

การจำลองเชิงตัวเลขของการพาความร้อนแบบธรรมชาติในน้ำมันความหนืดสูง

Numerical Simulation of Natural Convection Heat Transfer in High-Viscosity Oil

วัชรายุทธ ลำดวน* อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
จังหวัดอุบลราชธานี 34190
*E-mail:tammkung@hotmail.com

Watcharayut Lumdoun* Adun Janyalert-adun
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
Ubonratchathani 34190
*E-mail:tammkung@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิของของไหลภายในถังบรรจุ โดยได้นำระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งเป็นวิธีการจำลองเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีปริมาตรสลับเนื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา โดยศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติจากตัวทำความร้อนแบบทรงกระบอกวางแนวราบภายในถังบรรจุน้ำมันเตาชนิดหนัก โดยมีลักษณะการพาความร้อนเป็นแบบราบเรียบ ซึ่งมีค่า Rayleigh Number, $Ra < 10^8$ จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิกับเวลาที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขมีแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองในงานวิจัยที่ใช้ในการอ้างอิง กล่าวคืออัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นไปอย่างรวดเร็วที่บริเวณส่วนบนของถังเมื่อเทียบกับส่วนล่าง

คำหลัก; การพาความร้อนแบบธรรมชาติ, น้ำมันความหนืดสูง, การจำลองเชิงตัวเลข

Abstract

The objective of this research is to study the behavior of temperature distribution in the fluid storage tank. The computational fluid dynamics (CFD) that is the finite volume method is employed to solve the problem. The present work is study of the laminar natural convection heat transfer from the horizontal cylinder heater in the heavy fuel oil storage tank. The laminar model appears in the range of Rayleigh number, $Ra < 10^8$. The results of the temperature against times have a good agreement compare to the reference experimental results. The

heat transfer rate at the top of the storage is higher than the bottom.

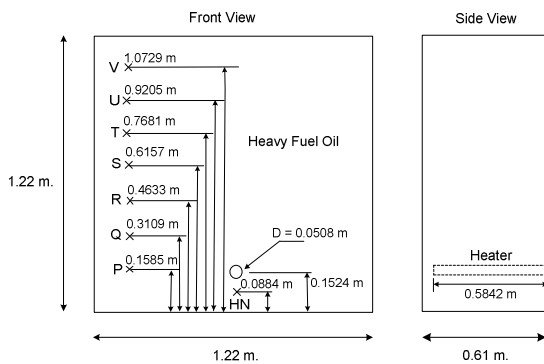
Keywords: Natural convection, High-Viscosity Oil, Numerical Simulation

1. บทนำ

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยเฉพาะการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) เป็นเรื่องที่น่าสนใจในหลายสาขาวิชาของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ในหม้อไอน้ำ (Boiler), เครื่องควบแน่น (Condenser) และ หม้อน้ำรถยนต์ (Radiator) เป็นต้น ต้องอาศัยการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว หรือแม้แต่ในการออกแบบเตาปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear reactor) ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนเพื่อใช้เลือกขนาดของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น แม้กระทั่งในระบบปรับอากาศจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน เพื่อประมาณค่าภาระของการปรับอากาศ รวมทั้งความหนาของฉนวนที่ใช้ [1]

ในด้านอุตสาหกรรมทั่วไป เชื้อเพลิงนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในด้านพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนการผลิต ซึ่งน้ำมันถือเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญและหนึ่งในนั้นก็คือ น้ำมันเตา (Fuel oil) ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปจะเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่หนัก มีจุดเดือดสูงและให้พลังงานสูง นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และเรือเดินสมุทร แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ ชนิดเบา (Light fuel oil), ชนิดกลาง (Medium fuel oil) และชนิดหนัก (Heavy fuel oil)

[2] จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในถังบรรจุน้ำมันเตาชนิดหนักซึ่งเป็นน้ำมันเตาที่มีค่าความหนืดสูงที่สุด มีค่าประมาณ 8,000 cSt ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากการที่ต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณที่สูงสำหรับงานในด้านอุตสาหกรรมจึงต้องมีการเก็บสำรองน้ำมันเตาไว้ใช้ ทำให้น้ำมันเตาที่ถูกเก็บไว้มีความหนืดและแข็งตัวมากขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนย้ายโดยการสูบ (Pump) จากถังเก็บบรรจุเพื่อจะนำไปใช้จึงทำได้ค่อนข้างยากต้องใช้พลังงานและเวลาเป็นอย่างมาก วิธีที่จะช่วยให้การเคลื่อนย้ายน้ำมันเตาสามารถกระทำได้ง่ายขึ้น คือการลดความหนืดลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันเตาให้สูงขึ้นหรือที่เรียกว่าการอุ่นน้ำมัน ทั้งยังเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำน้ำมันที่มีความหนืดสูงชนิดอื่น ๆ กลับมาใช้ได้อีกเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย [3] โดยได้นำเงื่อนไขต่าง ๆ และแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองของ Skipper [4] มาสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหา ประกอบไปด้วยถังบรรจุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งตัวทำความร้อนด้วยไฟฟ้ามีลักษณะเป็นทรงกระบอกวางแนวราบ ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิจะอยู่ที่จุด HN, P, Q, R, S, T, U และ V โดยมีลักษณะและขนาดของชุดทดลองแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดทดลอง [4]

2. ทฤษฎี

2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

การพาความร้อนแบบธรรมชาติเป็นการถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลกับผิวของตัวทำความร้อน การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว (Buoyancy force) ในของไหลโดยที่ไม่มีแรงภายนอกใด ๆ มากระทำ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล เมื่อของไหลได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของของไหลมีความหนาแน่นลดลงเกิดการลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง เนื่องจากถูกโมเลกุลที่มีความหนาแน่นมากกว่าที่อยู่บริเวณโดยรอบเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ผลักดันขึ้นสู่ที่สูง ลักษณะของการพาความร้อนแบบธรรมชาตินั้นเกิดขึ้นได้ทั้งแบบราบเรียบ (Laminar) และ แบบปั่นป่วน (Turbulent) โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ไร้มิติ (Dimensionless parameter) คือค่าเรย์เลห์นัมเบอร์, Ra (Rayleigh number) เป็นตัวบ่งบอก ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่ากราชอฟนัม

เบอร์, Gr (Grashof number) กับ ค่าพรันด์เทิลนัมเบอร์, Pr (Prandtl number) ดังสมการที่ 1

$$Ra = Gr Pr \quad (1)$$

$$\text{โดยที่} \quad Gr = \frac{g \beta D^3 (T_s - T_\infty)}{\nu^2} \quad (2)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (3)$$

เมื่อ $Ra < 10^8$, เป็นการพาความร้อนแบบราบเรียบ

$10^8 < Ra < 10^{10}$, เป็นการพาความร้อนแบบปั่นป่วน [5]

2.2 สมการควบคุม

พฤติกรรมของการพาความร้อนแบบธรรมชาติสามารถอธิบายได้ด้วยสมการหลัก 3 สมการคือ สมการกฎทรงมวล, สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน ดังแสดงต่อไปนี้

■ สมการต่อเนื่อง (Continuity equation)

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

■ สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = \\ g_x \beta (T - T_\infty) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{dv_y}{dt} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = \\ g_y \beta (T - T_\infty) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

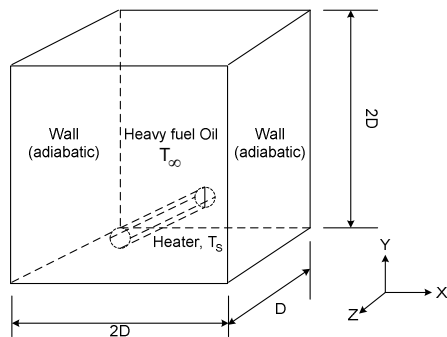
■ สมการพลังงาน (Energy equation)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (7)$$

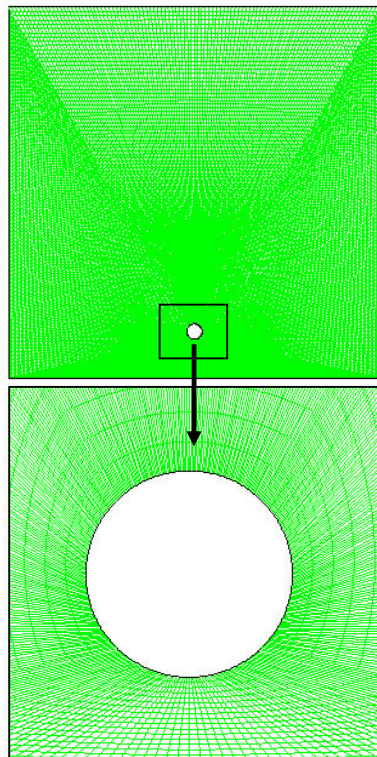
3 แบบจำลอง CFD (CFD Modeling)

งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม FLUENT มาวิเคราะห์ปัญหาในแบบ 2 มิติของการพาความร้อนแบบธรรมชาติในถังบรรจุรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ประกอบด้วยตัวทำความร้อนอยู่ภายใน มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2 โดยที่ผนังของถังบรรจุทั้งหมดกำหนดให้ไม่มีการสูญเสียความร้อน

(Adiabatic) ตัวทำความร้อนและของไหลมีอุณหภูมิและเงื่อนไขตั้งตารางที่ 1 จำนวนกริดทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ 44,317 เซลล์ จะได้แบบจำลองและลักษณะของกริดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ขอบเขตและเงื่อนไขของแบบจำลอง



รูปที่ 3 ลักษณะกริดของแบบจำลอง

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้กับโปรแกรม FLUENT

ตัวแปร	อุณหภูมิ (เคลวิน)
ตัวทำความร้อน (T_s)	410.372 (คงที่)
น้ำมันเตา (T_∞)	288.705 (เริ่มต้น)

ความเกี่ยวเนื่องกันระหว่างความดันและความเร็วถูกแก้ด้วยวิธี SIMPLEX ผลกระทบจากการไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) วิธีที่ใช้

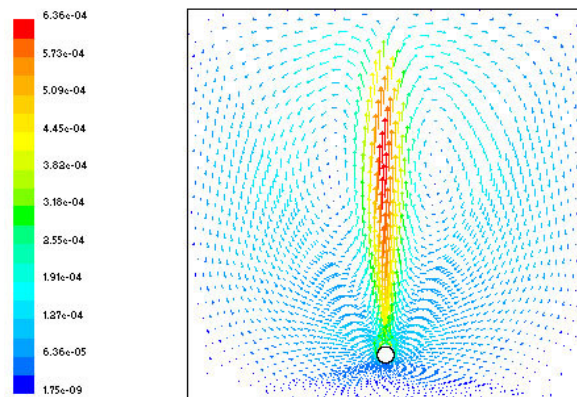
ในการประมาณค่าคือ Second-Order Upwind ใช้สำหรับสมการโมเมนตัม และ First-Order Upwind ใช้สำหรับสมการพลังงาน โดยที่ฟังก์ชัน Boussinesq ได้ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาเนื่องมาจากการเกิดแรงลอยตัวของของไหลซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเตา ในส่วนของค่าคุณสมบัติของน้ำมันเตาอื่นที่ใช้ในโปรแกรม Fluent ประกอบไปด้วย ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat), ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน (Volumetric coefficient of thermal expansion) จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ แสดงค่าดังตารางที่ 2 ส่วนค่าความหนืดไดนามิก, μ (Dynamic viscosity) จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ [6] โดยอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียล ซึ่งการจำลองการพาความร้อนแบบธรรมชาตินี้เป็นแบบราบเรียบ เนื่องจาก $Ra = 9.985 \times 10^6$

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเตา

คุณสมบัติ	ค่า
ความหนาแน่น, ρ (kg/m ³)	739.152
ความจุความร้อนจำเพาะ, C_p (J/kg-K)	1974.01
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, k (W/m-K)	0.115
สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน, β (K ⁻¹)	0.00060094

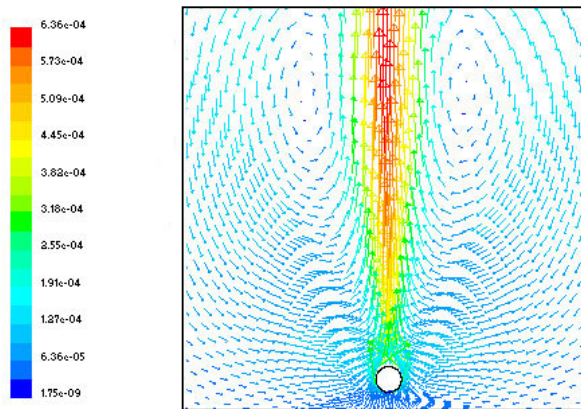
4. ผลและการวิเคราะห์

จากการจำลองเชิงตัวเลขจะพบว่าน้ำมันเตาที่อยู่นิ่งภายในถังบรรจุในขณะเริ่มต้น เมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนโมเลกุลของน้ำมันเตาจะเริ่มมีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ที่บริเวณเหนือตัวทำความร้อนเป็นผลให้เกิดแรงลอยตัวพาน้ำมันเตาเคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของถังแล้วจึงเคลื่อนตัวลงสู่ด้านล่างของถังทำให้เกิดการหมุนวนที่บริเวณด้านข้างของถัง โดยที่การเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาจะเกิดขึ้นในลักษณะนี้ตลอดเวลาขณะมีการถ่ายเทความร้อนแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาภายในขอบเขตถังบรรจุที่เวลา 1 ชั่วโมง



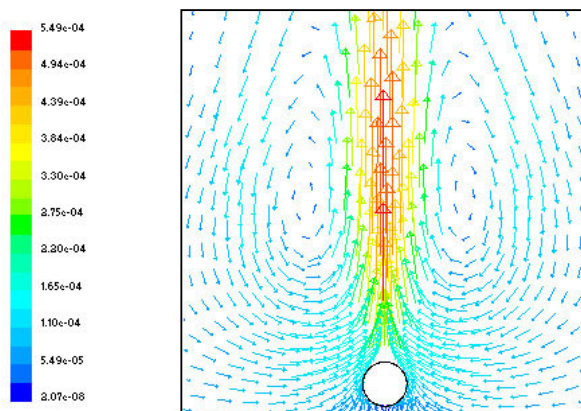
รูปที่ 4 แสดงเวกเตอร์ความเร็วภายในขอบเขตถังบรรจุที่เวลา 1 ชั่วโมง

การเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและเกิดการหมุนวนตลอดเวลา ซึ่งการหมุนวนของของไหลจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กับจุดที่ของไหลมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงที่สุด จากรูปที่ 5 เป็นภาพขยายแสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาในส่วนของที่เกิดการหมุนวนที่ เวลา 1 ชั่วโมง พบว่าการหมุนวนจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่อยู่สูงกว่าตัวทำความร้อนมาก เนื่องจากเมื่อของไหลได้รับความร้อนจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูงอย่างรวดเร็วเหนือตัวทำความร้อน ทำให้บริเวณนั้นเป็นจุดที่มีความเร็วสูงที่สุดและจะเกิดการหมุนวนที่บริเวณนั้น



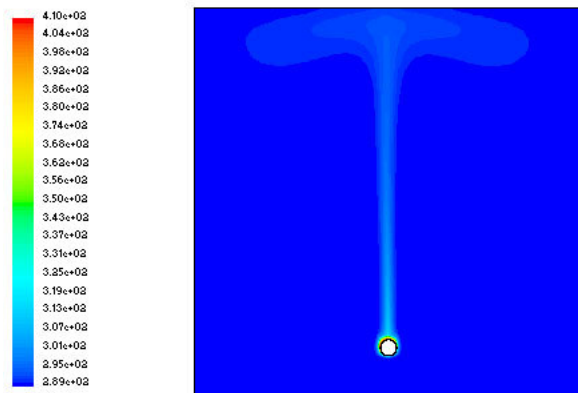
รูปที่ 5 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (เมตร/วินาที) ขณะเกิดการหมุนวนที่ เวลา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 6 เป็นภาพขยายแสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาในส่วนของที่เกิดการหมุนวนที่ เวลา 16 ชั่วโมง พบว่าการหมุนวนจะเกิดขึ้นตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กับตัวทำความร้อนซึ่งเป็นบริเวณที่ของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงที่สุด เนื่องจากเมื่อเวลาในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเริ่มลดลง อุณหภูมิของของไหลทั่วทั้งถังบรรจุจะมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูงช้าลง



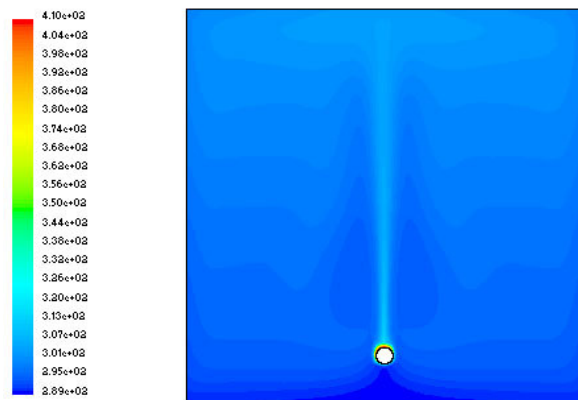
รูปที่ 6 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (เมตร/วินาที) ขณะเกิดการหมุนวนที่ เวลา 16 ชั่วโมง

ในช่วงเริ่มต้นของการถ่ายเทความร้อน เมื่อน้ำมันเตามีอุณหภูมิต่ำกว่าตัวทำความร้อนจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนไปสู่น้ำมันเตา จากการที่น้ำมันเตาเคลื่อนตัวอย่างช้าๆทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติและเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิขึ้นไปสู่ส่วนบนของถังซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ส่วนบนของถังเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะสูงกว่าจุดที่ต่ำกว่าลงมาในแนวเดียวกันตรงบริเวณด้านข้างของถัง ยกเว้นบริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อนซึ่งจุดที่อยู่ต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 1 ชั่วโมง

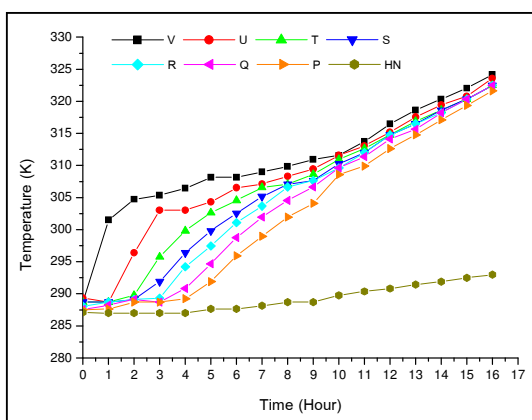
จากรูปที่ 8 เมื่อเวลาในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น น้ำมันเตาจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกันที่บริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อน เนื่องจากเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างทั่วถึง ที่บริเวณส่วนบนของถังจะยังเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดที่ต่ำกว่าลงมาในแนวเดียวกันที่บริเวณด้านข้างยกเว้นบริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อน ส่วนบริเวณด้านล่างของถังซึ่งเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าตัวทำความร้อนจะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นไปตามหลักที่ว่าความร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูงเสมอ ทำให้บริเวณที่อยู่สูงกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า



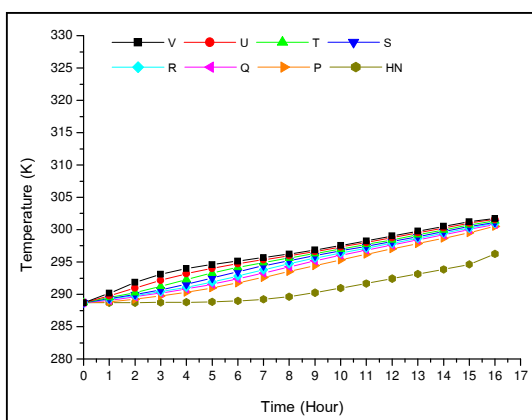
รูปที่ 8 แสดงการกระจายตัวอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 16 ชั่วโมง

จากการศึกษาพฤติกรรมกระจายตัวของอุณหภูมิกับเวลา จะได้กราฟแสดงผลการทดลองของ Skipper [4] นำมาเปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข ดังรูปที่ 9 และ 10

จากกราฟแสดงผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper [4] ดังรูปที่ 9 เมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิที่จุด P, Q, R, S, T, U และ V ซึ่งเป็นจุดที่อยู่สูงกว่าตำแหน่งของตัวทำความร้อน จะได้ค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาของการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่จุด HN ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของตัวทำความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำกว่าจุดอื่นและมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่แม้เวลาในการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณด้านบนของถังมากกว่าด้านล่าง



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันเตากับเวลาที่ได้จากการทดลองของ Skipper [4]



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันเตากับเวลาที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข

จากกราฟแสดงผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข ดังรูปที่ 10 พบว่าที่จุด P, Q, R, S, T, U และ V อุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่าและมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ค่อนข้างมากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper [4]

ส่วนที่จุด HN ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมกระจายตัวของอุณหภูมิโดยรวมทั้งหมดแล้วจะพบว่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือความร้อนจะถูกถ่ายเทอย่างรวดเร็วขึ้นสู่ที่สูง บริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ส่วนบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับตัวทำความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำและค่อนข้างที่จะคงที่ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ

จากกราฟแสดงผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขมีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper [4] เนื่องจากในโปรแกรม FLUENT มีฟังก์ชันต่างๆอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการเลือกฟังก์ชันที่เหมาะสมและถูกต้องสำหรับงานในลักษณะของการพาความร้อนแบบธรรมชาติจึงเป็นงานที่ค่อนข้างซับซ้อน ในส่วนของคุณสมบัติของของไหลที่เลือกใช้ก็มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากคุณสมบัติบางตัวก็สามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่ได้ แต่คุณสมบัติบางตัวจะต้องกำหนดให้อยู่ในรูปของสมการที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ซึ่งจำที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจ

5. สรุป

1. พฤติกรรมกระจายตัวของอุณหภูมิในน้ำมันเตาชนิดหนักที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนแบบทรงกระบอกวางแนวราบสามารถนำวิธีการจำลองเชิงตัวเลขมาช่วยในการแก้ปัญหาได้
2. อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข แม้ว่าจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองของ Skipper [4] แต่จากการเปรียบเทียบที่แนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิพบว่าแนวโน้มที่สอดคล้องกัน
3. ในการจำลองเชิงตัวเลขของปัญหาการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการกำหนดคุณลักษณะการเกิดแรงลอยตัวและคุณสมบัติของของไหล
4. ค่าความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity) ที่อยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียล ซึ่งถูกใช้ในโปรแกรม FLUENT เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขและจากการทดลองมีความแตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.N. Ozisik, Heat Transfer, McGraw-Hill book company, Singapore, 1985, pp. 1-2
- [2] "Heavy Fuel Oil", CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups, Brussels, May 1998
- [3] E.R. Rangel-German, J. Schembre, C. Sandberg, A.R. Kovscek, "Electrical-Heating-Assisted Recovery for Heavy Oil", Journal of Petroleum Science & Engineering, Vol. 45, 2004, pp. 213-231

- [4] R.G.S Skipper, "The Heating of High-Viscosity Oils by Natural Convection", The British Shipbuilding Research Association, Report No. 262, London, 1958
- [5] Buoyancy Driven Flows, Fluent 6.0.12 User's guide, Fluent Inc., 1998
- [6] W.M. Kays, M.E. Crawford, Convective Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill Inc., USA., 1987, pp. 355-356.