



เรื่อง การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชของแบร็ริงเพลากลม

Performance Characteristic of Journal bearing with vegetable-based oils



นาย พุทธชัย แสงวิโรจน์
นาย ศักรินทร์ มัณยานนท์
นาย สันติพงษ์ กาซิม
นาย อนุรักษ์ จิตจรูญ

เลขหม.....
เลขทะเบียน... 42460
วัน, เดือน, ปี... 23 พ.ค. 2545

บ.....
ก.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บ11 2009124

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชของแบร็ริงเพลากลม
Performance Characteristic of Journal bearing with vegetable-based oils



โดย

นายพุทธชัย แสงวิโรจน์

นายศักรินทร์ มัณยานนท์

นายสันติพงษ์ กาเซ็ม

นายอนุรักษ์ จิตจรูญ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชของแบริ่งเพลลาทอม

Performance Characteristic of Journal bearing with vegetable-based oils

ผู้จัดทำ

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. นายพุทธชัย แสงวิโรจน์ | รหัสประจำตัว 41013486 |
| 2. นายศักรินทร์ มัณยานนท์ | รหัสประจำตัว 41013487 |
| 3. นายสันติพงษ์ กาเทียม | รหัสประจำตัว 41013489 |
| 4. นายอนุรักษ์ จิตจรูญ | รหัสประจำตัว 41013493 |



อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชของเบร็ริงเพลากลม

นายพุทธชัย แสงวีโรจน์ 41013486

นายศักรินทร์ มัณยานนท์ 41013487

นายสันติพงษ์ กาเซ็ม 41013489

นายอนุรักษ์ จิตจรูญ 41013493

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นรายงานการศึกษาและทดลองหาสมรรถนะของการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชในเบร็ริงเพลากลม โดยการศึกษาและทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาแบบจำลองและการทดลองเบร็ริงเพลากลม โดยน้ำมันพืชที่ใช้ในการศึกษาและทดลองจะใช้น้ำมันปาล์มที่รวมสารปรุงแต่งเพิ่มคุณสมบัติจากการหาพฤติกรรมการไหลจะพบว่าน้ำมันปาล์มเป็นของไหล นอน-นิวโทเนียน ในส่วนของการศึกษาแบบจำลองจะใช้สมการ โมดิฟายเร โนลด์เป็นสมการหลักในการศึกษาหาพฤติกรรมสถิตย์โดยอาศัยการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์เชิงตัวเลข การวิเคราะห์หน่วยไร้มิติ และวิธีผลต่างจำกัด ในส่วนของการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าพฤติกรรมสถิตย์ที่การบรอลื่นเพลากลม คือเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความดัน และความหนาฟิล์มน้ำมัน ที่ความเร็วรอบของเพลลา และภาวะที่กระทำต่าง ๆ ซึ่งสุดท้ายจะนำผลจากการคำนวณและการทดลองมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

Performance Characteristic of Journal bearing with vegetable-based oils

Mr.Puttachai Sangviroje

Mr.Sakkarin Manyanon

Mr.Santipong Kaseam

Mr.Anurak Jitjaroon

Assoc. Prof. Dr.Mongkol Mongkolwongrojh Advisor

ABSTRACT

This paper presented the theoretical and experiment characteristic of lubrication by using vegetable-base oil in journal bearing. This research is divided in two parts. The first part is to study the model theoretically and experiment with journal bearing by used vegetable oil. Used Palm- base oil. The power law model was developed and the modified Reynolds equation was formulated with non-Newtonian Palm-base oil. Computer program was developed to calculate static characteristic of Journal bearings. The second part is the setting up experiment to obtain pressure distribution temperature distribution and oil film distributions in the journal bearings. Experimental results are compared with the theoretical results.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และ แนะนำให้คำปรึกษาในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องการแก้ปัญหา การให้ความดูแลเอาใจใส่ และต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยให้ความดูแลเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา และปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีอาจสำเร็จลงได้ถ้าหากขาด พี่ประภัทร พี่เกษม พี่เงาะ และพี่หญิง ที่ให้ความช่วยเหลือและดูแลในด้านการเขียนโปรแกรม และการสร้างอุปกรณ์การทดลอง สุดท้ายขอขอบคุณพี่มณฑา และไก่ ในด้านการให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักรพร้อมทั้งคำแนะนำต่างๆในการปฏิบัติงานในโรงงาน

นายพุทธชัย แสงวิโรจน์

นายศักรินทร์ มัณยานนท์

นายสันติพงษ์ กาเซ็ม

นายอนุรักษ์ จิตจรูญ

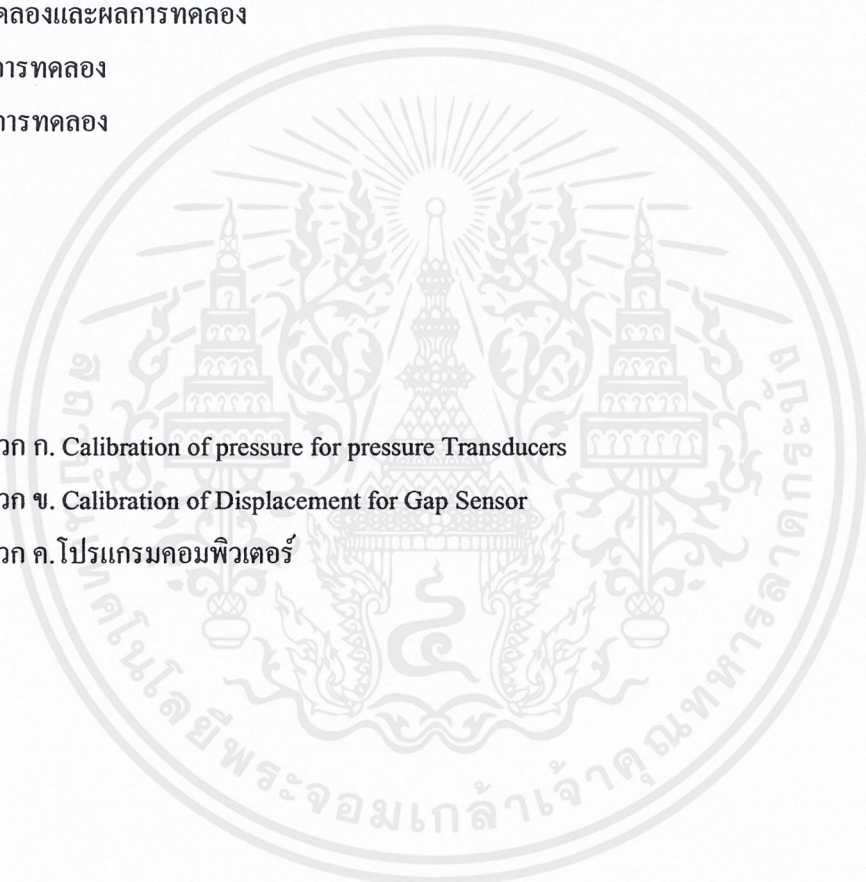
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 สารหล่อลื่น	3
2.1 หน้าที่ของสารหล่อลื่น	3
2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่น	3
2.3 ชนิดของการหล่อลื่น	4
2.4 ประเภทของสารหล่อลื่น	5
2.5 สารเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น	7
2.6 ลักษณะทางเรขาคณิตของแบร์ริงเพลากลม	8
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมสถิตของสารหล่อลื่นสำหรับกาบรองลื่นเพลากลม	10
3.1 สมการเรโนลด์์ในทฤษฎีการหล่อลื่นสำหรับของไหล นอนนิวโทเนียน	10
3.2 สมการ โมดิฟายเรโนลด์์สำหรับของไหลนอนนิวโทเนียน	16
3.3 สมการ โมดิฟายเรโนลด์์สำหรับ Power law Model	19
3.4 การวิเคราะห์หน่วยไร้มิติ	21
3.5 การวิเคราะห์กาบรองลื่นเพลากลมด้วยวิธีผลต่างจำกัด	22
บทที่ 4 คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ในการหล่อลื่น	24
4.1 เคมีอินทรีย์ของน้ำมันพืช	24
4.2 การเกิดการเหม็นหืน	24
4.3 การศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันพืช	24
4.4 พฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียนชนิดไคลลาแทน	29
4.5 การคำนวณการกระจายแรงดัน โดยอาศัยแบบจำลอง	29
บทที่ 5 เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1	หลักการทดลองหาพฤติกรรมสถิตย์ของน้ำมันพืช	31
5.2	เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
	กาบรองลื่น	31
	เพลลา	32
	อุปกรณ์วัดความดัน	32
	อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน	36
	มอเตอร์	38
บทที่ 6	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	46
6.1	วิธีการทดลอง	46
6.2	ผลการทดลอง	46
บทที่ 7	สรุป	65
เอกสารอ้างอิง		66
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก. Calibration of pressure for pressure Transducers	68
	ภาคผนวก ข. Calibration of Displacement for Gap Sensor	75
	ภาคผนวก ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์	77



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
4-1	แสดงค่าคำตอบของ Power law model ของน้ำมันปาล์ม +PIB4%+น้ำมันซลิโคน 2 PPM	26
4-2	แสดงค่าคำตอบของ Power law model ของน้ำมันปาล์ม +OCP4%+น้ำมันซลิโคน 2 PPM	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้าที่
2-1	แสดงชนิดของการหล่อลื่น	4
2-2	แสดงการเปลี่ยนรูปของสารหล่อลื่นนิวทอเนียนเมื่อถูกแรงเฉือนกระทำ	5
2-3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นนิวทอเนียน	6
2-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ	7
2-5	แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม	8
3-2	แสดงแรงที่กระทำต่อสารหล่อลื่นตามแนงแกน	11
3-3	แสดงความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นในกาบรองลื่น	15
3-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress และ Shear rate	20
4-1	แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Concentric Rotational Viscometer)	24
4-2	กราฟแสดงผลการทดลองของน้ำมันปาล์ม+PIB4%+น้ำมันซิลิโคน 2 PPM	26
4-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ น้ำมันปาล์ม +PIB 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 PPM	27
4-4	กราฟแสดงผลการทดลองของน้ำมันปาล์ม+OCP4%+น้ำมันซิลิโคน 2 PPM	28
4-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิ น้ำมันปาล์ม +OCP 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 PPM	28
4-6	แสดงการเกิดพฤติกรรมการไหลแบบไคลลาแทน	29
4-7	แสดงแผนผังลำดับการคำนวณการกระจายความดันไร้มิติ	30
5-1	ไดอะแกรมแสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
5-2	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนกาบรองลื่น	31
5-3	แสดงลักษณะของเพลลา	31
5-4	แสดงลักษณะขดลวดต้านทาน	32
5-5	แสดงการเกิดความเครียดบนแผ่นกลม	33
5-6	แสดงวิธีติดตั้ง Strain gage	33
5-7	แสดงอุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transducer) พร้อมแสดงการติดตั้ง Strain gage	34
5-8	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความเครียด	34
5-9	แสดงอุปกรณ์วัดค่าความเครียด	35
5-10	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับระยะกระจัด	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-11	แสดงวงจรสำหรับ Gap sensor	37
5-12	แสดงอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์	38
5-13	แสดงการประกอบกาบรองลื่นเพลากลมและติดตั้งอุปกรณ์การวัด	38
5-14	แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองพร้อมมอเตอร์	39
5-15	แสดงการปล่อยน้ำมันหล่อลื่นเข้ากาบรองลื่นเพลากลม	39
5-16	แสดงส่วนต่อจากปลอกแขวนกาบรองลื่นเข้ากับชุดแขวนน้ำหนัก	40
5-17	แสดงการแขวนน้ำหนัก	40
5-18	แสดงการปล่อยน้ำมันลงกาบรองลื่นเพลากลม	41
5-19	แสดง Pressure Transducer	41
5-20	แสดงลักษณะของกาบรองลื่น	42
5-21	แสดงลักษณะของเพล	42
5-22	แสดงเครื่องวัดสัญญาณ ไฟฟ้า	43
5-23	แสดงการวัดสัญญาณความหนาฟิล์มน้ำมัน	43
5-24	แสดง Switching & Balancing Box	44
5-25	แสดงอุปกรณ์ปรับรอบมอเตอร์	44
6-1	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 200 \text{ rpm}$. ภาระ 5 kg.	47
6-2	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 600 \text{ rpm}$. ภาระ 5 kg.	47
6-3	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 1000 \text{ rpm}$. ภาระ 5 kg.	48
6-4	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 200 \text{ rpm}$. ภาระ 10 kg.	48
6-5	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 600 \text{ rpm}$. ภาระ 10 kg.	49
6-6	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 1000 \text{ rpm}$. ภาระ 10 kg.	49
6-7	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 200 \text{ rpm}$. ภาระ 15 kg.	50
6-8	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 600 \text{ rpm}$. ภาระ 15 kg.	50
6-9	กราฟการกระจายความดันในการรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันซิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08 \text{ mm}$. และ $N = 1000 \text{ rpm}$. ภาระ 15 kg.	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-10	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 5 kg.	51
6-11	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 5kg.	52
6-12	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 5 kg.	52
6-13	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 10 kg.	53
6-14	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 10 kg.	53
6-15	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 10 kg.	54
6-16	รูป กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 15 kg.	54
6-17	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 15 kg.	55
6-18	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม PIB 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 15 kg.	55
6-19	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 5 kg.	56
6-20	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 5 kg.	56
6-21	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 5 kg.	57
6-22	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 10 kg.	57
6-23	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 10 kg.	58
6-24	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 10 kg.	58
6-25	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 15 kg.	59
6-26	กราฟการกระจายความดันในการรอกเส้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันชิลิโคน 2 PPM ที่ $c = 0.08$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 15 kg.	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6-27 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 15 kg. 60
- 6-28 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 5 kg. 60
- 6-29 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 5 kg. 61
- 6-30 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 5 kg. 61
- 6-31 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 10 kg. 62
- 6-32 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 10 kg. 62
- 6-33 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 10 kg. 63
- 6-34 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 200$ rpm. ภาระ 15 kg. 63
- 6-35 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 600$ rpm. ภาระ 15 kg. 64
- 6-36 กราฟการกระจายความดันในการร่อนลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP 4% และน้ำมันซีลีโคน 2 PPM ที่ $c = 0.1$ mm. และ $N = 1000$ rpm. ภาระ 15 kg. 64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากเหตุผลที่ว่าอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วตั้งนั้นเครื่องจักรเครื่องมือกลสมัยใหม่ จึง ได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง เช่นมีความเที่ยงตรงสูง มีความเร็วรอบสูง เป็นต้น ดังนั้นการหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญเพราะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่ขัดสีกันอยู่เสมอจะเกิดแรงเสียดทานและเกิดความร้อนขึ้นจะทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกิดการสึกหรอและเสียหายดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการหล่อลื่นโดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ใช้รองรับ เผลาจำพวกแปริ่งชนิดต่าง ๆ จะต้องมีฟิล์มน้ำมันช่วยในการหล่อลื่นเพื่อลดการสึกหรอและอุณหภูมิการใช้งานของเครื่องจักร เครื่องจักรจึงจะมีความทำงานที่มีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

จากอดีตจนถึงปัจจุบันน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอย่างกว้างขวางส่วนมากจะผลิตมาจากน้ำมันแร่ (Mineral oil) หรือน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oil) และน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic oil) เป็นต้น แต่ในปัจจุบันนิยมใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากปิโตรเลียมกันอย่างมาก อย่างไรก็ตามน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากเนื่องจากยากแก่การทำลายและเสื่อมสลายเองได้ยาก และที่สำคัญอีกประการในสภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบันยังขาดดุลย์ทางการค้ากับประเทศผู้ค้าน้ำมันปิโตรเลียมอยู่มาก

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาหาพฤติกรรมสถิตยของสารหล่อลื่นที่ใช้หล่อลื่นในกาบรอลื่นเพลากลม โดยสารหล่อลื่นที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นน้ำมันพืชที่ผสมสารเพิ่มคุณสมบัติ โดยใช้สารเพิ่มคุณสมบัติชนิด High molecular weight ซึ่งจะทำให้ให้น้ำมันพืชที่มีพฤติกรรมการไหลเป็นของไหลนอน-นิวโทเนียน ซึ่งในปัจจุบันสารหล่อลื่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีพฤติกรรมการไหลเป็นของไหลนอน-นิวโทเนียน ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเพิ่มความหนืด และไม่ให้น้ำมันเกิดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่าย โดยน้ำมันพืชที่ใช้ในการศึกษาจะใช้น้ำมันปาล์ม และใช้สารเติมเพิ่มคุณสมบัติ 2 ชนิดด้วยกันคือสาร โพลีไอโซบิวทีลีน (PIB) และสาร โอลีฟิน โคล โพลีเมอร์ (OCP) โดยการศึกษาพฤติกรรมสถิตย โดยจะทำการศึกษาแบบจำลองและทดสอบจริง เพื่อที่จะได้มาซึ่งผลของพฤติกรรมสถิตยมาเปรียบเทียบกันเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานหล่อลื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มที่ผสมสารเพิ่มคุณสมบัติแต่ละชนิด
- 1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear stress และ Shear rate ของน้ำมันปาล์ม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันที่ใช้น้ำมันปาล์มเป็นสารหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ทำการศึกษาน้ำมันปาล์มที่ผสมสารเพิ่มคุณสมบัติประเภท โพลีเมอร์อันได้แก่โพลีไอโซบิวทีลีน (Polyisobutylene, PIB) และ โอลีฟินโคโพลีเมอร์ (Olefin Copolymer, OCP) ในอัตราส่วน 4% โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งผสมน้ำมันซีลีโคนลงในน้ำมันปาล์ม

1.3.2 ทำการทดสอบหาค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผสมสารเพิ่มคุณสมบัติด้วยเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันปาล์มที่ผสมสารเพิ่มคุณสมบัติแต่ละชนิด

1.3.3 เขียนสมการ โมดิฟายเรโนลด์ส์สำหรับกาบรองลื่นเพลากลมแบบเต็มวง

1.3.5 แก้สมการ โมดิฟายเรโนลด์ส์โดยใช้ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของน้ำมันปาล์มในการหล่อลื่นของกาบรองลื่นเพลากลมแบบเต็มวง

1.3.6 จัดสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1.3.7 ทำการติดตั้งและทดสอบน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นสารหล่อลื่น ในกาบรองลื่นเพลากลมแบบเต็มวง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำผลการศึกษาไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการพัฒนาน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่น ซึ่งถ้าสามารถพัฒนาน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่นได้จะทำให้ลดจำนวนการสั่งซื้อน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศได้ ส่งผลให้การขาดดุลกับประเทศผู้ค้าน้ำมันลดลง

1.4.2 น้ำมันพืชจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันพืชสามารถย่อยสลายเองได้ง่าย

1.4.3 เพิ่มคุณค่าของน้ำมันปาล์ม ส่งเสริมอาชีพเกษตรกร

บทที่ 2

สารหล่อลื่น

2.1 หน้าที่ของสารหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่นำไปหล่อลื่นเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลต่าง ๆ มีประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

2.2.1. ให้การหล่อลื่น คุณภาพของการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่นขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมัน ทั้งนี้ฟิล์มน้ำมันจะทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะหรือวัสดุไม่ให้เสียดสีกันโดยตรง น้ำมันที่ดีต้องรักษาฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นให้สม่ำเสมอหรือคงที่ทุก ๆ อุณหภูมิทำงานเพื่อลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ ทำให้อายุของเครื่องจักรยาวนานขึ้น

2.2.2. ระบายความร้อน เมื่อเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรทำงานจะเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนจะถูกถ่ายเท ไปยังน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันหล่อลื่นจะเป็นตัวระบายความร้อนออกมา ทำให้อุณหภูมิของการทำงานลดน้อยลง

2.2.3. รักษาความสะอาด โดยทั่วไปเครื่องยนต์จะเกิดการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดคราบเขม่าและสิ่งสกปรกภายใน น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่ชะล้างเขม่า ขจัดคราบสกปรกออกจากผิวโลหะ และกระจายเขม่า

2.2.4. ป้องกันสนิมและการกัดกร่อน ไอน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อรวมตัวกันจะกลายเป็นกรด ซึ่งจะกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และทำให้เกิดสนิมได้ น้ำมันหล่อลื่นจะทำเหมือนเกราะป้องกันการกัดกร่อนและสนิมได้ โดยจะทำลายกรดและเคลือบผิวของโลหะนั้นไว้

2.2.5. ป้องกันกำลังอัดรั่วไหล โดยเฉพาะเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบจะเกิดแรงดันขึ้น น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่อุดช่องว่างระหว่างแหวนและกระบอกสูบไม่ให้ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้รั่วไหล ทำให้ช่วยรักษากำลังของเครื่องยนต์

2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่น

คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันหล่อลื่นมีดังนี้คือ

2.2.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือความต้านทานการไหลของน้ำมัน ความหนืดหรือความข้นใส เป็นคุณสมบัติของน้ำมัน มีการแปรผันกลับกับอุณหภูมิของน้ำมัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันต่ำลงน้ำมันจะข้นขึ้น หรือมีความหนืดสูงขึ้น มีฟิล์มหนาขึ้น ถ้าน้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้นน้ำมันจะใสขึ้นหรือมีความหนืดลดลง

2.2.2 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)

ดัชนีความหนืด คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน น้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันหล่อลื่นเพราะว่าน้ำมันที่ดีเมื่ออุณหภูมิค่าต้องมีความหนืดที่ค่าคือ ไม่ข้นเกินไป เพื่อให้เกิดการหล่อลื่นได้และมีอุณหภูมิสูงก็ต้องขึ้นเพียงพอที่ฟิล์มน้ำมันจะยังคงหล่อลื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation)

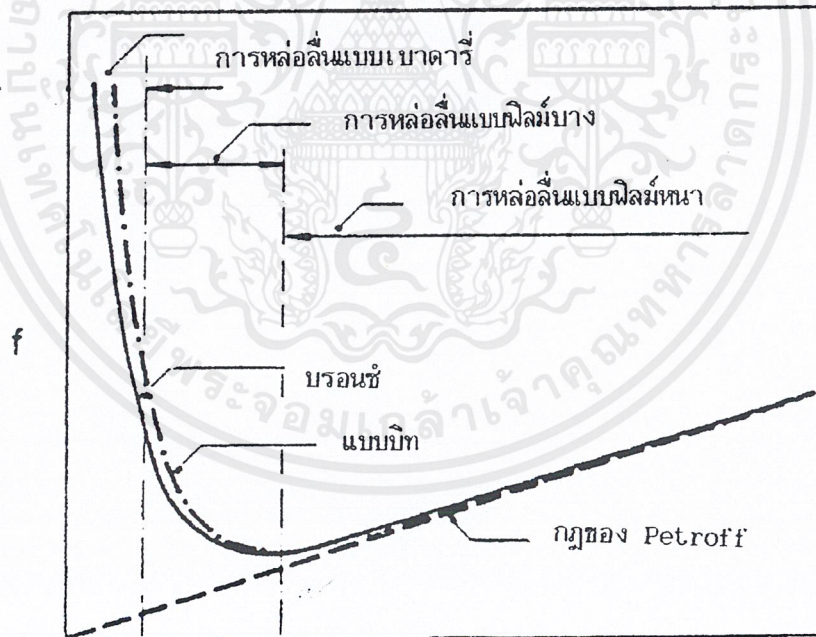
น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีการรวมตัวกับออกซิเจนได้ยากหรือได้ช้า เพื่อไม่ให้น้ำมันเป็นโคลน น้ำมัน หรือเป็นยางเหนียวไปเกาะตามชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรกลที่ทำการหล่อลื่น

2.2.4 จุดไหลเท (Flash point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังสามารถไหลได้ก่อนที่จะมีอยู่ในน้ำมันจะเกิดการแข็งตัวทำให้น้ำมันไหลได้ยาก ในที่มีอากาศหนาวหรือเย็นจะต้องพิจารณาเลือกใช้น้ำมันที่มีการไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน เพื่อป้องกันการการแข็งตัวของน้ำมัน

2.3 ชนิดของการหล่อลื่น

การหล่อลื่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การหล่อลื่นแบบเบาดารี การหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มบาง การหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มหนา สำหรับการหล่อลื่นของเจอนัลแบร์ริงอาจอธิบายความแตกต่างของการหล่อลื่นทั้ง 3 ชนิด ได้ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) และค่าความหนืดของสารหล่อลื่น (μ) คูณด้วยความเร็วรอบของเพลาน (N) แล้วหารด้วยค่าภาระที่ก้ำบรองลื่นเพลากลมรองรับต่อพื้นที่ภาพฉาย (P) หรือ $\mu N/P$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2-1 แสดงชนิดของสารหล่อลื่น

จากรูปที่ 2-1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า $\mu N/P$ สูง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะต่ำและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า $\mu N/P$ เรียกว่าการหล่อลื่นแบบแผ่นฟิล์มหนา ซึ่งเป็นการหล่อลื่นที่มีสารหล่อลื่นเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลื่นคั่นอยู่ระหว่างผิวของเพลลาและแมริง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้นอยู่กับของสารหล่อลื่น ไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของผิวเพลลาและกาบรองลื่น

เมื่อค่า $\mu N/P$ ลดลงจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะลดลงจนมีค่าต่ำสุดเรียกว่าการหล่อลื่นแบบฟิล์มบาง โดยมีสารหล่อลื่นเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ คั่นอยู่ระหว่างผิวของเพลลาทั้งกับกาบรองลื่นเพลลากลม และคุณสมบัติของสารหล่อลื่น

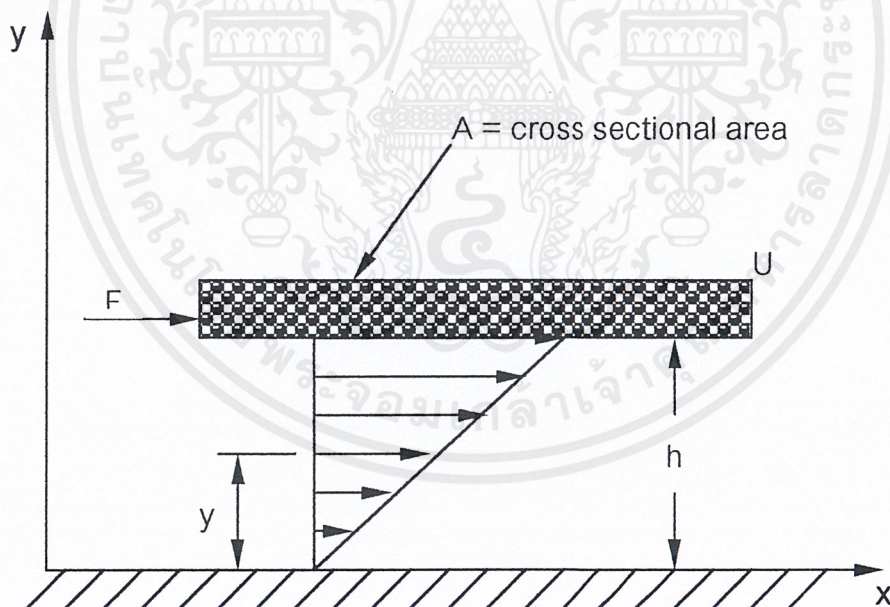
หากลดค่า $\mu N/P$ ให้ต่ำลงไปอีก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังพบว่าสารหล่อลื่นบางส่วนถูกทำลายไป การหล่อลื่นแบบนี้เรียกว่าการหล่อลื่นแบบบาวดารี

2.4 ประเภทของสารหล่อลื่น

โดยปกติของเหลวที่สามารถใช้เป็นสารหล่อลื่นแบ่งตามลักษณะคุณสมบัติมีอยู่สองประเภทคือ

2.4.1 สารหล่อลื่นนิวโทเนียน

สามารถอธิบายถึงคุณสมบัติของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนได้ดังรูปที่ 2-2 นั่นคือถ้าสารหล่อลื่นนิวโทเนียนอยู่ระหว่างแผ่นราบทั้งสองเมื่อมีแรง F มากระทำกับแผ่นราบด้านบนซึ่งมีพื้นที่สัมผัสสารหล่อลื่น A เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว U



รูปที่ 2-2 แสดงการเปลี่ยนรูปของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนเมื่อถูกแรงเฉือน F กระทำ

จากรูปแรงเฉือน F จะแปรผัน โดยตรงกับพื้นที่ A และความเร็ว U และแปรผกผันกับระยะ h สามารถเขียนในสมการได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

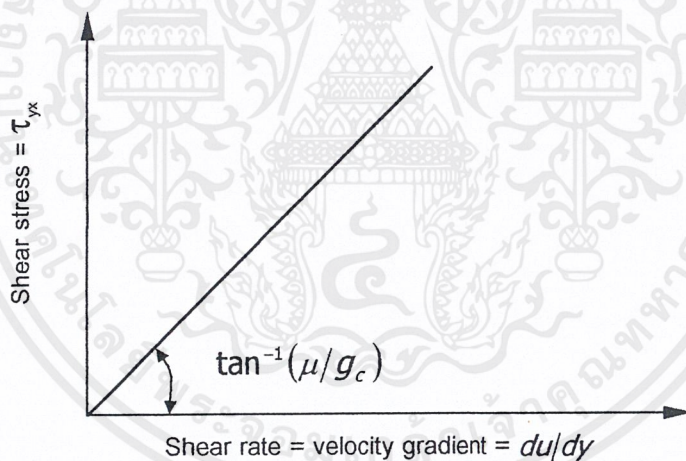
$$F = \mu \frac{AU}{y} \quad (2.1)$$

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 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ หากนำค่าความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนจะได้ดังรูปที่ 2-3



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

2.4.2 สารหล่อลื่นประเภทนอน-นิวโทเนียน

ได้มีความพยายามศึกษาพัฒนานำสารหล่อลื่นนอนนิวโทเนียนมาใช้เพื่อแก้ปัญหาของสารหล่อลื่นนิวโทเนียนที่เมื่ออุณหภูมิของเครื่องจักรสูงขึ้น ค่าความหนืดจะลดลง การพัฒนาสารหล่อลื่นนอน-นิวโทเนียนอาจทำได้โดยการใช้สารเติมแต่งชนิด High molecular weight เช่น Polyisobutylene, Acrylatecopolymer เติมลงไปนสารหล่อลื่นนิวโทเนียน จะทำให้อัตราเปลี่ยนแปลงความหนืดของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

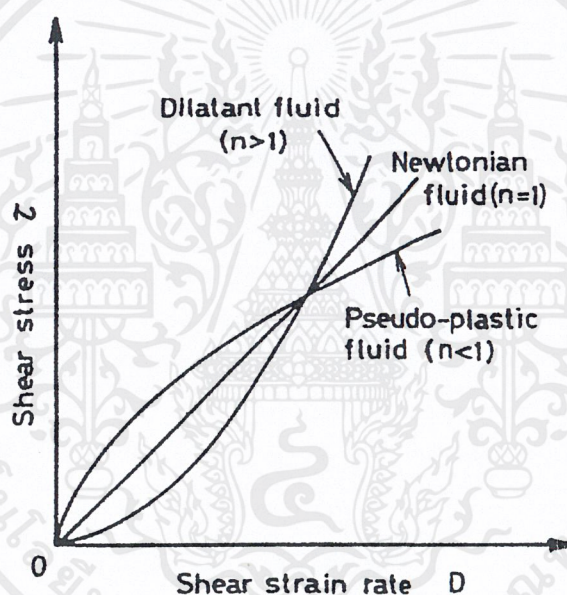
หล่อลื่นลดลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน และอัตราการเปลี่ยนรูปร่างของสารหล่อลื่นนอน-นิวโทเนียนเป็นไปดังสมการ

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

เมื่อ m = consistency index

n = flow behavior index

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



รูปที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ

2.5 สารเพิ่มคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น (Additive)

ในการใช้งานจริงคุณสมบัติในตัวเองของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมักจะไม่เพียงพอต่อการหล่อลื่น ดังนั้นในการนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในตัวเองของสารหล่อลื่นแล้วยังต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเพิ่มคุณสมบัติเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานตามที่ต้องการ ซึ่งสารเพิ่มคุณสมบัติสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

2.5.1 สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index Improver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้รักษาค่าความหนืดให้เหมาะสมกับสภาพอุณหภูมิการทำงานที่ต่าง ๆ นั้นเราสามารถทำได้โดยการเติมสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดลงไปซึ่งสารพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโพลีเมอร์ (Polymers) สารที่ใช้ได้แก่ Polyisobutylene และ Acrylate Copolymer

2.5.2 สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidants)

การเสื่อมสลายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะเกิดจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (Oxidation) โดยเฉพาะเมื่อใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง อีกทั้งหากมีเศษหรือไอออนของโลหะปนอยู่ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นซึ่งจะก่อให้เกิดครัคคร่อนขึ้นส่วนที่เป็นโลหะ เกิดยางเหนียว (Gum) และเกิดโคลนของน้ำมันทำให้ระบบการหมุนเวียนของน้ำมันหล่อลื่นอุดตันได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนลงไปน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

2.5.3 สารป้องกันการเกิดฟอง (Anti-foaming)

2.5.4 สารรับแรงกดดันสูง (Extreme Pressure Agent)

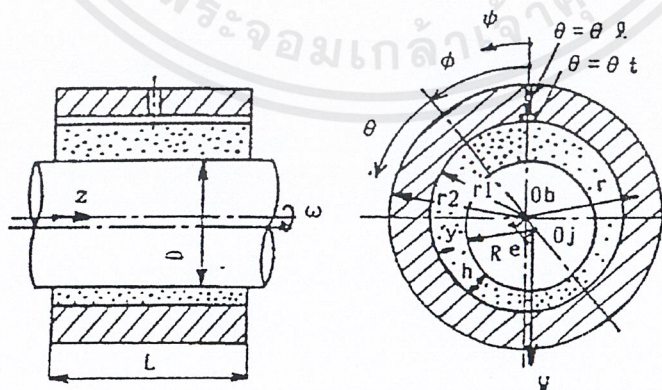
ในการหล่อลื่นบางอย่างภายใต้ภาวะรุนแรง เช่น ที่ความเร็วรอบสูงหรือที่แรงกดดันสูง ฟิล์มน้ำมันจะไม่สามารถเกาะอยู่บนผิวโลหะได้หรือเกาะบางเกินไป จำเป็นที่จะต้องเติมสาร EP Agent ลงไปซึ่งจะช่วยเคลือบผิวทำให้การหล่อลื่นเพียงพอ เช่น ในกรณีของเกียร์ และเฟือง เป็นต้น

2.5.5 สารลดแรงเสียดทาน (Friction modifier)

นอกจากนี้ยังมีสารเพิ่มคุณภาพประเภทอื่นๆอีก ได้แก่ Anti-wear, Anti-rust เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในการที่จะเลือกใช้สารเพิ่มคุณภาพชนิดใด ในปริมาณเท่าใด ผสมลงในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานนั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงตัวแปรอื่น ๆ ด้วย เช่น สภาพของน้ำมันที่จะนำไปใช้ คุณสมบัติของสารเพิ่มคุณภาพ รวมทั้งในเรื่องของราคาของสารเพิ่มคุณภาพด้วย

2.6 ลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่นเพลากลม (Journal bearing geometry)



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของกาบรองลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรองลื่นเพลากลมที่มีลักษณะเป็นปลอกหุ้มเพลาระหว่างผิวสัมผัสของเพลากับการรองลื่นจะเป็นสารหล่อลื่น โดยในขณะที่ทำงานฟิล์มสารหล่อลื่นจะยกเพลาลอยพ้นจากแบร็งเพื่อป้องกันการเสียดสีระหว่างเพลากับแบร็งในขณะที่เพลารอบ เพราะการรองลื่นจะเป็นตัวรับภาระในแนวรัศมี (Radial Load) รูปที่ 2-5 แสดงรูปร่างลักษณะของการรองลื่นเพลากลมที่ 360 องศา เพลารอบด้วยอัตราความเร็วเชิงมุม ω และรับภาระ W เมื่อเพลารอบในครั้งแรกจะเกิดการเสียดสีของโลหะระหว่างเพลากับแบร็งตรงจุดที่รับภาระ หลังจากนั้นเพลารอบไปเล็กน้อย สารหล่อลื่นสามารถไหลได้ทั่วถึงก็จะยกเพลาลอยจากการรองลื่นเป็นระยะความหนาของฟิล์มสารหล่อลื่น เมื่อเพลารอบเร็วขึ้นจนกระทั่งความเร็วของฟิล์มน้ำมันจะถูกรีดจนบางที่สุดเรียกว่า ความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของสารหล่อลื่น สำหรับการรองลื่นเพลากลม

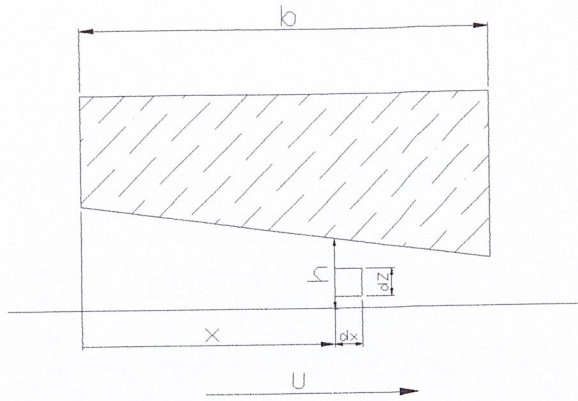
ในการศึกษาพฤติกรรมสถิตย์ของสารหล่อลื่นในการรองลื่นเพลากลมจะใช้สมการเรโนลด์ในการวิเคราะห์การกระจายความดันในฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากในขณะที่สารหล่อลื่นไหลในการรองลื่นเพลากลมจะเกิดเป็นฟิล์มน้ำมันขึ้น และพื้นที่หน้าตัดของฟิล์มน้ำมันจะเล็กลงตามทิศทางการไหล ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดความดันขึ้นในสารหล่อลื่น ดังนั้นการกระจายความดันในฟิล์มในฟิล์มน้ำมันจึงเป็นพฤติกรรมหลักที่ต้องศึกษาและการกระจายความดันของน้ำมันหล่อลื่นยังเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการรับภาระของการรองลื่นเพลากลมด้วย

3.1 สมการเรโนลด์ในทฤษฎีการหล่อลื่น (Reynolds equation in lubrication theory)

ข้อสมมติฐานในการเขียนสมการเรโนลด์

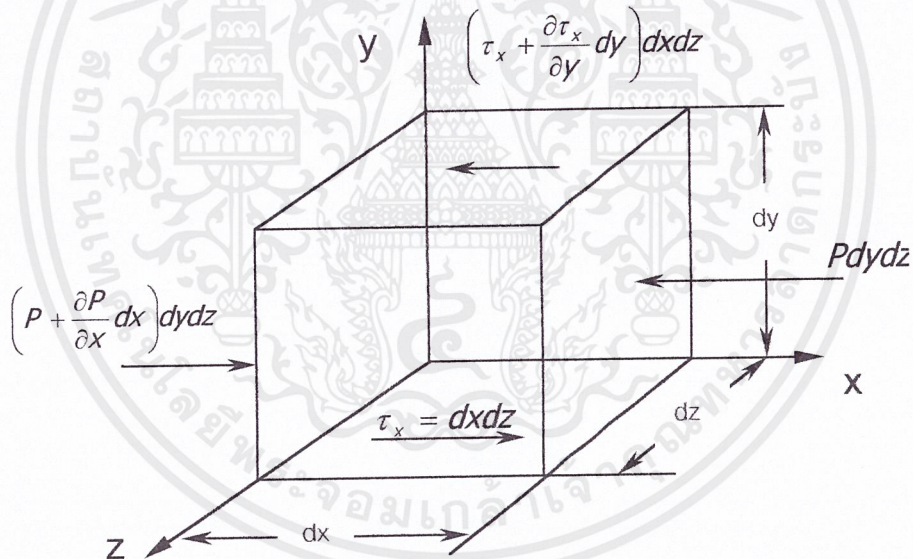
- 3.1.1 ไม่คิดแรงภายนอกที่กระทำกับสารหล่อลื่น เช่น ไม่คิดแรงเนื่องจากน้ำหนักของสารหล่อลื่น แรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- 3.1.2 ความดันที่เกิดขึ้นในสารหล่อลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามแกนความหนาของของไหล ซึ่งหมายความว่าฟิล์มของสารหล่อลื่นนั้นบางมาก
- 3.1.3 การไหลของสารหล่อลื่นในการรองลื่นที่มีผิวโค้งนั้นถูกสมมติว่าเป็นการไหลในแกนตรง ไม่คิดผลเนื่องจากผิวโค้งของการรองลื่น
- 3.1.4 ไม่คิดการสิ้นเปลืองของสารหล่อลื่นในการรองลื่น ดังนั้นสารหล่อลื่นที่แตะจับผิว การรองลื่นหรือเพลากลมจะมีความเร็วเท่ากับผิวการรองลื่นหรือผิวเพลลา
- 3.1.5 สารหล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นของไหลนิวโทเนียน (Newtonian fluid)
- 3.1.6 การไหลของสารหล่อลื่นเป็นการไหลอย่างเป็นระเบียบ (laminar flow)
- 3.1.7 ไม่คิดแรงเฉื่อยของสารหล่อลื่น เนื่องจากฟิล์มของสารหล่อลื่นบางมาก
- 3.1.8 ความหนืดของสารหล่อลื่นมีค่าคงที่ ไม่แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิหรือความดัน

การสมมูลของแรงที่กระทำต่อสารหล่อลื่น



รูปที่ 3-1 แสดงการไหลของสารหล่อลื่นระหว่างแผ่นระนาบ

พิจารณางานสองชิ้น ชิ้นบนมีความเร็ว u ตามแกน x ชิ้นล่างเป็นชิ้นส่วนที่อยู่กับที่และมีสารหล่อลื่นคั่นระหว่างวัตถุทั้งสอง พิจารณาก่อนทรงปริมาตรของสารหล่อลื่นขนาด $dx \, dy \, dz$ โดยกำหนดให้พื้นผิวเป็นปริมาตรควบคุม



รูปที่ 3-2 แสดงแรงที่กระทำต่อสารหล่อลื่นตามแนวแกน x

เมื่อพิจารณาการสมดุลแรงตามรูปที่ 3-2 จะพบว่าแรงกระทำบนชิ้นสารหล่อลื่นประกอบด้วยแรงเสียดทานระหว่างชั้นของสารหล่อลื่นและแรงเนื่องจากความดันของสารหล่อลื่น ซึ่งสามารถเขียนสมการสมดุลของแรงตามแกน x ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx\right) dydz - Pdydz + \tau_x dx dz - \left(\tau_x + \frac{\partial \tau_x}{\partial y} dy\right) dx dz = 0$$

ทำการจัดรูปสมการ

$$\frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz + \frac{\partial \tau_x}{\partial y} dx dy dz = 0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y}\right) dx dy dz = 0$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \quad (3.1)$$

ในการทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาตามแกน z จะได้

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

จากสมการความเค้นเฉือนของนิวตัน

$$\tau_x = \mu \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \tau_z = \mu \frac{\partial w}{\partial y} \quad (3.3)$$

เมื่อ u และ w เป็นองค์ประกอบความเร็วในทิศทาง x และ z ตามลำดับ
จัดรูปสมการ (3.3) จะได้

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial \tau_z}{\partial y} = \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (3.1) และ (3.2) จะได้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตสมการ (3.4) เทียบกับ y สองครั้งจะได้ผลเฉลยทั่วไปสำหรับการกระจายความเร็ว u และ w ดังนี้

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial x} y^2 + C_1 y + C_2$$

$$w = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial z} y^2 + C_3 y + C_4 \quad (3.5)$$

เมื่อ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นค่าคงที่ที่สามารถหาได้ภายใต้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)

$$u = U, \quad W = 0 \quad \text{ที่} \quad y = 0$$

$$u = 0, \quad W = 0 \quad \text{ที่} \quad y = h$$

ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตจะสามารถหาค่า C_1, C_2, C_3 และ C_4 ได้ดังนี้

$$C_1 = \frac{-h}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial x} (y^2 - hy) + U \frac{(h-y)}{h}, \quad C_2 = U$$

$$C_3 = \frac{-h}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial z}, \quad C_4 = 0$$

แทนค่าคงที่ C_1, C_2, C_3 และ C_4 ลงในสมการ (3.5) จะได้องค์ประกอบความเร็ว u และ w ดังนี้

$$u = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial x} (y^2 - hy) + U \frac{(h-y)}{h}$$

$$w = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial z} (y^2 - hy) \quad (3.6)$$

จากข้อสมมติฐานให้สารหล่อลื่นเป็นของไหลแบบอัดตัวไม่ได้ เมื่อพิจารณาที่ปริมาตรควบคุม อัตราการไหล (q) ที่ไหลเข้าปริมาตรควบคุมจะต้องเท่ากับอัตราการไหลที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุม ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$u dy dz + v dx dz + w dx dy = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) dy dz + \left(v + \frac{\partial v}{\partial y} dy \right) dx dz + \left(w + \frac{\partial w}{\partial z} dz \right) dx dy$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการจะได้สมการความต่อเนื่องดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.7)$$

เมื่อ u , v และ w คือความเร็วตามแกน x , y และ z ตามลำดับ

จากข้อสมมติฐานที่ไม่มีกรไหลออกทางด้านข้างของกาบร่องลื่นจะได้

$$\frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

จากสมการ (3.7)

$$\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.8)$$

จากสมการ (3.6) ทำการ Differentiate ความเร็ว u จะได้

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial x} (y-h)y + U \left(1 - \frac{y}{h} \right) \right]$$

แทนค่า $\frac{\partial u}{\partial x}$ ลงในสมการ (3.8) แล้วทำการอินทิเกรตตามแนวแกน y จากระยะที่ 0 ถึง h จะได้

$$\int_0^h \frac{\partial v}{\partial y} dy = -\int_0^h \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial P}{\partial x} y \frac{(y-h)}{2\mu} \right] dy + \int_0^h \frac{\partial U}{\partial x} \left(1 - \frac{y}{h} \right) dy$$

$$v|_0^h = -\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial P}{\partial x} \left(\frac{y^3}{3} - \frac{hy^2}{2} \right) \right]_0^h + \frac{\partial}{\partial x} \left[U \left(y - \frac{y^2}{2h} \right) \right]_0^h$$

สมมติให้การเกาะติดของสารหล่อลื่นกับกาบร่องลื่นเป็นอย่างสมบูรณ์ จะได้ $v=0$ ที่ $y=h$ จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[h^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right] = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

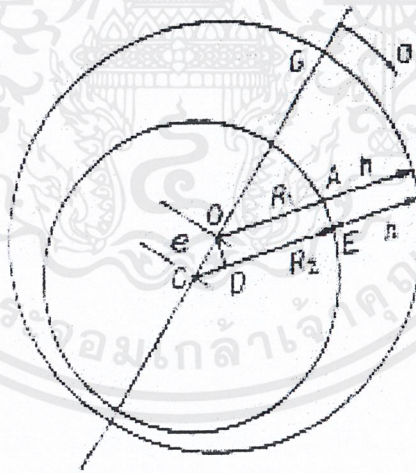
จากสมการ (3.9) เป็นสมการเรโนลด์สำหรับการไหล 1 มิติ ในกรณีที่มีการไหลออกทางด้านข้างของการรอลื่น การวิเคราะห์การกระจายความดันจะใช้สมการเรโนลด์สำหรับการไหล 2 มิติ ซึ่งก็คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[h^3 \frac{\partial P}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial z} \left[h^3 \frac{\partial P}{\partial z} \right] = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.10)$$

เมื่อ h คือความหนาของฟิล์มน้ำมันในการรอลื่น

จากรูปที่ 3-3 $\overline{O_b O_d}$ คือระยะเยื้องศูนย์กลาง (e) เราสามารถหาความหนาฟิล์มน้ำมันจาก

$$\begin{aligned} h &= \overline{O_d C} + \overline{O_d B} = \overline{O_d A} + \overline{O_b} - \overline{O_d B} \\ &= (e \cos \theta + \gamma + c) - \gamma \\ &= c(1 + \varepsilon \cos \theta) \end{aligned} \quad (3.11)$$



รูปที่ 3-3 แสดงความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นในการรอลื่น

เมื่อ ε คืออัตราการเยื้องศูนย์กลาง ($\varepsilon = e/c$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สมการโมดิฟายเรโนลด์สำหรับของไหลนอน-นิวโทเนียน

ในการที่จะหาที่มาของสมการ โมดิฟายเรโนลด์สำหรับหาค่าพฤติกรรมสถิตคือ การกระจายความดันในฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นนั้นสามารถใช้ทฤษฎีของ I.K. Dien and H.G. Eirod เพื่อหาสมการโมดิฟายเรโนลด์ในรูปทั่วไปดังนี้

จากการสมมูลแรงที่กระทำกับสารหล่อลื่นในปริมาตรควบคุมเราสามารถแสดงสมการการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมได้โดย

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu^* \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{\partial P}{\partial x} \quad \text{และ} \quad \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu^* \frac{\partial w}{\partial y} \right) = \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.11A)$$

เมื่อ μ^* คือ Apparent viscosity

$$\mu^* = \mu^*(I) \quad (3.11B)$$

เมื่อ I คือ Second invariant

$$I = \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \quad (3.11C)$$

และทำการสมมติ Pressure gradient ในรูปแบบของ

$$\nabla P = \varepsilon \nabla \pi \quad (3.11D)$$

ในการพิจารณาองค์ประกอบความเร็ว u และ w ในฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น เราสามารถที่จะใช้ Perturbation procedure ในการพิจารณาได้ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเชิงศูนย์ (ε) ดังนี้

$$U = U_0 + \varepsilon U_1 + \dots$$

$$W = W_0 + \varepsilon W_1 + \dots \quad (3.11E)$$

ในทำนองเดียวกันค่า Second invariant (I) สามารถแสดงได้โดย

$$I = I_0 + \varepsilon I_1 + \dots \quad (3.11F)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = \left(\frac{\partial u_o}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w_o}{\partial y}\right)^2 \quad (3.11G)$$

$$I_1 = 2\left(\frac{\partial u_o}{\partial y} \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial w_o}{\partial y} \frac{\partial w_1}{\partial y}\right) \quad (3.11H)$$

จากสมการ (3.11B) จะพบว่าค่า Apparent viscosity จะแปรผันตามค่า Second invariant ดังนั้นค่า apparent viscosity สามารถแสดงได้โดย

$$\mu^* = \mu_o + \varepsilon\mu_1 + \dots \quad (3.11I)$$

เมื่อ

$$\mu_o = \mu^*(I_o)$$

$$\mu_1 = \left(\frac{\partial \mu^*}{\partial I}\right)_{I=I_o} \times I_1 \quad (3.11J)$$

โดยค่า Boundary condition สำหรับองค์ประกอบความเร็วคือ

$$\begin{aligned} u(y=0) &= U_1, & u(y=h) &= U_2 \\ w(y=0) &= W_1, & w(y=h) &= W_2 \end{aligned} \quad (3.11K)$$

ทำการแทนค่า (3.11D), (3.11E) และ (3.11I) ลงในสมการ (3.11A) และ (3.11K) โดยแยกผลลัพท์ตามลำดับของอัตราส่วนเชิงศูนย์ดังนี้
สมการอันดับศูนย์ภายใต้สภาวะคงตัว

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_o \frac{\partial u_o}{\partial y} \right) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_o \frac{\partial w_o}{\partial y} \right) = 0 \quad (3.11L)$$

$$u_o(y=0) = U_1, \quad u_o(y=h) = U_2$$

$$w_o(y=0) = W_1, \quad w_o(y=h) = W_2 \quad (3.11M)$$

และสมการอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_0 \frac{\partial u_1}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_1 \frac{\partial u_0}{\partial y} \right) = \frac{\partial \pi}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_0 \frac{\partial w_1}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_1 \frac{\partial w_0}{\partial y} \right) = \frac{\partial \pi}{\partial z} \quad (3.11N)$$

$$u_1(y=0) = 0 \quad , \quad u_1(y=h) = 0$$

$$w_1(y=0) = 0 \quad , \quad w_1(y=h) = 0 \quad (3.11O)$$

ทำการอินทิเกรตเทียบกับ y ในสมการ (3.11L) โดยที่ค่าความหนืด μ_0 คงที่ จะได้ค่าองค์ประกอบความเร็ว u_0 และ w_0 ดังนี้

$$u_0 = \left(1 - \frac{y}{h} \right) U_1 + \frac{y}{h} U_2$$

$$w_0 = \left(1 - \frac{y}{h} \right) W_1 + \frac{y}{h} W_2 \quad (3.11P)$$

ทำการแทนสมการ (3.11P) ลงในสมการ (3.2M) จะได้

$$\mu_0 \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} + 2 \frac{U_2 - U_1}{h} \frac{\partial \mu^*}{\partial I} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{U_2 - U_1}{h} \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{W_2 - W_1}{h} \frac{\partial w_1}{\partial y} \right) = \frac{\partial \pi}{\partial x}$$

$$\mu_0 \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} + 2 \frac{W_2 - W_1}{h} \frac{\partial \mu^*}{\partial I} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{U_2 - U_1}{h} \frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{W_2 - W_1}{h} \frac{\partial w_1}{\partial y} \right) = \frac{\partial \pi}{\partial z} \quad (3.11Q)$$

ทำการจัดรูปสมการ (3.11Q)

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial \pi}{\partial x} - \frac{2 \frac{U_2 - U_1}{h} \left(\frac{U_2 - U_1}{h} \frac{\partial \pi}{\partial x} + \frac{W_2 - W_1}{h} \frac{\partial \pi}{\partial z} \right) \frac{\partial \mu^*}{\partial I}}{\left[\mu_0^2 \left(1 + \frac{\partial \ln \mu^*}{\partial \ln I^{0.5}} \right) \right]}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial \pi}{\partial x} - \frac{2 \frac{W_2 - W_1}{h} \left(\frac{U_2 - U_1}{h} \frac{\partial \pi}{\partial x} + \frac{W_2 - W_1}{h} \frac{\partial \pi}{\partial z} \right) \frac{\partial \mu^*}{\partial I}}{\left[\mu_0^2 \left(1 + \frac{\partial \ln \mu^*}{\partial \ln I^{0.5}} \right) \right]} \quad (3.11R)$$

โดยใช้ความสัมพันธ์ของ

$$\begin{aligned} I_0 &= \left(\frac{\partial u_0}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_0}{\partial y} \right)^2 \\ &= \frac{1}{h^2} \left\{ (U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2 \right\} \end{aligned} \quad (3.11S)$$

$$2 \frac{I_0}{\mu_0} \left(\frac{\partial \mu^*}{\partial I} \right)_{I=I_0} = \left(\frac{\partial \ln \mu^*(I)}{\partial \ln I^{0.5}} \right)_{I=I_0} \quad (3.11T)$$

ทำการอินทิเกรตสมการ (3.11R) จะได้สมการองค์ประกอบความเร็วอันดับ 1 u_1 และ w_1 ดังนี้

$$\begin{aligned} u_1 &= -\frac{y(y-h)}{2} \frac{\partial^2 u_1}{\partial y^2} \\ w_1 &= -\frac{y(y-h)}{2} \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (3.11U)$$

ทำการแทนค่าสมการ (3.11P) และ (3.11U) ลงใน (3.11I) จะได้องค์ประกอบความเร็ว u และ w

ดังนี้

$$\begin{aligned} u &= U_1 \left(1 - \frac{y}{h} \right) + \frac{y}{h} U_2 - \frac{y(y-h)}{2\mu_0} \left[\frac{1 - 2 \frac{(U_2 - U_1)^2}{h^2} \frac{\partial \mu^*}{\mu_0 \partial I}}{\left(1 + \frac{\partial \ln \mu^*}{\partial \ln I^{0.5}} \right)} \right] \frac{\partial P}{\partial x} \\ &+ \frac{y(y-h)}{2\mu_0} \left[\frac{\frac{(U_2 - U_1)(W_2 - W_1)}{h^2} \times 2 \frac{\partial \mu^*}{\mu_0 \partial I}}{\left(1 + \frac{\partial \ln \mu^*}{\partial \ln I^{0.5}} \right)} \right] \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$w = W_1 \left(1 - \frac{y}{h}\right) + \frac{y}{h} W_2 - \frac{y(y-h)}{2\mu_0} \left[\frac{1 - 2 \frac{(U_2 - U_1)^2}{h^2} \frac{\partial \mu^*}{\mu_0 \partial I}}{\left(1 + \frac{\partial \ln \mu^*}{\partial \ln I^{0.5}}\right)} \right] \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.11V)$$

$$- \frac{y(y-h)}{2\mu_0} \left[\frac{(U_2 - U_1)(W_2 - W_1)}{h^2} \times 2 \frac{\partial \mu^*}{\mu_0 \partial I} \right] \frac{\partial P}{\partial z}$$

จากสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^h u dy \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\int_0^h w dy \right) + v_2 = 0 \quad (3.12)$$

ทำการแทนสมการ (3.11V) ลงใน (3.12) จะได้สมการโมดิฟายเรโนลด์์ในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{12\mu_0} \left[1 - \frac{(U_2 - U_1)^2 + (U_2 - U_1)(W_2 - W_1)}{(U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2} \frac{1}{1 + \frac{\partial \ln I^{0.5}}{\partial \ln \mu^*}} \right] \frac{\partial P}{\partial x} \right\}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{h^3}{12\mu_0} \left[1 - \frac{(U_2 - U_1)(W_2 - W_1) + (W_2 - W_1)^2}{(U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2} \frac{1}{1 + \frac{\partial \ln I^{0.5}}{\partial \ln \mu^*}} \right] \frac{\partial P}{\partial z} \right\} \quad (3.13)$$

$$= \frac{U_1 + U_2}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{W_1 + W_2}{2} \frac{\partial h}{\partial z} + v_2$$

โดยที่ค่า Apparent viscosity สามารถหาได้จากการทดลอง

3.3 การหาค่าสมการโมดิฟายเรโนลด์์สำหรับ Power-law model

จากรูปที่ 2-4 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress และ Shear rate สามารถแสดง Power law model ได้ดังนี้

$$\tau_{xy} = m \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.14A)$$

$$\tau_{xy} = m \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (3.14B)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Apparent คือ

$$\mu^* = mI^{\frac{n-1}{2}} \quad (3.15)$$

โดยที่ค่าคงที่ m และ n สามารถหาค่าได้จากการทดลอง
จากสมการ (3.15) จะได้

$$\mu_0 = m \left\{ \frac{(U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2}{h^2} \right\}^{\frac{n-1}{2}} \quad (3.16)$$

ทำการแทนสมการ (3.15) และ (3.16) ลงใน (3.13) จะได้สมการ โมดิฟายเร โนลด์สำหรับ Power law fluid ดังนี้

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^{n+2}}{12m} \left[1 - \frac{n-1}{n} \frac{(U_2 - U_1)^2 + (U_2 - U_1)(W_2 - W_1)}{(U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2} \right] \frac{\partial P}{\partial x} \right\} \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{h^{n+2}}{12m} \left[1 - \frac{n-1}{n} \frac{(U_2 - U_1)(W_2 - W_1) + (W_2 - W_1)^2}{(U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2} \right] \frac{\partial P}{\partial z} \right\} \\ & = \left\{ (U_2 - U_1)^2 + (W_2 - W_1)^2 \right\}^{\frac{n-1}{2}} \left\{ \frac{U_1 + U_2}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{W_1 + W_2}{2} \frac{\partial h}{\partial z} + v_2 \right\} \end{aligned} \quad (3.17)$$

เมื่อ $W_1 = W_2 = 0$ สมการ โมดิฟายเร โนลด์สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^{n+2}}{12m} \frac{\partial P}{\partial z} \right) = \frac{U^n}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + v_2 \quad (3.18)$$

ในสภาวะคงตัวจะได้ว่า $v_2 = 0$

3.4 การวิเคราะห์หน่วยไร้มิติ (Dimensionless analysis)

จากสมการ (3.11) สามารถเขียนอยู่ในรูปสภาวะคงตัวดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial P}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{h^{n+2}}{12m} \frac{\partial P}{\partial z} \right] = \frac{U^n}{2} \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.19)$$

โดยการแทนค่าตัวแปรไร้มิตินี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} x &= R\theta & , & & z &= LZ^* \\ h &= ch^* & , & & p &= \frac{mRU^n}{c^{n+1}} p^* \end{aligned} \quad (3.20)$$

เนื่องจากสมการ โมดิฟายเร โนลด์ที่ไม่วิเคราะห์ค่าความหนืดจึงจัดอยู่ในรูปความดัน ไร้มิตติดังนี้

$$\text{จาก} \quad \mu = m \left[\frac{U}{c} \right]^{n-1} \quad (3.21)$$

$$\text{จะได้} \quad P = \frac{mRU^n}{c^{n+1}} P^* \quad (3.22)$$

ทำการแทนค่าสมการ (3.20) และ (3.22) ลงใน (3.19) จะได้สมการ โมดิฟายเร โนลด์ในรูปแบบ ไร้มิตติดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left[h^{*n+2} \frac{\partial P}{\partial \theta} \right] + \frac{n}{4} \left(\frac{D}{L} \right)^2 \frac{\partial}{\partial z^*} \left[h^{*n+2} \frac{\partial P^*}{\partial z^*} \right] = \frac{6mn}{\mu} \left(\frac{U}{c} \right)^{n-1} \frac{\partial h^*}{\partial \theta} \quad (3.23)$$

3.5 การวิเคราะห์การบรลงล้นเพลากลมด้วยวิธีผลต่างจำกัด

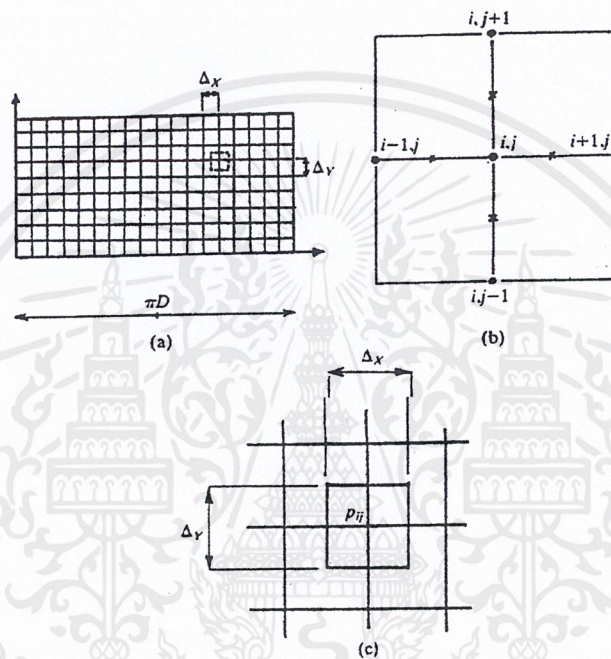
พิจารณาฟิล์มน้ำมันในช่องว่างระหว่างเพลากลมและการบรลงล้น โดยการเคลือบฟิล์มน้ำมันออกแล้วแบ่งฟิล์มน้ำมันออกเป็นชั้นที่เล็กลงๆ มีความยาวตามแกน x เท่ากับ Δx และความกว้างตามแกน z เท่ากับ Δz ตามรูปที่ 3-4 และกำหนดจุดปม i, j ของชั้นที่เล็กลงๆ ตามรูปที่ 3.5 เนื่องจากสมการเร โนลด์สามารถอธิบายพฤติกรรมของสารหล่อลื่นที่จุดใด ๆ ในฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการ โมดิฟายเร โนลด์ตามสมการ (3.23) ในรูปแบบของผลต่างจำกัดดังนี้

จากรูปที่ 3.5 เมื่อใช้ Central different จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial P^*}{\partial \theta} &= \frac{P_{i+1,j}^* - P_{i-1,j}^*}{2(\Delta\theta)} & , & & \frac{\partial^2 P^*}{\partial \theta^2} &= \frac{P_{i+1,j}^* - 2P_{i,j}^* + P_{i-1,j}^*}{(\Delta\theta)^2} \\ \frac{\partial P^*}{\partial z^*} &= \frac{P_{i,j+1}^* - P_{i,j-1}^*}{2(\Delta z^*)} & , & & \frac{\partial^2 P^*}{\partial z^{*2}} &= \frac{P_{i,j+1}^* - 2P_{i,j}^* + P_{i,j-1}^*}{(\Delta z^*)^2} \end{aligned} \quad (3.24)$$

แทนค่าสมการ (3.24) ลงใน (3.23) จะได้

$$\begin{aligned} & \left[\frac{h^{*n+2}}{(\Delta\theta)^2} + \frac{(n+2)h^{*n+1}}{2(\Delta\theta)} \frac{\partial h^*}{\partial\theta} \right] P_{i+1,j}^* - \left[\frac{2h^{*n+2}}{(\Delta\theta)^2} + \frac{2h^{*n+2}}{(\Delta z^*)^2} \frac{n}{4} \left(\frac{D}{L} \right)^2 \right] P_{i,j}^* + \left[\frac{h^{*n+2}}{(\Delta\theta)^2} - \frac{(n+2)h^{*n+1}}{2(\Delta\theta)} \frac{\partial h^*}{\partial\theta} \right] P_{i-1,j}^* \\ & + \frac{n}{4} \left(\frac{D}{L} \right)^2 \frac{h^{*n+2}}{(\Delta z^*)^2} P_{i,j+1}^* + \frac{n}{4} \left(\frac{D}{L} \right)^2 \frac{h^{*n+2}}{(\Delta z^*)^2} P_{i,j-1}^* = \frac{6mn}{\mu} \left[\frac{U}{c} \right]^{n-1} \frac{\partial h^*}{\partial\theta} \end{aligned} \quad (3.25)$$



รูปที่ 3-5 แสดงแบบของผลต่างจำกัดสำหรับการรอนเส้นเฟลากลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

คุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้ในสารหล่อลื่น

4.1 เคมีอินทรีย์ของน้ำมันพืช

น้ำมันพืชเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทซิมเพิลไลปิด (Simple Lipid) โดยซิมเพิลไลปิดจะต่างไปจากสารอินทรีย์ประเภทอื่น ๆ ในด้านหมู่ฟังก์ชันนัลและสมบัติการละลาย โดยซิมเพิลไลปิดจะไม่ละลายในน้ำแต่จะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์เท่านั้น เช่น สารละลายอินทรีย์จำพวกอีเทอร์, คลอโรฟอร์ม, เบนซีน และอะซีโตน โดยซิมเพิลไลปิดมีอยู่ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต ซึ่งจะมีบทบาทที่สำคัญในเนื้อเยื่อทั้งพืชและสัตว์

4.2 การเกิดการเหม็นหืน

ภายในน้ำมันพืชที่นำมาทำการทดลองจะเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอยู่ ซึ่งจะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็นองค์ประกอบให้น้ำมันพืชที่ใช้ในการทำการทดลองเกิดการเหม็นหืนและเกิดการเป็นไขได้ง่าย โดยที่

4.2.1 เมื่อน้ำมันพืชมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวมากจะไม่เกิดการเหม็นหืนและเป็นไขง่าย

4.2.2 เมื่อน้ำมันพืชมีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะทำให้น้ำมันเกิดการเหม็นหืนได้ง่าย เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเมื่อถูกออกซิไดส์กลายเป็นอัลดีไฮด์ คีโตน (หรือกรด) และจะเกิดปรากฏการณ์ Oxidative rancidity ซึ่งเป็นตัวการให้เกิดการเหม็นหืน

เพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ Oxidative ขึ้นในน้ำมัน จึงจำเป็นที่จะต้องเติมสารต้านออกซิเดชัน (Antioxiation) ซึ่งสารประเภทนี้สามารถได้มาจากการสังเคราะห์และได้จากธรรมชาติ โดยสารป้องกันการเกิด Oxidative จะมีกลิ่นฉุน ซึ่งเป็นปัญหาในการเติมลงในน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารแต่จะไม่เป็นปัญหาที่จะเติมลงในน้ำมันพืชที่ใช้ในการทดสอบ

4.3 การศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันพืช

ในขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Rotation viscometer เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) และ ค่าอัตราเฉือน (Shear rate)

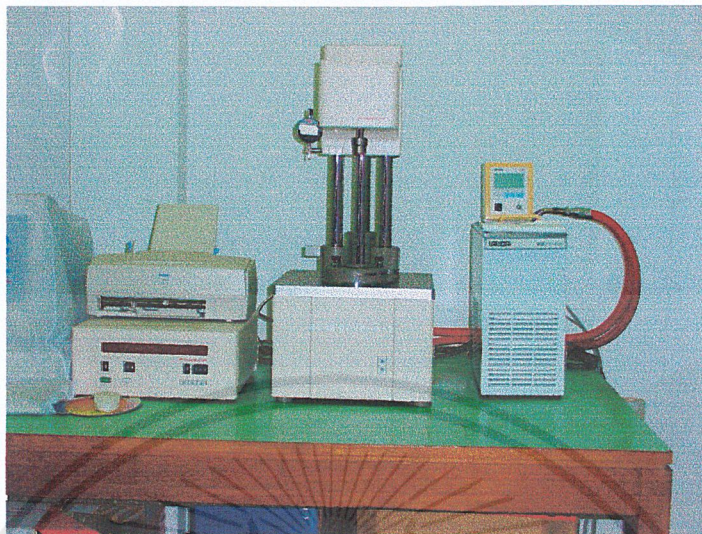
โดยทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่าง 1 ชนิดที่ผสมสารปรุงแต่งเพิ่มคุณสมบัติ 2 ชนิดได้แก่

4.3.1 น้ำมันปาล์ม + สาร โพลีไอโซบิวทีลีน (PIB) 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 ppm ที่อุณหภูมิ 25, 40, 80 และ 100°C

4.3.2 น้ำมันปาล์ม + สาร โอลีฟิน โคลโพลีเมอร์ (OCP) 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 ppm ที่อุณหภูมิ

25, 40, 80 และ 100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-1 แสดงเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน
(Concentric Rotational Viscometer)

จากผลการทดลองจะได้กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเค้นเฉือนและค่าอัตราเฉือน จะพบว่าน้ำมันปาล์มที่เติมสารปรุงแต่งทั้ง 2 ชนิดมีพฤติกรรมการไหลเป็น Non-Newtonian ที่อุณหภูมิสูงคือมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งสามารถใช้ Power-law model คือ

$$\tau_{xy} = m \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n \quad (4.1)$$

โดยที่ τ_{xy} คือความเค้นในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

m คือ Consistency constant

n คือ index of power-law model

$$\frac{\partial u}{\partial y} \text{ คือ Shear rate } \left(\dot{\gamma} \right)$$

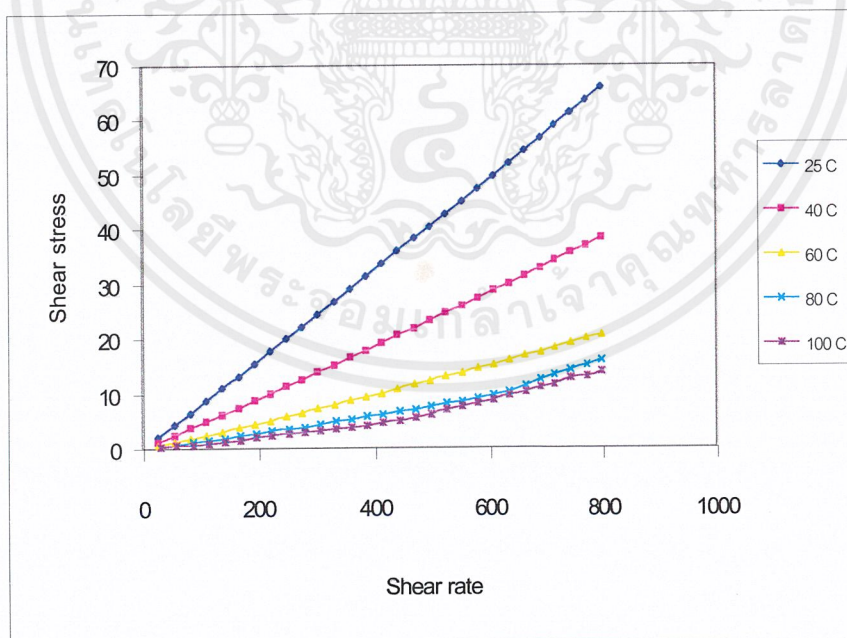
ทำการหาค่าตอบโดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีกำลังสองต่ำสุด (Least-squares) ซึ่งจะได้ค่าคำตอบ Consistency constant และ index of power-law model

จากการทดลองจะได้ผลการทดลองที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเค้นเฉือน และค่าอัตราเฉือน ซึ่งเมื่อนำค่าความสัมพันธ์มาเขียนกราฟของค่าความสัมพันธ์ทั้ง 2 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

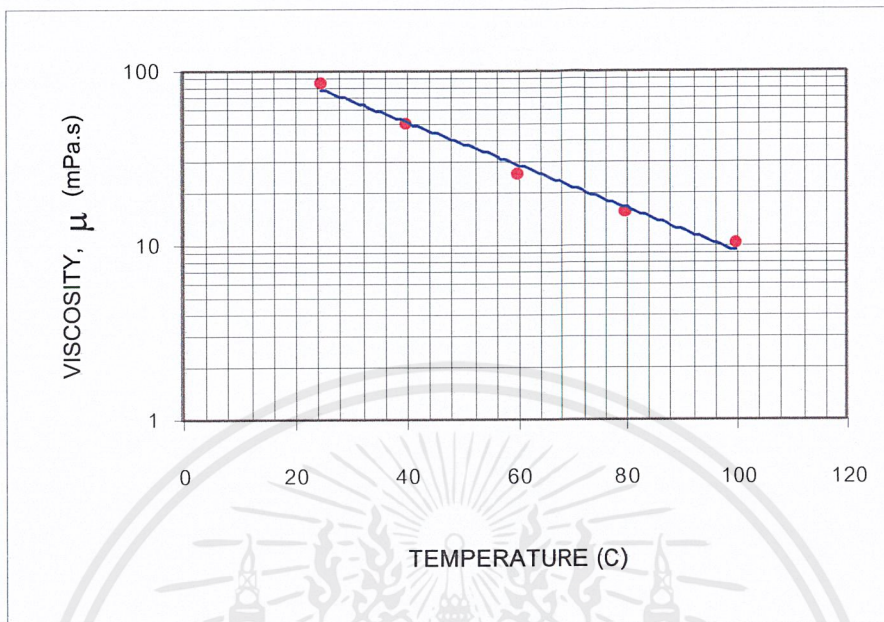
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	m ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$)	n	μ ($\text{mPa} \cdot \text{s}$)
25	0.0798806	1.01357	86.4
40	0.0465453	1.01401	50.5
60	0.0142071	1.09663	25.4
80	0.0070577	1.13592	15.4
100	0.0012454	1.37544	10.4

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าคำตอบของ *Power-law model* ของน้ำมันปาล์ม + PIB 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 ppm



รูปที่ 4-2 แสดงผลการทดลองของน้ำมันปาล์ม+PIB 4%+น้ำมันซิลิโคน 2 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

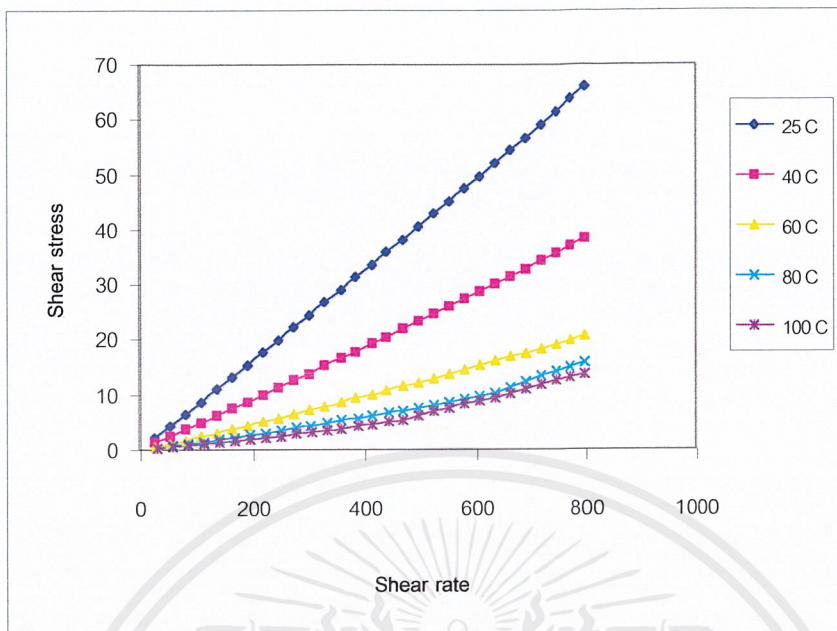


รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมันปาล์ม + PIB 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 ppm

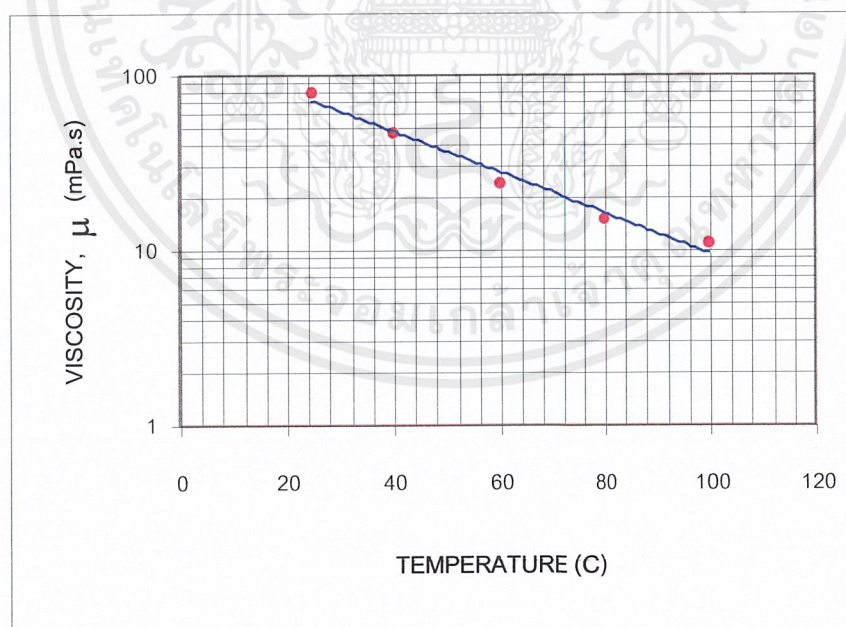
Temperature (°C)	m (Pa • s ⁿ)	n	μ (mPa • s)
25	0.0697713	1.02518	81.1
40	0.0396525	1.02638	46.4
60	0.0142001	1.08890	24.3
80	0.0055454	1.16995	14.9
100	0.0018128	1.31943	11

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าคำตอบของ Power-law model ของน้ำมันปาล์ม + OCP 4% + น้ำมันซิลิโคน 2 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



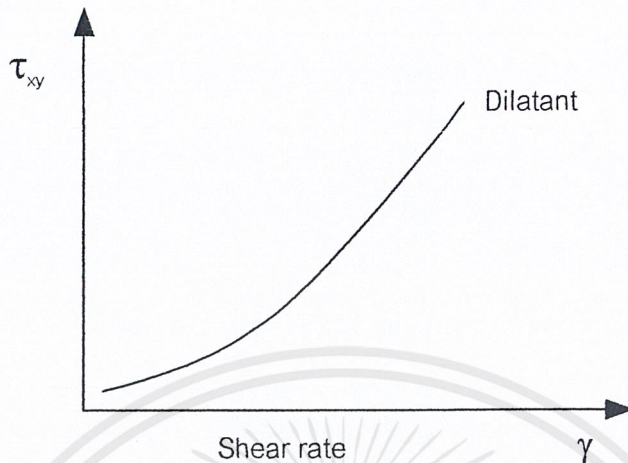
รูปที่ 4-4 แสดงผลการทดลองของน้ำมันปาล์ม+OCP 4%+น้ำมันชิลิโคน 2 ppm



รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับอุณหภูมิของน้ำมันปาล์ม + OCP4% + น้ำมันชิลิโคน 2 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 พฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียนชนิด ไดลาแทน



รูปที่ 4-6 แสดงกราฟลักษณะการเกิดพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียนชนิดไดลาแทน

จากรูปที่ 4-2 จะพบว่าพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโทเนียนชนิดไดลาแทนจะมีคุณสมบัติคือ ที่อัตราเฉือนน้อย ความเค้นเฉือนในเนื้อของไหลจะมีค่าต่ำ และที่อัตราเฉือนมากความเค้นเฉือนในเนื้อของไหลจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

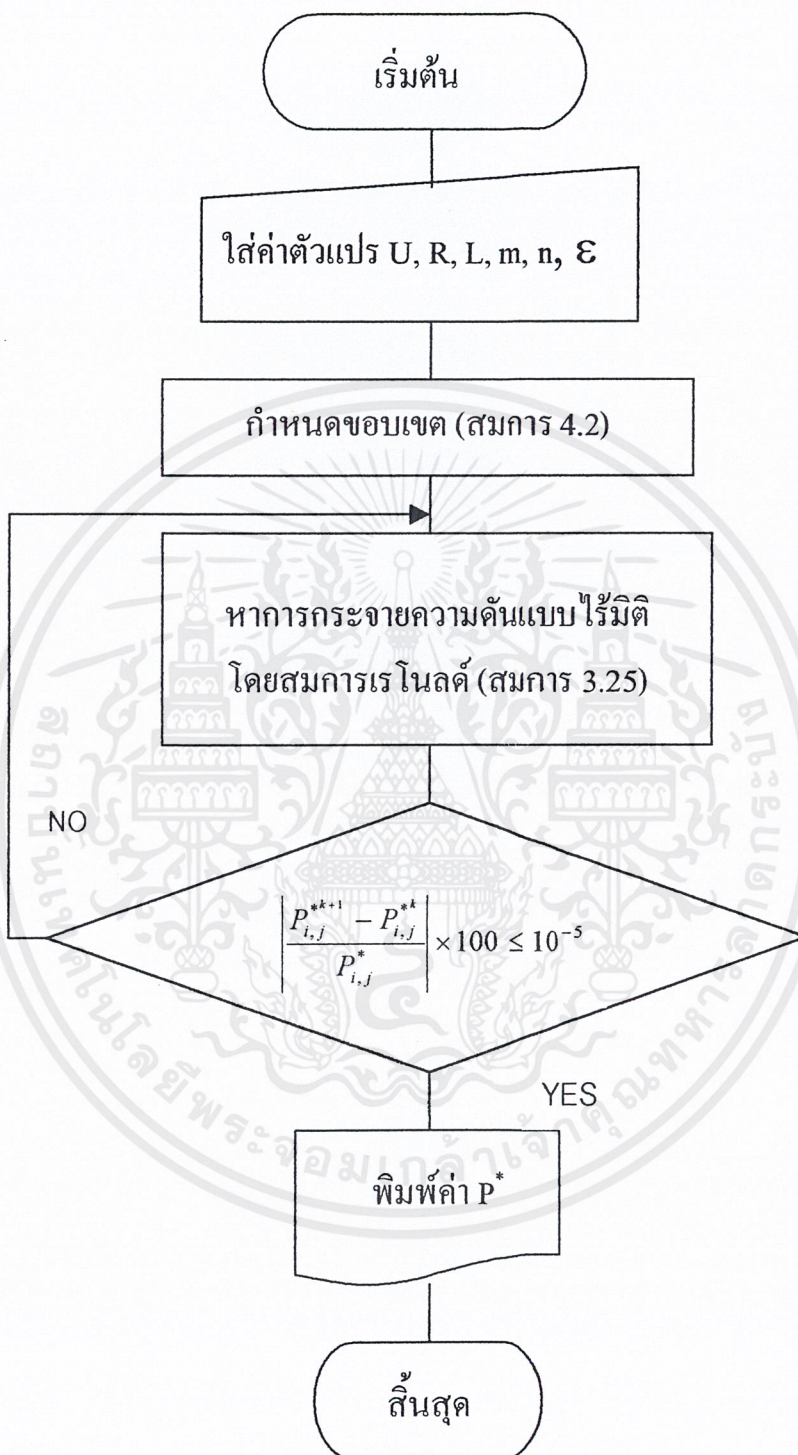
4.5 การคำนวณพฤติกรรมสถิตย์ของน้ำมันพืชโดยการศึกษาแบบจำลอง

เมื่อทราบพฤติกรรมการไหลของน้ำมันปาล์มแล้ว จะใช้สมการโมดิไฟเรโนลด์ในการหาค่าการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมัน โดยใช้การประมาณทางคณิตศาสตร์คือ Power law model เพื่อหาค่าคงที่และค่าครรชนีของ power law เพื่อนำไปคำนวณในสมการโมดิไฟเรโนลด์ โดยการคำนวณจะกำหนดสถานะขอบเขตของความดันไว้มีคือ

$$P^*(\theta, 0) = 0 \quad , \quad P^*(\theta, 1) = 0$$

$$P^*(0, z^*) = 0 \quad , \quad P^*(180, z) = 0 \quad (4.2)$$

และวิธีการคำนวณจะใช้วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ตามทฤษฎีที่กล่าวแล้วข้างต้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนผังการคำนวณดังนี้



รูปที่ 4-7 แสดงแผนผังลำดับการหาการกระจายของความดันแบบไร้มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

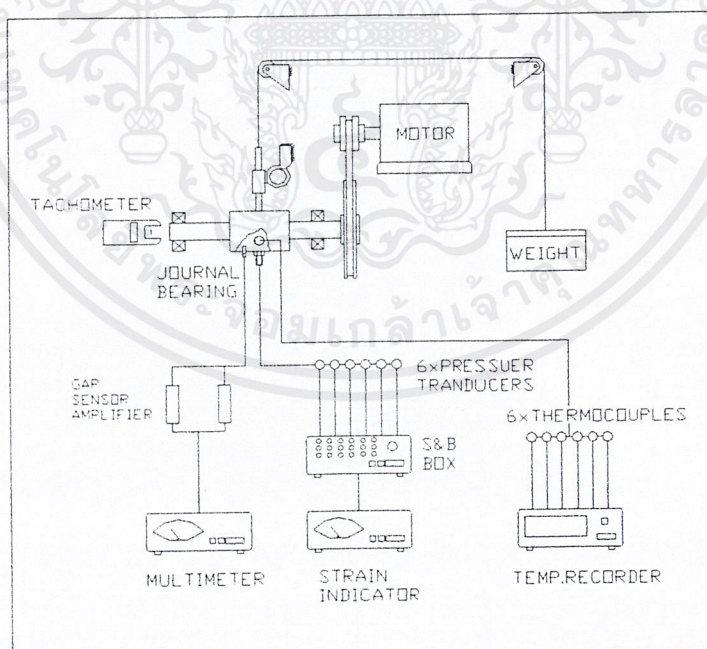
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

5.1 หลักการทดลองหาพฤติกรรมสติกส์ของน้ำมันพืชในกาบลองสั้นเพลากลม

หลักการทดลองหาพฤติกรรมสติกส์ของน้ำมันพืชในกาบลองสั้นเพลากลม โดยลักษณะของกาบลองสั้นที่นำมาใช้ในการทดลองจะเป็นกาบรองสั้นวงกลมเต็มวง จะมีมอเตอร์ขับเคลื่อนเพลากลมในกาบรองสั้น มีน้ำหนักถ่วง เพื่อให้เกิดการกระทำต่อเพลากลม และกาบรองสั้น โดยในขณะที่ทดลองจะทำการเติมน้ำมันปาล์มที่ผสมสารเติมแต่ง เข้าไปในระหว่างกาบรองสั้นและเพลากลม ในการทดลองจะเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนเพลากลมให้มีความเร็วรอบต่าง ๆ กับเปลี่ยนขนาดของน้ำหนักถ่วงเพลากลม เพื่อเปลี่ยนขนาดของภาระที่กระทำกับเพลากลม เปลี่ยนสารเติมแต่งที่ผสมในน้ำมันปาล์ม ในขณะที่ทดลองจะทำการวัดค่าแรงต่าง ๆ ในกาบรองสั้นที่สภาวะต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน (Pressure transducer) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในกาบรองสั้น และวัดระยะความหนาของฟิล์มน้ำมันด้วย Gap sensor รูปเครื่องมือทดลองแสดงดังรูปที่

5-1

5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

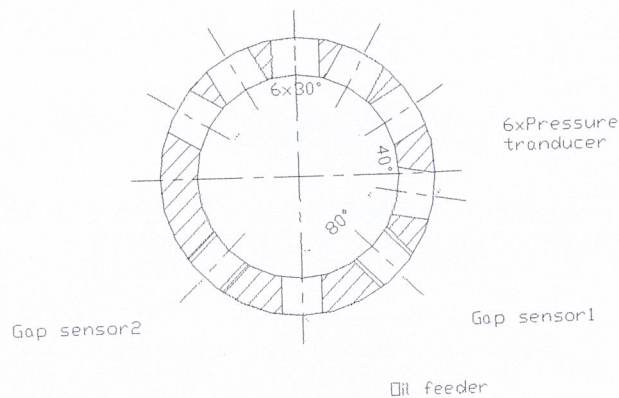


รูปที่ 5-1 ไลอะแกรมแสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.2.1 กาบรองสั้น

กาบรองสั้นที่ใช้ในการทดลองจะเป็นชนิดวงกลมลักษณะเต็มวง โดยกาบรองสั้นที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51.2 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร ดังแสดงดังรูปที่ 5-2

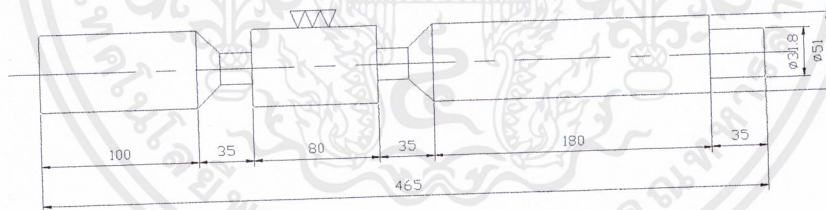
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดบนการรองรับ

5.2.2 เพลา (Journal)

เพลาที่ใช้ในการทดลองจะใช้เพลานาขนาดเดียวคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร มีความยาวที่ใช้งาน 80 มิลลิเมตร คือความยาวของเพลามีความยาวมากกว่าการรองรับ โดยตลอดความยาวที่ใช้งานจะเป็นผิวเจียรนัย

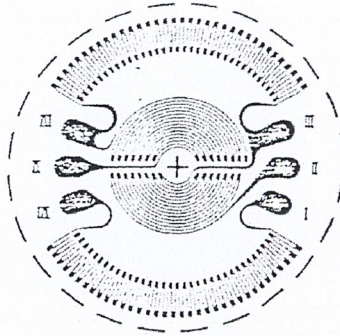


รูปที่ 5-3 แสดงลักษณะของเพลา

5.2.3 อุปกรณ์วัดความดัน

ในการวัดการกระจายความดันที่เกิดขึ้นในการรองรับ จะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Pressure transducer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของการเกิดความเครียดในแผ่นโลหะ โดยจะทำการติดตั้ง Strain Gage ไว้กับแผ่นโลหะบาง เมื่อแผ่นโลหะถูกความดันกระทำเกิดความเครียดขึ้นในแผ่นโลหะแล้วค่าความเครียดนี้จะถ่ายทอดไปสู่ strain gage จากนั้น strain gage จะส่งสัญญาณต่อไปยัง strain Indicator ทำให้สามารถวัดค่าความเครียดเนื่องจากความดันได้ โดยก่อนการทดลองจะทำการปรับค่า pressure transducer ก่อน โดยใช้เครื่อง Dead weight tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะขดลวดค้ำทาน

ในการปรับค่า Pressure transducer ทำโดยการใส่ค่าความดันไปที่ Pressure transducer เช่น เมื่อใส่ความดัน 1 บาร์แล้วทำการวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นแล้วทำการบันทึกค่าไว้ ทำการเพิ่มความดันไปเรื่อยๆ จนเลยค่าความดันมากที่สุดที่คาดว่าจะเกิดในกาบรองล้น วัดค่าความเครียดที่ได้ เมื่อนำค่าที่ทดสอบทั้งหมดมาเขียนกราฟก็จะได้กราฟความสัมพันธ์ของความดันกับค่าความเครียด เมื่อทำการทดลองในขณะที่เพลลาหมุนจะเกิดการกระจายความดันขึ้นในกาบรองล้นเมื่อความดันนี้กระทำกับ Pressure transducer ก็จะสามารถอ่านค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันที่กระทำได้ จากนั้นนำค่าความเครียดไปอ่านค่าที่กราฟความสัมพันธ์ของ ความดัน กับค่าความเครียดก็จะได้ค่าความดันที่เกิดขึ้นในกาบรองล้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับ โวลเตจที่ได้จาก Strain gage จะเป็นเส้นตรงเมื่อการแอ่นตัวที่จุดศูนย์กลางของแผ่นกลม δ_c น้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความหนาของแผ่นกลมสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง δ_c กับความดันเป็นดังนี้

$$\delta_c = \frac{3PR^4(1-\nu^2)}{16t^3E} \quad (5.1)$$

เมื่อ $\delta_c \leq \frac{t}{4}$ ดังนั้น

$$P_{\max} \leq \frac{4}{3} \left(\frac{t}{R_0}\right)^4 \times \frac{E}{1-\nu^2} \quad (5.2)$$

จากสมการที่ (5.2) จะใช้สำหรับคำนวณหาความหนาของแผ่นกลม โดย

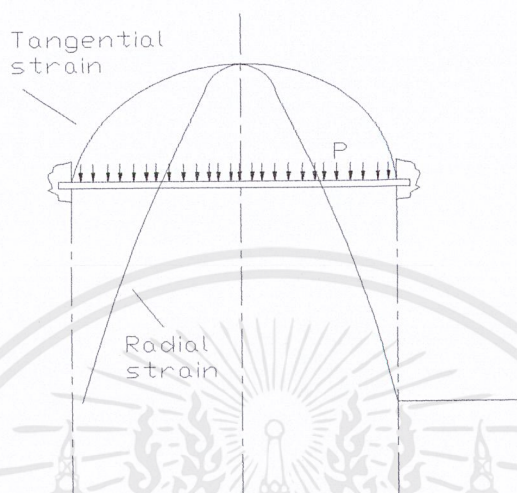
$$P = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$E = 90 \times 10^9 \text{ Pa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

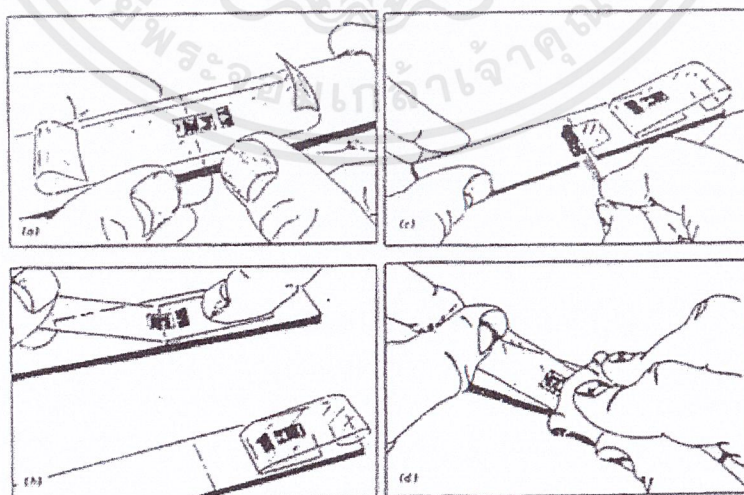
$$R = 2.5 \times 10^{-3}$$

ทำการแทนค่าลงในสมการที่ 5.2 จะได้ $t = 0.1 \text{ mm}$.



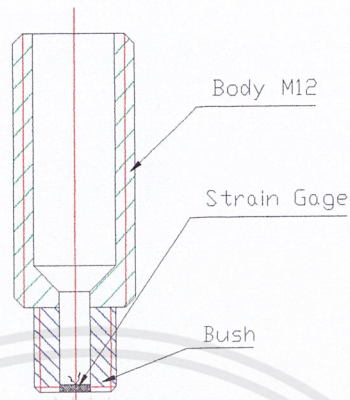
รูปที่ 5-5 แสดงการเกิดความเครียดบนแผ่นกลม

เมื่อได้ขนาดของแผ่นโลหะบางแล้วขั้นตอนต่อไปคือทำการออกแบบรูปร่างลักษณะของ Pressure transducer โดยมีลักษณะดังรูปที่ 5-7 และวิธีการติดตั้ง Strain gage ดังรูปที่ 5-6



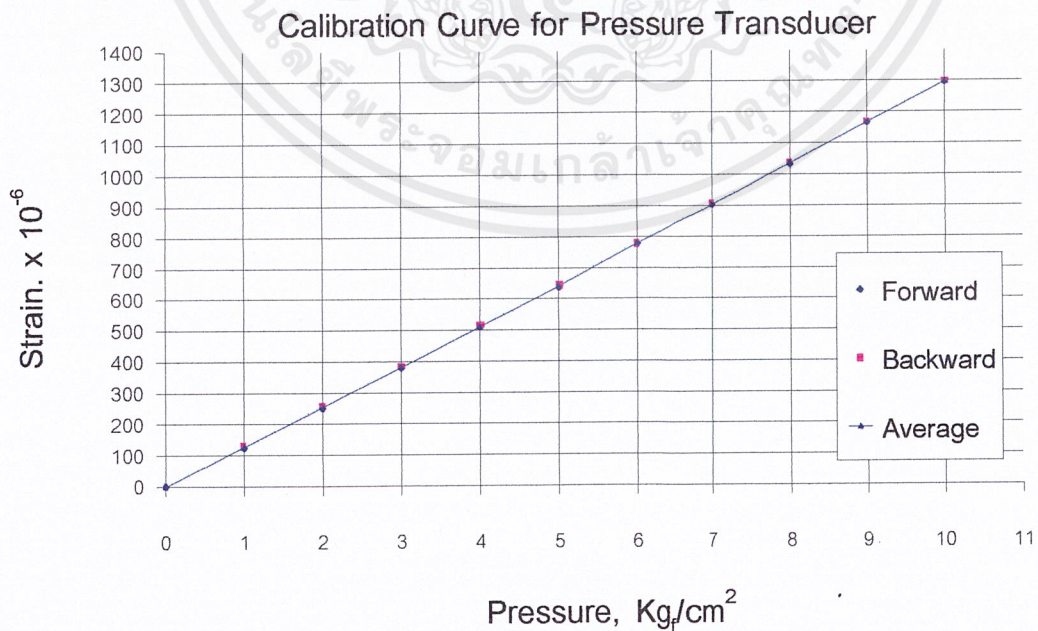
รูปที่ 5-6 แสดงวิธีติด Strain gage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

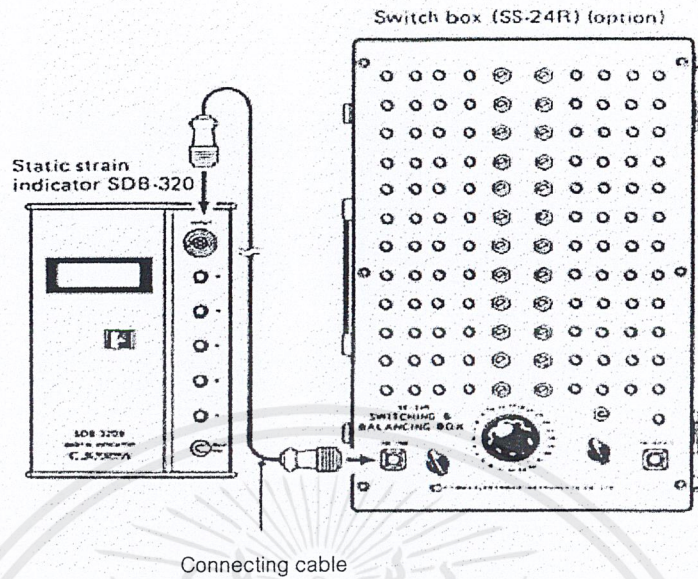


รูปที่ 5.7 แสดงอุปกรณ์วัดความดัน (Pressure transducer)
พร้อมแสดงการติดตั้ง Strain gage

เมื่อสร้างอุปกรณ์วัดความดันเรียบร้อยแล้วก่อนจะนำไปใช้ในการทดลองจะต้องนำเครื่องมือวัดความดันไปทำการเปรียบเทียบค่าตามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งได้ผลของการเปรียบเทียบค่าดังรูป



รูปที่ 5-8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับ Strain ของอุปกรณ์วัดความดัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการแจ้งให้ถือการสงวนลิขสิทธิ์ไว้ ซึ่งผู้รู้เห็นในเชิงวิชาการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-9 แสดงอุปกรณ์วัดค่า Strain

5.2.4 อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน

อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน หรือวัดระยะห่างระหว่างผิวเพลากับผิวการรองลื่น เรียกว่า Gap sensor โดยอุปกรณ์วัดชนิดนี้จะส่งสัญญาณไปยัง Converter จากนั้น converter จะส่งสัญญาณต่อไปยัง Multimeter ทำให้สามารถอ่านค่าได้ จากนั้นนำค่าที่อ่านได้นี้ไปเทียบตาราง ซึ่งทำให้ได้ห่างระหว่างผิวเพลากับการรองลื่น

การติดตั้ง การเดินสาย การใช้งาน

1. การติดตั้งโพรบ

ติดตั้งโพรบในที่มีสัญญาณไฟฟ้า out put ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงที่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณตอบสนอง out put

2. การเดินสายเชื่อมระหว่าง Converter กับ Probe

ต่อโพรบกับขั้วสัญญาณ Input ของ Converter ด้วยสายโพรบ PC-03

3. การเดินสายของสัญญาณ output

นำสัญญาณ Out put มาจากขั้วสัญญาณ out put และขั้วไฟกราวด์ และป้อนให้แก่โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล

4. การต่อกับแหล่งจ่ายไฟ

ป้อนไฟ $\pm 12V$ จากเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง โดยต่อจากเครื่อง +12 V, -12 V และ 0V

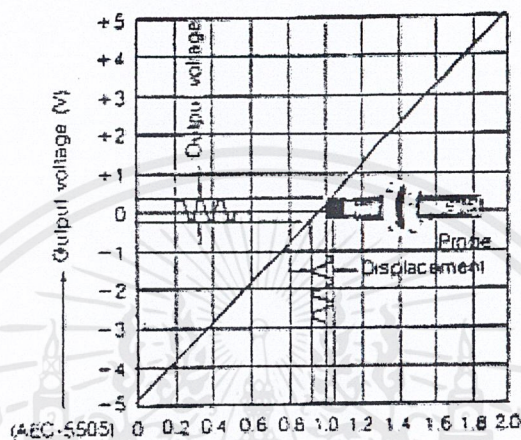
5. อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์นี้ต้องการเวลาอุ่นเครื่องหลังจากเปิดสวิทช์สักระยะ

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put.

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put ของอุปกรณ์นี้ถูกปรับแต่งเพื่อที่จะให้ผลสอดคล้องกับวัสดุที่เป็นโลหะ ตามรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Out put (Voltage) กับระยะกระจัด

ผลตอบสนองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่าง และความหนาของวัตถุที่ใช้วัด

Gap-sensor สามารถปรับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ out put ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้

เมื่อผิวของวัตถุมีค่าเป็น 2 เท่าของผิวหน้าโพรบ จะไม่มีผลต่อผลตอบสนองแต่ประการใด

เมื่อผิวของวัตถุมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งหรือมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพื้นที่ของผิวหน้าโพรบ ผลตอบสนองจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่านั้น

สำหรับวัสดุที่เป็นผงหรือมีส่วนประกอบหลายส่วน หรือเป็นสายที่รวบไว้ด้วยกันอาจให้ผลการตอบสนองที่ไม่ดี หรือไม่ให้ผลตอบสนองเลย

วัตถุที่หนากว่า 1.0 mm. จะไม่มีผลตอบสนอง

สำหรับวัตถุทรงกระบอกต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3.5 เท่าของโพรบขึ้นไปผลตอบสนองจะคงเดิม

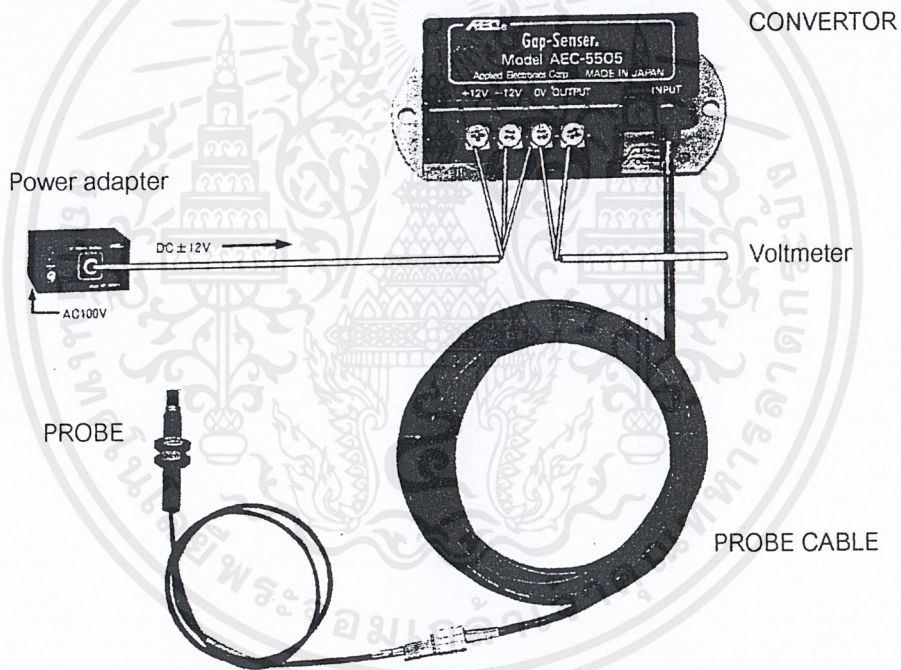
การปรับแต่งผลตอบสนองของสัญญาณ Out put

ผลตอบสนองของสัญญาณ Out put จะถูกปรับโดยใช้วัตถุเป็นเหล็ก ผลตอบสนองของสัญญาณ out put จะขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของวัตถุที่ใช้ทำวัตถุเป้า สามารถปรับค่าได้เพื่อให้สอดคล้องกับ

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. อย่าวางโลหะในบริเวณใกล้ ๆ กับวัตถุโพรบ
 2. เมื่อโพรบถูกติดตั้งในโลหะต้องระมัดระวังอย่าให้หัวของโพรบถูกโลหะปิดไว้ดังรูป
 3. เมื่อโพรบหลายๆ อันถูกใช้พร้อม ๆ กันอย่าตั้งไว้ใกล้ ๆ กัน
 4. ตรวจสอบสายให้เรียบร้อยก่อนเปิดเครื่อง
 5. อย่าลัดวงจรของสัญญาณ Out put
 6. อย่าเพิ่มความยาวหรือตัดสายโพรบ
 7. โพรบสามารถใช้ในน้ำ น้ำมัน และสนามแม่เหล็กได้
- การต่อวงจรสำหรับ Gap Sensor เป็นดังรูป



รูปที่ 5-11 แสดงวงจรสำหรับ Gap sensor

5.2.5 มอเตอร์

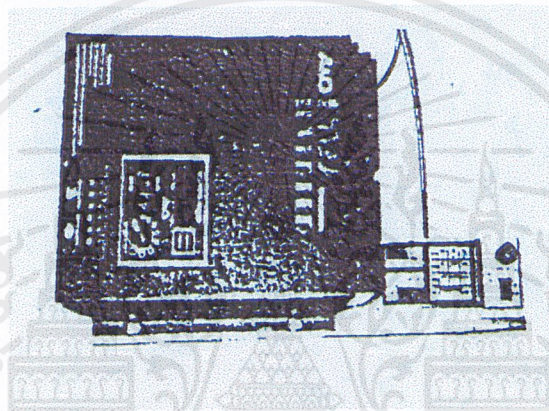
มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนในกาปรองตั้นเป็นมอเตอร์แบบ Induction Motor ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วรอบให้เป็นไปตามต้องการได้ ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$N = \frac{(1-S)120 f}{60} \quad (5.3)$$

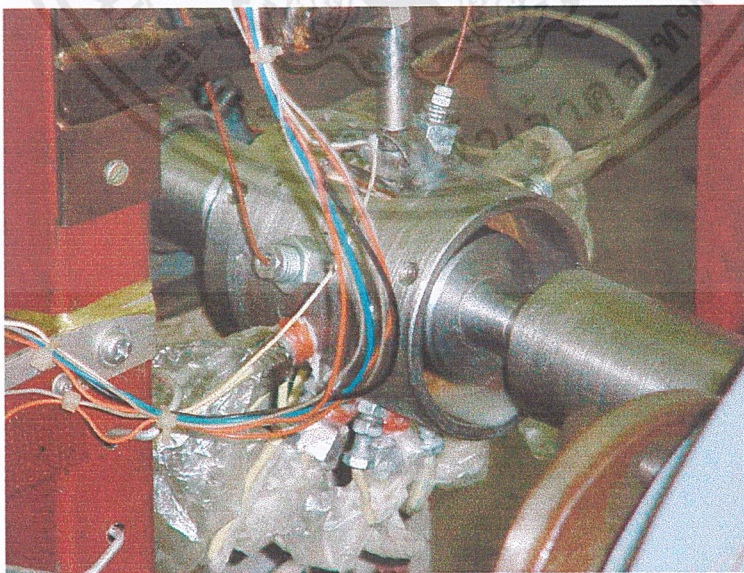
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	N	=	ความเร็วรอบ
	S	=	ค่า Slip
	f	=	ความถี่กระแสไฟฟ้า
	p	=	จำนวน Pole

จากสมการถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ความเร็วรอบจะเปลี่ยนจึงต้องใช้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้า เพื่อปรับความเร็วรอบให้เป็นไปตามที่กำหนด

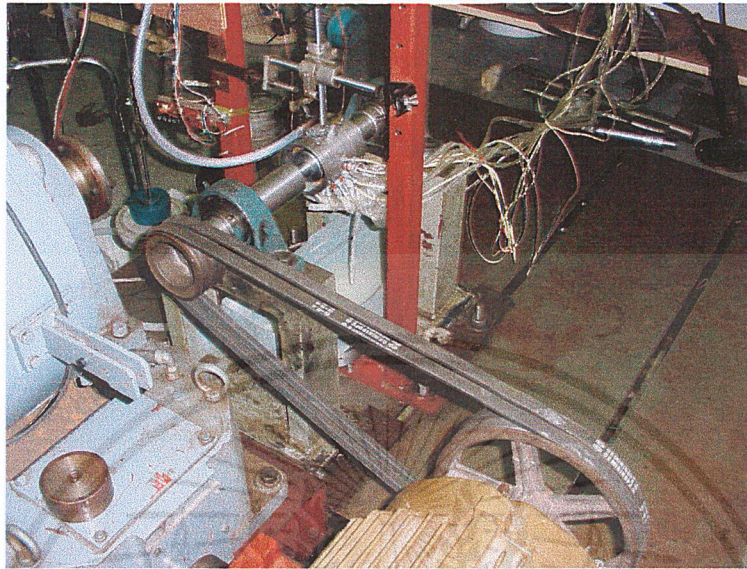


รูปที่ 5-12 แสดงอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์

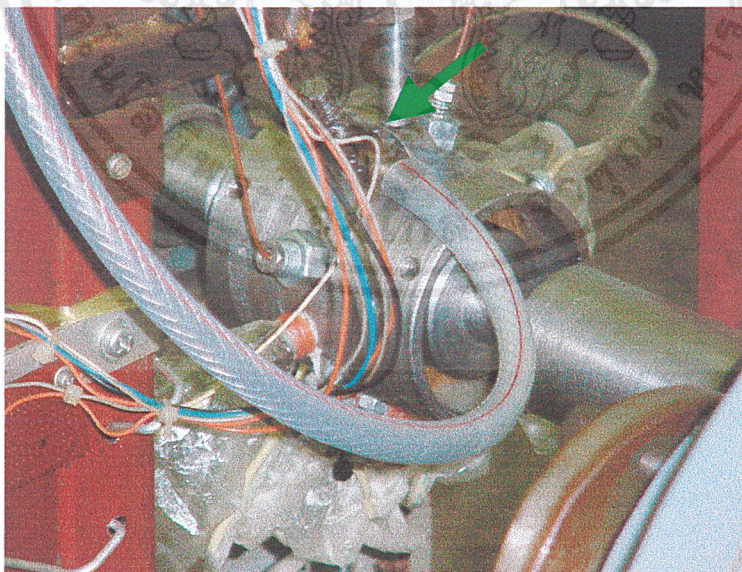


รูปที่ 5-13 แสดงการประกอบภาวรองลื่นเข้ากับเพลลาและติดตั้งอุปกรณ์การวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

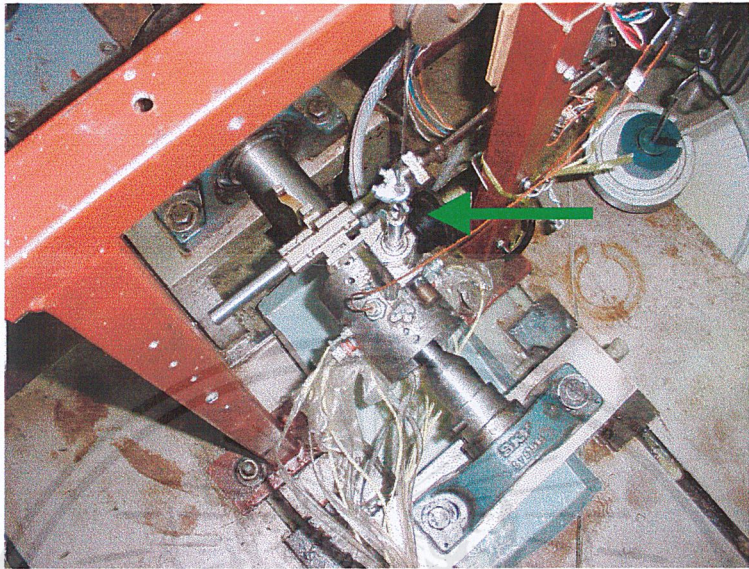


รูปที่ 5-14 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองพร้อมมอเตอร์

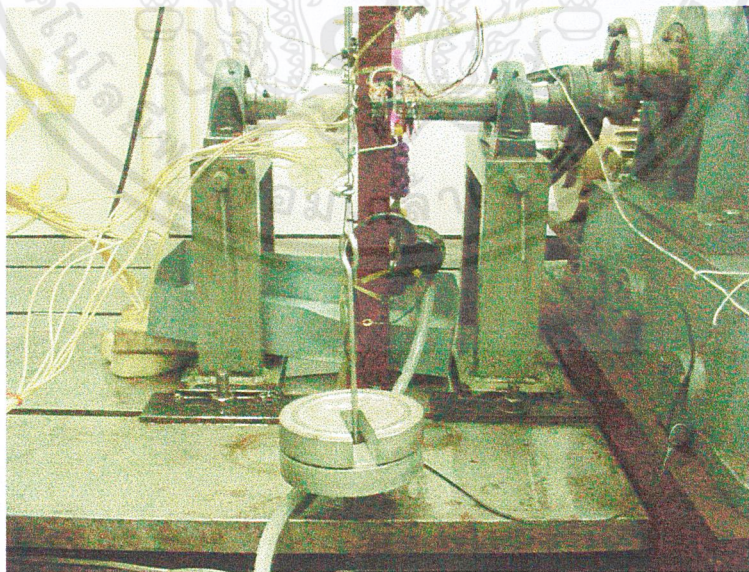


รูปที่ 5-15 แสดงการปล่อยน้ำมันหล่อลื่นเข้ากาบรองลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

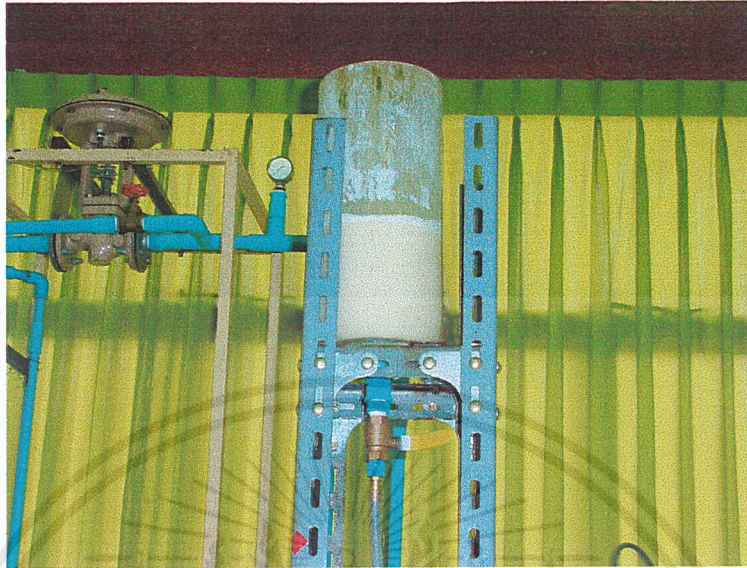


รูป 5-16 แสดงส่วนต่อจากปลอก แขนงกาบรองลื่นเข้ากับชุดแขนงนำหน้า

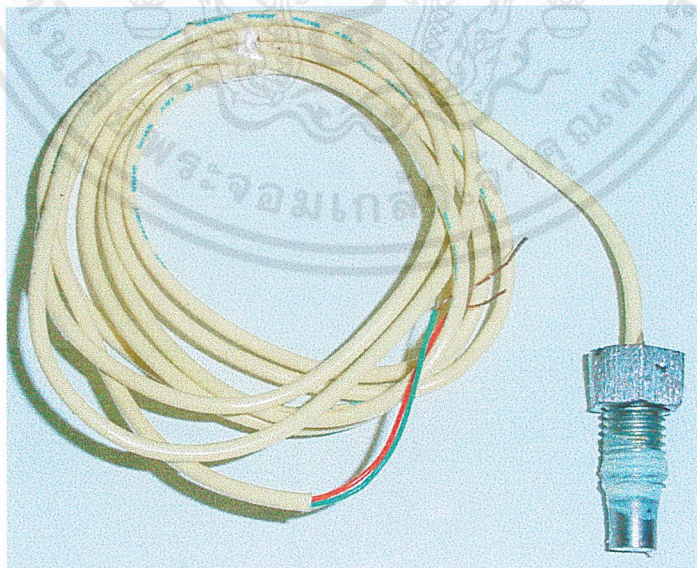


รูป 15-17 แสดงการแขนงนำหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

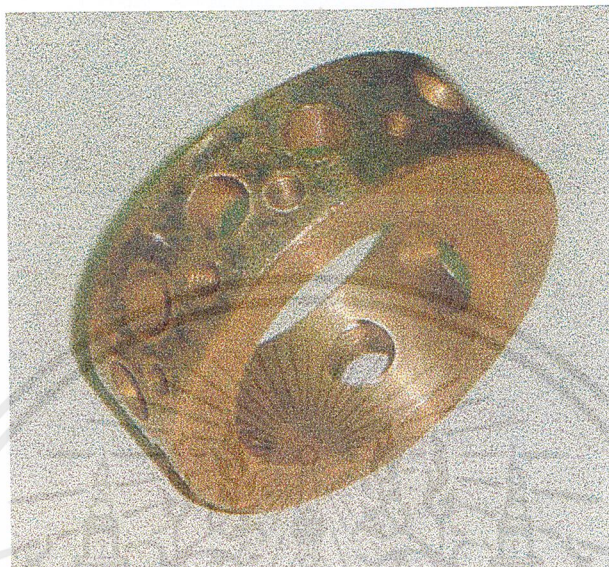


รูปที่ 5-18 แสดงถึงปลอยน้ำมันลงภาครองลื่น

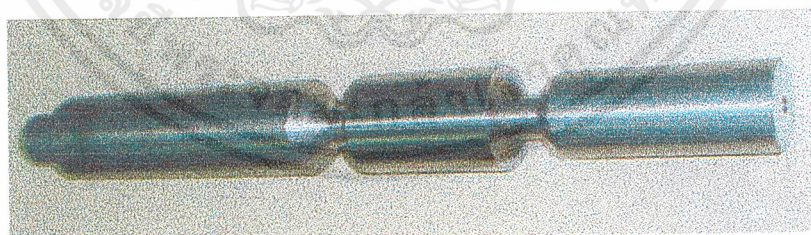


รูปที่ 5-19 แสดง Pressure transducer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5-20 แสดงลักษณะของกาบรองลีน

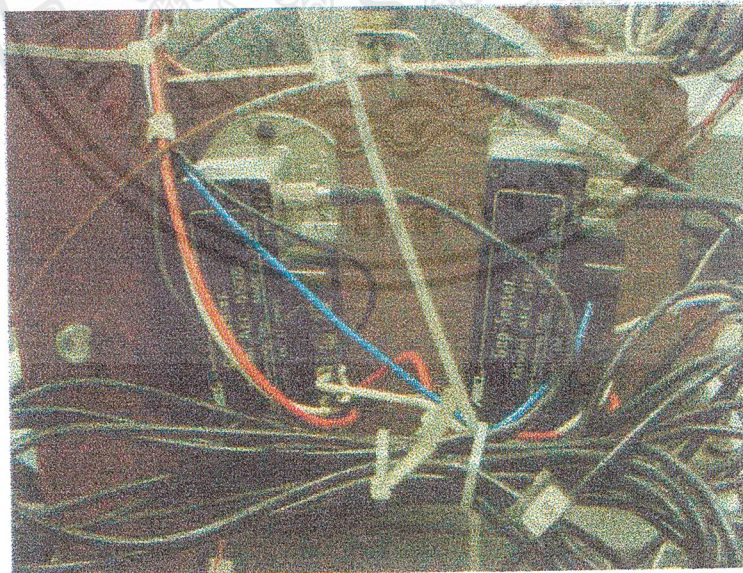


รูปที่ 5-21 แสดงลักษณะของเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-22 แสดงเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า



รูปที่ 5-23 แสดงตัววัดสัญญาณความหนาฟิล์มนำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-24 แสดง Switching & Balance



รูปที่ 5-25 แสดงอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

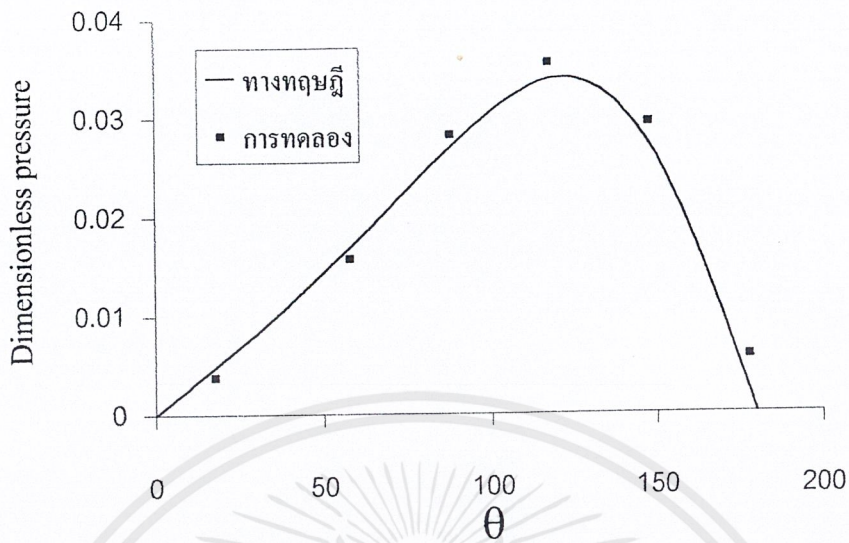
6.1 วิธีการทดลอง

- 6.1.1 ติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ กับกาบรองลื่น
- 6.1.2 ปล่อน้ำมันจากถังเก็บให้ไหลเข้ากาบรองลื่นเพลากลม
- 6.1.3 เดินมอเตอร์ที่ความเร็วรอบของเพลลา 200, 600, และ 1000 รอบต่อนาที ตามลำดับ
- 6.1.4 ที่ความเร็วรอบหนึ่ง ๆ จะใส่ถ่วงน้ำหนัก 5, 10 และ 15 กิโลกรัมตามลำดับ
- 6.1.5 วัดค่าต่าง ๆ คือ ความดัน อุณหภูมิ และ ความหนาฟิล์มน้ำมัน แล้วบันทึกผลการทดลอง
- 6.1.6 จากผลการทดลองนำไปวิเคราะห์หน่วยไร้มิติ แล้วนำไปเขียนกราฟ
- 6.1.7 สรุปลผลการทดลอง

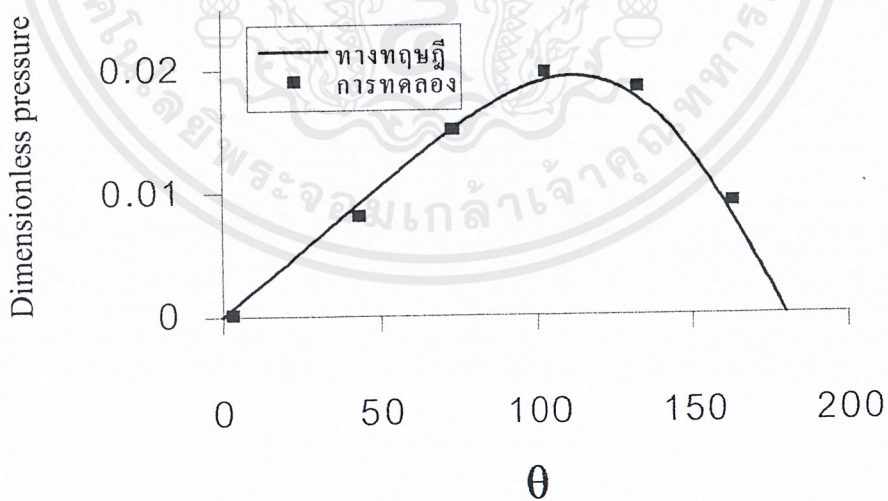
6.2 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 6.1 ของน้ำมันปาล์ม + PIB + น้ำมันซิลิโคน และ น้ำมันปาล์ม + OCP + น้ำมันซิลิโคนในกาบรองลื่นเพลากลมที่ช่องว่างระหว่างผิวเพลากับกาบรองลื่น 0.08 และ 0.1 มิลลิเมตรที่ความเร็วรอบ 200, 600 และ 1000 รอบต่อนาที ที่ภาระ 5, 10 และ 15 กิโลกรัม จะทำให้ได้ผลการทดลองอยู่ในรูปการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองลื่นเพลากลมตามจุดต่าง ๆ ที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นกราฟของการกระจายแรงดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองลื่นเพลากลมเพื่อนำกราฟที่ได้ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

เมื่อนำกราฟการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองลื่นเพลากลมที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองมาสร้างรวมกัน จะได้ผลการทดลองในรูปของกราฟการเปรียบเทียบการกระจายแรงดันภายในฟิล์มน้ำมันของกาบรองลื่นเพลากลมที่น้ำมันปาล์มเติมสารเพิ่มคุณสมบัติ PIB และ OCP ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ และที่ภาระต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

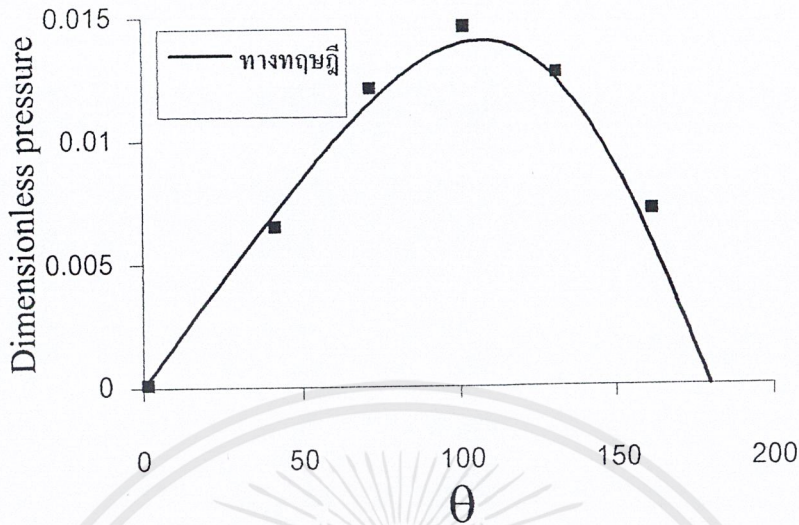


รูปที่ 6-1 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 5 kg.

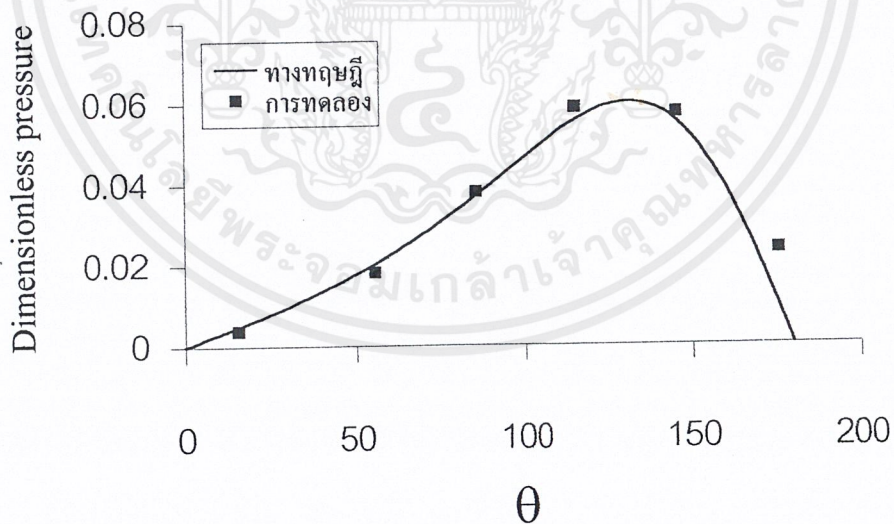


รูปที่ 6-2 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 5 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

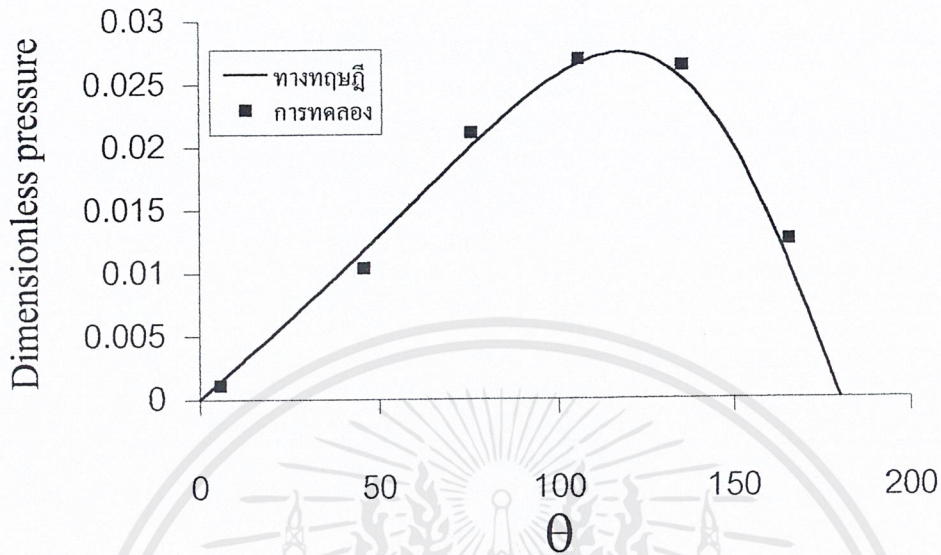


รูปที่ 6-3 กราฟการกระจายความดันในการรอนกลิ้งของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 5 kg.

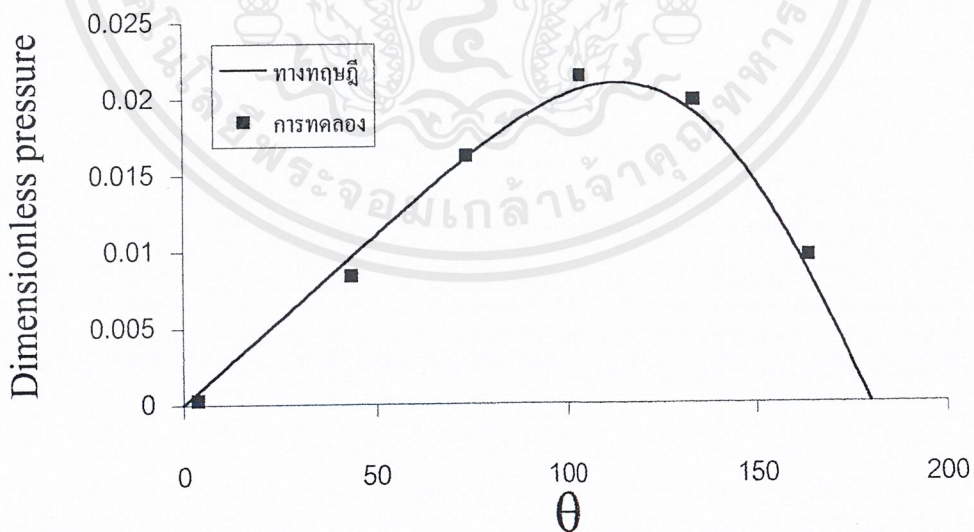


รูปที่ 6-4 กราฟการกระจายความดันในการรอนกลิ้งของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 10kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

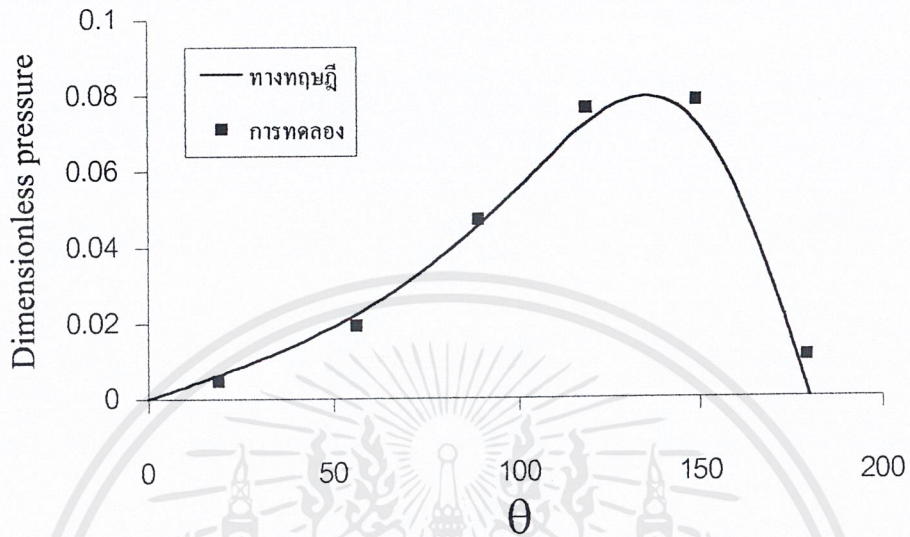


รูปที่ 6.5 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 10kg.

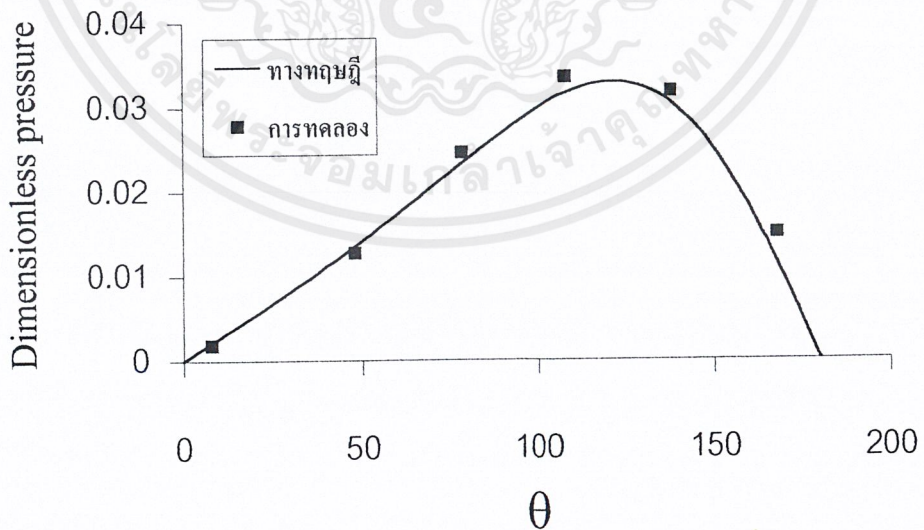


รูปที่ 6.6 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 10 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

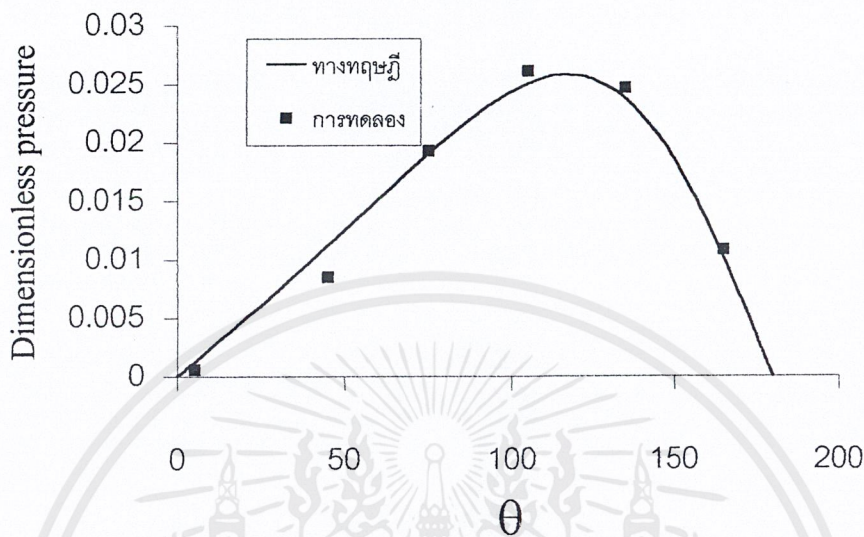


รูปที่ 6.7 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลีโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 15kg.

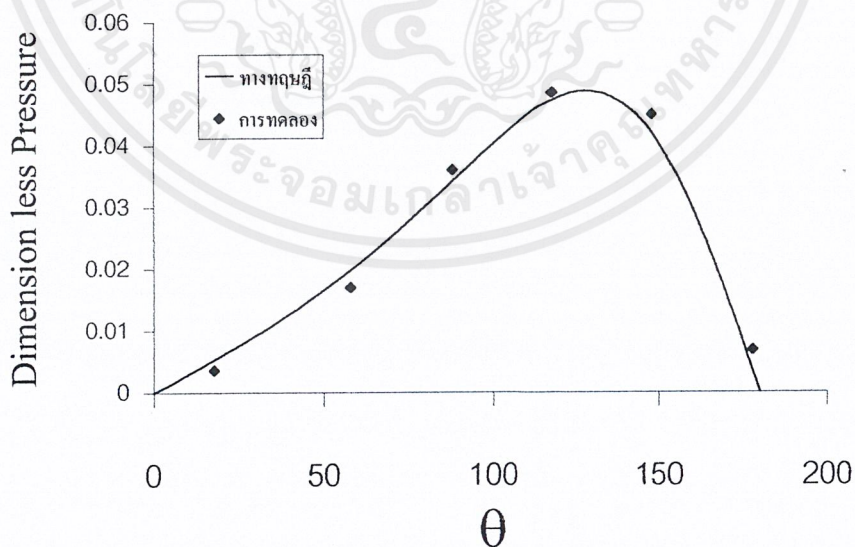


รูปที่ 6.8 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลีโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

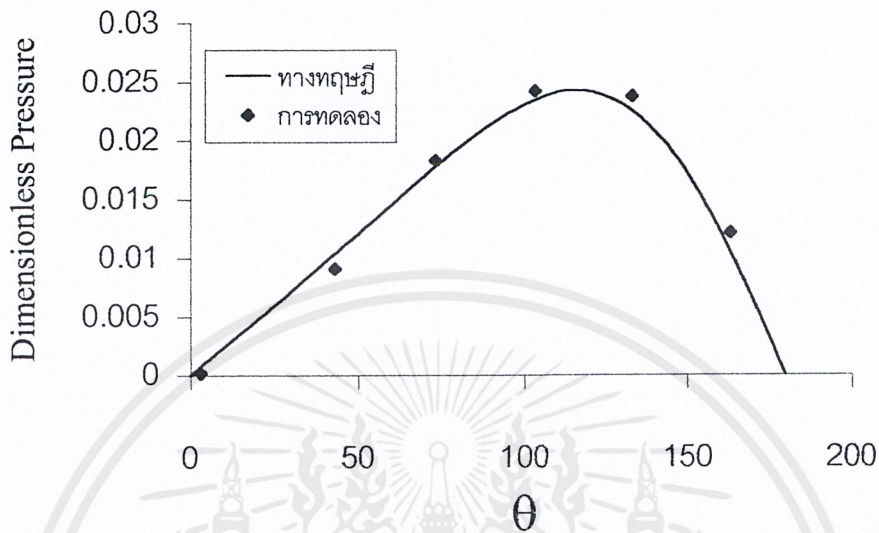


รูปที่ 6.9 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลิ โคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 15kg.

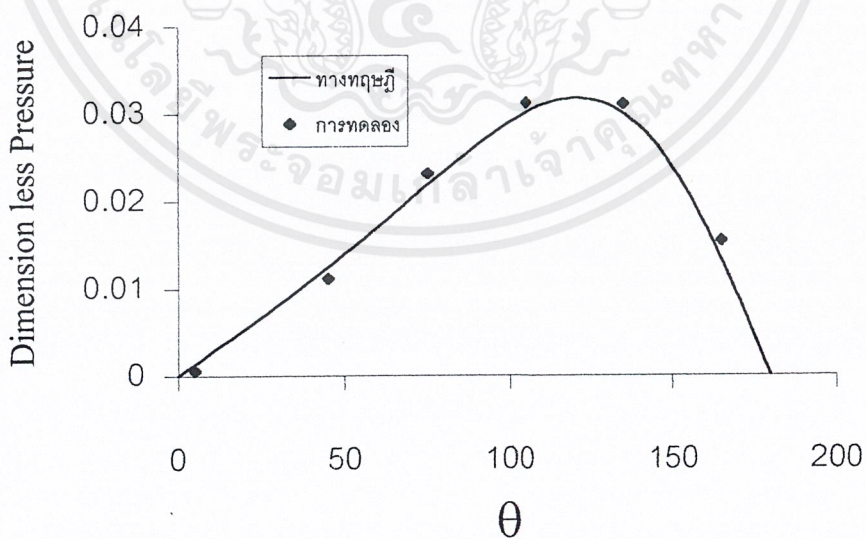


รูปที่ 6.10 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลิ โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 5kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

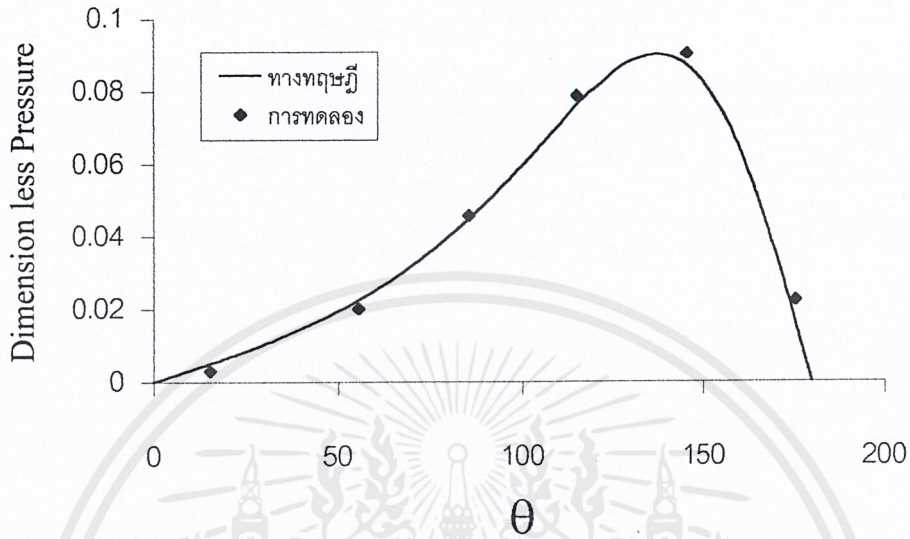


รูปที่ 6.11 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคลน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 5kg.

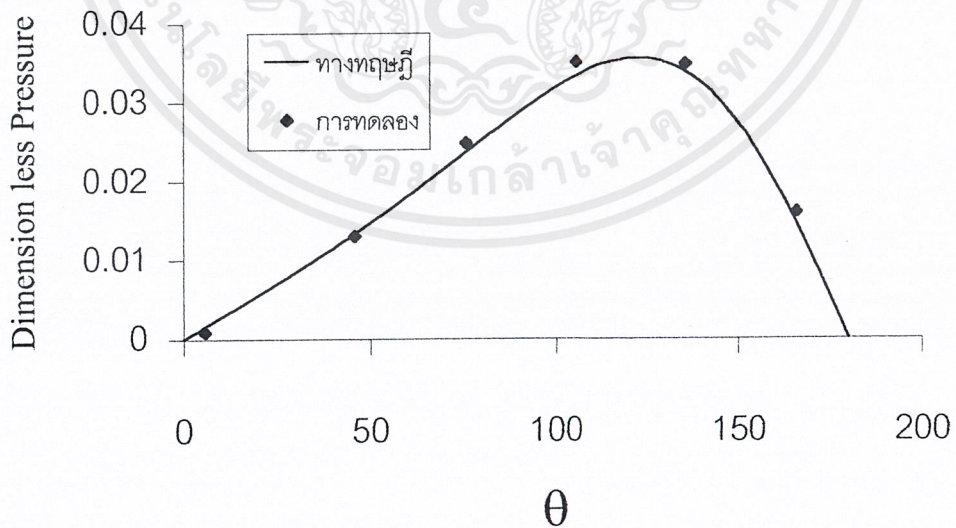


รูปที่ 6.12 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคลน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 5kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

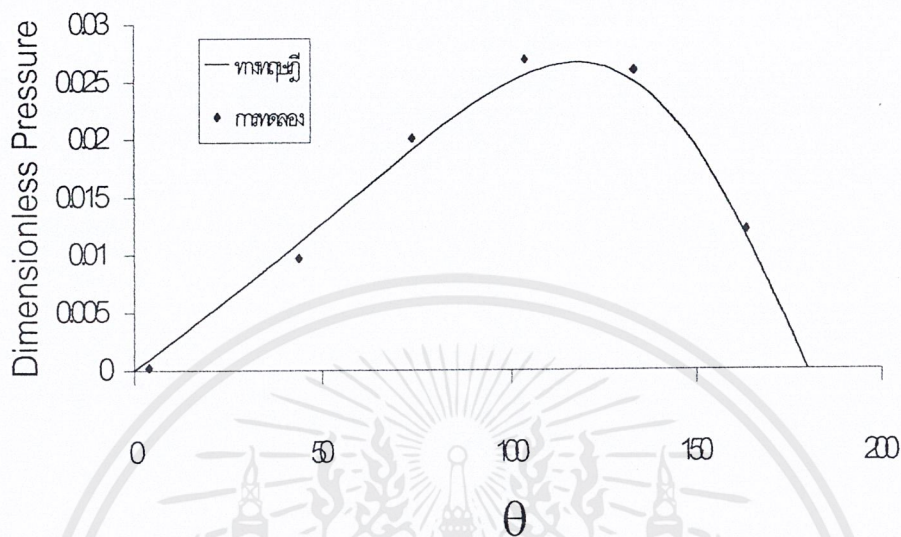


รูปที่ 6.13 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 10kg.

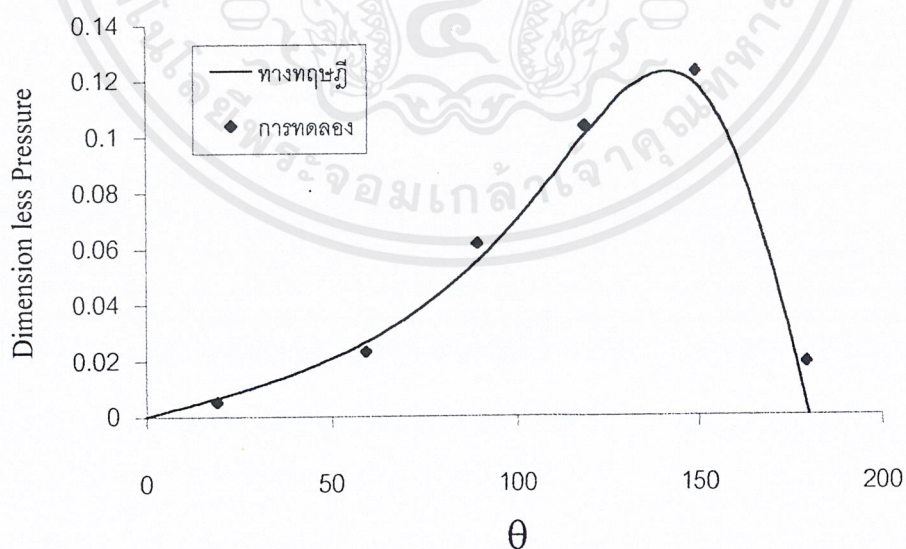


รูปที่ 6.14 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 10kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



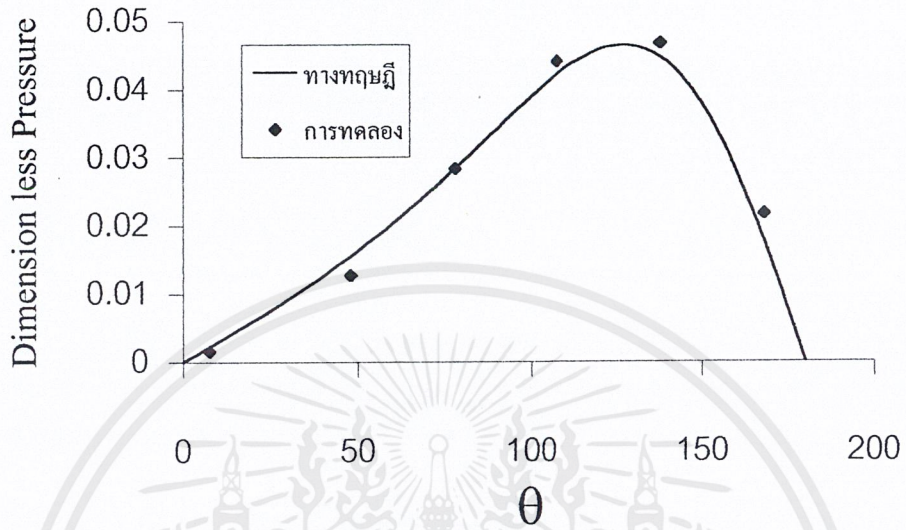
รูปที่ 6.15 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 10kg.



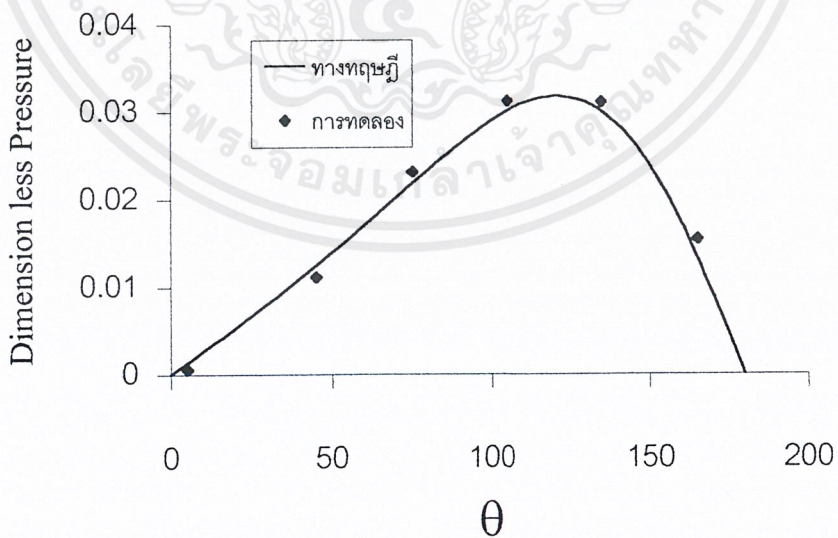
รูปที่ 6.16 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันชิลี

โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

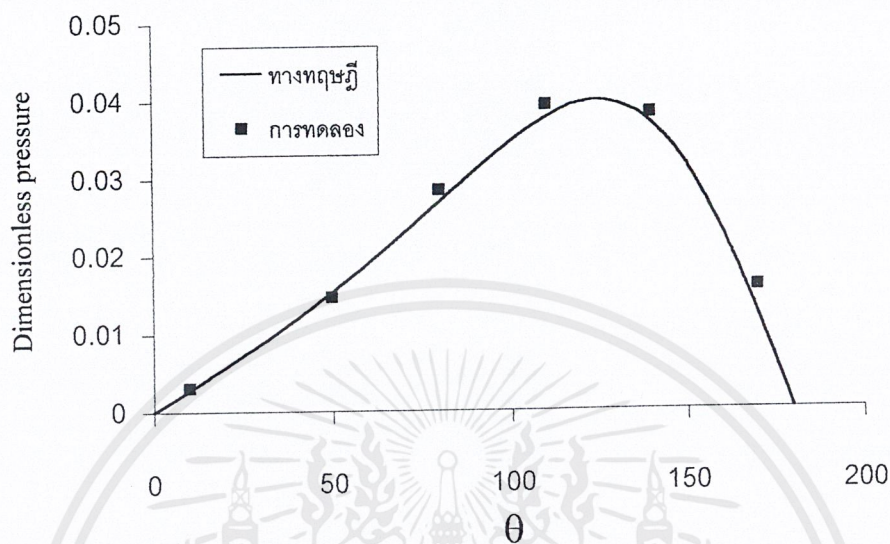


รูปที่ 6.17 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลีโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 15kg.

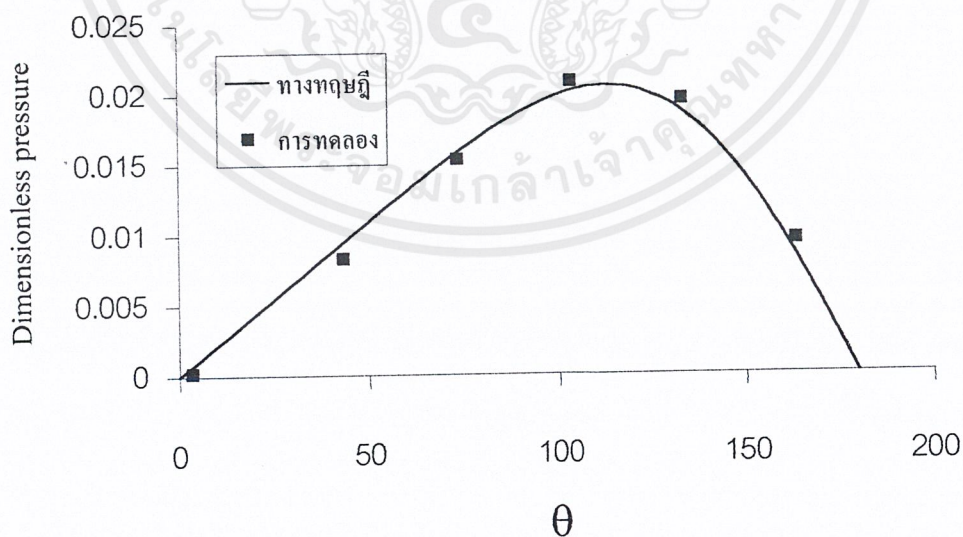


รูปที่ 6.18 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม PIB4% และน้ำมันซีลีโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

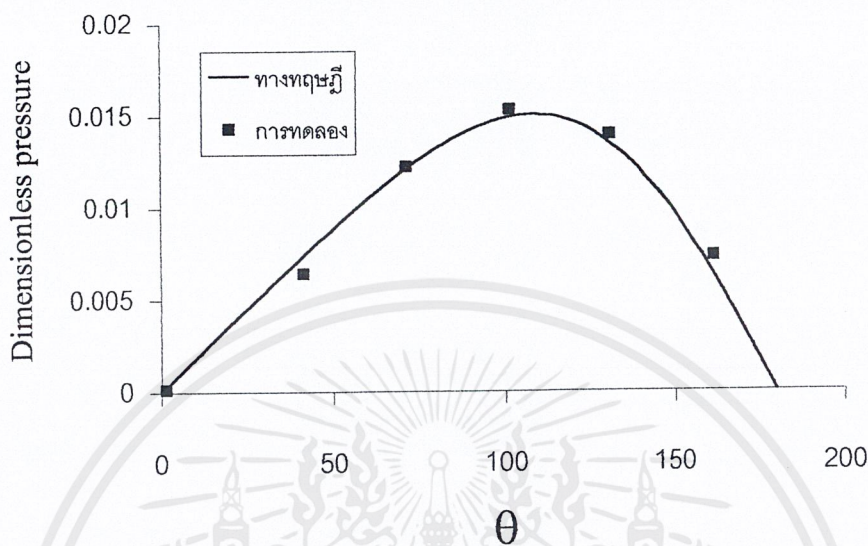


รูปที่ 6.19 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 5kg.

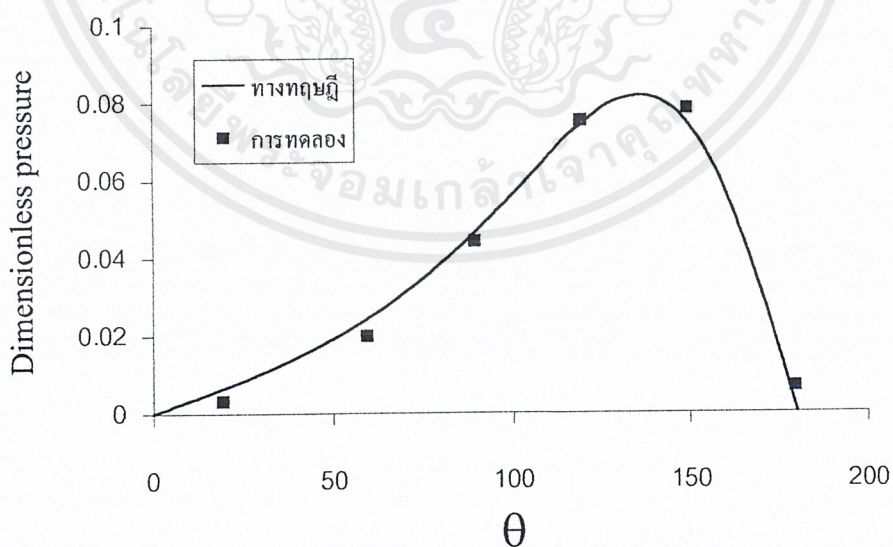


รูปที่ 6.20 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 5kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

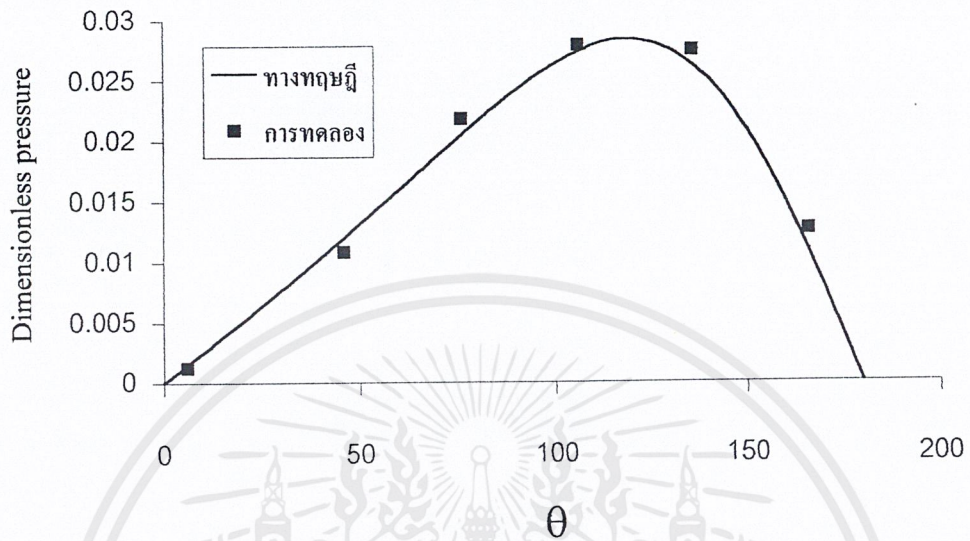


รูปที่ 6.21 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 5kg.

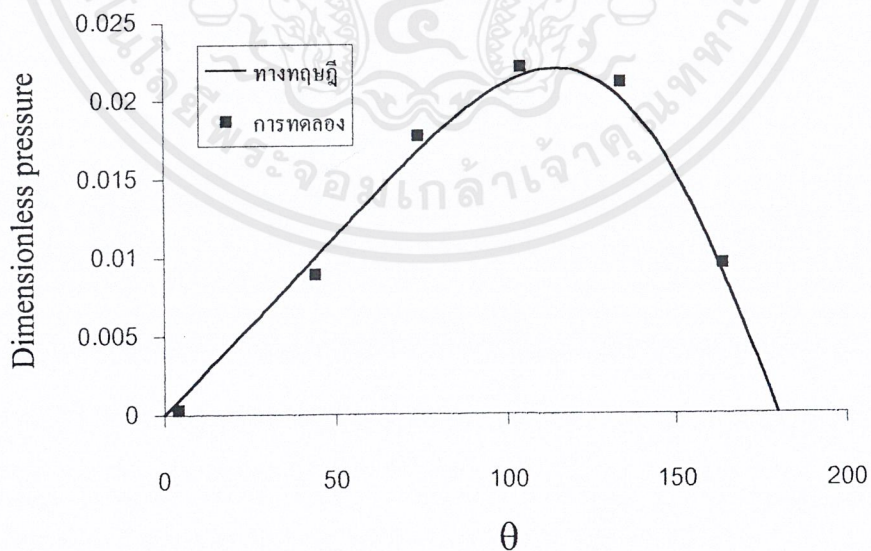


รูปที่ 6.22 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 10kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

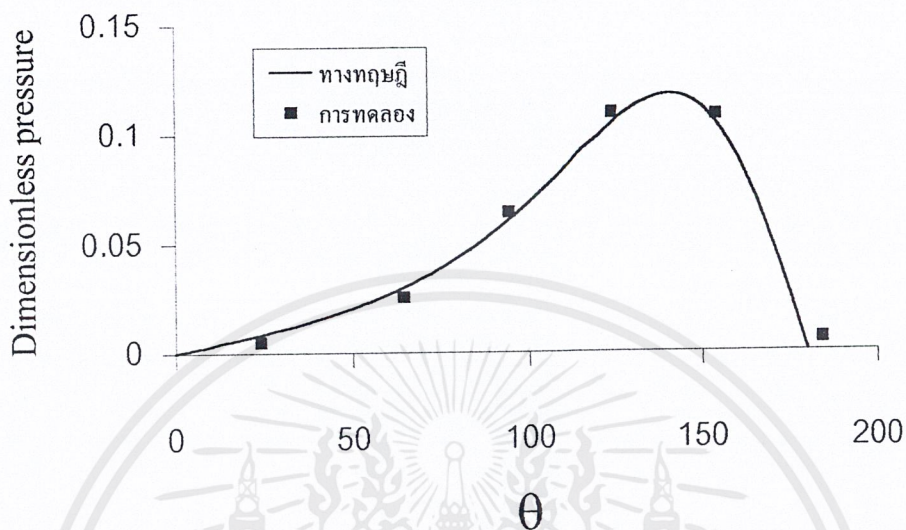


รูปที่ 6.23 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 10kg.

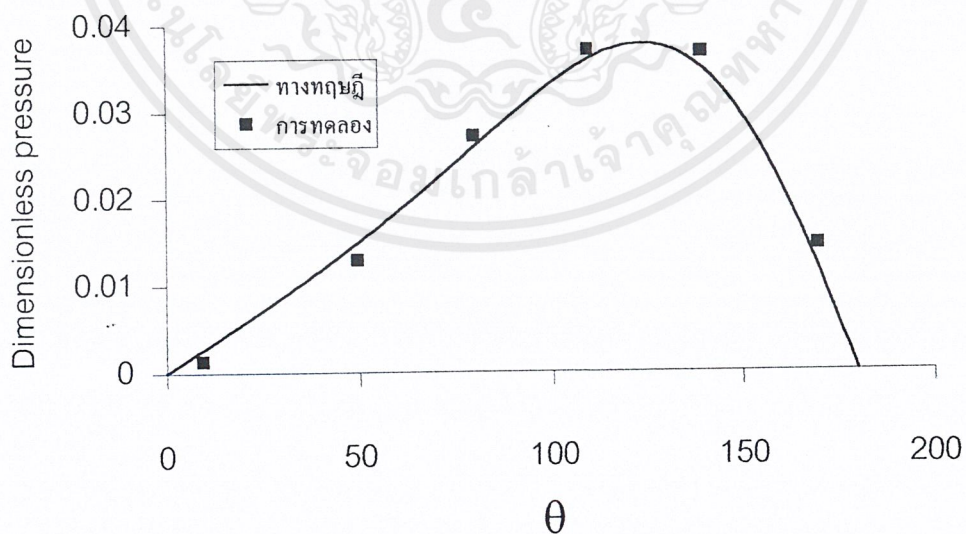


รูปที่ 6.24 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 10kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

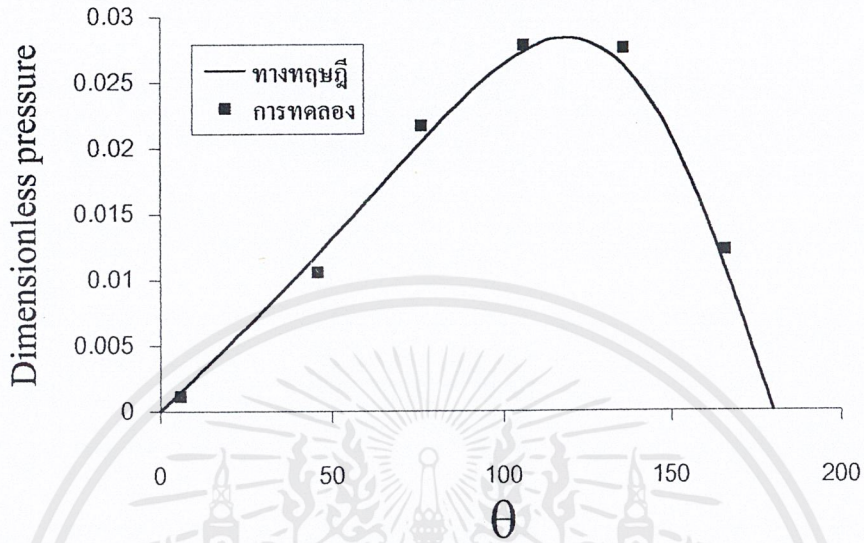


รูปที่ 6.25 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 15kg.

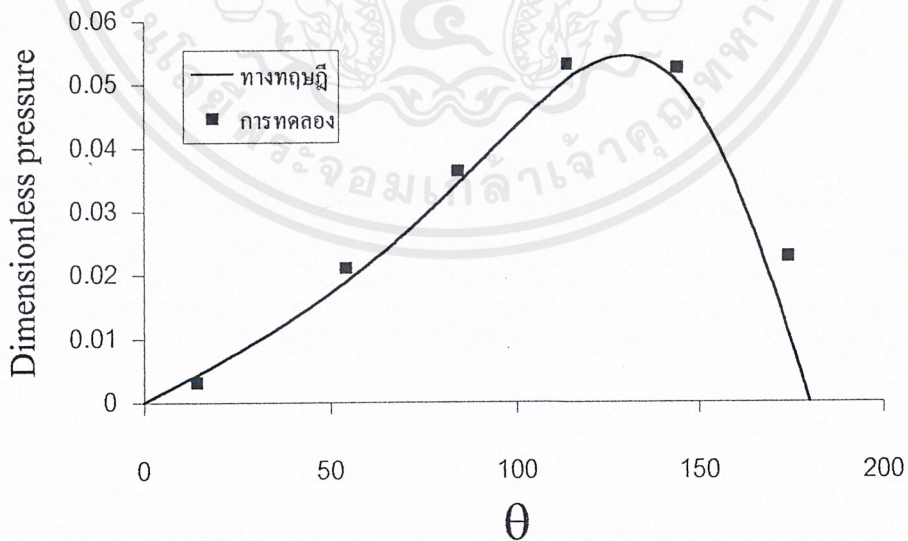


รูปที่ 6.26 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

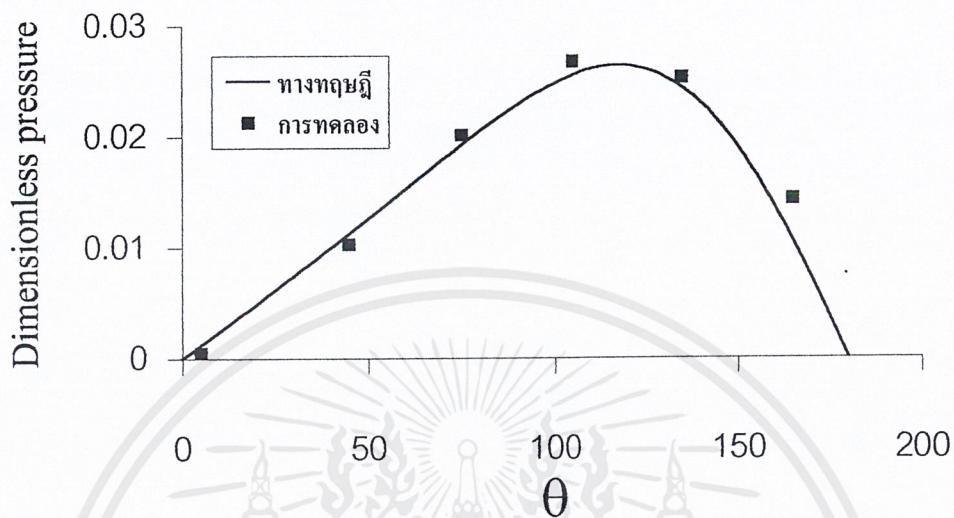


รูปที่ 6.27 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซิลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.08$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 15kg.

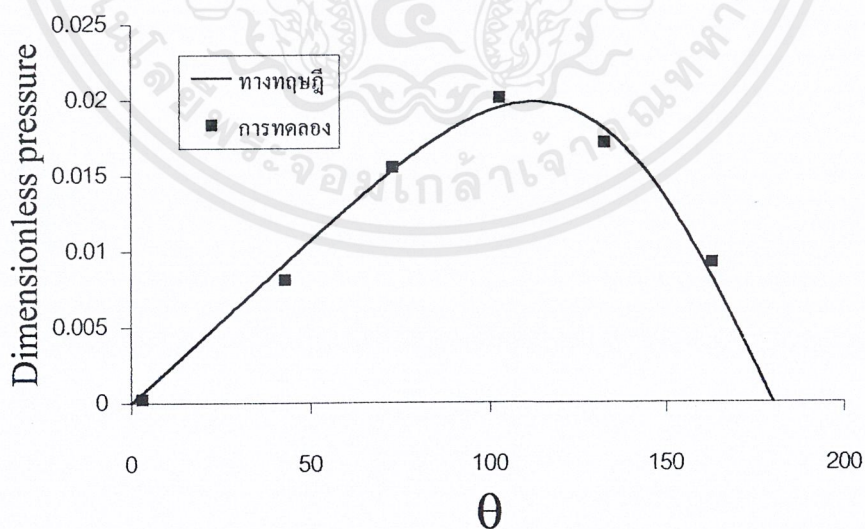


รูปที่ 6.28 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซิลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 5kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

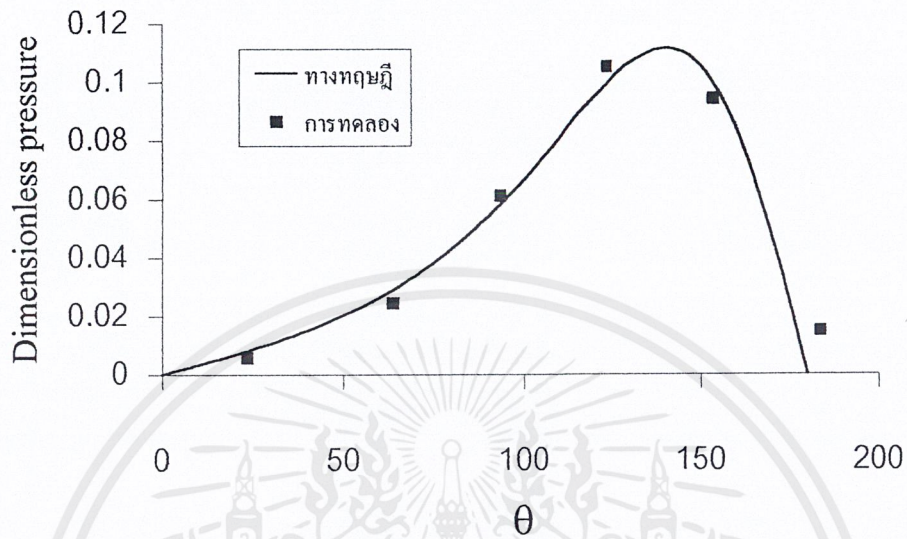


รูปที่ 6.29 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซี
ลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 5kg.

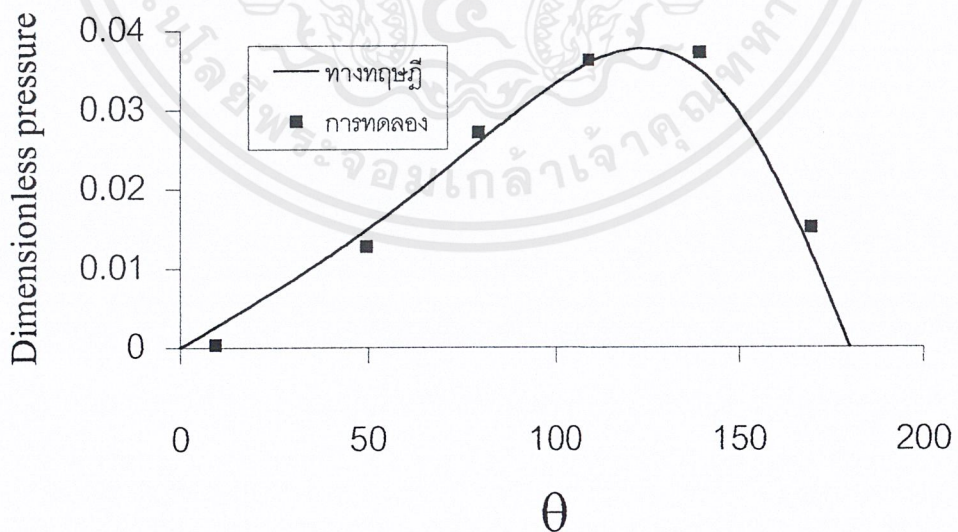


รูปที่ 6.30 กราฟการกระจายความดันในกาบรองลื่นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซี
ลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 5kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

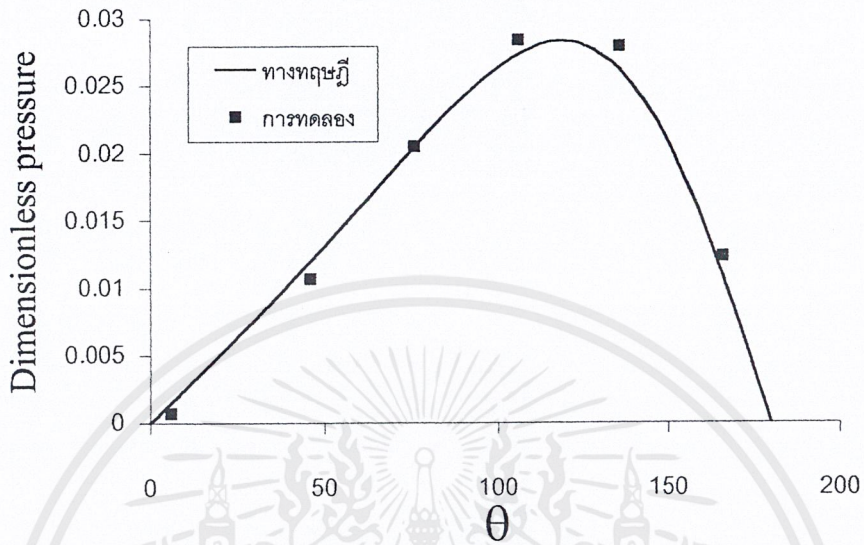


รูปที่ 6.31 กราฟการกระจายความดันในการรองลิ้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 10kg.

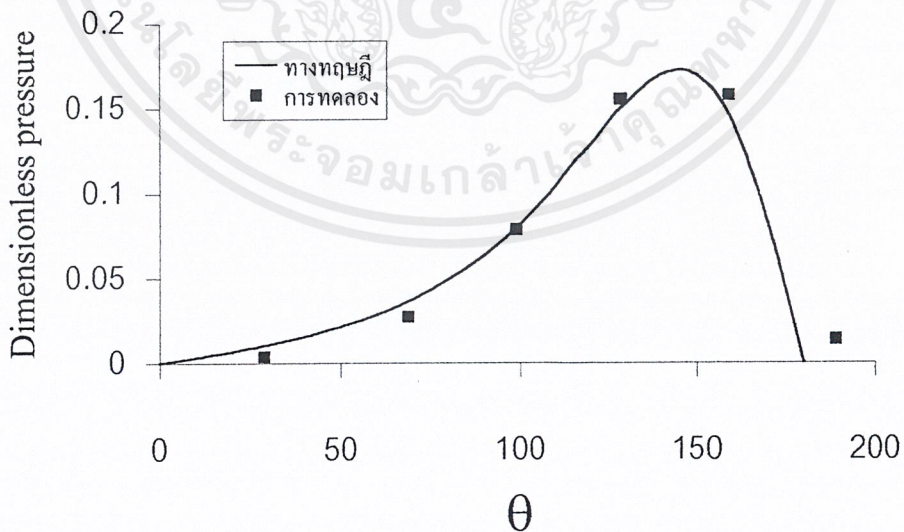


รูปที่ 6.32 กราฟการกระจายความดันในการรองลิ้นของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลี โคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 10kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

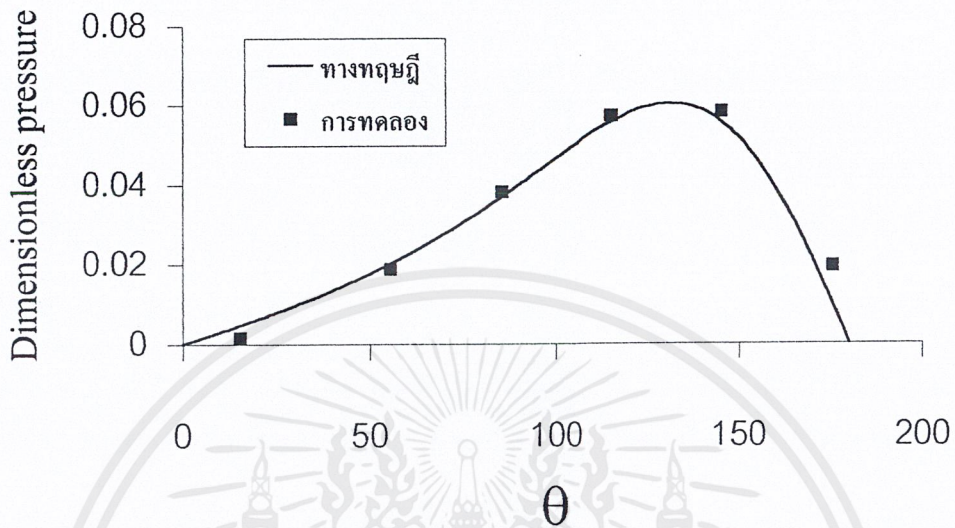


รูปที่ 6.33 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 10kg.

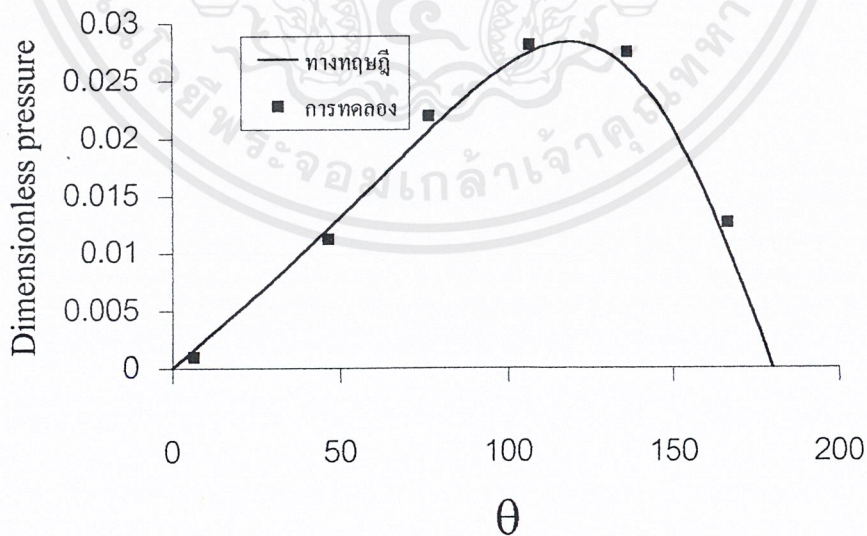


รูปที่ 6.34 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซีลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=200$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.35 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซี
ลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=600$ rpm. ภาระ 15kg.



รูปที่ 6.36 กราฟการกระจายความดันในการรองรับของน้ำมันปาล์มผสม OCP4% และน้ำมันซี
ลิโคน 2 ppm ที่ $C=0.1$ mm. และ $N=1000$ rpm. ภาระ 15kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

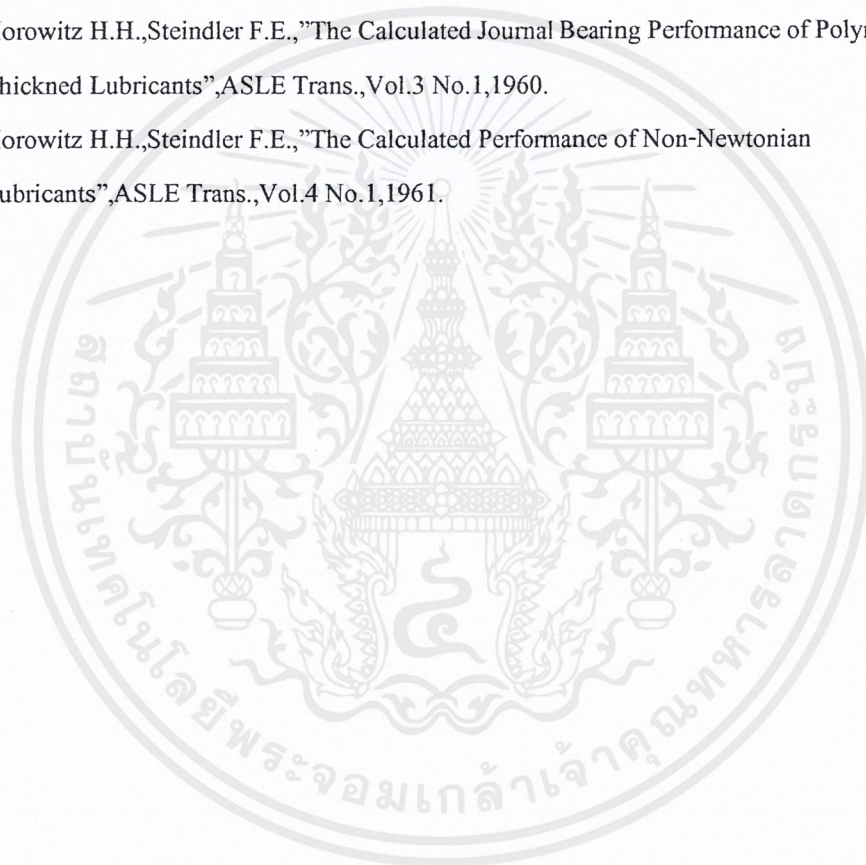
สรุป

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็น โครงการงานการศึกษาและทดลองหาพฤติกรรมสติกส์ของน้ำมันปาล์มที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นในกาบรองลื่นเพลากลม โดยโครงการนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาแบบจำลอง (Simulation) และการทดลองจริง โดยในส่วนแรกจะเริ่มจากการหาพฤติกรรมการไหลของน้ำมันปาล์มซึ่งพบว่าน้ำมันปาล์มมีพฤติกรรมการไหลเป็นของไหลแบบนอน-นิวโทเนียน แล้วจะใช้สมการโมดิฟายเรโนลด์ส์ในการหาการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ ของกาบรองลื่นที่เพลและกาบรองลื่นรับภาระและความเร็วรอบตามสภาวะที่กำหนด ซึ่งในการคำนวณสมการโมดิฟายเรโนลด์ส์จะต้องประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ Power-law Model และจะใช้ Finite difference ในการคำนวณสมการโมดิฟายเรโนลด์ส์ที่ทำการวิเคราะห์หน่วยไร้มิติแล้ว ในส่วนที่สองจะทำการทดลองหาการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของกาบรองลื่น โดยที่เพลและกาบรองลื่นรับภาระและความเร็วรอบตามสภาวะที่กำหนด โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความดันที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของกาบรองลื่น ซึ่งผลการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่อัตราการเชิงศูนย์กลางเดียวกัน กล่าวคือจากการทดลองสามารถหาอัตราการเชิงศูนย์กลางระหว่างเพลกับกาบรองลื่นได้จากเครื่องมือวัดความหนาฟิล์มน้ำมัน ซึ่งจากผลการศึกษาแบบจำลองและการทดลองจริงสามารถสรุปได้ต่อไปนี้

1. ค่าการกระจายความดันที่ได้จากการคำนวณและการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือค่าการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ได้จากการคำนวณและการทดลองเป็นค่าที่ถูกต้อง และพบว่าการกระจายความดันสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 150° ของกาบรองลื่นตามทฤษฎี
2. เมื่อเพลและกาบรองลื่นรับภาระที่กระทำมากขึ้นจะเกิดอัตราส่วนเชิงศูนย์กลางมาก และการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันมีค่าสูง
3. เมื่อความเร็วรอบของเพลสูงขึ้นจะทำให้ค่าการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันมีค่าสูง
4. ผลของ non-newtonian effect ส่งผลให้ค่าการกระจายความดันในฟิล์มน้ำมันที่มุมของกาบรองลื่นมากกว่า 180° ไม่เป็นศูนย์กลางเหมือนกับการคำนวณที่อาศัย Boundary condition ตามทฤษฎี
5. จากการเติมสารเพิ่มคุณสมบัติทั้งสองชนิดจากการคำนวณและการทดลองพบผลของการกระจายความดันของน้ำมันปาล์มที่ผสมสารปรุงแต่งทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร.มงคล มงคลวงโรจน์ และ ศ.ดร.อิโรมุ ฮาชิโมโตะ : “ทฤษฎีการหล่อลื่น” : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล KMITL , พ.ศ.2536
- [2] Dr.Hiromu HASHIMOTO and Dr. Mongkol MONGKOLWONGROJN : “ Advanced Lubrication Theory” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล KMITL , พ.ศ.2536
- [3] Conner J.,Avallance E. : “Standard Handbook of Lubrication Engineering” : Mc-Graw Hill New York,1968.
- [4] Horowitz H.H.,Steindler F.E.,”The Calculated Journal Bearing Performance of Polymer Thickned Lubricants”,ASLE Trans.,Vol.3 No.1,1960.
- [5] Horowitz H.H.,Steindler F.E.,”The Calculated Performance of Non-Newtonian Lubricants”,ASLE Trans.,Vol.4 No.1,1961.



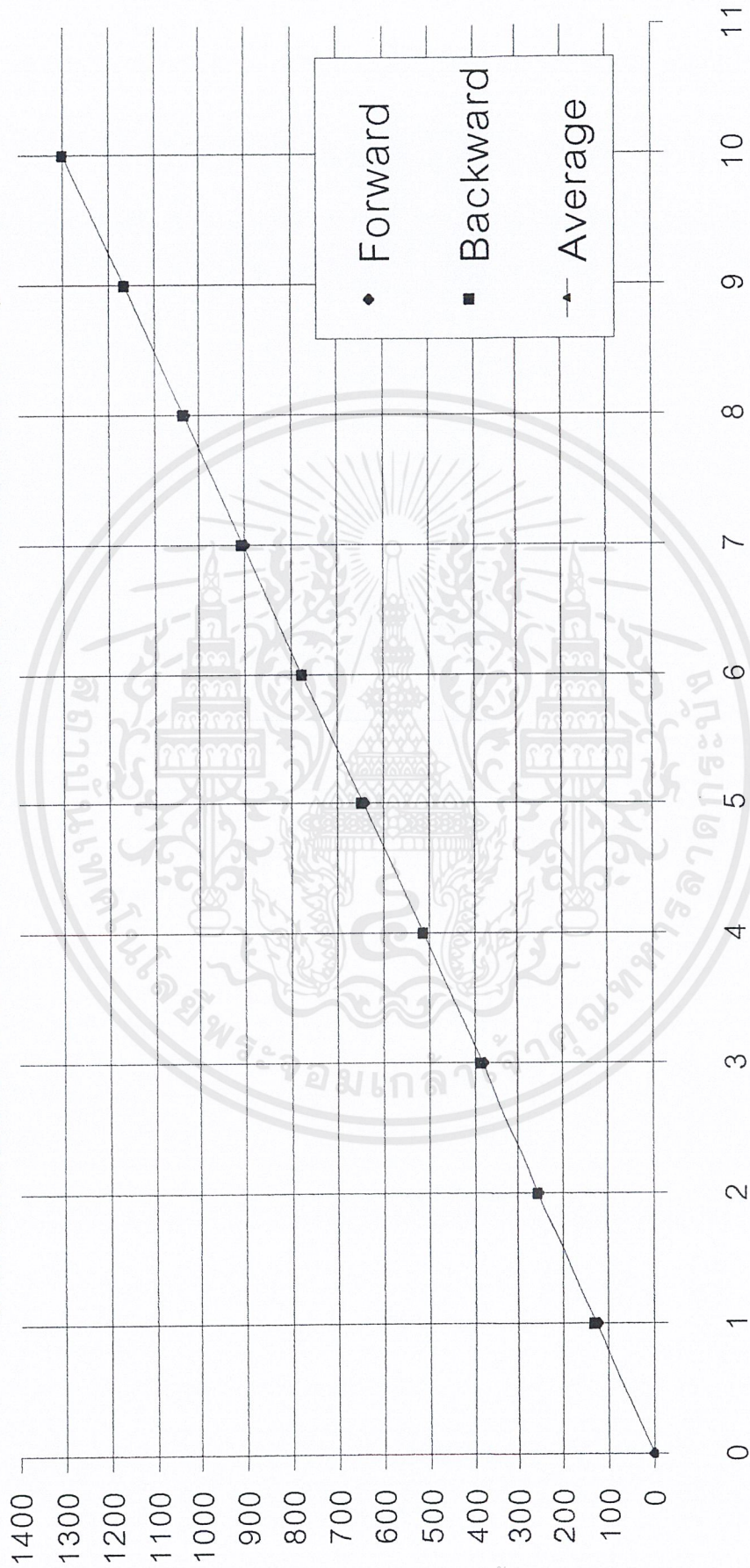


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



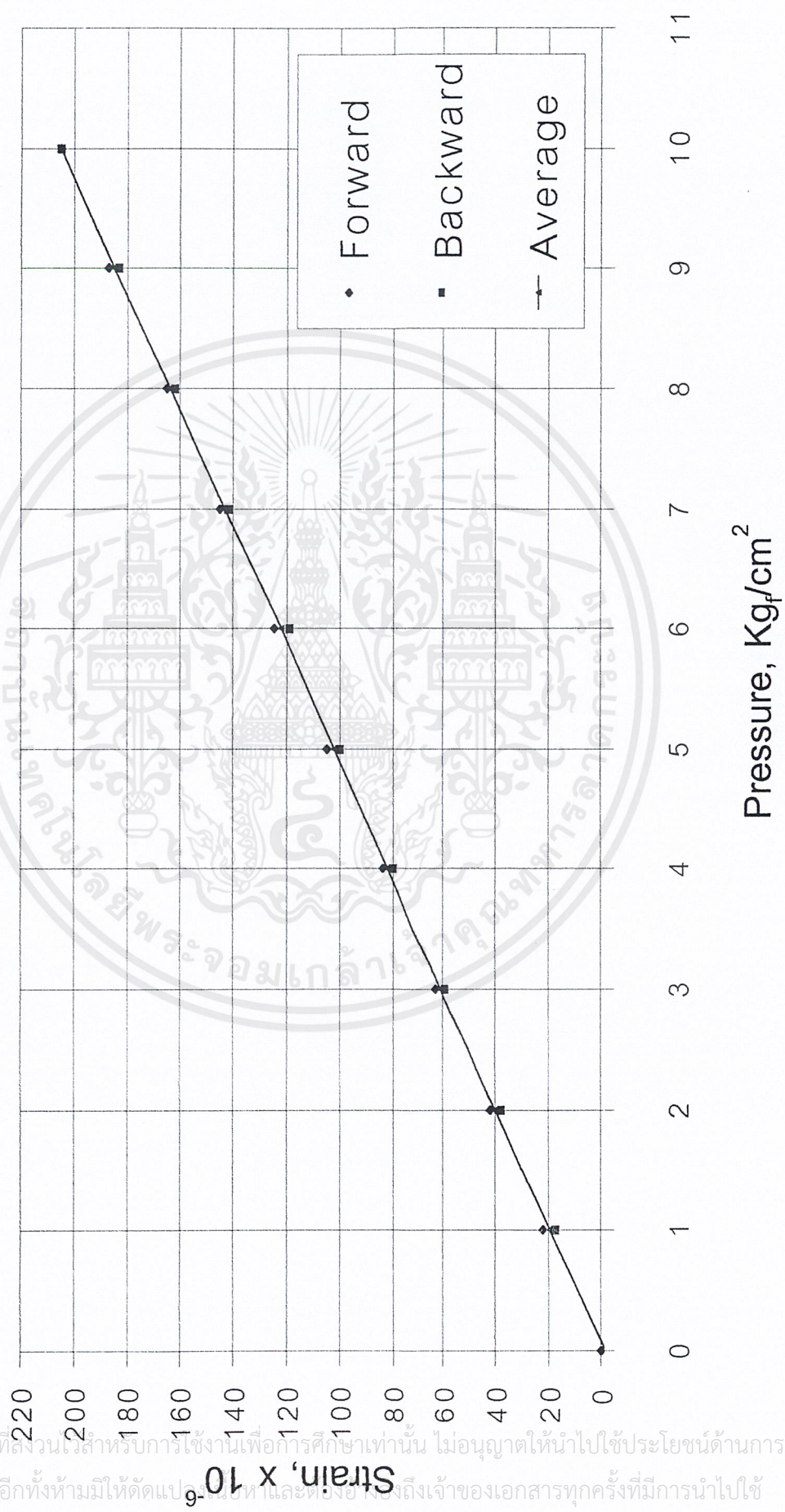
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration Curve for Pressure Transducer , P1



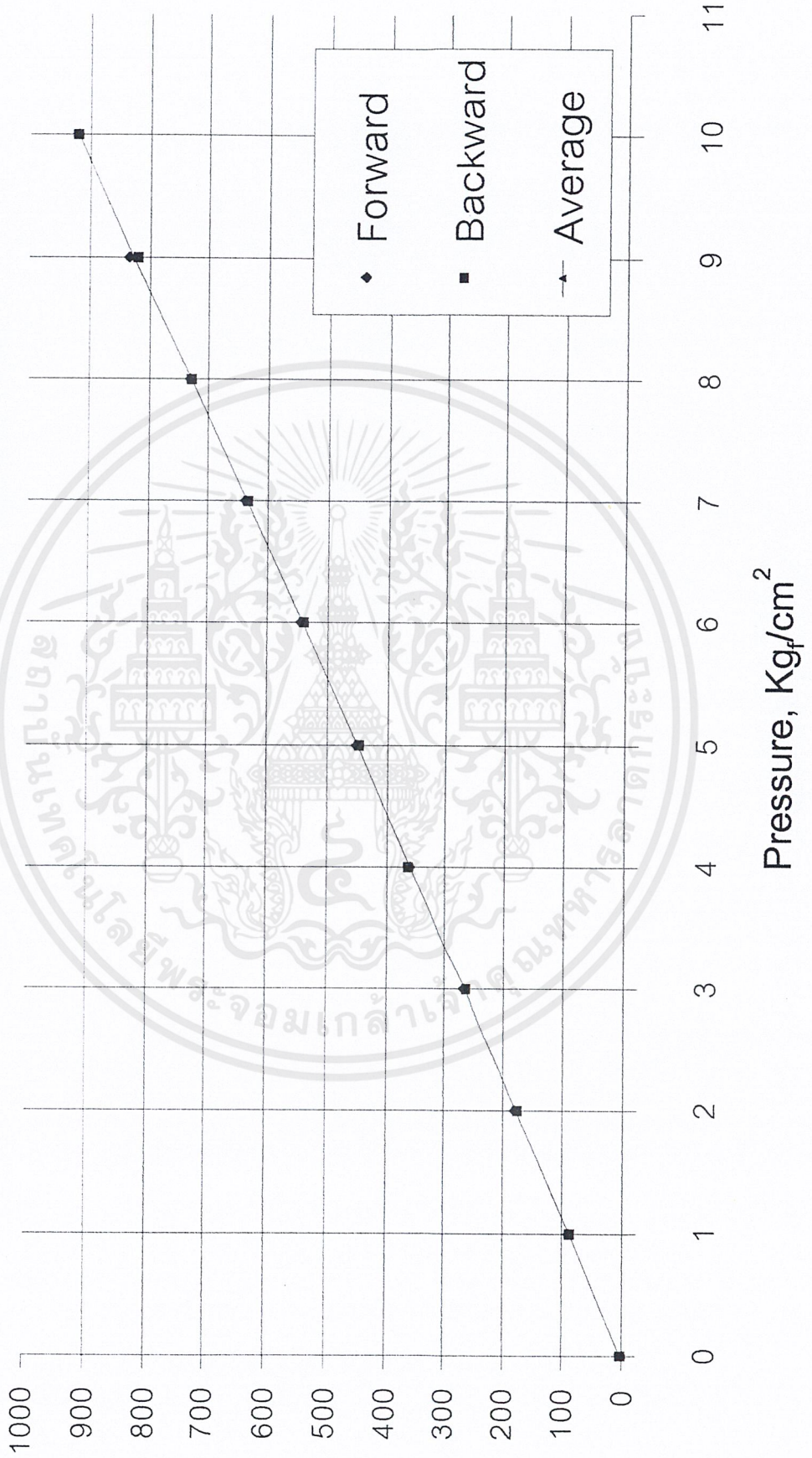
Pressure, Kg/cm²

Calibration Curve for Pressure Transducer , P2



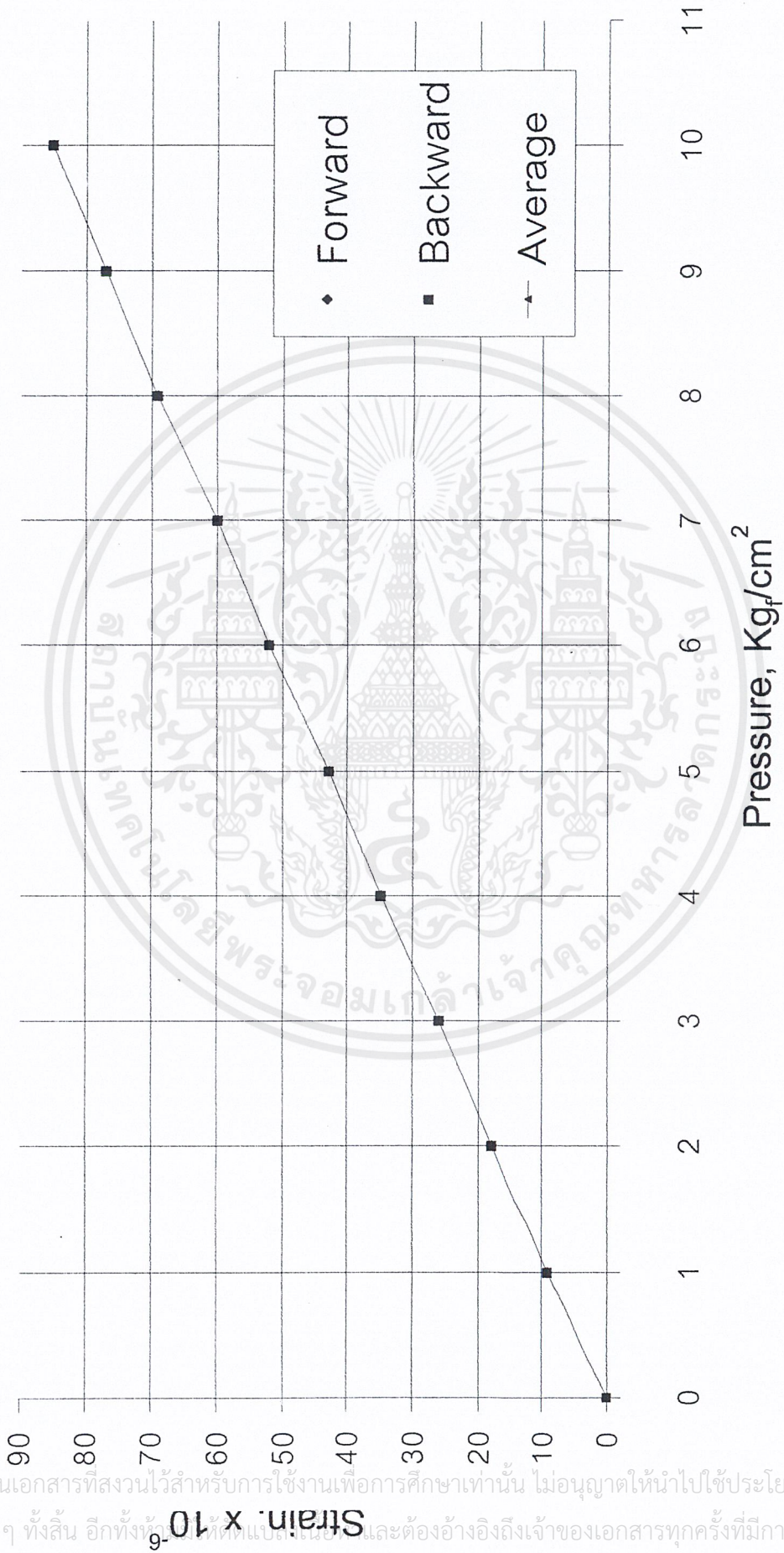
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration Curve for Pressure Transducer , P3



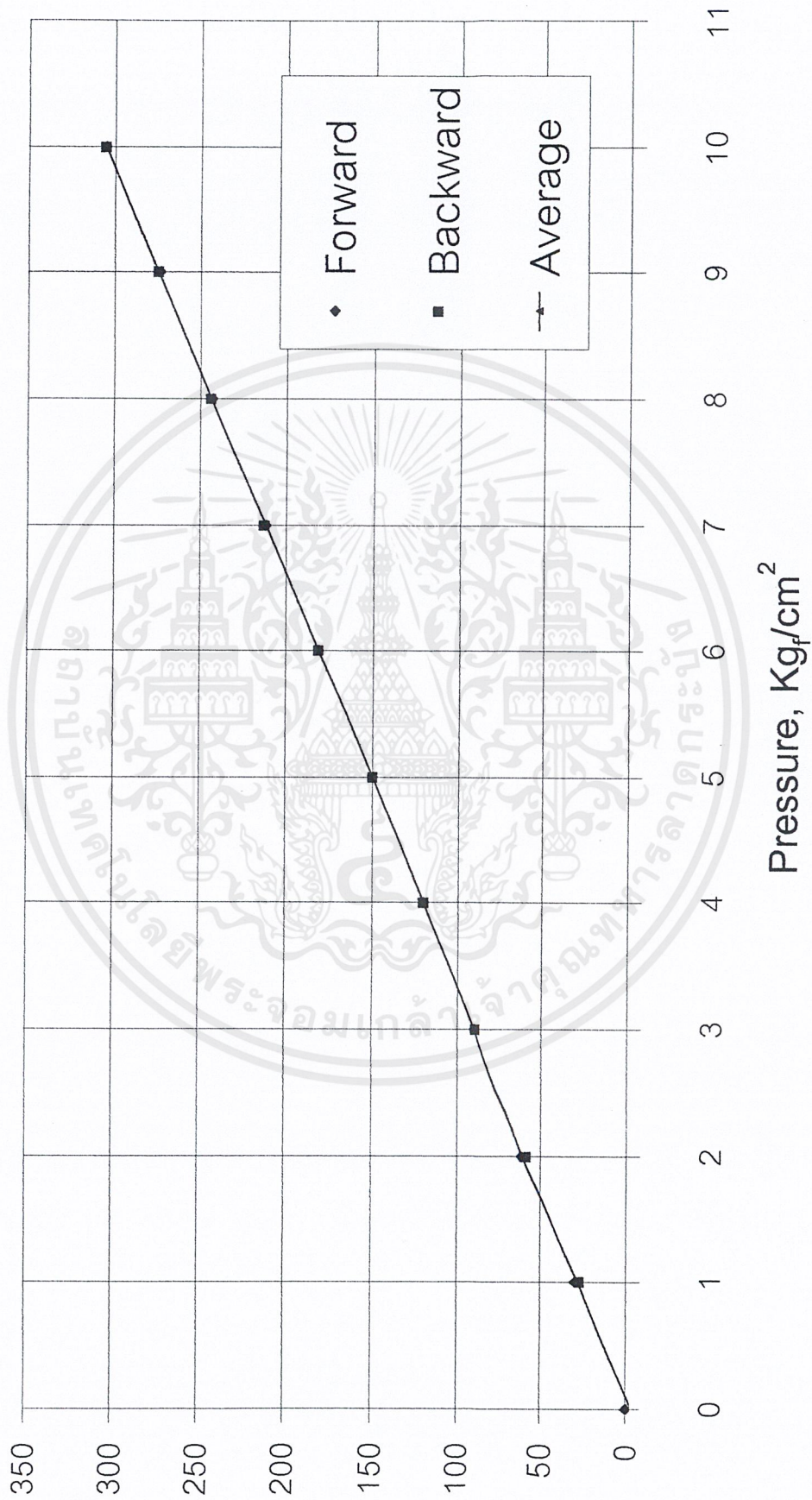
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration Curve for Pressure Transducer , P4



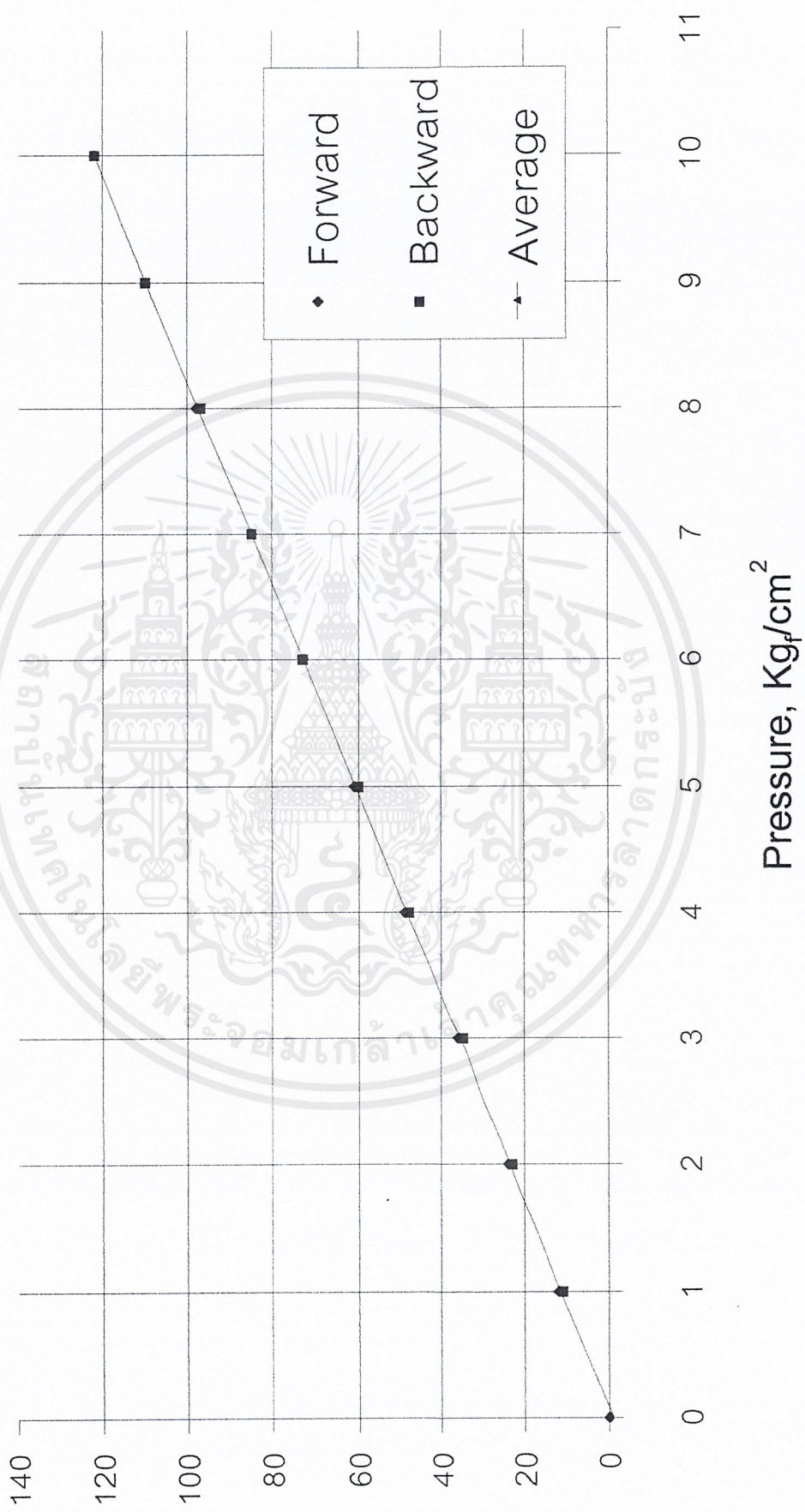
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นข้อมูลลับและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration Curve for Pressure Transducer , P5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration Curve for Pressure Transducer , P6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

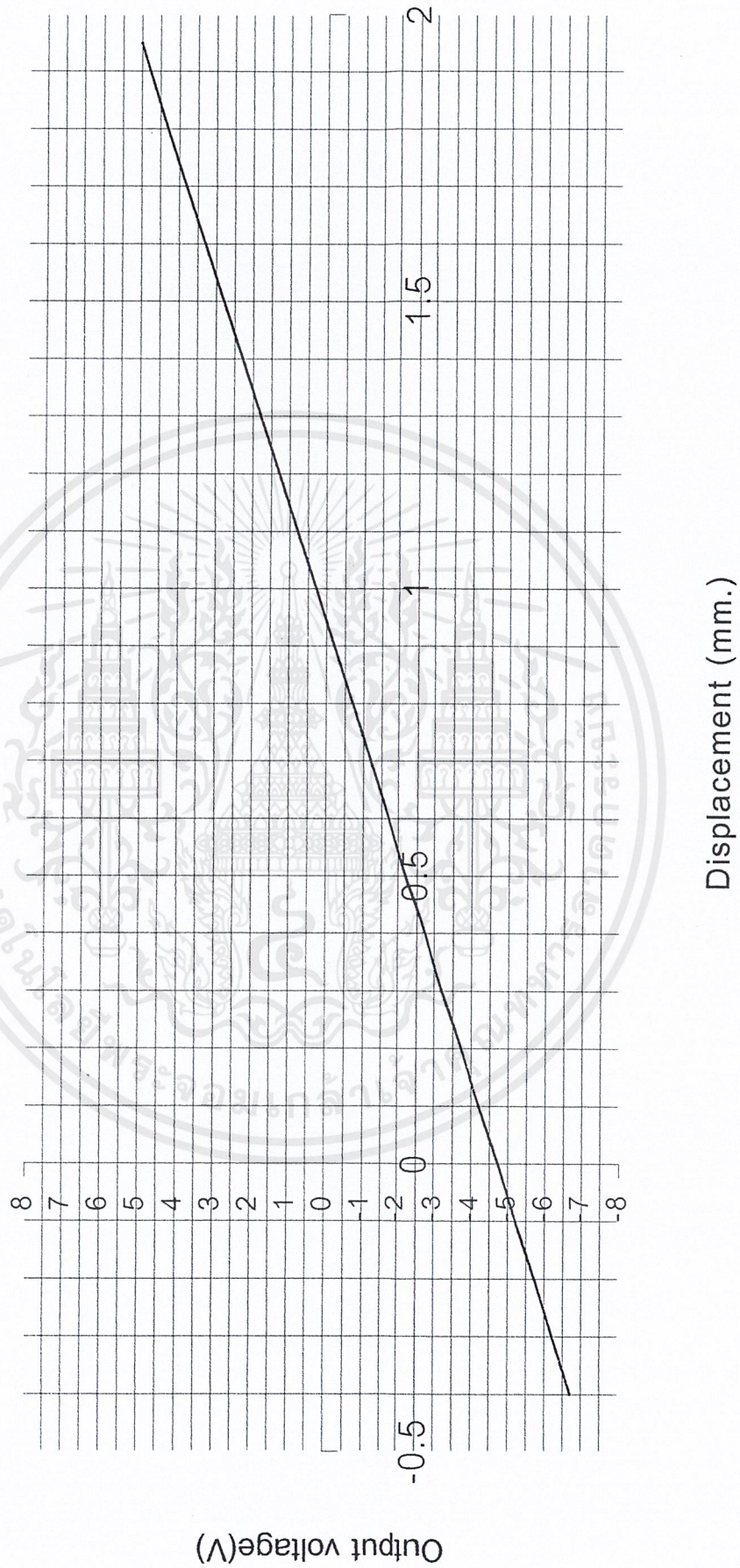


ภาคผนวก ข.

Calibration of Displacement for Gap Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calibration curve for Gap sensor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคำนวณ การกระจายแรงดันรอบแบร์ริงกาบเพลากลม

```

program pstar
parameter (nz=50,ntheta=90,pi=3.1415926)
dimension p(ntheta+1,nz+1), po(ntheta+1,nz+1)
real rpm,c,l,d,e,n,m,mu
open (unit=7,file='output.xls')
write (*,10) ' Input rotating speed of shaft(rpm) rpm = '
read (*,*) rpm
write (*,10) ' Input clearance between shaft and bearing (mm) c = '
read (*,*) c
write(*,10) ' Input length of bearing(mm) Long = '
read (*,*) l
write (*,10) ' Input diameter of bearing(mm) Dia = '
read (*,*) d
write (*,10) ' Input Eccentricity ratio Epsilon = '
read (*,*) e
write (*,10) ' Input index of powerlaw n = '
read (*,*) n
write (*,10) ' Input consistency constant m = '
read (*,*) m
write (*,10) ' Input viscosity of oil(mPa.s) mu = '
read (*,*) mu
10  format (a)
do 20 i=1,ntheta+1
do 20 j=1,nz+1
p(i,j) = 0
20  continue
tol=0.0001
delz=1./nz
deltheta=pi/ntheta
u= pi*d*rpm/60.
50  theta=0.
do 30 i=2,ntheta

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

theta=theta+deltheta
hi=1.+e*(cos(theta))
dhi=-e*(sin(theta))
do 30 j=2,nz
po(i,j)=p(i,j)
p(i,j)=(((6.*m*n*dhi*(u/c)**(n-1))/mu)-((hi**(n+2.))/deltheta
* **2.))+(((n+2.)*hi**(n+1.))/2.*deltheta)*dhi)*p(i+1,j)-
* (((hi**(n+2.))/deltheta**2.)-((n+2.)*hi**(n+1.))/2.*
* deltheta)*dhi)*p(i-1,j)-
* (n/4.)*((d/l)**2.)*((hi**(n+2.))/delz**2.)*p(i,j+1)-
* (n/4.)*((d/l)**2.)*((hi**(n+2.))/delz**2.)*p(i,j-1)/
* (((-2.*hi**(n+2.))/deltheta**2.)-((2.*hi**(n+2.))/delz**2.)*
* (n/4.)*((d/l)**2.))
30 continue
do 40 i=2,ntheta
do 40 j=2,nz
if(abs((p(i,j)-po(i,j))*100./p(i,j)).GT.tol) goto 50
40 continue
do 60 j=1,nz+1
write (7,70) (p(i,j),i=1,ntheta+1)
60 continue
70 format(91F6.3)
stop
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้