

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสถานะที่ไม่มีเรือ A Study of Temperature Distribution in Ship Casting by Without Ship

ชะกาแก้ว สุดสีขง^{1*} สิริदनัย พานิชย์² และ ตริยานุช ประเสริฐทรัพย์³

สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา^{1*,2,3}

Chakakaew Sudseechang ^{1*} Siradanai Panich and Triyanut Prasertsup²

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University^{1*,2,3}

E-mail : s.chakakaew@gmail.com^{1*}, P.siradanai@gmail.com², triyanut2210@gmail.com³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสถานะที่ไม่มีเรือ ขนาดความกว้าง 1.8 m ความยาว 4 m ความสูง 1.8 m โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบจริงกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม Fluent งานวิจัยนี้เริ่มจากการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิ และกำหนดให้ความเร็วในการกระจายความร้อนเท่า 11 m/s จากนั้นทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือจากการทดสอบจริงกับอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองแบบ โดยทำการกำหนดตำแหน่งในการวัดจำนวน 7 ตำแหน่ง พบว่าอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือจากการจำลองแบบนั้นค่าอุณหภูมิที่ได้ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบจริง ช่วงของความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้อง

คำสำคัญ : การกระจายตัวของอุณหภูมิ, โรงหล่อเรือ, การจำลอง

Abstract

The objective of this research was to study of temperature distribution in ship casting by without ship that the ship was width of 1.8 meters, length of 4 meters and height of 1.8 meters comparing temperature testing method and temperature simulation by Fluent program. The research was to study temperature testing and the heat transfer velocity was equal to 11 meters per second comparing temperature testing method and temperature simulation for measuring 7 positions. The result showed that the temperature simulation was closer to the temperature testing method at confidence level of 95%.

Keywords : Temperature distribution, ship casting, simulation

1. บทนำ (Introduction)

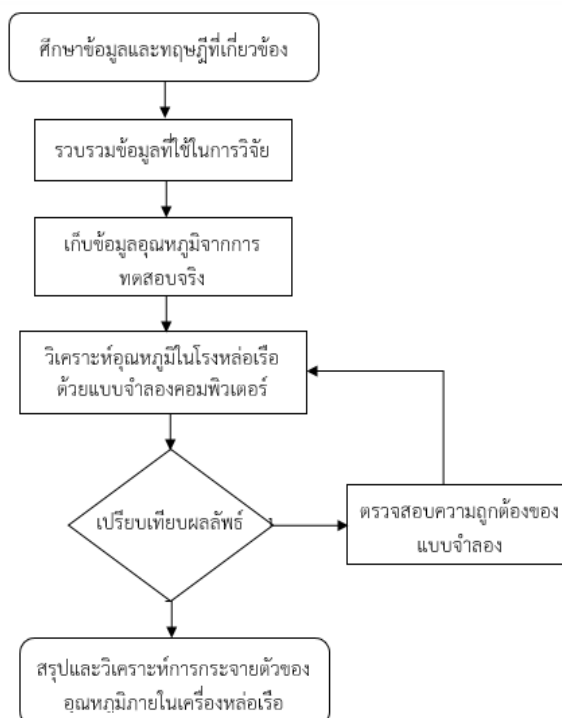
ในภาคอุตสาหกรรมนั้นเครื่องจักรถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตสินค้าเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยมีนิคมอุตสาหกรรมอยู่หลายแห่งและมีโรงงานที่ทำการผลิตสินค้าหลากหลายชนิดอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เครื่องจักรเข้ามามีบทบาทในระบบการผลิตอย่างแพร่หลาย เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการจ้างแรงงานคน และสามารถทำงานได้ทันต่อช่วงเวลาที่ต้องการผลิตอย่างเหมาะสม ปัจจุบันกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงมีบทบาทต่อการผลิตในหลายอุตสาหกรรม เหมาะสมสำหรับงานหล่อชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและซับซ้อน สามารถผลิตได้จำนวนมากในระยะเวลาน้อย ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำ ภาคอุตสาหกรรมจึงหันมาให้ความสำคัญกับกระบวนการผลิตมากขึ้น ในกระบวนการหล่อแบบหมุนเหวี่ยงนั้น การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการหล่อเรือ เพราะจากปัญหาที่ผ่านมาในการหล่อเรือพลาสติก พบว่า ชิ้นงานเรือที่ผ่านการขึ้นรูปนั้นจะไม่สมบูรณ์ในส่วนของหัวเรือและท้ายเรือ โดยเกิดการไหม้ที่บริเวณหัวเรือและในส่วนของท้ายเรือนั้นพลาสติก

ไม่หลอมละลาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการถ่ายเทและการกระจายความร้อนที่ไม่ทั่วถึง จึงทำให้แม่พิมพ์เรือได้รับความร้อนไม่เท่ากัน ส่งผลให้พลาสติกเกิดรอยไหม้และไม่หลอมละลายในบางส่วน

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาใช้งานทางด้านวิศวกรรม โดยศึกษาลักษณะของการกระจายความร้อน และการลดความร้อน เพื่อช่วยเฉลี่ยหรือกระจายความร้อนไปตามพื้นที่ต่าง ๆ ได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอยิ่งขึ้น อีกทั้งนักวิจัยยังมีการศึกษา [1] การสร้างแบบจำลองทางด้านคอมพิวเตอร์(CFD) ของเรือ ใน kerala โดยทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเรือรวมทั้งการกระจายตัวของของแรงต้าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และเน้นความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น [2] การกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบยางแผ่นดิบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และชีวมวลโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในสถานะที่ไม่มีแผ่นยาง [3] การกระจายตัวอุณหภูมิภายในตู้อบเชิงพาณิชย์ โดยงานวิจัยที่ทำการทบทวนมีความเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอุณหภูมิภายใน และการนำผลมาทำการสร้างแบบจำลองทางด้านคอมพิวเตอร์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสถานะที่ไม่มีเรือ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสถานะไม่มีเรือ ขนาดความกว้าง 1.8 m ความยาว 4 m ความสูง 1.8 m โดยวิธีการจำลองแบบด้วยโปรแกรม FLUENT Ver 16.0 ในการคำนวณเชิงเลข แล้วนำค่าที่ได้จากแบบจำลอง นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง และทำการหาความเชื่อมั่น เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

จากการศึกษาผู้วิจัยสนใจในการจำลองการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องหล่อเรือโดยการใช้โปรแกรม FLUENT เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการไหล โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) คำนวณเพื่อประมวลผลลัพธ์ของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อน ซึ่งมีความยุ่งยากในการหาลำดับด้วยวิธีโดยตรง และนำมาใช้เพื่อศึกษาปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อการหล่อเรือ เช่น การกระจายตัวของอุณหภูมิ, ระยะเวลาในการหล่อเรือ, การไหลของลม ภายในเครื่องหล่อเรือ และ นำผลการศึกษาที่ได้ไปพัฒนาและสามารถแก้ไขปรับปรุงปัญหาเรือที่เสร็จจากเครื่องหล่อเรือได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 โปรแกรมแอนซิส (ANSYS FLUENT)

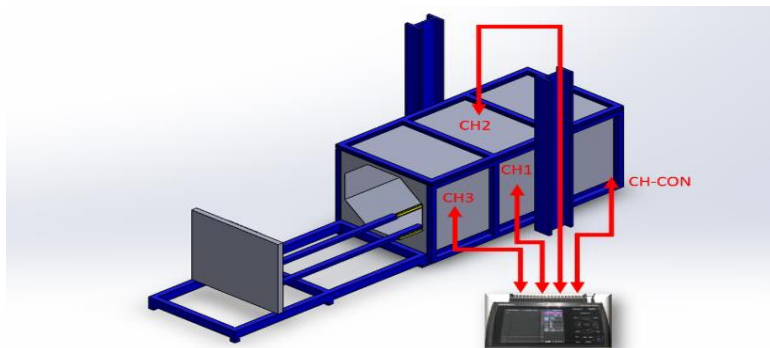
Ansyes คือโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์งานทางวิศวกรรมด้วยวิธี FEM (Finite Element Method) โปรแกรมแอนซิส (Ansys) แรกเริ่มเป็นไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรม เพื่อใช้วิเคราะห์งานในโรงงานปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ปัจจุบันซอฟต์แวร์ (Ansys) ได้ถูกเผยแพร่จนเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางทั่วโลกทั้งนี้เพราะใช้งานได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์หรืออื่นๆ ศักยภาพครอบคลุมการแก้ปัญหาในหลากหลายสาขาอีกทั้งยังเหมาะสมสำหรับผู้เริ่มศึกษา โดยเฉพาะนิสิตนักศึกษาผู้เรียนรู้ทฤษฎีเป็นส่วนใหญ่ในชั้นเรียนทำให้เห็นผลลัพธ์ที่มีความหมายทางกายภาพแสดงเป็นโทนสีได้โดยตรงอย่างรวดเร็วบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

แนวคิดหลักของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแบ่งโดเมน (Domain) ของปัญหาออกเป็น เอลิเมนต์ (Element) ย่อยย่อยจากนั้นจึงสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากสมการเชิงอนุพันธ์สำหรับเอลิเมนต์เหล่านี้ก่อนนำสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของทุก Element มารวมกันเพื่อก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตลงบนระบบสมการใหญ่เพื่อแก้หาผลลัพธ์

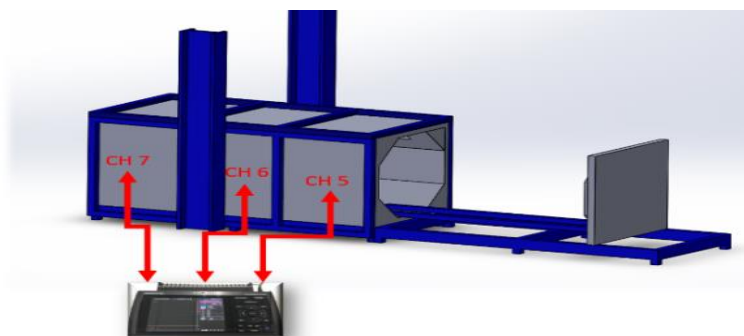
2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 เก็บข้อมูลอุณหภูมิจากการทดสอบจริง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดจำนวน 7 จุด ดังรูปที่ 2 เพื่อวัดอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ โดยกำหนดดังต่อไปนี้ จุดที่ 1 เป็นจุดตรงกลางด้านข้างของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH1, จุดที่ 2 เป็นจุดตรงกลางด้านบนของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH2, จุดที่ 3 เป็นจุดข้างหน้าด้านข้างของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH3, จุดที่ 4 เป็นจุดด้านท้ายของเครื่องซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิของเครื่องโดยจะปรากฏบนหน้าคอนโทรลของเครื่องใช้ชื่อว่า CH-CON จุดที่ 5 เป็นจุดข้างหน้าด้านข้างของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH5, จุดที่ 6 เป็นจุดตรงกลางด้านข้างของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH6 และจุดที่ 7 เป็นจุดด้านท้ายของเครื่องโดยใช้ชื่อว่า CH7



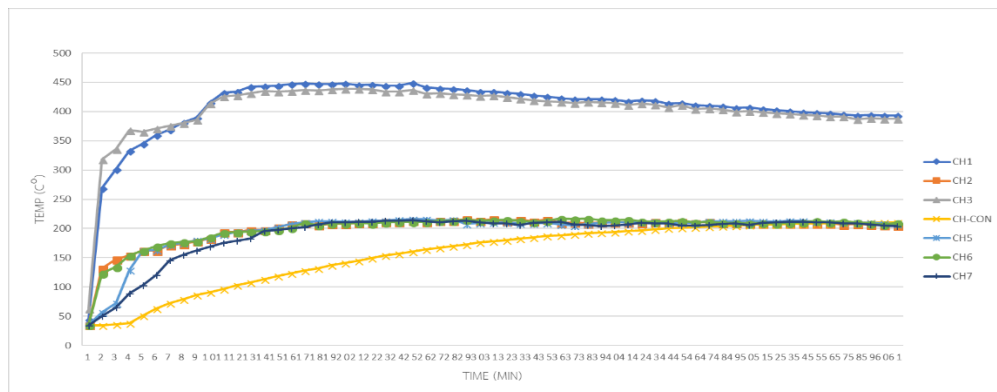
รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์จุดวัดในครั้งที่ 1



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์จุดวัดในครั้งที่ 2

2.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบจริง

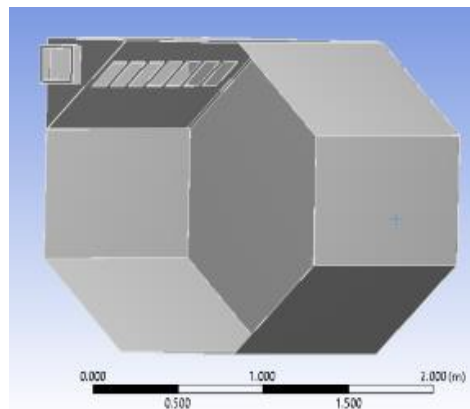
จากข้อมูลการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลจริงในโรงหล่อเรือรูปที่ 3 พบว่ามีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อที่ไม่เท่ากัน เนื่องจาก CH1 และ CH3 อยู่ในช่องของตัวให้ความร้อนจึงมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ส่วน CH ที่เหลือ ความร้อนที่ได้เกิดจากการพาความร้อนทำให้อุณหภูมิที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่า CH1 และ CH3



รูปที่ 4 ข้อมูลกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเครื่องหล่อเรือระบบหมุนเหวี่ยง

2.3 จำลองแบบโครงสร้างโรงหล่อเรือ

ในการวิจัยนี้ ได้สร้างโดเมนที่มีลักษณะเป็นห้อง(ในที่นี้จำลองเฉพาะบริเวณภายในโรงเรือเท่านั้น) โดยมีลักษณะความคล้ายคลึงทางด้านขนาด และรูปร่างที่เหมือนกับโรงหล่อเรือของจริง และทำการกำหนดกริดขึ้นมาเลือกจำลองแบบ 3 มิติ แบ่งห้องเป็นปริมาตรเล็กๆ แล้วใช้การคำนวณทางอุณหพลศาสตร์ โดยใช้ FLUENT ช่วยในการจำลอง แสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จำลองแบบโรงหล่อเรือ

3 สมมุติฐานในการสร้างแบบจำลอง

การจำลองแบบกระจายอุณหภูมิในโรงหล่อเรือ ได้แบ่งการจำลองแบบออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือโดยทำการวัดค่าจริง ส่วนที่สองเป็นการจำลองแบบในโปรแกรม เพื่อดูลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและเริ่มต้นของแบบจำลองมีดังตารางที่1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง

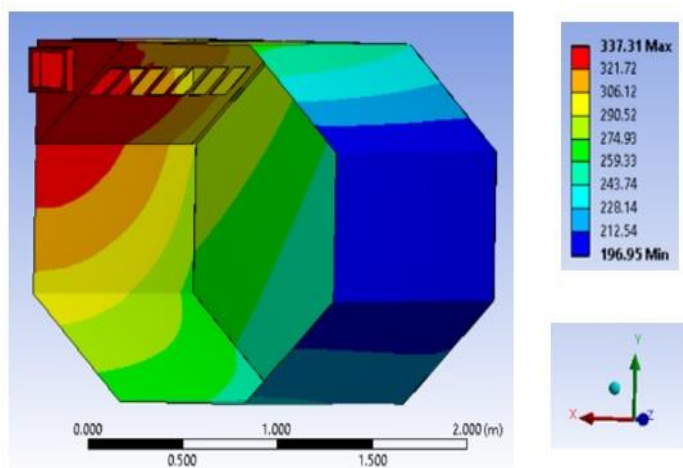
ตำแหน่ง	เงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง	
	Temperature (C)	Heat Flow (W)
ทางเข้า (inlet)	37	37
ผนัง (wall)	197	-

ในตารางที่ 1 ได้ทำการใส่ค่าตามค่าที่ได้จากการเก็บผลจริงจาก Data logger แล้วจึงนำค่าที่ได้มาทำการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมเพื่อทำการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง

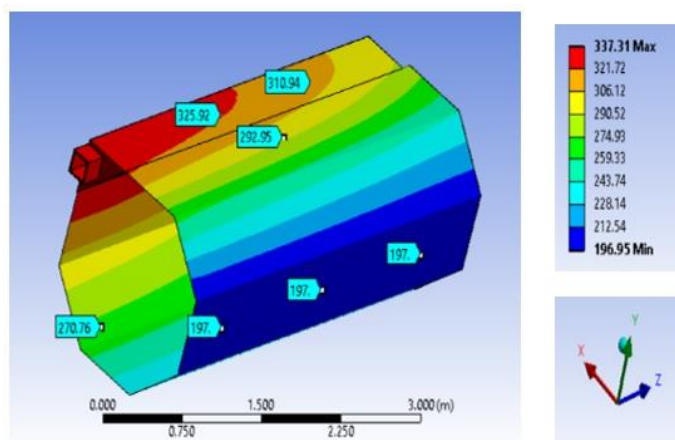
4. ผลการวิจัย (Results)

4.1 ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิ

ผลจากการจำลองแบบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ ดังแสดงในรูปที่ 5 และสามารถบอกอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งต่อไปนี้ 325.92 °C, 292.95 °C, 310.94 °C, 270.76 °C, 197.00 °C, 197.00 °C, 197.00 °C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6



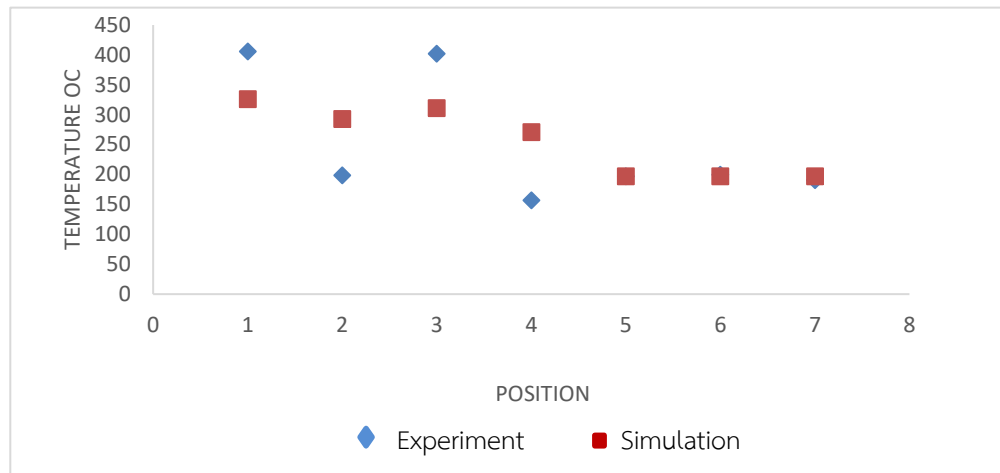
รูปที่ 6 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ



รูปที่ 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ จำนวน 7 ตำแหน่ง

4.2 ผลการจำลองแบบ

เมื่อนำผลการจำลองแบบกับผลการทดสอบจริงเปรียบเทียบอุณหภูมิจำนวน 7 ตำแหน่ง พบว่าผลการจำลองแบบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 325.92°C , 292.95°C , 310.94°C , 270.76°C , 197.00°C , 197.00°C , 197.00°C ตามลำดับ และผลการทดสอบจริงมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 405.64°C , 198.69°C , 402.06°C , 157.13°C , 197.04°C , 199.94°C , 190.68°C ตามลำดับ ทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิระหว่างผลการทดสอบและการจำลองแบบ พบว่าอุณหภูมิของการทดสอบและการจำลองแบบมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากการจำลองแบบกับผลการทดสอบจริง

4.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Verification and validation)

4.3.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างโรงหล่อเรือ ได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างของระบบที่มีอย่างละเอียดและนำมาสร้างแบบจำลองระบบให้สอดคล้องกับระบบจริง

4.3.2 การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) การทดสอบความถูกต้องจะใช้การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง และข้อมูลที่ได้จากระบบจริง ซึ่งพบว่าพยากรณ์สามารถเป็นตัวแทนของค่าจริงได้ เนื่องจากข้อมูลจริงและการพยากรณ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อแยกแยะความแตกต่างของดัชนีชี้วัดที่เกิดขึ้น ว่าเกิดจากการออกแบบ หรือเกิดจากความไม่แน่นอนของการสุ่ม

การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานไว้ 2 ข้อสมมติฐาน คือ

ข้อสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ทราบค่าแน่นอน มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการปฏิเสธ

ข้อสมมติฐานรอง หรือข้อสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis, H_1) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อให้แย้งกับ H_0 มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการยอมรับ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับระบบการให้บริการจริง มีขั้นตอน คือ หาค่าความแตกต่าง (d_j) ค่าเฉลี่ยของรอบระยะเวลาการให้บริการ ของระบบจริง (Z_{ij}) และระบบที่พยากรณ์ (W_{ij}) โดย $d_j = Z_{ij} - W_{ij}$ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_d และความแปรปรวน σ_d^2 โดยการตั้งสมมติฐานที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนี้

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_d = 0$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_d \neq 0$

จากนั้นหาค่า t_0 โดยนำมาทดสอบกับค่า t วิฤติ โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้า $|t_0| > t_{\alpha/2, K-1}$
ผลการทดสอบพบว่า $|t_0| = -0.20$ และ $t_{0.05/2, 5-1} = 2.45$ ซึ่ง $|t_0| < t_{\alpha/2, K-1}$ เพราะฉะนั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ สรุปได้ว่าข้อมูลของแบบจำลองและระบบจริงไม่มีความแตกต่างกัน จึงสามารถใช้รูปแบบในการจำลองนั้นไปใช้ได้

5. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

จากผลการจำลองแบบเมื่อนำผลการจำลองแบบกับผลการทดลองจริงแล้วนำมาเปรียบเทียบ พบว่าผลการจำลองแบบมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงทำการตั้งสมมติฐานแล้วนำผลการจำลองแบบกับผลการทดลองจริงพบว่าสมมติฐานมีค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งในการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรื่อนั้นมีผลต่อการหล่อเรือเพราะอุณหภูมิที่กระจายตัวออกไปนั้น พบว่าอุณหภูมิมีการกระตัวที่ไม่ทั่วถึงเนื่องจากความเร็วลมในแต่ละช่องลมไม่มีความสม่ำเสมอทำให้เกิดปัญหาว่าในส่วนของตัวเรือเกิดความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้นโดยในส่วนของหัวเรือเกิดการไหม้และในส่วนของท้ายเรื่อนั้นพลาสติกไม่ละลายทำให้เรือที่หล่อนั้นมีความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น โดยทำการแก้ไขในการเพิ่มความเร็วลม พบว่าทิศทางการไหลของลมและการกระจายตัวของอุณหภูมิมีแนวโน้มที่ดีขึ้นและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือที่สม่ำเสมอและทั่วถึงทุกจุดภายในโรงหล่อเรือ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสภาวะที่ไม่มีเรือซึ่งสำเร็จลุล่วงได้ ต้องขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ทุนการสนับสนุนงบประมาณวิจัย รวมทั้งเอื้อเฟื้อสถานที่ บุคลากร ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือในสภาวะที่ไม่มีเรือเพื่อทำการวิจัยรวมทั้งสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ห้องปฏิบัติการทางด้านพลังงาน เพื่อใช้ในการจำลองแบบของอุณหภูมิภายในโรงหล่อเรือ ตลอดจนท่านอื่นๆที่ได้กล่าวนามในที่นี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] B.Venkata Subbaiah, Santosh.G.Thampi and V.Mustafa (2015).Modelling and CFD Analysis of Traditional Snake Boats of Kerala.Internation Conference on Water Resources,(ICWRCOE'15) Coastal and Ocean Engineering.2015;481-491.
- [2] ชุลกิปลี กาขอ และคณะ. การกระจายอุณหภูมิภายในโรงอบยางแผ่นดิบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และชีวมวล โดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในสภาวะที่ไม่มีแผ่นยาง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณปีที่ 15, ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ 2555
- [3] มงคลเทพ จันทร์กลัด, ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง, สนธยา เพชรล้ำ.การศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบเชิงพาณิชย์.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่20.2549.
- [4] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, เสฏฐวรรธ สุจริตภักตสกุล. การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโต๊ะช่างแอนซิส.เอกสารเผยแพร่. CAD-IT CONSULTANTS. ครั้งที่ 1, 2560
- [6] ศ. ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ผศ. ดร.วิโรจน์ ลิ้มตะการ, เสฏฐวรรธ สุจริตภักตสกุลและ ยศกร ประทุมวัลย์. การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย SolidWorks Simulation, ฉบับที่ 2552/1.
- [7] ปราโมทย์ เดชะอำไพและ สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช. ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟต์แวร์, ฉบับที่ 2548/1.