

การศึกษาเชิงทดลองหาพฤติกรรมสถิตย์ของแบร้งเพลากลมใช้วัสดุใหม่ Experimental Study on Static Characteristics of a Soft Journal Bearing

นัตรชัย เอี่ยมพรสิน^{1*}, รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์²

¹ วิทยาลัยพาณิชยการนานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 10520

*ติดต่อ Email : chataium@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของเจอร์นอลแบร้งที่มีกัปแบร้งทำด้วยวัสดุใหม่โพลีเมอร์ เจอร์นอลแบร้งติดตั้งบนแท่นทดสอบที่สามารถปรับความเร็วรอบและภาระโหลดต่างๆ ได้โดยใช้น้ำมันหล่อลื่น SAE-40 เป็นสารหล่อลื่น การทดลองจะวัดค่าอุณหภูมิฟิล์มน้ำมันและความดันฟิล์มน้ำมันจากผลการทดลองและผลการคำนวณเชิงตัวเลขทางทฤษฎีโดยใช้สมการเรโนลด์และสมการพลังงาน พบว่าที่ภาระโหลดสูงหรือสภาวะทำงานที่ความเร็วรอบต่ำจะมีผลอย่างมากต่อพฤติกรรมของแบร้งเพลากลมแบบวัสดุใหม่
คำหลัก : แบร้งเพลากลม; แบร้งวัสดุใหม่โพลีเมอร์; พฤติกรรมสถิตย์เจอร์นอลแบร้ง

Abstract

This paper presents the experimental study to analyze the characteristics of journal bearings with the soft material liner. Journal bearings mounted on the shaft which the speed and load are adjustable. The lubricant is SAE-40 oil. The oil film temperature and oil film pressure were measured. The experimental results and numerical results calculated theoretically using Reynolds equation and energy equation showed that the operating at high load conditions or at low speed of shaft have the significance effect on the behavior of the journal bearing with soft material liner.

Keywords : journal bearing; Bearing materials in soft liner; static characteristics of journal bearings.

1. บทนำ

แบร้งเพลากลม หรือ เจอร์นอลแบร้ง (Journal Bearing) ประกอบด้วยเพลากลมและกัปรองลื่น เมื่อเพลากลมจะดูดน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาหล่อลื่นระหว่างเพลากับกัปรองลื่น ฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจะป้องกันการเสียดสีระหว่างเพลากับกัปรองลื่น ปัจจุบันมีกัปรองลื่นรูปทรงต่างๆ กันหลายชนิด เช่น กัปรองลื่นรูปวงรี กัปรองลื่นแบบไม่เต็มวง เป็นต้น ข้อดีของกัปรองลื่นชนิดไม่เต็มวงกลมคือ ช่วยลดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากความฝืด และกัปรองลื่น

ยังสามารถรับภาระได้ใกล้เคียงกับกัปรองลื่นชนิดเต็มวง วัสดุที่ใช้ทำกัปรองลื่นส่วนใหญ่เป็นโลหะประเภทอลูมิเนียม มีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุเพล่า เมื่อเกิดการเสียดสีกันระหว่างเพลากับกัปรองลื่น ตัวกัปรองลื่นจะเสียหายและสามารถเปลี่ยนได้

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมเชิงทดลองของเจอร์นอลแบร้งแบบครึ่งวงกลม เมื่อใช้กัปรองลื่นที่ทำด้วยเทฟลอน (โพลีเตตาฟลูออไรเอทิลีน (Polytetra Fluoroethylen , PTFE) ซึ่งมีคุณสมบัติ

AMM-238

เป็นวัสดุ نیمประเภทโพลีเมอร์ ด้วยคุณสมบัติที่ เทปลอนเป็นวัสดุ نیم ดังนั้นเมื่อเกิดการเสียดสีกับตัว เพลาจะช่วยลดความเสียหายของเพลลาได้ดีกว่า อลูมิเนียม อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทปลอนเป็นวัสดุที่มี ค่า Young's Modulus เพียง 0.5 GPa [4] จึง สามารถเปลี่ยนรูปร่าง (elastic deformation) ได้ง่าย Dobrica [1] ได้วิเคราะห์ว่าผลของการเปลี่ยนแปลง รูปร่างของ กาบรองลื่นจะทำให้การกระจายความ ดันที่เกิดขึ้นต่างจากกรณีที่เป็น rigid journal bearing วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงทดลองเพื่อวิเคราะห์ คุณสมบัติของเจอร์นอลแบร์ริงที่ใช้เทปลอนเป็นกาบ รองลื่น เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทปลอน เป็นวัสดุทำกาบรองลื่นต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์ทดลอง

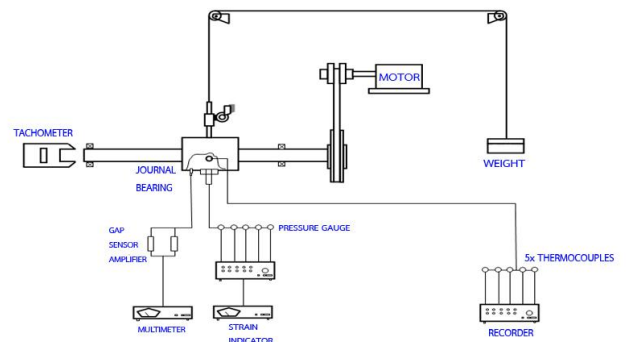
ชุดทดสอบแบร์ริงเพลากลมสร้างโดยนายวีระยุทธ และคณะ [3] แบร์ริงเพลากลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.15 mm ความยาวแบร์ริง 25 mm มีรัศมีเคลียแรนซ์ 0.040 mm ตัวกาบรองลื่นใช้เทปลอนหนา 15 mm เป็นกาบรองลื่นแบบ 180° ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่กาบ รองลื่นได้ติดตั้ง Pressure Sensor ในรูปที่ 2 จำนวน 5 ตัว คือที่มุม 30°, 60°, 90°, 120°, และ 150°



รูปที่ 1 กาบรองลื่นแบบเทปลอน



รูปที่ 2 Pressure Sensor



รูปที่ 3 แสดงระบบของชุดทดลอง



รูปที่ 4 ชุดทดลอง

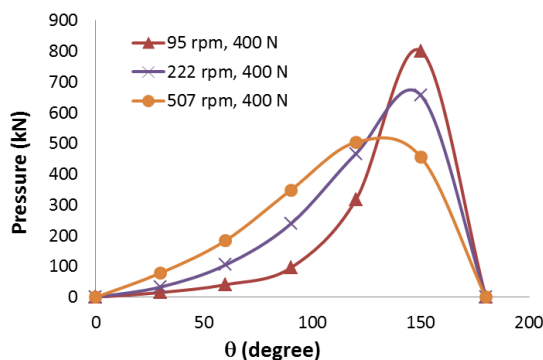
ปลายเพลลาทั้งสองด้านติดตั้งเข้ากับชุดลูกปืน เพลลาต่อเข้ากับมอเตอร์ซึ่งมีพูลเลตรอบได้เป็น 95 rpm, 222 rpm, และ 507 rpm กาบรองลื่นในรูปที่ 1 ติดตั้งที่กึ่งกลางของเพลลา ภาระโหลดจะใช้ก้อน

AMM-238

น้ำมันก็ยัดเข้ากับสกรูด้านบนของกาบรองลื่น ทำให้กาบแข็งและตัวเพลาสัมผัสกัน เมื่อเพลามันจะดูดน้ำมัน SAE 40 หล่อลื่นระหว่างผิวของเพลากับกาบรองลื่น ทำให้เกิดความดันของฟิล์มน้ำมัน ในชุดทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันด้วย

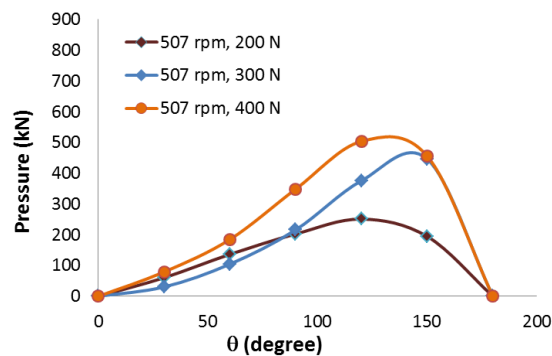
3. ผลการทดลอง

ในการทดลองได้ทดสอบที่ความเร็วรอบ 95 rpm, 222 rpm, และ 507 rpm แต่ละความเร็วรอบได้เปลี่ยนภาระโหลดขนาด 10 kg, 20 kg, 30 kg, และ 40 kg ผลจากการทดลองได้นำมาวิเคราะห์ได้ดังนี้



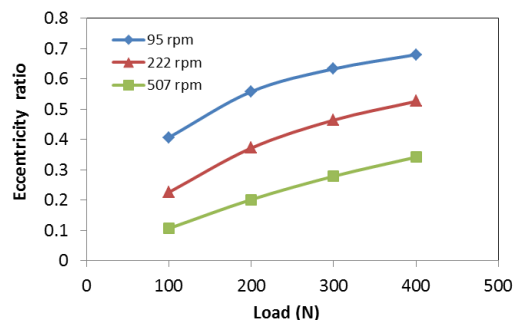
รูปที่ 5 การกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบต่างๆ กัน เมื่อใช้ภาระโหลด 400 N

รูปที่ 5 แสดงผลของความเร็วรอบของเพลามีต่อความดันของฟิล์มน้ำมันเมื่อใช้ภาระโหลด 400 N จากกราฟสังเกตได้ว่าที่ความเร็วรอบ 95 rpm จะมีค่าความดันในช่วง 100 องศาแรกมีค่าต่ำมาก ทำให้ความดันเป็นยอดสูงในช่วง 100-180 องศา ความดันขึ้นไปสูงสุดเท่ากับ 801 kN แต่ถ้าความเร็วรอบของเพลามีค่าสูงขึ้น เช่นที่ 507 rpm ความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและสูงสุดที่ 503 kN ดังนั้นความเร็วเพลาน้อยเกินไปจะทำให้ความดันมีค่าต่ำในช่วงองศาของแบร้งน้อยๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างผิวของแบร้งได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 6 การกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ภาระโหลดต่างๆ กัน เมื่อความเร็วรอบของเพล่า 507 rpm

รูปที่ 6 แสดงผลของภาระโหลดที่มีต่อความดันของฟิล์มน้ำมันเมื่อใช้ความเร็วรอบของเพล่า 507 rpm จากกราฟสรุปได้ว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มความดันของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะปกติของเจอร์นอลแบร้ง



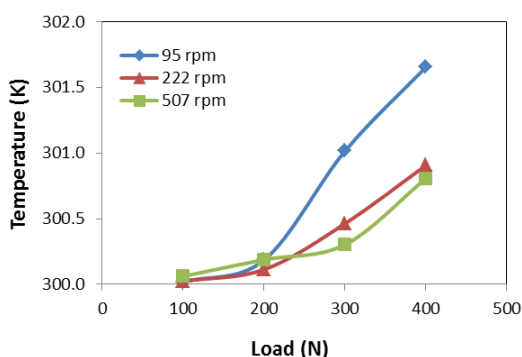
รูปที่ 7 ผลของภาระโหลดที่มีต่ออัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางของเจอร์นอลแบร้ง ทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 7 ผลของภาระโหลดที่มีต่ออัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางของเจอร์นอลแบร้ง ทดสอบที่ความเร็วรอบ 95, 222, และ 507 rpm จากกราฟสังเกตได้ว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้เพล่าของเจอร์นอลปรับตัวให้อัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางเพิ่มสูงขึ้นด้วย และถ้าเพิ่มความเร็วรอบของเพล่าให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางลดลงด้วย เช่น ที่ภาระโหลด 400 N ความเร็วรอบของเพล่า 95 rpm แบร้งทำงานที่อัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางเท่ากับ 0.68 แต่ที่ความเร็วรอบ 507 rpm อัตราส่วนเยื้องศูนย์กลางลดลงเหลือ 0.34

AMM-238

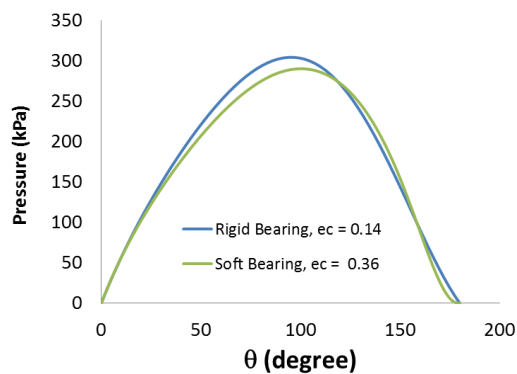
จากรูปที่ 5 และรูปที่ 7 จึงสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบต่ำๆ จะทำให้เจอร์นอลแบร์ริงทำงานที่อัตราเยื้องศูนย์ที่สูงกว่ากรณีที่มีความเร็วรอบสูง เป็นเหตุให้การกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันจึงมีรูปแบบฐานแคบแต่ยอดความดันสูง

จากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 จึงสรุปได้ว่า ที่ภาระโหลดที่สูง จะทำให้เจอร์นอลแบร์ริงทำงานที่อัตราเยื้องศูนย์ที่สูงกว่ากรณีที่มีภาระโหลดต่ำ เพื่อทำให้ได้ความดันฟิล์มน้ำมันเพียงพอต่อการรับภาระโหลด

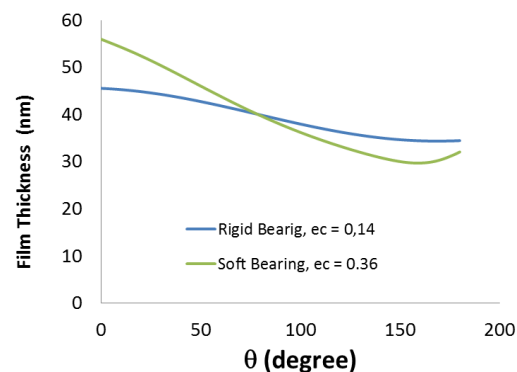


รูปที่ 8 ผลของภาระโหลดที่มีต่ออุณหภูมิฟิล์มน้ำมันเฉลี่ย ทดสอบที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 8 เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของฟิล์มน้ำมันเมื่อภาระโหลดต่างกัน ทดสอบที่ความเร็วรอบ 95, 222, และ 507 rpm เมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ที่ความเร็วรอบ 95 rpm ภายใต้ภาระโหลด 400 N มีอัตราส่วนเยื้องศูนย์ 0.68 จะทำให้อุณหภูมิฟิล์มน้ำมันสูงกว่ากรณีที่มีความเร็วรอบ 507 rpm ซึ่งทำงานที่อัตราส่วนเยื้องศูนย์ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำมันเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยไม่มีผลนัยสำคัญ



รูปที่ 9 ผลการจำลองทางทฤษฎี เปรียบเทียบความดันฟิล์มน้ำมันกรณีที่ใช้การรองรับเป็นเทปลอน (Soft bearing) กับกรณีที่เป็นอลูมิเนียม (Rigid bearing) แบร์ริงทำงานที่ 507 rpm ภายใต้โหลด 200 kN



รูปที่ 10 ผลการจำลองทางทฤษฎี เปรียบเทียบความหนาของฟิล์มน้ำมันกรณีที่ใช้การรองรับเป็นเทปลอน (Soft bearing) กับกรณีที่เป็นอลูมิเนียม (Rigid bearing) เมื่อแบร์ริงทำงานที่ความเร็ว 507 rpm ภายใต้โหลด 200 kN

รูปที่ 9 และ 10 เป็นการวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขตามวิธีการของ Mongkol [2] พบว่าเมื่อแบร์ริงทำงานที่ความเร็วรอบ 507 rpm ภายใต้ภาระโหลด 200 kN แบร์ริงที่มีรองรับเป็นอลูมิเนียมจะทำงานที่อัตราส่วนเยื้องศูนย์ที่ 0.14 แต่แบร์ริงที่รองรับทำด้วยเทปลอนจะทำงานที่อัตราส่วนเยื้องศูนย์ 0.36 ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 157% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าภายใต้สภาวะโหลดหรือความเร็วรอบที่เท่ากัน Rigid Bearing จะทำงานที่อัตราส่วน

AMM-238

เยื้องศูนย์ต่ำกว่า Soft Bearing. ความหนาฟิล์มน้อยสุด (Minimum film thickness) ของแบร์ริงที่ใช้วัสดุ Soft material จะบางกว่ากรณีที่กาบรองลื่นเป็น Rigid material เนื่องจากผลของการ deformation และอัตราส่วนเยื้องศูนย์ที่มากกว่า

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเจอร์นอลแบร์ริงชนิดครึ่งวงกลม โดยใช้เทปลอนซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุโพลีเมอร์เป็นกาบรองลื่น ใช้ น้ำมัน SAE 40 เป็นสารหล่อลื่น ผลการคำนวณด้านอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน สามารถสรุปคุณลักษณะของแบร์ริงที่ใช้กาบรองลื่นเป็นวัสดุโพลีเมอร์ (soft material) ได้ดังนี้

- 1) ด้วยคุณสมบัติของเทปลอนที่มีเป็นโพลีเมอร์วัสดุโพลีเมอร์ จะทำให้แบร์ริงทำงานที่อัตราส่วนเยื้องศูนย์สูงกว่ากรณีที่กาบรองลื่นที่เป็นวัสดุโลหะเช่นอลูมิเนียม ภายใต้สภาวะโหลดและความเร็วรอบเท่ากัน
- 2) แบร์ริงที่ใช้เทปลอนเป็นกาบรองลื่น ไม่เหมาะสำหรับการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำๆ เนื่องจากทำให้แบร์ริงทำงานที่อัตราเยื้องศูนย์ที่สูง ทำให้รูปแบบการกระจายความดันมีลักษณะเป็นยอดแหลม
- 3) แบร์ริงที่ใช้เทปลอนเป็นกาบรองลื่น ไม่เหมาะใช้งานภายใต้สภาวะโหลดที่สูง เนื่องจากทำให้กาบรองลื่นยุบตัวและค่าอัตราเยื้องศูนย์สูงขึ้น ทำให้ความหนาฟิล์มบางกว่ากรณีที่ใช้โลหะเป็นกาบรองลื่น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dobrica Mihai.B., Fillon Michel., Maspeyrot Patrick., Mixed Elasto- hydrodynamic Lubrication in a Partial Journal Bearing – Comparison Between Deterministic and Stochastic Models. ASME Journal of Tribology, 2006, Vol. 128, pp. 778-788

- [2] Mongkol Mongkolwongrojn and Chatchai Aiumprorsin, 2010, “Stability analysis of rough journal bearings under TEHL with non-Newtonian lubricants”, Tribology International, 43, pp. 1027–1034 .
- [3] วีระยุทธ แดนชัยภูมิ, สิริพงษ์ ดาวเจริญพร และ สุนิตศา ศรีวันเพ็ญ, “การศึกษาเชิงทดลองของแบร์ริงเพลากลมชนิดไม่เต็มวงที่มีความยืดหยุ่น”, วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555
- [4] Teflon PTFE Properties Handbook, DuPont Company