

อายุความล้าของแบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระ (Cylindrical Roller Bearing Fatigue Life due to Changing the Load Zone)

ประศาสน์ สุบรรพวงค์

หน่วยวิจัยและพัฒนา เหมืองแม่เมาะ (กฟผ.) อ. แม่เมาะ จ. ลำปาง 52220

โทร 66(54)-254155, โทรสาร 66(54)-255487, E-mail : mmppss@egat.or.th

ตะวัน สุจริตกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จ. เชียงใหม่ 50200

โทร 66(53) 944-147, โทรสาร 66(53) 210-320, E-mail : thawansu@yahoo.com

บทคัดย่อ

แบริ่งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในงานในอุตสาหกรรมหนักโดยส่วนใหญ่แล้ว วงแหวนนอกของแบริ่งหยุดอยู่กับที่และวงแหวนในเป็นชิ้นส่วนที่หมุนได้ ซึ่งมีผลทำให้วงแหวนนอกของแบริ่งเป็นชิ้นส่วนที่ชำรุดและเป็นการกำหนดอายุความล้าของแบริ่งทั้งลูก โดยจะเกิดการชำรุดขึ้นก่อนที่บริเวณซึ่งรับภาระสูงสุดของวงแหวนนอก รายงานนี้นำเสนอให้เห็นผลของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก เพื่อปรับปรุงอายุความล้าของแบริ่งทั้งลูกให้สูงขึ้น และจะกล่าวถึงวิธีการทดสอบเพื่อหาอายุความล้าบนเครื่องจักรและบนแท่นทดสอบ ทั้งนี้ในการตรวจสอบการเริ่มชำรุดของวงแหวนนอกใช้วิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ส่วนการตรวจสอบการชำรุดของวงแหวนในและลูกกลิ้งของแบริ่ง ใช้วิธีการถอดรื้อออกมาตรวจสอบด้วยสายตา ผลการทดสอบพบว่าทำให้วงแหวนนอกมีอายุการใช้งานนานออกไป จะเกิดการชำรุดขึ้นที่ลูกกลิ้งของแบริ่งเป็นลำดับต่อมาและอายุความล้าเฉลี่ยของลูกกลิ้งสูงกว่าอายุเฉลี่ยของวงแหวนนอกเมื่อติดตั้งอยู่กับที่เท่ากับ 6.65 เท่า ดังนั้นหากทำการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของ วงแหวนนอกโดยการหมุนพื้นที่รับภาระไปอย่างเป็นระบบแล้ว อายุการใช้งานของแบริ่งทั้งลูกจะสูงขึ้นจากเดิมได้ถึง 4 เท่า

Abstract

The majority of rolling element bearings used today in heavy industry have the outer race fixed in the bearing housing. Excessive fatigue spalling at the loading zone means that the outer race is typically the first component of the bearing to fail. This paper presents the results obtained from an extensive research programme, which demonstrates how apportioning the loading zone of the outer race significantly improves the fatigue life of cylindrical roller bearings. The paper also describes the

set-up of the dedicated test rig and testing procedure used to establish the fatigue life of the rolling elements and inner race. Vibration analysis was used to detect the early on-set of defects in the outer race. The bearings were dismantled at regular intervals and visually inspected to qualitatively assess the degree of fatigue damage to the rolling elements and inner race. The results show that by maximising the life of the outer race the rolling elements are the next critical component of the bearing and have an average fatigue life of 6.65 times more than that of the fixed outer race. The conclusion drawn from this detailed study is that by systematically rotating the loading zone of the outer race the useful life of the overall bearing can be increased by four-folds.

1. บทนำ

นับตั้งแต่ได้มีการผลิตแบริ่งแบบลูกกลิ้งขึ้นมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เป็นเวลาเกือบร้อยปีมาแล้ว ภาคอุตสาหกรรมก็ยังประสบกับปัญหาหลักของแบริ่ง คือ อายุการใช้งานของแบริ่งเมื่อถึงกำหนด แบริ่งก็จะเกิดการชำรุดแบบการล้า (fatigue) ลักษณะการชำรุดเกิดเป็นรอยแตกขนาดเล็ก (micro-cracks) ซึ่งจุดเริ่มต้นของการชำรุดก็เกิดที่บริเวณผิวหรือใต้ผิวของวงแหวนนอก วงแหวนใน หรือลูกกลิ้งของแบริ่ง เมื่อรอยแตกมีขนาดโตขึ้น ก็จะเป็นหลุม (pitting) ที่มีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้การเริ่มต้นชำรุดที่ใต้ผิวหรือที่ผิวเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีความเค้นเฉือนสูงสุดหรือที่บริเวณดังกล่าว มีความไม่สมบูรณ์ของเนื้อวัสดุ อันเนื่องมาจากขบวนการในการผลิต ส่วนการเริ่มต้นชำรุดที่ผิวของแบริ่งก็เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของเนื้อวัสดุที่บริเวณผิวเช่นกัน

อายุความล้าของแบริ่งแปรผกผันกับค่ากำลังสามของค่าภาระตามสมการ $W^3L = \text{ค่าคงที่}$ (Palmgren, 1947) เมื่อ W คือ ค่าภาระและ L คือ อายุความล้าของแบริ่ง อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองและวิจัยเกี่ยวกับอายุความล้าของแบริ่งและมีการกำหนดค่ามาตรฐานในการคิดค่าความสามารถในการรับภาระของแบริ่งจากกลุ่มมาตรฐาน ANSI/AFMA/ISO และกลุ่มมาตรฐานของ ASME การคิดค่าความสามารถในการรับภาระของแบริ่งที่ปรากฏในแคตตาล็อกของผู้ผลิตจะคิดค่าภาระที่แบริ่งสามารถรองรับการหมุนได้ 1 ล้านรอบของวงแหวนในและมีโอกาสเกิดการชำรุดสูงสุด 10% ของจำนวนแบริ่ง ทั้งนี้เงื่อนไขในการรับภาระ สภาพการทำงาน การหล่อลื่นเป็นไปตามกรณีของอุตสาหกรรม

สมการที่ใช้คำนวณอายุความล้าของแบริ่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีสมการหลักสำหรับคำนวณอายุความล้าของแบริ่ง คือ

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n \quad (1)$$

โดย L_{10} คือ อายุความล้าของแบริ่งที่มีโอกาสชำรุด 10% ที่อายุการใช้งานนับเป็นจำนวนล้านรอบ ส่วนค่า C และ P คือค่าความสามารถในการรับภาระและค่าภาระเทียบเท่าที่กระทำต่อแบริ่ง ส่วน n มีค่าเท่ากับ 3 และ 10/3 กรณีของแบริ่งแบบเม็ดกลมและ แบริ่งแบบเม็ดยาวตามลำดับ

จากสมการหลักในการคำนวณอายุความล้าของแบริ่งข้างต้น องค์การมาตรฐานกลุ่ม ANSI/AFMA/ISO กำหนดสมการในการคิดอายุความล้าของแบริ่งเป็น $L_{10a} = a_1 a_2 a_3 L_{10}$ โดยค่า a_1 , a_2 และ a_3 เป็นค่าองค์ประกอบที่มีผลต่ออายุความล้าของแบริ่ง โดยค่า a_1 คือ องค์ประกอบที่คิดจากค่าความน่าเชื่อถือ (reliability) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่คิดถึงโอกาสในการชำรุดหรือโอกาสในการไม่ชำรุดของแบริ่ง

องค์ประกอบ a_2 เป็นองค์ประกอบที่เป็นคุณสมบัติพิเศษของแบริ่ง เช่น ชนิดของวัสดุ ขบวนการในการหลอมและผลิตเหล็กกล้า ขบวนการในการชุบแข็งและค่าความแข็งของแบริ่ง ค่าปริมาณคาร์ไบด์ (carbide) ในเนื้อวัสดุ และความเค้นตกค้าง (residual stress) เป็นต้น นับจากปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา ผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่กำหนดให้ค่า a_2 เท่ากับ 1 เปรียบเสมือนการกำหนดให้ผู้ผลิตอยู่ภายใต้มาตรฐานการผลิตที่ใกล้เคียงกัน

ส่วนองค์ประกอบ a_3 เป็นองค์ประกอบที่พิจารณาจากสภาพและเงื่อนไขในการทำงานของแบริ่ง องค์ประกอบดังกล่าวคิดจากการหล่อลื่นหรือการคิดค่าความหนาเฉพาะของฟิล์มหล่อลื่น (specific film thickness parameter) ค่าระยะจายของภาระ ค่าความหลวมคลอนภายใน (internal clearance) ค่าความเยื้องศูนย์กลางหรือการเอียงของลูกกลิ้งหรือวงแหวนของแบริ่ง ตลอดจนถึงค่าอุณหภูมิในการทำงานของแบริ่ง ซึ่งยังมีผลไปถึงค่าความหนาของฟิล์มหล่อลื่นด้วย

นอกจากสมการคำนวณค่าอายุความล้าของแบริ่งตามมาตรฐาน ANSI/AFMA/ISO แล้วก็ยังมีมาตรฐานของ ASME ซึ่งกำหนดสมการหลักในการคิดค่าอายุความล้าของแบริ่งเป็น

$$L_A = (D) (E) (F) (G) (H) L_{10} \quad (2)$$

ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว องค์ประกอบที่คิดโดย ASME ก็คล้ายกับมาตรฐานที่กล่าวแล้วข้างต้น คือ องค์ประกอบ D , E เป็นองค์ประกอบที่คิดจากการออกแบบแบริ่ง คือ D เป็นองค์ประกอบที่คิดจากวัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง ส่วน E เป็นองค์ประกอบที่คิดจากวิธีการหลอมเหล็กกล้า ขบวนการในการผลิตเหล็ก (metal working) และขบวนการทางความร้อนที่ใช้ในการชุบแข็ง

ส่วนองค์ประกอบ F, G และ H เป็นองค์ประกอบที่คิดจากผลของสิ่งแวดล้อม คือ F คิดจากองค์ประกอบจากการหล่อลื่น G เป็นองค์ประกอบที่คิดจากผลกระทบในเรื่องความเร็วในการหมุนของแบริ่ง ส่วน H เป็นองค์ประกอบที่คิดจากการเยื้องศูนย์ (misalignment)

จากข้อมูลองค์ประกอบในการคิดอายุความล้าของแบริ่งโดยองค์การมาตรฐานนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้งานกันโดยทั่วไป แต่หากทำการศึกษาให้ลึกลงไปในระดับที่มีการนับความถี่ที่เม็ดลูกกลิ้งวิ่งผ่านวงแหวนหรือวงแหวนนอก หรือความถี่ที่ลูกกลิ้งได้รับเองก็ตาม จะพบว่าความถี่ของความเค้นที่ขึ้นส่วนของแบริ่งแต่ละชิ้นได้รับมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นหากกลับไปพิจารณาหลักการเบื้องต้นของการล้าและนำไปสู่การชำรุดของแบริ่ง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพบว่าอายุความล้าของชิ้นส่วนของแบริ่งอาจจะไม่เท่ากัน อีกทั้งหน่วยงานซ่อมบำรุงโดยทั่วไป ซึ่งมีหน้าที่ในการเปลี่ยนอะไหล่ที่เป็นแบริ่งใหม่ มักจะพบว่าแบริ่งที่ถูกทิ้งไปนั้น ยังมีสภาพโดยทั่วไปดีอยู่ เช่น ผิวของวงแหวน ยังมีสภาพดี ค่าความหลวมคลอนยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ผู้ซ่อมก็ไม่ต้องการจะเปลี่ยนแบริ่งใหม่ อย่างไรก็ตาม การนำแบริ่งเก่าซึ่งผู้ผลิตเครื่องจักรได้แนะนำให้เปลี่ยนแล้ว แต่นำกลับมาใช้งานต่อไป ย่อมมีความเสี่ยงที่จะเกิดการชำรุดขึ้นได้ และเกิดผลกระทบตามมา คือ ทำให้เกิดการชำรุดลูกกลิ้งที่รุนแรงขึ้นได้เสมอ

กรณีของแบริ่งแบบทรงกระบอก ซึ่งรับภาระที่วงแหวนนอกตลอดเวลาและวงแหวนนอกไม่มีการหมุน แต่วงแหวนในมีการหมุนตลอดเวลา เป็นลักษณะโดยทั่วไปของแบริ่งที่มีการติดตั้งและใช้งานอยู่ในภาคอุตสาหกรรมและเครื่องจักรกลส่วนใหญ่ หากแบริ่งที่มีลักษณะการใช้งานดังกล่าวสามารถยืดอายุความล้าออกไปได้ ก็จะสามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้เพื่อการยืดอายุการใช้งานของแบริ่งต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการลดค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง และลดการใช้พลังงานของโลกในการผลิตแบริ่งได้เป็นจำนวนมากอีกด้วย

2. การทดสอบหาอายุความล้าของแบริ่ง

2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อหาอายุความล้าของแบริ่งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่เปลี่ยนแปลงและกรณีเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอกของแบริ่ง โดยการหมุนวงแหวนนอกไปจากจุดรับภาระเดิม และนำข้อมูลจากการทดลองไปกำหนดค่าที่เหมาะสมและนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการยืดอายุการใช้งานของแบริ่งแบบลูกกลิ้ง

2.2 เครื่องมือและวิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาอายุความล้าของแบริ่งในเชิงเปรียบเทียบ เพื่อนำข้อมูลจากการวิจัยไปใช้จริงในทางปฏิบัติ และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ประกอบกับการที่ได้นำแนวคิดในการยืดอายุความล้าของแบริ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระไปเริ่มประยุกต์ และทดลองใช้งานตั้งแต่ปีแรกของการทดสอบจนการทดสอบแล้วเสร็จในปีที่ 5 พบว่าผลการทดลองในตัวเครื่องจักรจริงๆ ก็ได้ผลดี คือในการทดลองยืดอายุในครั้งที่ 2 ไม่พบการชำรุด ดังนั้นการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้จึงทดลองข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบอายุความล้าเพียง 4 ชุดของข้อมูล

การทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองบนตัวเครื่องจักรคือ รถบรรทุกขนาดบรรทุก 85 ตัน และทำการทดลองบนแท่นทดสอบ (test rig) ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก)



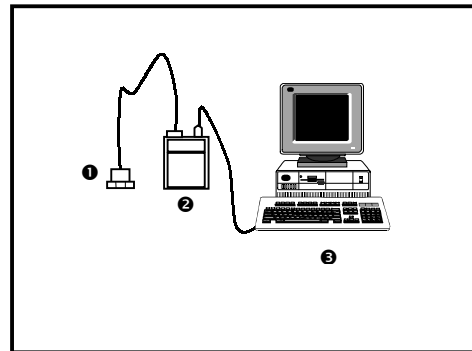
(ข)

รูปที่ 1 (ก) แสดงแท่นทดสอบในโรงงาน
(ข) การทดสอบบนรถบรรทุกขนาดบรรทุก 85 ตัน

ขั้นตอนสำคัญในการทดลอง คือ การหาอายุความล้าของแบริ่งซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก แบริ่งจะมีอายุความล้าโดยจะเกิดการชำรุดขึ้นที่วงแหวนนอกของแบริ่ง หลังจากนั้นจึงทำการทดลองหาอายุความล้าโดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก โดยการถอดแบริ่งออกมาแล้วหมุนให้ตำแหน่งใหม่รับภาระแทนตำแหน่งเดิมก่อนที่วงแหวนนอกจะเกิดการชำรุดจากความล้า

ดำเนินการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระแบบดังกล่าวไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแบริ่งเกิดการชำรุดที่วงแหวนในหรือเม็ดลูกกลิ้งในลำดับต่อมา

การตรวจสอบการเริ่มต้นชำรุดของวงแหวนนอก ใช้วิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน โดยใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน (Vibration analyzer) ยี่ห้อ CSI รุ่น 2115 DX โดยแสดงรูปเครื่องมือในการวัดในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยหัววัดความเร่ง (1) เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน (2) และเครื่องคอมพิวเตอร์ (3)



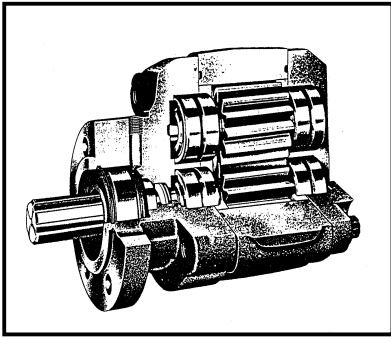
รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

ส่วนการตรวจสอบการชำรุดของวงแหวนในหรือเม็ดลูกกลิ้งใช้วิธีการถอดรื้อออกมาแล้วทำการตรวจสอบ

วิธีการให้ภาระแก่แบริ่ง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในบีเอ็มไฮดรอลิคแบบเฟือง ดังแสดงในรูปที่ 3 จำนวน 4 ลูก โดยแบริ่งรองรับการหมุนของเพลาลูกท้าย ซึ่งเป็นเฟืองเกียร์ของบีเอ็มไฮดรอลิคด้วย ภาระที่ให้แก่แบริ่งเป็นแรงที่เกิดจากความดันที่เกิดขึ้นในระบบไฮดรอลิคเพื่อยกกระบะของรถบรรทุก และกรณีทดลองกับแท่นทดสอบก็ดัดแปลงให้มีวงจรมอเตอร์ที่คล้ายกับของตัวรถบรรทุก ลักษณะของภาระที่กระทำต่อแบริ่งเป็นภาระแบบกระแทก (shock load) โดยการทดสอบบนตัวรถบรรทุก ใช้วิธีเร่งรอบเครื่องยนต์ให้สูงสุด แล้วทำการยกกระบะซึ่งมีดินบรรทุกอยู่เต็ม โดยใช้เวลาในการยกกระบะ 4 วินาที แล้ววางกระบะลงใหม่ การทดสอบบนตัวรถบรรทุก ทำในช่วงอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิค ตั้งแต่ 60-70 °C ทำการวัดการสั่นสะเทือนทุกๆ 60 ครั้งของการยกกระบะ

สำหรับการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอกนั้น ทำการถอดแบริ่งออกมาแล้วประกอบแบริ่งกลับเข้าที่เดิม แต่ให้หมุนวงแหวนนอกไปจากตำแหน่งเดิมที่ละ 30° และทดลองต่อไปจนพบว่าแบริ่งเกิดการชำรุดแบบการล้าที่วงแหวนในหรือเม็ดลูกกลิ้งของแบริ่ง

การทดลองบนแท่นทดสอบก็ทำในทำนองเดียวกันกับการทดลองบนตัวรถ แต่ให้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคให้อยู่ในช่วง 75 – 78 °C หลังจากนั้นให้ทำการเปรียบเทียบอายุความล้าของแบริ่งระหว่างการไม่เปลี่ยนและการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก



(ก)



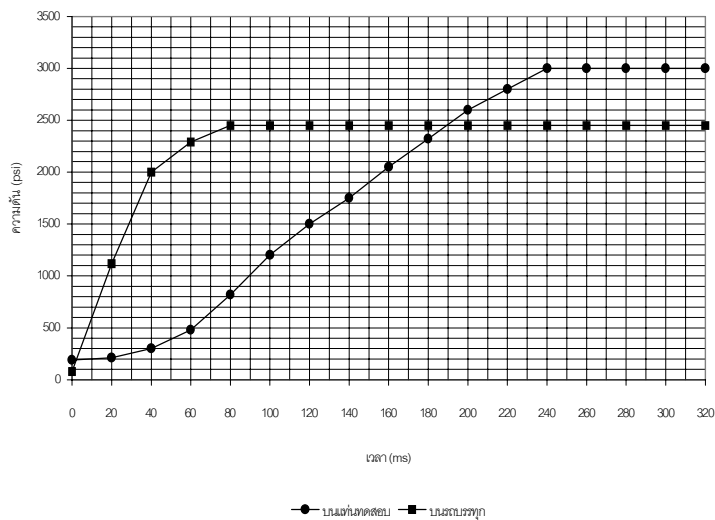
(ข)

รูปที่ 3 (ก) ภาคตัดภายในของปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้ทดสอบ (ข) ลักษณะและส่วนประกอบของแบริ่งที่ใช้ทดสอบ

3. ผลการทดลอง

การรับภาระของแบริ่งสำหรับการทดลอง ทั้งบนตัวรถบรรทุกและบนแท่นทดสอบ มีลักษณะตัวแสดงในรูปที่ 4

ซึ่งแสดงค่าของความดันที่เกิดขึ้นในระบบไฮดรอลิกเป็นลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในเวลาไม่ถึงหนึ่งวินาที อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันเฉลี่ยในช่วงก่อนความดันจะคงที่ คือ 31,000psi/s กรณีการทดลองบนรถบรรทุกและ 12,500 psi/s กรณีของการทดลองบนแท่นทดสอบ



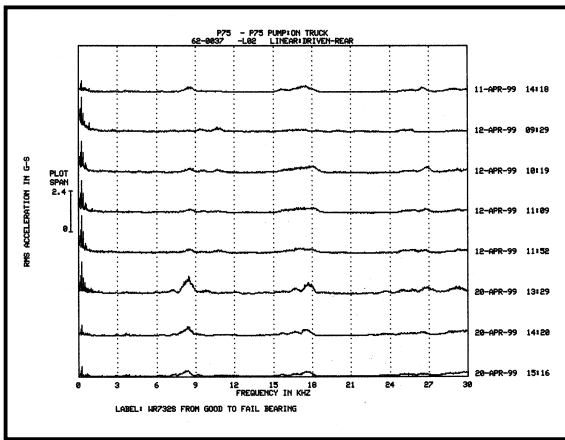
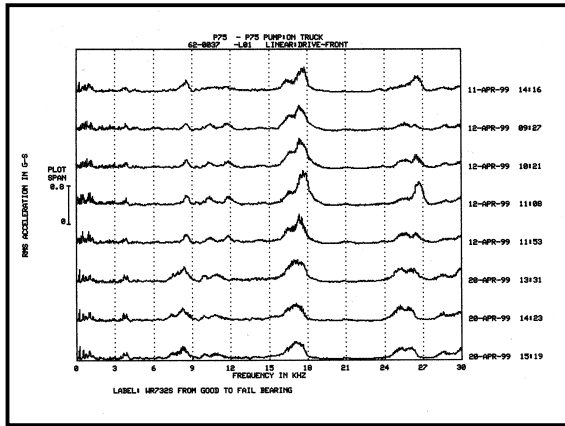
รูปที่ 4 ค่าความดันที่สูงขึ้นในระบบที่ใช้ทดสอบในช่วงเวลาไม่ถึง 1 นาที

3.1 ผลการทดลองหาอายุความล้าของวงแหวนนอกของแบริ่งอายุความล้าของวงแหวนนอก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าอายุความล้าของวงแหวนนอกเป็นจำนวนครั้งของการรับภาระแบบกระแทก

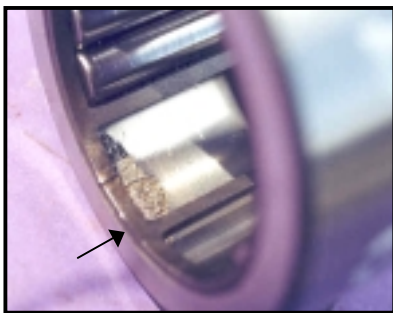
การทดลองครั้งที่	อายุความล้าของวงแหวนนอก (จำนวนครั้งของการรับภาระ)	ค่าภาระสูงสุดเป็นค่าความดัน (psi)	อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันโดยเฉลี่ย (psi/s)
1. บนตัวรถ	300	2,480	31,000
2. บนตัวรถ	780	2,200	31,000
3. บนแท่นทดสอบ	3,150	3,000	12,500
4. บนแท่นทดสอบ	3,015	3,000	12,500
5. บนแท่นทดสอบ	4,230	3,000	12,500
6. บนแท่นทดสอบ	4,140	3,000	12,500

ผลการทดลองครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 เป็นผลการทดลองบนตัวรถบรรทุกได้ค่าอายุความล้า ของวงแหวนนอกของแบริ่งเป็น 300 และ 780 ครั้งของการยกกระเบระรถบรรทุก สาเหตุที่อายุของวงแหวนนอกต่างกันมาก เนื่องจากค่าภาระสูงสุดมีค่าต่างกัน เนื่องจากในการทดลองเกิดฝนตกทำให้น้ำหนักดินในกระเบมีค่าไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามอายุความล้าที่แตกต่างกันของการทดลองทั้งสองไม่ใช่ประเด็นสำคัญของการทดลอง เพราะการทดลองนี้ต้องการเปรียบเทียบอายุความล้าของแบริ่งในชุดเดียวกัน เมื่อวงแหวนนอกอยู่กับที่กับอายุความล้าของแบริ่งเมื่อเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบในข้อที่ 3.2 ต่อไป รูปที่ 5 แสดงลักษณะของ spectrum ของการวัดค่าการสั่นสะเทือนเมื่อวางนอกของแบริ่งเริ่มเกิดการชำรุดใน spectrum 3 ครั้งสุดท้าย ซึ่งมีค่าสูงขึ้นจากสภาพที่แบริ่งยังปกติอยู่



รูปที่ 5 ค่าการสั่นสะเทือนสูงขึ้นที่ความถี่ 8.5, 17 และ 26 KHz เมื่อแบร์ริงเริ่มชำรุด

อายุของความล้าของรางนอกของแบร์ริง กรณีทดสอบบนแท่นทดสอบในโรงงาน คือ การทดสอบครั้งที่ 3 ถึง 6 ซึ่งเป็นการทดสอบที่ควบคุมเงื่อนไขและสภาพการทำงานได้ใกล้เคียงกันมาก อายุความล้าของวงแหวนนอกสูงกว่าการทดสอบบนตัวรถ เพราะอัตราการเพิ่มขึ้นของภาระต่ำ ได้อายุความล้าเฉลี่ย 3,634 ครั้ง ของการเกิด shock load ค่าพิสัย 1,125 ครั้ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 554.2 ครั้ง รูปที่ 6 แสดงการชำรุดจากสาเหตุการล้าที่วงแหวนนอกของแบร์ริง



รูปที่ 6 แสดงการชำรุดที่ผิวของวงแหวนนอกจากสาเหตุความล้า

3.2 ผลการทดลองหาอายุความล้าของลูกกลิ้ง

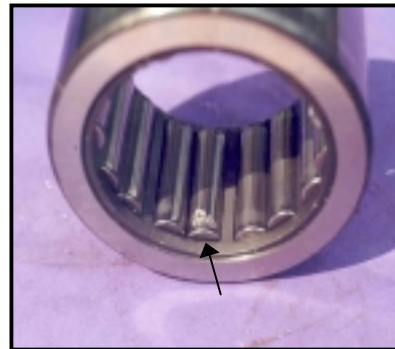
อายุความล้าของแบร์ริง กรณีเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงอายุความล้าของลูกกลิ้งเมื่อเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก

การทดลองครั้งที่	อายุความล้าของลูกกลิ้ง (จำนวนครั้งของการรับภาระ)	ค่าภาระสูงสุดเป็นค่าความดัน (psi)	อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันโดยเฉลี่ย (psi/s)
1. บนตัวรถ	2,700	2,480	31,000
2. บนตัวรถ	6,000	2,200	31,000
3. บนแท่นทดสอบ	18,000	3,000	12,500
4. บนแท่นทดสอบ	18,000	3,000	12,500

การทดลองกรณีนี้มีการทดลอง 4 ครั้ง เป็นการทดลองที่ต้องยกปั๊มไฮดรอลิคลงและถอดแบร์ริงออกจากเสื่อของแบร์ริงเพื่อทำการตรวจสอบการเริ่มชำรุดของแบร์ริงที่วงแหวนในและลูกกลิ้ง

การทดลองบนตัวรถ 2 ครั้ง จะมีอายุความล้าต่ำกว่าการทดสอบบนแท่นทดสอบมาก เพราะเหตุผลทำนองเดียวกับข้อที่ 3.1 คืออัตราการเพิ่มขึ้นของความดันจะสูงกว่าบนแท่นทดสอบ การทดลองบนแท่นทดสอบ อายุความล้าของแบร์ริงเท่ากับ 2 ครั้ง คือ 18,000 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ใช้แบร์ริงสำหรับการทดลองจำนวน 16 ลูก รูปที่ 7 แสดงการชำรุดแบบการล้าที่ผิวลูกกลิ้งของแบร์ริง



รูปที่ 7 การชำรุดจากการล้าเกิดเป็นหลุมที่ผิวของลูกกลิ้ง (ครีซี)

3.3 การเปรียบเทียบอายุความล้าของแบร์ริง

เมื่อทำการเปรียบเทียบอายุความล้าจากการทดลองในข้อที่ 3.1 และ 3.2 โดยการทดลองในครั้งที่ 3 และ 4 สำหรับการทดลองหาอายุความล้าของลูกกลิ้งในตารางที่ 2 ใช้ค่าอายุเฉลี่ยของวงแหวนนอกที่ 3,634 ครั้งเท่ากับ อายุความล้าของแบร์ริงที่วงแหวนนอกอยู่กับที่เทียบกับอายุความล้าของแบร์ริงเมื่อทำการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอกจะได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของอายุความล้าของลูกกลิ้งเมื่อเทียบกับอายุความล้าของวงแหวนนอกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงและไม่เปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของวงแหวนนอก

การทดลองครั้งที่	อายุความล้าของวงแหวนนอก (จำนวนครั้งของการรับภาระ)	อายุความล้าของลูกกลิ้ง (จำนวนครั้งของการรับภาระ)	จำนวนเท่าของอายุลูกกลิ้งต่ออายุของวงแหวนนอก
1. บนตัวรถ	300	2,700	9.00
2. บนตัวรถ	780	6,000	7.69
3. บนแท่นทดสอบ	3,634	18,000	4.95
4. บนแท่นทดสอบ	3,634	18,000	4.95
ค่าเฉลี่ย			6.65
ค่าพิสัย			1.76
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			4.05

อายุความล้าของแบริ่งเมื่อทำการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระสูงขึ้นจากอายุเดิมเป็น 9.00, 7.69 และ 4.95 เท่า (2 ครั้ง) โดยมีค่าเฉลี่ยค่าพิสัย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 6.65, 4.05 และ 1.76 เท่าตามลำดับ

4. บทสรุปและข้อคิดเห็น

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าอายุความล้าของแบริ่ง กรณีที่วงแหวนนอกติดตั้งอยู่กับที่และวงแหวนในหมุนตลอดเวลา วงแหวนนอกจะมีอายุความล้าที่สั้นที่สุดของแบริ่ง แต่หากทำการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รับภาระของ วงแหวนนอกของแบริ่งก่อนที่วงแหวนนอกจะเกิดการชำรุด จะสามารถยืดอายุความล้าของแบริ่งออกไปได้ต่ำสุด คือ 4.95 เท่าของอายุเดิม ในทางปฏิบัติ ควรพิจารณาจำนวนเท่าเป็นตัวเลขเต็มๆ ก็จะสามารถนำค่าอายุความล้าที่สูงขึ้นจากเดิม 4 เท่าตัวไปประยุกต์ใช้เพื่อการยืดอายุการใช้งานของแบริ่งที่มีลักษณะการใช้งานและติดตั้งแบบดังกล่าวได้ ทั้งนี้ควรมีการตรวจสอบว่าค่าความหลวมคลอนของแบริ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยในการยืดอายุการใช้งานของแบริ่ง ให้ใช้วิธีแบ่งมุมของวงกลมออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 90° ทั้งนี้เมื่อทำการถอดหรือแบริ่ง แล้วประกอบกลับเข้าไปในตำแหน่งเดิม แต่ให้ทำการหมุนวงแหวนนอกไปจากตำแหน่งเดิม 90° งานทดลองนี้ใช้วงแหวนใน ซึ่งเป็นวัสดุที่แตกต่างไปจากเนื้อวัสดุของวงแหวนนอกและลูกกลิ้งแต่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยจะได้พิจารณาทดลองในกรณีที่แบริ่งเป็นวัสดุเหมือนกันทั้งวงแหวนในวงแหวนนอกและเม็ดลูกกลิ้ง ตลอดจนถึงการทดลองที่เป็นแบริ่งแบบต่างๆ กัน และกรณีที่วงแหวนในอยู่กับที่แต่วงแหวนนอกมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา เช่นในกรณีของล้อของเครื่องจักรกล ฯลฯ ในโอกาสต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เป็นผู้สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัย ขอขอบคุณที่ทีมงานวิจัยทุกคนที่ได้ช่วยดำเนินการทดลองจนแล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประศาสน์ สุบรรพวงศ์, การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ แบริ่งแบบลูกกลิ้งในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟือง, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ก.ย. 2542
- [2] Brandlein, J., Ball and Roller Bearings, Theory, Design and Application, 3rd edition, John Wiley and sons, 1999
- [3] Chiu,R.P., The Mechanism of Bearing Surface Fatigue Experiments and Theories, Presented at the 52rd Annual Meeting (STLE) in Kansas City, Missouri, 18-22 May.1997
- [4] Donal, J.W., Understanding How Components Fail, 8th Edition, ASM,1995
- [5] Dowson, D., History of Tribology, 2nd Edition, Professional Engineering Publishing, 1998
- [6] Hamrock, B.J., Fundamental of Fluid Film Lubrication, McGraw-Hill, 1994
- [7] ISO 281 : 1990 Rolling bearing, Dynamic load rating and rating life
- [8] ISO 281 : 1990 / Amd 2 : 2000 (E), Life modification factor aXYZ
- [9] Metal Handbook, Failure Analysis and Prevention, Volume11,8th Edition, ASM, 1988
- [10] Shigley,J.E., and Mischke,E.R., Mechanical Engineering Design, 5th Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1989
- [11] Timken, Bearing, Selection Handbook No. 103.9 m-5-83-6, U.S.A.
- [12] The Society of Tribologist and Lubrication Engineers (STLE), Interpreting Service Damage in Rolling Type Bearing, 11th Printing, January, 1993
- [13] Widner, R.L., Failure of Rolling Element Bearing, ASM. Volume 11 PP.490-513
- [14] Zaretsky, E.V., STLE Life Factor for Rolling Element Bearings, July,1992