

การพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205 – 2Z

อริรัช ลีตระกูล^{1*} เทียงธรรม สิทธิจันทเสน² นิคม ลนขุนทด³อัษฎา วรรณภายนต์⁴

Received : July 20, 2020

Revised : August 23, 2021

Accepted : August 25, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน 2) ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน และ 3) เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ผลการวิจัยพบว่าเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนสามารถหาค่าความเรียบผิวเสียหายที่เกิดจากรอยสึกหรือจากการทดสอบตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205-2Z ที่ผ่านการวิเคราะห์ผลจากเครื่องวัดความเรียบผิว รุ่น SJ 310 จำนวน 30 ลูก ได้ค่าดัชนีความเรียบผิว Outer Ring (D) มีค่า Ra , Rz เฉลี่ยคือ 0.389, 2.444 ความเรียบผิว Inner Ring (d) มีค่า Ra , Rz เฉลี่ยคือ 0.536 , 3.742 ความเรียบผิว รางวง มีค่า Ra , Rz เฉลี่ยคือ 0.330 , 0.439 มีค่าเป็นไมครอน และประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง มีค่าเวลาในการทดสอบเฉลี่ยที่ 10.53 ชั่วโมง ความเร็วรอบในการทดสอบเฉลี่ยที่ 2,953.63 รอบต่อนาที จำนวนรอบในการทดสอบเฉลี่ยที่ 1,889,488 รอบต่อชิ้นทดสอบ มีการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวม ได้แก่ ด้านการออกแบบวัสดุ อุปกรณ์ ด้านการใช้งาน ด้านการประกอบติดตั้ง บำรุงรักษา และด้านความปลอดภัยจากผู้เชี่ยวชาญ และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด พบว่ามีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.46

คำสำคัญ: ความเรียบผิว ตลับลูกปืนแบบบอลแบร์ริง 6205 -2Z รอยสึกหรือ อายุการใช้งาน

¹ นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อีเมล: Athiratch7743@gmail.com

² อาจารย์ประจำหลักสูตร หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อีเมล: teangtums@gmail.com

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อีเมล: komsurin1@hotmail.com

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตร หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

อีเมล: asada2518@hotmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Athiratch7743.@gmail.com

DEVELOPMENT OF A TESTING MACHINE FOR QUANTIFYING THE LIFETIME OF DEEP-GROOVE BALL BEARING 6205-2Z

Athiratch Leetrakool^{1*} Teangtum Sittichantasen² Nikom Lonkuntosh³
Asada Wannakayont⁴

Abstract

This research aims to 1) design and develop for quantifying a testing machine for the life time of bearing 2) test the efficiency of testing machine, and 3) evaluate the quality of the testing machines. The research tools were the testing recording list and the quality evaluation form. The research used the technological process steps to apply for developing the testing machine and then its efficiency. The tested bearing were investigated for smooth surface damage values caused by wear marks. They were evaluated by experts. Next, the result were analyzed using the statistics, i.e. mean and standard deviation.

The research results showed that: 1) the testing machine for quantifying the life time of bearing was an engineering of material testing, which could be used to the reduce damage caused by machine working, and could detect the surface roughness value, caused by wear and tear. 2) the efficiency of the testing machine showed that it could work continuously with the average test times of 10.53 hours, with the average test speed was at 2,953.63 rpm and the number of test cycles at 1,889,488 round to piece. The tested bearing investigated the values caused by wear marks and found that the damage values at Outer ring (D), Inner ring (d), and Raceway average (Ra, Rz) were 0.389, 2.444 0.536, 3.742 0.330, 0.439 micron respectively. 3) The overall quality evaluation results was at the highest level with mean of 4.70 and standard deviation of 0.46.

Keywords: Surface Roughness, Deep Groove Ball Bearing 6205-2Z, Wear Marks, Life-Time

¹ Undergraduate student of Philosophy Program In Industrial Technology. Surindra Rajabhat University, e-mail: Athiratch7743@gmail.com

² Lecturer of Philosophy Program In Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, e-mail: teangtums@gmail.com

³ Lecturer of Philosophy Program In Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, e-mail: komsurin1@hotmail.com

⁴ Lecturer of Philosophy Program In Industrial Technology, Surindra Rajabhat University, e-mail: komsurin1@hotmail.com

* Corresponding author, e-mail: Athiratch7743@gmail.com

บทนำ

ตลับลูกปืนเป็นชิ้นส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่สำคัญมีการแบ่งหน้าที่ของการทำงาน ออกเป็นหลายลักษณะ และในแต่ละลักษณะของการทำงาน ผู้ผลิตจึงมีการออกแบบการใช้งานตามหน้าที่ของ การรับแรงต่าง ๆ ในการรับแรงของตลับลูกปืนจะแบ่งเป็นการรับแรงตามแนวเส้นรอบวงและตามแนวแกน ซึ่งใน การเลือกใช้ก็จะมีทรัพยากรเอาไว้เป็นการบอกถึงการนำไปใช้งานในลักษณะงานต่าง ๆ เช่น ชนิดบอลแบริ่ง ทัชแบริ่ง เทเปอร์แบริ่ง เป็นต้น ตลับลูกปืนที่ยืนยันจากข้อมูลของการส่งออกและใช้งานมากที่สุดในวงการ อุตสาหกรรมจากการสัมภาษณ์ตัวแทนขายของบริษัท เอเอ็นเค สแปร์พาร์ท (รัฐศาสตร์ โทวารวิวัฒน์, 2562) พบว่า ในการส่งสินค้าแบริ่งชนิด DGBB 6205-2Z อยู่ในระดับที่สูงมาก แต่ไม่สามารถเปิดเผยจำนวนเป็นตัวเลข ได้ เพราะเป็นข้อมูลลับของบริษัท เนื่องการใช้ร่วมติดตั้งกับขนาดเพลลา 25 มิลลิเมตร มีความสะดวกและ เหมาะสมกับการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร

ในปัจจุบันของการประกอบและติดตั้งเพลาร่วมกับตลับลูกปืนบนเครื่องจักรเราไม่สามารถคาดการณ์ หรือประเมินได้ว่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่มีการติดตั้งจากผู้ใช้งานมีความรู้มากน้อยเพียงใดเพราะแต่ละ คนก็มีความชำนาญและมาตรฐานในการทำงานที่แตกต่างกันและเหตุผลนี้จึงทำให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืน ที่ประกอบ มีอายุการใช้งานที่ต่างกัน ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจะทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรเกิดความ เสียหาย ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า ตลับลูกปืนที่ผลิตจะผลิตได้อย่างไร ก็ไม่อาจจะระบุได้ว่า ค่าอายุการใช้งานของตลับ ลูกปืนจะใช้ได้เต็มประสิทธิภาพหรือไม่ บริษัทผู้ผลิตตลับลูกปืนและผู้ใช้งานมีความจำเป็นต้องรู้และทราบอายุ การใช้งานตลับลูกปืน เนื่องจากการใช้งานตลับลูกปืนอาจจะมีการติดตั้งที่ไม่เหมาะสม เช่น การใช้เครื่องมือพิเศษ ในการถอดประกอบ ทำให้ตลับลูกปืนมีลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างเปลี่ยนไปจากการกระทำที่เป็นไป อย่างนี้ ก็อาจทำให้ตลับลูกปืนมีอายุการใช้งานที่ลดลงได้ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนลดลง สามารถทำนายจากสมการทำนายอายุการใช้งานของตลับลูกปืน (เฉลิมศักดิ์ ลีตระกูล, 2555) เพราะในการติดตั้ง ประมาณ 16% ของตลับลูกปืน ที่เสียหายก่อนกำหนดมีสาเหตุมาจากการติดตั้งที่ไม่ถูกวิธี และการประกอบ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ จำเป็นต้องมีวิธีการติดตั้งที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพเฉพาะเช่นวิธีการทางกล ทาง ความร้อนหรือไฮดรอลิกส์ การเลือกใช้เทคนิคการติดตั้งที่เหมาะสมกับงาน จะช่วยยืดอายุการใช้งานของตลับ ลูกปืน และลดค่าใช้จ่ายที่เป็นผลมาจากการที่ตลับลูกปืนเสียหายก่อนกำหนด รวมทั้งลดโอกาสที่จะเกิดความ เสียหายกับเครื่องจักรโดยรวม ยกตัวอย่างจากการสัมภาษณ์เช่นบริษัท Fujikura Electronics (Thailand) Ltd. ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงประกอบผิดพลาดโดยเฉพาะตลับลูกปืนทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เป็นมูลค่าที่สูงมาก (เลิศศักดิ์ มูลสมบัติ, 2562) พบว่าตลับลูกปืนจะเกิดความเสียหายที่ไม่เหมาะสม 60% และมี สิ่งแปลกปลอมเกินกว่า 30% (ณัฐวุฒิ ปิ่นแดง, 2562)

จากการศึกษาปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่อง ทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205-2Z และมีความต้องการที่จำเป็นต้องศึกษาและหา ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออายุการใช้งานของตลับลูกปืนได้แก่พิกัดความคลาดเคลื่อน และความเรียบผิว จึงได้มีการ

ออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องทดสอบอายุการใช้งานของตลับลูกปืนให้สามารถทำการทดสอบความเรียบผิวของรอยสึกหรอ เพื่อทำการทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205-2Z เพื่อนำไปหาค่าที่มีผลต่ออายุการใช้งานของตลับลูกปืน ได้แก่ รอยสึกหรอและพิกัดความคลาดเคลื่อน ของ Inner Ring , Outer Ring และ Raceway ของตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205-2Z และเพื่อเป็นการนำข้อมูลที่ได้ออกไปใช้ในการทำนายอายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่ผ่านการใช้งานจากงานวิจัยสมการทำนายอายุการใช้งานของตลับลูกปืนหรือปรับเปลี่ยนการติดตั้งตลับลูกปืนให้ถูกวิธีทั้งนี้ยังนำไปทดสอบหาความเรียบผิวเสียหายร่วมกับเครื่องวัดความเรียบผิวในลักษณะบนความต้องการได้ โดยทั้งนี้ในการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องทดสอบอายุการใช้งานของตลับลูกปืนผู้วิจัยได้ใช้หลักการออกแบบ 7 ขั้นตอน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) มาเป็นแนวทางในการออกแบบ และนำไปหาประสิทธิภาพและคุณภาพ สร้างมูลค่าเพิ่มในการลดต้นทุนทางด้าน การซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล รวมไปถึงการได้เครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนไปใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการนำไปใช้เพื่อผลประโยชน์ทางการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205-2Z
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน DGBB 6205-2Z
3. เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน DGBB 6205-2Z

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนมีขั้นตอน ดังนี้

1. พัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

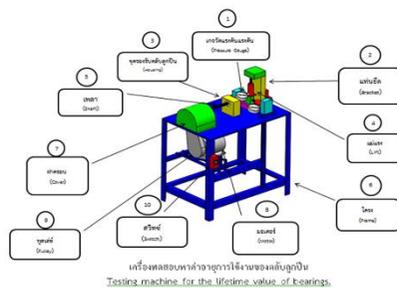
ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนกระบวนการเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน มีขั้นตอน ได้แก่

1.1 กำหนดปัญหาของการเพิ่มอุปกรณ์ในการตรวจสอบค่าวัดแรงกดจากงานวิจัยเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน (เฉลิมศักดิ์ ลีตระกูล, 2554) และความต้องการให้กรพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนเพื่อทำให้ทราบค่าแรงกดในแนวแกน X และแนวแกน Y ได้เนื่องจากอายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่เกิดจากความเสียหายทำให้อายุการใช้งานลดลงเกิดจากการรับภาระทางไดนามิกส์ทั้งสองแนวของตลับลูกปืนที่เกิดจากความเสียหายทำให้อายุการใช้งานลดลงเกิดจากการรับภาระทางไดนามิกส์ทั้งสองแนว

1.2 รวบรวมข้อมูล (Collection) ปัญหาที่เกิดการทำงานของเครื่องจักร ที่ตลับลูกปืนมีอายุการใช้งานที่ลดลงจากสาเหตุต่างๆ

1.3 เลือกวิธี (Choose Method) ในการพัฒนาเครื่องทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมเพื่อทดสอบวัสดุของเครื่องจักรกลที่นิยมใช้และมีการเคลื่อนที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายและเกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

1.4 ออกแบบและปฏิบัติ (Design and Operate) เครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน โดยมีขั้นตอนได้แก่ 1) ร่างแบบ (Sketch) เครื่องที่ต้องการโดยกำหนดรายละเอียดคร่าวๆถึงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ 2) ออกแบบ (Design) จากแบบที่ร่างไว้ และกำหนดสัดส่วนโครงสร้างส่วนประกอบของเครื่องด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนแบบทางวิศวกรรม 3) สร้างและผลิต (Making and Process) เครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนโดยการกำหนดวัสดุ ประมาณการ จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ เพื่อทำการประกอบชิ้นส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้ 4) ประกอบ(Assembly) ชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันตามที่ได้ออกแบบตามหลักการทางวิศวกรรม



(ก)



(ข)

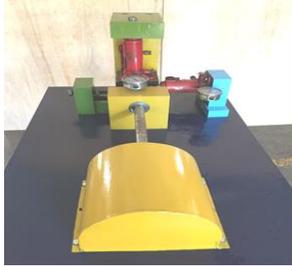
ภาพที่ 1 (ก) แบบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน

(ข) เครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนที่ประกอบเสร็จ

1.5 ทดสอบ (Action) การทำงานของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน โดยการทดสอบเดินเครื่องในแบบที่มีภาระโหลดและไม่มีภาระโหลด โดยการนำตลับลูกปืนติดตั้งเข้ากับตัวรองรับตลับลูกปืน (Housing) โดยกำหนดและปรับตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ ระยะเยื้องศูนย์กลาง แรงกดตามแนวแกน X และแกน Y เป็นระยะเวลา 2 วัน

1.6 ปรับปรุงแก้ไข (Improvement) ในกรณีที่มีข้อผิดพลาด เพื่อให้เครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนมีความสมบูรณ์ดีขึ้น

1.7 ประเมินผล (Evaluation) เครื่องที่สร้างขึ้นได้แก่ ประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทางวิศวกรรม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 การทดสอบ (ก) ในแบบที่ไม่มีภาวะโหลด การทดสอบ (ข) ในแบบที่มีภาวะโหลด

2. การทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืน

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน มีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ผู้วิจัยเตรียมเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน อุปกรณ์และตารางบันทึกผลการทดสอบ ในการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

2.2 ผู้วิจัยทำการ ทดสอบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ดังนี้

1) ประกอบตลับลูกปืน DGBB เบอร์ 6205-2Z เข้ากับตัวรองรับตลับลูกปืน(Housing) ที่จะทำการทดสอบ และ ปรับระยะเยื้องตามที่กำหนดไว้ 10 ค่า จาก 0.05-0.50 mm.และแบ่งเป็น 3 กลุ่ม

2) ทำการเว้นระยะเยื้องศูนย์ด้วยนาฬิกาวัด (Dial Gauge)

3) ทำการอ่านค่าแรงกดที่ได้จากแกน X และ แกน Y

4) เดินเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8-12 ชั่วโมง

5) หยุดเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องทดสอบ เมื่อครบเวลาที่กำหนด

6) ทำความสะอาดตลับลูกปืนที่ผ่านการทดสอบและแกะฝาครอบกันฝุ่นของตลับลูกปืนออก

7) วัดค่าระยะคลอน โดยใช้ Feeler Gauge ที่มีค่าวัด 0.02 μm

8) ทำการแกะรังผึ้งของตลับลูกปืนออกและกดเม็ดลูกปืนออกจากรางวงของตลับลูกปืน

2.3 ผู้วิจัยทำการจดบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพลงในตารางบันทึกผลการทดสอบ

2.4 ผู้วิจัยทำการสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้ในการสรุปผลวิจัยและนำไปใช้ในการเสนอผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ต่อไป

2.5 เมื่อทดสอบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนเสร็จ ผู้วิจัยได้นำตลับลูกปืนที่ผ่านการทดสอบไปดำเนินการทดสอบหาความเรียบผิวของนอก (D) และผิวด้านใน (d) ของตลับลูกปืน ผิวด้านนอกเพื่อ นำไปวิเคราะห์และสรุปผลหาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานตลับลูกปืน จากหน่วยงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น มีขั้นตอน ดังนี้

2.5.1 ผู้วิจัยดำเนินการจัดเตรียมตลับลูกปืนที่ผ่านการทดสอบ

2.5.2 ผู้วิจัยดำเนินการติดต่อประสานงานกับรองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น เพื่อดำเนินการขอเข้ารับการทดสอบหาค่าความเรียบผิวของรอยสึกหรอที่เกิดจากการทดสอบตลับลูกปืนจากเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

2.5.3 ผู้วิจัยดำเนินการนำตลับลูกปืน(ชิ้นที่ทดสอบ) ไปทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่นด้วยตนเอง มีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจุดเพื่อที่จะวัดหาค่าความเรียบผิว (R_a, R_z) ของ $\varnothing D$ (ผิวนอกของตลับลูกปืน) โดยใช้เครื่องวัดค่าความเรียบผิว (Surface Roughness Tester)



ภาพที่ 3 การกำหนดจุดเพื่อที่จะวัดหาค่าความเรียบผิว (R_a, R_z) ของ $\varnothing D$.

2) กำหนดจุดเพื่อที่จะวัดหาค่าความเรียบผิว (R_a, R_z) ของ $\varnothing d$. (ความโตผิวนอกสุดของตลับลูกปืน) โดยใช้เครื่องวัดค่าความเรียบผิว (Surface Roughness Tester)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) การวัดหาค่าความเรียบผิวของผิวด้านนอก (D) (ข) การวัดความเรียบผิวของผิวด้านใน (d)

3) วัดหาค่าความเรียบผิว (R_a, R_z) ที่รางวิ่งของเม็ดลูกปืน จำนวน 4 จุด โดยใช้เครื่องวัดค่าความเรียบผิว (Surface Roughness Machine)

2.5.4 ผู้วิจัยรับผลการทดสอบและนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ผลของความเรียบผิวของชิ้นทดสอบ อนึ่งในการกำหนดชิ้นทดสอบเป็นจำนวน 30 ชิ้นผู้วิจัยมีความต้องการให้มีความเชื่อมั่นในกระบวนการของเครื่องวัดผิวที่จะตรวจสอบรอยสึกหรอแล้วนำมาเฉลี่ยหาค่าความเรียบผิวที่เกิดขึ้น

3. การประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.1 ดำเนินการติดต่อประสานงานผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรม เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.2 ผู้วิจัยทำเรื่องขออนุญาตหนังสือแต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญ จากสำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในการประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.3 เสนอผู้เชี่ยวชาญ นัดวัน เวลา และสถานที่ในการประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.4 ผู้วิจัยได้นำเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน หรือวิดีโอ โดยได้ทำการสาธิตแนะนำและอธิบายวิธีการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ให้ผู้เชี่ยวชาญได้เข้าใจ และตอบคำถามตามที่ผู้เชี่ยวชาญ ได้ซักถามกับผู้วิจัย
 - 3.5 ผู้เชี่ยวชาญทำการทดสอบการใช้งาน หรือสอบถามการทดสอบการใช้งานเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.6 ผู้วิจัยแจกแบบประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน พร้อมอธิบายรายละเอียดในการประเมินให้ผู้เชี่ยวชาญทราบ
 - 3.7 ผู้เชี่ยวชาญ ทำการประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน
 - 3.8 ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน จากผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
4. ผู้วิจัยได้นำผลจากการทดสอบประสิทธิภาพ และประเมินคุณภาพของเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนี้
 - 4.1 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean : \bar{X}) (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2549)
 - 4.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : *S.D.*) (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2549)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

1.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน พบว่าได้เครื่องทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนมีโครงสร้างที่เป็นทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด $60 \times 80 \times 100$ เซนติเมตร ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (St 50) และใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีคุณภาพหาซื้อได้ง่ายในประเทศและมีชุดส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 2,960 รอบ / นาที กำลังไฟฟ้า 220/380V. 2 Pole 50 Hz. ที่สามารถรองรับการทดสอบตลับลูกปืนในรูปแบบ

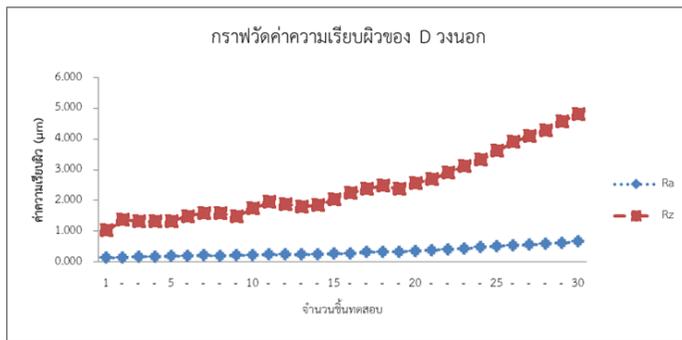
ของการเดินเครื่องภายใต้ภาระโหลด 8-12 ชั่วโมง / 1 ครั้งทดสอบ กำหนดระยะเยื้องศูนย์กลางได้ 10 ค่า แรงกดตามแนวแกน X และ Y ได้ 10-15 บาร์ และ ความเร็วรอบที่ใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 2,500-3,000 รอบต่อนาที

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนในการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบหาประสิทธิภาพ โดยมีผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบอายุการใช้งานของตลับลูกปืน

ตลับที่	ระยะเยื้องศูนย์กลาง (mm)	แรงกดที่แกนX (N)	แรงกดที่ แกนY (N)	ความเร็ว รอบที่ใช้ (rpm)	เวลาที่ใช้ ทดสอบ (hour)	จำนวนรอบที่ทดสอบ สะสม (รอบ)
1	0.05	5.8	6.0	2,960	12	2,131,200
2	0.10	6.0	6.2	2,958	12	2,129,760
3	0.15	6.2	6.5	2,956	12	2,128,320
4	0.20	6.4	6.7	2,955	12	2,127,600
5	0.25	6.6	6.9	2,954	12	2,126,880
6	0.30	6.8	7.1	2,959	11	1,952,940
7	0.35	7.0	7.3	2,958	11	1,952,280
8	0.40	7.2	7.5	2,956	11	1,950,960
9	0.45	7.4	7.6	2,954	10	1,772,400
10	0.50	7.6	7.8	2,953	10	1,771,800
11	0.05	7.8	8.0	2,959	12	2,130,480
12	0.10	8.0	8.1	2,957	12	2,793,600
13	0.15	8.2	8.3	2,958	12	2,129,760
14	0.20	8.4	8.5	2,951	12	2,124,720
15	0.25	8.6	8.7	2,956	12	2,128,320
16	0.30	8.8	8.9	2,952	11	1,948,320
17	0.35	9.0	9.1	2,950	11	1,947,000
18	0.40	9.2	9.3	2,949	11	1,946,340
19	0.45	9.4	9.4	2,959	10	1,775,400
20	0.50	9.6	9.5	2,951	10	1,770,600
21	0.05	9.8	9.6	2,950	10	1,770,000
22	0.10	10.0	9.7	2,948	10	1,768,800
23	0.15	10.2	9.8	2,954	10	1,772,400
24	0.20	10.4	10.0	2,958	9	1,597,320
25	0.25	10.6	10.1	2,952	9	1,594,080
26	0.30	10.8	10.2	2,953	9	1,594,620
27	0.35	11.0	10.3	2,951	9	1,593,540
28	0.40	11.2	10.4	2,958	8	1,419,840
29	0.45	11.4	10.5	2,953	8	1,417,440
30	0.50	11.6	10.6	2,954	8	1,417,920
ค่าเฉลี่ย		9.6	9.34	2,953.63	10.53	1,889,488

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของ ตลับลูกปืน พบว่า ความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนมีค่าเฉลี่ย ที่ 2,953.63 รอบต่อ นาที เวลาที่ใช้ทดสอบ ค่าเฉลี่ย ที่ 10.53 ชั่วโมง และมีจำนวนรอบที่ทดสอบสะสมเฉลี่ย 1,889,488 รอบ เมื่อทดสอบเครื่องต้นแบบเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานตลับลูกปืนเสร็จ ผู้วิจัยได้นำตลับลูกปืนที่ผ่านการทดสอบหาค่าอายุการใช้งานไปดำเนินการทดสอบหาความเรียบผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน ($\varnothing d$) และผิวของ รางว้าง ของตลับลูกปืน ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น เพื่อนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลหาปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานตลับลูกปืน โดยมีผลการทดสอบค่าความเรียบผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน ($\varnothing d$) และผิวของรางว้าง ของตลับลูกปืนดังแสดงผลใน ตารางที่ 2



ภาพที่ 4 ค่า (Ra , Rz) ของความเรียบผิวด้านนอก D ของตลับลูกปืน

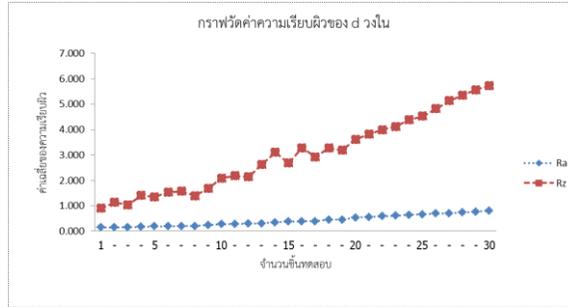
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Ra ในส่วนของผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน ($\varnothing d$)และ รางว้างของตลับลูกปืน

ตลับที่	ระยะเยื้อง ศูนย์ (mm)	แรงกด ที่แกน X (N)	แรงกด ที่แกน Y (N)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความเรียบผิว Ra (µm)		
					$\varnothing D$	$\varnothing d$	รางว้าง
1	0.05	5.8	6.0	2,960	0.403	0.150	0.018
2	0.10	6.0	6.2	2,958	0.134	0.151	0.022
3	0.15	6.2	6.5	2,956	0.164	0.180	0.024
4	0.20	6.4	6.7	2,955	0.172	0.175	0.027
5	0.25	6.6	6.9	2,954	0.175	0.190	0.028
6	0.30	6.8	7.1	2,959	0.193	0.192	0.029
7	0.35	7.0	7.3	2,958	0.198	0.201	0.036
8	0.40	7.2	7.5	2,956	0.200	0.246	0.038
9	0.45	7.4	7.6	2,954	0.205	0.274	0.039
10	0.50	7.6	7.8	2,953	0.225	0.291	0.040
11	0.05	7.8	8.0	2,959	0.231	0.296	0.040

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Ra ในส่วนของผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน ($\varnothing d$) และ รวงวิ่งของตลับลูกปืน (ต่อ)

ตลับที่	ระยะเยื้อง ศูนย์ (mm)	แรงกด ที่แกนX (N)	แรงกด ที่แกนY (N)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความ เรียบผิว Ra (μm)	ตลับที่	ระยะ เยื้อง ศูนย์ (mm)
12	0.10	8.0	8.1	2,957	0.235	0.306	0.050
13	0.15	8.2	8.3	2,958	0.236	0.350	0.051
14	0.20	8.4	8.5	2,951	0.239	0.383	0.054
15	0.25	8.6	8.7	2,956	0.261	0.389	0.059
16	0.30	8.8	8.9	2,952	0.271	0.388	0.059
17	0.35	9.0	9.1	2,950	0.307	0.450	0.059
18	0.40	9.2	9.3	2,949	0.319	0.449	0.060
19	0.45	9.4	9.4	2,959	0.324	0.532	0.062
20	0.50	9.6	9.5	2,951	0.352	0.556	0.066
21	0.05	9.8	9.6	2,950	0.381	0.587	0.069
22	0.10	10.0	9.7	2,948	0.402	0.614	0.074
23	0.15	10.2	9.8	2,954	0.431	0.642	0.082
24	0.20	10.4	9.9	2,958	0.474	0.655	0.092
25	0.25	10.6	10.0	2,952	0.511	0.663	0.521
26	0.30	10.8	10.1	2,953	0.542	0.694	0.552
27	0.35	11.0	10.2	2,951	0.554	0.701	0.583
28	0.40	11.2	10.3	2,958	0.592	0.734	1.201
29	0.45	11.4	10.4	2,953	0.621	0.772	1.241
30	0.50	11.6	10.5	2,954	0.653	0.814	1.284
ค่าเฉลี่ย		9.6	9.34	2,953.63	0.389	0.536	0.330

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Ra ในส่วนของผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน $\varnothing d$ และ รวงวิ่งของตลับลูกปืนพบว่า Ra ในส่วนของผิวด้านนอก ($\varnothing D$) ผิวด้านใน $\varnothing d$ และ รวงวิ่งของตลับลูกปืนมีค่า Ra เท่ากับ 0.389, 0.536, และ 0.330 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ค่า (Ra , Rz) ของความเรียบผิวด้านใน (∅d) ของตลับลูกปืน

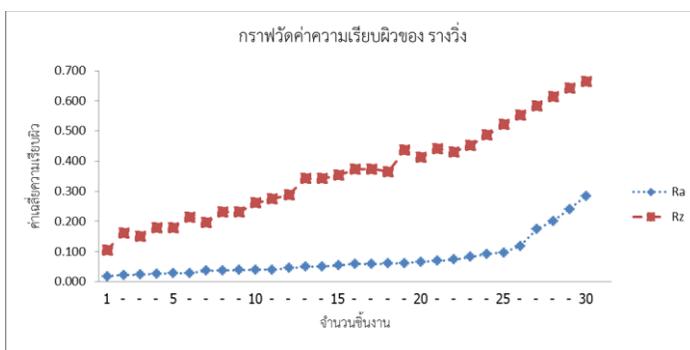
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Rz ในส่วนของผิวด้านนอก (∅D) ผิวด้านใน ∅d และ รวงวัง ของตลับลูกปืน

ตลับที่	ระยะเอียง ศูนย์ (mm)	แรงกด ที่แกน X (N)	แรงกด ที่แกน Y (N)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความเรียบผิว Rz (µm)		
					∅D	∅d	รวงวัง
1	0.05	5.8	6.0	2,960	1.027	0.901	0.018
2	0.10	6.0	6.2	2,958	1.364	1.134	0.022
3	0.15	6.2	6.5	2,956	1.323	1.042	0.024
4	0.20	6.4	6.7	2,955	1.315	1.408	0.027
5	0.25	6.6	6.9	2,954	1.324	1.353	0.028
6	0.30	6.8	7.1	2,959	1.494	1.534	0.029
7	0.35	7.0	7.3	2,958	1.575	1.577	0.036
8	0.40	7.2	7.5	2,956	1.592	1.391	0.038
9	0.45	7.4	7.6	2,954	1.494	1.683	0.039
10	0.50	7.6	7.8	2,953	1.737	2.083	0.040
11	0.05	7.8	8.0	2,959	1.945	2.177	0.040
12	0.10	8.0	8.1	2,957	1.880	2.144	0.050
13	0.15	8.2	8.3	2,958	1.794	2.633	0.051
14	0.20	8.4	8.5	2,951	1.853	3.109	0.054
15	0.25	8.6	8.7	2,956	2.031	2.689	0.059
16	0.30	8.8	8.9	2,952	2.405	3.281	0.059
17	0.35	9.0	9.1	2,950	2.391	2.928	0.059
18	0.40	9.2	9.3	2,949	2.484	3.274	0.060
19	0.45	9.4	9.4	2,959	2.367	3.184	0.062
20	0.50	9.6	9.5	2,951	2.571	3.614	0.066
21	0.05	9.8	9.6	2,950	2.691	3.820	0.069

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Rz ในส่วนของผิวด้านนอก (OD) ผิวด้านใน ϕd และ รวงวิ่ง ของตลับลูกปืน (ต่อ)

ตลับที่	ระยะเยื้อง ศูนย์ (mm)	แรงกด ที่แกนX (N)	แรงกด ที่แกนY (N)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความ เรียบผิว Rz (μm)	ตลับที่	ระยะเยื้อง ศูนย์ (mm)
22	0.10	10.0	9.7	2,948	2.910	3.998	0.074
23	0.15	10.2	9.8	2,954	3.114	4.125	0.082
24	0.20	10.4	9.9	2,958	3.329	4.378	0.092
25	0.25	10.6	10.0	2,952	3.614	4.528	0.521
26	0.30	10.8	10.1	2,953	3.902	4.821	0.552
27	0.35	11.0	10.2	2,951	4.109	5.142	0.583
28	0.40	11.2	10.3	2,958	4279	5.356	0.614
29	0.45	11.4	10.4	2,953	4.580	5.563	0.642
30	0.50	11.6	10.5	2,954	4.819	5.729	0.663
ค่าเฉลี่ย		9.6	9.34	2,953.63	2.444	3.742	0.439

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความเรียบผิว Rz ในส่วนของผิวด้านนอก (OD) ผิวด้านใน ϕd และ รวงวิ่ง ของตลับลูกปืนพบว่า Rz ในส่วนของผิวด้านนอก (D) ผิวด้านใน ϕd และ รวงวิ่ง ของตลับลูกปืนมีค่า Rz เท่ากับ 2.444 , 3.742, และ 0.439 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ค่า (Ra , Rz) ของความเรียบด้านใน รวงวิ่ง ของตลับลูกปืน

3. ผลการประเมินคุณภาพภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนจากผู้เชี่ยวชาญในภาพรวม มีระดับความคิดเห็น อยู่ในระดับที่มีคุณภาพมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชัยพร คล้ายกมล, 2558) พบว่าการ ประเมินคุณภาพภาพในการใช้เครื่องมือวัดความแข็งของจาระบีมีคุณภาพอยู่ในระดับที่ดีมาก (\bar{X} = 4.57 และ SD. = 0.48) การพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรซึ่ง มีความสอดคล้องกับกรณีศึกษาระบบสนับสนุนการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักร (เอกชัย พิจากรณ์ และ นารินทร์ เกิดแก้ว, 2554) พบว่า การออกแบบระบบบริหารจัดการซ่อมบำรุงเครื่องจักรโดยใช้การสนับสนุนวางแผนการซ่อม

บำรุงเครื่องจักรจะสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้น และเนื่องจากว่าผู้ใช้งานได้ทราบค่าต่างๆที่เป็นแนวทางและวิธีการของการใช้งานตลับลูกปืนที่ถูกต้องทำให้การปฏิบัติงานต่อตลับลูกปืนมีประโยชน์เอื้อต่อการลดต้นทุนในการประกอบติดตั้งและเป็นแนวทางต่อการพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ในภาพรวม

รายการ	\bar{X}	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านการออกแบบ	4.60	0.51	มากที่สุด
2. ด้านวัสดุอุปกรณ์	4.73	0.46	มากที่สุด
3. ด้านการใช้งาน	4.60	0.51	มากที่สุด
4. ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัย	4.87	0.35	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	4.70	0.46	มากที่สุด

สรุป

การพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน สามารถนำเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนไปทดสอบร่วมกับตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่าง ๆ เนื่องจากเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนได้ถูกออกแบบมาเพื่อทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนซึ่งเกิดจากปัจจัยหรือองค์ประกอบทำให้ค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนลดลง ดังนั้นการพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืนจึงถูกออกแบบมาเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดองค์ความรู้จากผลของการใช้งานตลับลูกปืนที่ผิดวิธีทำให้อายุการใช้งานของตลับลูกปืนลดลง จากกรณีของผู้ปฏิบัติงานได้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงว่าถ้าติดตั้งผิดวิธีจะทำให้ตลับลูกปืนใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของอายุการใช้งาน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายที่มากในส่วนของการลงทุนการสร้างเครื่องต้นแบบอยู่ที่ 47,000 บาท โดยการสร้างเครื่องไม่มีความซับซ้อนมากแต่จะต้องสามารถปรับเยื้องศูนย์ได้ตามการออกแบบและได้กำหนดเป็นสมการในการทดสอบแล้ว ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ในภาพรวมที่ได้จากการทดสอบตลับลูกปืนชนิด DGBB 6205 – 2Z จำนวน 30 ลูก พบว่า ความเร็วรอบทดสอบมีค่าเฉลี่ยที่ 2,953.63 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ทดสอบ มีค่าเฉลี่ย ที่ 10.53 ชั่วโมง และมีจำนวนรอบที่ทดสอบสะสมเฉลี่ย 1,889,488 รอบ มีระดับความคิดเห็นของการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวม ที่ระดับความคิดเห็น อยู่ในระดับที่มีคุณภาพมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.46

ข้อเสนอแนะ

1. ควรคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นวัสดุ การออกแบบและแนวทางของการใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการพัฒนาเครื่องทดสอบหาค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน ในส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆที่จะให้เกิดองค์ความรู้สามารถพัฒนาโดยใช้ระบบเซนเซอร์เข้ามาช่วยในการอ่านค่าหรือตรวจสอบ
2. ควรให้มีฟังก์ชันที่ตอบสนองความต้องการในภาคอุตสาหกรรมและการวิจัยที่เป็นประโยชน์อย่างสูงสุดได้
3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น สามารถนำเอาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมาทำวิจัยต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เที่ยงธรรม สิทธิจินตเสน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม ลนขุนทด และ อาจารย์ ดร.อัษฎา วรรณกายนต์ ที่ได้คำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณท่านผู้เชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ ที่ได้ประเมินเครื่องมือในการวิจัย ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้เครื่องมือในการวิจัย เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอพระขอบคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- เฉลิมศักดิ์ ลีตระกูล. (2554). การศึกษาการเยื้องศูนย์แนวเพลลาที่มีผลต่อระยะเวลาให้ตัวของตลับลูกปืน. ปรินญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชัยพร คล้ายกมล. (2558). การหาคุณภาพและความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือวัดความแข็งจาระบี. บทความวิชาการ วิทยาลัยเทคนิคอุทัยธานี.
- ณัฐวุฒิ ปิ่นแดง. ความเสียหายของงานตลับลูกปืน. (25 ตุลาคม 2562). สัมภาษณ์.
- ธานีรินทร์ ศิลป์จารุ. (2549). การวิจัยและวิเคราะห์ทางสถิติด้วย SPSS. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: วี.อินเตอร์ พรินท์.
- รัฐศาสตร์ ไตรวิวัฒน์. พนักงานขายบริษัทเอสเคเอฟ. (1 สิงหาคม 2562). สัมภาษณ์.
- เลิศศักดิ์ มูลสมบัติ. บริษัท Fujikura Electronics (Thailand) Ltd. (20 กันยายน 2562). สัมภาษณ์.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). คู่มือการออกแบบและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ. เอกชัย พิจารณ์, และนารินทร์ เกิดแก้ว. (2554). ระบบสนับสนุนการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักร
- กรณีศึกษา บริษัทอินเตอร์ไฮด์ จำกัด (มหาชน). สารนิพนธ์ สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.