

พฤติกรรมทางทฤษฎีการหล่อลื่นในแบร์ริงกันรูนชนิดเม็ดกลมด้วยน้ำมันพืช
Theoretical Investigation into the Performance of Ball Thrust Bearing with
Vegetable-Base Oils

ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว^{1*}, เจษฎา พานิชกรณ¹

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
*ติดต่อ:khanitthaw@kmutnb.ac.th, 02-555-2000 ต่อ 6407

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการหล่อลื่นแบบอิลาสโตไฮโดรไดนามิกของแบร์ริงกันรูนชนิดเม็ดกลมด้วยน้ำมันสังเคราะห์ และน้ำมันพืช ใช้ระเบียบวิธีนิวตันราฟสันร่วมกับวิธีมีลติกริด แก้สมการโมดิไฟด์เรย์โนลด์ในสภาวะชั่วขณะ สมการการเปลี่ยนรูปของวัสดุ สมการการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น และสมการการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารหล่อลื่น เพื่อหาพฤติกรรมการกระจายตัวของความดัน และความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงภาระที่แบร์ริงกันรูนได้รับ ความเร็วรอบของเพลลาและชนิดของสารหล่อลื่นทั้งกรณีที่ผิวสัมผัสเป็นผิวเรียบและผิวหยาบ พบว่าชนิดของสารหล่อลื่นมีผลต่อความหนาฟิล์มต่ำสุดของฟิล์มสารหล่อลื่น และความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นเมื่อหล่อลื่นด้วยน้ำมันสังเคราะห์ของไหลชนิดนิวโตเนียนจะมีค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมากกว่าสารหล่อลื่นที่มีเป็นของไหลชนิดนอนนิวโตเนียน เมื่อเพิ่มภาระที่แบร์ริงกันรูนเม็ดกลมได้รับให้มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นลดลง แต่ความดันฟิล์มของสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความเร็วรอบของเพลลาเพิ่มขึ้นความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อผิวสัมผัสมีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาฟิล์มมีค่าลดลงและน้ำมันข้าวโพดมีค่าความฟิล์มสูงกว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว

คำหลัก: แบร์ริงกันรูนชนิดเม็ดกลม การหล่อลื่นแบบอิลาสโตไฮโดรไดนามิก น้ำมันพืช

Abstract

This paper presents the performance characteristics of transient isothermal elastohydrodynamic lubrication of ball thrust bearing with synthetic oil and vegetable based oils. The time dependent modified Reynolds equation, elasticity equation, density equation and viscosity equation were formulated for compressible fluid. Newton-Raphson method and multigrid method were implemented to obtain the film pressure profiles and film thickness profiles in the contact region at various loads, speeds and type of lubricants. The simulation results showed that type of lubricants has significant effect on the minimum film thickness. The non-Newtonian fluids have thinner film thickness than Newtonian fluids for synthetic oil. The increasing of the carrying load applied to ball thrust bearing, there is a reduction in the film thickness but film pressure increase. The increasing shaft speed increases the film thickness and the maximum pressure decrease. For increase the magnitude of roughness surface, there is reduction in film thickness and corn oil has the thicker film thickness than palm and coconut oils.

Keywords: Ball thrust bearing, Elastohydrodynamic lubrication, Vegetable based oils.

1. บทนำ

แบร์ริงที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรต่าง ๆ มีหน้าที่รองรับการเคลื่อนที่ของเพลลาให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ หรือรองรับภาระทั้งในแนวรัศมีและแนวแกนในขณะที่ตัวเพลลาหมุน การหล่อลื่นเกิดขึ้นของ

แบร์ริงมันจะถูกเหวี่ยงเข้ามาเป็นฟิล์มป้องกันไม่ให้ผิวของเพลลาและแบร์ริงมาสัมผัสกัน ความหนืดของน้ำมันต้องมีความเหมาะสมที่จะทำให้ผิวสัมผัสทั้งสองแยกออกจากกัน การเลือกความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นขึ้นอยู่กับความเร็วรอบ ภาระที่แบร์ริงได้รับ และอุณหภูมิขณะใช้งาน ดังนั้น

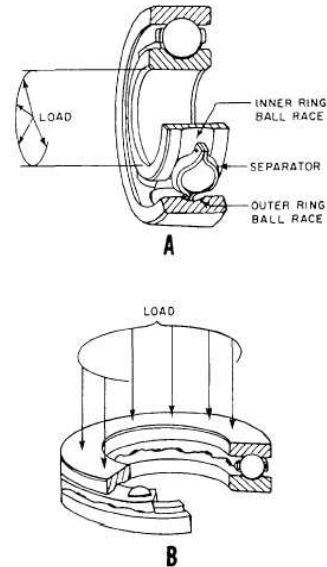
การหล่อลื่นแบร์ริงที่ดีจะทำให้แบร์ริงมีอายุการใช้งานให้นานขึ้น บทความนี้ศึกษาการหล่อลื่นแบร์ริงกันรุนชนิดเม็ดกลมที่รับแรงในแนวแกนแสดงดังรูปที่ 1

ในปี ค.ศ 2010 Mesgarnejad[1] ได้ทดลองหาพฤติกรรมการหล่อลื่นของแบร์ริงกันรุนที่เคลือบ MoS₂ โดยภาระที่แบร์ริงได้รับเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแกว่งไปมาพบว่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอจะเปลี่ยนตามลักษณะของภาระที่กระทำเช่นเดียวกัน ปี ค.ศ. 2013 Chari[2] ศึกษาหาขนาดที่เหมาะสมของช่องอากาศเข้าไปหล่อลื่นใน แบร์ริงกันรุนเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและการจำลองผลทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ พบว่าที่ภาระที่แบร์ริงกันรุนได้รับมีค่าน้อยความหนาของฟิล์มอากาศจะมีขนาดมาก ในปีเดียวกัน Fernandes[3] ศึกษาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแบร์ริงกันรุนชนิดเม็ดกลมในชุดเฟืองของกังหันลมพบว่าเมื่อความเร็วรอบในการหมุนสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะมีค่าน้อยลง ต่อมา Ren[4] ได้เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของฟิล์มสารหล่อลื่นของแบร์ริงกันรุนชนิดกลมที่ได้จากการทดลองและการจำลองผลทางทฤษฎีที่กำหนดให้เป็นการหล่อลื่นแบบ อีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่ผิววัสดุเป็นผิวเรียบผลที่ได้ใกล้เคียงกัน ต่อมา Choi[5] ได้นำมันพืชที่ปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่น ในปี 2005 Wan Nik[6] ได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันพืชเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ทดแทนสารหล่อลื่นในระบบไฮดรอลิกและระบบหล่อลื่น และในปีเดียวกัน Wongseedakaew[7] ได้นำน้ำมันพืชมาใช้เป็นสารหล่อลื่นในโรลเลอร์แบร์ริงพบว่าความหนาฟิล์มต่ำสุดจะเกิดที่วงแหวนด้านนอกและเมื่อภาระที่กระทำเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นจะบางลง

เนื่องจากการศึกษาการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่สัมผัสแบบจุดที่ของไหลมีพฤติกรรมเป็นของไหลแบบนอนนิวโตเนียนมีความสลับซับซ้อนมาก ดังนั้นสมการจึงมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงทำให้การคำนวณมีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณนาน ต่อมา Lubrecht[8] และ Francisco[9] ได้นำเสนอวิธีมัลติกริดที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดระยะเวลาการคำนวณ

บทความนี้ศึกษาพฤติกรรมทางทฤษฎีของแบร์ริงกันรุนชนิดเม็ดกลมโดยใช้ น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นภายใต้การหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิก โดยประยุกต์ใช้วิธีเปอร์เทอร์เบชัน วิธีผลต่างสี่บเนื่อง และวิธีมัลติกริด

ในการแก้ปัญหาสมการเรย์โนลด์ประยุกต์ เพื่อหาพฤติกรรมทางทฤษฎีของการหล่อลื่นในร่องลื่นกันรุนชนิดเม็ดกลมที่สภาวะคงตัวและไม่คิดผลเนื่องจากอุณหภูมิ



รูปที่ 1. แสดงแรงที่กระทำที่เกิดขึ้นเพลลาหมุนและการรับแรงของแบร์ริงกันรุนชนิดเม็ดกลม

2. ทฤษฎี

2.1 สมการเรย์โนลด์

สมการเรย์โนลด์ในรูปไร้มิติเพื่อหาการศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่สัมผัสแบบจุดแสดงดังสมการที่ (1)

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(\bar{\varepsilon} \frac{\partial P}{\partial X} \right) = K \left\{ C_{UT}(t) \frac{\partial}{\partial X} (\bar{\rho}H) + \frac{\partial}{\partial t^*} (\bar{\rho}H) \right\} \quad (1)$$

เมื่อ

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{\rho}H^3}{\bar{\mu}_U^*} \quad (2)$$

$$K = \frac{12\mu_0\mu_0 R_0^2}{b^3 P_H} \quad (3)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบดังนี้

$$P(X_{IN}) = 0 \text{ และ } P(X_{OUT}) = \left(\frac{\partial P}{\partial X} \right)_{X=X_{OUT}} = 0$$

$$P(Y_{IN}) = 0 \text{ และ } P(Y_{OUT}) = \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)_{Y=Y_{OUT}} = 0$$

2.2. สมการความหนาฟิล์ม

การกระจายตัวของฟิล์มสารหล่อลื่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของผิวสัมผัสและการเปลี่ยนรูปร่างของผิวสัมผัสแสดงดังสมการที่ (4)

$$H = H_0 + \frac{X^2}{2k\left(\frac{R_x}{R}\right)} + \frac{Y^2}{\left(\frac{2}{k}\right)\left(\frac{R_y}{R}\right)} + \frac{4P_H R}{k\pi E'D_x} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P(X', Y') dX' dY'}{\sqrt{(X-X')^2 + k^2(Y-Y')^2}} \quad (4)$$

2.3 สมการสมดุลแรง

การคำนวณหาพฤติกรรมของการหล่อลื่นต้องอาศัยสมการสมดุลแรงเพื่อหาค่าคำตอบที่ถูกต้องโดยภาระที่กระทำจะต้องเท่ากับผลรวมของของภาระที่กระทำเนื่องจากความดันที่กระทำต่อสารหล่อลื่น

$$\int_{X_{IN}}^{X_{OUT}} PdX = C_{WT} \left(\frac{\pi}{2} \right) \quad (5)$$

เมื่อ

$$C_{WT}(t) = \frac{w'_z(t)}{w'_z} \quad (6)$$

2.4 สมการความหนาแน่น

สมการความหนาแน่นของสารหล่อลื่นของ Dowson and Higginson[10] แสดงดังสมการที่ (7)

$$\bar{\rho} = 1 + \frac{0.6 \times 10^{-9} P_H P}{1 + 1.7 \times 10^{-9} P_H P} \quad (7)$$

2.5 สมการความหนืดของสารหล่อลื่น

สมการไร้มิติความหนืดของสารหล่อลื่นของ Roelands [11] ที่ค่าความหนืดขึ้นอยู่กับความดันฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าดังนี้

$$\bar{\mu} = \bar{\mu}_p \bar{\mu}_s \quad (8)$$

เมื่อ

$$\bar{\mu}_p = \exp \left\{ \left[\ln(\mu_0) + 9.67 \right] \left[-1 + \left(1 + 5.1 \times 10^{-9} P_H P \right)^Z \right] \right\} \quad (9)$$

$$\bar{\mu}_s = \frac{\mu_\infty}{\mu_0} + \left(1 - \frac{\mu_\infty}{\mu_0} \right) \left(1 + \lambda^2 K_{SH} \bar{T} \right)^{\frac{n-1}{2}} \quad (10)$$

2.6 ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม

วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมใช้แก้สมการเรย์โนลด์เพื่อหาพฤติกรรมของการหล่อลื่นแบบฮิสเทรีติกไฮโดรไดนามิก

$$\left(\bar{\varepsilon}_{i+\frac{1}{2}} \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta X} \right) \right)^i - \left(\bar{\varepsilon}_{i-\frac{1}{2}} \left(\frac{P_i - P_{i-1}}{\Delta X} \right) \right)^i \quad (11)$$

$$= K \left[C_{UT}(t) \left((\bar{\rho}H)_i^i - (\bar{\rho}H)_{i-1}^i \right) + \left(\frac{\Delta X}{\Delta t^*} \right) \left((\bar{\rho}H)_i^i - (\bar{\rho}H)_i^{i-\Delta t^*} \right) \right]$$

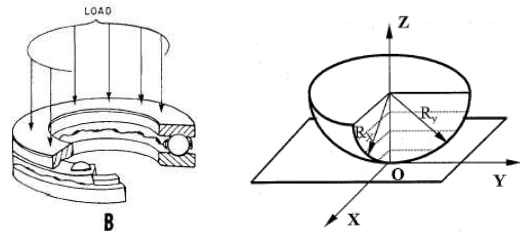
เมื่อ

$$\bar{\varepsilon}_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\bar{\varepsilon}_{i+1} + \bar{\varepsilon}_i}{2} \quad (12)$$

$$\bar{\varepsilon}_{i-\frac{1}{2}} = \frac{\bar{\varepsilon}_i + \bar{\varepsilon}_{i-1}}{2} \quad (13)$$

3. ผลการคำนวณ

ภาระที่แบริงกันรูนชนิดกลมได้รับและพิกัดที่ใช้ในการจำลองผลแสดงดังรูปที่ 2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุ และสารหล่อลื่นที่ใช้ในบทความนี้แสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2



รูปที่ 2 ภาระที่แบริงกันรูนชนิดกลมได้รับและพิกัด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของโรลเลอร์แบริง (SKFN208ECP)

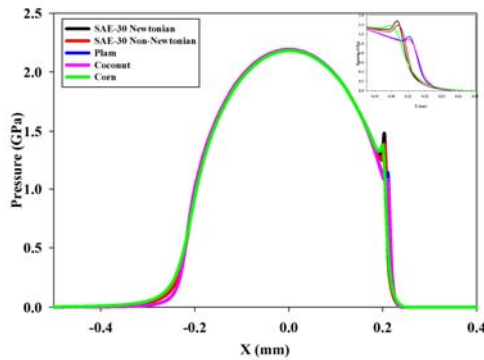
Material Properties	
E, GPa	200
ρ , kg/m ³	7750
ν	0.30

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสารหล่อลื่น [12]

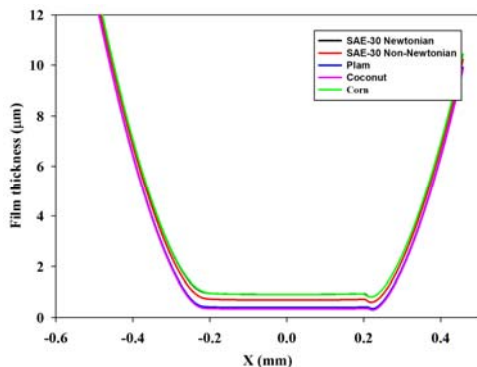
Lubricant	SAE30	Palm	Coconut	Corn
ρ , (kg/m ³)	835.0	915.0	925.0	910.0
μ_0 , (Pa-s)	0.05678	0.232	0.118	0.041
μ_∞ , (Pa-s)	0.0254	0.0254	0.023	0.021

$\lambda, (s)$	1.89×10^{-6}	16.1	0.532	0.132
n	0.5, 1	0.488	0.634	1.11
z	0.331	0.38	0.36	0.35

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของการหล่อลื่นแบบรีงกัน รุนชนิดเม็ดกลมที่มีผิวเรียบ ด้วยสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ได้แก่ ด้วยสารหล่อลื่นสังเคราะห์ SAE-30 ที่มีค่าความหนืดเท่ากับ 0.09 Pa-s ทั้งของไหลชนิดนิวโตเนียน(Newtonian, n=1.0) นอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian, n=0.5) น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันข้าวโพด โดยเพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm และภาระที่กระทำเท่ากับ 5 kN พบว่าเมื่อเปลี่ยนสารหล่อลื่นจะไม่ส่งผลต่อการรูปร่างการกระจายความดัน แต่จะส่งผลต่อความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นที่เป็นน้ำมันข้าวโพดจะให้ความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นสูงสุดและมีค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่นน้อยสุด เนื่องจากน้ำมันข้าวโพดเป็นสารหล่อลื่นชนิดไดลา-แตนท์($n = 1.1$) แสดงดังรูปที่ 3 และ 4

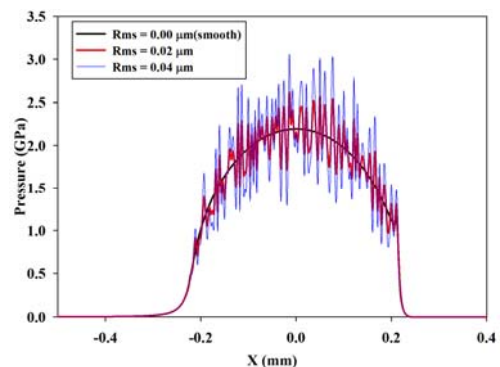


รูปที่ 3 การกระจายตัวของความดันสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารหล่อลื่นที่แบริงกันรุนชนิดเม็ดกลมมีผิวเรียบ

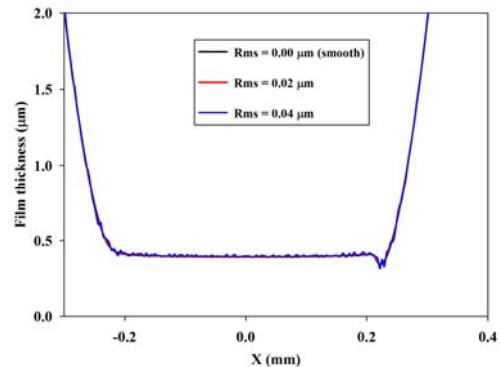


รูปที่ 4 การกระจายตัวของความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารหล่อลื่นที่แบริงกันรุนชนิดเม็ดกลมมีผิวเรียบ

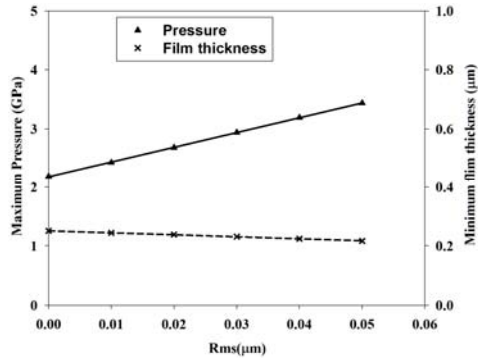
พฤติกรรมของการหล่อลื่นแบบรีงกันรุนชนิดเม็ดกลมที่มีผิวหยาบหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม โดยเพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm และภาระที่กระทำเท่ากับ 5 kN พบว่ารูปร่างของการกระจายความดันจะเปลี่ยนแปลงลักษณะของผิวหยาบ เมื่อค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดันของฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าลดลง ถ้าผิวสัมผัสเป็นผิวเรียบจะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.193 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.250 μm ถ้าผิวสัมผัสมีความหยาบผิว Rms = 0.2 μm จะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.685 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.238 μm และที่ค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 3.197 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.224 μm ที่ค่าความหยาบ Rms = 0.04 μm แสดงดังรูปที่ 5 , 6 และ 7



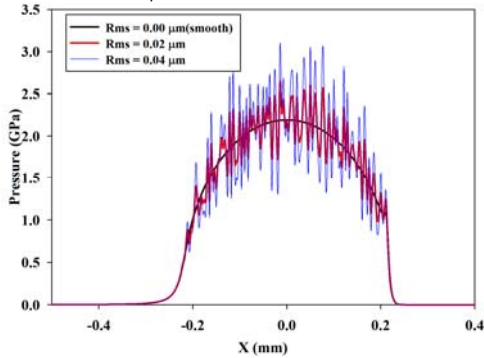
รูปที่ 5 การกระจายตัวของความดันของสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันปาล์ม



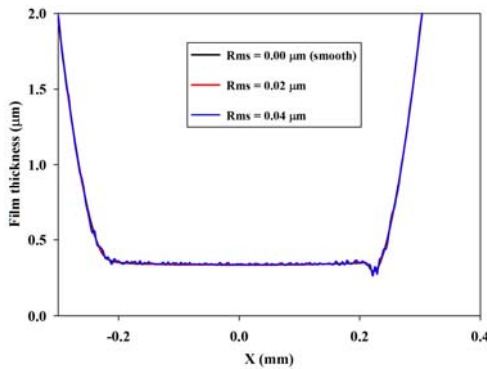
รูปที่ 6 การกระจายตัวของความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันปาล์ม



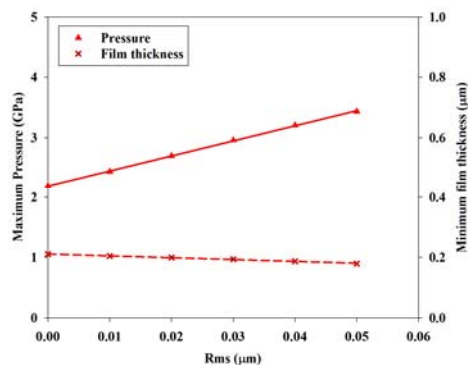
รูปที่ 7 ค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่นสูงสุดและค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นต่ำสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็ริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 8 การกระจายตัวของความดันของสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็ริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว



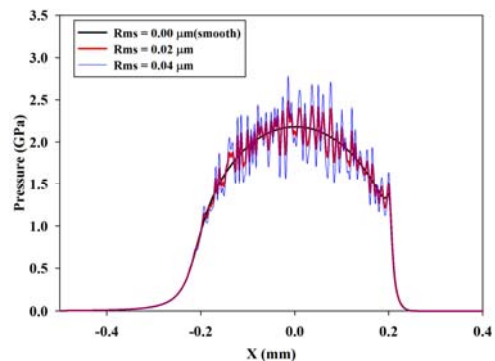
รูปที่ 9 การกระจายตัวของความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็ริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว



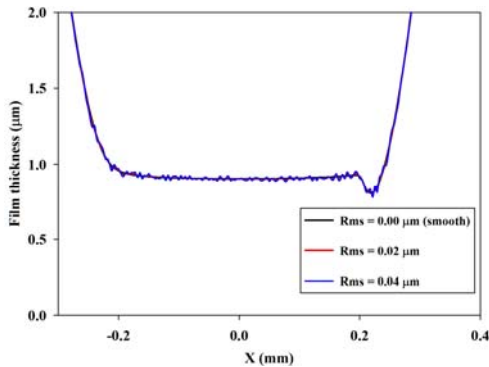
รูปที่ 10 ค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่นสูงสุดและค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นต่ำสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็ริงกันรุนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันมะพร้าว

พฤติกรรมของการหล่อลื่นแบร็ริงกันรุนชนิดเม็ดกลมที่มีผิวหยาบหล่อลื่นน้ำมันมะพร้าว โดยเพลหาหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm และภาระที่กระทำเท่ากับ 5 kN พบว่ารูปร่างของการกระจายความดันจะเปลี่ยนแปลงลักษณะของผิวหยาบ เมื่อค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดันของฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าลดลง ถ้าผิวสัมผัสเป็นผิวเรียบจะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.192 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.209 µm ถ้าผิวสัมผัสมีค่าความหยาบผิว Rms = 0.2 µm จะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.698 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.198 µm และที่ค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 3.208 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.186 µm ที่ค่าความหยาบ Rms = 0.04 µm แสดงดังรูปที่ 8, 9 และ 10

พฤติกรรมของการหล่อลื่นแบร็ริงกันรุนชนิดเม็ดกลมที่มีผิวหยาบหล่อลื่นน้ำมันมะพร้าว โดยเพลหาหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm และภาระที่กระทำเท่ากับ 5 kN พบว่ารูปร่างของการกระจายความดันจะเปลี่ยนแปลงลักษณะของผิวหยาบ เมื่อค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดันของฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าลดลง ถ้าผิวสัมผัสเป็นผิวเรียบจะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.181 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.652 µm ถ้าผิวสัมผัสมีค่าความหยาบผิว Rms = 0.2 µm จะมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.503 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.636 µm และที่ค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 2.847 GPa และค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดเท่ากับ 0.619 µm ที่ค่าความหยาบ Rms = 0.04 µm แสดงดังรูปที่ 11, 12 และ 13



รูปที่ 11 การกระจายตัวของความดันของสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็งก์นรูนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันข้าวโพด



รูปที่ 12 การกระจายตัวของความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็งก์นรูนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันข้าวโพด

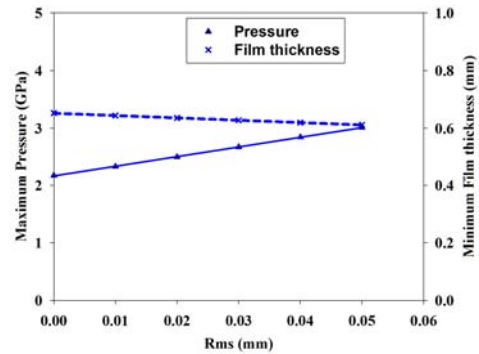
พฤติกรรมของการหล่อลื่นแบร็งก์นรูนชนิดเม็ดกลมที่มีผิวหยาบหล่อลื่นน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันข้าวโพด โดยเพลหาหมุนด้วยความเร็วรอบเท่ากับ 3000 rpm และภาระที่กระทำเท่ากับ 5 kN พบว่าเมื่อความหยาบผิวของผิวสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดันสูงสุดของฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าลดลง โดยพฤติกรรมของการหล่อลื่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวใกล้เคียงกัน เพราะน้ำมันทั้งสองมีค่าความหนืดและค่า power index (n) มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 14

4. สรุปและข้อเสนอนแนะ

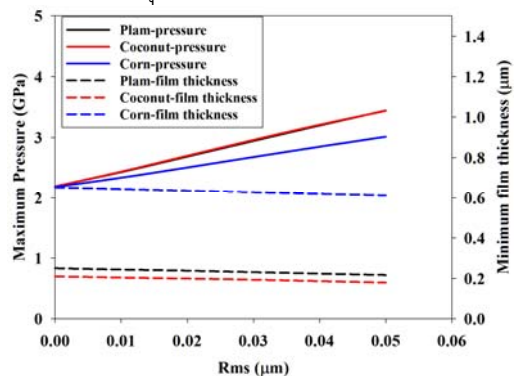
บทความนี้ศึกษาพฤติกรรมของการหล่อลื่นแบบฮิสเทรีติกไฮโดรไดนามิกที่สัมผัสแบบเป็นจุดในแบร็งก์นรูนชนิดเม็ดกลม เมื่อสารหล่อลื่นเป็นน้ำมันสังเคราะห์ SAE-30 ที่มีพฤติกรรมเป็นของไหลนิวโตเนียนและของไหลนอนนิวโตเนียน และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ โดยการจำลองผลทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการจำลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อมีความเครียดเฉือนมากระทำต่อสารหล่อลื่นที่มีพฤติกรรมเป็นของไหล pseudoplastic ($n < 1$, น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว) ความหนืดของสารหล่อลื่นจะมีค่าความหนืดลดลงส่งผลให้ค่าหนาฟิล์มสารหล่อลื่นบางกว่าสารหล่อลื่นที่เป็น dilatant ($n > 1$, น้ำมันข้าวโพด)
2. เมื่อความค่าความหยาบผิวของผิวสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนาฟิล์มต่ำสุดของสารหล่อลื่นมีค่าลดลงเพราะผิวที่หยาบจะขวางการไหลของสารหล่อลื่น

การใช้น้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นเป็นผลให้ฟิล์มสารหล่อลื่นมีความบางเกินไป ทำให้มีโอกาสเกิดการสึกหรอที่แบร็งก์สูง ดังนั้นถ้าจะนำน้ำมันพืชมาใช้ในงานควรผสมสารเติมแต่งเช่น โมลิตินัมไดซัลไฟด์ เทฟลอน หรือกราไฟท์ เป็นต้น ลงไปในน้ำมันพืชเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทำให้น้ำมันพืชสามารถรับภาระได้เพิ่มขึ้นและลดความเสียหายจากการสึกหรอ



รูปที่ 13 ค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่นสูงสุดและค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นต่ำสุดเมื่อเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวของแบร็งก์นรูนชนิดกลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันข้าวโพด



รูปที่ 14 ค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่นสูงสุดและค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นต่ำสุดเมื่อสารหล่อลื่นเป็นน้ำมันพืช

5. สัญลักษณ์

X ระยะตามแกน X ในรูปไร้มิติ, $X = x/(D_x/2)$

Y ระยะตามแกน Y ในรูปไร้มิติ, $Y = y/(D_y/2)$

$D_x/2$ semi-width of Hertzian contact under load on X -axis, m, $D_x = 2(6\xi w_z R/\pi k E')^{1/3}$

$D_y/2$ semi-width of Hertzian contact under load on Y -axis, m, $D_y = 2(6k^2 \xi w_z R/\pi E')^{1/3}$

E' ค่าโมดูลัสโดยรวมของวัสดุ, Pa

$$E' = \frac{2}{\left(\frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right) + \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1}\right)}$$

E_1 ค่า Young's modulus of the film, Pa

E_2 ค่า Young's modulus of the substrate, Pa

h ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่น, m

H ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นในรูปไร้มิติ

$$H = h / [(D_x/2)(D_y/2)/R]$$

k อัตราส่วนสัดส่วนความรี, $k = D_y / D_x$

p ค่าความดันฟิล์มสารหล่อลื่น, Pa

P ค่าความดันไร้มิติ, $P = p / P_H$

P_H ค่าความดันของฮีรท์, Pa, $P_H = 6w_z / (\pi D_x D_y)$

R รัศมีของลูกเม็ดกลม, m, $1/R = (1/R_x) + (1/R_y)$

R_x รัศมีทิศทาง x, m, $1/R_x = (1/r_{1x}) + (1/r_{2x})$

R_y รัศมีทิศทาง y, m, $1/R_y = (1/r_{1y}) + (1/r_{2y})$

r_{1x} รัศมีของแผ่นเรียบในทิศทาง x, m

r_{1y} รัศมีของแผ่นเรียบในทิศทาง y, m

r_{2x} รัศมีของเม็ดกลมในทิศทาง x, m

r_{2y} รัศมีของเม็ดกลมในทิศทาง y, m

\bar{u} ความเร็วเฉลี่ยผิวสัมผัสทิศทาง x, m/s,

$$\bar{u} = (u_2 + u_1) / 2$$

\bar{v} ความเร็วเฉลี่ยผิวสัมผัสทิศทาง y, m/s,

$$\bar{v} = (v_2 + v_1) / 2$$

u_1 ความเร็วผิวสัมผัสแผ่นเรียบทิศทาง x, m/s

u_2 ความเร็วผิวสัมผัสเม็ดกลมทิศทาง x, m/s

v_1 ความเร็วผิวสัมผัสแผ่นเรียบทิศทาง y, m/s

v_2 ความเร็วผิวสัมผัสเม็ดกลมทิศทาง y, m/s

V ความเร็วเฉลี่ยผิวสัมผัส, m/s, $V = (\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2}$

w_z ภาระที่กระทำ, N

$\bar{\mu}$ dimensionless viscosity

$\bar{\rho}$ dimensionless density,

ξ Elliptic ratio coefficient

$$\xi = \int_0^{\pi/2} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{k^2} \right) \sin^2 \phi \right]^{1/2} d\phi$$

ψ มุมความเร็วผิวสัมผัส, เรเดียน, $\psi = \tan^{-1}(\bar{v}/\bar{u})$

v ค่าปัวซองของวัสดุ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mesgarnejad A. and Khonsari M.M. (2010). On the tribological behavior of MoS₂-coated thrust ball bearing operating under oscillating motion, *Wear*, Vol.269, pp. 547-556.
- [2] Chari A., Diop K. Champmartin S. and Ambari A. (2013). Numerical simulation and experimental study of thrust air bearing with multiple orifices, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol.72, pp.28-38.
- [3] Fernandes C.M.C.G, Martins R.C. and Seabra J.H.O. (2013). Friction torque of thrust ball bearings lubricated with wind turbine gear oils, *Tribology International*, Vol.58, pp.47-54.
- [4] Ren Z., Wang J., Guo F. and Lubrecht, A.A. (2014). Experimental and numerical study of the effect of raceway waviness on the oil film in thrust ball bearings, *Tribology International*, Vol. 73, pp.1-9.
- [5] Choi U.S., Ahn B.G., Kwon O.K. and Chunt Y.J. (1997). Tribological behavior of some antiwear additives in vegetable oils, *Tribology International Journal*, Vol.30, pp.677-683.
- [6] Wan Nik W.B., Ani F.N., Masjuki H.H. and Eng Giap S.G. (2005). Rheology of bio-edible oils according to several rheological models and its potential as hydraulic fluid, *Industrial Crops and Products an International Journal*, Vol.22, pp.249-255.
- [7] Wongseedakaew K. (2009). Performance Characteristic of Elastohydrodynamic Lubrication in Roller Bearing with Vegetable-based oils, *The 28th Conference of Mechanical Engineering*



Network of Thailand, The imperial Mae Ping hotel, Chiang Mai, Thailand, November 4-7. (in Thai)

[8] Lubrecht, A.A., ten Napel, W.E. and Bosma R. (1986) Multigrid, an Alternative Method for Calculating Film Thickness and Pressure Profiles in Elastohydrodynamically Lubricated Line Contacts”, ASME J. Tribology, vol.108, pp. 551-556.

[9] Francisco, A., Frene, J. and Blouin, A. (2002) Multilevel Solution to Elastohydrodynamic Contact for the Water Lubricated 3D Line Contact, STLE Tribology Transactions, vol.45, pp. 110-116.

[10] Dowson, D., Higginson, G.R. (1966). Elastohydrodynamic lubrication: The fundamental of roller and gear lubrication, Pergamon, Oxford

[11] Roelands C.J.A. (1969). Correlational Aspects of the Viscosity-Temperature-Pressure Relationship of Lubricating Oils, Druk, V.R.B., Groingen, Netherland.

[12] Gregory RS. (1974). Performance of thrust bearing at high operating speeds, ASME J Lubrication Technology, Vol.96, pp.7-14.