

# [REDACTED]

[REDACTED]

## Simulation of Natural Convection Heat Transfer in High-Viscosity Oil Using CFD

วัชราธุ์ ล้ำดาว และ [REDACTED] คุณศรี [REDACTED]

Watcharayut Lumdoun and Adun Janyalert-adun  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิในน้ำมัน ความหนืดสูงที่ถูกบรรจุอยู่ภายในถัง การถ่ายเทความร้อนจะมาจากการตัวทำความร้อนแบบ ทรงกระบอกความแปรผันภายในถังบรรจุน้ำมันเตา การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาความร้อน แบบธรรมชาติโดยมีลักษณะการพาความร้อนเป็นแบบร้าบเรียบ ซึ่งมีค่าเรย์เลห์นัมเบอร์ (Rayleigh Number, Ra) เป็นตัวบ่งบอกถึงรูปแบบของการพาความร้อน จากการศึกษา พฤติกรรมดังกล่าวได้นำรับประยุกต์การคำนวณของไอลเซิงพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ด้วยระเบียบวิธีปรินาตรสีนีอง มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อศึกษา พฤติกรรมการกระจายตัวของความร้อนและวัดค่าอุณหภูมิในจุดที่ต้องการและนำไป ประยุกต์กับผลการทดลองของงานวิจัยอื่น จากการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Fluent พบว่าการ จำลองการไอลแบบร้าบเรียบ (Laminar) และกำหนดแหล่งความร้อนเป็นแบบคงที่เป็นผลทำ ให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิกับเวลาที่ได้จากการจำลองทาง CFD พบว่าแนวโน้มการ กระจายตัวของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกันและใกล้เคียงกับผลการทดลองกล่าวคืออุณหภูมิ จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณส่วนบนของถังบรรจุเมื่อเทียบกับส่วนล่าง

**คำสำคัญ** การพาความร้อนแบบธรรมชาติ น้ำมันความหนืดสูง วิธีการคำนวณของไอลเซิง พลศาสตร์

## Abstract

The objective of this research is to study the behavior of temperature distribution in the high viscosity oil storage tank. The heat transfer is laminar natural convection from the horizontal cylinder heater in a heavy fuel oil storage tank. The laminar model appears in the range of Rayleigh number ( $Ra$ ). The computational fluid dynamics (CFD) that is the finite volume method is employed to solve the problem to compare with the experiments in the literature. From fluent application the laminar model and constant heat flux source implemented the results of the temperature distribution against times from CFD and have a good agreement compared to the reference experimental results in which the temperature at the top of the storage tank increases more rapidly than the bottom.

**Keywords:** *Natural convection, High-Viscosity Oil, Computational Fluid Dynamics*

## บทนำ

ในปัจจุบันเรื่องเพลิงชนิดต่างๆ ได้นำมาใช้กันอย่างมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในด้านพัฒนาเพื่อที่จะใช้ในการขับเคลื่อนการผลิตในด้านอุตสาหกรรม น้ำมันถือเป็นเรื่องเพลิงชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะ น้ำมันเตา (Fuel oil) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่หนัก มีอุณหภูมิสูงและให้พลังงานสูง นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และเรือเดินสมุทร แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ ชนิดเบา (Light fuel oil) ชนิดกลาง (Medium fuel oil) และชนิดหนัก (Heavy fuel oil) (CONCAWE, 1998) จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิในถังบรรจุน้ำมันเตาชนิดหนักซึ่งเป็นน้ำมันเตาที่มีค่าความหนืดสูงที่สุด มีค่าประมาณ 8,000 cSt ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส การที่ต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเรื่องเพลิงในปริมาณที่สูงสำหรับงานในด้านอุตสาหกรรมจึงต้องมีการเก็บสำรองน้ำมันเตาไว้ใช้ทำให้น้ำมันเตาที่ถูกเก็บไว้มีความหนืดและแข็งตัวมากขึ้น ดังนั้น การเคลื่อนย้ายโดยการสูบจากถังบรรจุเพื่อจะนำไปใช้จึงทำได้ค่อนข้างยาก ต้องใช้พัลส์งานและการเคลื่อนย้ายโดยการสูบจากถังบรรจุ วิธีที่จะช่วยให้การเคลื่อนย้ายน้ำมันเตาได้ง่ายขึ้น คือการลดความหนืดลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันเตาให้สูงขึ้นหรือเป็นการอุ่นน้ำมันนั่นเอง (Rangel-German et al., 2004) งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยได้นำแบบอุปกรณ์และเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองของ Skipper (1958) ที่ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในน้ำมันความหนืดสูงโดยทดลองอุ่นน้ำมันเตาที่บรรจุอยู่ภายในถังรูปทรงสี่เหลี่ยมคิ่วทำ ความร้อนแบบแห้งทรงกระบอก โดยนำมาสร้างแบบจำลอง 2 มิติ และ 3 มิติ และทำการ

## วิเคราะห์หน้าฟังก์ชันและตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับการทดลอง

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยเฉพาะการพากวนร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) เป็นเรื่องที่น่าสนใจในหลายสาขาวิชา ของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ตัวอย่างเช่น ในการอุ่นแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ในหม้อน้ำ (Boiler) เครื่องควบแน่น (Condenser) และ หม้อน้ำรดยนต์ (Radiator) เป็นต้น ต้องอาศัยการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว หรือแม้แต่ในการอุ่นแบบเตาปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear reactor) ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนเพื่อใช้เลือกขนาดของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น (Ozisik, 1985) การพากวนร้อนแบบธรรมชาติเป็นการถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลกับผิวของตัวทำความร้อน การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว (Buoyancy force) ในของไหลโดยที่ไม่มีแรงกัดขวางใดๆ มากระทำ ซึ่งเป็นผลมาจากการความแตกต่างของความหนาแน่นอันเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล เมื่อของไหลได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้โน้มเหลวของของไหลมีความหนาแน่นลดลงเกิดการลอยตัวขึ้นสูงที่สูง เนื่องจากถูกโน้มเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าที่อยู่บริเวณโดยรอบเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ผลักดันขึ้นสูงที่สูง ลักษณะของการพากวนร้อนแบบธรรมชาตินี้เกิดขึ้นได้ทั้งแบบรบายน (Laminar) และ แบบปั่นป่วน (Turbulent) โดยที่มีค่าพารามิเตอร์ไร้นิติ (Dimensionless parameter) คือค่าตัวเลขเรย์เลห์ (Ra: Rayleigh number) เป็นตัวบ่งบอก (สมศรี, 2542) แสดงดังสมการที่ 1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขกราฟฟอฟ (Gr: Grashof number) และค่าตัวเลขพรันด์ทีล (Pr: Prandtl number) แสดงดังสมการที่ 2 กับค่าตัวเลขพรันด์ทีล (Pr: Prandtl number) แสดงดังสมการที่ 3 ซึ่งการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบรบายน นั่นคือจะได้ค่า  $Ra < 10^9$  (Churchill and Chu, 1975)

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

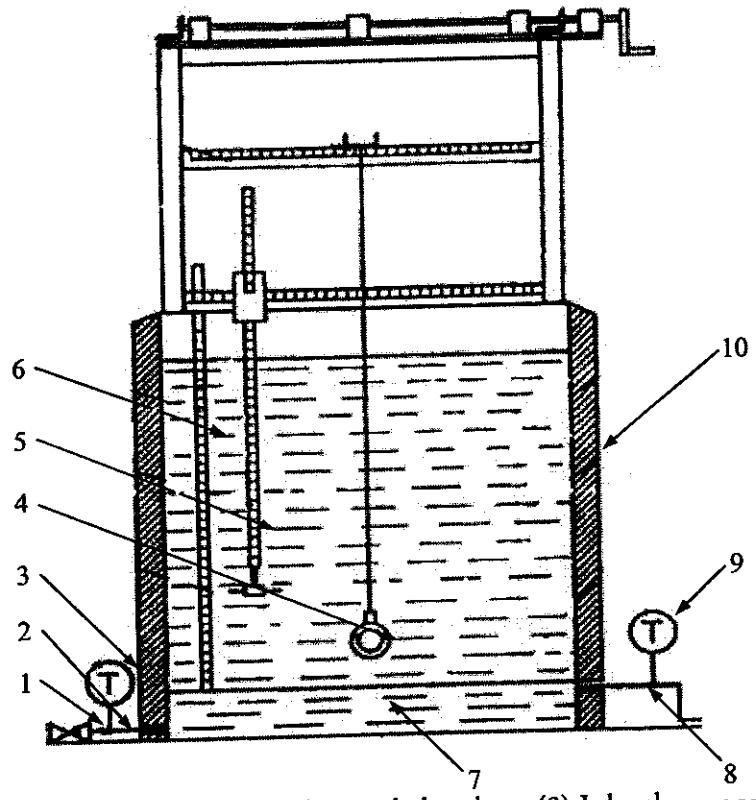
$$Gr = \frac{g \beta D^3 (T_s - T_\infty)}{\nu^2} \quad (2)$$

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

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

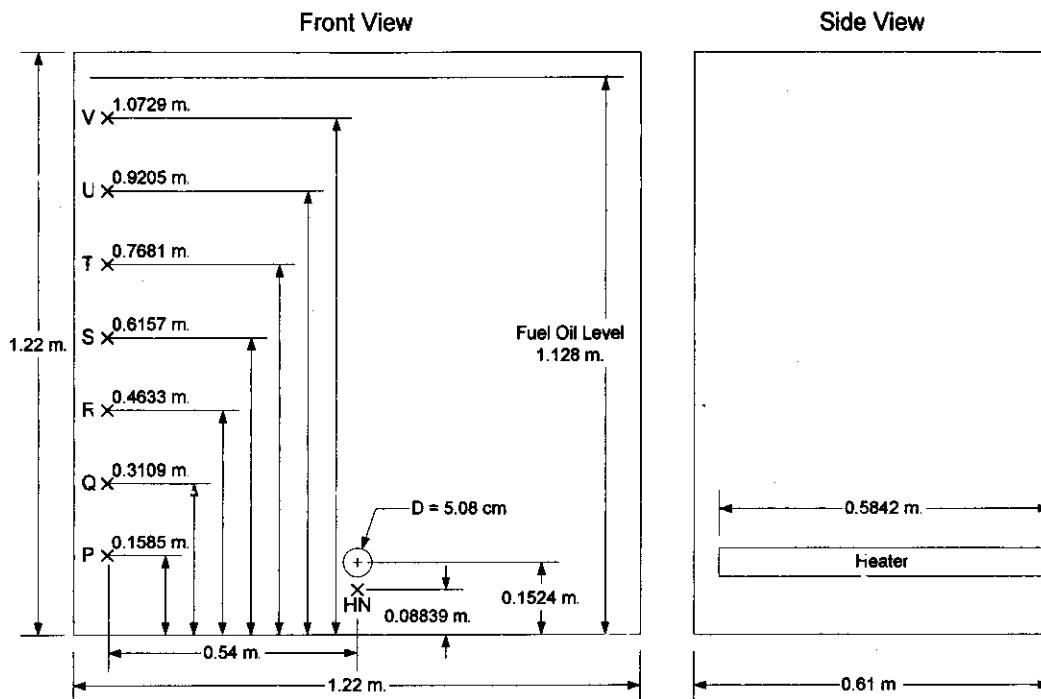
### 1. ชุดทดลองของ Skipper

จากการวิจัยนี้ซึ่งได้นำผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper ดังแสดงในภาพที่ 1 ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพารามิเตอร์ร้อนแบบธรรมชาติในน้ำมันความหนืดสูงนั้นก็คือน้ำมันเคานาใช้อ่างอิงและเบริลเบียนกับผลที่ได้จากการจำลองทาง CFD การทดลองประกอบด้วยถังบรรจุภูมิทรงสี่เหลี่ยมหุ้มด้วยฉนวนขนาด กว้าง 1.22 เมตร ยาว 0.61 เมตร สูง 1.22 เมตร และตัวทำความร้อนแบบทรงกระบอกทำจากทองแดง มีความยาว 0.5842 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร ซึ่งได้ใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 33 ชั่วโมง โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลา มีตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ชุด HN, P, Q, R, S, T, U และ V ดังแสดงในภาพที่ 2



- |                               |   |                          |
|-------------------------------|---|--------------------------|
| (1) Cooling-water inlet valve | (2) Inlet swirl chamber                         | (3) Inlet thermocouple   |
| (4) Heater                    | (5) Probe with horizontal and vertical traverse |                          |
| (6) Dip stick                 | (7) Cooling chamber                             | (8) Outlet swirl chamber |
| (9) Outlet thermocouple       | (10) Cork lagging                               |                          |

ภาพที่ 1 ชุดทดลองของ Skipper



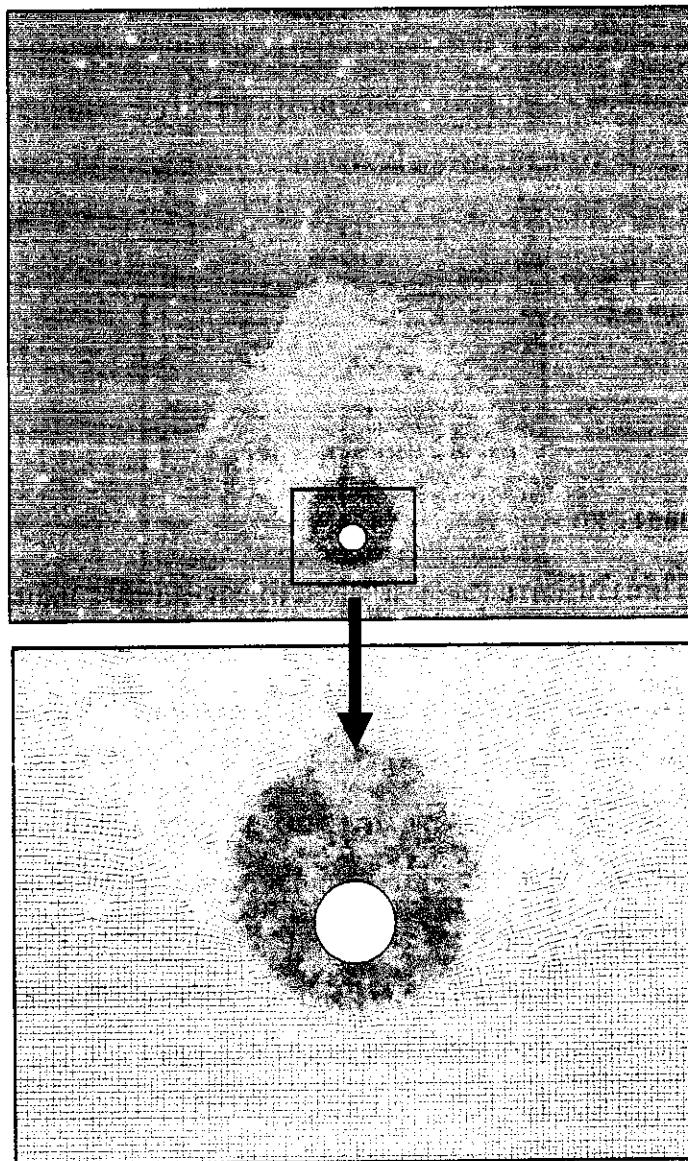
ภาพที่ 2 แบบถังที่ใช้ทดลอง

## 2. แบบจำลอง CFD

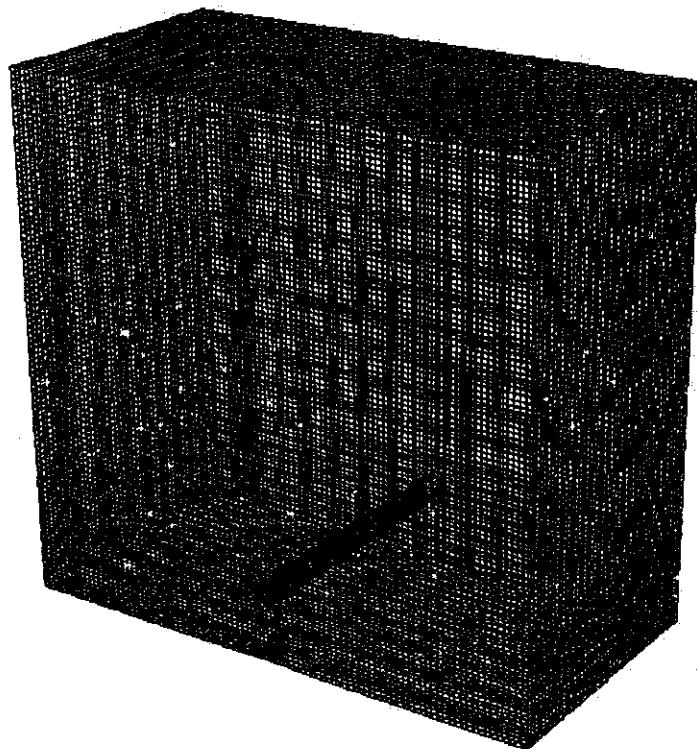
งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Fluent นวิเคราะห์ปัญหาในแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อทำการเปรียบเทียบถึงความใกล้เคียงกันของผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ โดยทำการจำลองแบบ 2 มิติ เนื่องจากรูปร่างของถังมีความสมมาตรและเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างกริด ส่วนการจำลองแบบ 3 มิติ แม้จะมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าแต่ก็มีรูปร่างที่ใกล้เคียงถังบรรจุจริงมากกว่า โดยได้ทำการจำลองการพากวนร้อนแบบธรรมชาติในถังบรรจุพูทรง สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยตัวทำความร้อนอยู่ภายในโดยที่ผนังของถังบรรจุทึ้งหมัดจะถูกผนึกด้วย ฉนวนทำให้มีการสูญเสียความร้อน (Adiabatic) ตัวทำความร้อนและของไห่มีอุณหภูมิและ เงื่อนไขคงเด่งในตารางที่ 1 และเมื่อนำแบบถังที่ใช้ทดลองมาสร้างแบบจำลองทาง CFD ด้วย โปรแกรม Gambit จะได้แบบจำลองและลักษณะของกริดในแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ดังแสดงใน ภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยได้ทำการทดลองสร้างกริดที่ความละเอียดต่างๆ ตาม ความสามารถของคอมพิวเตอร์จนกระทั่งได้ความละเอียดของกริดที่ถือว่าเพียงพอโดยมี จำนวนกริดทึ้งหมัดที่ใช้ในการคำนวณขนาด 99,868 เซลล์ ในแบบ 2 มิติ และขนาด 406,538 เซลล์ ในแบบ 3 มิติ

## ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้กับโปรแกรม FLUENT

ตัวแปร	คุณหนูนิ (เกอวิน)
ตัวทำความร้อน ( $T_s$ )	410.372 (ค่าคงที่)
น้ำมันดีเซล ( $T_\infty$ )	288.705 (ค่าเริ่มต้น)



ภาพที่ 3 ลักษณะกริดของแบบจำลอง 2 มิติ



ภาพที่ 4 ลักษณะกริดของแบบจำลอง 3 มิติ

ในส่วนของโปรแกรม Fluent จะมีฟังชันก์การทำงานต่างๆ มากนักซึ่งจะต้องป้อนค่าที่สำคัญและเกี่ยวข้องกันลงไปเพื่อให้โปรแกรมประมวลผลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำที่สุด โดยไม่เกิดการสู่อออก (Diverge) ของปัญหา ซึ่งจะเป็นค่าเดียวกันทั้งในการจำลองแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เมื่อทำการพิจารณาถึงผลที่ได้จากการจำลองทาง CFD เปรียบเทียบกับการทดลองของ Skipper จะได้ฟังก์ชันที่สำคัญๆ ประกอบไปด้วย ค่าความเกี่ยวเนื่องกันระหว่างความดันและความเร็วถูกแก้คัวบิวท์ SIMPLEC ผลกระบวนการทางการไหลเป็นแบบร้านเรียน (Laminar) วิธีที่ใช้ในการประมาณค่าคือ Presto ใช้สำหรับค่าความดัน Second-Order Upwind ใช้สำหรับสมการโนเมนตัม และ Third-Order MUSCL ใช้สำหรับสมการพลังงาน โดยที่ฟังก์ชัน Boussinesq ได้ถูกนำมาใช้ไว้คระหว่างปัญหานี้อย่างมาจากการเกิดแรงดึงดูดของไอน้ำซึ่งเกี่ยวเนื่องกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเตา ในส่วนของค่าคุณสมบัติของน้ำมันเตาที่ต้องใช้ในโปรแกรม Fluent จะมาจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (Film Temperature) ระหว่างตัวทำความร้อนกับน้ำมันเตาซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ( $C_p$ : Specific heat) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความ

ร้อน ( $k$  : Thermal conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน ( $\beta$  : Volumetric coefficient of thermal expansion) จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 2 ส่วนค่าความหนืดไคนามิก ( $\mu$  : Dynamic viscosity) ที่มีผลต่อการลดอัตราของน้ำมันเตาจะถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ( $T$ : Temperature) ซึ่งหากกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ได้จะทำให้ไม่สามารถประมาณผลด้วยโปรแกรมได้ เนื่องจากเกิดการสู่ออก (Diverge) ของปัญหา โดยทำการแก้สมการค่าความหนืดไคนามิกกับอุณหภูมิให้อยู่ในรูปของสมการ多项式 (Polynomial) และ ได้ทำการแบ่งสมการออกเป็น 3 ช่วงอุณหภูมิที่ครอบคลุมทั้งระบบคือ ช่วง 283 - 310 เคลวิน แสดงดังสมการที่ 4, ช่วง 310 - 350 เคลวิน แสดงดังสมการที่ 5 และ ช่วง 350 - 420 เคลวิน แสดงดังสมการที่ 6 และเมื่อพิจารณาสมการที่ 1 จะได้ค่า  $Ra = 1.003 \times 10^7$  พบว่าการจำลองการพาความร้อนแบบธรรมชาตินี้เป็นแบบรานเรียน เนื่องจากค่าตัวเลขเรียล์เดล์ มีค่าน้อยกว่า  $10^9$

$$\mu(T) = 1.61 \times 10^{-4} T^4 - 0.195 T^3 + 88.39 T^2 - 17796.13 T + 1.34 \quad (4)$$

$$\mu(T) = 8.79 \times 10^{-7} T^4 - 0.00119 T^3 + 0.609 T^2 - 138.38 T + 11782.29 \quad (5)$$

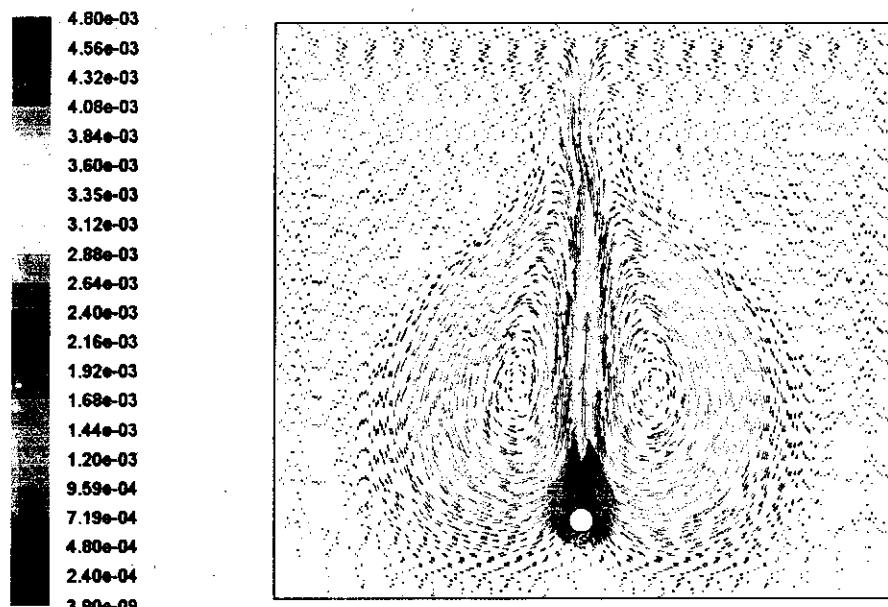
$$\mu(T) = 8.07 \times 10^{-9} T^4 - 1.29 \times 10^{-5} T^3 + 0.0078 T^2 - 2.1 T + 212.82 \quad (6)$$

## ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเตา

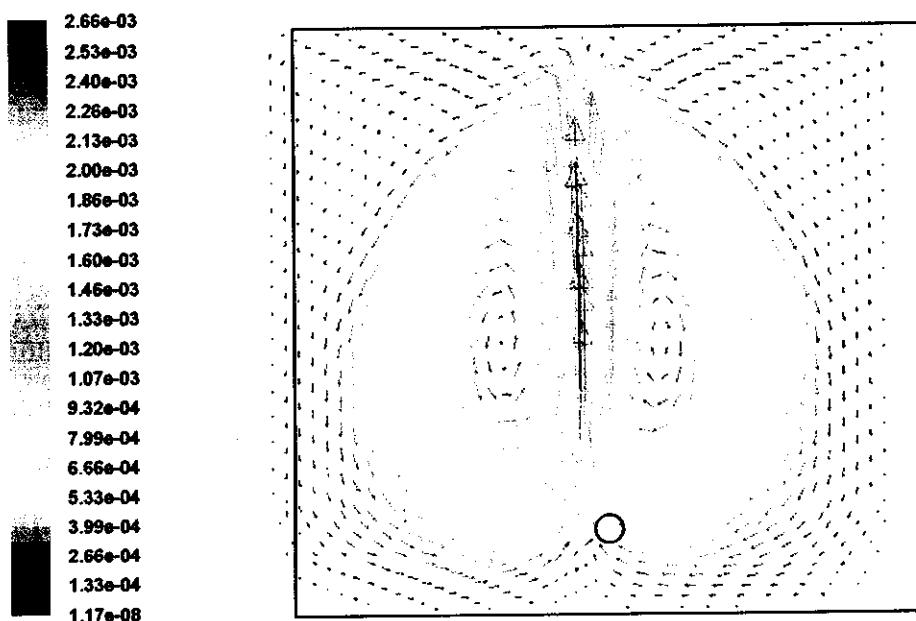
คุณสมบัติ	ค่า
ความหนาแน่น $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	940.40
ความถูกความร้อนจำเพาะ $C_p$ (J/kg-K)	1977.57
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน $k$ (W/m-K)	0.115
สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน $\beta$ (K <sup>-1</sup> )	0.00060096
ความหนืดไคนามิก $\mu$ (m <sup>2</sup> /s)	$1.51 \times 10^{-4}$
ค่าตัวเลขพรันเดล์เบล์ $Pr$	2440.66

## ผลการวิจัย

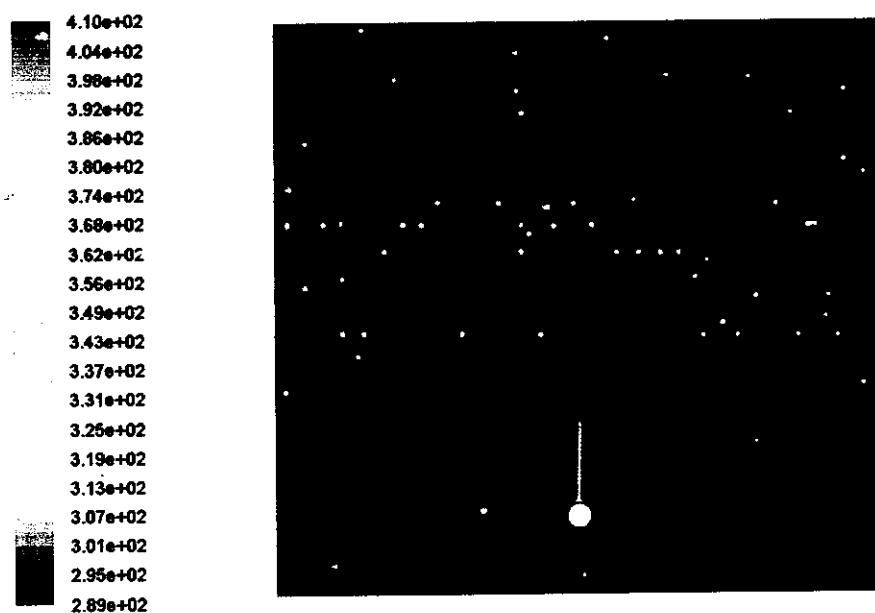
จากการจำลองทาง CFD เมื่อพิจารณาแบบจำลอง 2 มิติและ 3 มิติ จะพบว่าน้ำมันเตาที่อยู่นิ่งภายในถังบรรจุในขณะเริ่มต้น เมื่อได้รับการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนไม่เลกตูลของน้ำมันเตาจะเริ่มนิการเคลื่อนตัวเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ที่บริเวณหน้าตัวทำความร้อนและทำให้เกิดแรงดึงดูดที่ลากด้านล่างของถังทำให้เกิดการหมุนวนที่บริเวณด้านข้างของถัง โดยที่การเคลื่อนตัวของน้ำมันเตาจะเกิดขึ้นในลักษณะนี้ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 5 ของแบบ 2 มิติ และภาพที่ 6 ของแบบ 3 มิติ ทำให้เกิดการพากวนร้อนและเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิไปทั่วทั้งถังบรรจุ ของแบบ 2 มิติ และภาพหน้าตัดของแบบ 3 มิติ ที่เวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีลักษณะที่คล้ายกัน



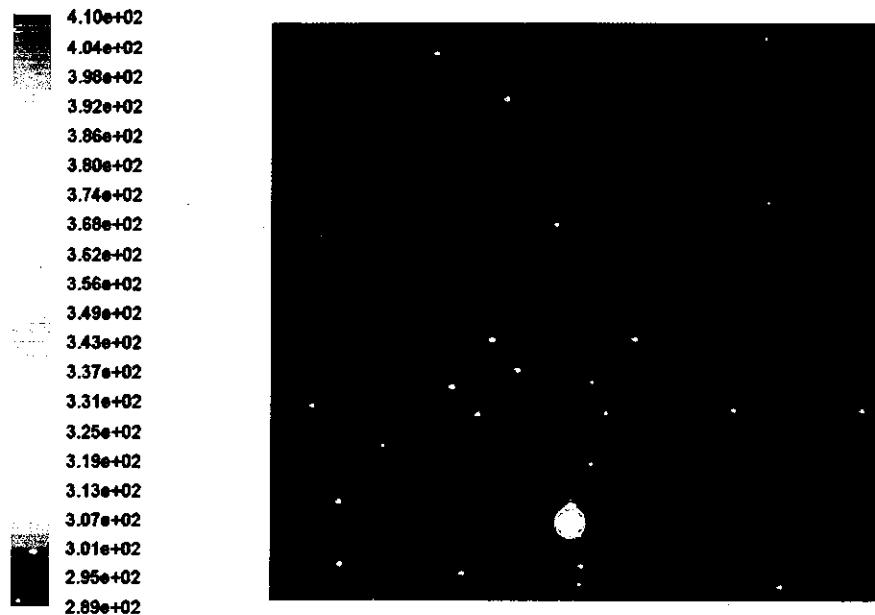
ภาพที่ 5 แสดงเวลาเดียวกันเร็ว (เมตร/วินาที) ที่เวลา 1 ชั่วโมงของการจำลองแบบ 2 มิติ



ภาพที่ 6 แสดงเวลาเครื่องความเร็ว (เมตร/วินาที) ที่เวลา 1 ชั่วโมงของการจำลองแบบ 3 มิติ



ภาพที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 1 ชั่วโมง ของการจำลองแบบ 2 มิติ

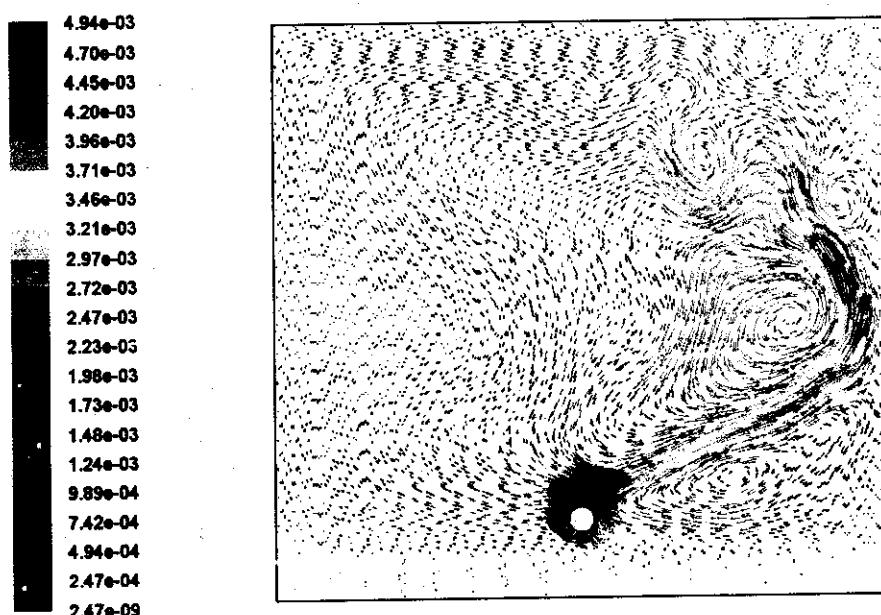


ภาพที่ 8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 1 ชั่วโมง ของการจำลองแบบ 3 มิติ

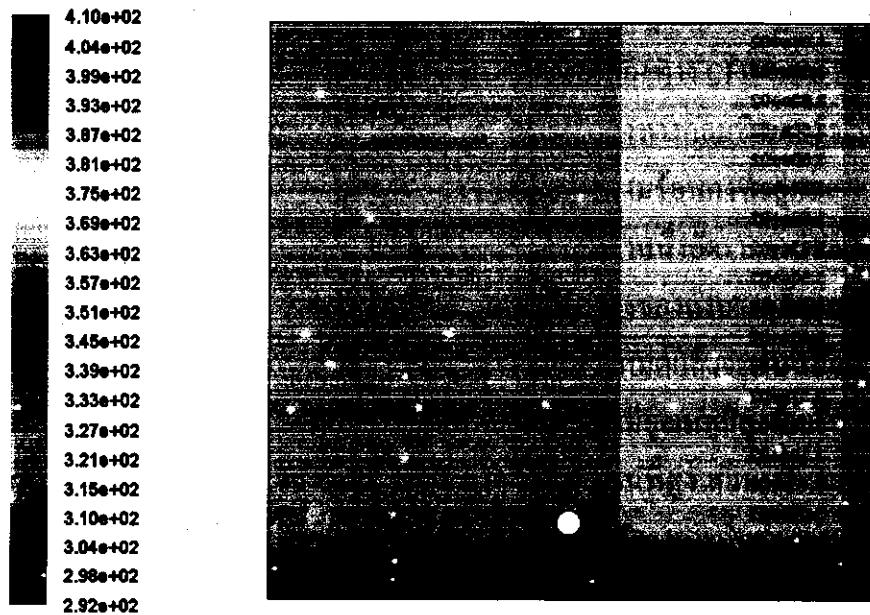
เมื่อพิจารณาในช่วงเริ่มต้นของการถ่ายเทความร้อนพบว่าเมื่อน้ำมันเตามีอุณหภูมิต่ำกว่าตัวทำความร้อนจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนไปสู่น้ำมันเตาและทำให้น้ำมันเตาเกิดการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆซึ่งเป็นลักษณะของการพาความร้อนแบบธรรมชาติและเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิขึ้นไปสู่ส่วนบนของถังซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ส่วนบนของถังเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะสูงกว่าจุดที่ต่ำกว่าลงมาในแนวเดียวกันตรงบริเวณด้านข้างของถัง ยกเว้นบริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อนซึ่งจุดที่อยู่ต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า

เมื่อเวลาในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น น้ำมันเตาจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและมีค่าไกส์เดียงกันที่บริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อน เนื่องจากเกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างทั่วถึง ที่บริเวณส่วนบนของถังซึ่งจะยังเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดที่ต่ำกว่าลงมาในแนวเดียวกันแต่ก็เพียงเล็กน้อยเนื่องจากระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล ส่วนบริเวณด้านล่างของถังซึ่งเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าตัวทำความร้อนจะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นไปตามหลักที่ว่าความร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ที่สูงเสมอ ทำให้บริเวณที่อยู่สูงกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาจากลักษณะการพาความร้อน

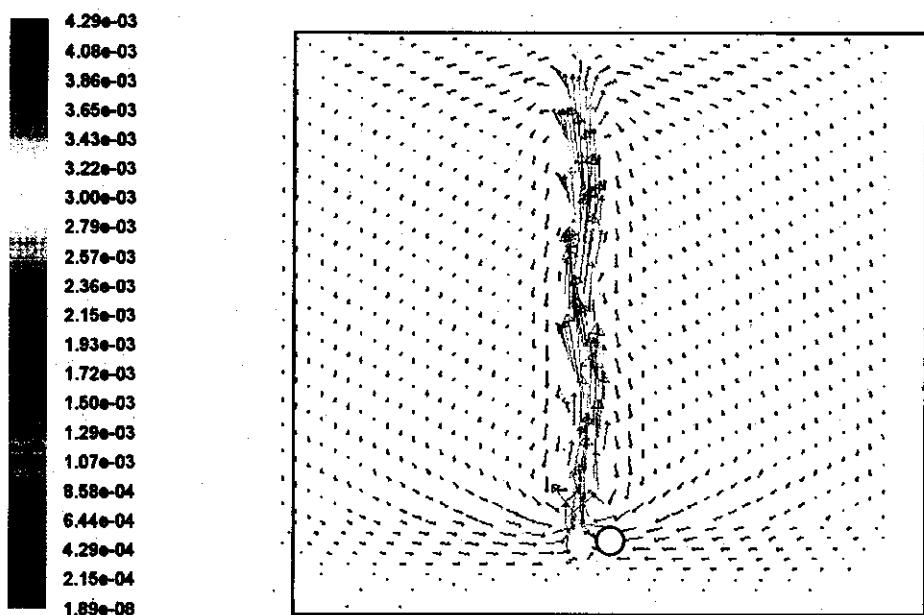
และการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เวลา 16 ชั่วโมง ของการจำลองแบบ 2 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 ตามลำดับ และการจำลองแบบ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ พนฯว่า อุณหภูมนิบริเวณส่วนบนของถังที่อยู่เหนือตัวทำความร้อนจะมีค่าที่แตกต่างกัน ในการจำลองแบบ 2 มิติ อุณหภูมนิของน้ำมันเค้าค่อนข้างที่จะสูงและเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลมากกว่าการจำลองแบบ 3 มิติ ซึ่งยังมีการถ่ายเทความร้อนอยู่จึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมนิความแตกต่างกันและเกิดความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง



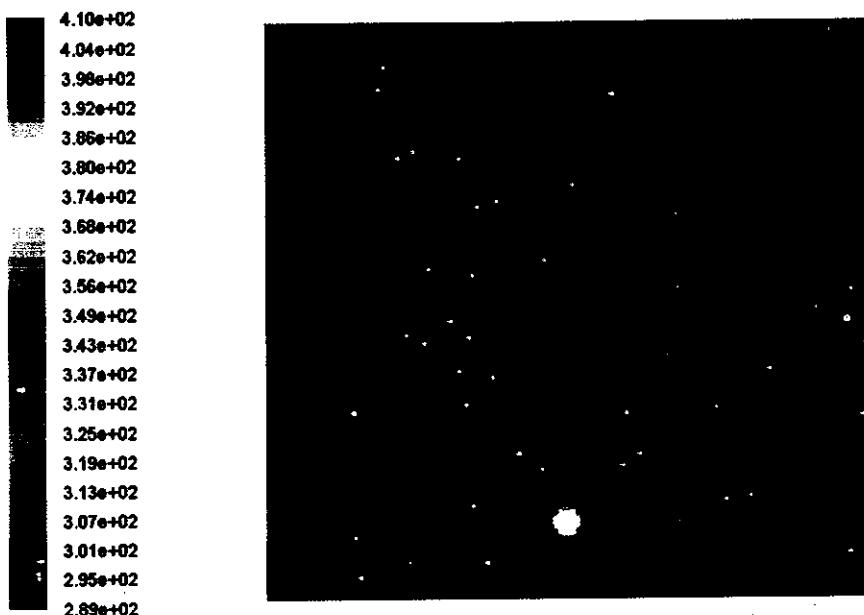
ภาพที่ 9 แสดงเวคเตอร์ความเร็ว (เมตร/วินาที) ที่เวลา 16 ชั่วโมงของการจำลองแบบ 2 มิติ



ภาพที่ 10 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 16 ชั่วโมง ของการจำลองแบบ 2 มิติ



ภาพที่ 11 แสดงเวกเตอร์ความเร็ว (เมตร/วินาที) ที่เวลา 16 ชั่วโมงของการจำลองแบบ 3 มิติ

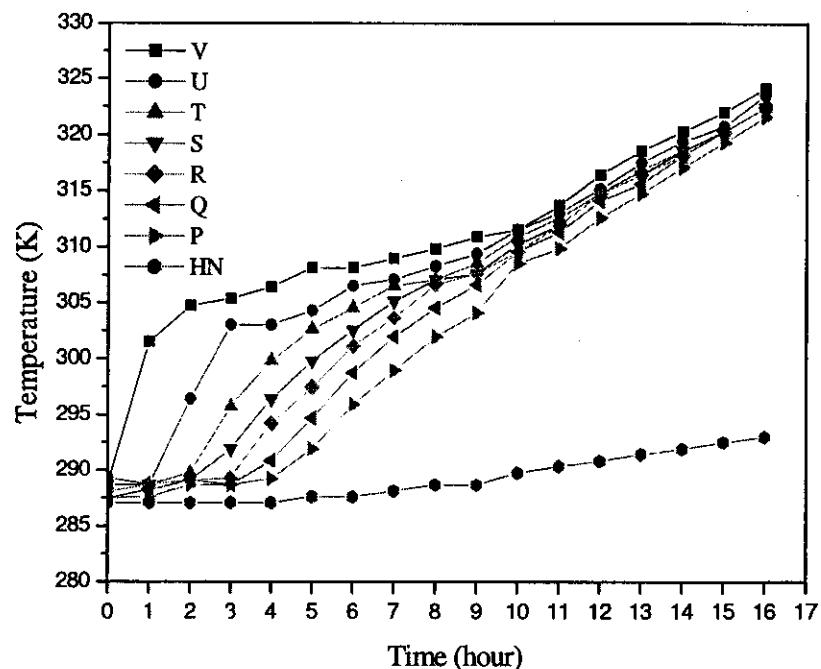


ภาพที่ 12 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิ (เคลวิน) ที่เวลา 16 ชั่วโมง ของการจำลองแบบ 3 มิติ

จากการศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิกับเวลาในน้ำมันเทาจะทำให้ได้กราฟแสดงผลการทดลองของ Skipper ดังแสดงในภาพที่ 13 นำมาเปรียบเทียบกับกราฟแสดงผลที่ได้จากการจำลองทาง CFD ซึ่งจากการทดสอบผลการทดลองของ Skipper เมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิที่จุด P, Q, R, S, T, U และ V ซึ่งเป็นจุดที่อยู่สูงกว่าตำแหน่งของตัวท่อความร้อน จะได้ค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาของการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่จุด M/N ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของตัวท่อความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำกว่าจุดอื่นและมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่แม้ว่าในการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณด้านบนของถังมากกว่าด้านล่างและการถ่ายเทความร้อนก็จะลดลงเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล

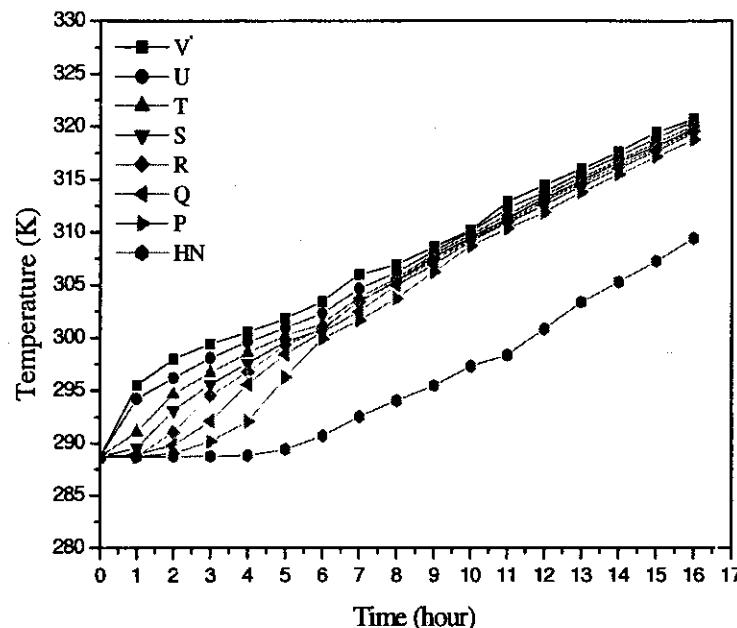
จากราฟแสดงผลที่ได้จากการจำลองทาง CFD ของการจำลองแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 14 และ 15 ตามลำดับ พนว่าที่จุด P, Q, R, S, T, U และ V อุณหภูมิที่วัดจาก การจำลองแบบ 2 มิติจะมีค่าโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงและมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ค่อนข้างน้อย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟทดสอบผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper ซึ่งจะแตกต่างกับการจำลองแบบ 3 มิติที่มีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าและมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ค่อนข้างมาก ซึ่งก็

สอดคล้องกับภาพการกระจายตัวของอุณหภูมิที่จำลองได้ ส่วนที่จุด HN ค่าอุณหภูมิที่รักษาไว้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน แม้ว่าการจำลองทาง CFD แบบ 2 มิติ จะมีค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงกว่าการทดลองเนื่องมาจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะกำหนดค่าอุณหภูมิของตัวทำความร้อนเป็นค่าคงที่ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนคงที่อยู่ตลอดเวลาแม้ว่าเวลาจะผ่านไปถึงช่วงโมงที่ 16 ต่างจากการทดลองเมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวทำความร้อนจะลดลง การถ่ายเทความร้อนลงสู่ด้านล่างของถังบรรจุจะลดลง แต่เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิโดยรวมทั้งหมดแล้วพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือบริเวณที่อยู่เหนือตัวทำความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูง ส่วนบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับตัวทำความร้อนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ

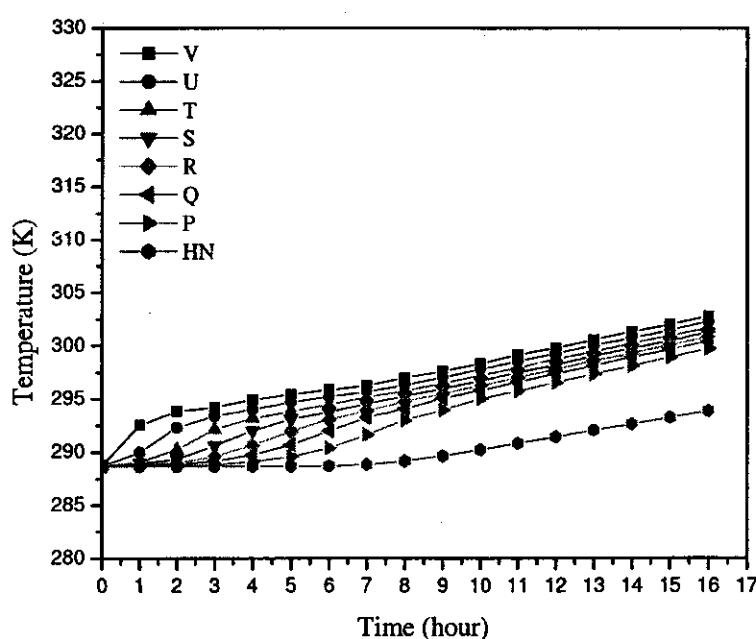


ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันเดา กับเวลาที่ได้จากการทดลอง

ของ Skipper



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันเตากับ เวลาที่ได้จากการจำลองทาง CFD แบบ 2 มิติ



ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันเตา กับ เวลาที่ได้จากการจำลองทาง CFD แบบ 3 มิติ

จากการเฝ้าดูผลที่ได้จากการจำลอง CFD มีความแตกต่างจากผลที่ได้จากการทดลองของ Skipper เมื่อจากในโปรแกรม Fluent มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆอยู่มากน้อย ดังนั้นการเลือกฟังก์ชันที่เหมาะสมและถูกต้องสำหรับงานในลักษณะของการพากความร้อนแบบธรรมชาติ จึงเป็นงานที่ค่อนข้างซับซ้อนและในส่วนของคุณสมบัติของของไหลที่เลือกใช้ก็มีความสำคัญ เช่นกัน เนื่องจากคุณสมบัตินางตัวที่สามารถกำหนดให้เป็นต่ำลงที่ได้แต่คุณสมบัตินางตัว จะต้องกำหนดให้อยู่ในรูปของสมการที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ทำให้ทราบดีว่าในของพังก์ชันและคุณสมบัติของของไหลที่เหมาะสมซึ่งสามารถนำไปใช้ศึกษาในงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้ เช่น ศึกษาโดยเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของตัวทำความร้อน ( $T_c$ ) เป็นค่าต่างๆ การเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของตัวทำความร้อนหรือรูปร่างของถังบรรจุชั่งอาจจะช่วยให้การอุ่นน้ำมันมีประสิทธิภาพช่วยให้อุณหภูมิกระจายตัวได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็วทำให้ประหยัดเวลาไม่นาน หรือแม้กระทั่งหากสนใจที่จะศึกษาดูติดตามการกระจายตัวของของเหลวชนิดอื่นที่มีลักษณะของการพากความร้อนแบบธรรมชาติเป็นแบบรูปเรียบก็สามารถนำรูปแบบของงานวิจัยนี้ไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้ได้ และจากผลของแบบจำลอง 3 มิติที่ได้ผลคาดเดือนจากการทดลองมากกว่าแบบจำลอง 2 มิติ เมื่อจากความซับซ้อนและยุ่งยากในการสร้างกริดของแบบจำลอง 3 มิติที่ต้องการความละเอียดสูงแต่ถูกจำกัดด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ ซึ่งหากสามารถสร้างกริดให้มีรูปร่างที่สมบูรณ์และมีความละเอียดที่สูงพอ ก็อาจทำให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากขึ้น

## สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอุณหภูมิในน้ำมันเดือนหนักที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนแบบทรงกระบอกวงแหวนภายในถังบรรจุทรงสี่เหลี่ยม ที่มีลักษณะของการพากความร้อนแบบธรรมชาติเป็นแบบรูปเรียบสามารถน้ำวิธีการจำลองทาง CFD มาช่วยในการแก้ปัญหาได้

2. แนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับเวลาที่ได้จากการจำลองทาง CFD ในแบบ 2 มิติ จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Skipper มากกว่าแบบ 3 มิติ จึงสรุปได้ว่าในงานวิจัยนี้สามารถใช้การจำลองแบบ 2 มิติก็เพียงพอที่จะจำลองการไหลในลักษณะนี้ได้

3. ค่าความหนืดไคนามิก (Dynamic viscosity) จะถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิซึ่งอยู่ในรูปของสมการ โพลีโนเมียล เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ผลที่ได้จากการจำลอง

ทาง CFD มีค่าไกด์เคียงผลที่ได้จากการทดลอง ไม่สามารถใช้เป็นค่าคงที่ได้เนื่องจากจะทำให้เกิดการถ่อมอก (Diverge) ของปัญหาทำให้โปรแกรม Fluent ประมวลผลต่อไม่ได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- สมศรี จรรงเรือง. 2542. ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Churchill, S.W., and Chu, H.H.S. 1975. "Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Horizontal Cylinder". *Inter Journal Heat Mass Transfer*. 18: 1049-1053.
- CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups. *Heavy Fuel Oil*. 1998. Brussels.
- Ozisik, M. Necati. 1985. *Heat Transfer*. Singapore. McGraw-Hill Book Company.
- Rangel-German, E.R., Schembre, J., Sandberg, C. and Kovscek, A.R. 2004. "Electrical-Heating Assisted Recovery for Heavy Oil". *Journal of Petroleum Science & Engineering*. 45: 213-231.
- Skipper, R.G.S. 1958. *The Heating of High-Viscosity Oils by Natural Convection*. The British Shipbuilding Research Association. Report No. 262. London.