

การพัฒนาเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อการถอดแบร์ริงจากชุดโรเตอร์ของเครื่องจักรหมุน

Development of an Induction Heating Device for Bearing Removal

from Rotating Machinery Rotors

พีรวัฒน์ มีสุข^{1*} หัสณัย เปียชาติ² และ อนรรักษ์ ใจวงศ์โลก¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

peerawat.me@bsru.ac.th^{*}, anurak.ja@bsru.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

rajajt47@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการถอดแบร์ริงออกจากโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรกลหมุน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดจากวิธีการถอดแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงกล เช่น เครื่องดึงแบร์ริง ซึ่งเสี่ยงต่อการทำลายเพลลาหรือชิ้นส่วน เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำถูกนำมาประยุกต์เพื่อให้ความร้อนแก่แบร์ริงจนเกิดการขยายตัวทางความร้อนทำให้สามารถถอดออกได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องออกแรงมาก เครื่องที่พัฒนาขึ้นใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิและขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อลดการสัมผัสโดยตรง การทดสอบกับแบร์ริงเบอร์ 6205 และ 6206 ที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส แบร์ริงเกิดการขยายตัวประมาณ 0.001 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 0.04 ของขนาดเดิม ส่งผลให้สามารถถอดแบร์ริงออกจากโรเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองยืนยันว่าการใช้เทคโนโลยีเหนี่ยวนำความร้อนช่วยลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของชิ้นส่วน เพิ่มความปลอดภัย และเหมาะสมสำหรับการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันและเชิงคาดการณ์ในอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: เครื่องเหนี่ยวนำความร้อน, การถอดแบร์ริง, วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์, การขยายตัวทางความร้อน

Abstract

This research presents the development of an induction heating system for removing bearings from the rotors of electric motors and rotating machinery. The objective is to minimize damage that may occur when using conventional mechanical pullers, which often apply excessive force and risk harming the shaft or other components. The proposed system utilizes induction heating technology to heat the bearing, causing thermal expansion that facilitates easy removal with minimal mechanical force. A full-bridge converter circuit is employed to achieve precise temperature control and an induction coil to generate heat without direct mechanical contact. Experiments were conducted on bearings No. 6205 and 6206 at target temperatures of 90°C and 100°C. The results indicate that at 100°C, the bearings expanded by approximately 0.001 mm, equivalent to 0.04% of their original size, which allowed effective removal from the rotor. The findings confirm that

induction heating reduces the risk of component damage, enhances operational safety, and is well suited for preventive and predictive maintenance in industrial applications.

Keywords: Induction heating, bearing removal, full-bridge converter, thermal expansion

1. บทนำ

การถอดแบร์ริง (Bearing) ออกจากโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรกลหมุน เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความระมัดระวังสูง เนื่องจากหากใช้แรงกลมากเกินไปอาจทำให้เพลลาหรือแบร์ริงเกิดความเสียหายได้ วิธีการถอดแบบดั้งเดิมที่ใช้แรงดึงกล (mechanical puller) มักเกิดความเสี่ยงต่อความเสียหายของชิ้นส่วน และไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องการความรวดเร็วหรือมีความถี่ในการซ่อมบำรุงสูง [1]

เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Heating) เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในงานบำรุงรักษาและซ่อมแซม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการติดตั้งและถอดแบร์ริง ด้วยคุณสมบัติการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ควบคุมได้แม่นยำ และไม่มีการสัมผัสทางกลโดยตรง จึงช่วยลดความเสียหายของชิ้นส่วนและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [2] การให้ความร้อนแก่แบร์ริงทำให้เกิดการขยายตัวทางความร้อน (thermal expansion) ซึ่งช่วยให้แบร์ริงหลุดออกจากเพลลาได้โดยไม่ต้องใช้แรงดึงมากนัก การพัฒนาเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0–110 °C และทดสอบกับตลับลูกปืนขนาดต่าง ๆ พร้อมประเมินผลเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการถอดแบร์ริงโดยใช้ induction heating แทนการใช้แรงดึง [3] การใช้ induction heating ผ่าน full-bridge inverter ในกระบวนการอบชุบเพลลา ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานติดตั้งและถอด bearing [4]

อย่างไรก็ตาม เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาสูง และมักออกแบบมาเพื่อการติดตั้งแบร์ริง (mounting) มากกว่าการถอดออก (disassembly) ดังนั้น การพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ออกแบบเฉพาะสำหรับการถอดแบร์ริง จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดต้นทุนการซ่อมบำรุง เพิ่มความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพในการถอดชิ้นส่วนในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพื่อการถอดแบร์ริงออกจากโรเตอร์ โดยใช้วงจรฟูลบริดจ์คอน

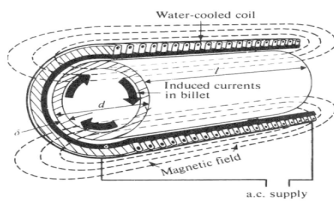
*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

เวอร์เตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิ และการทดลองใช้งานจริง เพื่อให้ได้การใช้งานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเหนี่ยวนำความร้อน

การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเกิดจากหลักการทางไฟฟ้าและความร้อนที่ทำงานร่วมกัน เมื่อกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ จะสร้าง สนามแม่เหล็ก ขึ้นซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิด กระแสไฟฟ้า ในชิ้นงานโลหะที่อยู่ภายใน กระแสไฟฟ้าที่ไหลในชิ้นงานนี้จะทำให้เกิด ความร้อนบริเวณผิว ซึ่งปริมาณความร้อนขึ้นอยู่กับความถี่และความลึกของชิ้นงาน ดังนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังส่วนอื่น ๆ ของชิ้นงานผ่านการนำ การพา และการแผ่รังสี.[5-6]



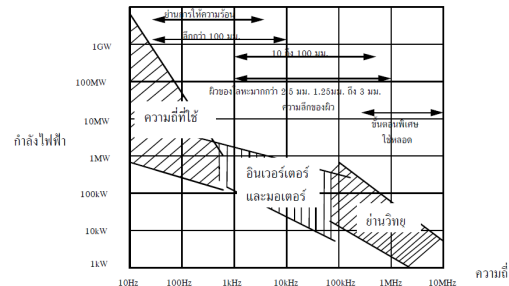
รูปที่ 1 โครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำอย่างง่าย

2.2 ความถี่ที่ใช้งานและระดับความร้อนที่เหนี่ยวนำชิ้นงาน

ความถี่ที่ใช้งานและระดับกำลังความร้อนแบบที่เหนี่ยวนำชิ้นงานแต่ละแบบนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสลับที่จ่ายให้กับเครื่องและยังขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรรวมทั้งแสดงถึงความถี่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละช่วงจำแนกได้ดังนี้

- 1.) แหล่งจ่ายกำลังจากการไฟฟ้าโดยตรงเป็นระบบที่ใช้ความถี่จากสายส่งโดยตรง (50 และ 60 Hz) แรงดันไฟฟ้ามีความถี่ค่อนข้างต่ำจึงทำให้ค่าความลึกผิวในการให้ความร้อนมีค่ามากโดยค่าความลึกผิวจะมีค่าสูงตั้งแต่ 10 ถึง 100 มิลลิเมตร เครื่องให้ความร้อนแบบนี้นิยมใช้ในงานหลอมโลหะมีระดับกำลังที่สูงเป็นหลายเมกะวัตต์
- 2.) แหล่งจ่ายกำลังจากชุดมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นระบบที่มีการเปลี่ยนความถี่จากระบบไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งสร้างแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่สูงขึ้นโดยสามารถทำความถี่ได้ในช่วง 500 Hz ถึง 10 kHz ทำให้ได้ความลึกผิวตั้งแต่ 1 ถึง 10 มิลลิเมตร เครื่องให้ความร้อนชนิดนี้สามารถให้กำลังได้หลายร้อยกิโลวัตต์ ใช้ในงานหลอมโลหะมีระดับกำลังประมาณ 500 กิโลวัตต์ต่อเครื่อง
- 3.) แหล่งจ่ายกำลังจากระบบวงจรแปลงผันที่ใช้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำโดยมีการจัดวงจรได้หลากหลายลักษณะซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้เอสซีอาร์, ทรานซิสเตอร์กำลังและมอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งโดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 500 Hz ถึง 50 kHz การใช้งานมีหลายลักษณะเช่นที่ความถี่ต่ำมักจะเป็นงานหลอมโลหะ, ความถี่ปานกลางสำหรับงานชุบชิ้นรูปโลหะ, ความถี่สูงสำหรับงานชุบแข็งผิวเป็นต้น
- 4.) แหล่งจ่ายกำลังย่านความถี่วิทยุ (50 kHz ถึง 10 MHz) สำหรับความถี่ไม่เกิน 100 kHz ยังสามารถใช้พวกมอสเฟตกำลังได้แต่

ที่ความถี่สูงมากๆ นิยมใช้หลอดสุญญากาศเพราะสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำยังมีสมรรถนะในการใช้งานที่ความถี่สูงไม่เพียงพอโดยค่าความลึกผิวมีค่า 0.1-2 มิลลิเมตรเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้จะให้กำลังค่อนข้างต่ำในหลายสิบกิโลวัตต์เนื่องจากทำงานในย่านความถี่สูงเหมาะใช้ในงานเชื่อมประสานและการชุบผิวแข็งจะเห็นว่าความถี่นั้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อประสิทธิภาพความลึกผิวในชิ้นงานและกำลังขาเข้าที่ใช้ของชิ้นงานโดยที่เมื่อความถี่สูงขึ้นความลึกผิวจะลดลงประสิทธิภาพและกำลังขาเข้าของชิ้นงานจะสูงขึ้น

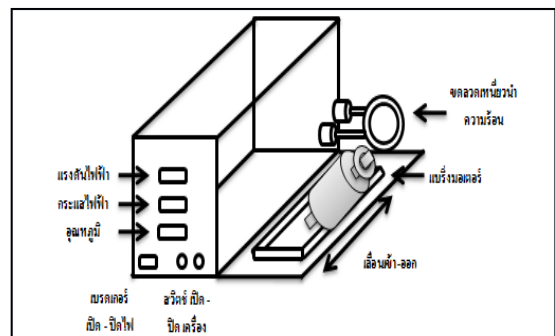


รูปที่ 2 ลักษณะการใช้งานของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำในย่านความถี่ต่างๆ

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบ

การออกแบบระบบโครงสร้างนั้นจะออกเป็นรูปแบบตู้ภายในตู้จะมีวงจรไฟฟ้าของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนและวงจรป้องกันอุปกรณ์ มีอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันกระแสและอุณหภูมิพร้อมชุดวางชิ้นงานสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนให้กับแบร้ง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างของเครื่อง

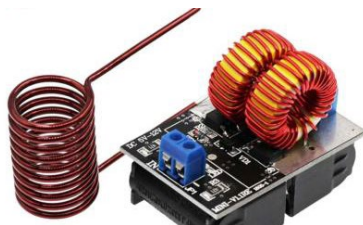
แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้เป็นระบบกระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำผ่านเมนเบรกเกอร์ จากนั้นไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำดังรูปที่ 4 เพื่อทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าลงเหลือ 24 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ สำหรับใช้งานในระบบ



รูปที่ 4 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ

ใช้วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบบริดจ์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 24 โวลต์ดีซี

เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสมาแล้วจะเข้าวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 3 หลักการทำงานของวงจรคือจะใช้ MOSFET ทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ในแต่ละครึ่งคาบเวลาโดย Q1 จะนำกระแสในครึ่งคาบเวลาและเมื่อหยุดนำกระแส Q2 จะนำกระแสในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ



รูปที่ 5 วงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

โดยขดลวดความร้อน ทำหน้าที่เหนี่ยวนำความร้อนให้กับตัวแบร์ริงทำให้เกิดความร้อนขึ้นและทำให้เกิดการขยายตัวจากความร้อนที่เหนี่ยวนำขึ้นงาน

การออกแบบระบบโครงสร้าง จะออกเป็นรูปแบบตู้ภายในตู้จะมีวงจรไฟฟ้าของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนและวงจรป้องกันอุปกรณ์ มีอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ

การออกแบบสวิตช์ปุ่มกด ทำหน้าที่ใช้สำหรับการเปิด-ปิดเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน อุปกรณ์ตรวจวัด ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิ สามารถติดตามการทำงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนดไว้



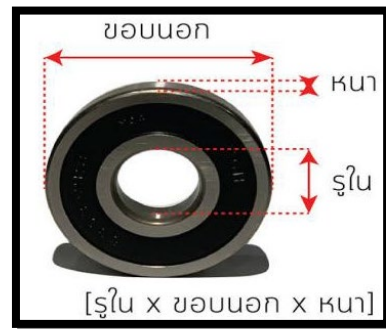
รูปที่ 6 โครงสร้างเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน

3.2 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ใช้แบร์ริง เบอร์ 6205 กับ 6206 ดังรูปที่ 5 โดยการวัดค่าก่อนและหลังการให้ความร้อน ทำการวัดรัศมีขอบด้านนอกความหนา รัศมีรูด้านใน ดังรูปที่ 7

Part No.	d	D	B	Weight
6200	10	30	9	0.03
6201	12	32	10	0.04
6202	15	36	11	0.06
6203	17	40	12	0.07
6204	20	47	14	0.11
6205	25	52	15	0.13
6206	30	62	16	0.20
6207	35	72	17	0.29
6208	40	80	18	0.37
6209	45	85	19	0.41
6210	50	90	20	0.46
6211	55	100	21	0.61
6212	60	110	22	0.76
6213	65	120	23	0.99
6214	70	125	24	1.05
6215	75	130	25	1.2
6216	80	140	26	1.4
6217	85	150	28	1.8
6218	90	160	30	2.2
6219	95	170	32	2.8
6220	100	180	34	3.2

รูปที่ 7 ลักษณะของแบร์ริง



รูปที่ 8 การวัดขนาดแบร์ริง

วัดขนาดแบร์ริงก่อนนำไปใส่ที่โรเตอร์ จากนั้นนำโรเตอร์ที่ต้องการถอดแบร์ริงออกไปทดสอบกับเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนตามรูปที่ 9 เมื่อเครื่องเริ่มทำงานจนอุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดให้นำแบร์ริงมาทำการถอดออกแล้ววัดการขยายตัวของแบร์ริง



รูปที่ 9 การทดสอบเครื่องให้ความร้อน

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้สำหรับการถอดแบร์ริง เบอร์ 6205 และเบอร์ 6206 พบว่าผลของการทำงานของวงจรที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส สามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4

ตารางที่ 1 การทดสอบถอดแบริ่งเบอร์ 6205 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	อุณหภูมิแบริ่งก่อนทดสอบ (°C)	อุณหภูมิแบริ่งหลังทดสอบ (°C)	ขนาดแบริ่งก่อนทดสอบ (mm.)	ขนาดแบริ่งหลังทดสอบ (mm.)	เวลาในการทดสอบ (นาฬิกา)	กระแสที่ใช้ (A)
1	31.1	91.6	25	25	1.16	0.8
2	31.7	92.4	25	25	1.18	0.8
3	31.7	92.4	25	25	1.16	0.8
4	31.1	91.7	25	25	1.18	0.8
5	31.2	93.1	25	25	1.21	0.8
เฉลี่ย	31.3	92.2	25	25	1.17	0.8

ตารางที่ 2 การทดสอบถอดแบริ่งเบอร์ 6206 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	อุณหภูมิแบริ่งก่อนทดสอบ (°C)	อุณหภูมิแบริ่งหลังทดสอบ (°C)	ขนาดแบริ่งก่อนทดสอบ (mm.)	ขนาดแบริ่งหลังทดสอบ (mm.)	เวลาในการทดสอบ (นาฬิกา)	กระแสที่ใช้ (A)
1	31.1	92.4	30	30	1.34	1.1
2	31.4	93.1	30	30	1.41	1.1
3	31.2	92.4	30	30	1.36	1.1
4	31.2	92.2	30	30	1.44	1.1
5	32.1	92.3	30	30	1.39	1.1
เฉลี่ย	31.4	92.4	30	30	1.38	1.1

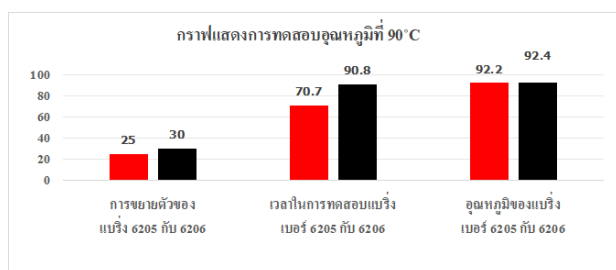
ตารางที่ 3 การทดสอบถอดแบริ่งเบอร์ 6205 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	อุณหภูมิแบริ่งก่อนทดสอบ (°C)	อุณหภูมิแบริ่งหลังทดสอบ (°C)	ขนาดแบริ่งก่อนทดสอบ (mm.)	ขนาดแบริ่งหลังทดสอบ (mm.)	เวลาในการทดสอบ (นาฬิกา)	กระแสที่ใช้ (A)
1	31.1	102	25	25.01	1.47	0.8
2	31.1	101	25	25.01	1.42	0.8
3	31.1	102	25	25.01	1.41	0.8
4	31.2	101	25	25.01	1.48	0.8
5	31.2	101	25	25.01	1.42	0.8
เฉลี่ย	31.1	101	25	25.01	1.44	0.8

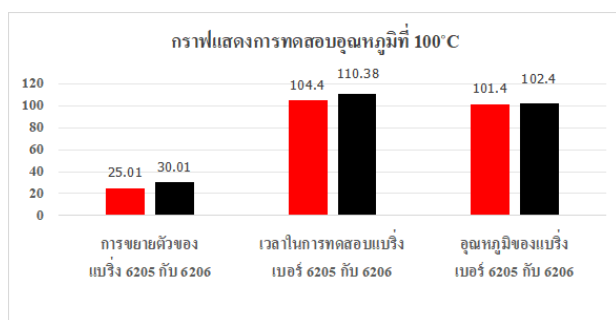
ตารางที่ 4 การทดสอบถอดแบริ่งเบอร์ 6206 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	อุณหภูมิแบริ่งก่อนทดสอบ (°C)	อุณหภูมิแบริ่งหลังทดสอบ (°C)	ขนาดแบริ่งก่อนทดสอบ (mm.)	ขนาดแบริ่งหลังทดสอบ (mm.)	เวลาในการทดสอบ (นาฬิกา)	กระแสที่ใช้ (A)
1	31.6	102	30	30.01	1.57	1.1
2	31.2	103	30	30.01	1.51	1.1
3	31.1	102	30	30.01	1.53	1.1
4	31.2	104	30	30.01	1.54	1.1
5	31.1	101	30	30.01	1.54	1.1
เฉลี่ย	31.2	102	30	30.01	1.53	1.1

นำข้อมูลมาแสดงผลเป็นกราฟโดยเป็นข้อมูลการขยายตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังการทดสอบ ดังรูปที่ 10 และ รูปที่ 11



รูปที่ 10 ผลการทดสอบเครื่องให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 11 ผลการทดสอบเครื่องให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส แบริ่งเบอร์ 6205 กับ 6206 ทดสอบการขยายตัวของแบริ่ง ระยะเวลาในการเหนี่ยวนำแบริ่งเมื่อนำค่าพื้นฐาน

5. สรุป

จากการทดสอบอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส แบริ่งเบอร์ 6205 กับ 6206 ทดสอบการขยายตัวของแบริ่ง ระยะเวลาในการเหนี่ยวนำแบริ่งเมื่อนำค่าพื้นฐานของแบริ่งเบอร์ 6205 กับ 6206 มาเปรียบเทียบแบริ่งเบอร์ 6205 ขนาดรูใน 25mm. และ 6206 ขนาดรูใน 30mm. ผลการทดสอบพบว่ามีความเท่าเทียม แต่เมื่อทำการทดสอบอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการขยายตัวของแบริ่งเบอร์ 6205 ขนาดรูใน 25mm. และ 6206 ขนาดรูใน 30mm. มีการขยายตัวคือ 0.001mm. เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ = 0.04 %

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Harris, T. A. (2001). Rolling Bearing Analysis. 5th ed. Wiley.
- [2] Ekin, J. W. (2006). Experimental Techniques for Low-Temperature Measurements. Oxford University Press.
- [3] สัมฤทธิ์ ทิมา ขวลิต ชิตทอง และ กนกกรณ์ ไชยธรรัตน์, “เครื่องทำความร้อนต้กลูกปืนในเฟลามาเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ,” วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, vol. 11, no. 1, pp. 96–106, 2562
- [4] วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ และ สายชล ชุตติเจจิน. (2017). การศึกษาฐานฐานเชิงเพลาถยนต์โดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. Journal of Engineering and Innovation, 10(2), 13–21.
- [5] เฉลียว เกตุแก้ว. (2557). “การออกแบบและจัดสร้างเตาทำทองม้วนสำหรับงานผลิตอาหาร OTOP.” รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [6] จิระศักดิ์ วงศา จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว และ วันชัย ทรัพย์สิงห์. (2559). นวัตกรรมการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ. Journal of Humanities and Social Sciences Thonburi University, 8(17), 111–117.