

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกเจอร์นัลแบร์ริง
สำหรับปลอกแบร์ริงที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน

Experimental Study on Hydrodynamic Journal Bearings for Various Bearing Liner Materials



T119550

โดย

นายเกียรติพงษ์ หนูแดง
นายปฏิภาณ ปะเมโท
นายปฐมพงษ์ จันทร์ไทยศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119550**
วัน,เดือน,ปี... **8 S.A. 2554**

b.....
i.....

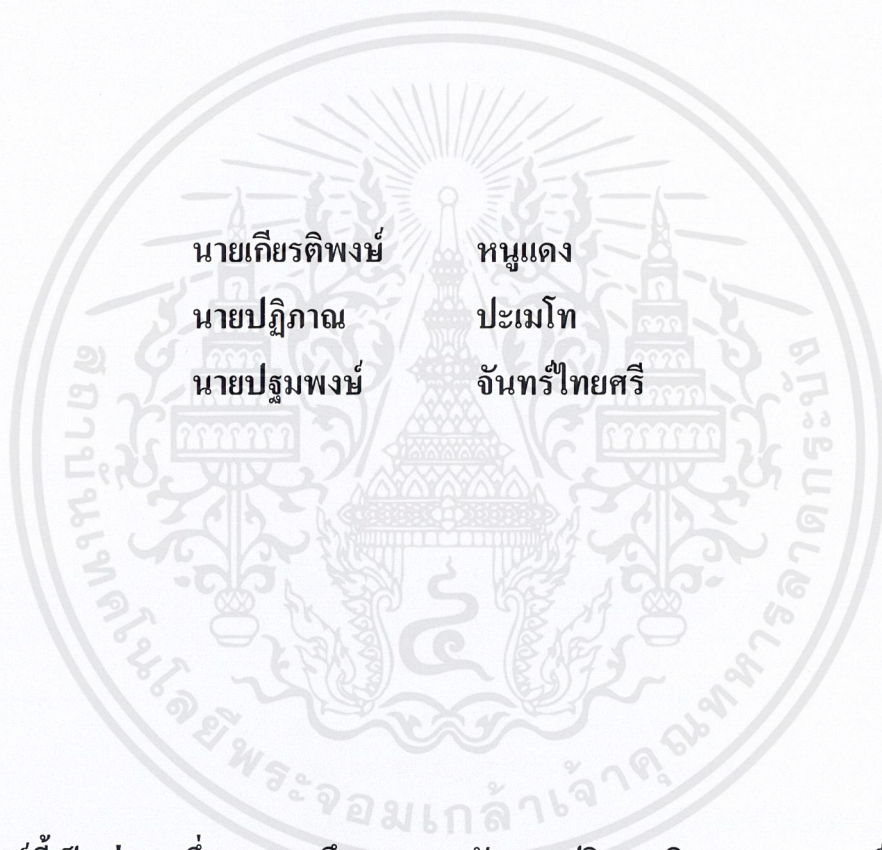
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกเจอร์นัลแบร์ริง

สำหรับปลอกแบร์ริงที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน

Experimental Study on Hydrodynamic Journal Bearings for Various Bearing Liner Materials



นายเกียรติพงษ์

หนูแดง

นายปฏิภาณ

ปะเมโท

นายปฐมพงษ์

จันทร์ไทยศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองการหล่อลิ้นแบบไฮโดรไดนามิกเจอร์นัลแบร์ริง สำหรับปลอกแบร์ริง

ที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน

Experimental Study on Hydrodynamic Journal Bearings for Various Bearing Liner Materials

ผู้จัดทำ

1. นายเกียรติพงษ์ หนูแดง รหัสประจำตัว 50010147
2. นายปฏิภาณ ปะเมโท รหัสประจำตัว 50010880
3. นายปฐมพงษ์ จันทร์ไทยศรี รหัสประจำตัว 50010882


อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกเจอร์นัลแบริง สำหรับปลอกแบริง
ที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน

นายเกียรติพงษ์ หนูแดง 50010147

นายปฏิภาณ ปะเมโท 50010880

นายปฐมพงษ์ จันทร์ไทยศรี 50010882

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์หาสมรรถนะของแบริงเพลากลมชนิดสั้นมาก แบบไฮโดรไดนามิกเชิงทฤษฎีประกอบด้วยการคำนวณหาการกระจายแรงดันของฟิล์มสารหล่อลื่น และการกระจายความหนาของฟิล์มสารหล่อลื่นที่ภาวะและความเร็วรอบต่าง ๆ กัน โดยสมมติว่าสารหล่อลื่นเป็นของไหลนอนนิวโทเนียนงานวิจยนี้ ยังได้ศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาสมรรถนะของแบริงเพลากลม โดยติดตั้งเพลลา ขนาด 50 มิลลิเมตร แบริงมีค่าเคลียร์แรนซ์ตามแนวรัศมีเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร ค่า $L/D = 0.5$ วัสดุทำแบริงจะเป็นเหล็กหล่อ ทองเหลืองและเทปลอน การทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันและอุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น ผลการทดลองพบว่าวัสดุแบริงมีอิทธิพลต่อแรงดันและความหนาฟิล์มมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นเทปลอนวัสดุนี้ จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างมากทำให้แรงดันของฟิล์มลดลง และความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้น

Experimental Study on Hydrodynamic Journal Bearings for Various Bearing Liner Materials

Mr.Kiettipong Noodaeng
Mr.Patipan Pameto
Mr.Pathompong Chanthaisri
Assoc. Prof. Dr.Mongkol Mongkolwongrojh Advisor

ABSTRACT

This project presents the analysis of infinitely short hydrodynamic journal bearing with Newtonian lubricants. The film pressure profile and film thickness were calculated for journal bearing with radial clearance equal to 0.15 mm and 50 mm journal diameter. In this research, the experiments were setup for journal bearing with $L/D = 0.5$. The bearing liner materials are cast iron, brass and PTFE. The pressure transducer and induction type gap sensors were installed to obtain film pressure and film thickness distribution for various operating load and speed conditions. The results show that the effect of bearing liner material on film pressure and film thickness are significantly specially for soft PTFE liner material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้จะมีอาจสำเร็จลุล่วงลงได้หากปราศจากคำแนะนำดี ๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ได้กรุณาสละอันมีค่าเวลา ให้คำปรึกษา ชี้แนะ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหา และต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยดูแลให้ความเอาใจใส่ด้วยดี เสมอมา และขอขอบคุณ พี่เจษ พี่พุทธา ที่คอยให้คำแนะนำด้านต่าง ๆ รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์และให้ใช้ เครื่องมือต่าง ๆ ไปจนถึงการใช้งานในห้องทดลอง และปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เพราะได้ กำลังใจ กำลังทรัพย์ จากคุณพ่อ คุณแม่ ขอบขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจแก่กันเสมอมา

นายเกียรติพงษ์ หนูแดง

นายปฏิภาณ ปะเมโท

นายปฐมพงษ์ จันทร์ไทยศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 สารหล่อลื่น	3
2.1 หน้าที่ของสารหล่อลื่น	3
2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่น	4
2.3 ชนิดของการหล่อลื่น	4
2.4 ประเภทของสารหล่อลื่น	6
2.5 ความหนืดของสารหล่อลื่น	8
2.6 ลักษณะทางเรขาคณิตของแบร์ริงเพลลาทอม	9
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของสารหล่อลื่นสำหรับกาบรองดินเพลลาทอม	10
3.1 สมการเรย์โนลด์์ในทฤษฎีการหล่อลื่นสำหรับของไหลอนนิวโทเนียน	10
3.2 การเกิดแรงดันในฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น	14
3.3 ความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น	15
3.4 สมการความดันของกาบรองดินสั้น	16
3.5 สมการภาระของกาบรองดินสั้น	18
3.6 มุมแอตติจูด	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา	21
4.1 ลักษณะสำคัญของวัสดุที่ใช้ทำกาบรองลื่น	21
4.2 เหล็กหล่อ	22
4.3 ทองเหลือง	23
4.4 เทปลอน	25
บทที่ 5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	27
5.1 หลักการทดลองหาพฤติกรรมสติกของน้ำมันหล่อลื่น	27
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
กาบรองลื่น	28
เพลลา	28
อุปกรณ์วัดความดัน	29
อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน	29
มอเตอร์	32
บทที่ 6 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	38
6.1 วิธีการทดลอง	38
6.2 ผลการทดลอง	38
บทที่ 7 สรุป	53
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. Calibration of Displacement for gap Sensor	56
ภาคผนวก ข. Pressure Sensor technical specification	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4-1	แสดงค่า Mechanical Strength Properties	26
6-1	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 10 kg	39
6-2	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 20 kg	39
6-3	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 30 kg	39
6-4	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 10 kg	40
6-5	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 20 kg	40
6-6	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 30 kg	40
6-7	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 10 kg	41
6-8	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 20 kg	41
6-9	แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 20 kg	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	แสดงชนิดของการหล่อลื่น	5
2-2	แสดงการเปลี่ยนรูปของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนเมื่อถูกแรงเฉือนกระทำ	6
2-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นนิวโทเนียน	7
2-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ	8
2-5	แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม	9
3-1	แสดงการไหลของสารหล่อลื่นผ่านหน้าตัดเล็กกล	10
3-2	แสดงแรงกระทำต่อสารหล่อลื่นในทิศตามแกน X	11
3-3	แสดงความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่ตำแหน่ง θ ใดๆ	15
3-4	แสดงแรงที่กระทำต่อกาบรองลื่น	18
5-1	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง	27
5-2	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนกาบรองลื่น	28
5-3	แสดงลักษณะของเพลลา	28
5-4	แสดงอุปกรณ์วัดการกระจายความดันในกาบรองลื่น	29
5-5	แสดงการติดตั้งชุด Calibration Gap sensor	30
5-6	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Out put (Voltage) กับระยะกระจัด	30
5-7	แสดงวงจรสำหรับ Gap sensor	32
5-8	แสดงลักษณะของ Pulley ที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลลา	32
5-9	แสดงลักษณะของกาบรองลื่นชนิด เหล็กหล่อ เทปเลื่อน และทองเหลือง	33
5-10	แสดงการติดตั้งชุดวัดแรงดันน้ำมันและชุดวัดความหนาของฟิล์มน้ำมันในชุดกาบรองลื่น	33
5-11	แสดงการติดตั้งเพลลาพร้อมกับชุดกาบรองลื่น	34
5-12	แสดงถังปล่อยน้ำมันลงกาบรองลื่น	34
5-13	แสดงการติดตั้งชุดจับและการติดตั้งชุดส่งน้ำมัน	35
5-14	แสดงการติดตั้งชุด Pulley และสายพานเข้ากับเพลลา และมอเตอร์ตัวขับเคลื่อนเพลลา	35
5-15	แสดง Tachometer อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเพลลา	36
5-16	แสดงตัววัดสัญญาณความหนาฟิล์มน้ำมัน	36
5-17	แสดงเครื่องวัดความดันของน้ำมันในกาบรองลื่นและเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-18	แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์การทดลอง	37
6-1	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 10 kg	42
6-2	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 20 kg	42
6-3	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 30 kg	43
6-4	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 10 kg	44
6-5	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 20 kg	44
6-6	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 30 kg	45
6-7	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 10 kg	46
6-8	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 20 kg	46
6-9	กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 30 kg	47
6-10	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 10 kg	48
6-11	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 20 kg	48
6-12	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 30 kg	49
6-13	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 10 kg	49
6-14	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 20 kg	50
6-15	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 30 kg	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-16	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่น ของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 10 kg	51
6-17	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่น ของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 20 kg	51
6-18	กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองลื่น ของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 30 kg	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากเหตุผลที่ว่าอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วดังนั้นเครื่องจักร เครื่องมือสมัยใหม่ จึงได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้น เช่น มีความเที่ยงตรงสูง และมีความเร็วรอบสูง ดังนั้น จึงมีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำแบร็งก์ที่เหมาะสมในการหล่อลื่น จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร เพราะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่ขัดสีกันอยู่เสมอ จะเกิดแรงเสียดทานและเกิดความร้อนขึ้นจะทำให้เครื่องจักรกลเกิดการสึกหรอและเสียหาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการหล่อลื่น โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้รองรับเพลลา จำพวกแบร็งก์ชนิดต่าง ๆ จะต้องมียฟิล์มน้ำมันช่วยในการหล่อลื่นเพื่อลดการสึกหรอและ อุณหภูมิการใช้งานของเครื่องจักรเครื่องจักรจึงจะมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำกาบรองลื่นหลากหลายชนิด โดยขึ้นกับลักษณะของงานเป็นหลัก เนื่องจากเพลลาส่วนใหญ่จะทำจากวัสดุเหล็กกล้าและผ่านการชุบผิวแข็ง ด้วยเหตุนี้วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นกาบรองลื่น จะต้องมียคุณสมบัติทนต่อการสึกหรอ ทนต่อการกัดกร่อนและทนต่อแรงกดอัดได้ดี รวมทั้งต้องขยายตัวได้น้อยที่สุดขณะได้รับความร้อน อย่างไรก็ตาม วัสดุแต่ละชนิดก็จะเหมาะสมกับสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดต่อไป

ในปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาหาสมรรถนะของแบร็งก์เพลลากลมชนิดสั้นมากและหาพฤติกรรมของของไหลในการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของเจอร์นัลแบร็งก์เพลลากลมที่ทำด้วยวัสดุต่างชนิดกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการหมุนของเพลลา แล้วสังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความดันในกาบรองลื่นอย่างไรในแต่ละความเร็วที่เปลี่ยนแปลง และศึกษาความหนาของฟิล์มในกาบรองลื่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระและความเร็วรอบที่ต่างๆกัน เพื่อที่จะนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการจำลองเชิงตัวเลข

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลในเจอร์นัลแบร์ริงในวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กหล่อ ทองเหลือง เทปลอน เป็นต้น

1.2.2 วิเคราะห์ถึงประโยชน์ในการนำแบร์ริงที่ศึกษาไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุในเครื่องจักรกลชนิดต่าง ๆ ที่มีเจอร์นัลแบร์ริงเป็นส่วนประกอบในการทำงาน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาหาค่าความดันของน้ำมันหล่อลื่นที่จุดต่างๆในกาบรองรับในวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กหล่อ ทองเหลือง เทปลอน เป็นต้น ที่ความเร็วรอบและภาระต่าง ๆ

1.3.2 ทำการศึกษาหาค่าความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นในวัสดุต่างๆ ได้แก่ เหล็กหล่อ ทองเหลือง เทปลอน เป็นต้น ที่ความเร็วรอบและภาระต่าง ๆ

1.3.3 แก๊สสมการเรย์โนลด์ส์สำหรับกาบรองรับที่สั้นมากโดยใช้วิธีการเชิงตัวเลข

1.3.4 พัฒนาชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษา

1.3.5 ทำการติดตั้งและทดสอบกาบรองรับชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบและภาระต่าง ๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำเป็นกาบรองรับ ซึ่งถ้าเราเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่ใช้เป็นกาบรองรับก็จะส่งผลให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและอายุการใช้งานที่สูงขึ้น

บทที่ 2

สารหล่อลื่น

2.1 หน้าที่ของสารหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่นำไปหล่อลื่นเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลต่าง ๆ มีประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

2.2.1 ให้การหล่อลื่น คุณภาพการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่นขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมัน ทั้งนี้ฟิล์มน้ำมันจะทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะหรือวัสดุไม่ให้เสียดสีกันโดยตรง น้ำมันที่ดีต้องรักษาฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นให้สม่ำเสมอหรือคงที่ทุก ๆ อุณหภูมิการทำงานเพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรยาวนานขึ้น

2.2.2 ระบายความร้อน เมื่อเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรทำงานจะเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันหล่อลื่นจะเป็นตัวระบายความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิของการทำงานลดน้อยลง

2.2.3 รักษาความสะอาด โดยทั่วไปเครื่องยนต์จะเกิดการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดคราบเขม่าและสิ่งสกปรกภายใน น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่ชะล้างคราบเขม่า ขจัดคราบสกปรกออกจากผิวโลหะ และการกระจายของคราบเขม่า

2.2.4 ป้องกันสนิมและการกัดกร่อน ไอน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อรวมตัวกันจะกลายเป็นกรด ซึ่งจะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ และทำให้เกิดสนิมได้ น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เหมือนเกราะป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อนโดยเคลือบผิวโลหะนั้นไว้

2.2.5 ป้องกันกำลังอัดรั่วไหล ในเครื่องยนต์เมื่อมีการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ จะเกิดแรงดันขึ้น น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่อุดช่องว่างระหว่างแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบไม่ให้ก๊าซที่ไต่จากการเผาไหม้เกิดการรั่วไหล ทำให้ช่วยรักษากำลังของเครื่องยนต์

2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่น

คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นมีดังนี้ คือ

2.2.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ ความต้านทานการไหลของน้ำมัน ความหนืดหรือความข้นใสเป็นคุณสมบัติของน้ำมัน มีการแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำมัน กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันต่ำลงน้ำมันจะข้นขึ้นหรือมีความหนืดสูงขึ้นมีฟิล์มน้ำมันหนาขึ้น แต่ถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นน้ำมันจะใสขึ้นหรือมีความหนืดต่ำลง

2.2.2 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)

ดัชนีความหนืด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน น้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันหล่อลื่นเพราะว่าน้ำมันที่ดีเมื่ออุณหภูมิต่ำต้องมีความหนืดที่ต่ำคือไม่ข้นเกินไป เพื่อให้เกิดการหล่อลื่นได้และที่อุณหภูมิสูงก็ต้องข้นพอที่ฟิล์มน้ำมันจะยังคงหล่อลื่นได้

2.2.3 การรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation)

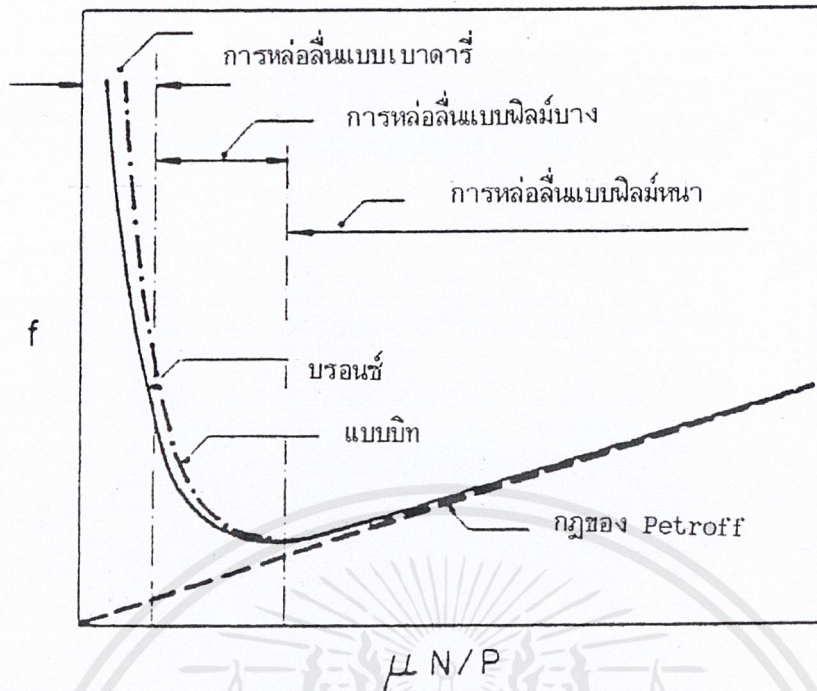
น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีการรวมตัวกับออกซิเจนได้ยากหรือได้ช้า เพื่อไม่ให้น้ำมันเป็นโคลนน้ำมัน หรือเป็นยางเหนียวไปเกาะตามชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกลที่ทำการหล่อลื่น

2.2.4 จุดไหลเท (Flash point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังสามารถไหลได้ก่อนที่จะไหม้ที่มีอยู่ในน้ำมันจะเกิดการแข็งตัวทำให้น้ำมันไหลได้ยาก ในที่มีอากาศหนาวหรือเย็นจะต้องพิจารณาเลือกใช้ใช้น้ำมันที่มีการไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำมัน

2.3 ชนิดของการหล่อลื่น

การหล่อลื่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การหล่อลื่นแบบเบาเดารี การหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มบาง การหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มหนา สำหรับการหล่อลื่นของเจอร์นัลเบร็งอาจอธิบายความแตกต่างของการหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิด ได้ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) และค่าความหนืดของสารหล่อลื่น (μ) คูณด้วยความเร็วรอบของเพลลา (N) แล้วหารด้วยค่าภาระที่กาบรองลื่นเพลลากรมรองรับต่อพื้นที่ภาพฉาย (P) หรือ $\mu N/P$ ดังแสดงในรูป 2-1



รูปที่ 2-1 แสดงชนิดของการหล่อลื่น

จากรูปที่ 2-1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า $\mu N/P$ สูงๆ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะต่ำ และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า $\mu N/P$ เรียกว่า เป็นการหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มหนา ซึ่งเป็นการหล่อลื่นที่มีสารหล่อลื่นคั่นระหว่างผิวชิ้นงานหนาขณะที่ชิ้นงานเคลื่อนไถลดูกันให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารหล่อลื่นเพียงอย่างเดียวไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของผิวเพลลาและกabarองลื่น

เมื่อค่า $\mu N/P$ ลดลงจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะลดลงจนมีค่าต่ำสุด เรียกว่า การหล่อลื่นแบบฟิล์มบาง โดยมีสารหล่อลื่นเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ คั่นระหว่างผิวของเพลลา กับกabarองลื่น ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชิ้นงานจะขึ้นกับคุณสมบัติของผิวของเพลลาและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารหล่อลื่น

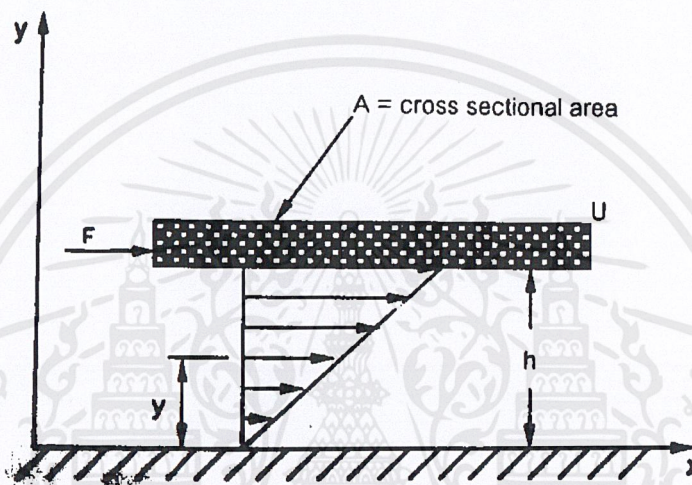
หากลดค่า $\mu N/P$ ให้ต่ำลงไปอีก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังพบว่าสารหล่อลื่นบางส่วนถูกทำลายไป การหล่อลื่นแบบนี้เรียกว่าการหล่อลื่นแบบเบาดารี

2.4 ประเภทของสารหล่อลื่น

โดยปกติของเหลวที่สามารถใช้เป็นสารหล่อลื่นแบ่งตามลักษณะคุณสมบัติมีอยู่สองประเภทคือ

2.4.1 สารหล่อลื่นนิวโทเนียน

สามารถอธิบายถึงคุณสมบัติของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนได้ดังรูปที่ 2-2 นั่นคือ ถ้าสารหล่อลื่นนิวโทเนียนอยู่ระหว่างแผ่นราบทั้งสองเมื่อมีแรง F มากระทำกับแผ่นราบด้านบนซึ่งมีพื้นที่สัมผัสสารหล่อลื่น A เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว U



รูปที่ 2-2 แสดงการเปลี่ยนรูปของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนเมื่อถูกแรงเฉือน F กระทำ

จากรูปแรงเฉือน F จะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ A และความเร็ว U และแปรผกผันกับระยะ Y สามารถเขียนในสมการ ได้คือ

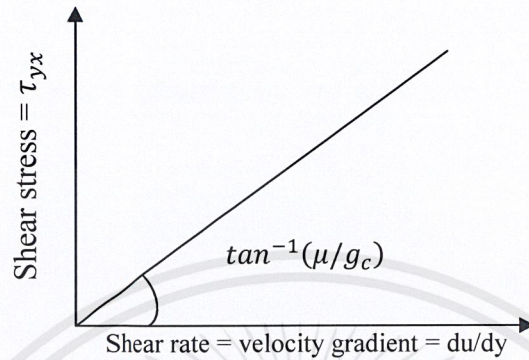
$$F = \mu \frac{AU}{y} \quad (2.1)$$

โดยที่ μ คือแฟกเตอร์ของสัดส่วนหรือเรียกว่าความหนืดเชิงพลวัต (Dynamic viscosity) ดังนั้นความเค้นจะหาได้จากสมการ

$$\tau_{yx} = \frac{F}{A} = \frac{\mu U}{y} \quad (2.2)$$

อัตราส่วน U/y คืออัตราการเปลี่ยนรูปร่างเชิงมุมของสารหล่อลื่นนิวโทเนียน สามารถเขียนแทนได้ในเทอม $\frac{dU}{dy}$ แทน $\frac{U}{y}$ ได้

ดังนั้นความเค้นเฉือน $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ หากนำค่าความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนจะได้ดังรูป 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (τ) และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง du/dy ของสารหล่อลื่นนิวโทเนียน

2.4.2 สารหล่อลื่นประเภทนอน-นิวโทเนียน

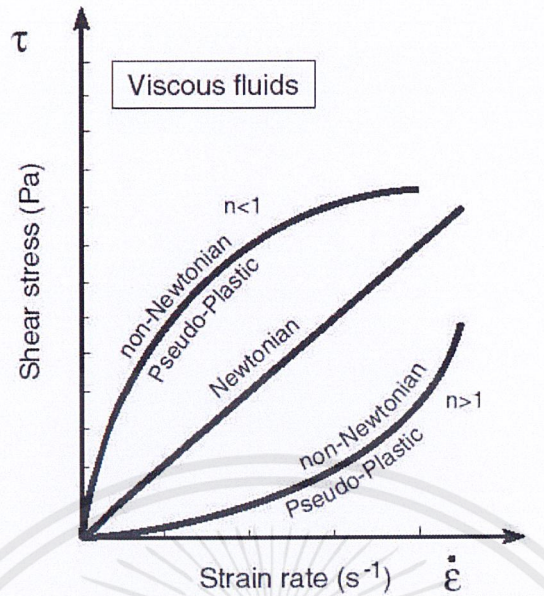
ได้มีความพยายามศึกษาพัฒนานำสารหล่อลื่นนอนนิวโทเนียนมาใช้เพื่อแก้ปัญหของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนที่เมื่ออุณหภูมิของเครื่องจักรสูงขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง การพัฒนาสารหล่อลื่นนอน-นิวโทเนียนอาจทำได้โดยใช้สารเติมแต่งชนิด High molecular weight เช่น Polyisobutylene, Acrylatecopolymer เติมลงไปนสารหล่อลื่นนิวโทเนียน จะทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารหล่อลื่นลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราการเปลี่ยนรูปร่างของสารหล่อลื่นนอนนิวโทเนียนเป็นไปดังสมการ

$$\tau_{yx} = m \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (2.3)$$

เมื่อ m = consistency index

n = flow behavior index

หากค่า $m = \mu$ และ $n = 1$ จะมีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่นนิวโทเนียน



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ

2.5 ความหนืดของสารหล่อลื่น

ค่าความหนืดของสสารเป็นตัวแสดงความข้นของสสารนั้น ๆ ตามปกติเมื่อสารหล่อลื่น เช่น น้ำมันหล่อลื่นเมื่อได้รับความร้อน อุณหภูมิจะสูงขึ้น จะทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าลดลง

สำหรับของไหลที่เป็นของไหลนิวโทเนียน ความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนในชั้นของของไหลกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็วในชั้นของของไหล สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.4)$$

โดยที่ τ คือความเค้นเฉือนหรือแรงเสียดทานต่อพื้นที่สัมผัส μ คือค่าความหนืดของของไหล และ $\frac{\partial u}{\partial y}$ คือ อัตราการเฉือน

จากสมการ (1.6) สามารถเขียนสมการหาค่าความหนืดได้ดังนี้

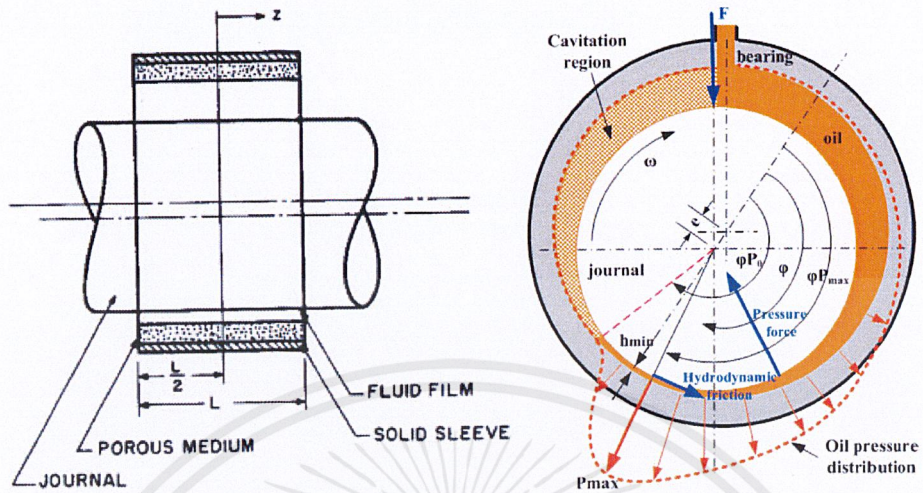
$$\mu = \frac{F}{A \left(\frac{du}{dy} \right)} \quad (2.5)$$

หน่วยของความหนืด

$$\mu = \frac{N - \text{sec}}{\left(\frac{m^2 \cdot m / \text{sec}}{m} \right)} = \frac{N - \text{sec}}{m^2} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม (Journal bearing geometry)



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม

กาบหล่อลื่นเพลากลมจะมีลักษณะเป็นปลอกหุ้มเพลเอาไว้และระหว่างผิวสัมผัสของเพลากับกาบรองลื่นจะเป็นสารหล่อลื่น โดยในขณะทำงานฟิล์มของสารหล่อลื่นจะยกเพลาคือให้ลอยพ้นจากกาบรองลื่นเพื่อป้องกันการเสียดสีระหว่างเพลากับกาบรองลื่นในขณะที่เพลามัน เพราะตัวกาบรองลื่นจะเป็นตัวรับภาระในแนวรัศมี (Radial Load) โดยรูป 2-5 ได้แสดงรูปร่างของกาบรองลื่นเพลากลมที่ 360 องศา เพลามันด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω และรับภาระ W เมื่อเพลาริมหมุนในตอนแรก จะเกิดการเสียดสีของโลหะระหว่างเพลากับแบร์ริงตรงจุดที่รับภาระ หลังจากที่เพลามันไปเล็กน้อย ก็จะสามารถนำสารหล่อลื่นเข้ามาได้ทั่วถึง และก็จะสามารถยกเพลาคือให้ลอยจากกาบรองลื่นเป็นระยะความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น เมื่อเพลามันเร็วขึ้นจนกระทั่งความเร็วคงที่ ฟิล์มน้ำมันจะถูกรีดจนบางที่สุดเรียกว่า ความหนาฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุด

บทที่ 3

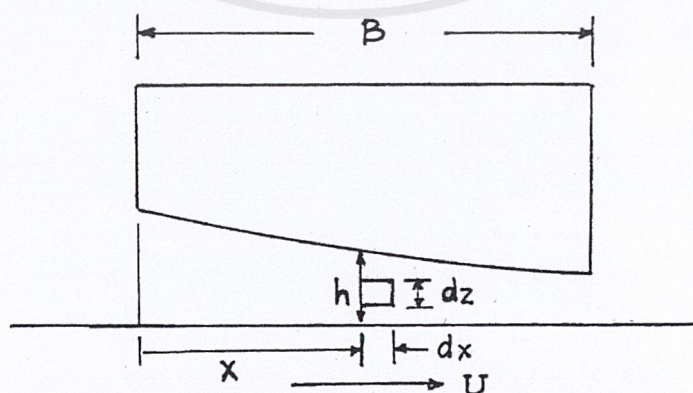
ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของสารหล่อลื่น สำหรับกาบรองดินเพลากลม

3.1 สมการเรย์โนลด์

สมการเรย์โนลด์เป็นสมการหลักในวิชาหล่อลื่นใช้อธิบายการเกิดแรงดันของของไหลขณะที่ของไหลไหลในแบร์ริงเป็นแผ่นฟิล์มบางโดยที่ฟิล์มของไหลนี้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กกลางตามทิศทางการไหลซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงดันขึ้นในของไหล

ข้อสมมติในการเขียนสมการเรย์โนลด์

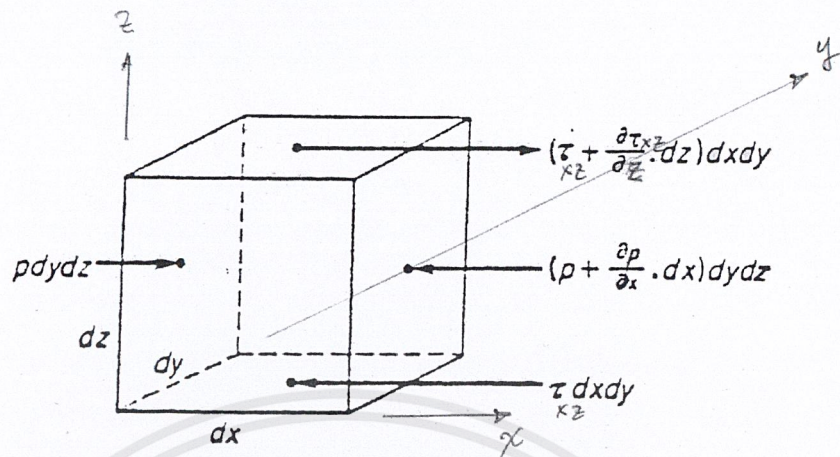
- 1) ไม่คิดแรงภายนอกที่กระทำต่อสารหล่อลื่น เช่น ไม่คิดแรงเนื่องจากน้ำหนักของสารหล่อลื่น แรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2) แรงดันที่เกิดขึ้นในของไหลหรือสารหล่อลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามแกนความหนาของของไหล ซึ่งหมายความว่าฟิล์มของสารหล่อลื่นนั้นบางมาก
- 3) การไหลของสารหล่อลื่นในกาบรองดินหรือแผ่นรองดินที่มีผิวโค้งนั้นถูกสมมติว่าเป็นการไหลในแกนตรงไม่คิดผลเนื่องจากผิวโค้งของกาบรองดิน
- 4) ไม่เกิดการลื่นไถลของสารหล่อลื่นในกาบรองดินดังนั้นสารหล่อลื่นที่แตะจับผิวกาบรองดินหรือเพลาก็จะมีความเร็วเท่ากับผิวกาบรองดินหรือผิวเพล
- 5) สารหล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian Fluid)
- 6) การไหลของสารหล่อลื่นเป็นการไหลอย่างเป็นระเบียบซึ่งเรียกการไหลแบบลามินาร์ (Laminar)
- 7) ไม่คิดแรงเฉื่อยของสารหล่อลื่น เนื่องจากฟิล์มของสารหล่อลื่นบางมาก
- 8) ความหนืดของสารหล่อลื่นมีค่าคงที่ ไม่แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิหรือความดัน



รูปที่ 3-1 แสดงการไหลของสารหล่อลื่นผ่านหน้าตัดเล็กกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามทิศทางการไหลในเบริง



รูปที่ 3-2 แสดงแรงกระทำต่อสารหล่อลื่นในทิศตามแกน X

พิจารณาชิ้นงานสองชิ้น ซึ่งบนมีความเร็ว U_1 ตามแกน X และชิ้นล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ U_2 ตามแกน X มีสารหล่อลื่นระหว่างชิ้นทั้งสองดังรูปที่ 3.1 เมื่อพิจารณาการสมดุลของแรงที่กระทำต่อสารหล่อลื่นชิ้นเล็กๆ ตามรูปที่ 3.2 จะพบว่าแรงกระทำบนชิ้นสารหล่อลื่นประกอบด้วย แรงเฉือนระหว่างชั้นของสารหล่อลื่นและแรงเนื่องจากแรงดันของสารหล่อลื่นซึ่งสามารถเขียนสมการการสมดุลของแรงตามแกน X ได้ดังนี้

$$P dy dz + \left(\tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} dz \right) dx dy = \tau_{xz} dx dy + \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) dy dz$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (3.1)$$

สมการแสดงการสมดุลของแรงตามแนวแกน y

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \quad (3.2)$$

จากสมการความเค้นเฉือนของนิวตัน

$$\tau_{xz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.3)$$

$$\text{และ} \quad \tau_{yz} = \mu \frac{\partial v}{\partial z} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าความเค้นจากสมการ (3.3) และ (3.4) ลงในสมการ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ จะได้สมการความเร็วของสารหล่อลื่นตามแกน x ; u และตามแกน y ; v ตามลำดับ ดังนี้

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3.5)$$

และ
$$\frac{\partial P}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3.6)$$

อินทิเกรตสมการ (3.5) และ (3.6) เทียบกับ z สองครั้งจะได้

$$u = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) \frac{z^2}{2} + C_1 z + C_2 \quad (3.7)$$

และ
$$v = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \frac{z^2}{2} + D_1 z + D_2 \quad (3.8)$$

โดยที่ C_1 , C_2 , D_1 และ D_2 เป็นค่าคงที่ ค่า C_1 และ C_2 สามารถหาได้จากรูปที่ 3.1 ตามสภาวะเงื่อนไขขอบเขตดังต่อไปนี้คือ

$$\text{ที่ } z = 0 ; u = U_2 ; v = V_2$$

$$\text{ที่ } z = h ; u = U_1 ; v = V_1$$

จะได้
$$u = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) (z^2 - zh) + (U_1 - U_2) \frac{z}{h} + U_2 \quad (3.9)$$

และ
$$v = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) (z^2 - zh) + (V_1 - V_2) \frac{z}{h} + V_2 \quad (3.10)$$

อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแกน x ; q_x

$$q_x = \int_0^h u dz \quad (3.11)$$

อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแกน y ; q_y

$$q_y = \int_0^h v dz \quad (3.12)$$

แทนสมการ (3.9) ลงใน (3.11) จะได้ จะได้อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแกน x , q_x เป็นดังนี้

$$q_x = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial x} \int_0^h (z^2 - zh) dz + \left(\frac{U_1 - U_2}{h} \right) \int_0^h z dz + U_2 \int_0^h dz$$

$$q_x = \frac{-h^3}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x} + (U_2 + U_1) \frac{h}{2} \quad (3.13)$$

ทำนองเดียวกันแทนสมการ (3.10) ลงใน (3.12) จะได้อัตราการไหลของสารหล่อลื่นตามแกน y , q_y เป็นดังนี้

$$q_y = \frac{-h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) + (V_1 + V_2) \frac{h}{2} \quad (3.14)$$

จากสมการกฏทรงมวล

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (3.15)$$

แทนค่า และ จากสมการ (3.13) และ (3.14) ลงในสมการกฏทรงมวล (3.15) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{-h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) + (U_1 + U_2) \frac{h}{2} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{-h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) + (V_1 + V_2) \frac{h}{2} \right\} = 0 \quad (3.16)$$

ตามปกติในกาบรองลื่น ผิวกาบรองลื่นจะไม่มีเกิดการเคลื่อนไหลตามแกน y ดังนั้น $V_1 = V_2 = 0$ และให้ $U_1 = 0$ และ $U_2 = U$ จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{-h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{Uh}{2} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{-h^3}{12\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} = 6\mu \frac{\partial(Uh)}{\partial x} \quad (3.17)$$

ตามปกติความหนืดของสารหล่อลื่นนั้นถูกสมมติให้มีค่าคงที่เท่ากันตลอดในกาบรองลื่นหรือแผ่นรองลื่น และความเร็วของผิวกาบรองลื่นหรือผิวเพล่าจะมีความเร็วเร็วคงที่ U ตามแกน X ดังนั้นสมการด้านบนสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) \right\} = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.18)$$

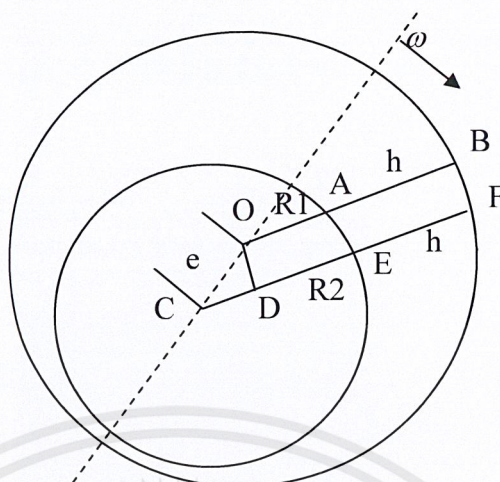
สมการ (3.18) คือสมการเรโนลด์แบบสองมิติใช้ในการคำนวณหาการกระจายของแรงดันในกาบรองลื่นหรือแผ่นรองลื่น

3.2 กาบรองลื่นเพล่ากลม

กาบรองลื่นเพล่ากลมเป็นรูปทรงกระบอกเพล่าจะหมุนอยู่ในกาบรองลื่นเพล่ากลมตามปกติ เส้นผ่าศูนย์กลางของเพล่าจะมีขนาดประมาณ 99.8-99.9% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของกาบรองลื่นเพล่ากลมช่องว่างระหว่างเพล่าและกาบรองลื่นเพล่ากลมจะเป็นน้ำมันหล่อลื่น ขณะที่เพล่าหมุนเพล่าจะถูกรองรับด้วยกาบรองลื่น จะเกิดการแตะสัมผัสระหว่างเพล่ากับกาบรองลื่น เมื่อเพล่าหมุนการหมุนของเพล่าจะเป็นตัวลากพาน้ำมันหล่อลื่นให้ไหลไปตามทิศทางการหมุนของเพล่าทำให้เกิดชั้นของน้ำมันหล่อลื่นคั่นอยู่ระหว่างเพล่ากับกาบรองลื่น การที่ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นคั่นอยู่ระหว่างเพล่าและกาบรองลื่นนั้นจะทำให้เพล่าและกาบรองลื่นไม่เกิดการสึกหรอกำลังงานที่ใช้เอาชนะแรงเสียดทานของน้ำมันหล่อลื่นนี้ตามปกติจะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาระที่เพล่าได้รับในทางปฏิบัติขณะที่เพล่าหมุนด้วยความเร็วรอบทำงานการออกแบบกาบรองลื่นจะยอมให้เพล่าและกาบรองลื่นมีค่าอัตราการใช้ของศูนย์กลางประมาณ 0.6 – 0.7

กาบรองลื่นเพล่ากลมสามารถมีผลการทบทต่อพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นจะมีพฤติกรรมเหมือนสปริงและแดมเปอร์ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อความเร็ววิกฤตของเครื่องจักรและการตอบสนองการไม่สมดุล ยิ่งไปกว่านั้น แรงที่เกิดจากแรงดันในฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นสามารถทำให้โรเตอร์ไม่เสถียรได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความรุนแรงและอาจทำให้เกิดความเสียหายได้

3.3 ความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น



รูป 3-3 แสดงความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่ตำแหน่ง θ ใดๆ

- กำหนดให้
- O เป็นจุดศูนย์กลางของกบรอลื่นเพลากลมรัศมี R_1
 - C เป็นจุดศูนย์กลางของเพลารัศมี R_2
 - e เป็นระยะเยื้องศูนย์กลางของเพลากับกบรอลื่น
 - h เป็นความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่มุม θ ใดๆ
 - ω เป็นความเร็วเชิงมุมของเพลาร

จากรูป 3.3 จะได้ความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่ตำแหน่ง θ ใดๆ

$$\begin{aligned}
 h &= EF \\
 &= OB - DE \\
 &= OB - (CE - CD) \\
 &= R_1 - (R_2 - e \cos \theta) \\
 &= R_1 - R_2 + e \cos \theta \\
 &= C + e \cos \theta \\
 &= C (1 + \varepsilon \cos \theta)
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

โดยที่ $C = R_1 - R_2 =$ รัศมีเคลียร์แลนซ์

$\varepsilon =$ เป็นอัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลาง $= \frac{e}{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สมการความดันของกาบรองสั้นสั้น

กาบรองสั้น โดยทั่วไปจะมีอัตราส่วน L/D ระหว่าง $1 - \frac{1}{2}$ ส่วนกาบรองสั้นสั้นจะมีอัตราส่วน L/D อยู่ที่ $\frac{1}{4}$ ส่วนกาบรองสั้นยาวมากจะมีอัตราส่วน $L/D \geq \frac{1}{4}$

สำหรับโครงการวิจัยชุดนี้จะใช้สมการความดันสำหรับกาบรองสั้นในการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งสมการความดันสำหรับกาบรองสั้นสั้นนั้นสามารถหาได้จากสมการเรโนลด์ได้ดังต่อไปนี้

จากสมการเรโนลด์แบบสองมิติ (3.18)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) \right\} = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.18)$$

ถ้ากาบรองสั้นแคบมากคือความยาว L มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับรัศมี R ได้มีการยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงความดัน $\partial P/\partial x$ จะอยู่ในรูป ความดัน/เส้นรอบวง หรือ $P/2\pi R$ และ $\partial P/\partial y$ จะอยู่ในรูป P/L จะได้ความสัมพันธ์

$R \gg L$ ดังนั้น $\partial P/\partial x \ll \partial P/\partial y$ จึงสามารถตัดเทอม $\partial P/\partial x$ ออกจากสมการที่ (3.18) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{h^3}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial y} \right) \right\} = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.20)$$

เนื่องจาก h เป็นฟังก์ชันของ x เพียงอย่างเดียว จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{d^2 P}{dy^2} = \frac{6\mu U}{h^3} \frac{dh}{dx} \quad (3.21)$$

อินทิเกรตสมการ (3.21) สองครั้ง จะได้

$$\frac{dP}{dy} = \frac{6\mu U}{h^3} \frac{dh}{dx} y + C_1 \quad (3.22)$$

$$P = \frac{3\mu U}{h^3} \frac{dh}{dx} y^2 + C_1 y + C_2 \quad (3.23)$$

เมื่อ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงที่จากการอินทิเกรต กำหนดเงื่อนไขขอบ $P = 0$ เมื่อ $y = \pm \frac{L}{2}$ จะได้ว่า

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = -\frac{3U\mu}{h^3} \frac{dh}{dx} \left(\frac{L^2}{4} \right)$$

จะได้

$$P = \frac{3\mu U}{h^3} \frac{dh}{dx} \left(y^2 - \frac{L^2}{4} \right) \quad (3.24)$$

จากสมการ (3.19)

$$h = c(1 + \epsilon \cos \theta) \quad (3.25)$$

พิกัดวงกลม $dx = R d\theta$ จะได้

$$\frac{dh}{dx} = \frac{dc(1 + \epsilon \cos \theta)}{R d\theta} = -\frac{c\epsilon \sin \theta}{R} \quad (3.26)$$

แทนค่า (3.25) และ (3.26) ลงใน สมการ (3.24) จะได้

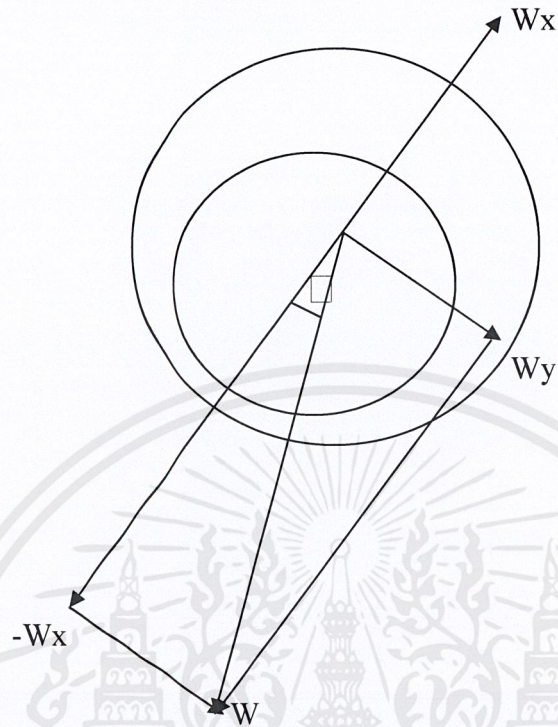
$$P = \frac{3\mu U \epsilon \sin \theta}{c^2 R (1 + \epsilon \cos \theta)^3} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right) \quad (3.27)$$

จาก $U = \omega R$ แทนค่าลงใน (3.27) จะได้

$$P = \frac{3\mu \omega \epsilon \sin \theta}{c^2 (1 + \epsilon \cos \theta)^3} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right) \quad (3.28)$$

เป็นสมการที่ใช้หาความดันสำหรับกาบรองคลื่นสั้นเมื่อ $0 \leq \theta \leq \pi$

3.5 สมการภาวะของกาบรองคลื่นสั้น



รูปที่ 3-4 แสดงแรงที่กระทำต่อกาบรองคลื่น

ส่วนประกอบของภาวะสองส่วน คือ W_x และ W_y สามารถหาได้โดยการอินทิเกรตสมการแรงคลื่นโดย

$$W_y = \int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^{\pi} P \sin\theta R d\theta dy \quad (3.29)$$

$$W_x = \int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^{\pi} P \cos\theta R d\theta dy \quad (3.30)$$

จากสมการ (3.28)

$$P = \frac{3\mu\omega\epsilon \sin\theta}{c^2(1 + \epsilon \cos\theta)^3} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right)$$

อินทิเกรตแยกส่วน

$$\int_{-L/2}^{+L/2} \left(\frac{L^2}{4} - y^2 \right) dy = \frac{L^3}{6}$$

(3.31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ W_y

$$\int_0^\pi \frac{\varepsilon \sin^2 \theta \, d\theta}{(1 + \varepsilon \cos \theta)^3}$$

สำหรับ W_x

$$\int_0^\pi \frac{\varepsilon \sin \theta \cos \theta \, d\theta}{(1 + \varepsilon \cos \theta)^3}$$

โดย

$$\int_0^\pi \frac{\varepsilon \sin^2 \theta \, d\theta}{(1 + \varepsilon \cos \theta)^3} = \frac{\pi \varepsilon}{2(1 - \varepsilon^2)^{3/2}}$$

และ

$$\int_0^\pi \frac{\varepsilon \sin \theta \cos \theta \, d\theta}{(1 + \varepsilon \cos \theta)^3} = \frac{-2\varepsilon^2}{(1 - \varepsilon^2)^2}$$

ดังนั้น

$$W_y = \frac{U\mu L^3 \pi}{c^2} \frac{\varepsilon}{4(1 - \varepsilon^2)^{3/2}} \quad (3.32)$$

$$W_x = \frac{-U\mu L^3}{c^2} \frac{\varepsilon^2}{(1 - \varepsilon^2)^2} \quad (3.33)$$

การรวม

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$W = \frac{U\mu L^3}{c^2} \sqrt{\left\{ \frac{\pi^2 \varepsilon^2}{16(1 - \varepsilon^2)^3} + \frac{\varepsilon^4}{(1 - \varepsilon^2)^4} \right\}}$$

จะได้สมการหาการรวมของกาบรองสั้น

$$W = \frac{U\mu L^3 \pi}{c^2} \frac{\varepsilon}{4(1 - \varepsilon^2)^2} \left\{ \left(\frac{16}{\pi^2} - 1 \right) \varepsilon^2 + 1 \right\}^{1/2} \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 มุมแอตติจูด

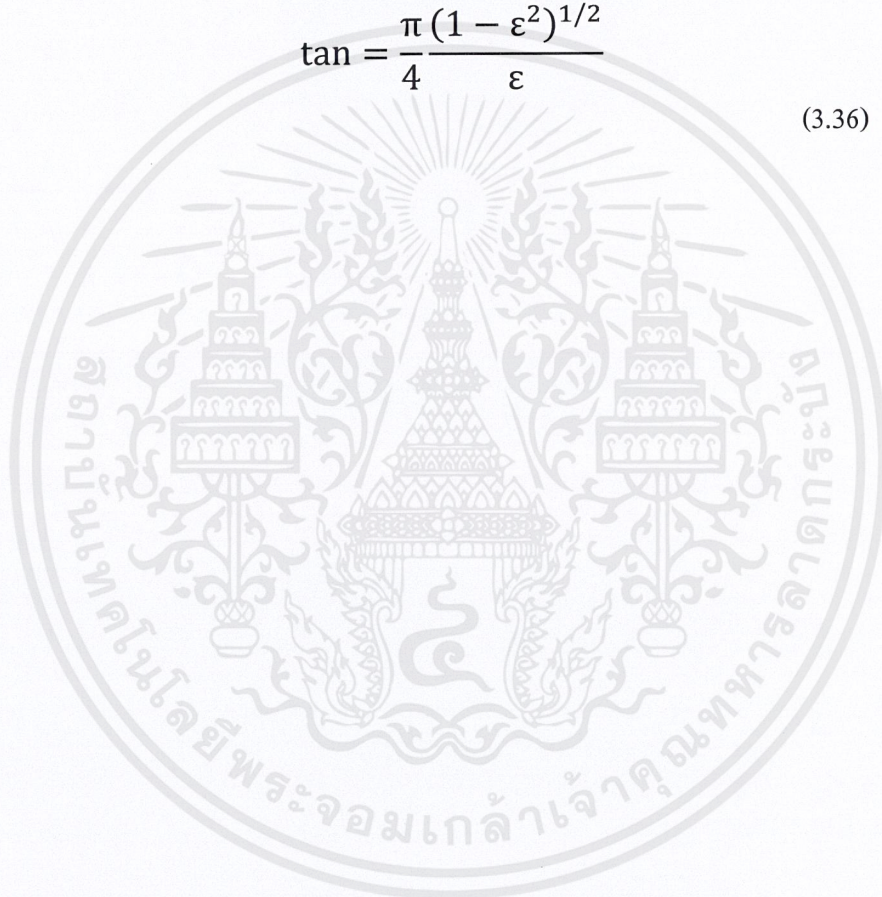
มุมแอตติจูด ดังรูปที่ 3.3 สามารถหาได้จาก

$$\tan = \frac{W_y}{-W_x} \quad (3.35)$$

แทนค่า W_y และ W_x ลงในสมการ (3.35) จะได้

$$\tan = \frac{\pi}{4} \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^{3/2}} \frac{(1 - \varepsilon^2)^2}{\varepsilon^2}$$

$$\tan = \frac{\pi (1 - \varepsilon^2)^{1/2}}{4 \varepsilon} \quad (3.36)$$



บทที่ 4

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

4.1 ลักษณะสำคัญของวัสดุที่ใช้ทำกาบรองลื่น

มีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อวัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง จากเหตุผลที่ว่าวัสดุที่ใช้ทำ แบริ่งจะต้องมีลักษณะพิเศษ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการออกแบบนั้นเราจะสำรวจก่อนว่าเราต้องการทำไปใช้กับงานลักษณะใด รวมถึงเงื่อนไขในการทำงานต่าง ๆ อาทิเช่น การเยื้องศูนย์, ลักษณะจำเพาะของวัสดุ, ความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากอุณหภูมิ, การต้านทานการกัดกร่อน รวมถึงความถี่ของวัสดุ

การเลือกใช้วัสดุที่จะใช้ทำแบริ่ง มีเงื่อนไขดังนี้

1. ชนิดของแบริ่ง ว่าเป็นแบริ่งชนิดใด เช่น Journal Bearing, Ball Bearing เป็นต้น
2. ชนิดของสารหล่อลื่น เช่น อากาศ, น้ำ, ก๊าซ
3. เงื่อนไขของสภาพแวดล้อมในการทำงาน เช่น ความดัน, อุณหภูมิ

เนื่องจากว่าวัสดุแต่ละชนิด ก็สามารถตอบสนองต่อเงื่อนไขการทำงานในสภาวะต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน ดังนั้น เราต้องพิจารณาลักษณะสำคัญในการทำงาน ดังนี้

1. สภาวะความต้านทาน ถึงแม้ว่าการหล่อลื่นแบบไฮโดร ไดนามิกของเพลลาและแบริ่ง จะมีฟิล์มน้ำมัน หล่อลื่นอยู่ระหว่างทำงาน แต่เมื่อเพลลาและแบริ่งมาสัมผัสกัน จะมีความร้อนเกิดขึ้นจากตรงจุดที่สัมผัส เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายขึ้นต่อทั้งเพลลาและตัวแบริ่ง ดังนั้น ความสามารถของความต้านทานต่อการเสียหายคือ สภาวะการเข้ากันได้

2. สภาวะของสารแปลกปลอม ในการทำงานของแบริ่งจะมีสิ่งแปลกปลอมหรืออนุภาคขนาดเล็กเข้ามาในแบริ่งเคลือบแรนท์ โดยสารหล่อลื่นหรือการหมุนของเพลลา ถ้าสิ่งสกปรกไม่สามารถออกมาได้ ก็จะสามารถส่งผลเสียหายให้กับตัววัสดุของแบริ่งได้

3. สภาวะการเข้ากันได้ การวัดความสามารถของวัสดุที่ใช้ทำแบริ่ง ในการเยื้องศูนย์ระหว่างตัวเพลลากับแบริ่ง หรือความเที่ยงตรงอื่นๆของตัวผู้ผลิต โดยปกติวัสดุที่ใช้ทำแบริ่งจะมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่ำ

4. ความต้านทานของการกัดกร่อน วัสดุที่ใช้ทำแบริ่งควรจะต้านทานผลกระทบของสารหล่อลื่น หรือการเกิดออกซิเดชัน

5. ความต้านทานต่อความถี่ ความต้านทานต่อความถี่สูงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เนื่องจากความเสียหายจากความถี่ เป็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกบนพื้นผิววัสดุของแบริ่ง

4.2 เหล็กหล่อ (Cast Iron)

เหล็กหล่อ หมายถึงเหล็กที่มีคาร์บอนประสมอยู่มากกว่า 2% ขึ้นไป ในวงการอุตสาหกรรมจะผลิตเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนอยู่ในระหว่าง 2-4.8% และนอกจากนั้นจะเป็นส่วนประสมของสารอื่น ๆ เช่น ซิลิกอน 1-3% แมงกานีส 0.4-1%, กำมะถัน 0.1-0.35% และฟอสฟอรัส 0.05-1%

คุณสมบัติเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนประสมอยู่มาก ดังนั้นจึงทำให้ขาดคุณสมบัติด้านความเหนียวไป คือจะเปราะและแตกหักง่าย ทนต่อแรงดึงและแรงกระแทกได้น้อย นำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการตี, ดึง, รีด, ได้ยากมาก วิธีการขึ้นรูปจึงต้องนำเหล็กหล่อนั้นไปหลอม แล้วเทลงในแบบที่ทำด้วยทราย, โลหะ หรือ วัสดุทนความร้อนอย่างอื่น หลังจากหล่อตามแบบแล้วจึงนำมาตกแต่งอีกครั้งหนึ่ง ถึงแม้ว่าชิ้นงานจะมีความสลับซับซ้อนก็สามารถหล่อได้ เพราะเหล็กหล่อเมื่อหลอมละลายจะไหลได้ดีเนื่องจากมีความหนืดต่ำ และเนื่องจากเหล็กหล้อมีอัตราการขยายตัวที่ต่ำ และมีราคาถูกรวมถึงดูดซับแรงได้ดี จึงนิยมใช้ทำเป็นเบร็ก

ชนิดของเหล็กหล่อ

เหล็กหล่อนั้นแบ่งออกได้หลายชนิด ซึ่งพอจะแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างพื้นฐาน และลักษณะการรวมตัวของคาร์บอน ได้ดังนี้

1. เหล็กหล่อสีเทา (Grey Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกับเหล็กดิบ เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนอยู่ 3-3.5% คาร์บอนจะอยู่ในรูปของ กราไฟต์ (Graphite) มีลักษณะเป็นแผ่นอยู่อย่างอิสระ แทรกอยู่บน โครงสร้างพื้น (Matrix Structure) ที่เป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) กราไฟต์มีสีดำส่วนเฟอร์ไรท์จะมีสีขาว ดังนั้นเมื่อตรวจสอบรอยหักของเหล็กจะเห็นเป็นสีเทา

คุณสมบัติของเหล็กหล่อสีเทา

1. มีความแข็งไม่มากนัก สามารถนำไปกลึง, ไซ, เจาะ ตกแต่งได้ง่าย
2. มีอุณหภูมิหลอมละลายต่ำ มีความหนืดน้อย สามารถหล่อในแบบงานที่สลับซับซ้อนได้ดี
3. มีอัตราการขยายตัวน้อย เหมาะสำหรับการทำอุปกรณ์ที่ต้องการขนาดคงที่
4. รับแรงสั่นสะเทือนได้ดี

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อสีเทา

ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เช่น ก้านสูบ เสือสูบ และแท่นฐานเครื่องจักรกลต่าง ๆ เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2% ขึ้นไปสภาวะคาร์บอนที่แทรกตัวในเนื้อเหล็กไม่ได้้อย่างอิสระ แต่จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของซีเมนต์ไต์ที่โครงสร้างแบบนี้จะทำให้เหล็กมี คุณสมบัติเปราะ

คุณสมบัติของเหล็กหล่อสีขาว

1. มีความแข็งแรงสูง นำมากกลึง, โส, เจาะ, ได้ยาก
2. ทนต่อแรงกระแทกได้น้อย
3. ทนการเสียดสีได้ดี

การนำไปใช้งานเหล็กหล่อสีขาว

ใช้ทำลูกไม้อย่างหินทำล้อรถไฟทำลูกปืนล้อทำสารเจียรนัยเพชรพลอย ทำแม่พิมพ์เหล็กหล่อเหนียว ได้จากการนำเอาเหล็กหล่อสีขาวมาผ่านกรรมวิธีอบอ่อนที่อุณหภูมิ 815-1110 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิการเย็นตัว ในที่จำกัดไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปได้ใช้ เวลาในการอบ 3-4 วัน ซีเมนต์ไต้ที่จะแยกตัวออกเป็นเหล็กออกสเตนไนท์กับกราไฟต์ กราไฟต์ที่เกิดขึ้นจะกระจายทั่วไป เมื่ออุณหภูมิลดลงออกสเตนไนท์ จะเปลี่ยนเป็น เฟอร์ไรท์ ส่วนคาร์บอนที่อยู่ในรูปของกราไฟต์ จะจับกลุ่มกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้เป็นเหล็กหล่อเหนียว

คุณสมบัติของเหล็กหล่อเหนียว

1. ความเหนียวจะเพิ่มมากขึ้นกว่าเหล็กหล่อสีเทาและเหล็กหล่อสีขาว
2. อัตราการยืดตัวจะมีมากขึ้น
3. ทนต่อแรงกระแทกได้ดี

ข้อเสียของเหล็กหล่อเหนียว คือ เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการอบอ่อน ชิ้นงานที่มีความหนา มาก ๆ ไม่สามารถอบอ่อนได้ชิ้นงานที่อบอ่อนได้ไม่ควรหนาเกิน 50 มม.

การนำไปใช้งานของเหล็กหล่อเหนียว

ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรต่าง ๆ ทำอุปกรณ์และท่อน้ำประปา

4.3 ทองเหลือง (Brass)

ทองเหลือง (Brass), ทองเหลืองลายเสือ (Bronze / บรอนซ์) หรือ ทองเหลืองในชื่ออื่น ๆ ต่างก็เป็นวัสดุเนื้อประสม (ชื่อทางวิศวกรรม) หรือ อัลลอยด์ของทองแดง (Copper / Cu) หรือเราใช้คำเรียกกันว่า โลหะสัมฤทธิ์ เพราะมีการผสมธาตุอื่น ๆ เข้าสู่ธาตุหลัก การเติมธาตุอื่นเข้าไป ก็เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของทองแดง (Cu) ซึ่งเป็นธาตุหลักให้มีคุณสมบัติเป็นอย่างอื่น เช่น เพิ่มความสวยงาม, ความแข็งแรง, ความสามารถในการยืดตัว โดยไม่ขาด, ลดการเกิดสนิม (Corrosion) ซึ่งเป็นเรื่องของการเล่นแร่แปรธาตุ ในอดีตตั้งแต่สมัยโรมันที่นี้ ภาษาอังกฤษตลาด จำเป็นต้องให้มีชื่อแตกต่าง เนื่องจากทองเหลือง (Brass) เกิดจากทองแดงผสมสังกะสี (Cu + Zinc) มีสีเหลืองและขัดขึ้นเงาได้ ดีขึ้นรูปได้ง่าย เพราะเนื้อเหนียว แต่ถ้าทิ้งไว้นาน ๆ อาจเป็นขี้เกลือ (corrosion) จึงทำให้การเรียก บรอนซ์ (Bronze) หรือทองแดงผสมดีบุก (Cu + Tin) เป็นปัญหาเพราะมันก็เป็นสีเหลืองเหมือนกัน แต่คุณสมบัติต่างกัน เพราะบรอนซ์จะทนการเกิดขี้เกลือดีกว่า เนื้อแข็งกว่าและ ต่างจากทองเหลืองปกติ อีกประการหนึ่งในกลุ่มโลหะทองแดงเนื้อประสม (Copper Alloy) ยังมีการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองแดงกับธาตุอื่นหรือโลหะอื่นอีกซึ่งสลายนอก ก็ออกมาในลักษณะคล้ายทองเหลืองอีกเช่นกัน ดังนั้น ทางการตลาดจึงให้คำว่า “ทองเหลืองลายเสือ” เพื่อให้มีความแตกต่างกัน ตอนเรียกเพราะชื่อ บรอนซ์ เป็นชื่อภาษาอังกฤษอยู่แล้ว สำหรับคำตอบที่ตอบก่อนหน้านี้ คำว่า Bronze Bushing นั้น เป็นตัวที่เรียกว่า บูช (หรือปลอกสวม) เนื้อเป็นทองเหลืองลายเสือ สำหรับงานสวมเพลาด่าง ๆ และ อาจใช้อยู่ในหลายรูปแบบ ทั้งที่ มีน้ำมันหล่อเลี้ยง และไม่มีน้ำมันหล่อเลี้ยง (Oilless Bush) การ นำไปใช้งาน ยังมีความแตกต่างอีกหลากหลาย เนื่องจากบางกรณีจะใช้ ทองเหลืองปกติ บางกรณี หากมีแรงบดอัดมากขึ้น จำเป็นต้องเปลี่ยนวัสดุเป็น ทองเหลืองลายเสือแทน สำหรับในหมวดการใช้งาน ที่เห็นมากที่สุดจะเป็นพวกปลอก หรือ ชิ้นงานที่ไม่ต้องการให้เป็นสนิม ขณะใช้งานหรือ ต้องการให้เกิดการสึกหรอ ก่อนที่ตัวหลักจะสึก เช่น เพลาทำจากเหล็ก จึงใช้บูช (ปลอก) ทำจาก ทองเหลือง เพื่อป้องกันไม่ให้เพลาสึก แต่ให้เป็นแบบ ทองเหลืองลายเสือเพื่อให้อายุการใช้งานนาน ขึ้น ในงานตกแต่งตามต้องการ ทองเหลือง เพราะสามารถขัดขึ้นเงาได้สวยงามกว่า แต่ก็ต้องระวัง เรื่องการเกิดขี้เกลือ(สนิมสีเขียว)ตอนตากแดดตากฝนหรือจมน้ำนาน ๆ ในขณะที่บรอนซ์จะเกิดขี้เกลือน้อยกว่า

ทองเหลืองลายเสือ (Bronze Bushing) เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่ใช้ประกอบกับเพลา ของเครื่องยนต์ในรถยนต์ ทั่วไป ซึ่งทำมาจากโลหะสัมฤทธิ์ "ทองเหลือง" โดยมักจะเรียกกันทั่วไป ว่า ประกับเพลาทองเหลืองลายเสือ หรือ บูชทองเหลืองลายเสือ ก็เพราะต้องการให้รู้ว่าเป็นอุปกรณ์ ที่ทำมาจากโลหะชนิดใด และใช้สำหรับอะไร ซึ่งจะเป็นการง่ายต่อการแยกแยะความแตกต่างของ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ให้มีความต่าง ไปจากความอุปกรณ์ชิ้นอื่น ๆ ซึ่งจะง่ายต่อความเข้าใจในหมู่ของ ผู้ใช้กันเอง และทองเหลืองจะเป็นโลหะสัมฤทธิ์ที่เกิดขึ้นจากการนำเอา “แร่ทองแดง” มาผสมกับ โลหะชนิดอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความแข็งแรงคงทนมากยิ่งขึ้น

คุณสมบัติของ Copper Alloys

โลหะผสมทองแดงถูกใช้เป็น ปลอกวัสดุรองรับ (Lining) ภายใน Block เหล็กกล้าหรือไม้ก็ ทำการเคลือบฉาบผิว หรือ ทำการขึ้นรูปโดยการเผาผนึกเข้ากับ Block เหล็กกล้า ซึ่งจะทำให้กาบ รองลื่นสามารถรับภาระได้มากกว่าโลหะผสมขึ้นรูปแบบขึ้นเดียว สามารถทนความด้าได้ดีและ ทำงานได้ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง กาบรองลื่น Copper Alloys ถูกใช้เป็นส่วนประกอบในยานยนต์ เครื่องยนต์สันดาปภายในของเครื่องบิน และในเครื่องยนต์ดีเซล หากผสมตะกั่วลงไปมากจะช่วยทำ ให้พื้นผิวของกาบรองลื่นดีขึ้นแต่ก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ไวขึ้นซึ่งปัญหาในเรื่องการกัดกร่อน นี้สามารถแก้ได้โดยการผสมโลหะสามชนิดเพื่อใช้เป็นกาบรองลื่น เช่น ทองแดง-ตะกั่ว-ดีบุก, ทองแดง-ตะกั่ว-อินเดียม

4.4 เทฟลอน (Teflon)

ลักษณะทั่วไป

เทฟลอนเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนต่อสารเคมี และมีระดับอุณหภูมิการใช้งานที่กว้างมาก
ระดับอุณหภูมิการใช้งาน (ส่วนประกอบมาตรฐาน)

-300°F ถึง +450°F (เฉพาะในที่ร้อนแห่งเท่านั้น)

ความแข็ง (shore A) : 98

ลักษณะเด่น

เทฟลอนเป็นวัสดุที่ทนต่อสารเคมีได้ดีเยี่ยมแม้ในที่อุณหภูมิสูง ซึ่ลจากเทฟลอนจะมีคุณสมบัติ โดดเด่นมากในเรื่องของความคงทนต่อสภาพอากาศ การต้านทานโอโซน และตัวทำละลาย เช่น acetone, MEK, xylene ซึ่งล้วนมีส่วนทำให้วัสดุเสื่อมคุณภาพนอกจากนี้เทฟลอนยังเป็นวัสดุที่สามารถ ต้านทานแรงดึง ได้สูงถึง 2,500-3,500 psi. และสามารถยืดขยายได้ถึง 300 % รวมทั้งเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนการกระแทก มีความเสียดทานต่ำ และไม่เสีรูปร่างแม้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง

คุณสมบัติของ TEFLON

TEFLON คือ วัสดุเทอร์โมพลาสติก โดยมีพื้นฐานมาจาก Polymer Polytetrafluoroethylene (PTFE) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเสียดทานต่ำ มีคุณสมบัติ การหล่อลื่นด้วยตัววัสดุ ที่ดีเยี่ยม และในการใช้งานจริงหลายๆงานสามารถใช้ได้ในลักษณะการหล่อลื่นแห้ง มีคุณสมบัติป้องกันสารเคมี และการทำปฏิกิริยาหลายๆอย่าง สามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิ -260 – 260 °C มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนรูปร่างภายใต้การรับภาระ TEFLON ที่ยังไม่ได้รับการแต่งเติมสารจะไม่มีประโยชน์ในภาวะที่ความล้าต่ำ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางเทอร์โมสูง การนำความร้อนต่ำ และความต้านทานการเปลี่ยนรูปต่ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเติม กราไฟท์, เซรามิก, พงโลหะ, เหล็กออกไซด์, ไฟเบอร์ ลงใน TEFLON

ข้อจำกัด

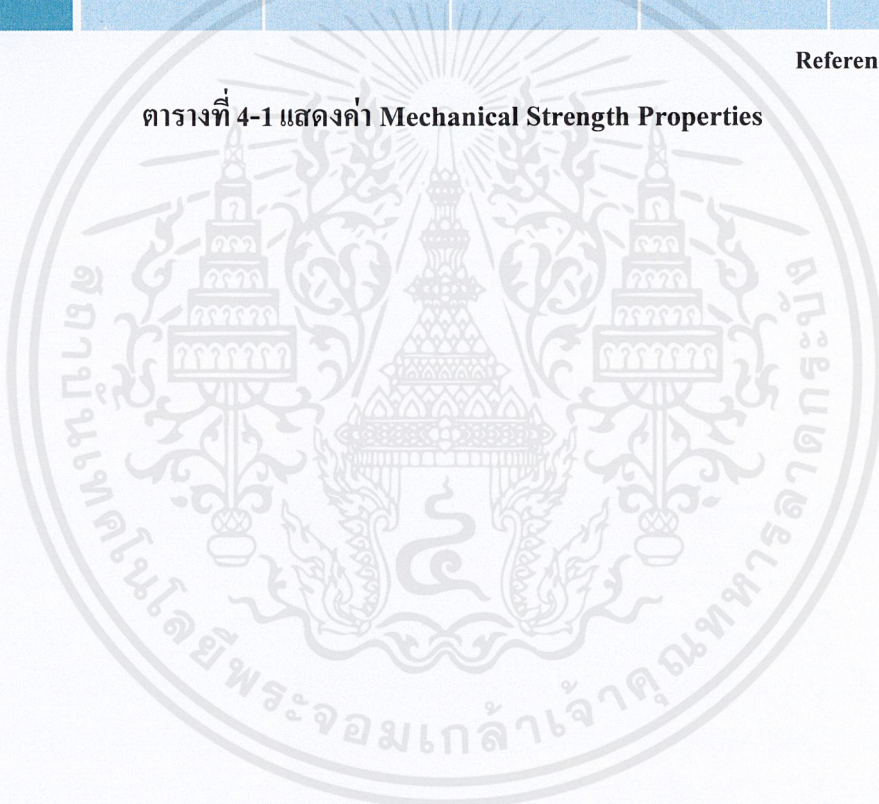
ที่อุณหภูมิห้องหรือในที่อุณหภูมิต่ำ เทฟลอนจะยึดตัวได้น้อย ก่อให้เกิดปัญหาในการติดตั้งโอรัง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมการยืดขยายของ ID ภายใน โอรังเป็นพิเศษ การนำเทฟลอนไปใส่ในน้ำเดือดหรือในเตาอบที่มีอุณหภูมิจึง 200°F จะทำให้เทฟลอนสามารถยืดขยายได้ถึง 10-20 %

Mechanical Strength Properties

Material	Yield Stress (MPa)	Ultimate Stress (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Coefficient of friction	Elongation (%)
Grey Cast Iron	120-290	69-480	83-170	0.49	0-1
Brass	70-550	200-620	96-110	0.3	4-60
Teflon	9-30	10-43	0.4-0.55	0.04	200-400

Reference : ASME

ตารางที่ 4-1 แสดงค่า Mechanical Strength Properties



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

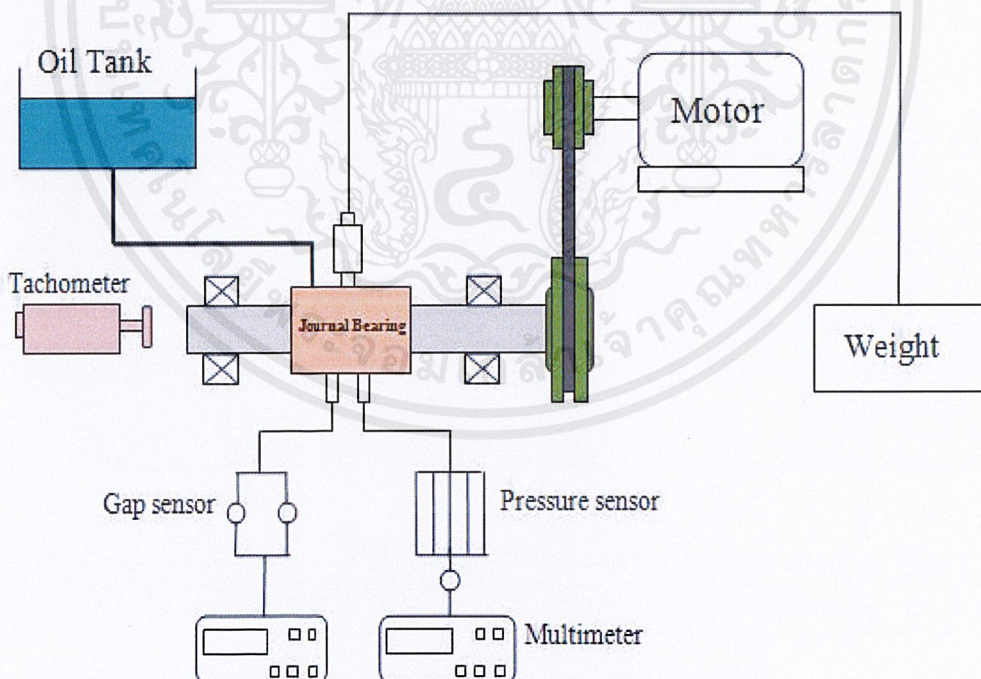
บทที่ 5

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

5.1 หลักการทดลองหาพฤติกรรมของของไหลในกาบรองลื่นเพลากลมที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ กัน

หลักการทดลองหาพฤติกรรมของของไหลในกาบรองลื่นเพลากลม โดยลักษณะของกาบรองลื่นที่นำมาใช้ในการทดลองจะเป็นกาบรองลื่นวงกลมเต็มวง โดยจะมีมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลากลมในกาบรองลื่นที่มีน้ำหนักถ่วง เพื่อให้เกิดการกระทำต่อเพลากลมและกาบรองลื่น โดยในขณะที่ทดลอง จะทำการเติมน้ำมันเครื่องประเภท SAE – 40 เข้าไปในระหว่างกาบรองลื่นและเพลากลม ในการทดลอง จะเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนเพลากลมให้มีความเร็วรอบต่าง ๆ และเปลี่ยนขนาดของน้ำหนักถ่วง เพื่อเปลี่ยนขนาดของภาระที่กระทำกับเพลากลม โดยจะทดลองกับกาบรองลื่นที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กหล่อ ทองเหลือง เทปลอน เป็นต้น ในขณะที่ทดลอง จะทำการวัดความดันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในกาบรองลื่น โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน Pressure sensor และวัดระยะความหนาฟิล์มน้ำมันด้วย Gap sensor แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 5-1

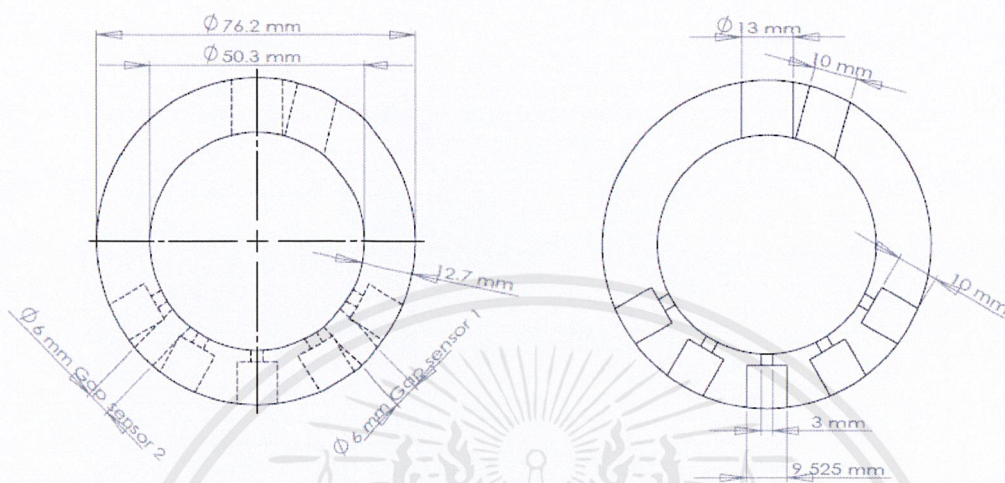
5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5-1 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง

5.2.1 กาบรองลื่น

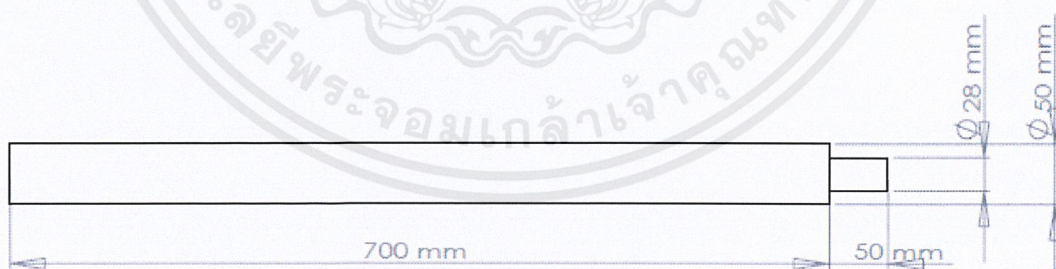
กาบรองลื่นที่ใช้ในการทดลองจะเป็นชนิดวงกลมลักษณะเต็มวงโดยกาบรองลื่นที่ใช้ในการทดลองคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.3 มิลลิเมตร ยาว 25.4 มิลลิเมตร แสดงดังรูป 5-2



รูปที่ 5-2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนกาบรองลื่น

5.2.2 เพลลา

เพลลาที่ใช้ในการทดลองจะใช้เพลลาขนาดเดียวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร มีความยาวที่ใช้งาน 25.4 มิลลิเมตร โดยตลอดความยาวที่ใช้งานจะเป็นผิวเจียรนัย

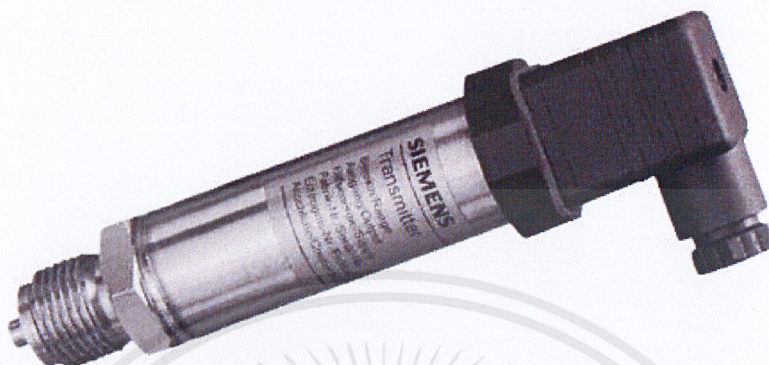


รูปที่ 5-3 แสดงลักษณะของเพลลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 อุปกรณ์วัดความดัน

ในการวัดการกระจายความดันที่เกิดขึ้นในกาบรองลื่น จะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Pressure sensor ซึ่ง Pressure sensor ที่ใช้จะเป็นรุ่น SITRANS P Z Series (7MF1564) ซึ่งสามารถ นำ Pressure sensor ต่อกับ Monitor แล้วสามารถอ่านค่าความดันได้โดยตรงจาก Monitor



รูปที่ 5-4 แสดงอุปกรณ์วัดการกระจายความดันในกาบรองลื่น

5.2.4 อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน

อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมันหรือวัดระยะห่างระหว่างผิวเพลากับกาบรองลื่นเรียกว่า Gap sensor โดยอุปกรณ์วัดชนิดนี้จะส่งสัญญาณไปยัง Converter จากนั้น Converter จะส่งสัญญาณ ต่อไปยัง Multimeter ทำให้สามารถอ่านค่าได้จากนั้นนำค่าที่อ่านได้นี้ไปเทียบตารางซึ่งทำให้ได้ ระยะห่างระหว่างผิวเพลากับกาบรองลื่น

การติดตั้ง การเดินสายการใช้งาน

1. การติดตั้ง Probe

ติดตั้ง Probe ในที่ที่มีสัญญาณไฟฟ้า Out put ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงที่เป็นเชิงเส้น ของสัญญาณตอบสนอง Out put

2. การเดินสายเชื่อมระหว่าง Converter กับ Probe

ต่อ Probe กับขั้วสัญญาณ Input ของ Converter ด้วยสาย Probe PC-03

3. การเดินสายของสัญญาณ Out put

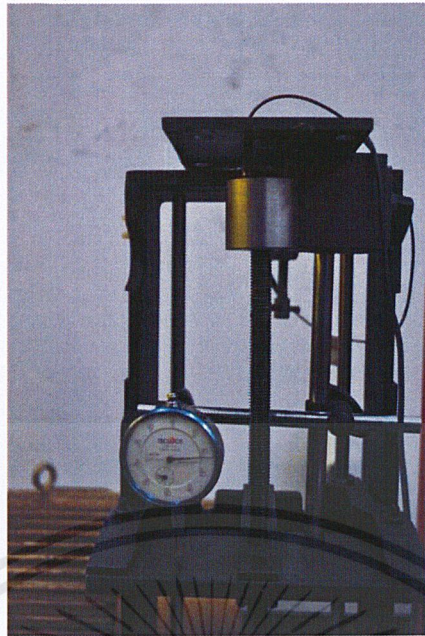
นำสัญญาณ Out put มาจากขั้วสัญญาณ Out put และขั้วไฟ Ground และป้อนให้แก่ โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล

4. การต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

ป้อนไฟ $\pm 12V$ จากเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง โดยต่อจากเครื่อง +12V, -12V และ OV

5. อุณหภูมิเครื่อง

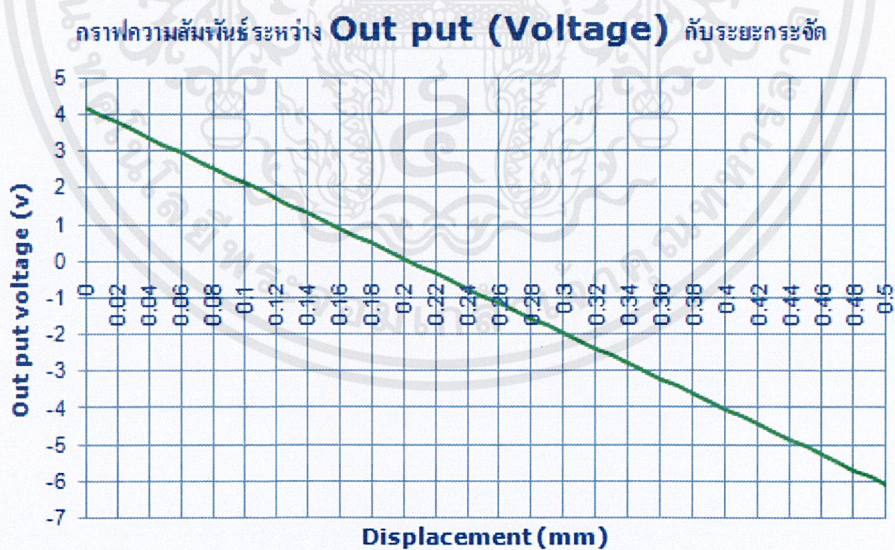
อุปกรณ์นี้ต้องการเวลาอุ่นเครื่องหลังจากเปิดสวิตช์สักรุ่น



รูป 5-5 แสดงการติดตั้งชุด Calibration Gap sensor

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put ของอุปกรณ์นี้ถูกปรับแต่งเพื่อที่จะให้ผลสอดคล้องกับวัสดุที่เป็นโลหะ ตามรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Out put (Voltage) กับระยะกระจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่าง และความหนาของวัสดุที่ใช้วัด

Gap sensor สามารถปรับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ Out put ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้

เมื่อผิวของวัตถุมีค่าเป็น 2 เท่าของผิวหน้า Probe จะไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

เมื่อผิวของวัตถุมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งหรือมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพื้นที่ของผิวหน้า Probe ผลตอบสนองจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่านั้น

สำหรับวัสดุที่เป็นผงหรือมีส่วนประกอบหลายส่วน หรือเป็นสายที่รวบไว้ด้วยกันอาจให้ผลการตอบสนองที่ไม่ดี หรือไม่ให้ผลตอบสนองเลย

วัตถุที่หนากว่า 1.0 mm. จะไม่มีผลตอบสนอง

สำหรับวัตถุทรงกระบอกต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3.5 เท่าของ Probe ขึ้นไป

ผลตอบสนองจะคงเดิม

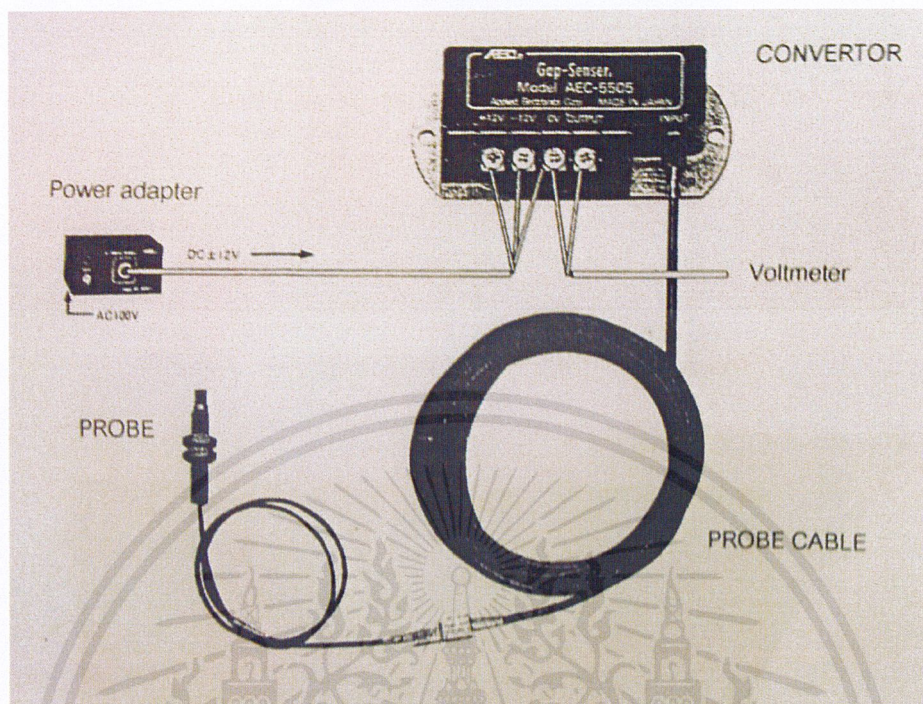
การปรับแต่งผลตอบสนองของสัญญาณ Out put

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put จะถูกปรับ โดยใช้วัตถุเป็นเหล็ก ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put จะขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของวัตถุที่ใช้ทำวัตถุเป้า สามารถปรับค่าได้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้วัด

ข้อแนะนำเพิ่มเติม

1. อย่าวางโลหะในบริเวณใกล้ ๆ กับวัตถุ Probe
2. เมื่อ Probe ถูกติดตั้งในโลหะต้องระมัดระวังอย่าให้หัวของ Probe ถูกโลหะปิดไว้
3. เมื่อ Probe หลาย ๆ อันถูกใช้พร้อม ๆ กัน อย่าตั้งไว้ใกล้ ๆ กัน
4. ตรวจสอบสายให้เรียบร้อยก่อนเปิดเครื่อง
5. อย่าลืมห่วงจรของสัญญาณ Out put
6. อย่าเพิ่มความยาวหรือตัดสาย Probe
7. โพรบสามารถใช้ในน้ำ น้ำมัน และสนามแม่เหล็กได้

การต่อวงจรสำหรับ Gap sensor เป็นดังรูป



รูป 5-7 แสดงวงจรสำหรับ Gap sensor

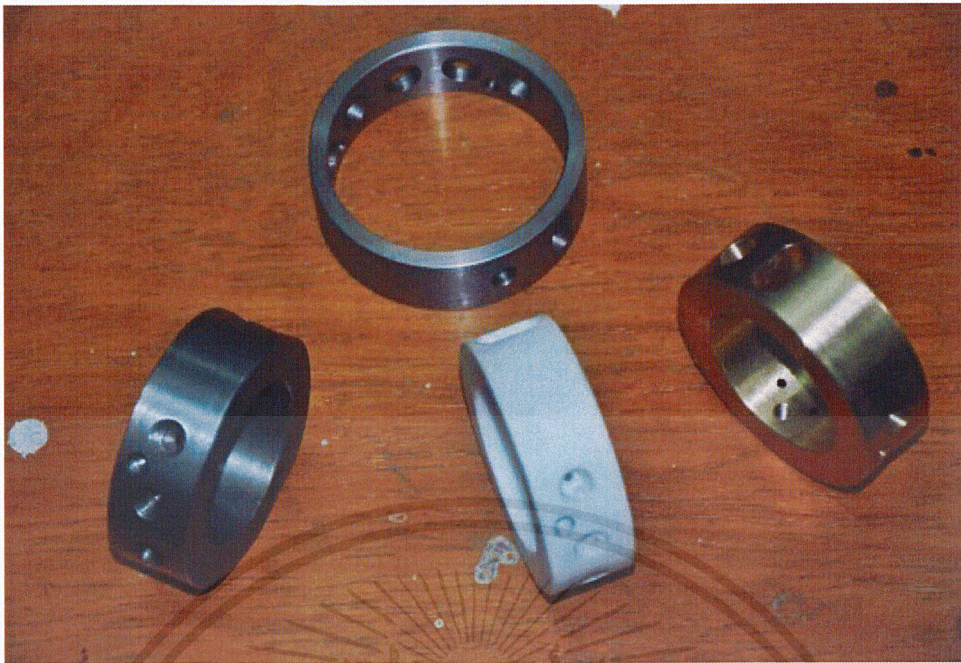
5.2.5 มอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเพลาในเครื่องจักรเป็น Induction Motor ซึ่งการเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลา สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนขนาดของ Pulley ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน จากนั้นจึงใช้ Tachometer ทำการวัดความเร็วรอบของเพลาให้ตรงตามความต้องการ

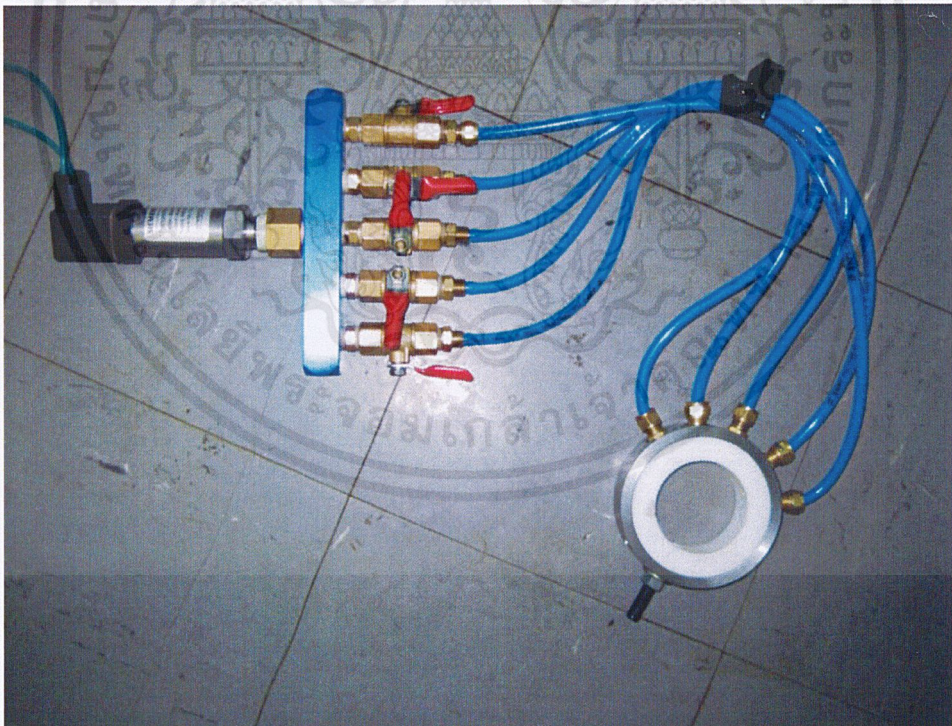


รูปที่ 5-8 แสดงลักษณะของ Pulley ที่ใช้ในการเปลี่ยนความเร็วรอบของเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

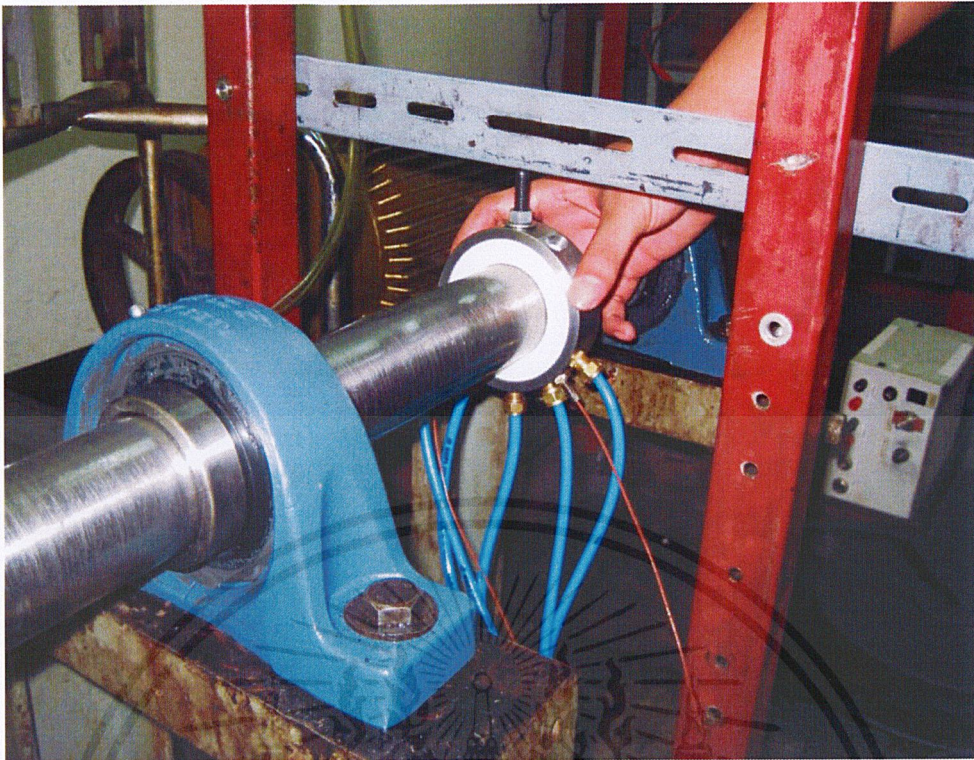


รูปที่ 5-9 แสดงลักษณะของกาบรองลื่นชนิด เหล็กหล่อ เทปลอน และทองเหลือง ตามลำดับ



รูปที่ 5-10 แสดงการติดตั้งชุดวัดแรงดันน้ำมันและชุดวัดความหนาของฟิล์มน้ำมันในชุดกาบรองลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

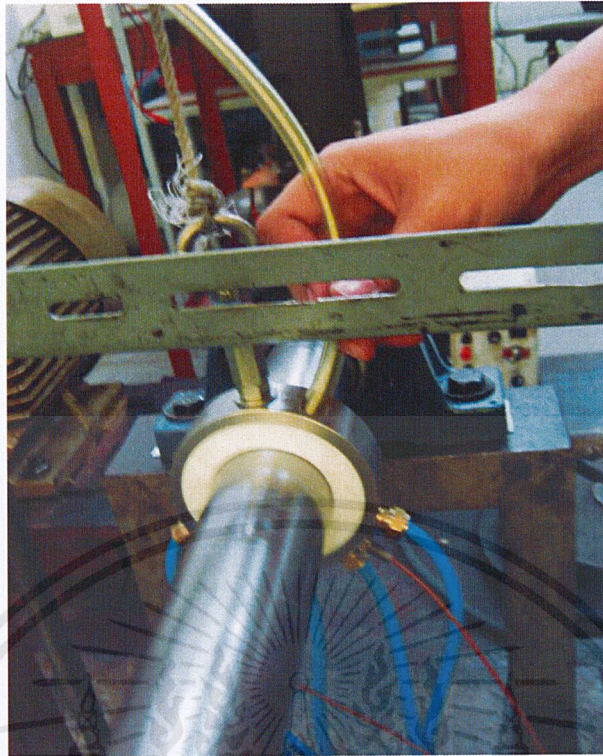


รูปที่ 5-11 แสดงการติดตั้งเพลาพร้อมกับชุดกาบรองลื่น

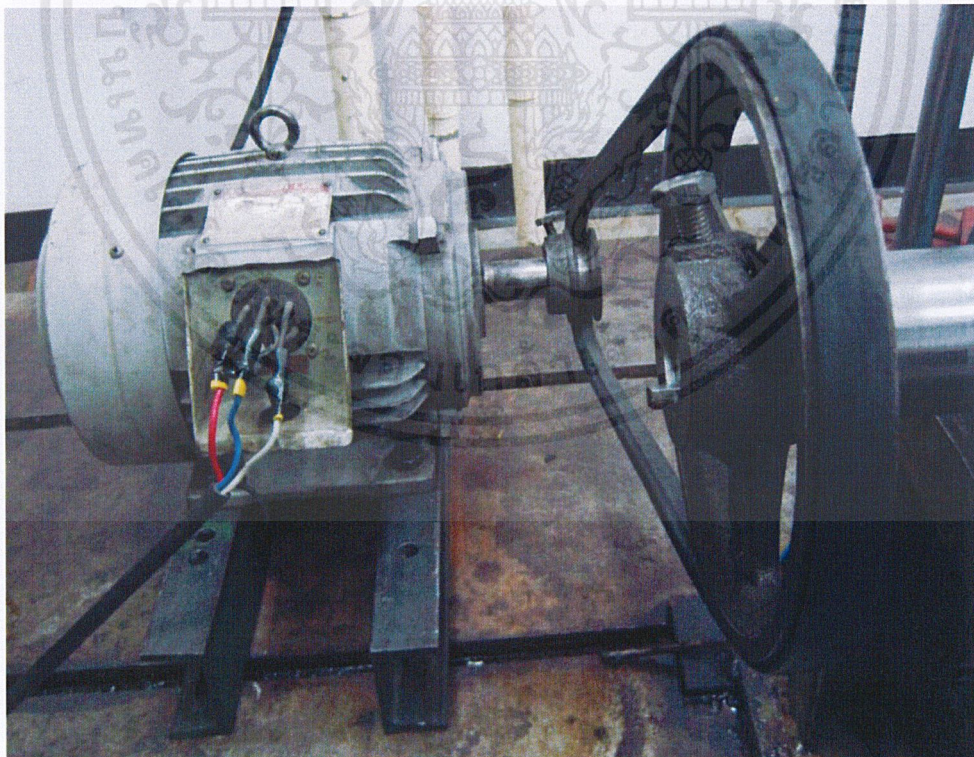


รูปที่ 5-12 แสดงถังปล่อยน้ำมันลงกาบรองลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-13 แสดงการติดตั้งชุดจับและการติดตั้งชุดส่งน้ำมัน

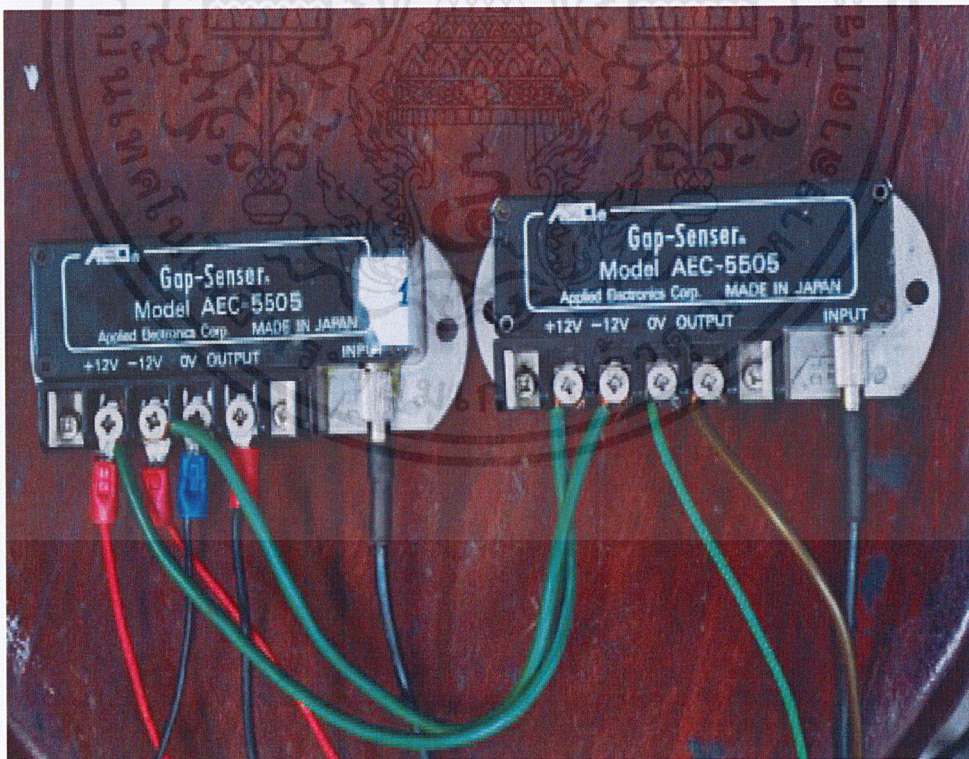


รูป 5-14 แสดงการติดตั้งชุด pulley และสายพานเข้ากับเฟลา และมอเตอร์ตัวขับเคลื่อนเฟลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

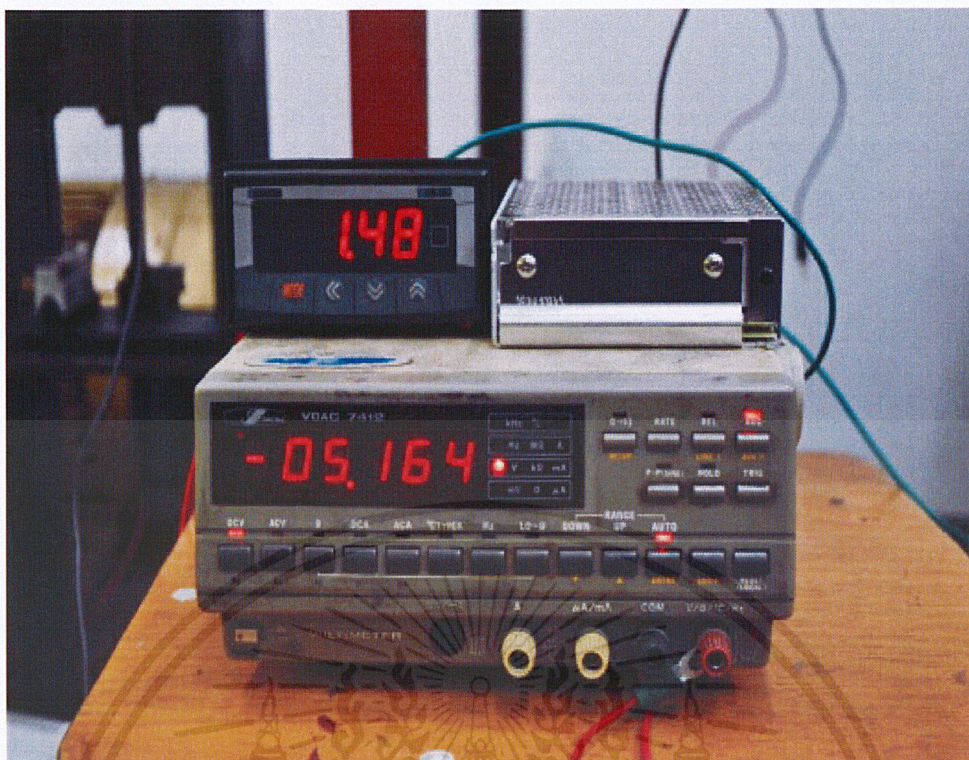


รูป 5-15 แสดง Tachometer อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเพลลา

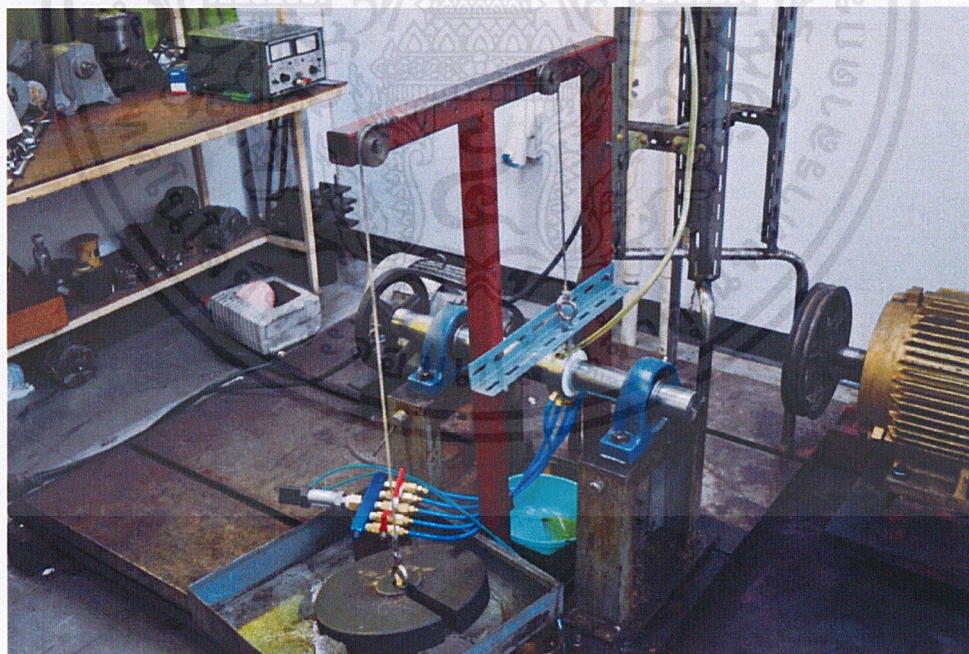


รูป 5-16 แสดงตัววัดสัญญาณความหนาฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5-17 แสดงเครื่องวัดความดันของน้ำมันในการรองดินและเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 5-18 แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

6.1 วิธีการทดลอง

- 6.1.1 ติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ กับกาบรองคลื่น
- 6.1.2 ปล่อยน้ำมันจากถังเก็บให้ไหลเข้ากาบรองคลื่นเพลากลม
- 6.1.3 เดินมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 800, 1500 และ 3200 รอบต่อนาที ตามลำดับ
- 6.1.4 ที่ความเร็วรอบหนึ่ง ๆ จะใส่ถ่วงน้ำหนัก 10, 20 และ 30 กิโลกรัม ตามลำดับ
- 6.1.5 วัดค่าความดันและความหนาของฟิล์มน้ำมันแล้วทำการบันทึกผลการทดลอง
- 6.1.6 นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนเป็นกราฟแสดงความหนาของฟิล์มน้ำมัน และกราฟแสดงการกระจายความดันที่สภาวะต่าง ๆ
- 6.1.7 วิเคราะห์ผลการทดลองและทำการสรุปผลการทดลอง

6.2 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 6.1 ของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และ เทปลอน โดยช่องว่างระหว่างผิวเพลากับกาบรองคลื่น 0.15 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ 800, 1500 และ 3200 รอบต่อนาที ที่ภาระ 10, 20 และ 30 กิโลกรัม จะทำให้ได้ผลการทดลองอยู่ในรูปการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองคลื่นเพลากลมตามจุดต่าง ๆ สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงการกระจายแรงดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองคลื่นเพลากลมเพื่อนำกราฟที่ได้ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการศึกษาในทางทฤษฎี

เมื่อนำกราฟการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองคลื่นเพลากลมที่ได้จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ และที่ได้จากการศึกษาทางทฤษฎีมาสร้างรวมกัน จะได้ผลการทดลองพบว่า วัสดุแข็งมีอิทธิพลต่อ แรงดันและความหนาฟิล์มมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นเทปลอน ซึ่งเป็นวัสดุเหนียวจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างมากทำให้แรงดันของฟิล์มลดลง และความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้น ผลของความดันของของไหลในแบริงเหล็กหล่อมีแนวโน้มมากกว่าในแบริงทองเหลืองเนื่องจากความยืดหยุ่นของเหล็กหล่อมีค่าน้อยกว่าทองเหลือง โดยจะแสดงผลการทดลองในรูปของกราฟการเปรียบเทียบการกระจายแรงดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองคลื่นเพลากลมในวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และ เทปลอน ที่ความเร็วรอบและที่ภาระต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6-1 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 10 kg

วัสดุภาบริงลิ้น	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	10000	80000	89000	66000	0
ทองเหลือง	1000	26000	59000	20000	0
เทปลอน	95000	1000	1000	105000	0

ตารางที่ 6-2 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 20 kg

วัสดุภาบริงลิ้น	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	40000	100000	130000	66000	0
ทองเหลือง	1000	39000	60000	20000	0
เทปลอน	105000	1000	1000	110000	0

ตารางที่ 6-3 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm น้ำหนัก 30 kg

วัสดุภาบริงลิ้น	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	42000	119000	141000	39000	0
ทองเหลือง	1000	50000	66000	20000	0
เทปลอน	130000	1000	1000	121000	0

ตารางที่ 6-4 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 10 kg

วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	1000	65000	82000	79000	0
ทองเหลือง	1000	39000	79000	19000	0
เทปลอน	160000	1000	1000	155000	0

ตารางที่ 6-5 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 20 kg

วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	1000	90000	110000	81000	0
ทองเหลือง	1000	48000	110000	20000	0
เทปลอน	210000	1000	1000	190000	0

ตารางที่ 6-6 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm น้ำหนัก 30 kg

วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	2000	110000	130000	75000	0
ทองเหลือง	1000	51000	120000	20000	0
เทปลอน	220000	1000	1000	200000	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-7 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 10 kg

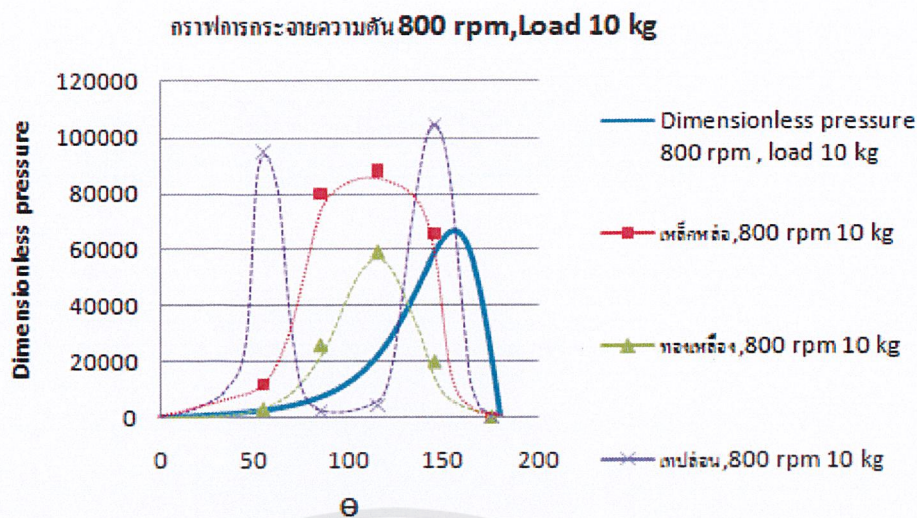
วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	1000	25000	80000	40000	0
ทองเหลือง	1000	10000	75000	20000	0
เทปลอน	210000	1000	1000	190000	0

ตารางที่ 6-8 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 20 kg

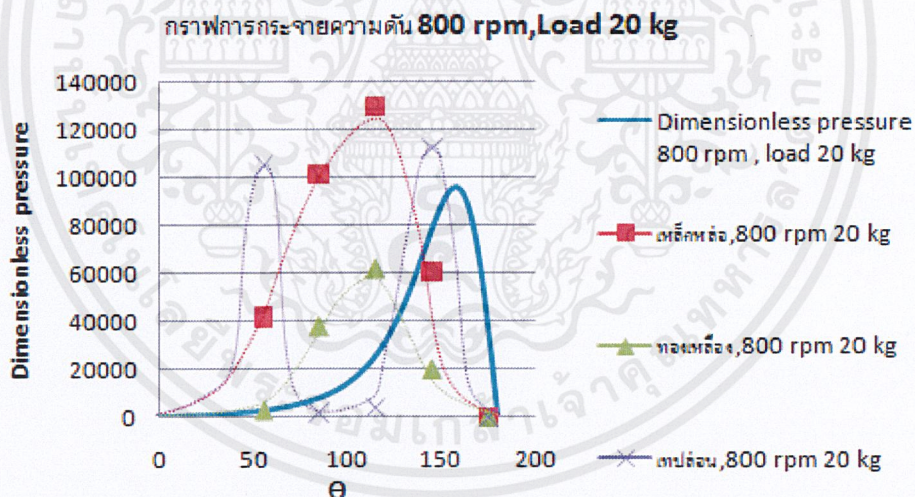
วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	1000	29000	100000	48000	0
ทองเหลือง	1000	28000	90000	25000	0
เทปลอน	220000	1000	1000	200000	0

ตารางที่ 6-9 แสดงผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm น้ำหนัก 20 kg

วัสดุการรองรับ	ความดันจุด ที่ 1(Pa)	ความดันจุดที่ 2(Pa)	ความดันจุดที่ 3(Pa)	ความดันจุดที่ 4(Pa)	ความดันจุดที่ 5(Pa)
เหล็กหล่อ	1000	32000	130000	48000	0
ทองเหลือง	1000	32000	110000	25000	0
เทปลอน	230000	1000	1000	210000	0



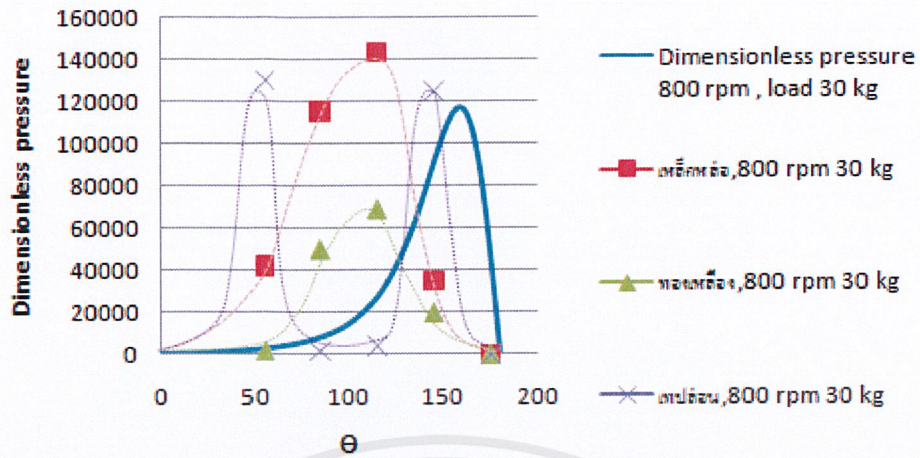
รูปที่ 6-1 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 10 kg



รูปที่ 6-2 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 20 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

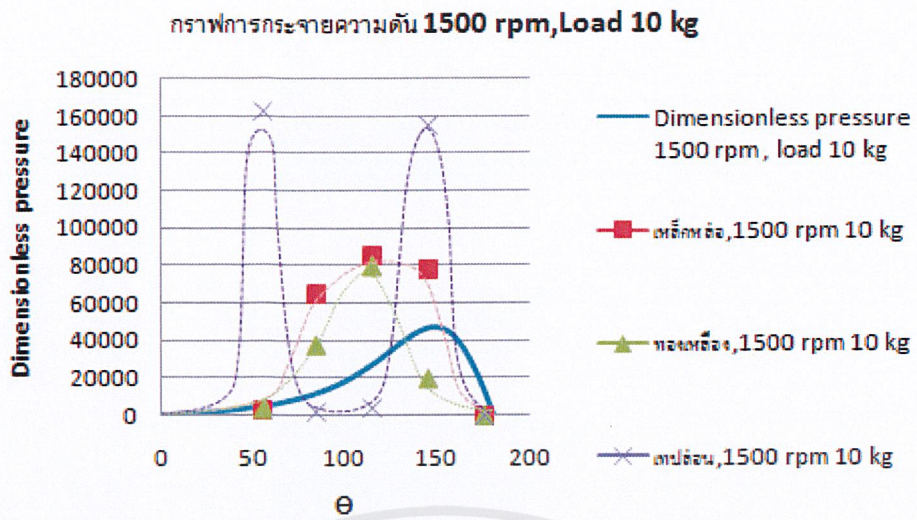
กราฟการกระจายความดัน 800 rpm, Load 30 kg



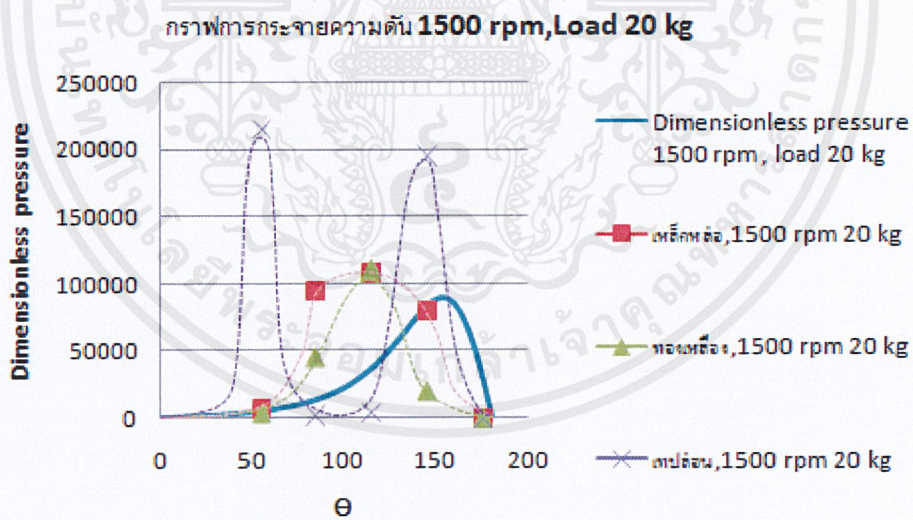
รูปที่ 6-3 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปโลหะ ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 30 kg

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 rpm

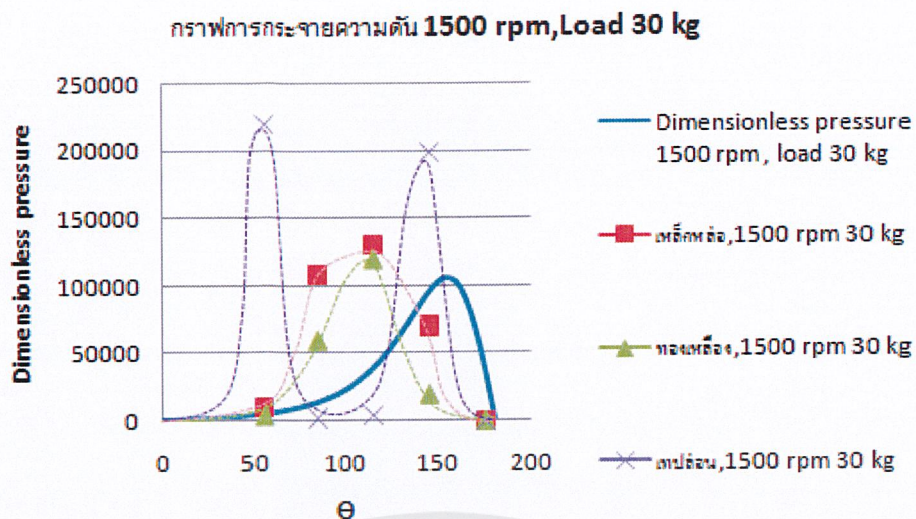
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ความดันที่ได้จะมีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำระยะระหว่างพื้นผิวเพลากับการรองรับมีค่าน้อย เมื่อของไหลเกิดการอัดตัวภายในปริมาตรที่แคบจึงทำให้ความดันเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มภาระจะยิ่งทำให้ของไหลถูกบีบอัดมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ความดันเพิ่มขึ้น โดยทองเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิวและ Elastic modulus ที่ต่ำกว่าจึงทำให้ความดันต่ำกว่าเหล็กหล่อ ส่วนวัสดุเทปโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างพื้นผิว ทำให้บริเวณที่เกิดแรงดันมากขึ้นเปลี่ยนรูปร่างมาก เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างทำให้บริเวณดังกล่าวความดันลดลง และผลของการเปลี่ยนรูปร่างทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสบริเวณใหม่ที่แคบลงแทนที่นั่นคือ จุดที่ 1 และ จุดที่ 5 จึงทำให้ความดันบริเวณนี้สูง



รูปที่ 6-4 กราฟการกระจายความดันในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปสแตน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 10 kg



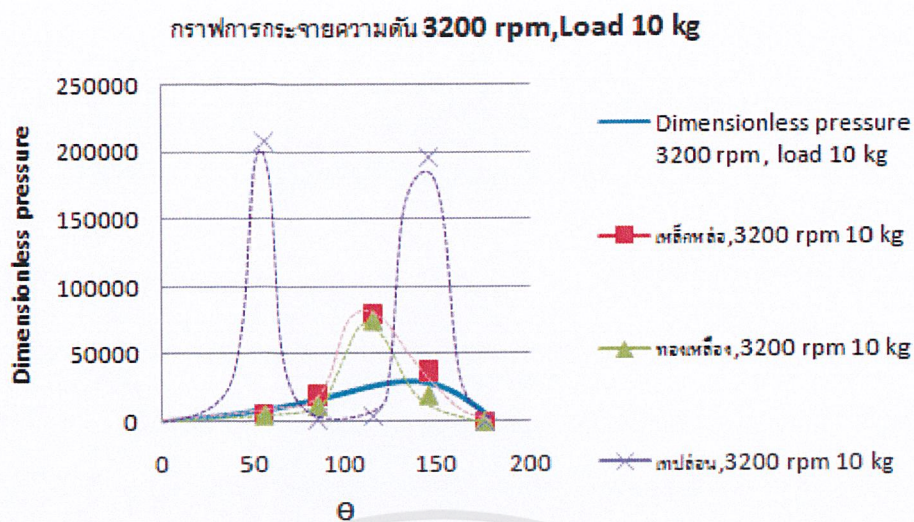
รูปที่ 6-5 กราฟการกระจายความดันในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปสแตน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 20 kg



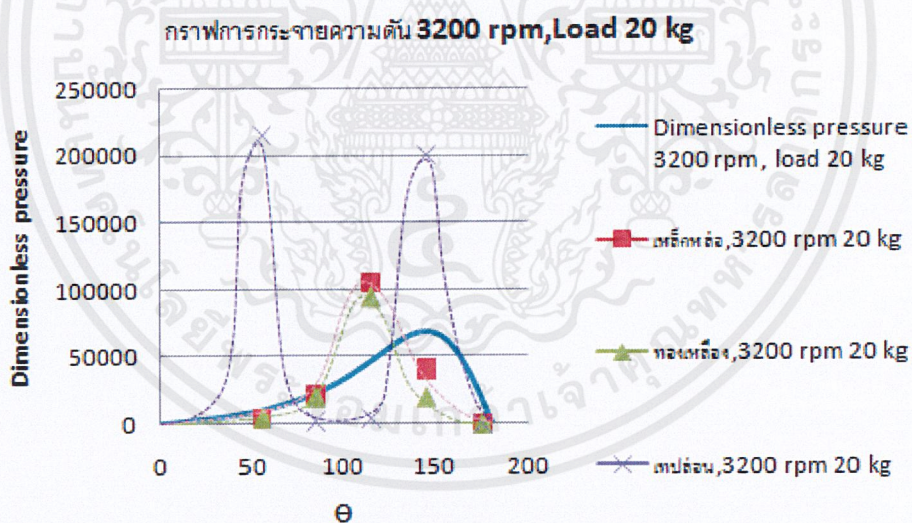
รูปที่ 6-6 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปโลหะ ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 30 kg

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 1500 rpm

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ความดันที่ได้จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้นของไหลภายใน ไหลได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นสามารถสร้างชั้นฟิล์มได้หนาขึ้น ระยะห่างระหว่างผิวเพลากับการรองรับเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาตรภายในเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นความดันของของไหลจึงลดลง โดยทองเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิวและ Elastic modulus ที่ต่ำกว่าจึงทำให้ความดันต่ำกว่าเหล็กหล่อ ส่วนวัสดุเทปโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างพื้นผิว ทำให้บริเวณที่เกิดแรงดันมากนั้นเปลี่ยนรูปร่างมาก เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างทำให้บริเวณดังกล่าวความดันลดลง และผลของการเปลี่ยนรูปร่างทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสบริเวณใหม่ที่แคบลงแทนที่นั่นคือ จุดที่ 1 และ จุดที่ 5 จึงทำให้ความดันบริเวณนี้สูง

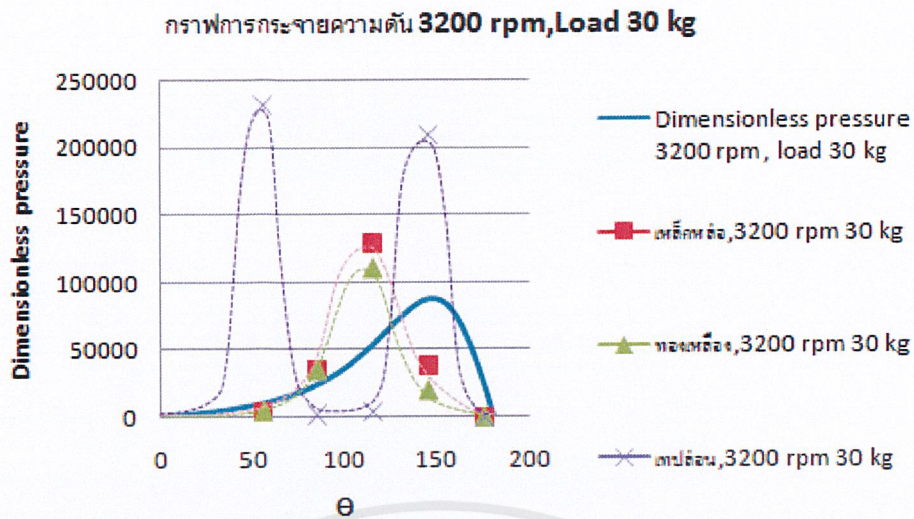


รูปที่ 6-7 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 10 kg



รูปที่ 6-8 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 20 kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

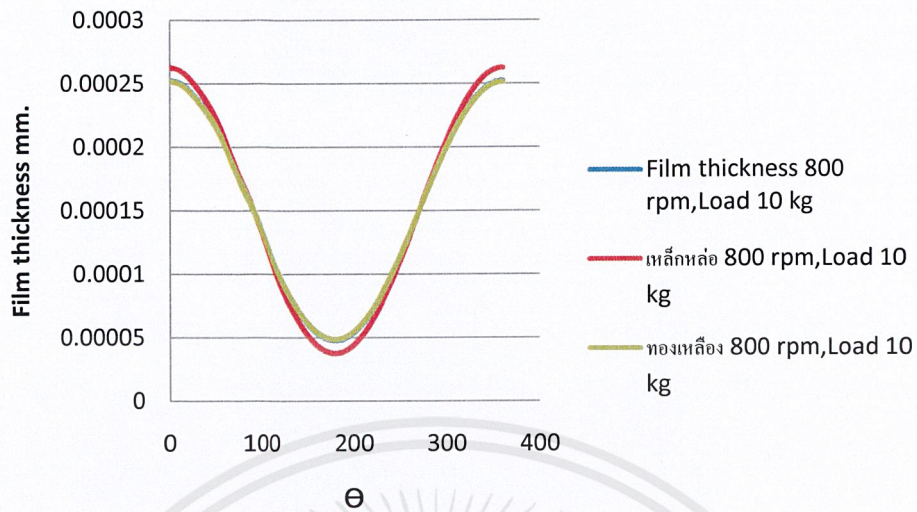


รูปที่ 6-9 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปอลูมิเนียม ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 30 kg

วิเคราะห์ผลการทดลองที่ความเร็วรอบ 3200 rpm

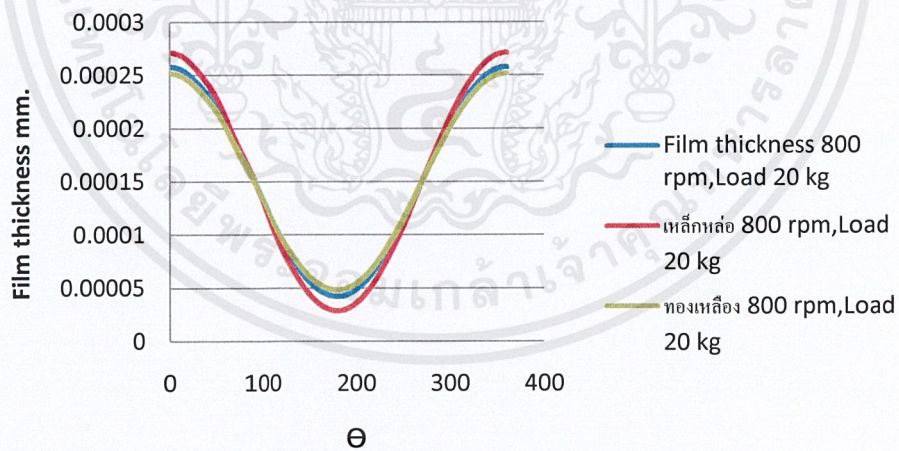
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ความดันที่ได้จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้นของไหลภายใน ไหลได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นสามารถสร้างชั้นฟิล์มได้หนาขึ้น ระยะห่างระหว่างผิวเพลากับการรองรับเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาตรภายในเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นความดันของของไหลจึงลดลง โดยทองเหลืองมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิวและ Elastic modulus ที่ต่ำกว่าจึงทำให้ความดันต่ำกว่าเหล็กหล่อ ส่วนวัสดุเทปอลูมิเนียมเกิดการเปลี่ยนรูปร่างพื้นผิว ทำให้บริเวณที่เกิดแรงดันมากนั้นเปลี่ยนรูปร่างมาก เมื่อมีการเปลี่ยนรูปร่างทำให้บริเวณดังกล่าวความดันลดลง และผลของการเปลี่ยนรูปร่างทำให้เกิดพื้นที่สัมผัสบริเวณใหม่ที่แคบลงแทนนั้นคือ จุดที่ 1 และ จุดที่ 5 จึงทำให้ความดันบริเวณนี้สูง

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



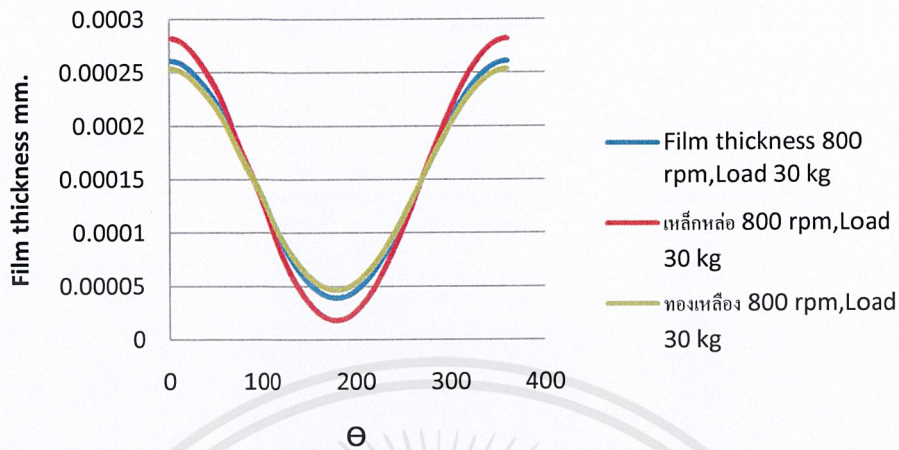
รูปที่ 6-10 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 10 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



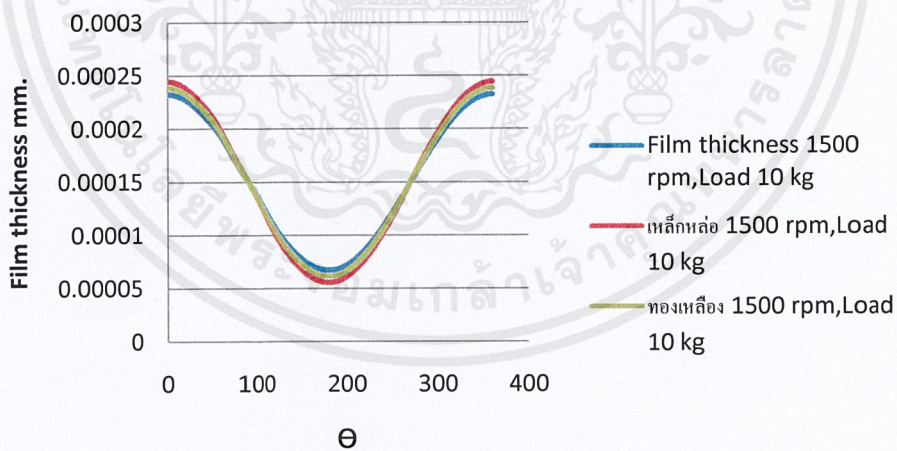
รูปที่ 6-11 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 20 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



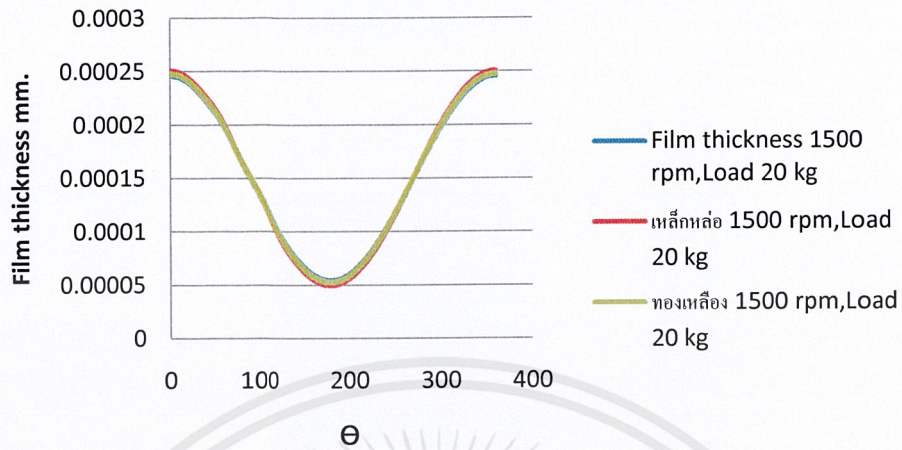
รูปที่ 6-12 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 800 rpm ภาระ 30 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



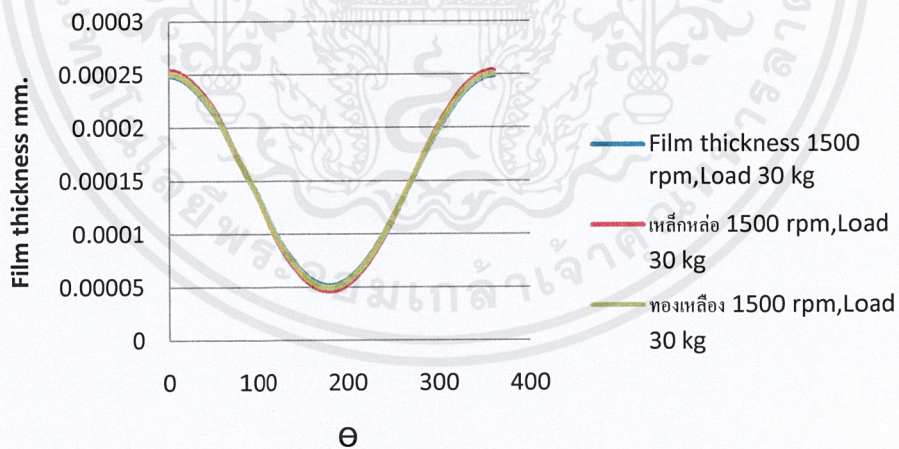
รูปที่ 6-13 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 10 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ **Minimum Film thickness**



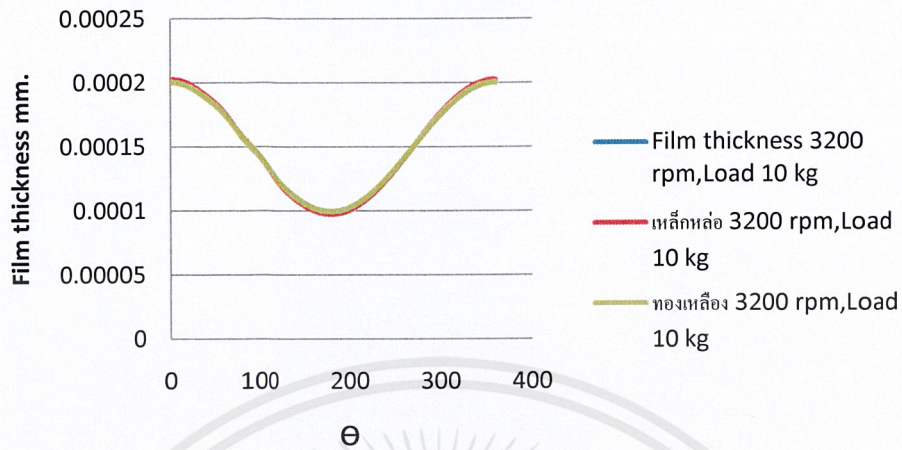
รูปที่ 6-14 กราฟแสดงแนวโน้มของ **Minimum Film thickness** ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 20 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ **Minimum Film thickness**



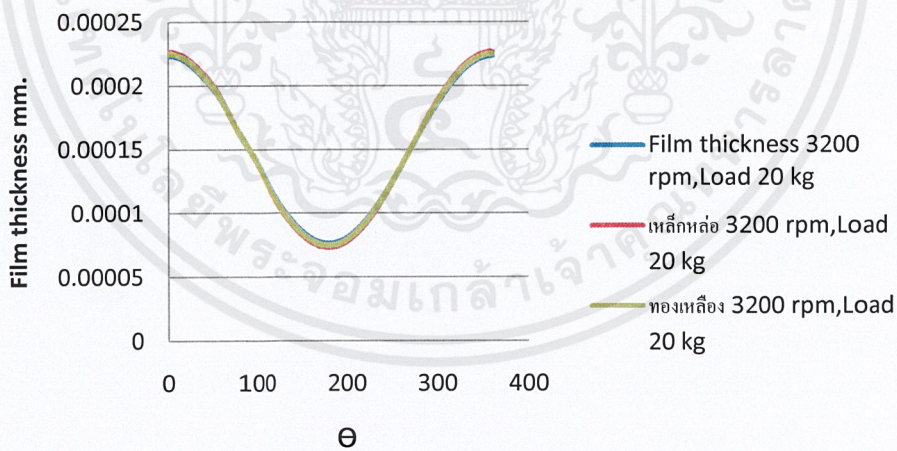
รูปที่ 6-15 กราฟแสดงแนวโน้มของ **Minimum Film thickness** ในกาบรองลื่นของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ภาระ 30 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



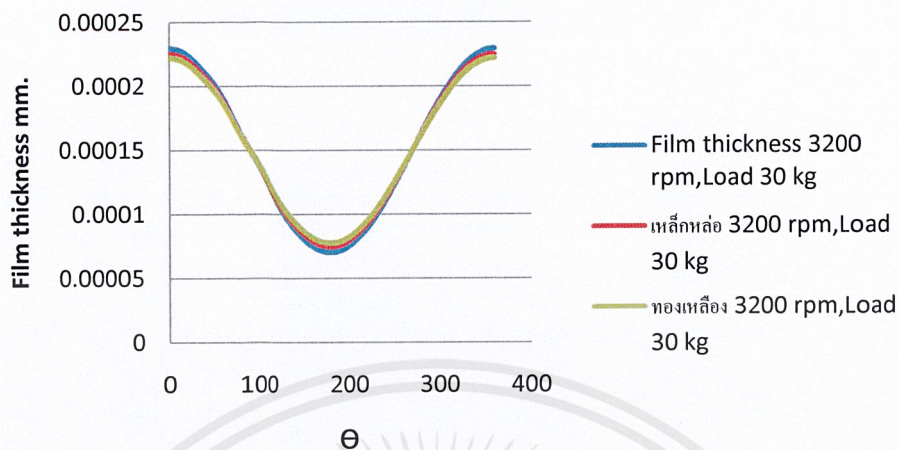
รูปที่ 6-16 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 10 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness



รูปที่ 6-17 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดินของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 20 kg

กราฟแสดงแนวโน้มของ **Minimum Film thickness**



รูปที่ 6-18 กราฟแสดงแนวโน้มของ Minimum Film thickness ในกาบรองดิน
ของวัสดุ เหล็กหล่อ ทองเหลือง และเทปลอน ที่ความเร็วรอบ 3200 rpm ภาระ 30 kg

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกค่าที่ทำการทดลองและกราฟข้อมูลที่ได้สำหรับกาบรองลื่นแบบต่างๆ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลได้ดังนี้

1. ค่าความดันสูงสุดในกาบรองลื่นจะอยู่ในตำแหน่ง ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่มีค่าความหนาฟิล์มน้อยที่สุด
2. การเพิ่มความเร็วยรอบของเพลลาที่ภาระขนาดหนึ่งๆ ความดันของน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เพราะความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้น
3. ในสภาวะที่มีภาระสูงขึ้น ความดันของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น
4. ในสภาวะที่มีภาระสูงขึ้น ความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุดมีค่าลดลง
5. PTFE เกิดการเปลี่ยนรูปร่างทำให้ Contact area และ ความหนาฟิล์มเปลี่ยนเป็นผลทำให้ Film Pressure เปลี่ยนไปมาก

ข้อเสนอแนะ

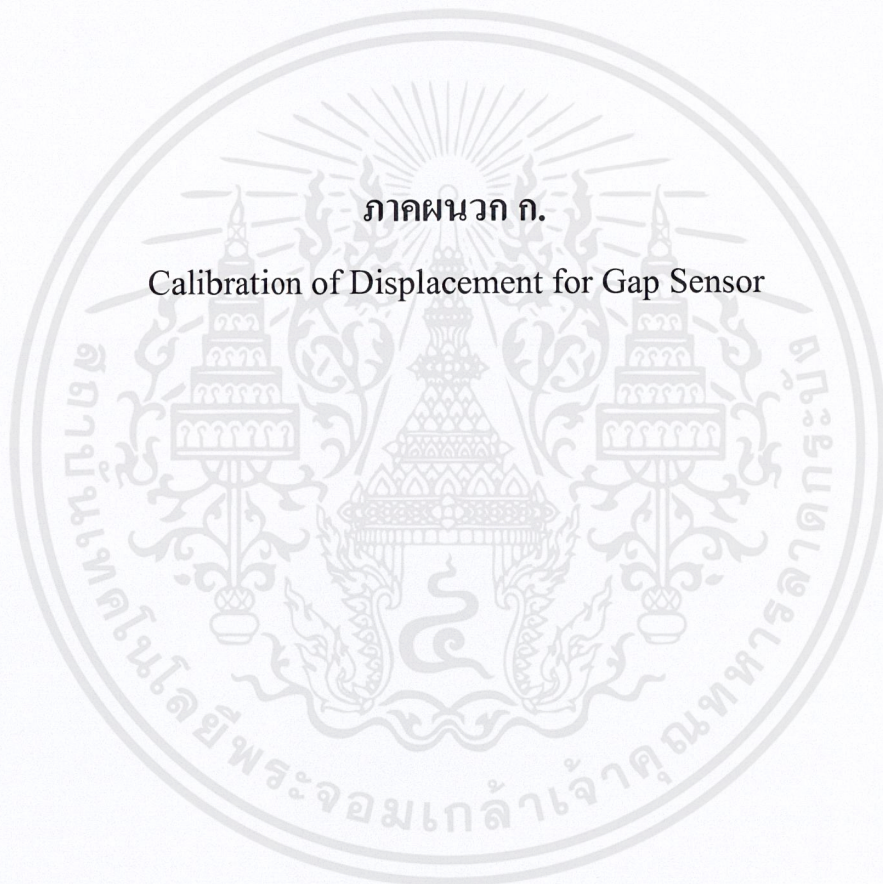
1. การติดตั้งอุปกรณ์การวัด ควรจะติดตั้งให้ละเอียดมากกว่านี้ เพื่อที่จะสามารถเก็บค่าต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เพราะในการทดลองจริงจุดบางจุดบนกาบรองลื่นอาจมีความดันที่สูงหรือต่ำไม่เท่ากับความดันทางทฤษฎี
2. การศึกษาในครั้งต่อไป ควรจะใช้วัสดุที่ใช้ทำกาบรองลื่น ให้มีความหลากหลายมากกว่านี้
3. การเปลี่ยนรอบของ AC มอเตอร์ ควรจะใช้ INVERTER เพื่อให้กำหนดความเร็วรอบรวมถึงได้ความเร็วรอบที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว
4. ควรมีการเลือกใช้สารหล่อลื่น ให้มีความหลากหลายเพื่อศึกษาถึงสภาวะต่างๆ ของกาบรองลื่น

บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์และศ.ดร.อิโรมุ่ ฮาจิโมโตะ (2536), ทฤษฎีการหล่อลื่น ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] Nacer Tala-Ighil, Michel Fillon , Patrick Maspeyrot, Effect of textured area on the performances of a hydrodynamic journal bearing , Tribology International 44 (2011) Page 211-219
- [3] Bekir Sadik, Enver Atik , Sinan Koksai, Tribological properties of polymer-based journal bearings, Materials and Design 30 (2009) Page 2618–2622
- [4] Masato Tanaka, Journal bearing performance under starved lubrication, Tribology International 33 (2000) Page 259-264
- [5] Bernard J. Hamrock Fundamentals of Fluid Film Lubrication, 1994 (McGraw-Hill series - in Mechanical Engineering)

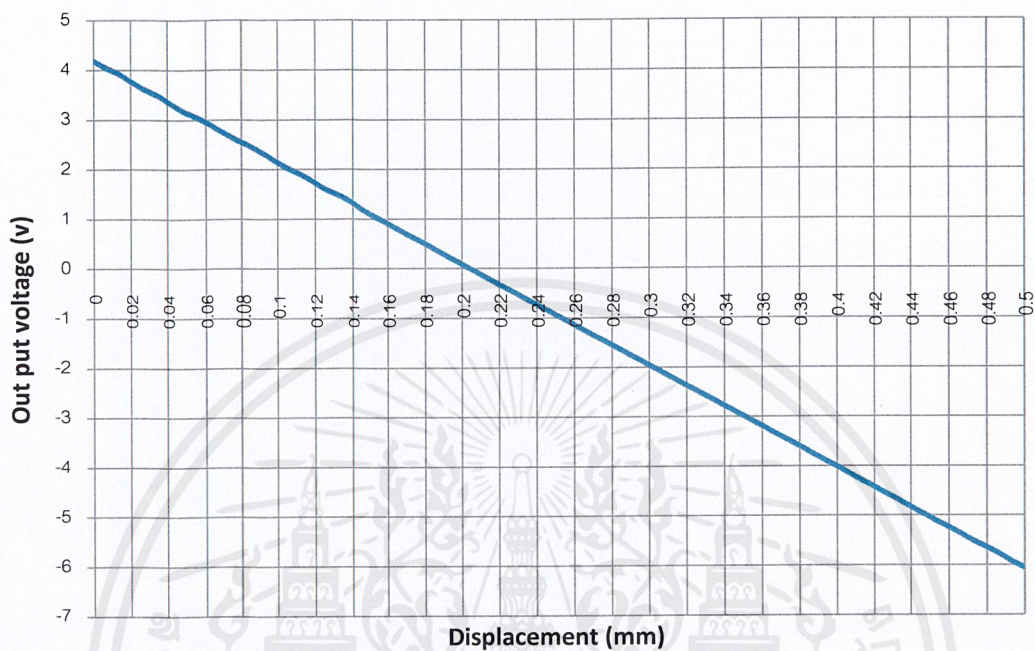


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง **Out put (Voltage)** กับระยะกระจัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

Pressure Sensor technical specification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical specifications

Operating principle	
Measuring range < 1 bar	Piezoresistive with stainless steel diaphragm
Measuring range ≥ 1 bar	Piezoresistive with ceramic diaphragm

Input		
Input measured variable	Input relative and absolute pressure	
<i>a) Measuring range for relative pressure</i>	<i>Perm. operating pressure</i>	<i>Burst pressure</i>
• 0 ... 100 mbar g	-0,6 ... 0.6 bar g	1 bar g
• 0 ... 160 mbar g	-0,6 ... 0.6 bar g	1 bar g
• 0 ... 250 mbar g	-1 ... 1 bar g	1.7 bar g
• 0 ... 400 mbar g	-1 ... 1 bar g	1.7 bar g
• 0 ... 600 mbar g	-1 ... 3 bar g	5 bar g
• 0 ... 1 bar g	-0,4 ... 2 bar g	5 bar g
• 0 ... 1.6 bar g	-0,4 ... 3.2 bar g	5 bar g
• 0 ... 2.5 bar g	-0,8 ... 5 bar g	12 bar g
• 0 ... 4 bar g	-0,8 ... 8 bar g	12 bar g
• 0 ... 6 bar g	-1 ... 12 bar g	25 bar g
• 0 ... 10 bar g	-1 ... 20 bar g	50 bar g
• 0 ... 16 bar g	-1 ... 32 bar g	50 bar g
• 0 ... 25 bar g	-1 ... 50 bar g	120 bar g
• 0 ... 40 bar g	-1 ... 80 bar g	120 bar g
• 0 ... 60 bar g	-1 ... 120 bar g	250 bar g
• 0 ... 100 bar g	-1 ... 200 bar g	450 bar g
• 0 ... 160 bar g	-1 ... 320 bar g	450 bar g
• 0 ... 250 bar g	-1 ... 500 bar g	650 bar g
• 0 ... 400 bar g	-1 ... 600 bar g	650 bar g
<i>b) Measuring ranges for relative pressure (only for US market)</i>	<i>Perm. operating pressure</i>	<i>Burst pressure</i>
• 0 ... 10 psi g	-3 ... 20 psi g	60 psi g
• 0 ... 15 psi g	-5,8 ... 30 psi g	72 psi g
• 3 ... 15 psi g	-5,8 ... 30 psi g	72 psi g

This document constitutes a free excerpt compiled by the user himself/herself from the documentation provided by Siemens for this product. Siemens disclaims all liability for the completeness of this document. It shall only be used for the user's own internal purposes. It shall not be passed on to third parties. The complete documentation can be found at:

<https://www.automation.siemens.com/mdm/default.aspx?DocVersionId=10178278539&Language=en-US&TopicId=9840691979> 12/3/2010

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input		
• 0 ... 20 psi g	-5,8 ... 40 psi g	72 psi g
• 0 ... 30 psi g	-5,8 ... 60 psi g	72 psi g
• 0 ... 60 psi g	-11,5 ... 120 psi g	175 psi g
• 0 ... 100 psi g	-14,5 ... 200 psi g	360 psi g
• 0 ... 150 psi g	-14,5 ... 300 psi g	725 psi g
• 0 ... 200 psi g	-14,5 ... 400 psi g	725 psi g
• 0 ... 300 psi g	-14,5 ... 600 psi g	1750 psi g
• 0 ... 500 psi g	-14,5 ... 1000 psi g	1750 psi g
• 0 ... 750 psi g	-14,5 ... 1500 psi g	3600 psi g
• 0 ... 1000 psi g	-14,5 ... 2000 psi g	3600 psi g
• 0 ... 1500 psi g	-14,5 ... 3000 psi g	6525 psi g
• 0 ... 2000 psi g	-14,5 ... 4000 psi g	6525 psi g
• 0 ... 3000 psi g	-14,5 ... 6000 psi g	9425 psi g
• 0 ... 5000 psi g	-14,5 ... 8700 psi g	9425 psi g
• 0 ... 6000 psi g	-14,5 ... 8700 psi g	9425 psi g
<i>c) Measuring ranges for absolute pressure (only for US market)</i>	<i>Perm. operating pressure</i>	<i>Burst pressure</i>
• 0 ... 10 psi a	0 ... 20 psi a	60 psi a
• 0 ... 15 psi a	0 ... 30 psi a	72 psi a
• 0 ... 20 psi a	0 ... 40 psi a	72 psi a
• 0 ... 30 psi a	0 ... 60 psi a	72 psi a
• 0 ... 60 psi a	0 ... 120 psi a	175 psi a
• 0 ... 100 psi a	0 ... 200 psi a	360 psi a
• 0 ... 150 psi a	0 ... 300 psi a	725 psi a
• 0 ... 200 psi a	0 ... 400 psi a	725 psi a
• 0 ... 300 psi a	0 ... 600 psi a	1750 psi a
<i>d) Measuring range for absolute pressure</i>	<i>Perm. operating pressure</i>	<i>Burst pressure</i>
• 0 ... 600 mbar a	0 ... 3 bar a	5 bar a
• 0 ... 1 bar a	0 ... 2 bar a	5 bar a
• 0 ... 1.6 bar a	0 ... 3.2 bar a	5 bar a
• 0 ... 2.5 bar a	0 ... 5 bar a	12 bar a
• 0 ... 4 bar a	0 ... 8 bar a	12 bar a

This document constitutes a free excerpt compiled by the user himself/herself from the documentation provided by Siemens for this product. Siemens disclaims all liability for the completeness of this document. It shall only be used for the user's own internal purposes. It shall not be passed on to third parties. The complete documentation can be found at:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input		
• 0 ... 6 bar a	0 ... 12 bar a	25 bar a
• 0 ... 10 bar a	0 ... 20 bar a	50 bar a
• 0 ... 16 bar a	0 ... 32 bar a	50 bar a

Output	
<i>Current signal</i>	4 ... 20 mA
• Load	$(U_H - 10 \text{ V})/0.02 \text{ A}$
• Auxiliary power U_H	DC 10 ... 36 V (10 ... 30 V for Ex)
<i>Voltage signal</i>	DC 0 ... 10 V
• Load	$\geq 10 \text{ k}\Omega$
• Auxiliary power U_H	DC 15 ... 36 V
• Power consumption	$< 7 \text{ mA}$ at $10 \text{ k}\Omega$
<i>Characteristic</i>	Linear rising

Measuring accuracy	
Error in measurement at 25 °C (77 °F), including conformity error, hysteresis and repeatability	<ul style="list-style-type: none"> • Typical: 0.25 % of full scale value • Maximum: 0,5 % of full scale value
Setting time T_{99}	$< 0.1 \text{ s}$
<i>Long-term drift</i>	
• Lower range value and measuring span	0.25 % of full scale value/year
<i>Ambient temperature influence</i>	
• Lower range value and measuring span	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 %/10 K of full scale value • 0.5 %/10 K of full scale value for a measuring range of 100 to 400 mbar
• Influence of vibration (per IEC 60068-2-6)	0.005 %/g to 500 Hz in all directions
• Power supply influence	0.005 %/V
<i>Operating conditions</i>	
• Process temperature	-30 to +120 °C (-22 to +248 °F)
• Ambient temperature	-25 to +85 °C (-13 to +185 °F)
• Storage temperature	-50 to +100 °C (-58 to +212 °F)

This document constitutes a free excerpt compiled by the user himself/herself from the documentation provided by Siemens for this product. Siemens disclaims all liability for the completeness of this document. It shall only be used for the user's own internal purposes. It shall not be passed on to third parties. The complete documentation can be found at:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measuring accuracy	
<ul style="list-style-type: none"> Degree of protection (as per EN 60529) 	<ul style="list-style-type: none"> IP65 with plug per EN 175301-803-A IP67 with plug M12 IP68 with cable
<i>Electromagnetic compatibility per EN 61326; NAMUR NE 21</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Measurement error 	≤ 1 % of full scale value. Cable screen is not connected to ground connection.
Design	
Weight	Approx. 0,25 kg (0.55 lb)
Process connections	<u>Dimension Drawings</u>
Electrical connections	<ul style="list-style-type: none"> Plug per EN 175301-803-A form A with cable inlet M16x1.5 or ½-14NPT or Pg 11 Plug M12 (mating connector as option) 2- or 3-wire (0.5 mm²) screened lead (∅ 8.3 mm) with vent pipe
<i>Material of the wetted parts</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Measuring cell 	Al ₂ O ₃ - 96 % or stainless steel (SST 316 L)
<ul style="list-style-type: none"> Process connection 	Stainless steel, mat. no. 1.4571 (SST 316 Ti)
<ul style="list-style-type: none"> Sealing ring 	<ul style="list-style-type: none"> FPM -15 ... +125 °C (+5 ... +257 °F) Neoprene -35 ... +100 °C; < 100 bar (-31 ... +212 °F; < 1450 psi) Perbunan -20 ... +100 °C (-4 ... +212 °F) EPDM -40 ... +145 °C; < 100 bar (-40 ... +293 °F; < 1450 psi) usable for drinking water
<i>Material of parts not in contact with the medium</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Housing 	Stainless steel, mat. no. 1.4571 (SST 316 Ti)
<ul style="list-style-type: none"> Connector housing 	<ul style="list-style-type: none"> Plastic (plug per EN 175301-803-A) CuZn, nickel-plated (plug M12)
<ul style="list-style-type: none"> Cable 	<ul style="list-style-type: none"> PE

Certificates and approvals	
Classification according to Pressure Equipment Directive (PED 97/23/EC)	For gases of fluid group 1 and liquids of fluid group 1; fulfills the requirements according to article 3, paragraph 3 (good engineering practice)
Explosion protection	
<ul style="list-style-type: none"> Intrinsic safety "i" (with current output only) 	Ex II 1/2 G Ex ia IIC T4

This document constitutes a free excerpt compiled by the user himself/herself from the documentation provided by Siemens for this product. Siemens disclaims all liability for the completeness of this document. It shall only be used for the user's own internal purposes. It shall not be passed on to third parties. The complete documentation can be found at:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Certificates and approvals	
• EC type examination certificate	TÜV 02 ATEX 1953 X (E1, E2)
• Connection to certified intrinsically safe circuits with maximum values	$U_i = DC 30 DC$; $I_i = 100 mA$; $P_i = 0.75 W$
• Effective internal inductance and capacity for versions with plugs per EN 175301-803-A and M12	$L_i = 2.2 nH$; $C_i = 4.9 nF$
• Effective internal inductance and capacity for version with cable	$L_i = 2.2 nH + 1.5 \mu H/m$; $C_i = 4.9 nF + 0.25 nF/m$
Lloyds Register of Shipping (LR)	05/20049(E1)
Germanischer Lloyds Register of Shipping (GL)	33 229-06 HH
American Bureau of Shipping (ABS)	06-HG205130-PDA
Bureau Veritas (BV)	19113/A0 BV
Det Norske Veritas (DNV)	A -10351
Drinking water approval (ACS)	07 ACC NY 195

This document constitutes a free excerpt compiled by the user himself/herself from the documentation provided by Siemens for this product. Siemens disclaims all liability for the completeness of this document. It shall only be used for the user's own internal purposes. It shall not be passed on to third parties. The complete documentation can be found at:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้