

การเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยการใช้สนามแม่เหล็ก

Performance Enhancement of Shell and Tube Heat Exchangers by Magnetic Field

กันย์ วงศ์เกษม และ บุญสร้าง ดิเรกสถาพร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002

โทร. (043)244296 E-mail :Kanwongkasem@hotmail.com

Kan wongkasem and Boonsrang Direksataporn

Department of Mechanical Engineering ,Faculty of Engineering ,Khonkean University

A.muang Khonkean 40002,Thailand

Tel.(043) 244296

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อโดยการใช้สนามแม่เหล็ก กระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยให้สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อและเปลือกท่อ โดยการวิเคราะห์หาคำตอบ ได้ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ และวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมแอนซิส (Ansys) รวมทั้งได้ทดสอบความถูกต้องของการคำนวณทางทฤษฎี โดยการสร้างเครื่องมือทดลองเปรียบเทียบ เมื่อของไหลที่ใช้ทดลองคือน้ำ พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของสนามแม่เหล็ก โดยที่ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่มขึ้นจาก 0-0.23 เทสลา รอดอุณหภูมิเข้าเย็นขาออกจากท่อมักสูงขึ้น อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกจากเปลือกท่อมักลดลงสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ สมประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณเป็นอย่างดี ดังนั้นการใช้สนามแม่เหล็กจึงเป็นแนวทางที่ดีอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ

Abstract

This study for Performance Enhancement of Shell and Tube Heat Exchangers by Magnetic Field has produced mathematical model owing to the fact that, magnetic field has the direction crosses fluid movement, both internal and external of tube. For analyzing the results used mathematical method by solve

differential equation and numerical method by program finite element (Ansys). Including examine theoretical accuracy by producing experimental equipment. The experiment fluid is water. Magnetic flux have been compared from 0-0.23 Tesla. Indicate that, outlet temperature of cold water is increased and outlet temperature of hot water is decreased about 2 Celsius .Quantity of heat transfer increased, temperature efficiency increased about 5 Percents, heat transfer coefficients increased were found These, increasingly effect the heat efficiency of heat exchanger by 7 percent. More over, result of experiment and results of simulation were similar as well. Which could be the way for Performance Enhancement of shell and tube heat exchanger in another ways.

1. บทนำ

การเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์ต่างๆมีวิธีการหลักๆอยู่ 2วิธีคือ Passive technique ซึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายในของอุปกรณ์ เช่นการเพิ่มพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน การเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลของของไหลบริเวณที่มีการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น และ Active technique ซึ่งคือวิธีการนำพลังงานในรูปแบบต่างๆ จากภายนอกเข้ามาช่วยเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อน การใช้พลังงานจากสนามแม่เหล็กก็เป็นวิธีการอันหนึ่งที่สามารถเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ [6] โดยได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาผลของสนามแม่เหล็กต่ออุณหภูมิและความเร็วของของไหลในกรณีการพาความร้อนแบบบังคับในท่อ [7] และในกรณีการพาความร้อนแบบอิสระบนแผ่นโลหะที่วางอยู่ในแนวตั้ง และในแนวราบ [3],[1]

โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อของไหลที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงและพลังงานขึ้นในตัวของไหล ซึ่งแรงดังกล่าวจะไปช่วยเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อน และยังส่งผลถึงการเพิ่มหรือหน่วงการกระจายความเร็วของของไหล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็ก บทความนี้จะนำเอาหลักการดังกล่าวไปใช้ในการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบเปลือกและท่อ โดยในการศึกษาได้เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สภาวะคงตัวจะพิจารณาผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่ออุณหภูมิและความเร็วในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการหาคำตอบ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และวิธีการวิเคราะห์ทางตัวเลข และผลที่ได้ยังนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2. พลังงานและแรงจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับของไหล

ของไหลที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิด แรงขึ้นในตัวของไหล (Electromotive Force) ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของของไหล และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก สนามแม่เหล็กจะสร้างแรงจากการเหนี่ยวนำ ให้เกิดขึ้นกับวัตถุตัวนำ เพื่อหน่วงหรือเพิ่มการเคลื่อนที่ของของไหล และกำหนดงานเนื่องจากความร้อน และทำให้ของไหลมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เมื่อของไหลมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าสูงๆ หรือมีค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กสูงจะสามารถรับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กได้มากขึ้น

โดยกระแสการ เหนี่ยวนำในของไหล (Current Density) คือ

$$J = \sigma (\mu \times B) \quad (1)$$

และแรงที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในของไหลคือ

$$F_m = J \times B = \sigma \mu B^2 \quad (2)$$

โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในของไหลมีค่า

$$W_m = \frac{J \times J}{\sigma} = \sigma \mu^2 B^2 \quad (3)$$

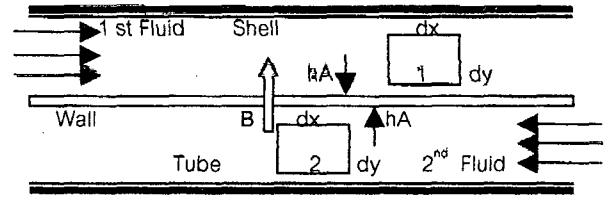
เมื่อ B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (เทสลา)

σ = ค่าการนำทางไฟฟ้า (ซีเมนส์/เมตร)

μ = ค่าความเร็วของของไหล (เมตร/วินาที)

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้กำหนดให้ของไหลชนิดที่ 1 ไหลในเปลือกท่อ ของไหลชนิดที่ 2 ไหลในท่อโดยของไหลทั้ง 2 ชนิดไหลสวนทางกัน สนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับของไหลทั้งสอง โดยพิจารณาส่วนของของไหลที่ 1 และ 2 ในปริมาตรควบคุม ที่มีความหนาเท่ากับ 1 หน่วย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ของไหลในท่อและเปลือกท่อกับสนามแม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลที่เข้าและออกจากปริมาตรควบคุม โดยอาศัยกฎการอนุรักษ์มวล กฎของโมเมนตัม และกฎทรงพลังงาน ในกรณีที่มีสนามแม่เหล็ก จะได้สมการสภาวะต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน ของของไหลทั้งในเปลือกท่อและในท่อ ที่สภาวะคงตัวดังสมการที่ 4,5,6

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{dp}{dx} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\sigma B^2 u}{\rho} = 0 \quad (5)$$

$$\rho c \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \sigma B^2 u^2 \quad (6)$$

โดยมีสมมุติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

- 1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นในแนวแกน X เท่านั้น
- 2) การเปลี่ยนแปลงความเร็วเกิดขึ้นในแนวแกน X เท่านั้น
- 3) ค่าความจุความร้อน $(mc)_s, (mc)_t$ มีค่าคงที่
- 4) ค่าตัวนำแบบการพาความร้อน $(hA)_s, (hA)_t$ มีค่าคงที่
- 5) ไม่มีความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อน ในเส้นทางการไหลของของไหล
- 6) ไม่มี Thermal resistant ในผนัง สำหรับการไหล
- 7) พลังงานจากสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ตลอดเส้นทางการไหล

จากสมการสภาวะต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงานโดยใช้สมมุติฐานดังกล่าว จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อดังนี้

สมการของไหลในท่อ

$$h_t A_t (T_w - T_t) = \rho_t c_t A_t L \left(u \frac{\partial T_t}{\partial x} \right) + \sigma B_t^2 u_t^2 A_t L \quad (7)$$

สมการของไหลในเปลือกท่อ

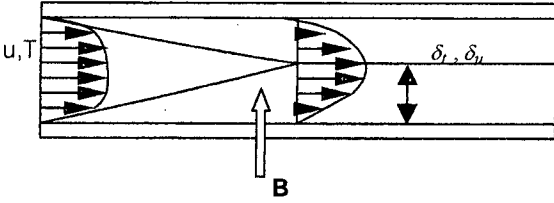
$$h_s A_s (T_w - T_s) = \rho_s c_s A_s L \left(u \frac{\partial T_s}{\partial x} \right) + \sigma B_s^2 u_s^2 A_s L \quad (8)$$

สมการผนังท่อ

$$h_t A_t (T_t - T_w) + h_s A_s (T_s - T_w) = 0 \quad (9)$$

4. ผลของสนามแม่เหล็กต่ออุณหภูมิและความเร็วของของไหล

ในกรณีที่ของไหลไหลในท่อและเปลือกท่อ มีลักษณะเป็นการไหลแบบราบเรียบจะเกิดบาวตารีเลเยอร์ของอุณหภูมิและความเร็วเกิดขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของของไหล จากรูปแสดงบาวตารีเลเยอร์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับการไหล



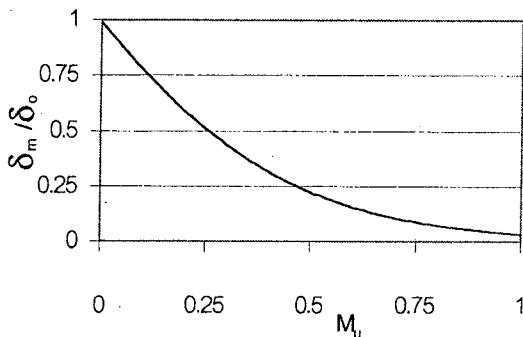
รูปที่ 2 บาวตารีเลเยอร์ของอุณหภูมิและความเร็ว

จากสมการที่ (5) เมื่อไม่คิดความดันที่เปลี่ยนแปลง และใช้วิธีไมเนตัมอินทิกรัลในการหาผลของสนามแม่เหล็กต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วในบาวตารีเลเยอร์ จะได้สัดส่วนของความหนาของบาวตารีเลเยอร์ในกรณีที่สนามแม่เหล็กต่อกรณีที่ไม่มสนามแม่เหล็กดังนี้

$$\frac{\delta_m}{\delta_o} = \frac{0.334}{M_u^{1/2}} (e^{8.97M} - 1)^{1/2} \quad (10)$$

เมื่อ M_u คือพารามิเตอร์ทางแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

$$M_u = \frac{\sigma B^2 x}{\rho u_\infty}$$



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของบาวตารีเลเยอร์ของความเร็วกับสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มค่าของสนามแม่เหล็กให้มีค่ามากขึ้น สัดส่วนของบาวตารีเลเยอร์ของความเร็ว จะมีค่าลดลงแสดงว่าสนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับของไหลส่งผลให้การกระจายความเร็วในบาวตารีเลเยอร์ของความเร็วลดลง การศึกษาผลของสนามแม่เหล็กต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อน จากสมการที่ (6) ใช้วิธีเอนเนอร์ยีอินทิกรัล ดังนั้นจะได้สัดส่วนของนัสเซลท์นัมเบอร์กรณีที่มีและไม่มีสนามแม่เหล็กคือ

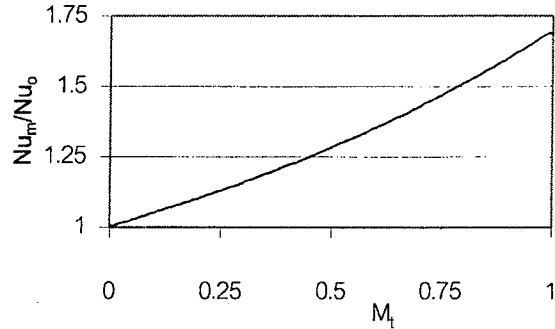
$$\frac{Nu_m}{Nu_0} = \left(\frac{5.33 M_t Ec}{1 - e^{-5.33 M_t Ec}} \right)^{1/2} \quad (11)$$

เมื่อ M_t คือพารามิเตอร์ทางแม่เหล็กมีค่าเท่ากับ

$$M_t = \frac{8 \sigma B^2 u_\infty}{3 \theta_a \rho c_p}$$

เมื่อ Ec (Eckert number) มีค่าเท่ากับ

$$Ec = \frac{u_\infty^2}{c_p \theta_\infty}$$



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนของนัสเซลท์นัมเบอร์กับสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มค่าของสนามแม่เหล็กให้มีค่ามากขึ้น สัดส่วนของนัสเซลท์นัมเบอร์ จะมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงตั้งฉากกับของไหลทำให้นัสเซลท์นัมเบอร์มีค่าเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ของไหลมีอุณหภูมิสูงขึ้น

5. การวิเคราะห์หาอุณหภูมิของของไหลโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์

ที่สภาวะคงตัวจากสมการที่ (7),(8)และ(9) จะได้สมการดิฟเฟอเรนเชียล ในเทอมของอุณหภูมิของของไหลในท่อและในเปลือกท่อ

$$\frac{dT_s}{dx} - K_1 T_s = -K_2 X - C_1 \quad (12)$$

$$\frac{dT_l}{dx} + K_3 T_l = -K_4 X - C_l \quad (13)$$

เมื่อ

$$K_1 = \left(\frac{Bs(Bs.Dt - Ds.Bt)}{Ds.Dt(Bt + Bs)} - \frac{Bs}{Ds} \right)$$

$$K_2 = \left(\frac{Bs.Bt.M_s}{Dt(Bt + Bs)} + \frac{Bt.Bs.M_t}{Ds(Bt + Bs)} \right)$$

$$K_3 = \left(\frac{-(Bs.Dt - Ds.Bt)}{Ds.Dt(Bt + Bs)} \cdot \frac{Bt}{Dt} - \frac{Bt}{Dt} \right)$$

$$K_4 = \left(\frac{Bs.Bt.M_t}{Ds(Bt + Bs)} + \frac{Bt.Bs.M_s}{Dt(Bt + Bs)} \right)$$

โดยที่

$$Mt = \frac{\sigma_t B_t^2 u_t}{L \rho_t c_t A_t}$$

$$Ms = \frac{\sigma_s B_s^2 u_s}{L \rho_s c_s A_s}$$

$$Bt = \rho_t c_t A_t L u_t$$

$$Bs = \rho_s c_s A_s L u_s$$

$$Dt = h_t A_t$$

$$Ds = h_s A_s$$

โดยวิธีการเทียบสัมประสิทธิ์ จะได้คำตอบของสมการที่ (12) และ (13) ดังนี้

อุณหภูมิของของไหลในเปลือกท่อ

$$T_s = (T_{si} + \frac{M_s}{K_1})e^{k_1 x} - \frac{M_s}{K_1} \quad (14)$$

อุณหภูมิของของไหลในท่อ

$$T_t = (T_{ti} - \frac{M_t}{K_3})e^{-k_3 x} + \frac{M_t}{K_3} \quad (15)$$

อุณหภูมิของของไหลในท่อและเปลือกท่อในสภาวะคงตัว จากสมการที่ (7),(8) และ(9) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเทอมไร้มิติได้ดังนี้

$$Ntu \frac{(1+R)}{R} (\theta_t - \theta_w) + Ntu(1+R)(\theta_s - \theta_w) = 0 \quad (16)$$

$$N_a(\theta_w - \theta_s) = \frac{\partial \theta_s}{\partial x} + M_s \quad (17)$$

$$N_b(\theta_w - \theta_t) = \frac{\partial \theta_t}{\partial x} + M_t \quad (18)$$

โดยที่

$$X = x / L$$

$$E = (wc)_t / (wc)_s$$

$$R = (hA)_t / (hA)_s$$

$$1 / Ntu = (wc)_{\min} \left(\frac{1}{(hA)_s} + \frac{1}{(hA)_t} \right)$$

$$N_a = (hA)_s / (wc)_s$$

$$N_b = (hA)_t / (wc)_t$$

$$\theta_w = \frac{T_w}{T_{wi}}$$

$$\theta_t = \frac{T_t}{T_{ti}}, \theta_s = \frac{T_s}{T_{si}}$$

$$M_s = \frac{\sigma_s B_s^2 u_s}{L \rho_s c_s A_s}, M_t = \frac{\sigma_t B_t^2 u_t}{L \rho_t c_t A_t}$$

ใช้ความสัมพันธ์ของสมการในเทอมไร้มิติสมการที่ 16,17,18 โดยใช้วิธีการเทียบสัมประสิทธิ์หาคำตอบของสมการดิฟเฟอเรนเชียลได้

อุณหภูมิของไหลในท่อ ในเทอมไร้มิติ

$$\theta_t = (\theta_{ti} + \frac{M_t}{K_3})e^{K_3 X} - \frac{M_t}{K_3} \quad (19)$$

อุณหภูมิของไหลในเปลือกท่อ ในเทอมไร้มิติ

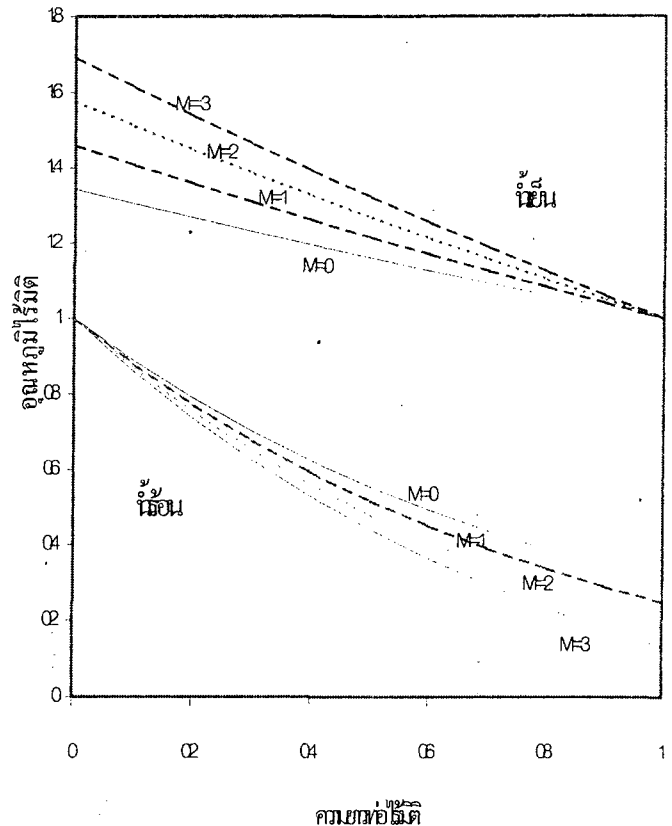
$$\theta_s = (\theta_{si} - \frac{M_s}{K_4})e^{-K_4 X} + \frac{M_s}{K_4} \quad (20)$$

เมื่อ

$$K_4 = \left(\frac{Nb + Na}{R + 1} \right) - \frac{1}{Nb}$$

$$K_3 = (Na + Nb) \left(\frac{R}{R + 1} \right) - Na$$

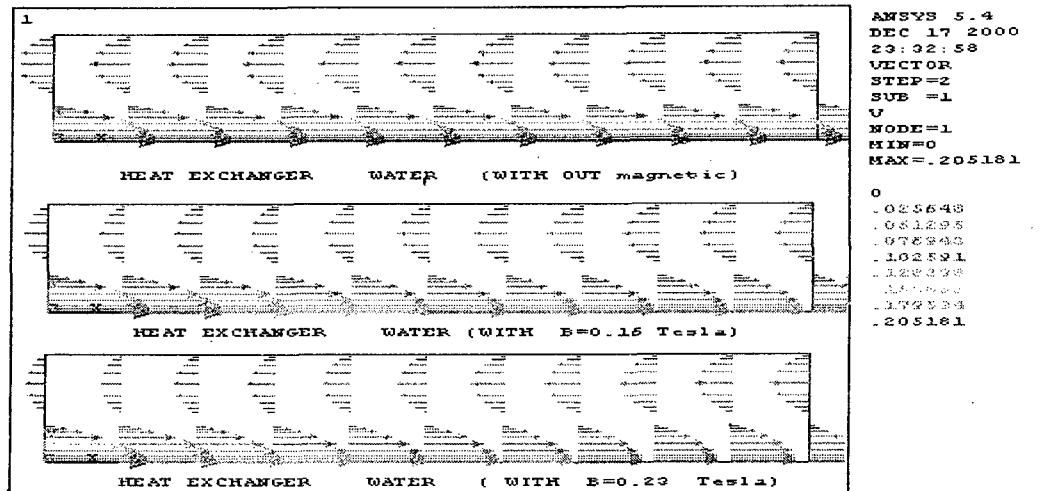
จะได้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิไร้มิติและความยาวไร้มิติดังรูป



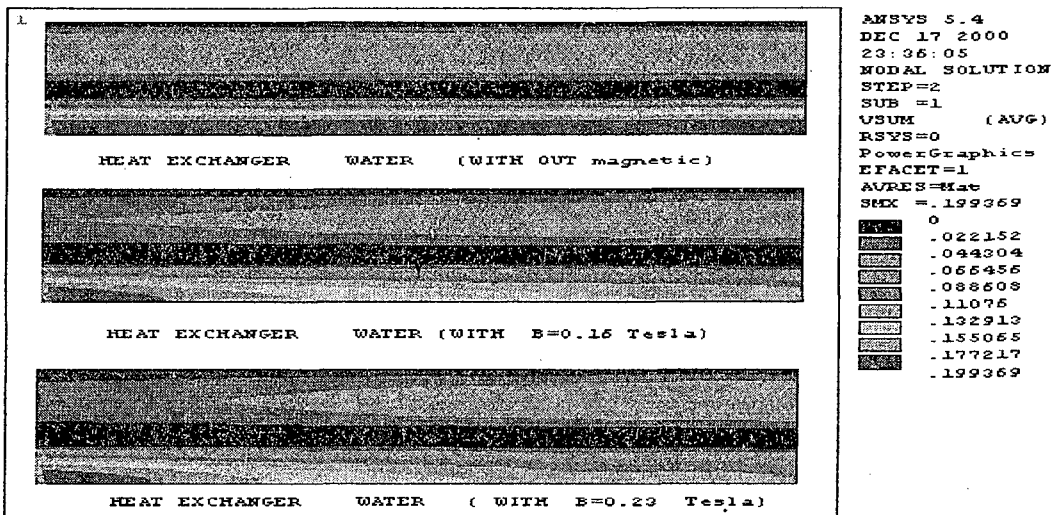
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไร้มิติกับความยาวไร้มิติ

6.การคำนวณหาคำตอบโดยใช้วิธีการเชิงตัวเลข

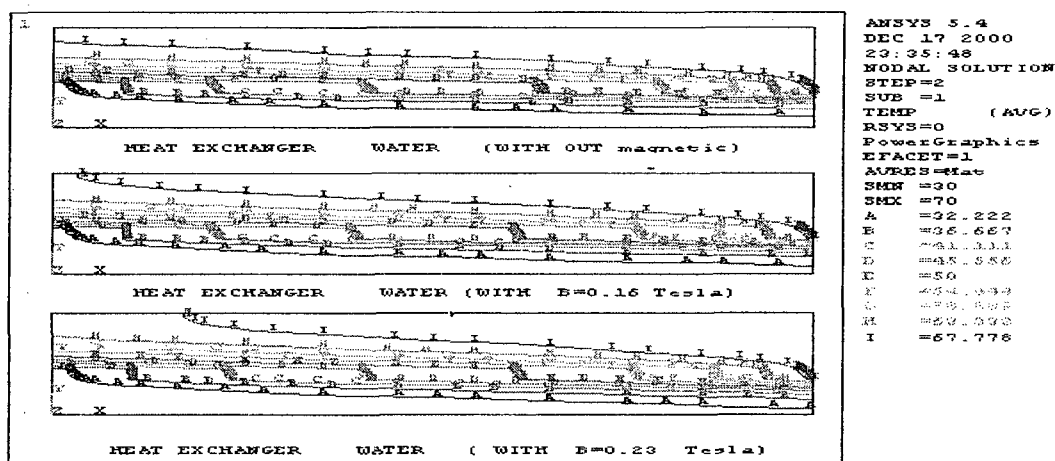
ในการคำนวณหาคำตอบของ Velocity และ Temperature profiles ได้ใช้โปรแกรมแอนซิส ซึ่งเป็นโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป โดยแบ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนออกเป็นเอเลเมนต์ย่อย โดยใช้ระบบ 4 Node (Quadrilateral) คัดเพียงครึ่งส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากสมมาตรกัน กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น โดยกำหนดความเร็วในแนวแกน X และ Y โดยกำหนดความเร็วที่ผนังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเป็นศูนย์กำหนดอุณหภูมิขาเข้า ความดันขาเข้าและขาออกในท่อและเปลือกท่อ จากนั้นก็กำหนดภาระหรือแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (Electromotive Force) ในแต่ละ Node ที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กค่าต่าง ๆ กัน การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนระหว่างสองสภาวะ ใช้ค่าสั่ง Cmix กำหนดคุณสมบัติของของไหลและวัสดุที่ใช้ทำผนังท่อ เลือกเงื่อนไขในการหาคำตอบ ซึ่งสามารถแสดงผลในรูปของอุณหภูมิและความเร็ว ซึ่งนำค่าที่ได้จากการคำนวณ ทดลองแทนค่ากรณีที่ต้องการศึกษาลงในโปรแกรม ที่เขียนขึ้น เมื่อให้น้ำร้อนเข้าในเปลือกท่อมืดอุณหภูมิ 70 C และน้ำเย็นเข้าในท่อที่อุณหภูมิ 30 C อัตราการไหลของ น้ำร้อน และ น้ำเย็น มีค่า 300 ลิตร/ชั่วโมงที่อิทธิพลของสนามแม่เหล็กค่าต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ความเร็วของน้ำในท่อและเปลือกท่อกับสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลง Velocity Profile ของน้ำในท่อและเปลือกท่อกับสนามแม่เหล็ก

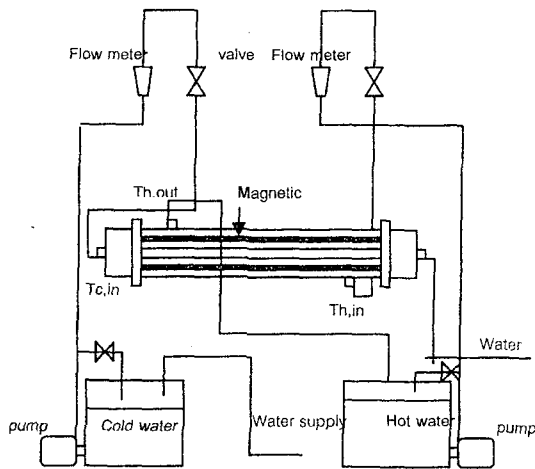


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลง Temperature Contour Line ของน้ำในท่อและเปลือกท่อกับสนามแม่เหล็ก

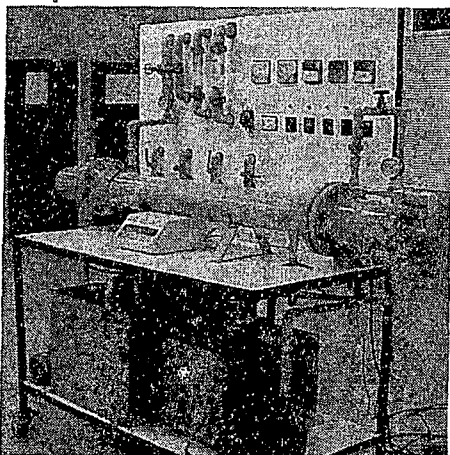
จากการวิเคราะห์ด้วย Ansys พบว่าสนามแม่เหล็ก หนึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลทำให้ ความเร็วมีค่าลดลง ส่วนอุณหภูมิของน้ำร้อนมีค่าลดลง อุณหภูมิของน้ำเย็นมีค่าสูงขึ้น ส่งผลถึงการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้น ซึ่งแปรผันตามค่าของสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น

7. เครื่องมือทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองถูกสร้างขึ้นโดยของไหลที่ใช้ในการทดลองคือน้ำ และใช้แม่เหล็กถาวรขั้วเหนือและขั้วและขั้วใต้ เป็นตัวกำเนิดพลังงาน ซึ่งประกอบอยู่ระหว่างด้านบนและด้านล่างของท่อ โดยที่สามารถปรับระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็กได้ น้ำเย็นถูกปั๊มให้ไหลในท่อ และน้ำร้อนถูกปั๊มให้ไหลในเปลือกท่อ โดยมีทิศทางการสวนทางกัน อัตราการไหลสามารถอ่านค่าได้จาก Flow Meter และใช้เทอร์โมคัปเบิลวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกทั้งหมด 4 จุดดังแสดงรูป



รูปที่ 9 แผนภาพของเครื่องมือทดลอง



รูปที่ 10 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

8. สมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกรณีที่มีสนามแม่เหล็ก และกรณีที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบได้จากค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก อัตราการถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ประสิทธิภาพของอุณหภูมิและประสิทธิภาพทางความร้อน ดังสมการที่ (21) ถึงสมการที่ (25) อุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก

$$\Delta T_{in, mag} = \frac{\Delta T_{o, mag} - \Delta T_{i, mag}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{o, mag}}{\Delta T_{i, mag}}\right)} \quad (21)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q_{mag} = m_c c_{p,c} (T_{c, out, mag} - T_{c, in, mag}) = m_h c_{p,h} (T_{h, in, mag} - T_{h, out, mag}) \quad (22)$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$U_{o, mag} = \frac{Q_{mag}}{\Delta T_{in, mag} A} \quad (23)$$

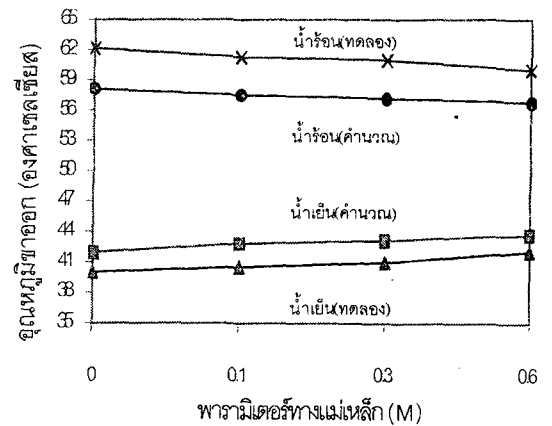
ประสิทธิภาพของของอุณหภูมิ

$$\eta_{mag} = \frac{T_{c, out, mag} - T_{c, in}}{T_{h, in} - T_{c, in}}, \quad \eta_{mag} = \frac{T_{h, in} - T_{h, out, mag}}{T_{h, in} - T_{c, in}} \quad (24)$$

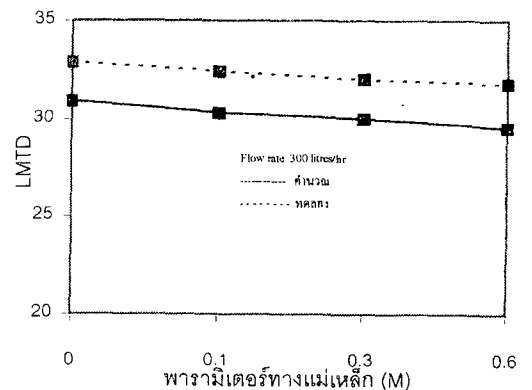
ประสิทธิภาพทางความร้อน

$$Eff = \frac{Q_{mag} - Q}{Q} \quad (25)$$

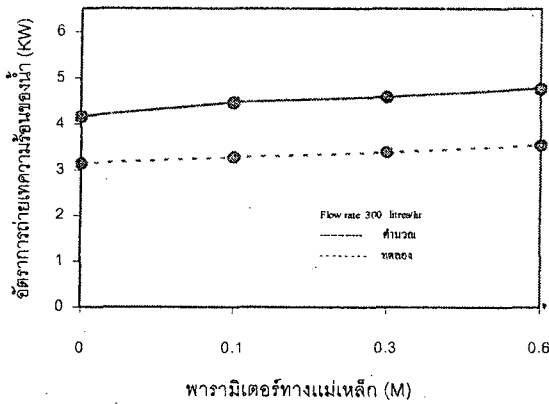
9. ผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ



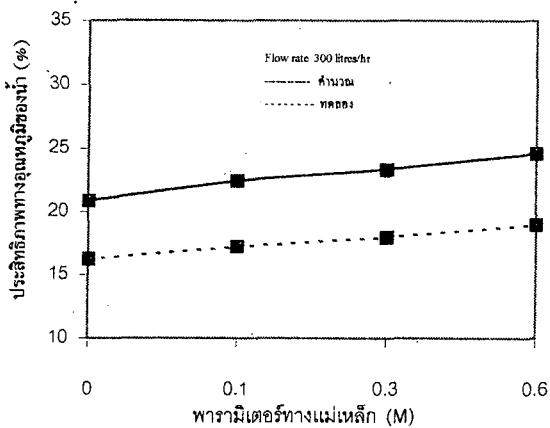
รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำขาออกกับพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก



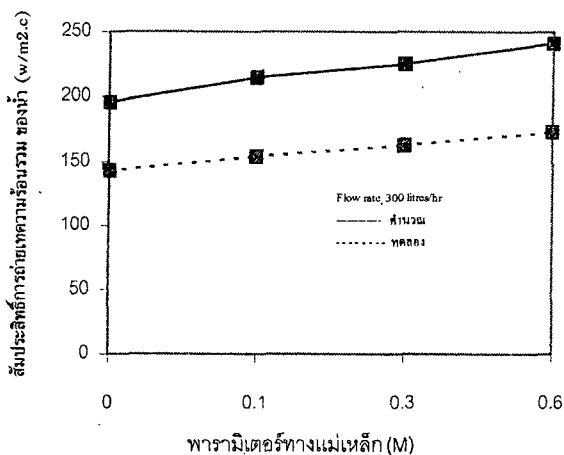
รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของค่า LMTD กับพารามิเตอร์ ทางแม่เหล็ก



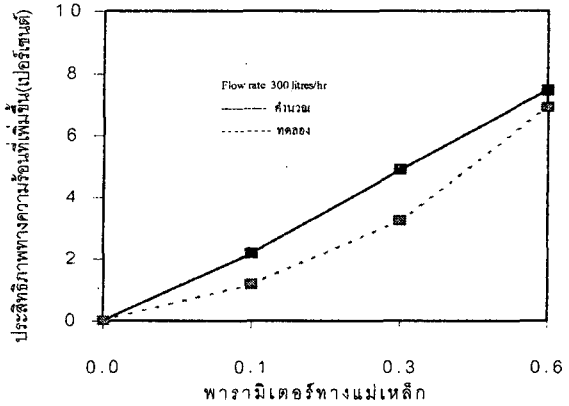
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนกับพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของอุปกรณ์กับพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก

10. สรุปผล

การศึกษาการใช้สนามแม่เหล็กในการเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของน้ำพบว่า สนามแม่เหล็กมีผลต่อการหน่วงการเคลื่อนที่และเพิ่มการกระจายตัวของน้ำ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกันได้ดีขึ้น โดยที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0-0.23 เทสลา พบว่าอุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกที่มีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิของน้ำร้อนขาออกที่มีค่าลดลง ประมาณ 2 องศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สนามแม่เหล็ก ซึ่งผลการคำนวณและผลการทดลองสอดคล้องกันเป็นอย่างดี พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณการถ่ายเทความร้อนคือ คุณสมบัติของสนามแม่เหล็ก และคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของของไหล เมื่อสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กและความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กมาก จะสามารถสร้างแรงและพลังงานให้เกิดขึ้นกับของไหลได้มากขึ้น และเมื่อของไหลที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สูงก็สามารถรับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กได้มากขึ้นเช่นกัน

สัญลักษณ์

- A = พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (m²)
- B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Tesla)
- c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (KJ/kg.C)
- F = แรงที่เกิดจากกระแสการเหนี่ยวนำ (N)
- h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (J/m².C.s)
- hA = ค่าตัวนำความร้อนแบบการพา (J/ C.S)
- J = กระแสการเหนี่ยวนำ (N/m.A)
- k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (w/ m.c)
- M = ค่าพารามิเตอร์ทางแม่เหล็ก
- T = อุณหภูมิของของไหล (C)
- u = ความเร็วในแนวแกน x (m/s)
- v = ความเร็วในแนวแกน y (m/s)

- V = ปริมาตร (m^3)
 x = ระยะทางในแนวแกน x (m)
 y = ระยะทางในแนวแกน y (m)
 σ = ค่าการนำไฟฟ้า (Semen/m)
 ρ = น้ำหนักจำเพาะ (kg/m^3)

สัญลักษณ์กำกับล่าง

- m = แม่เหล็ก
 s = เปลือกท่อ
 t = ท่อ
 w = ผงท่อ

เอกสารอ้างอิง

- 1) Ali J Chamkha : "Hydromagnetic flow and heat transfer of a heat generate fluid over a surface." International Communication Heat and Mass Transfer ,V24,1996,p815-825
- 2) J.P Holman ,P.RS White : "Heat Tranwsfer" Mcgraw-hill bookCo,Ltd,1992
- 3) M.Abd El -Hakien,A.A Mohammadien: " Joule heating effect on magnetohydrodynamic free convection flow ,"International Communication Heat and Mass Transfer ,V26,1999,p219-227
- 4) N.H Afan,EU Schlunder :Heat Exchanger design and theory source book,1974Scripta book company
- 5) Ozisik ,M.N : "Basic heat transfer."Mcgraw-hill,Kogakusha,Ltd,1977
- 6) Ralphl ,Webb : " Principle of enhanced heat transfer"John Wiley& Sons Inc,1994
- 7) Toshio . Aihara,Too Kyun kim: "Controllability of convective heat transfer in circular tube,"Journal of magnetism and magnetic material,V122,1993,p297-300
- 8) W.Roetzel,P.J Huggers, " Design and Operation of heat exchanger Proceeding of Euroterm Seminar No 18, Springer velag Berlin Heidelberg,1992