เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ

The Bearing Heater in the Motor Shaft Based on Induction and Temperature Control Theory

สัมฤทธิ์ ทิมา[1*] ชวลิต ชิดทอง[2] และ กนกภรณ์ ไชยธงรัตน์[2]

Samrit Thima[1*], Chowarit Chitthong[2] and Khanokporn Chaithongrat[2]

Received: 9 May 2018, Revised: 5 July 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อสร้างเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น หลังจากนั้น ใช้แบบประเมินประสิทธิภาพเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องและใช้แบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพของตัวเครื่องใน 3 ด้าน คือ ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งานและด้านพาณิชย์

ผลการวิจัยพบว่า เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์ โดยทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ สามารถควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 0 - 110 องศาเซลเซียส โดยการให้ความร้อนตลับลูกปืนโดยการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้า ตลับลูกปืน มี 3 ขนาดคือ ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร มีอัตราขยาย 0.25 มิลลิเมตร มีอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 0.243 มิลลิเมตร ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร มีอัตราขยาย 0.29 มิลลิเมตร มีอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 0.283 มิลลิเมตร และตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร มีอัตราขยาย 0.31 มิลลิเมตร มีอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 0.323 มิลลิเมตร ซึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทุกขนาด และมีความพึงพอใจในด้านโครงสร้างอยู่ในระดับ ค่าเฉลี่ย 4.33

---

[1] สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

[1] Program in Technical Education (Electrical Power), Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of technology Isan, Khonkaen Campus, Mueang, Khonkaen 40000, Thailand.

[2] สาขาวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยการอาชีพขอนแก่น อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น 40180

[2] Division of Electrical Power, Khonkaen Vocational College, Chonabod, Khonkaen 40000, Thailand.

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): plewtawan@hotmail.com

ด้านการใช้งานอยู่ในระดับ ค่าเฉลี่ย 4.40 ด้านพาณิชย์อยู่ในระดับ ค่าเฉลี่ย 4.33 รวมเฉลี่ยทั้ง 3 ด้าน คือ 4.35 อยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน, ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ, ทฤษฎีการควบคุมอุณหภูมิ

ABSTRACT

The objective of this quasi experimental research was to investigate the bearing heater in the motor shaft based on induction and temperature control theory. The research tool for this study was the bearing heater in the motor shaft created by the researchers and an evaluation form was used to assess the machine performance. Questionnaires were employed to obtain experts' satisfaction on the machine efficiency in three aspects - structure, usability and commerce. The results showed that the machine can control temperature between 0 - 110 ℃ and heat bearings by electric induction. There are three sizes of bearings. A 29.51 millimeter diameter bearing has an extension rate of 0.25 millimeter and the average expansion rate/temperature of 0.24 millimeter. The 34.47 millimeter diameter bearing has an extension rate of 0.29 millimeter and the average expansion rate/temperature of 0.28 millimeter, and the 39.51 millimeter diameter bearing has an extension rate of 0.31 millimeter and the average expansion rate/temperature of 0.32 millimeter. The temperature of 110 ℃ was applied to all sizes of bearings. The bearing heater in the motor shaft based on induction and temperature control theory has an average efficiency for the structure at 4.33, the usability at 4.40, and the commerce at 4.33. The total average efficiency of all aspects was highly observed at 4.35.

Key words: bearings, induction, temperature control theory

บทนำ

ประเทศไทยสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมตั้งแต่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2506-2509) โดยมีอุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมสาขาแรกของประเทศที่ได้รับการสนับสนุน เนื่องจากความได้เปรียบของประเทศไทยจากการมีวัตถุดิบอุดมสมบูรณ์ การใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงนักในการผลิต และความเชื่อมโยงกับภาคการเกษตรซึ่งเป็นวิถีชีวิตของคนส่วนใหญ่ในประเทศ ต่อมาเมื่อประเทศไทยมีการพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง และมีการลงทุนจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น การให้ความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหนัก หรืออุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ทันสมัยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐอย่างชัดเจนและเติบโตอย่างรวดเร็ว ด้วยความเชื่อที่ว่าการผลิตอุตสาหกรรมหนัก มีมูลค่าหรือราคาสินค้าสูง จึงน่าจะก่อให้เกิดประโยชน์กับประชาชนในประเทศสูงกว่าอุตสาหกรรมพื้นฐานอื่นๆ

อุปกรณ์ที่เป็นเสมือนกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรม คือ มอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า ปั๊ม เครื่องมือเครื่องใช้ใน

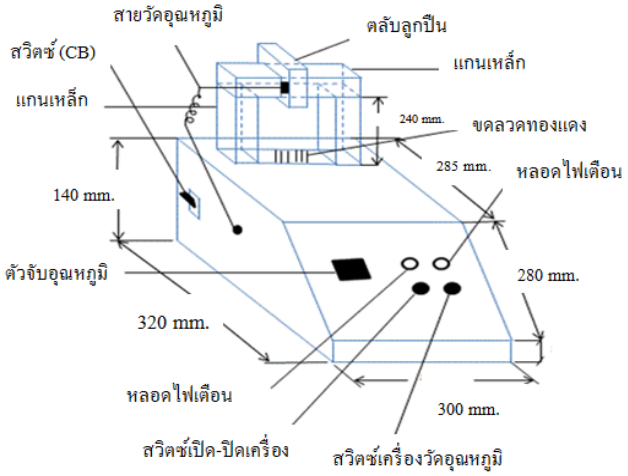
ครัวเรือน และดิสก์ไดร์ฟ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่ ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจจะพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้า ตามโครงสร้างภายใน ตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่นๆ

ปัจจุบันได้มีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอีกมากมาย ประจวบกับเทคโนโลยีใหม่ก็ได้นำมาใช้ควบคุมกลไก ชิ้นส่วนของเครื่องจักรให้ทำงานเคลื่อนไหวตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษาคุณสมบัติ หน้าที่และการนำไปใช้งาน รวมทั้งขั้นตอนการถอดประกอบมอเตอร์ที่ถูกต้อง (มานพ และคณะ, 2540) มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สำหรับในประเทศไทยมอเตอร์เป็นตัวจักรสำคัญที่ขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจของไทยให้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องด้วยร้อยละ 80 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ที่มอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นความสูญเสียส่วนใหญ่ในภาคอุตสาหกรรมจึงขึ้นอยู่กับมอเตอร์ และประสิทธิภาพของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ (บุญมี, 2550) อีกทั้งมอเตอร์ยังมีความสำคัญทางด้านการศึกษา โดยปกติแล้วมอเตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านกำลังต่อไป เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน มีเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพราะราคาเครื่องค่อนข้างสูง ทำให้อุตสาหกรรมขนาดเล็กใช้วิธีการขยายตลับลูกปืน โดยการนำค้อนมาตอกบนขอบตลับลูกปืนซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม ทำให้ตลับลูกปืนเกิดความเสียหาย และการทำงานของมอเตอร์มีทิศทางการหมุนไม่สมดุลหรือการขับโหลดไม่ได้เต็มที่ ส่งผลกระทบให้มอเตอร์ชำรุดเสียหาย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญ และสนใจที่จะสร้างเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมการผลิตมอเตอร์ขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยเน้นสร้างเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านโครงสร้าง



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ

2. ขอบเขตด้านคุณลักษณะเฉพาะด้านเทคนิค

2.1 ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 110 องศาเซลเซียส

2.2 ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

2.3 ให้ความร้อนตลับลูกปืนขนาดเล็ก ตั้งแต่เบอร์ 6006 - 6008

2.4 ให้ความร้อนตลับลูกปืนขนาดกลาง ตั้งแต่เบอร์ 6209 - 6215

2.5 ให้ความร้อนตลับลูกปืนขนาดใหญ่ ตั้งแต่เบอร์ 6316 - 6320

2.6 ให้ความร้อนตลับลูกปืน 1 ลูก ใช้ระยะเวลา 5 นาที

3. ขอบเขตด้านหลักการทำงานและการนำไปใช้งาน

3.1 นำตลับลูกปืนเข้าไปประกอบในแกนเหล็กด้านบนของเครื่องให้ความร้อนตลับลูกปืน

3.2 นำสายเทอร์โมคัปเปิ้ลไปจับที่ขอบด้านบนของตลับลูกปืน

3.3 เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ เครื่องจะเริ่มทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า

3.4 เมื่อเครื่องเริ่มทำงานประมาณ 4-5 นาที และมีอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ก็จะตัดระบบออก

3.5 ปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกจากวงจร

3.6 สวมถุงมือหนังเพื่อที่จะจับตลับลูกปืนไปประกอบใช้งานในแกนเพลามอเตอร์

วิธีดำเนินการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

2. เครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิมีผลการประเมินด้านคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี

1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.1 ตลับลูกปืนทั่วไป

1.2 ความเหนี่ยวนำ

1.3 การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ

1.4 แม่เหล็ก

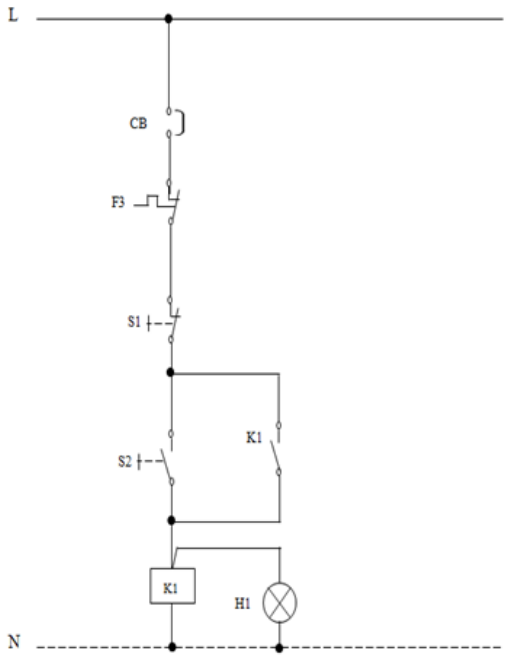
1.5 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

1.6 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิระบบดิจิตอล

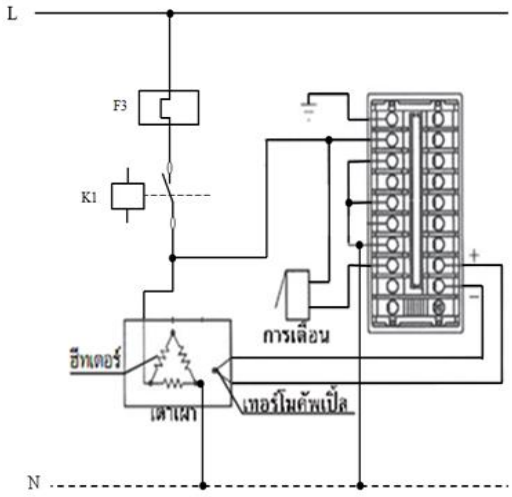
1.7 เทอร์โมคัปเปิ้ล

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. วิเคราะห์และออกแบบเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน



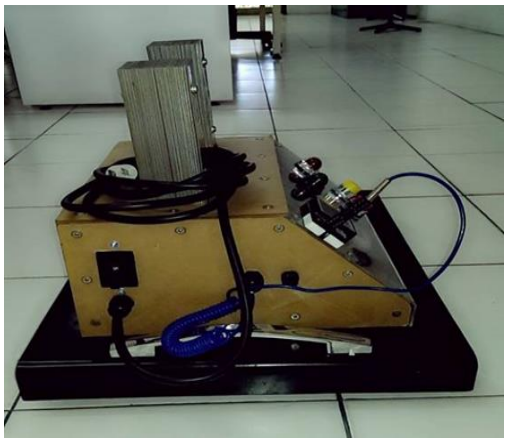
ภาพที่ 2 การออกแบบวงจรควบคุมของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน



ภาพที่ 3 การออกแบบวงจรกำลังของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน

3. สร้างเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน

ภาพที่ 4 ภาพด้านหน้าของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน



ภาพที่ 5 ภาพด้านข้างของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน

4. ทดสอบการทำงาน/ปรับปรุงแก้ไข

การทดสอบเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ จะทดสอบด้วยเหล็กเพลาจำนวน 3 ขนาด และขนาดของตลับลูกปืนจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร ขนาดกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร โดยตลับลูกปืนในแต่ละขนาดจะทดสอบจำนวน 10 ครั้งแต่ละครั้งจะให้ความร้อนเท่ากันทุกครั้ง นั่นคือ 110 องศาเซลเซียส

5. ประเมินคุณภาพของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืน จะใช้เกณฑ์การแปลความหมาย ดังต่อไปนี้

ระดับ 4.50 - 5.00	หมายถึง ดีมาก
ระดับ 3.50 - 4.49	หมายถึง ดี
ระดับ 2.50 - 3.49	หมายถึง พอใช้ได้
ระดับ 1.50 - 2.49	หมายถึง ควรปรับปรุง
ระดับ 1.00 - 1.49	หมายถึง ใช้ไม่ได้

6. เก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล จากผลการประเมินคุณภาพของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนที่ทดสอบด้วยเหล็กเพลาจำนวน 3 ขนาด และขนาดของตลับลูกปืนจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร ขนาดกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร โดยตลับลูกปืนในแต่ละขนาดจะทดสอบ 10 ครั้งแต่ละครั้งจะให้ความร้อนเท่ากันทุกครั้ง นั่นคือ 110 องศาเซลเซียส โดยเครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิจะทำหน้าที่ตรวจจับอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ เสนอดังข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การหาค่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและอัตราการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร			
เวลาในการให้ความร้อน	อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ	อัตราการขยาย	
(วินาที)	(องศาเซลเซียส)	รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
0	28	29.51	0
30	40	29.54	0.03
60	52	29.56	0.05
90	62	29.58	0.07
120	70	29.60	0.09
150	79	29.63	0.12
180	89	29.66	0.15
210	96	29.69	0.18
240	100	29.72	0.21
270	105	29.74	0.23
300	110	29.76	0.25

ตารางที่ 2 การหาค่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและอัตราการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร			
เวลาในการให้ความร้อน	อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ	อัตราการขยาย	
(วินาที)	(องศาเซลเซียส)	รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
0	28	34.47	0
30	44	34.50	0.03
60	51	34.54	0.07
90	60	34.57	0.10
120	66	34.60	0.13
150	73	34.63	0.16
180	81	34.67	0.20
210	88	34.69	0.22
240	95	34.71	0.24
270	100	34.73	0.26
300	105	34.74	0.27
330	110	34.76	0.29

ตารางที่ 3 การหาค่าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและอัตราการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร			
เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการขยาย	
		รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
0	28	39.51	0
30	44	39.55	0.04
60	53	39.60	0.09
90	62	39.65	0.14
120	71	39.70	0.19
150	81	39.74	0.23
180	91	39.78	0.27
210	100	39.80	0.29
240	110	39.82	0.31

ตารางที่ 4 การหาค่าอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร				
จำนวน (ครั้ง)	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	อัตราของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการขยาย	
			รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
1	300	110	29.76	0.25
2	300	110	29.74	0.23
3	300	110	29.75	0.24
4	300	110	29.78	0.27
5	300	110	29.74	0.23
6	300	110	29.72	0.21
7	300	110	29.77	0.26
8	300	110	29.78	0.27
9	300	110	29.75	0.24
10	300	110	29.74	0.23
				$\bar{X}$ = 0.24

ตารางที่ 5 การหาค่าอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร				
จำนวน (ครั้ง)	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	อัตราของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการขยาย	
			รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
1	330	110	34.76	0.29
2	330	110	34.78	0.31
3	330	110	34.77	0.30
4	330	110	34.74	0.27
5	330	110	34.72	0.25
6	330	110	34.77	0.30
7	330	110	34.74	0.27
8	330	110	34.75	0.28
9	330	110	34.77	0.30
10	330	110	34.73	0.26
				$\bar{X}$ = 0.28

ตารางที่ 6 การหาค่าอัตราขยายเฉลี่ย/อุณหภูมิ ในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง

ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร				
จำนวน (ครั้ง)	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	อัตราของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราการขยาย	
			รัศมี (มิลลิเมตร)	ผลต่าง (มิลลิเมตร)
1	240	110	39.82	0.31
2	240	110	39.80	0.29
3	240	110	39.83	0.32
4	240	110	39.82	0.31
5	240	110	39.84	0.33
6	240	110	39.83	0.32
7	240	110	39.85	0.34
8	240	110	39.83	0.32
9	240	110	39.85	0.34
10	240	110	39.86	0.35
				$\bar{X}$ = 0.32

จากการทดสอบทั้งหมดกับตลับลูกปืนจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร 34.47 มิลลิเมตร และ 39.51 มิลลิเมตร พบว่ารัศมีของตลับลูกปืนที่มีรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจะมีอัตราการขยายน้อยและรัศมีของตลับลูกปืนที่มีรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากจะมีอัตราการขยายมาก

การประเมินคุณภาพของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนโดยผู้เชี่ยวชาญ ดำเนินการโดยเก็บรวบรวมข้อมูล จากผลการประเมินคุณภาพของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ผลการประเมินแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 ผลการประเมินคุณภาพด้านโครงสร้าง

ข้อที่	ด้านโครงสร้าง	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1.	การออกแบบโครงสร้างการวางอุปกรณ์ได้เหมาะสม	4.0	0	ดี
2.	การออกแบบโครงสร้างมีความแข็งแรงและทนทาน	5	0	ดีมาก
3.	ขนาดของตัวอักษรแสดงสถานะอุณหภูมิได้เหมาะสม	4.0	0	ดี
	รวม	4.33	0	ดี

ตารางที่ 8 ผลการประเมินคุณภาพด้านการนำไปใช้งาน

ข้อที่	ด้านการใช้งาน	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1.	ระยะเวลาต่ออัตราการขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง	4.0	0	ดี
2.	อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ	4.0	0	ดี
3.	ตำแหน่งวางอุปกรณ์สวิตซ์ควบคุม	4.66	0.57	ดีมาก
4.	สามารถใช้ความร้อนในแกนเพลามอเตอร์ได้ 110°c	4.66	0.57	ดีมาก
5.	เสียงเตือนขณะหยุดการทำงาน	4.0	0	ดี
6.	ความสะดวกในการใช้งาน	4.66	0.57	ดีมาก
7.	ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.33	0.57	ดี
8.	มีความเหมาะสมกับระดับผู้ใช้งาน	4.33	0.57	ดี
9.	ความชัดเจนของจอแสดงผล	4.66	0.57	ดีมาก
10.	ความเหมาะสมสำหรับใช้ในการเรียนการสอน	4.66	0.57	ดีมาก
	รวม	4.40	0.39	ดี

ตารางที่ 9 ผลการประเมินคุณภาพด้านพาณิชย์

ข้อที่	ด้านพาณิชย์	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1.	อัตราการสิ้นเปลืองกระแสขณะทำงาน	4.0	0	ดี
2.	ความเหมาะสมของราคาต้นทุน	4.33	0.57	ดี
3.	ขนาดและความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4.66	0.57	ดีมาก
	รวม	4.33	0.38	ดี

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นในด้านโครงสร้างของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น อยู่ในระดับดี ที่คะแนนเฉลี่ย 4.33 โดยหัวข้อที่มีคะแนนมากที่สุด คือ การออกแบบโครงสร้างมีความแข็งแรงและทนทาน ได้ระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 5 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก

จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นในด้านการใช้งานของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ อยู่ในระดับดี ที่คะแนนเฉลี่ย 4.40 โดยหัวข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ตำแหน่งวางอุปกรณ์สวิทซ์ควบคุม ความสะดวกในการใช้งาน ความชัดเจนของจอแสดงผล ได้ระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นในด้านพาณิชย์ของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ อยู่ในระดับดี ที่คะแนนเฉลี่ย 4.33 โดยหัวข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ขนาดและความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ได้ระดับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก

ดังนั้นคุณภาพโดยรวมของเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ในแต่ละด้านมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.50 หรือมีคุณภาพอยู่ในระดับดี เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

อภิปรายผล

จากการทดสอบตลับลูกปืนในแต่ละขนาด จะเห็นว่าขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร จะมีอัตราการขยายน้อยกว่าขนาดกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร เพราะฉะนั้นขนาดของตลับลูกปืนขนาดรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจะขยายตัวน้อยกว่าตลับลูกปืนขนาดรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางมาก ผลการวิจัยสอดคล้องกับทฤษฎีการขยายตัวด้วยอุณหภูมิของเครื่องกลไฟฟ้าของธวัช (2546) อุณหภูมิมีผลต่อการขยายตัวของเครื่องกลไฟฟ้าแบบแปลผันตรง

สรุป

ผลการวิจัยพบว่าจากการทดสอบเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยทฤษฎีการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิกับตลับลูกปืนจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.51 มิลลิเมตร ขนาดกลางเส้นผ่านศูนย์กลาง 34.47 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 39.51 มิลลิเมตร พบว่ารัศมีของตลับลูกปืนที่มีรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยจะมีอัตราการขยายน้อยและรัศมีของตลับลูกปืนที่มีรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากจะมีอัตรา

การขยายมากตามขนาดของรัศมีเส้นผ่านศูนย์กลางตลับลูกปืนแต่ละขนาด

ผลด้านการประเมินผลคุณภาพ พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นในด้านต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องทำความร้อนตลับลูกปืนในเพลามอเตอร์โดยการเหนี่ยวนำและควบคุมอุณหภูมิ มีคุณภาพในด้านโครงสร้างที่ระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.33 คุณภาพในด้านการใช้งานที่ระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.40 คุณภาพในด้านพาณิชย์ที่ระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.33 รวมเฉลี่ยทั้ง 3 ด้าน คือ 4.35 อยู่ในระดับดีเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการดำเนินการวิจัย รวมถึงเป็นสถานที่ทดลองสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ธวัช เกิดชื่น. 2546. **เครื่องกลไฟฟ้า 1**. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

บุญมี บุญยะผลานันท์. 2550. **การควบคุมมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.** ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.

มานพ ต้นตระบัณฑิตย์. 2540. **ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.** บริษัทประชาชน, กรุงเทพมหานคร.