

The background features several large, overlapping triangles in shades of green and yellow. Some triangles are solid, while others are semi-transparent, creating a layered effect. The overall color palette is bright and clean.

กลุ่มที่ 3

บทความระดับชาติ
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(National Papers in
Science and Technology)

การออกแบบถังพักไฮดรอลิก ภายใต้ภาระโหลดความร้อน
ด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล
HYDRAULIC RESERVOIR TANK DESIGN UNDER THERMAL LOAD
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHODS

เกียรติศักดิ์ สกุลพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Kiattisak.sa@spu.ac.th

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Thanapat.pr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

คุณภาพน้ำมันไฮดรอลิกที่ไม่สมบูรณ์และน้ำที่ผสมกับน้ำมันไฮดรอลิก รวมไปถึงการเกิดฟองอากาศและอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบร้อนเกินไป เป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบไฮดรอลิกต้องหยุดทำงานทั้งหมดจะเกิดขึ้นที่ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก คุณสมบัติความหนืดจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกขนาดมิติและปริมาตรน้ำมันในถังพักจึงเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์หาภาระโหลดความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิกเกรด ISO VG68 โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหลถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบผลเฉลยของกรณีศึกษาที่ได้สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาตรน้ำมันไฮดรอลิกควรจะมีสัดส่วน 65% ของปริมาตรทั้งหมดของถังพัก และการเพิ่มแผ่นกั้นภายในถังพักที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส จะมีฟลักซ์ความร้อนเกิดขึ้น 2.157 kW/m^2 และ 2.869 kW/m^2 ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศภายนอกได้เร็วขึ้นกว่าถังพักมาตรฐาน 80 วินาที ในขณะที่ขนาดมิติของถังพักไฮดรอลิก มีผลกระทบเล็กน้อยกับการระบายความร้อน

คำสำคัญ: ถังพักน้ำมันไฮดรอลิก, อัตราการถ่ายเทความร้อน, การจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ABSTRACT

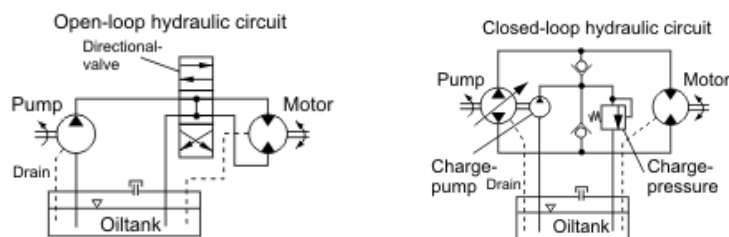
The quality of hydraulic oil, condensation, air bubbles, and increase in the temperature of hydraulic oil are the reasons of the hydraulic system downtime that occurs at the hydraulic reservoir tank. The properties of lubricants depend on the hydraulic oil temperature. Dimension and volume variables of hydraulic reservoir tank were used to calculate the heat load of hydraulic oil grade ISO VG68. Computational Fluid Dynamics approach was used to verify the results of assumptions that has been created for comparison with theoretical calculations. The results shown that the volume of hydraulic oil in the tank should not exceed 65 percent of total hydraulic reservoir volume. Adding a baffle inside the hydraulic reservoir tank with a hydraulic oil temperature difference

of 5 and 15 degrees Celsius, the heat flux was approximately 2.157 kW/m² and 2.869 kW/m². As a result, the heat transfer to the surrounding area is 80 seconds faster than the standard hydraulic reservoir tank. While the dimensions of the hydraulic reservoir it has little impact on heat dissipation.

Keywords: Hydraulic reservoir tank, Heat transfer rate, Numerical simulation

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic system) เป็นระบบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมเกือบจะทุกประเภท ระบบไฮดรอลิกเบื้องต้นมีส่วนสำคัญหลักๆ 3 ส่วน ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายพลังงาน, ระบบควบคุมการทำงาน, และอุปกรณ์ทำงาน การทำงานของระบบไฮดรอลิกจะเหมือนกับระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic system) คือจะมีการควบคุมทิศทางการทำงาน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวเชิงเส้น (Actuator) และการหมุนรอบแนวแกน (Motor) ในขณะที่อุปกรณ์และวงจรส่วนอื่นๆ จะเหมือนกัน แตกต่างกันที่ระบบนิวเมติกส์จะใช้ลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน และลมจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ซึ่งระบบไฮดรอลิกจะใช้น้ำมันไฮดรอลิก เป็นสารตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน หรือเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานกล โดยที่ระบบการทำงานจะเป็นวงจรแบบหมุนเวียน มีถังพักน้ำมันไฮดรอลิกทำหน้าที่ขจัดสิ่งสกปรก, ขจัดฟองอากาศ, และเป็นที่ระบายความร้อนของน้ำมันในระบบ เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกที่ได้จากการทำงานไหลกลับสู่ถังพักปั๊มไฮดรอลิกจะดูดน้ำมันกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง รูปแบบการทำงานนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบปิด (Close loop) และระบบเปิด (Open loop) ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 ทั้งสองระบบจะถูกใช้ในลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน โดยความซับซ้อนของระบบปิดจะมีมากกว่าระบบเปิด เพราะการควบคุมมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางได้ทั้งหมุนซ้ายและขวาโดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์วาล์วควบคุม อีกทั้งสามารถสร้างแรงดันน้ำมันได้สูงและควบคุมความดันขณะใช้งานได้คงที่กว่าระบบเปิด จึงทำให้ระบบปิดมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงกว่าระบบเปิดมาก



แผนภาพที่ 1 แสดงวงจรการทำงานของระบบปิดและระบบเปิดของไฮดรอลิก

[Exposito Anthony, (1997)]

อย่างไรก็ตาม น้ำมันไฮดรอลิกจะมีการหมุนเวียนอยู่ในระบบการทำงานตลอดเวลา ทำให้น้ำมันที่ผ่านกลับลงสู่ถังพักต้องมีการระบายความร้อนให้อยู่ในช่วงของค่าการใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ หากน้ำมันไฮดรอลิกมีความร้อนมากเกินไป จะส่งผลให้คุณสมบัติค่าความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกหมดสภาพ (ความหนืดต่ำกว่าค่ากำหนดใช้งาน) เป็นสาเหตุทำให้เกิดจากการสึกหรอของปั๊มไฮดรอลิก และต่อเนื่องถึงอายุการใช้งานที่สั้นลงของระบบ ส่งผลถึงค่าใช้จ่ายใน

การบำรุงรักษาระบบที่สูงขึ้นทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องไปยังการทำงานของเครื่องจักรอื่นๆ ปัจจุบันวิศวกรได้ทำการออกแบบถังพักไฮดรอลิกส์ให้มีขนาดใหญ่กว่าปกติเพื่อชดเชยปัญหาดังกล่าว ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนของระบบที่สูงขึ้น ดังนั้น แนวทางการปรับปรุงการออกแบบถังพักไฮดรอลิกส์ ในด้านการระบายความร้อนจึงเป็นที่มาของการศึกษาในโครงการนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์แบบระบบปิด ด้วยการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหล (CFD) สำหรับวิเคราะห์ภาวะไหลทางความร้อน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลการศึกษาวิจัยที่ได้สืบค้นจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า ถังพักไฮดรอลิกส์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญกับระบบไฮดรอลิกส์ เพราะจะเป็นส่วนในการกักเก็บน้ำมัน, การระบายความร้อน, การดักตะกอน, และอื่นๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์อื่นๆ เสื่อมคุณภาพลง ดังนั้นเพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุด การเกิดฟองอากาศ, ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์กรองน้ำมัน, ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ท่อทางเข้าและออก, ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกส์, การระบายความร้อน. เหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึง ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหล CFD ถูกใช้ในการประเมินสมรรถนะและพฤติกรรมการไหลของของไหลภายในถัง ที่มีความแม่นยำและมีผลเฉลยที่มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากผลการศึกษาวิจัยหลายชิ้นได้ใช้ในการประเมินและเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากชุดทดสอบจริง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบหัวข้อการศึกษาวิจัยและผลลัพธ์ที่ได้จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อ / ปีที่ตีพิมพ์เอกสาร	ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์	วิธีการหาผลเฉลยของปัญหา	ผลเฉลยที่ได้
Tic, V., & Lovrec D., (2012)	รูปทรงและขนาดของถังพัก	CFD	ลดการปั่นป่วนของน้ำมันภายในถังพัก
Marco L., et al. (2016)	ตำแหน่งทางเข้าและทางออก	ชุดทดสอบในห้องปฏิบัติการ	ลดการเกิดฟองอากาศในถังพัก
Alexander W., et al. (2016)	ปริมาณน้ำมันในถังพัก	ชุดทดสอบในห้องปฏิบัติการ & CFD	ลดการเกิดฟองอากาศในถังพัก
Thees V., & Ludger F., (2016)	รูปทรงและขนาดของถังพัก	CFD	ลดการเกิดฟองอากาศในถังพัก
Martin M., et al. (2017)	ปริมาณน้ำมันในถังพัก	CFD & FEM	ตรวจสอบความเค้นที่เกิดขึ้นภายในถังพัก
Belov N., & Sosnovsky N., (2020)	รูปทรงและขนาดของถังพัก	CFD	ลดการเกิดฟองอากาศ, และการเกิดความร้อนสะสมในถังพัก
Lukas M., & Bernhard M., (2020)	รูปทรงและขนาดของถังพัก	CFD	เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ, ลดการเกิดฟองอากาศ และการเกิดความร้อนสะสมในถังพัก

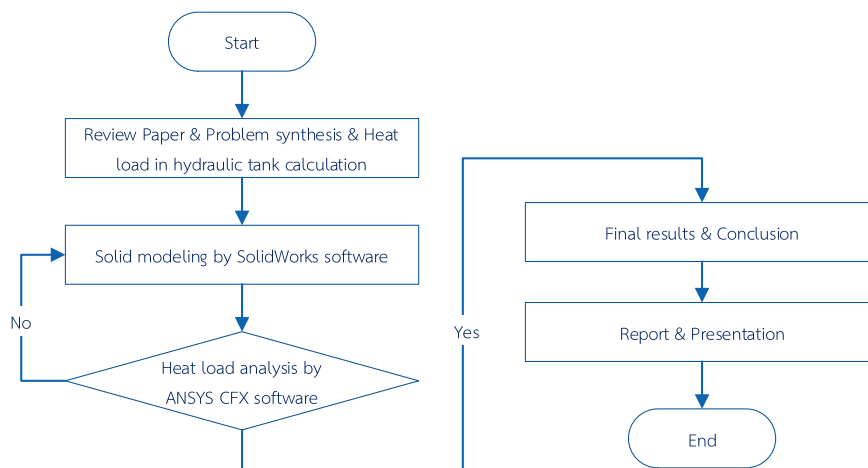
3.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

อุณหพลศาสตร์ว่าด้วยพลังงานในรูปแบบต่างๆ พลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถถ่ายโอนจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งอันเป็นผลมาจากอุณหภูมิ โดยการถ่ายโอนพลังงานจะเกิดจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ และการถ่ายเทพลังงานจะหยุดลงเมื่อตัวกลางทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของพลังงานภายในระบบที่สามารถอธิบายได้จากสมการด้านล่าง

$$Q = mC_{ave}\Delta T \quad (1)$$

โดยที่ Q คือ พลังงานภายในระบบ (kJ), C_{ave} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ [kJ/kg °C], m คือ มวลของระบบ [kg], และ ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิ [°C]. ค่าความจุความร้อน (Thermal Capacity) จะเท่ากับผลคูณของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ ดังนั้น ปริมาณของพลังงานภายในระบบ (Q) ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวที่ระบุ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา (Δt) เพื่อปรับสมดุลของอุณหภูมิ ลักษณะนี้จะเรียกว่า อัตราการถ่ายเทความร้อน หรือ ฟลักซ์ความร้อน (q), W/m² ที่สามารถอธิบายได้จากสมการด้านล่าง

$$q = \frac{Q}{A(\Delta t)} \quad (2)$$

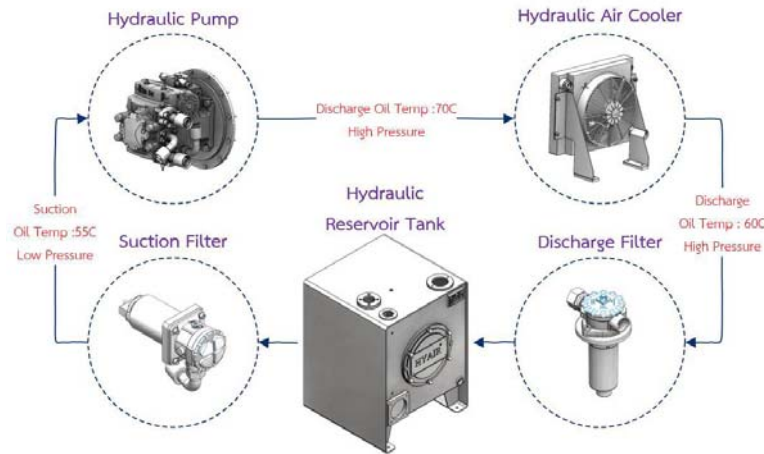


แผนภาพที่ 2 แผนผังแสดงกระบวนการทำงานวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มจากการศึกษาค้นคว้า ข้อมูลทางทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสังเคราะห์สาเหตุสำคัญและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อภาระระบายความร้อนของถังพักไฮดรอลิกส์ รวมไปถึงการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับถังพักไฮดรอลิกส์ และข้อจำกัดในการใช้งาน นอกจากนี้ ศึกษาการนำโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic, CFD) มาใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหา และตรวจสอบพฤติกรรมการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ภายในถังพักไฮดรอลิกส์ จากนั้นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นขนาดมิติของถังพัก, ปริมาณน้ำมันในถังพัก, อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์ทางเข้าและทางออก, เกรดน้ำมันไฮดรอลิกส์, และรูปแบบการใช้งาน ข้อมูลเหล่านี้ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาภาระไหลของความร้อนที่จะเกิดขึ้นในระบบการทำงานของถังพักไฮดรอลิกส์ โดยใช้ทฤษฎีทางด้านการถ่ายเท

ความร้อน ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงถังพักไฮดรอลิกส์ ให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงขอเสนอกระบวนการดำเนินงาน ดังแสดงในแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 3 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฮดรอลิกส์แบบโมบาย

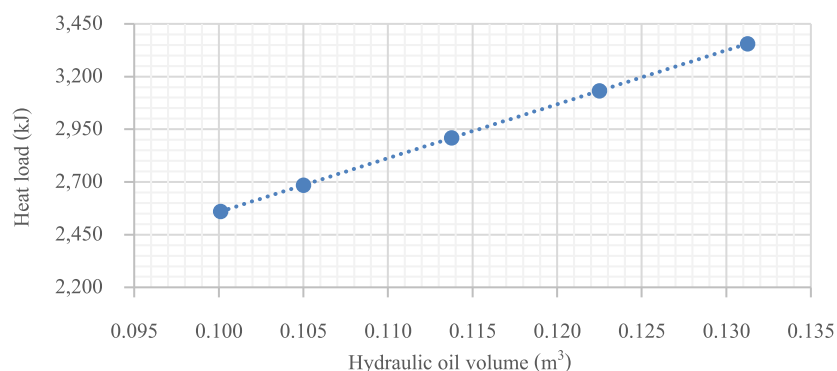
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของถังพักไฮดรอลิกส์

ข้อมูลความต้องการของลูกค้านำมาใช้ออกแบบระบบไฮดรอลิกส์ โดยจะเริ่มจากการพิจารณาขนาดของปั๊มไฮดรอลิกส์, อัตราการไหลที่จะใช้, แรงดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่จะใช้งาน, และขนาดถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์ อย่างไรก็ตาม ในโครงการวิจัยนี้จะกล่าวถึงเพียงขั้นตอนการออกแบบถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยข้อมูลอัตราการไหลของน้ำมันและอุณหภูมิใช้งาน จะถูกนำมาคำนวณหาภาระโหลดทางด้านความร้อนเพื่อพิจารณาเลือกชุดพัดลมระบายความร้อน (Air Cooler) น้ำมันอุณหภูมิสูงที่ผ่านการใช้งานมาจะไหลเข้าสู่ชุดพัดลมระบายความร้อน เพื่อลดอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์เข้าถังพักลง จากนั้นน้ำมันไฮดรอลิกส์จะไหลเข้าสู่ชุดกรอง และไหลลงสู่ถังพัก เพื่อให้สิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำมันได้ตกตะกอน พร้อมทั้งกำจัดฟองอากาศ รวมไปถึงระบายความร้อนสะสมของน้ำมันก่อนน้ำมันไฮดรอลิกส์จะถูกดูดออกจากถังพักไปใช้งานอีกครั้ง ขั้นตอนการทำงานในส่วนนี้จะแสดงในแผนภาพที่ 3 ปริมาณน้ำมันออกแบบจะพิจารณาจาก ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในสายน้ำมันไฮดรอลิกส์, ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในปั๊มไฮดรอลิกส์, ปริมาณน้ำมันที่อยู่ในกระบอกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกส์, ปริมาณน้ำมันในกรอง, และอื่นๆ ปริมาณน้ำมันเหล่านี้จะถูกบวกเพิ่มขึ้นไปอีกอย่างน้อย 3-5 เท่าของปริมาณน้ำมันที่ใช้ไหลเวียนทั้งหมดเพื่อออกแบบปริมาณน้ำมันที่จะต้องกักเก็บในถังพักไฮดรอลิกส์ ดังนั้นในเงื่อนไขนี้ ขนาดมิติภายในถังพักไฮดรอลิกส์ ที่ถูกออกแบบจะมีขนาดความกว้าง 500 มิลลิเมตร, ความยาว 700 มิลลิเมตร, ความสูง 500 มิลลิเมตร, และมีความหนาของผนังถังที่ทำด้วยแผ่นเหล็กเท่ากับ 4 มิลลิเมตร เพื่อบรรจุ น้ำมันไฮดรอลิกส์เกรด ISO VG68 ปริมาตร 100 ลิตร ที่มีระดับความสูงของน้ำมันภายในถังเท่ากับ 286 มิลลิเมตร คิดเป็น 57.2% ของปริมาตรทั้งหมดของถังพัก อุณหภูมิใช้งานของระบบไฮดรอลิกส์ที่ออกจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ก่อนเข้าถังพักถูกกำหนดให้ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ 3 ลิตรต่อวินาที โดยที่อุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ภายในถังพักก่อนจะถูกดูดไปใช้งานจะเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณภาระโหลดทางความร้อน

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลพื้นฐานและผลการคำนวณภาระโหลดความร้อนของถังพักไฮดรอลิกส์ปริมาตร 100 ลิตร

Item No.	Hydraulic Tank dimension	Amount	Item No.	Heat Transfer Rate Calculation	Amount
1	Width x Length x Height, [m]	$0.5 \times 0.7 \times 0.5$	8	Specific heat, C [J/kg K]	1,980
2	Total tank surface area, [m ²]	1.900	9	Ambient temp (air) [°C]	30.0
3	Oil Level, [%]	57.2%	10	Inlet oil temp, T _{in} [°C]	70.0
4	Oil level, [m]	0.286	11	Outlet oil temp, T _{out} [°C]	55.0
5	Oil volume, [m ³]	0.100	12	Temp difference, ΔT [°C]	15.0
6	Hydraulic density, ρ [kg/m ³]	861.0	13	Heat load, Q _{oil} [kJ]	2,559.7
7	Hydraulic mass, m [kg]	86.19	14	Heat up time, T [s]	300.0
			15	Heat transfer rate, Q [kW]	8.532
			16	Required cooling capacity, P _c [kW/°C]	0.213
			17	Heat flux, q [kW/m ²]	4.491
			18	Heat transfer coefficient, h [W/m ² K]	299.38

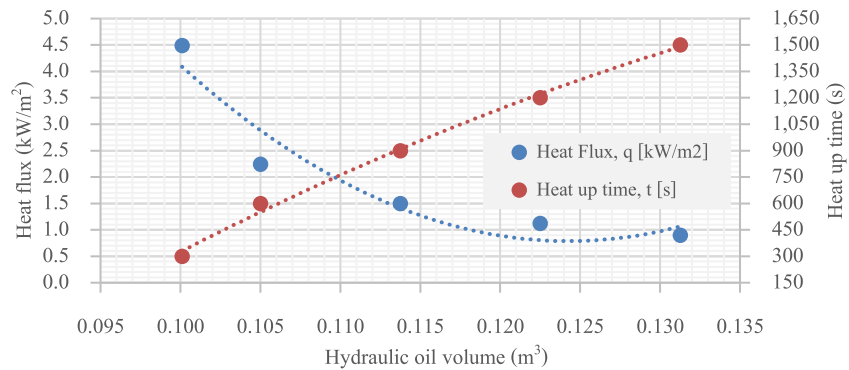
เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัญหาการถ่ายเทความร้อน มีสาเหตุมาจากขีดจำกัดในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยหลักการการเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนก็คือ การเพิ่มพื้นที่ที่ใช้ระบายความร้อน ซึ่งเมื่อทำการคำนวณตัวแปรดังกล่าว พบว่าแนวโน้มของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะลดลง ในขณะที่พื้นที่การระบายความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อผลต่างของอุณหภูมิทางเข้าและออก รวมไปถึงฟลักซ์ความร้อนมีค่าคงที่ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดของอุปกรณ์และค่าใช้จ่าย ถึงแม้ว่า การพาความร้อนโดยการบังคับ (Forced Convection) เป็นทางเลือกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสำหรับการออกแบบถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์ เพื่อให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แปรผันตามฟลักซ์ความร้อนหรือภาระโหลดความร้อนที่เข้าระบบ สามารถถ่ายเทให้กับอากาศภายนอกโดยรอบได้มากที่สุด



แผนภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรน้ำมันและภาระโหลดความร้อน

การเพิ่มพื้นที่ผิวการระบายความร้อนของถังพักส่งผลถึงปริมาณน้ำมันภายในถังพักด้วยเช่นกัน ซึ่งจากข้อมูลอ้างอิงของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปริมาตรน้ำมันภายในถังควรจะมีอย่างน้อย 65% ของปริมาตรถังพัก จึงได้ทำการพิจารณาเพิ่มปริมาณน้ำมันในถังพัก คิดเป็นสัดส่วนปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่เพิ่มขึ้น 60-75% ของปริมาตรทั้งหมดของถังพัก โดยกำหนดให้พื้นที่ผิวระบายความร้อนคงที่ เพื่อทำการตรวจสอบภาระโหลดทาง

ความร้อนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในแผนภาพที่ 4 พบว่า ภาระโหลดทางความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกสัภายในถังพัก ซึ่งมีความสอดคล้องกันอย่างชัดเจนตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น 25% อย่างไรก็ตาม ก็อาจจะส่งผลกระทบต่อภาระระบายอากาศภายในถังพักด้วยเช่นกัน เมื่ออุณหภูมิภายในถังเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความดันบรรยากาศภายในถังพัก



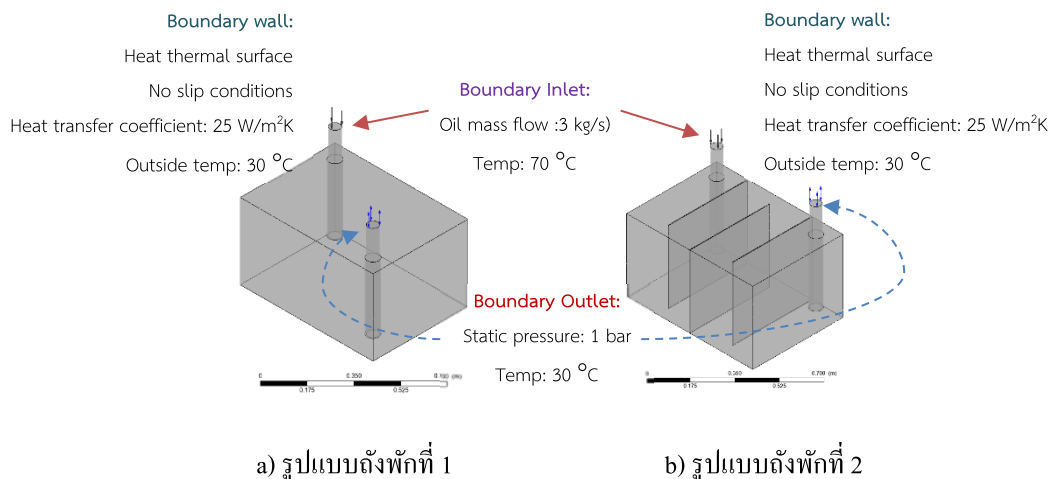
แผนภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและฟลักซ์ความร้อนกับระยะเวลา

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันในถังที่เพิ่มขึ้นกับฟลักซ์ความร้อนและระยะเวลาการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในแผนภาพที่ 5 อัตราการลดลงของฟลักซ์ความร้อนจะไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันในถังที่เพิ่มขึ้นสืบเนื่องจากค่าฟลักซ์ความร้อนที่ลดลง การเพิ่มปริมาณน้ำมันในถังมากขึ้นจากปกติอีก 25% จะต้องเพิ่มระยะเวลาในการดึงความร้อนออกจากระบบถึง 1,200 วินาที ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนมากขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยลงก็จริง แต่ก็ต้องใช้ระยะเวลาในการนำความร้อนนั้นออกจากระบบที่นานขึ้นด้วยเช่นกัน การพาความร้อนแบบบังคับในขณะที่ พื้นที่ระบายความร้อนคงที่จะเป็นทางออกสำหรับการออกแบบถังพักน้ำมันไฮดรอลิก ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำมันในถังพักที่เพิ่มขึ้นจาก 57.2% เป็น 75% จะทำให้ฟลักซ์ความร้อนน้อยลง แต่ส่งผลให้ต้องติดตั้งพัดลมระบายอากาศใหญ่ขึ้นเพื่อดึงปริมาณความร้อนออกในระยะเวลาที่เท่ากับการดึงความร้อนที่ปริมาณน้ำมันเริ่มต้น

5. การจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

การแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหล CFD หรือที่เรียกว่าการจำลองระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการนาเวียร์-สโตก (Navier-Stokes Equation) แบบของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของไหลของของไหลและหาค่าต่างๆ ในรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยโมเดล 3 มิติของถังพักที่ถูกจำลองขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 รูปทรง ที่มีขนาดมิติภายนอกเท่ากัน แต่จะแตกต่างกันภายในถัง โดยถังพักน้ำมันรูปแบบที่ 1 จะไม่มีแผ่นกั้นภายในเหมือนรูปแบบถังพักที่ 2 ดังแสดงในแผนภาพที่ 6 อย่างไรก็ตาม โมเดลจะถูกตัดลดปริมาณที่เป็นของแข็งออก จะใช้เพียงปริมาตรรูปทรงของของไหลที่อยู่ในถังพักในการวิเคราะห์เท่านั้น โดเมนที่จะใช้ในการคำนวณจะถูกกำหนดเป็นแบบ Transient สมการกำลังสองของออยเลอร์ ถูกนำมาใช้สำหรับเงื่อนไขของเทอมการหน่วงเวลา เกณฑ์การลู่เข้าของผลลัพธ์จากการจำลอง (Convergence) จะถูกกำหนดให้หยุดประมวลผลเมื่อมีค่าความแตกต่างของตัวแปรน้อยกว่า 10^{-6} โดยรูปแบบ

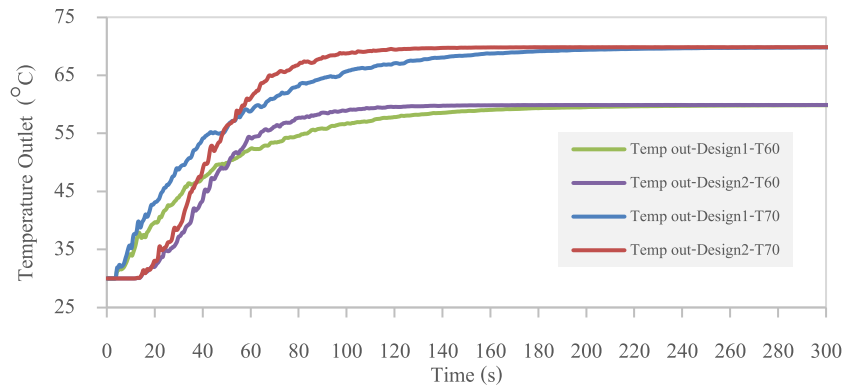
การไหลแบบปั่นป่วนของของเหลวชนิด $k-\epsilon$ ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์กับเงื่อนไขการปรับปรุงพฤติกรรม การไหลบริเวณผนังแบบอัด โนมิตี ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง, อัตราการไหลของมวลและอุณหภูมิจะถูก กำหนดไว้ที่ขอบเขตทางเข้า ในขณะที่เงื่อนไขขอบเขตทางออก (Outlet) ที่มีค่าเฉลี่ยของความดันบรรยากาศที่ และอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์ถูกกำหนดไว้บริเวณพื้นผิวของท่อทางออก นอกจากนี้ เงื่อนไขของอุณหภูมิ เบื้องต้นของพื้นผิวดังกล่าวจะกำหนดให้เป็นแบบการถ่ายเทความร้อน (Heat thermal) โดยมีสัมประสิทธิ์การพา ความร้อนบริเวณพื้นผิวภายนอกตั้งเท่ากับ $25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ภายใต้เงื่อนไขของ Timesteps: 0.01 วินาที ในช่วงเวลา ทั้งหมด (Total time step) 600 วินาที เพื่อทำการตรวจสอบหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวดัง น้ำมันไฮดรอลิกส์ และอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทางออกที่ขึ้นอยู่กับเวลา



แผนภาพที่ 6 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการจำลองรูปทรง 3 มิติ ของถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

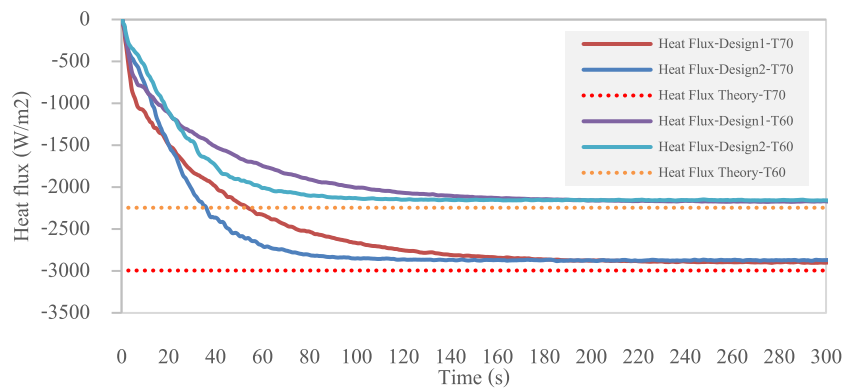
5.1 การวิเคราะห์ผลเฉลยของโปรแกรม ANSYS CFX

สมมุติฐานที่ตั้งไว้จะมีอยู่ 2 เงื่อนไข คือ การเปลี่ยนแปลงระยะทางของการเคลื่อนที่น้ำมันไฮดรอลิกส์ ขาเข้า จนกระทั่งเกิดการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิโดยรอบถังพักภายนอก ก่อนถูกดูดไปใช้งาน สมมุติฐานที่ 1 จะเป็นรูปแบบถังพักที่ 1 ที่เป็นมาตรฐานของทางบริษัท และสมมุติฐานที่ 2 คือรูปแบบถังพักที่ 2 ที่มีการเพิ่มแผ่น กั้นภายในถังพัก เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ให้ระยะทางในการไหลไปมา ก่อนที่จะถูกดูด ออกไปใช้งาน ทั้งสองสมมุติฐานจะมีขนาดมิติถังพักภายนอกเท่ากัน และเงื่อนไขของพลังงานความร้อนทางเข้า และอุณหภูมิทางออกตรงท่อทางดูดจะเท่ากันทั้ง 2 สมมุติฐาน ซึ่งโปรแกรม ANSYS CFX จะประเมินผลเฉลยจาก เงื่อนไขต่างๆ ดังต่อไปนี้



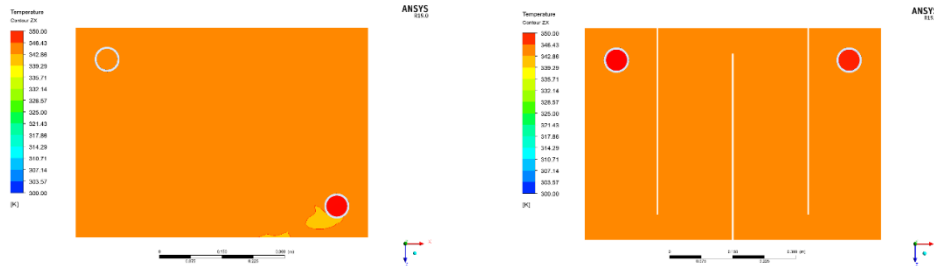
แผนภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิทางออกถึงพักกับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง

จากแผนภาพที่ 7 พบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ผ่านการใช้งานมาที่อุณหภูมิทางเข้า 70 องศาเซลเซียส ผ่านเข้าสู่ถึงพักทั้งสองรูปแบบจะใช้ระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนสั้นกว่าค่าที่ออกแบบทางทฤษฎี ประมาณ 80 วินาที และเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไปอุณหภูมิสุดท้ายตรงทางออกถึงพักจะเท่ากับอุณหภูมิทางเข้า ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์หลังจากผ่านชุด Air Cooler แล้วทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าสู่ถึงพัก ผลเฉลยก็ยังคงใช้ระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เท่าเดิมคือ 220 วินาที การแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างรูปแบบถึงที่ 1 และ 2 พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในรูปแบบถึงที่ 2 จะเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วกว่ารูปแบบที่ 1 ที่ระยะเวลาเพียง 140 วินาที ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถึงรูปแบบที่ 1 จะมีรูปแบบการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งกว้างและใช้ระยะเวลากว่า 220 วินาทีในการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State)



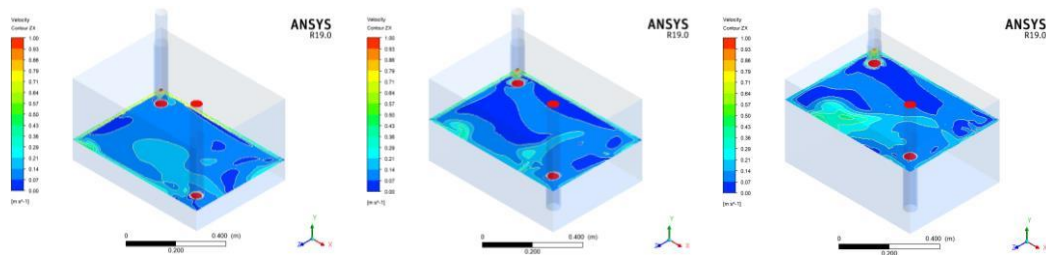
แผนภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์ความร้อนกับระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง

นอกจากนั้น ฟลักซ์ความร้อนที่เกิดขึ้นของสมมุติฐานทั้ง 2 รูปแบบดังแสดงในแผนภาพที่ 8 พบว่าการเกิดฟลักซ์ความร้อนของถึงพักรูปแบบที่ 2 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อทำการผลเฉลยจาก CFD ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีฟลักซ์ความร้อนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวถึงพักทั้งหมดเท่ากับ 2.869 kW/m² จะต้องใช้ระยะเวลาในการดึงความร้อน 140 วินาที ของถึงรูปแบบที่ 2 และ ระยะเวลา 220 วินาทีในถึงรูปแบบที่ 1 ในทางกลับกัน ผลเฉลยจาก CFD ที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีฟลักซ์ความร้อนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวถึงพักทั้งหมดเท่ากับ 2.157 kW/m² จะต้องใช้ระยะเวลาในการดึงความร้อนเท่ากัน ส่งผลต่อเนื่องถึงขนาดพื้นที่ของถึงพัก และขนาดที่เหมาะสมของ Air Cooler

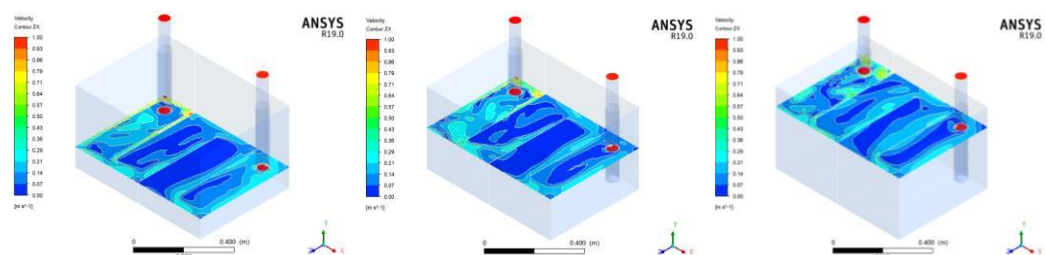


แผนภาพที่ 9 แสดงระดับเฉลี่ยของอุณหภูมิบนระนาบ XZ ที่เวลา 300 วินาทีของรูปแบบถังที่ 2 แบบ

การกระจายเฉลี่ยของอุณหภูมิ ณ เวลา 300 วินาที ของถังพักทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในแผนภาพที่ 9 บนระนาบ XZ (มุมมองด้านบนถังพัก) การกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอกันตลอดทั้งระนาบ ในขณะที่เมื่อตรวจสอบความเร็วในการไหลภายในถังพักทั้งสองรูปแบบที่ระดับความสูงของน้ำมันไฮดรอลิกส์ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, และ 0.3 เมตร พบว่า เส้นทางการไหลของความเร็วในถังพักที่ 1 ดังแสดงในแผนภาพที่ 10 มีความเร็วของน้ำมันกระจายเต็มพื้นที่หน้าตัด ในขณะที่ ความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในถังรูปแบบที่ 2 มีความเร็วลดลงตรงบริเวณกึ่งกลางถังพัก ดังแสดงในแผนภาพที่ 11 ซึ่ง ก็เป็นไปตามสมมุติฐานที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการออกแบบถังรูปแบบที่ 2 จะเป็นการชะลอความเร็วให้ตะกอนที่มากับน้ำมันไฮดรอลิกส์ตกลงก้นถัง และลดการเกิดฟองอากาศภายในถังด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่า การถ่ายเทความร้อนจะไม่ชัดเจนถึงค่าความแตกต่างกันมากเท่าที่ควร



แผนภาพที่ 10 แสดง Velocity contour บนระนาบ XZ ที่เวลา 300 วินาทีของรูปแบบถังที่ 1



แผนภาพที่ 11 แสดง Velocity contour บนระนาบ XZ ที่เวลา 300 วินาทีของรูปแบบถังที่ 2

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า ภาวะไหลตกทางความร้อนของถังพักไฮดรอลิกส์ขนาด 100 ลิตร ที่บรรจุน้ำมันไฮดรอลิกส์เกรด ISO VG68 โดยมีอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกส์ทางเข้า 70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำมันไฮดรอลิกส์ทางออก 55 องศาเซลเซียส กำหนดให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นภายในเวลา 300 วินาที ที่พื้นที่ผิวทั้งหมดของถังพักเท่ากับ 1.90 m^2 จะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 4.49 kW/m^2 และขนาดของพัดลมระบายอากาศ

เท่ากับ $0.213 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทางทฤษฎีกับผลเฉลยของโปรแกรม ANSYS CFX พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะมีฟลักซ์ความร้อนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวถึงพักทั้งหมดเท่ากับ $2.869 \text{ kW}/\text{m}^2$ จะต้องใช้ระยะเวลาในการดึงความร้อน 140 วินาที ของถึงรูปแบบที่ 2 และ ระยะเวลา 220 วินาทีในถึงรูปแบบที่ 1 ในทางกลับกัน ผลเฉลยที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะมีฟลักซ์ความร้อนเกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวถึงพักทั้งหมดเท่ากับ $2.157 \text{ kW}/\text{m}^2$ และจะต้องใช้ระยะเวลาในการดึงความร้อนเท่ากับกับเงื่อนไขแรก นอกจากนี้ พฤติกรรมของเส้นทางการไหลของความเร็วในถึงพักที่ 1 จะมีความเร็วสูงกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที กระจายทั่วถึงพัก ในขณะที่ ความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกในถึงรูปแบบที่ 2 มีความเร็วต่ำกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที กระจายตรงบริเวณกึ่งกลางถึงพักกว่า 50% ของพื้นที่หน้าตัด ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ได้ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการออกแบบถึงพักรูปแบบที่ 2 จะเป็นการชะลอความเร็วให้ตะกอนที่มากับน้ำมันไฮดรอลิกส์ตกลงก้นถึง และลดการเกิดฟองอากาศภายในถึงพัก

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การศึกษาภาระโหลดความร้อนของถึงพักไฮดรอลิกส์ ด้วยการตรวจสอบผลลัพธ์ จากสมมุติฐานต่างๆ ด้วยโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมพลศาสตร์ของไหล ขนาดมิติของถึงพักไฮดรอลิกส์ มีผลกระทบเล็กน้อยกับการระบายความร้อน ผลเฉลยของโปรแกรม ANSYS CFX ไปในทิศทางเดียวกันกับ ทฤษฎี ซึ่งสมมุติฐานของถึงพักรูปแบบที่ 2 จะชะลอความเร็วให้ตะกอนที่มากับน้ำมันไฮดรอลิกส์ตกลงก้นถึงได้ ดีกว่าถึงพักรูปแบบที่ 1 ในขณะที่การระบายความร้อนจะขึ้นอยู่กับขนาดของพัดลมระบายอากาศ Air Cooler โดยที่ตัวแปรที่มีความสำคัญในการเลือกคือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อน

7. ข้อเสนอแนะ

(1) เนื่องจากปริมาณของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่จะต้องบรรจุลงในถึงพัก ต้องมี 65% ของปริมาณทั้งหมด ของถึงพัก ตัวแปรของความสูงถึงพัก จะมีผลต่อการเกิดฟองอากาศภายในถึงพักด้วยเช่นกัน ดังนั้น ควรจะมีการวิเคราะห์ตัวแปรนี้ เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและรูปร่างของถึงพักน้ำมันไฮดรอลิกส์

(2) การจำลองโมเดลในการวิเคราะห์ในโปรแกรม ANSYS CFX ควรจะจำลองโมเดลของอากาศภายใน ถึงพักด้วย โดยกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เป็น Multiphase Flow เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลง บริเวณพื้นผิวที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอากาศกับน้ำมันไฮดรอลิกส์

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท นำพลอินเตอร์เทรด จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย อีกทั้งความช่วยเหลือ ข้อมูลทางด้านเทคนิค จาก บริษัท แอโรฟลูอิด จำกัด ตลอดจนขอขอบพระคุณ คณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่สนับสนุนให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูล และเอกสารในการจัดทำงานวิจัยชิ้นนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- Alexander W., Alexander B., & Drik S., (2016). An approach to optimize the design of hydraulic reservoirs, *10th International Fluid Power Conference*, pp. 609-618.
- Belov N., & Sosnovsky N., (2020). Design of an optimal hydraulic tank configuration, *Materials Science and Engineering*, Vol. 779 (012041), pp. 1-8.
- Cengel, Y.A. (2002), Heat transfer: A Practical Approach, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.

- Exposito, Anthony, (1997), Fluid Power with Applications, 4th Edition, *Prentice Hall*, New Jersey.
- Lukas M., & Bernhard M., (2020). Optimizing hydraulic reservoirs using Euler-Euler LaGrange multiphase CFD simulation, *12th International Fluid Power Conference*, pp. 295-304.
- Marco L., Alessandro P., Hubertus M., (2016). Experimental investigation of the air release in hydraulic reservoirs, *10th International Fluid Power Conference*, pp. 597-608.
- Martin M., Milan Z., Peter P., & Peter W., (2017). CFD simulation of hydraulic tank, *Procedia Engineering*, 192, pp. 609-614.
- Thees V., & Ludger F., (2016). Development of hydraulic tanks by multi-phase CFD simulation, *10th International Fluid Power Conference*, pp. 619-630
- Tic V., & Lovrec D., (2012). Design of modern hydraulic tank using fluid flow simulation, *International Journal Simulation Model*, 11(2), pp.77-88.