที่ป้อนให้กับชุดสร้างสนามไฟฟ้า โดยปรับจาก 0-16 kV สังเกตและบันทึกภาพปรากฏการณ์การไหลที่เกิดขึ้นด้วยกล้องวิดีโอ หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเร็วของอากาศให้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) โดยที่ Q คือปริมาณความร้อนของแห่งความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอากาศ เมื่อ Q คำนวณได้จากสมการ

$$Q = \frac{V^2}{R} = IV \quad (6)$$

เมื่อ I คือ กระแส R คือ ความต้านทานไฟฟ้า และ V คือแรงเคลื่อน

พื้นที่ผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน A ของแห่งความร้อน N แห่ง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A = N\pi dL \quad (7)$$

อุณหภูมิแตกต่างเชิงล็อก ΔT_{lmtd} หาได้จากสมการ

$$\Delta T_{\text{lmtd}} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln[(T_s - T_i)/(T_s - T_o)]} \quad (8)$$

เมื่อ T_s คือ อุณหภูมิผิวแห่งความร้อน T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้ากลุ่มท่อ และ T_o คือ อุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากกลุ่มท่อ

สำหรับอัตราส่วนการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเมื่อใช้สนามไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta = \frac{\bar{h}_{\text{EHD}}}{\bar{h}_0} \quad (9)$$

เมื่อ $\bar{h}_0$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกรณีที่ไม่ใช้สนามไฟฟ้า

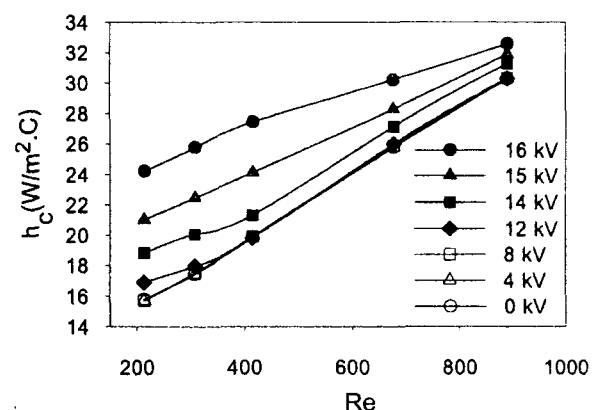
พลังงานที่ให้กับสนามไฟฟ้า, Q_{EHD} สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{\text{EHD}} = \Phi I \quad (10)$$

เมื่อ Φ และ I คือ แรงเคลื่อนและกระแสที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อ

จากการทดลอง ได้ทดลองเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อ ในกรณีที่ไม่มีการมีสนามไฟฟ้าที่แรงเคลื่อนสูงต่างๆ กัน และเปลี่ยนความเร็วของอากาศที่ผ่านกลุ่มท่อที่ความเร็วต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2 จากการเปรียบเทียบที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เดียวกันพบว่า สนามไฟฟ้าช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เฉลี่ยของกลุ่มท่อเพิ่มขึ้น และแปรผันตรงกับแรงเคลื่อนสูงที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้า จากรูปที่ 2 ช่วงแรงเคลื่อน 0-8 kV จะพบว่าสนามไฟฟ้าไม่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเริ่มเพิ่มขึ้นที่แรงเคลื่อน 12 kV ซึ่งเป็นช่วงที่เกิด corona wind จากการทดลองที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่สนามไฟฟ้าไม่มีผลและมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ได้ดังนี้

ช่วง $0 \leq V \leq 8$ kV

$$Nu = 0.4885 Re^{0.4891} \quad (11)$$

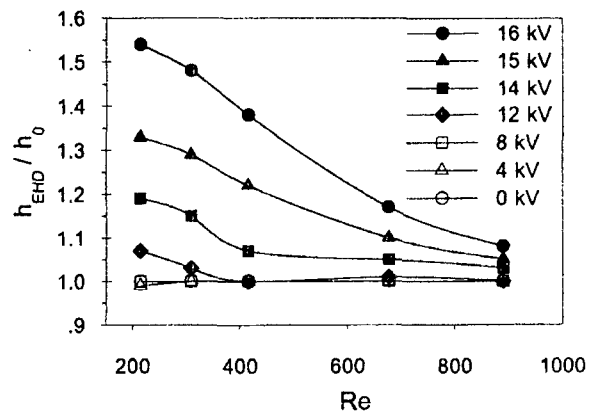
ช่วง $12 \leq V \leq 16$ kV

$$Nu = 2.0277 Re^{0.298} \left(\frac{V}{V_{max}} \right)^{1.15} \quad (12)$$

เมื่อ V เป็นแรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้า และ V_{max} เป็นแรงเคลื่อนสูงสุดที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้าที่ 16 kV

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อจะเริ่มเพิ่มขึ้นที่แรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้ามีค่า 12 kV ขึ้นไปสำหรับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่ำกว่า 400 และที่สนามไฟฟ้า 14 kV ขึ้นไปในกรณีที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงกว่า 400 เนื่องจากแรงอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์ (EHD force), F_E จากสมการที่ (5) ที่แรงเคลื่อนต่างๆ นั้นยังมีไม่มากพอที่จะไปช่วยเสริมแรงเนื่องจากการไหลของของไหล จึงไม่มีผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และพบว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงขึ้น อัตราส่วนการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจะลดลง แสดงในรูปที่ 3 อัตราส่วนการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมีค่า 1.54 ที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ 213.3 และแรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้ามีค่า 16 kV

จากการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้เพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่ใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว (ไม่ใช้สนามไฟฟ้า) และกรณีที่ใช้สนามไฟฟ้า พบว่ากรณีที่ใช้สนามไฟฟ้าช่วยเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนใช้พลังงานน้อยกว่ากรณีที่ใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว โดยเปรียบเทียบที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเท่ากัน เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ 213.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3 อัตราส่วนการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน (Enhancement factor, η)

เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก $15.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ เป็น $21.03 \text{ W/m}^2\cdot\text{C}$ วิธีที่ใช้สนามไฟฟ้าใช้พลังงานเท่ากับ 1.35 วัตต์ ที่แรงเคลื่อน 15 kV แต่ในกรณีที่ใช้พัดลมเพียงอย่างเดียวต้องจ่ายพลังงานให้กับพัดลม 3.5 วัตต์ ซึ่งมากกว่าวิธีใช้สนามไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่าแรงเคลื่อนที่เหมาะสมที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้าคือ 15 kV เพราะจะช่วยประหยัดพลังงานได้สูงสุด

4.2 ปรากฏการณ์การไหลภายใต้สนามไฟฟ้า

การสังเกตปรากฏการณ์การไหลของอากาศผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า จากรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างปรากฏการณ์การไหลที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ 213.3 เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนให้กับสนามไฟฟ้าเริ่มจาก 0-8 kV ลักษณะการไหลของควันที่ไหลผ่านกลุ่มท่อไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะการไหลจะเริ่มเปลี่ยนแปลงที่ 12 kV ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มเกิด corona wind สังเกตได้จากบริเวณกลุ่มท่อแถวล่างมีการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเริ่มเพิ่มขึ้นที่ 12 kV ดังรูปที่ 3 เมื่อเพิ่มแรงเคลื่อนเป็น 14 kV และ 15 kV ลักษณะการไหลของของไหลจะปั่นป่วนมากขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะที่ 16 kV และ 17 kV กลุ่มควันบริเวณกลุ่มท่อจะปั่นป่วนมากจนมองไม่เห็นลักษณะการไหล แต่สังเกตได้จากกลุ่มควันบริเวณกลุ่มท่อแถวบนสุด จะเห็นว่าเกิดการหมุนวนอย่างรุนแรง

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดลองการใช้สนามไฟฟ้าเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อ และสังเกตจากการศึกษาและทดลองการใช้สนามไฟฟ้าเพิ่มความสามารถใน

การถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อ และสังเกตปรากฏการณ์การไหลภายใต้สนามไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การใช้สนามไฟฟ้าช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อ สามารถช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อได้ และเหมาะที่จะใช้กับการไหลที่มีค่าเรย์โนลด์ส์ต่ำๆ เช่น ที่ Re 213.3 และแรงเคลื่อนที่ใช้สร้างสนามไฟฟ้า 16 kV ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มท่อเพิ่มขึ้น 1.54 เท่า

5.2 การไหลที่ค่า Re เพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สนามไฟฟ้าจะลดลง

5.3 การใช้สนามไฟฟ้าช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกลุ่มท่อที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว

5.4 สนามไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่เกิด corona wind สังเกตได้จากกลุ่มควันทะลุผ่านสนามไฟฟ้าปั่นป่วนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] G.F. Hewitt, G.L. Shires, and T.R. Bott, "Process Heat Transfer", CRC Press., 1994
- [2] L.L. Vasiliev, "The enhancing heat transfer of heat pipe by electric field", Proceeding of 7th International Heat Pipe Conference, Vol.1, 1993, pp. 563-567
- [3] A. Yabe, "Active heat transfer enhancement by applying electric fields", Proceeding ASME/JSME Thermal Engineering, Vol.3, 1991, pp. xv-xxiii
- [4] P.G.H Allen, and T.G. Karayiannis, "Electrohydrodynamic enhancement of heat transfer and fluid flow", Heat Recovery System & CHP, Vol. 15, No.5, 1995, pp. 389-423
- [5] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, สันติ หวังนิพนพานโต และ จีรวรรณ เตียรุสสุวรรณ, "ผลของการใช้สนามไฟฟ้าในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในของเหลวไดอิเล็กทริก", วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 22, ฉบับที่ 1, 2542, หน้า 93-106
- [6] Y. Tada, A. Takimoto, and Y. Hayashi, "Heat transfer enhancement in a convective field by applying ionic wind", Journal of Enhanced Heat transfer, Vol.4, No.2, 1997, pp. 71-86
- [7] J.P. Holman, "Heat Transfer", 7th ed., McGraw-Hill International (UK), 1992
- [8] J.A. Stratton, "Electromagnetic theory", McGraw-Hill. New York, 1941

รายการสัญลักษณ์

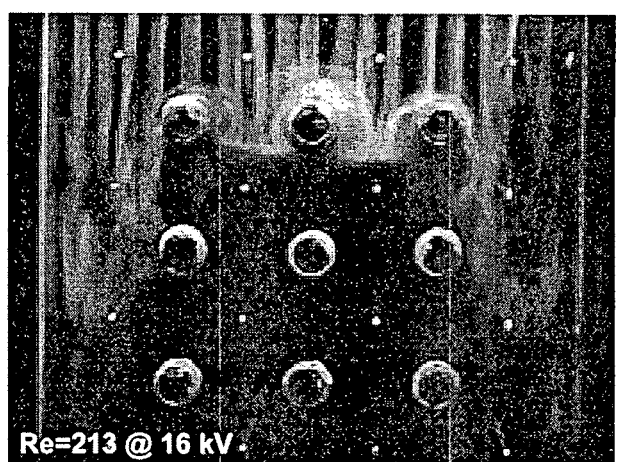
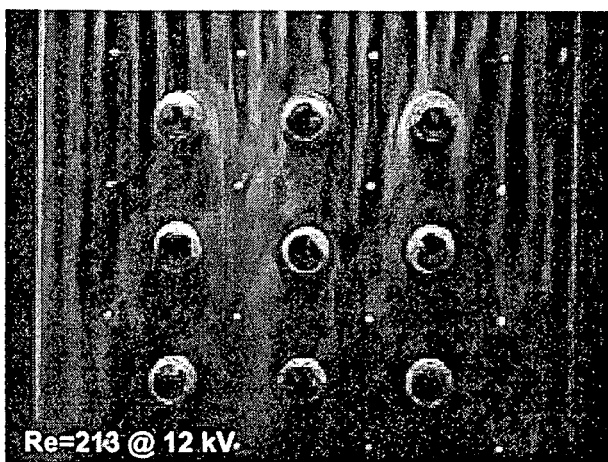
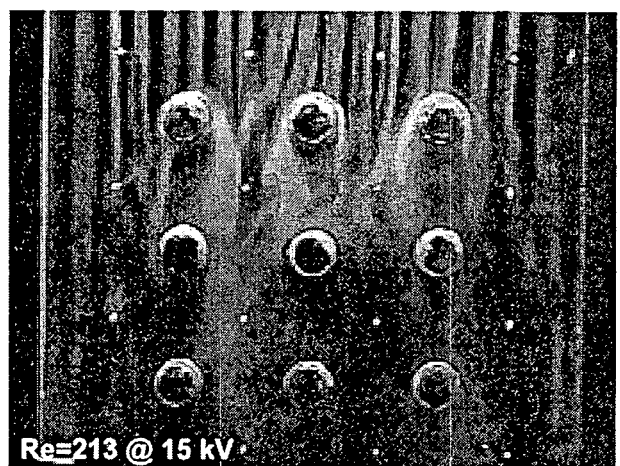
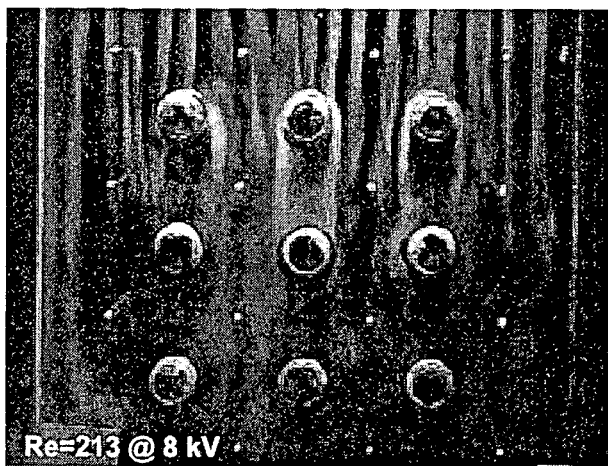
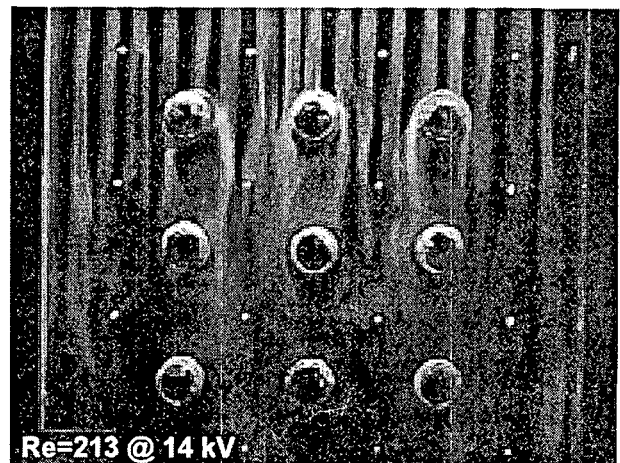
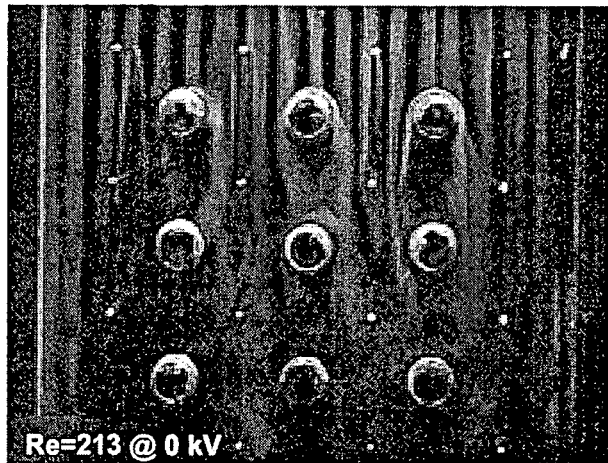
A	=	Area (m^2)
d	=	Diameter (m)
E	=	Electric field strength (V/m)
$\bar{F}_e$	=	Electrohydrodynamic body force (N/m^3)
h	=	Heat transfer coefficient ($W/m^2.C$)
I	=	Applied electric field or heater current (A)
K	=	Thermal conductivity ($W/m.C$)
L	=	Test section tube length
Nu	=	Nusselt Number
Pr	=	Prandtl Number
Q	=	Heat transfer rate (W)
Q_{EHD}	=	EHD power consumption (W)
Re	=	Reynolds Number
S_n	=	Pitch in the normal direction of flow (m)
S_p	=	Pitch in the parallel direction of flow (m)
T	=	Temperature ($^{\circ}C$)
ΔT_{lmt}	=	Log mean temperature difference ($^{\circ}C$)
V	=	Applied heater potential (V)

Greek Letters

ϵ	=	Dielectric permittivity (F/m)
ρ	=	Density (kg/m^3)
ρ_e	=	Electric charge density (C/m^3)
η	=	Enhancement factor
Φ	=	Applied electric field potential (V)

Subscripts

0	=	0 kV
EHD	=	Electrohydrodynamics
f	=	Film
i	=	Inner
max	=	Maximum supplied voltage 16 kV
o	=	Outer
s	=	Tube surface



รูปที่ 4 ลักษณะการไหลของอากาศที่ไหลผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า