

การหล่อลื่นของวัสดุอ่อนด้วยอากาศ

Air-Soft Elastohydrodynamic Lubrication

เจษฎา พานิชกรณ์ ขนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมของการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกของอากาศในวัสดุอ่อนที่มีการสัมผัสแบบเส้น เมื่อสมมติให้อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติอัดตัวได้ และคิดผลของการเลื่อนไถลของโมเลกุลของชั้นอากาศ ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสันและระเบียบวิธีมัลติกริดถูกนำมาใช้แก้สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์และสมการการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพื่อหาการกระจายของความดันฟิล์มอากาศและความหนาฟิล์มของฟิล์มอากาศ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงภาวะที่กระทำกับทรงกระบอก ความเร็วผิวของทรงกระบอก Modulus of Elasticity ของทรงกระบอก ขนาดของทรงกระบอก และอุณหภูมิที่ทางเข้าของช่วงการสัมผัส จากการจำลองผลพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดเกิดขึ้นที่บริเวณทางออกของการสัมผัส ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าลดลง เมื่อค่า Modulus of Elasticity ของทรงกระบอกและภาวะที่ทรงกระบอกได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดของทรงกระบอกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าลดลง เมื่อความเร็วผิวของทรงกระบอกและอุณหภูมิของฟิล์มอากาศที่ทางเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : อีลาสโตไฮโดรไดนามิก, การหล่อลื่นด้วยอากาศ, การสัมผัสเป็นเส้น, สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์ส์, วัสดุอ่อน

Abstract

This paper presents the air-soft elastohydrodynamic lubrication in line contact when the air is an ideal compressible gas under the effect of air molecular slip. The time independent modified Reynolds equation and elastic equations were formulated. The Newton-Raphson method and multigrid method were implemented to obtain the air film pressure and air film thickness profiles in the contact region in various loads, speeds, modulus of elasticity, radius and air inlet temperature. The simulation results were shown that the minimum air film thickness occurred at the exit of the contact region. The maximum air film pressure increases but the minimum air film thickness and central air film thickness decrease when the applied loads and modulus of elasticity increase. When surface speed and air inlet temperature increase, the minimum air film thickness and central air film thickness increase. When radius of roller increases, the minimum air film thickness and central air film thickness increase but the maximum air film pressure decreases.

Keywords : Elastohydrodynamic, Air lubrication, Line contact, Modified Reynold equation, Soft material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมมีการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่นเช่น ในเครื่องจักรของอุปกรณ์เก็บข้อมูลหรือในซีล ของระบบนิวเมติก เนื่องจากการหล่อลื่นด้วยอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ง่ายต่อการใช้งาน และสามารถรับภาระเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น การทำงานของซีลในระบบนิวเมติกสามารถอธิบายพฤติกรรมในขณะที่ทำงานได้ด้วย พฤติกรรมการหล่อลื่นที่ใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น แม้ความดันของฟิล์มอากาศที่เกิดขึ้นมีค่าไม่สูง แต่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซีล มีค่ามากจนไม่สามารถละทิ้งผลของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซีลได้ เนื่องจากซีลทำมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นพฤติกรรมดังกล่าวเรียกว่าการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกของวัสดุอ่อนโดยใช้อากาศเป็นสารหล่อลื่น

ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขถูกนำมาใช้จำลองพฤติกรรมการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกโดย Downson และคณะ[1] Chang[2] ได้เสนอพฤติกรรมการไหลของอากาศระหว่างแผ่นฟิล์มกับโรลเลอร์ พบว่าความหนาของฟิล์มอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 1-10 ไมโครเมตร ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเรียกว่า Air Elastohydrodynamic Lubrication(Air-EHL) Hashimoto[3] นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสมการ เรย์โนลด์ (Reynolds) เพื่อหาความหนาของชั้นอากาศระหว่างลูกกลิ้งและแผ่นฟิล์มที่กำลังเคลื่อนที่และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองอีกทั้งได้นำเสนอโมเดลในการประมาณค่าความหนาของฟิล์มอากาศ Wongseedakaew[4][5] นำเสนอพฤติกรรมการหล่อลื่นของวัสดุอ่อนพบว่าอุณหภูมิของฟิล์มสารหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก จนสามารถละทิ้งได้หรือสามารถสมมติให้เป็นพฤติกรรมการหล่อลื่นที่ละทิ้งผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฟิล์มสารหล่อลื่น Lubrecht[6] ได้นำเสนอเทคนิคมัลติกริด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสัน สำหรับการแก้ปัญหาการหล่อลื่นแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิก (EHL) จากนั้นเทคนิคมัลติกริดถูกนำมาใช้ในการ

แก้ปัญหาแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่เกิดของอุณหภูมิ (TEHL) โดย Osborn[7]

2. ทฤษฎีการหล่อลื่นด้วยอากาศ

บทความนี้ทำการจำลองผลพฤติกรรมการหล่อลื่นของอากาศแบบ อีลาสโตไฮโดรไดนามิกของวัสดุอ่อนและไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศเมื่อพิจารณาผลของการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศ

2.1 สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์

พฤติกรรมของการหล่อลื่นของอากาศแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิก อากาศเป็นของไหลนิวโตเนียนและเป็นของไหลอัดตัวได้ (Compressible fluid) ที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซในอุดมคติ เมื่อพิจารณาผลจากการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศ จะได้

$$\frac{p}{p_a} = \frac{\lambda_a}{\lambda} \quad \text{และ} \quad K_N = \frac{\lambda_a}{h_a} \quad (1)$$

เมื่อ

$$\lambda = \frac{K_N p_a h_a}{p} \quad (2)$$

โดยที่

$$\lambda_a \quad \text{Free molecular length, } \lambda_a \approx 64 \text{ nm}$$

$$K_N \quad \text{Knudsen Number}$$

เมื่อ

$$K_N < 0.001 \quad \text{Continuous flow}$$

$$0.01 < K_N \leq 15 \quad \text{Slip flow}$$

$$K_N > 15 \quad \text{Molecular flow}$$

เมื่อพิจารณาผลของการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศและความสัมพันธ์ของความหนืดของอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + (6K_N p_a h_a / ph)} \quad (3)$$

โดยที่[8]

$$\mu_0 = \frac{S_1 T^{3/2}}{S_2 + T} \quad \text{เมื่อ} \quad S_2 = 110.4 \text{ K}$$

$$S_1 = 1.458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{1/2}}$$

สมการโมดิฟายด์เรย์โนลด์เมื่อรวมผลของการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศในรูปไร้มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial X} \left(\Phi \frac{\partial P}{\partial X} \right) = \Lambda \frac{\partial}{\partial X} (PH) \quad (4)$$

โดยที่

$$\Phi = PH^3 \left\{ 1 + 6 \left(\frac{\lambda_a R_x}{b^2} \right) \left(\frac{1}{PH} \right) \right\}$$

$$\Lambda = \frac{12\mu_0 \bar{\mu} R_x^2}{b^3 p_a}$$

โดยที่เงื่อนไขขอบสำหรับสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์

$$P(X_{IN}) = P(X_{OUT}) = 1.0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial X} \right) \Big|_{X=X_{OUT}} = 0.0$$

2.2 สมการความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น

สมการความหนาฟิล์มขึ้นอยู่กับลักษณะกายภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทรงกระบอกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันของฟิล์มสารหล่อลื่นในรูปแบบไร้มิติ

$$H = H_0 + \frac{X^2}{2R_x} - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \{P(X') - 1\} \ln |X - X'| dX' \quad (5)$$

2.3 สมการสมดุลแรง

ภาระที่กระทำกับผิวสัมผัสจะเท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำผ่านฟิล์มอากาศ ในรูปแบบไร้มิติ

$$\int_{-\infty}^{\infty} \{P(X) - 1\} dX = \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

3. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์เป็นสมการไม่เป็นเชิงเส้นสูงจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีผลต่างสี่เหลี่ยมร่วมกับระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสันมาใช้ในการแก้สมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ เมื่อประยุกต์ระเบียบวิธีนิวตัน-ราฟสันกับสมการเรย์โนลด์ เพื่อหาค่าคำตอบจะได้ว่า ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่ง

$$\frac{\sum_{i=0}^N |P^{k+1} - P^k|}{\sum_{i=0}^N |P^{k+1}|} \leq 0.0001 \quad \text{และ}$$

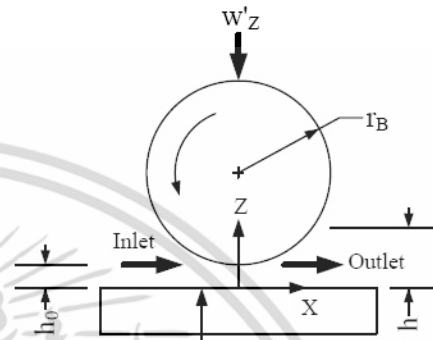
$$\left| 1 - \frac{2}{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} [P(X) - 1] dX \right\} \right| \leq 0.0001$$

4. ผลการคำนวณ

คุณสมบัติของทรงกระบอก แผ่นเรียบและอากาศ ที่ใช้ในบทความนี้ แสดงตามตารางที่ 1 และพิกัดที่ใช้ในการจำลองผลแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ

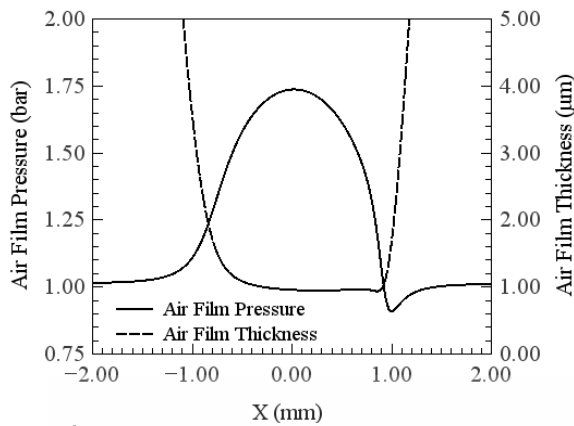
คุณสมบัติของวัสดุ	แผ่นเรียบ	ทรงกระบอก
Modulus of Elasticity (GPa)	200.0	0.005
Poisson ratio	0.30	0.40
Inlet air viscosity, Pa-s	1.789 x 10 ⁻⁵	



รูปที่ 1 พิกัดที่ใช้ในการจำลองผล

การจำลองผลพฤติกรรมสารหล่อลื่นของอากาศแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่มีการสัมผัสแบบเส้นระหว่างทรงกระบอกกับแผ่นเรียบที่ทำด้วยวัสดุอ่อนด้วยอากาศ โดยไม่คิดผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฟิล์มอากาศ และพิจารณาผลของการเลื่อนไหลของโมเลกุลของชั้นอากาศ เมื่อแผ่นเรียบไม่มีการเคลื่อนที่ ความเร็วผิวของทรงกระบอกเท่ากับ 10 m/s ทรงกระบอกและแผ่นเรียบรับภาระเท่ากับ 100 N/m รัศมีของทรงกระบอกเท่ากับ 35 mm อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าระหว่างทรงกระบอกกับแผ่นเรียบมีค่า 15 °C พบว่าความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจากบริเวณทางเข้าจนมีความดันสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับจุดกึ่งกลางของการสัมผัสโดยมีค่าความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดเท่ากับ 1.737 บาร์ เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง $X = +0.027$ mm จากนั้นความดันจึงมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยสุดที่ตำแหน่ง $X = +1.001$ mm บริเวณทางออกของการสัมผัส โดยมีค่าความดันฟิล์มอากาศน้อยสุดเท่ากับ 0.909 บาร์ จากนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นจนมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ความหนาฟิล์มอากาศมีค่าน้อยสุดที่บริเวณทางออกของการสัมผัส ที่ตำแหน่ง $X = +0.852$ mm โดยมีความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุดเท่ากับ 0.938 μm แสดงดังรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

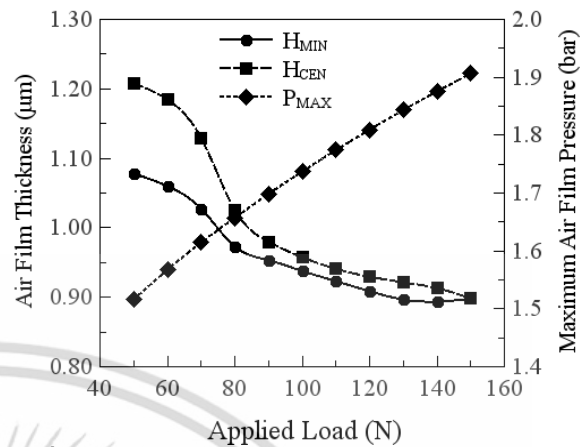


รูปที่ 2 แสดงความดันและความหนาของฟิล์มอากาศภายใต้ช่วงสัมผัส เมื่อภาระที่ทรงกระบอกได้รับเท่ากับ 100 N/m ความเร็วของทรงกระบอกเท่ากับ 10 m/s

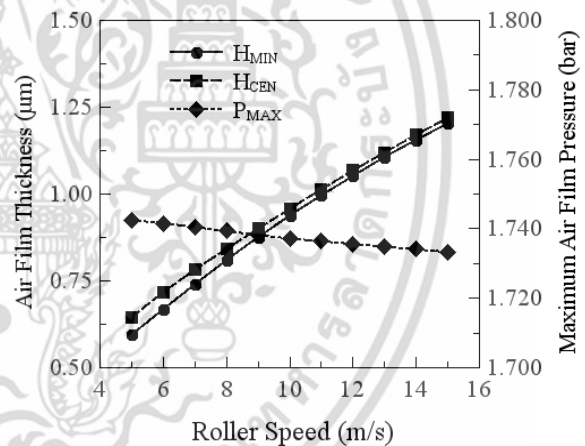
เมื่อเปลี่ยนแปลงภาระที่ทรงกระบอกและแผ่นเรียบได้รับ การเปลี่ยนแปลงของความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด (H_{MIN}) ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส (H_{CEN}) และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด (P_{MAX}) แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าเมื่อภาระที่ทรงกระบอกได้รับเพิ่มขึ้น ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าลดลงแต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเท่ากับ (1.078 μm , 1.208 μm และ 1.516 บาร์), (0.938 μm , 0.958 μm และ 1.737 บาร์) และ (0.898 μm , 0.899 μm และ 1.906 บาร์) เมื่อภาระที่ทรงกระบอกได้รับเท่ากับ 50 N/m, 100 N/m และ 150 N/m ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด (H_{MIN}) ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส (H_{CEN}) และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด (P_{MAX}) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของผิวทรงกระบอก พบว่าความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยที่ ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเท่ากับ (0.595 μm และ 0.646 μm), (0.938 μm และ 0.958

μm) และ (1.023 μm และ 1.220 μm) เมื่อความเร็วผิวของทรงกระบอกเท่ากับ 5 m/s, 10 m/s และ 15 m/s ตามลำดับ



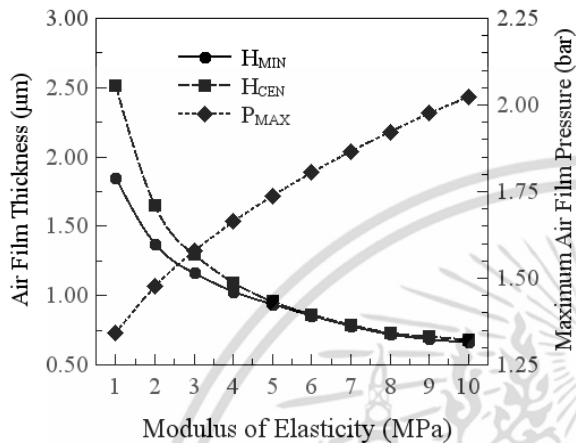
รูปที่ 3 แสดงความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงภาระที่ทรงกระบอกได้รับ



รูปที่ 4 แสดงความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของทรงกระบอก

ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด (H_{MIN}) และความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส (H_{CEN}) มีค่าลดลง แต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุด (P_{MAX}) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเพราะวัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทรงกระบอกมีค่าลดลง พื้นที่ของการสัมผัสของทรงกระบอกมีค่าลดลง เป็นผลให้ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด

สัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเท่ากับ (1.851 μm , 2.518 μm และ 1.341 บาร์), (0.938 μm , 0.958 μm และ 1.737 บาร์) และ (0.731 μm , 0.731 μm และ 2.023 บาร์) เมื่อค่า Modulus of Elasticity ของทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 1 MPa, 5 MPa และ 15 MPa ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5

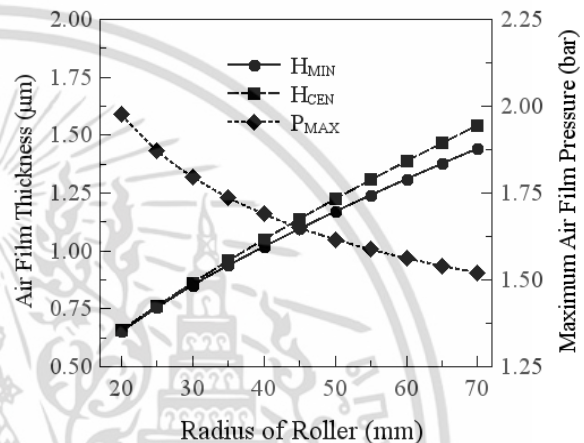


รูปที่ 5 แสดงความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Modulus of Elasticity ของทรงกระบอก

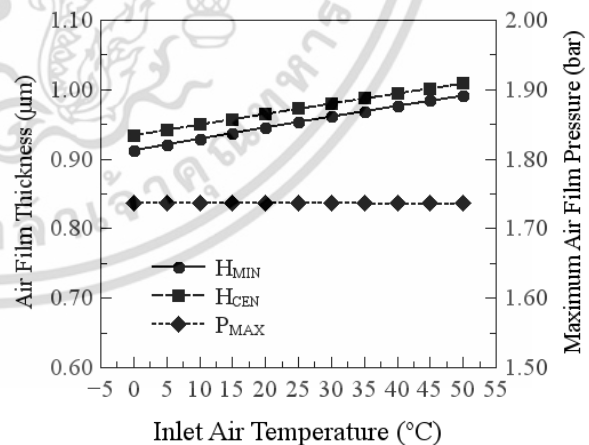
เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของทรงกระบอก พบว่าความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด (H_{MIN}) และความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส (H_{CEN}) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุด (P_{MAX}) มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อทรงกระบอกมีขนาดใหญ่ขึ้นพื้นที่การสัมผัสของทรงกระบอกมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นผลให้ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 6 โดยที่ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าเท่ากับ (0.654 μm , 0.658 μm และ 1.976 บาร์), (0.938 μm , 0.958 μm และ 1.737 บาร์) และ (1.443 μm , 1.543 μm และ 1.521 บาร์) เมื่อขนาดของทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 20 mm, 35 mm และ 70 mm ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด (H_{MIN}) ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส (H_{CEN}) และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด (P_{MAX}) เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของฟิล์มอากาศที่

ทางเข้าของการสัมผัส พบว่าความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุด และความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนืดอากาศที่เพิ่มเมื่ออุณหภูมิของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเท่ากับ (0.913 μm และ 0.934 μm), (0.938 μm และ 0.958 μm) และ (0.992 μm และ 1.009 μm) เมื่ออุณหภูมิของฟิล์มอากาศที่ทางเข้าของการสัมผัสมีค่าเท่ากับ 0 °C, 15 °C และ 50 °C ตามลำดับ



รูปที่ 6 แสดงความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงรัศมีของทรงกระบอก



รูปที่ 7 แสดงความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุด ความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัส และความดันฟิล์มอากาศสูงสุด เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าของการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สรุป

การจำลองผลพฤติกรรมการหล่อลื่นของอากาศแบบอีลาสโตไฮโดรไดนามิกที่มีการสัมผัสแบบเส้นของวัสดุอ่อนด้วยอากาศเมื่อพิจารณาผลของการเลื่อนไถลของโมเลกุลของชั้นอากาศพบว่า

1. ความดันของฟิล์มอากาศสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับจุดกึ่งกลางของการสัมผัส ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดเกิดขึ้นที่บริเวณทางออกของการสัมผัส

2. ความดันของฟิล์มอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าลดลง เมื่อค่า Modulus of Elasticity ของทรงกระบอกและภาวะที่ทรงกระบอกได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น

3. เมื่อความเร็วผิวของทรงกระบอกและอุณหภูมิของฟิล์มอากาศที่ทางเข้ามีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น

4. ความหนาของฟิล์มอากาศน้อยสุดและความหนาของฟิล์มอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางของการสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความดันฟิล์มอากาศสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อขนาดของทรงกระบอกมีค่าเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุน จากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

7. สัญลักษณ์

b Semi-width of Hertzian contact, m

$$b = R_x (8W'/\pi)^{1/2}$$

E' Equivalent modulus of elasticity, Pa

$$E' = 2E_A/(1-\nu_A^2) + 2E_B/(1-\nu_B^2)$$

$E_{A/B}$ Elastic Modulus of Plate/Roller, Pa

h Air film thickness, m

h_0 Central air film thickness, m

H Dimensionless air film thickness

$$H = h/(b^2/R_x)$$

H_0 Dimensionless central air film thickness

$$H_0 = h_0/(b^2/R_x)$$

p Air film pressure, Pa

p_a Ambient air pressure, Pa

P Dimensionless air film pressure, $P = p/p_a$

$r_{A/B}$ Radius of plate/Roller, m

R_x Curvature sum, m, $1/R_x = 1/r_A + 1/r_B$

T Inlet air temperature, K

$u_{A/B}$ Surface velocity of plate/Roller, m/s

\bar{u} Average surface velocity, m/s, $\bar{u} = \frac{(u_A + u_B)}{2}$

w'_z Applied load, N/m

x Coordinate x-axis, m

X Dimensionless coordinates, $X = x/b$

$\nu_{A/B}$ Poisson ratio of plate/Roller

μ Equivalent air viscosity, Pa-s

μ_0 Inlet air viscosity, Pa-s

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.Dowson and G.R. Higginson, "Elastohydrodynamic lubrication, the fundamentals of roller and gear lubrication," Oxford: Pergamon, 1966.
- [2] Y.B. Chang, F.W. Chambers and J.J. Shekton Chang, "Elasto-hydrodynamic Lubrication of Air-Lubricated Rollers," ASME J. Tribology, vol. 118, pp 623-628, 1996.
- [3] H. Hashimoto, "Experimental study of porous foil bearings for web-handling", Tribology International., vol. 33, pp. 191-196, 2000.
- [4] K. Wongseedakaew, "Transient Thermo-Elastohydrodynamic Lubrication of Rough Surface in Soft Material", Advanced Materials Research, vol. 651, pp 505-510, 2013.
- [5] K. Wongseedakaew, "Elastohydrodynamic Lubrication of Rough Surface in Soft Material", The Journal of Industrial Technology, vol. 9, 2013 No. 2, (in Thai).
- [6] A.A. Lubrecht, W.E. Napel and R. Bosma, "Multigrid an Alternative Method for Calculating Film Thickness and Pressure Profiles in Elastohydrodynamically Lubricated Line Contacts", ASME Journal of Tribology, vol. 108, pp. 551-556, 1986.
- [7] F.K. Osborn and F. Sadeghi, "Time Dependent Line EHD Lubrication Using the Multigrid/Multi-level Technique, ASME J. Tribol., vol. 114, pp. 68-74, 1992.
- [8] R.W. Fox and A.T. Mcdonal, "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley & Son, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้