วิศวกรรมสาร ม.ข. ปีที่ 30 ฉบับที่ 1(49-60) มกราคม-มีนาคม 2546
KKU Engineering Journal Vol.30 No. 1(49-60) January-March 2003

คุณสมบัติทางสถิตย์ของกาบรองลื่นเพลากลมชนิดสั้นมากด้วยน้ำมันไบโอดีเซล

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ อิทธิพล แก่งสันเทียะ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร. 02-3269987, โทรสาร 02-3269063

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ พฤติกรรมทางสถิตย์ของกาบรองลื่นเพลากลมแบบสั้นมาก โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารหล่อลื่นผสมกับ โพลีไอโซบิวทีลีน (พีไอบี) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราความเครียดเฉือนของน้ำมันไบโอดีเซลหาได้จากการทดลอง โดยใช้ Power Law Model และสมการเรย์โนลด์ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข เพื่อหาพฤติกรรมของแบริ่งเพลากลมหล่อลื่นด้วยน้ำมันไบโอดีเซลผสมโพลีไอโซบิวทีลีน (พีไอบี) ผลการคำนวณเชิงตัวเลขได้แสดงการกระจายแรงดันในฟิล์มน้ำมัน, มุมแอตติจูดและภาระของแบริ่ง

Static Characteristic of Infinitely Short Journal Bearing with Biodiesel- Based Oils

Mongkol Mongkolwongrojn and Ittipol Kangsanteer
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Latkrabang
Chalongkrung Rd. Latkrabang Bangkok 10520, Thailand
Tel. 02-3269987, Fax 02-326

Abstract

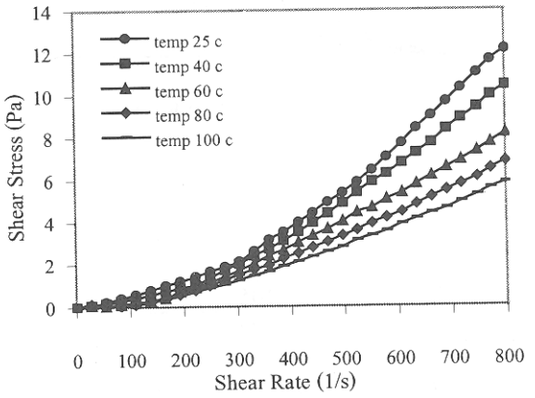
This paper presented the static characteristics of infinitely short journal bearing with biodiesel-based oils. The non-Newtonian biodiesel-based oils were mixed with Polyisobutylene to improve viscosity index. The relationship between shear stress and shear rate of the biodiesel-based oils can be obtained experimentally and can be expressed as the power-law model. Reynolds' equation was formulated to calculate the static characteristic of journal bearing with biodiesel-based oils. Numerical results showed the oil film pressure distribution, attitude angles and load carrying capacity.

บทนำ

เนื่องจากชิ้นส่วนของเครื่องจักรมีการเคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน และความร้อนจึงจำเป็นที่จะต้องมีการหล่อลื่น โดยในปัจจุบันนี้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่จะเป็นน้ำมันแร่ซึ่งนับวันยิ่งจะมีราคาแพงมากขึ้น ในบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาสารหล่อลื่นที่เป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งจะมีราคาที่ถูกกว่าและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำมันไบโอดีเซลโดยทั่วไปเป็นของไหล non-Newtonian แบบ dilatant และมีค่าดัชนีความหนืดต่ำ การผสมสารเติมแต่งอย่างเช่น Polyisobutylene (PIB) จะช่วยให้ค่าดัชนีความหนืดสูงขึ้นได้ แต่ PIB นั้นเป็นของไหล non-Newtonian แบบ pseudo-plastic ดังนั้นคุณสมบัติโดยรวมของน้ำมันไบโอดีเซลจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนการผสม โดยในบทความนี้จะใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับ PIB โดยเติม PIB 0% 2% และ 5% โดยปริมาตร ตามลำดับ เพื่อศึกษาคุณลักษณะการหล่อลื่นทางสถิตย์ของกาบรองลื่นเพลากลมแบบสั้นมาก ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้ได้

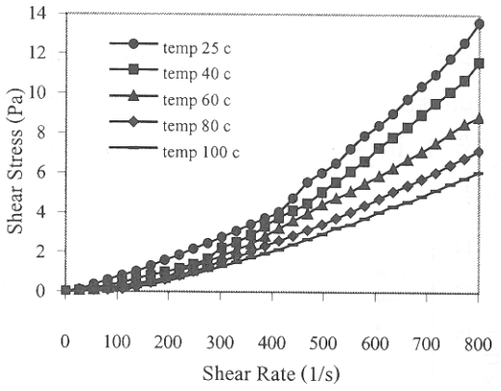
ทฤษฎี

ในบทความนี้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลโดยเติม Polyisobutylene 0% 2% และ 5% โดยปริมาตร ตามลำดับ flow characteristic ของน้ำมันไบโอดีเซลได้มาจากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 3 โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดแบบ rotational rheometer according



Temperature (C)	m	n	μ (Pa.s)
25	0.00032	1.57	0.014
40	0.000212	1.61	0.013
60	0.000163	1.61	0.009
80	0.000129	1.60	0.007
100	0.000104	1.63	0.007

รูปที่ 1 Flow Characteristic Curves ของไบโอดีเซล



Temperature (C)	m	n	μ (Pa.s)
25	0.00105	1.40	0.015
40	0.000256	1.59	0.013
60	0.000168	1.62	0.011
80	0.000132	1.62	0.008
100	0.000121	1.61	0.007

รูปที่ 2 Flow Characteristic Curves ของไบโอดีเซลผสม PIB 2%

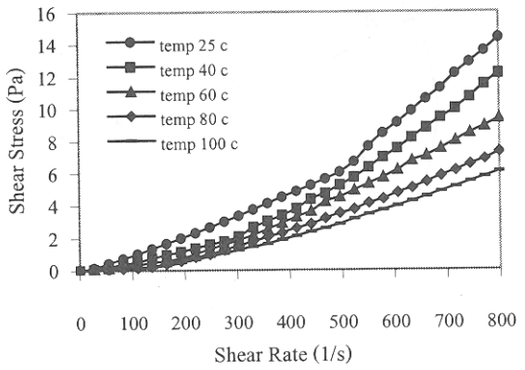
จากรูปที่ 1-3 ได้แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะการไหลของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสม PIB ในอัตราส่วนต่างๆ ทำให้ทราบว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีพฤติกรรมเป็นของไหล Non-Newtonian แบบ dilatant ซึ่งค่าระหว่าง shear stress และ shear rate เป็น non linear ซึ่งสามารถประมาณการได้โดยใช้ Power-law model ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\tau = m|\dot{\gamma}|^n \qquad (1)$$

โดยที่ τ คือ ความเค้นเฉือน $\dot{\gamma}$ คือ อัตราการเฉือน m และ n เป็นพารามิเตอร์ที่หาได้จากการทดลอง

Dien และ Elrod[4] ได้กำหนดสมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์สำหรับแบบจำลอง power-law สำหรับ 2 มิติได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^{n+2}}{12mn}\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^{n+2}}{12m}\frac{\partial p}{\partial z}\right)=\frac{U^n}{2}\frac{\partial h}{\partial x} \qquad (2)$$



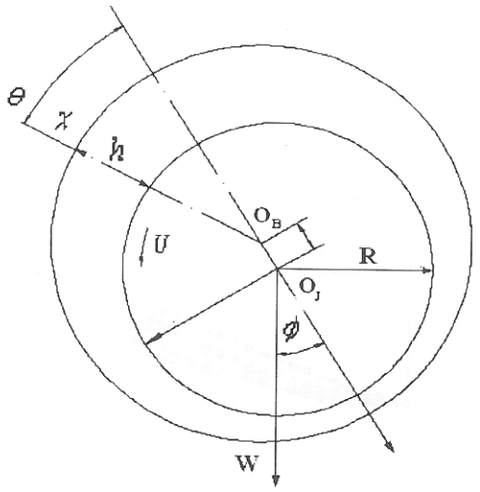
Temperature (C)	m	n	μ (Pa.s)
25	0.00183	1.33	0.017
40	0.000447	1.51	0.014
60	0.000354	1.51	0.011
80	0.000198	1.56	0.008
100	0.000179	1.55	0.007

รูปที่ 3 Flow Characteristic Curves ของไบโอดีเซลผสม PIB 5%

จากรูปที่ 4 แสดงรูปทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม โดยแกน z คือแกนที่ตั้งฉากกับหน้ากระดาษ สำหรับกาบรองลื่นเพลากลมจะกำหนดให้ $x = R\theta$ ดังนั้น สมการที่ 2 จึงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\frac{h^{n+2}}{12mn}\frac{\partial P}{\partial \theta}\right)+\frac{D^2}{4}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^{n+2}}{12m}\frac{\partial P}{\partial z}\right)=\frac{DU^n}{4}\frac{\partial h}{\partial \theta} \qquad (3)$$

เนื่องจากในบทความนี้ ทำการศึกษาคุณลักษณะการหล่อลื่นกาบรองลื่นเพลากลมแบบสั้นมาก ดังนั้น การไหลออกตามแนวแกน z จึงไหลได้ง่ายกว่าตามแนวเส้นรอบวง ดังนั้น จึงสามารถตัดพจน์ที่ 1 ทางด้านซ้ายของสมการที่ 3 ได้ดังนี้



รูปที่ 4 ขนาดทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม

$$\frac{D^2}{4}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^{n+2}}{12m}\frac{\partial p}{\partial z}\right)=\frac{DU^n}{4}\frac{\partial h}{\partial \theta} \tag{4}$$

กำหนดให้ตัวแปรไร้มิติคือ

$$z=L\bar{z} \qquad h=c\bar{h} \quad \text{และ} \quad p=\frac{\mu UD}{2C^2}\bar{P} \tag{5}$$

โดยที่ความหนืดสมมูลของแบบจำลอง power-law สามารถกำหนดได้

$$\mu=m\left(\frac{U}{c}\right)^{n-1} \tag{6}$$

จาก (5) และ (6) แทนค่าลงใน (4) จะได้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ในรูปไร้มิติได้

$$\frac{1}{4}\left(\frac{D}{L}\right)^2\frac{\partial}{\partial z}\left[\left(\bar{h}\right)^{n+2}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}\right]=6\left(\frac{U}{c}\right)^{n-1}\frac{\partial \bar{h}}{\partial \theta} \tag{7}$$

โดยที่ h คือความหนาของฟิล์มน้ำมันสามารถเขียนได้ดังนี้

$$h = c\left(1 + \varepsilon\cos\theta\right) \tag{8}$$

เมื่อ c คือ ระยะเคลียร์แรนส์ระหว่างเพลากับกาบรองลื่น และ ε คือ อัตราส่วนการเยื้องศูนย์คือ e/c ภาระที่กระทำบนกาบรองลื่นสามารถหาได้จาก

$$W = \sqrt{\left(W_X^2 + W_Y^2\right)} \tag{9}$$

เมื่อ

$$W_X = \int_0^1\int_0^\pi P\sin\theta d\theta dz \tag{10}$$

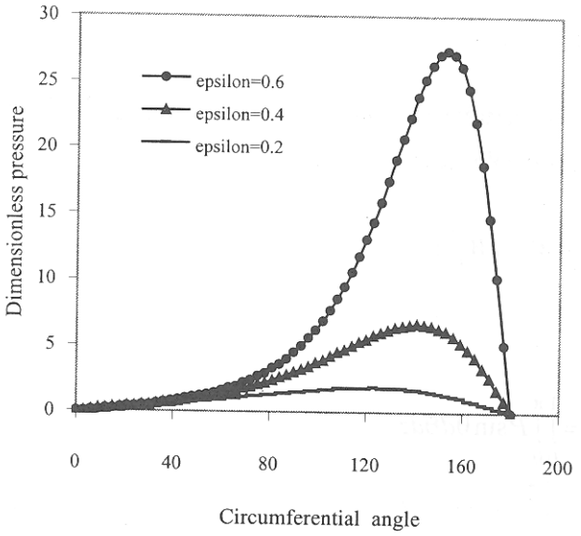
$$W_Y = -\int_0^1\int_0^\pi P\cos\theta d\theta dz \tag{11}$$

และมุมแอตติจูดของกาบรองลื่นสามารถหาได้จาก

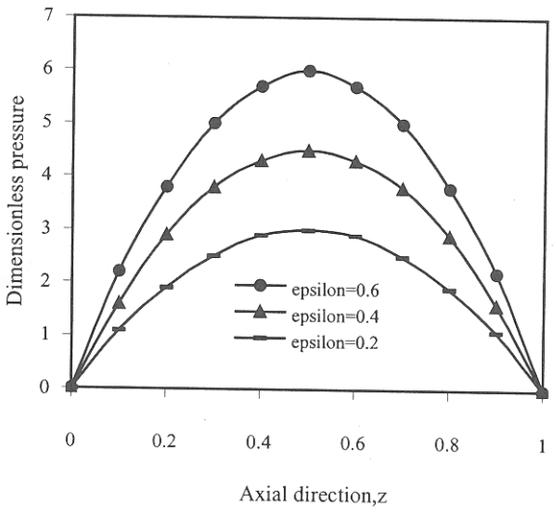
$$\tan\phi = \frac{W_X}{W_Y} \tag{12}$$

ผลการคำนวณ

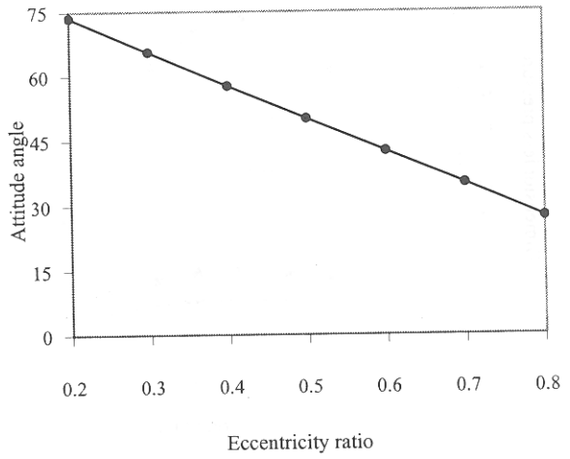
ในบทความนี้กำหนดให้ $U = 1{,}000$ rpm $c = 0.1$ mm $L = 100$ mm และ $D = 400$ mm โดยจะใช้ n ที่อุณหภูมิ $25°C$ ของแต่ละส่วนผสม PIB ที่ 0% 2% และ 5% โดยปริมาตร ตามลำดับ พร้อมทั้งมีการแปรค่า ε และ L/D ด้วย พฤติกรรมทางสถิตย์ของกาบรองลื่นเพลากลมด้วยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสม PIB จะได้ผลดังนี้



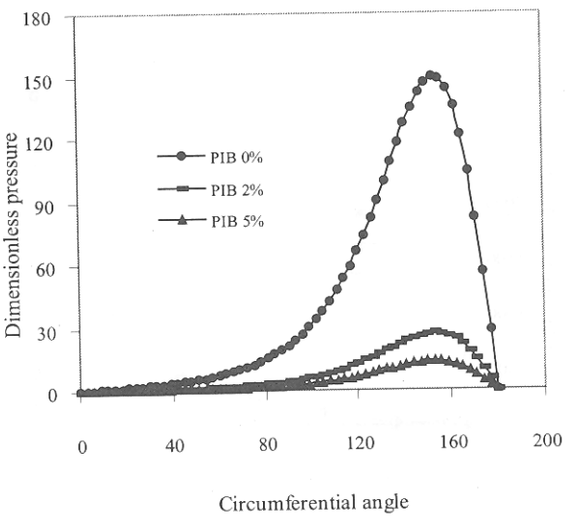
รูปที่ 5 การกระจายความดันน้ำมันในฟิล์มน้ำมันในแนวแกน θ ที่ z = 0.5 ที่อัตราเยื้องศูนย์ต่าง ๆ



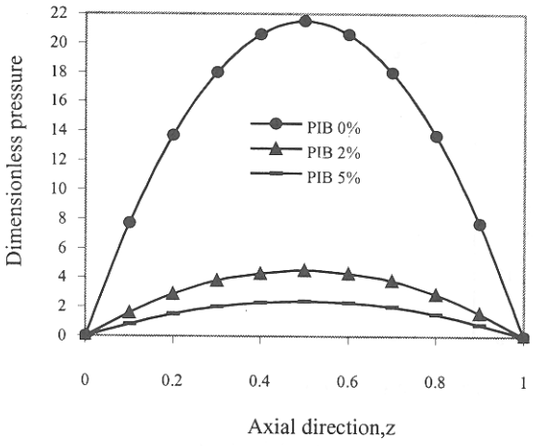
รูปที่ 6 การกระจายความดันน้ำมันในฟิล์มน้ำมันในแนวแกน z ที่ θ = 90° ที่อัตราเยื้องศูนย์ต่าง ๆ



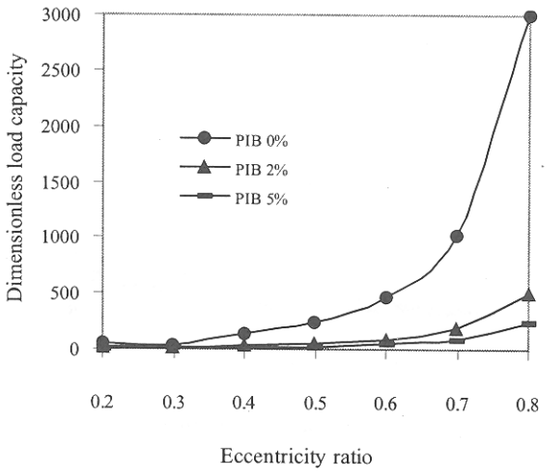
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเยื้องศูนย์และมุมแอตติจูด



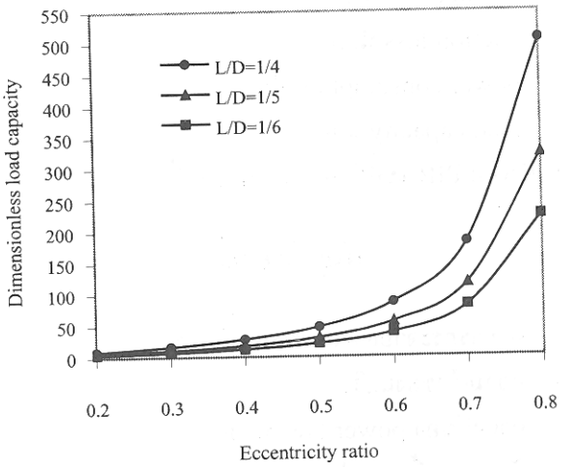
รูปที่ 8 การกระจายความดันน้ำมันในฟิล์มน้ำมันในแนวแกน θ ที่ z = 0.5 ที่ PIB ต่าง ๆ



รูปที่ 9 การกระจายความดันน้ำมันในฟิล์มน้ำมันในแนวแกน z
ที่ $\theta = 90^{\circ}$ ที่ PIB ต่างๆ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยื้องศูนย์และภาระของแบริ่งที่ PIB ต่าง ๆ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเยื้องศูนย์และภาระของแบริ่ง

จากรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าค่า ε หรือค่าอัตราความเยื้องศูนย์ ค่า (L/D) ที่ PIB ต่างๆนั้น มีผลต่อการกระจายของแรงดันน้ำมัน มุมแอตติจูดและภาระของแบริ่งและจะเห็นว่า ε มากขึ้น การกระจายแรงดันไร้มิติจะเพิ่มขึ้นตามเช่นเดียวกัน ถ้าส่วนผสม PIB เพิ่ม การกระจายแรงดันไร้มิติจะเพิ่มขึ้น

สรุป

การศึกษาพฤติกรรมของ กาบรองลื่นเพลากลมชนิดสั้นมากหล่อลื่นด้วยน้ำมันไบโอดีเซลสามารถสรุปได้ดังนี้

1) น้ำมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติเป็นของไหล Non-Newtonian สามารถเขียนสมการในรูปของ Power-law model
2) การออกแบบกาบรองลื่น จะยอมให้เพลาและกาบรองลื่นมีค่าอัตราการเยื้องศูนย์ประมาณ 0.6-0.7
3) ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ PIB มากขึ้นจะทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดมากขึ้น
4) น้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันแร่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีผลทำให้

- leakage loss มาก
- friction loss น้อย
- power consumption น้อย
- load capacity น้อย

แต่ถ้าเติม PIB จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น

สัญลักษณ์

$\bar{P}$ = ค่าการกระจายแรงดันสารหล่อลื่นไร้มิติ
U = ความเร็วของแบริ่ง
m,n = ค่าคงที่ของ power law model
ε = อัตราการเยื้องศูนย์
ϕ = มุมแอตติจูด
θ = ตำแหน่งตามแนวพิกัด
W = ภาระของแบริ่ง
μ = ค่าคงที่ความหนืด
τ = ความเค้นเฉือน
h = ความหนาของฟิล์มน้ำมัน
c = ระยะเคลียร์แรนส์ระหว่างเพลากับกาบรองลื่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Conner, J., Bayd, J., Avallane E. A., "Standard Handbook of Lubrication Engineering", Mc-Graw Hill New York, 1968.
[2] Horowitz, H.H., Steindler F.E., "The Calculated Journal Bearing Performance of Polymer Thickened Lubricants", ASLE Trans., Vol. 3, No. 1, 1960.
[3] Horowitz, H.H., Steindler F.E., "Calculated Performance of Non-Newtonian Lubricants in Finite Width Journal Bearing", ASLE Trans., Vol. 4, 1961.
[4] Dien, Y.G. and Elrod, H.G., "A Generalized Steady State Reynolds Equation for the Non-Newtonian Fluid with Application to Journal Bearings", Transaction of the ASME Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, 1983.