การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นระหว่างแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์

THE STUDY OF PERFORMANCE CHARACTERISTIC ON LUBRICATION BETWEEN PISTON RING AND CYLINDRICAL WALL OF A MOTORCYCLE ENGINE

นายกนกชาติ ทวีพันธุ์สานต์

MR.KANOKCHAT TAVEEPANSARND

วัน เดือน ปี 24 ก.พ. 2540
เลขทะเบียน M036633
เลขเรียกหนังสือ วพ
ก114ก
2539

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2539

ISBN 974-621-722-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M036633

THE STUDY OF PERFORMANCE CHARACTERISTIC ON LUBRICATION BETWEEN PISTON RING AND CYLINDRICAL WALL OF A MORTOCYCLE ENGINE

KANOKCHAT TAVEEPANSARND

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1996

ISBN 974-621-722-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นระหว่างแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์
นักศึกษา	นายกนกชาติ ทวีพันธุ์สานต์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ	2539

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ศึกษาเกี่ยวกับการหล่อลื่นของฟิล์มน้ำมันระหว่างผนังกระบอกสูบ และแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ ซึ่งเพลาข้อเหวี่ยงถูกขับโดยมอเตอร์ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ผสมด้วยสาร P.I.B 0.3% ,1% และ 2% เพื่อทำให้มีคุณสมบัติเป็นของเหลวแบบ Non-newtonian โดยการประยุกต์สมการเรโนด์ และสมการพลังงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการกระจายความดัน, อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ได้กับทฤษฎี

ในการทดลองได้เปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์เป็น 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับโดยที่กระบอกสูบติด Pressure Transducer ที่ได้พัฒนาให้มีความแม่นยำสำหรับวัดการกระจายความดัน, การวัดการกระจายอุณหภูมิใช้ Thermocouple ชนิด Type K (Chomel และ Alumel) ส่วนการวัดความหนาของฟิล์มน้ำมันใช้ Gap Sensor รุ่น AEC-5505

จากกราฟแสดงผลการทดลองทำให้ทราบว่าจุดที่มีความดันของฟิล์มน้ำมันสูงที่สุด จะมีอุหภูมิสูงที่สุดและมีความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุด ในขณะที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ความหนืด, ความเสียดทานและความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการรับโหลดจึงลดลง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของน้ำมันหล่อลื่นโดยตรง จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของสาร P.I.B และที่ไม่มีส่วนผสมของสารดังกล่าวพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร P.I.B มีความหนาของฟิล์มน้ำมันและความดันของฟิล์มน้ำมันมากกว่า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Study Of Performance Characteristic On Lubrication Between Piston Ring And Cylindrical Wall Of A Motorcycle Engine
Student	Mr. Kanokchat Taveepansarnd
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Mongkol Mongkolwongrojn
Level of Study	Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department	Mechanical Engineering King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
year	1996

Abstract

This experiment has studied the lubrication between the piston ring and cylinder wall of a reciprocating engine.The modified Reynold equation and the energy equation has been derived analytically for Non newtonian lubricant.The lubricants are engine autolube oil and mixed with P.I.B 0.3%, 1% and 2% respectively to improve viscosity index. The experiments varying speed. The results are compared with theoretical analysis, pressure distribution, temperature distribution and oil film thickness.

In the experiment,the engine speed is varied to be 1000,1500,2000, 2500 and 3000 rpm. respectively,The pressure transducer have been developed with high precision and installed at the cylinder wall for measurement pressure distribution. Measurement in temperature distribution uses thermocouple type K (Chomel and Alumel) and measurement of oil film thickness uses Gap Sensors model AEC-5505

The experimental results shows that at the maximum pressure and the maximum temperature occur at the minimum oil film thickness. When speed increase, the temperature increase gradully, and these effect to reduce viscosity, friction and the oil film thickness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract(to)

We can find that the temperature increment directly effects to performance characteristic. From the experiment, comparing the results of lubricants with P.I.B additive and without P.I.B additive, the thicknees and pressure of lubricant with P.I.B additive oil filmare more than of conventional oil film.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนอย่างดี จากบุคคลที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ให้คำปรึกษาด้านทฤษฎีและปฏิบัติ

คุณมณฑา เทียมเมือง ให้ความช่วยเหลือในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลองรวมทั้งช่วยแก้ปัญหาในด้านเทคนิค

คุณฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน ให้ความช่วยเหลือในการค้นวารสารต่างประเทศ รวมทั้งจัดคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพิมพ์วิทยานิพนธ์

คุณบุญชัย ศิลปกิลวงษ์กุล ให้คำปรึกษาด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นอย่างยิ่ง

กนกชาติ ทวีพันธุ์สานต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....X

บทที่

1. บทนำ.....1

1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....1

2. ทฤษฎีการหล่อลื่นของเรโนด์.....2

2.1 สมการเรโนด์.....2

2.2 สมการพลังงาน.....5

2.3 การวิเคราะห์หาความหนาของฟิล์มน้ำมัน.....11

3 ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบนันนิวโตเนี่ยน (Non-newtonian).....12

3.1 การวิเคราะห์หาการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน ที่มีคุณสมบัติเป็นแบบนันนิวโตเนี่ยน.....13

3.2 การหาการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันในกระบอกสูบ ของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์.....17

4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....19

4.1 เครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์.....19

4.2 เครื่องเปลี่ยนความถี่ (Inverster).....20

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple).....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่

4.4 เครื่องวัดความดัน....22

4.5 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน (Gap Sensor)....25

5. วิธีการทดลอง....30

6. ผลการทดลอง....32

7. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับทฤษฎี....60

7.1 Sqeenze Film ของ Flat faced ring....60

7.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับทฤษฎีโดยใช้โปรแกรมในภาคผนวก ข....69

8. สรุปผลการทดลอง....89

บรรณานุกรม....90

ภาคผนวก....91

ภาคผนวก ก....92

ภาคผนวก ข....93

ประวัติผู้เขียน....110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่า strain....23
2. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....33
3. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....34
4. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....35
5. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....36
6. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....37
7. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....38
8. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....39
9. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....40
10. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....41
11. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....42
12. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....43
13. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....44
14. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....45
15. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....46
16. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....47
17. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน....48
18. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%....49
19. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%....50
20. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%....51
21. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่

22. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%.....53
23. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%.....54
24. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%.....55
25. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน.....56
26. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%.....57
27 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%.....58
28. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%.....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงการไหลของฟิล์มของเหลวผ่านช่องว่าง
พื้นผิวสัมผัสทั้งสอง....2
2. แสดงการสมดุลแรงที่กระทำบนปริมาตรควบคุม....3
3. แสดงพลังงานและงานต่างๆ ที่ถ่ายทอดผ่านปริมาตรควบคุม....5
(a) Transport energy....5
(b) Mechanical energy....6
4. แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ออุณหภูมิ....9
5. แสดงการนำความร้อนที่ผิวสัมผัสเอียง....9
6. แสดงการหาความหนาของฟิล์มน้ำมัน....11
7. แสดงเส้นโค้งการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร P.I.B 2%....12
8. แสดงการลดลงของความหนืดเริ่มต้นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ....12
9. แสดงสัมประสิทธ์ของ Pseudo-plastic กับอุณหภูมิ....13
10. แสดงระบบโคออร์ดิเนทของฟิล์มน้ำมัน....14
11. แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในกระบอกสูบ....19
12. แสดงอุปกรณ์เปลี่ยนความถี่....20
13. แสดงเทอร์โมคัปเปิล....21
14. แสดงเทอร์โมคัปเปิลใช้งานจริง....21
15. แสดง Thermocouple reccord....22
16. แสดงอุปกรณ์วัดค่า Strain....23
17. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain กับค่าความดัน....24
18. แสดงผลตอบสนองเมื่อวัตถุเป็นโลหะ....26
19. แสดงการปรับค่า SHIFT....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

20. แสดงการปรับค่า CAL....27
21. แสดงการปรับค่า LINEAR....28
22. แสดงการติดตั้งโพรบที่ถูกต้อง....28
23. แสดงวงจร6สำหรับ GAP SENSOR....29
24. แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง....30
25. แสดงการติดตั้ง Pressure Transducer, Thermocouple และ Gap Sensor ที่กระบอกสูบ....31
26. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....33
27. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....34
28. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....35
29. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....36
30. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....37
31. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....38
32. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....39
33. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....40
34. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....41
35. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....42
36. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm....43
37. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm....44
38. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm....45
39. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm....46
40. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

58. แสดงการกระจายความดัน P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm., ผสมสาร P.I.B 0%.....71
59. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....71
60. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....72
61. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....72
62. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน
ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.ผสมสาร P.I.B 0%, 0.3%, 1% และ 2%
ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี.....73
63. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....76
64. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....76
65. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....77
66. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....77
67. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 0.3%.....78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

41. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน....48
42. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%....49
43. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%....50
44. แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%....51
45. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน....52
46. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%....53
47. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%....54
48. แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%....55
49. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน....56
50. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%....57
51. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%....58
52. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%....59
53. แสดงการหาความหนาของฟิล์มน้ำมัน....60
54. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันตามทฤษฎีที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0%, 0.3%, 1% และ 2%....63
55. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0%, 0.3%, 1% และ 2% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี....64
56. แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันตามทฤษฎีที่ความเร็วรอบ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0.3%....67
57. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0.3% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

68. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน
ที่ความเร็วรอบ 1000,1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm.
ผสมสาร P.I.B 0.3% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี.....78
69. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....81
70. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....81
71. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....82
72. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....82
73. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 1%.....83
74. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน
ที่ความเร็วรอบ 1000,1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 1%
ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี.....83
75. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....86
76. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....86
77. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

78. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....87
79. แสดงการกระจายความดัน P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.,
ผสมสาร P.I.B 2%.....88
80. แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน
ที่ความเร็วรอบ 1000,1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm.
ผสมสาร P.I.B 2% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี.....88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

การหล่อลื่นชิ้นงาน คือการแยกชิ้นงานออกจากกันด้วยฟิลม์สารหล่อลื่น ขณะที่ผิวชิ้นงานตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปเคลื่อนที่ไถลกัน ฟิล์มสารหล่อลื่นจะถูกเฉือนโดยผิวของชิ้นงานทั้งสองไม่เกิดความเสียหาย ถ้าหากว่ามีฟิมล์น้ำมันคั่นอยู่ระหว่างผิวของชิ้นงาน แต่ถ้าไม่มีฟิล์มหรือมีฟิล์มเฉพาะบางพื้นที่ของชิ้นงานผิวชิ้นงานที่ไม่เกิดฟิล์มจะเกิดการแตะสัมผัสกันของผิวโลหะชิ้นงานทั้งสองเมื่อชิ้นงานเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์ ก็จะทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดการเคลื่อนไถลถูระหว่างผิวโลหะทำให้เนื้อโลหะหลุดออกจากผิวเกิดการสึกหรอของชิ้นงานจะเห็นว่าการหล่อลื่นชิ้นงานสามารถลดการสึกหรอทำให้เครื่องจักรมีอายุยาวนานขึ้น และยังทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ซึ่งทำให้เครื่องจักรมีขนาดเล็กลงประหยัดพลังงานรวมทั้งลดมลพิษให้แก่สิ่งแวดล้อม การหล่อลื่นนั้นจำเป็นต้องทำให้เกิดฟิล์มสารหล่อลื่นซึ่งเป็นของไหลที่มีฟิล์มหนาเพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดการแตะสัมผัสของผิวโลหะชิ้นงาน หรือไม่เกิดการสึกหรอของผิวชิ้นงาน ขณะที่ชิ้นงานชิ้นหนึ่งเคลื่อนไถลไปบนผิวของชิ้นงานอีกชิ้นงานหนึ่ง การหล่อลื่นแบบนี้เรียกว่าการหล่อลื่นด้วยฟิล์มของไหล หรือการหล่อลื่นแบบไฮดรอไดนามิค สารหล่อลื่นที่นิยมใช้มักจะเป็นน้ำมันหล่อลื่น น้ำ อากาศ ฯลฯ

จากเหตุผลที่ว่าอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เครื่องจักร เครื่องมือสมัยใหม่ได้ถูกพัฒนาให้ชิ้นงานมีความเที่ยงตรงสูง ความเร็วรอบสูง ทำให้การหล่อลื่นแบบไฮดรอไดนามิคได้ถูกนำไปใช้ในการหล่อลื่นเครื่องจักรต่างๆ เช่น กังหันไอน้ำ กังหันแก๊ส เครื่องอัดอากาศและเครื่องยนต์ เป็นต้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการศึกษาถึงสมรรถนะของน้ำมันหล่อลื่นที่จะช่วยสร้างความหนาของฟิล์มน้ำมันเพื่อป้องกันการสัมผัสกันของแหวนลูกสูบและผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ โดยการเติมสาร P.I.B เข้าไปในน้ำมันออโตลู๊ปเพื่อทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีคุณสมบัติเป็นแบบนันนิวโตเนี่ยน

1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.1.1 เขียนสมการทางคณิตศาสตร์แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

1.1.2 ศึกษาผลของการเติมสาร P.I.B ว่ามีผลต่อความหนืด,ความดัน,อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมัน

1.1.3 ศึกษาผลของการเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ว่ามีผลกระทบต่อความดัน, อุณหภมิและความหนาของฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีการหล่อลื่นของเรโนด์

ทฤษฎีการหล่อลื่นของเรโนด์ใช้อธิบายการเกิดแรงดันของฟิล์มน้ำมันที่กั้นระหว่างผิวทั้งสองของแผ่นเพลส ไม่ให้สัมผัสกันเพื่อป้องกันการสึกหรอซึ่งแรงดันของฟิล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นในขณะที่แผ่นเพลสเคลื่อนที่

2.1 สมการเรโนด์ (Reynold equation)

พิจารณาการไหลของของเหลวระหว่างผิวสัมผัสสองผิวที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์กันตามรูปที่ 2.1 โดยมีข้อสมมติฐานดังนี้

1 ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วงและแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า

2 ฟิล์มของเหลวบางมากดังนั้นจะไม่คิดการเปลี่ยนแปลงความดันตามแกน y

3 ของเหลวมีคุณสมบัติเป็นแบบนิวโตเนี่ยน (Newtonian)

4 การไหลของเหลวเป็นแบบลามิน่าร์ (Laminar)

5 ไม่คิดค่าการอัดตัวของของเหลว

6 ไม่คิดค่าแรงเฉื่อยของของเหลว

7 ไม่มีการไถลของของเหลวที่ผิวสัมผัส

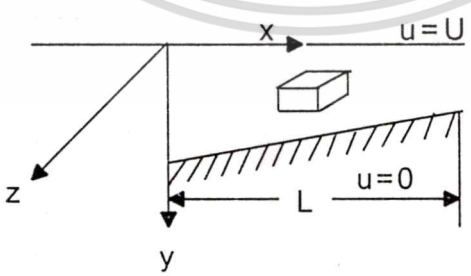
8 ความโค้งของผิวสัมผัสมีค่ามากกว่าความหนาของฟิล์มของเหลวมาก

9 ความหนืดของของเหลวจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนตามตำแหน่งคือ

$$\mu = \mu\left(T\right) = \mu\left(x, y\right)$$

เมื่อฟิล์มของของเหลวบางมากจะสมมติให้

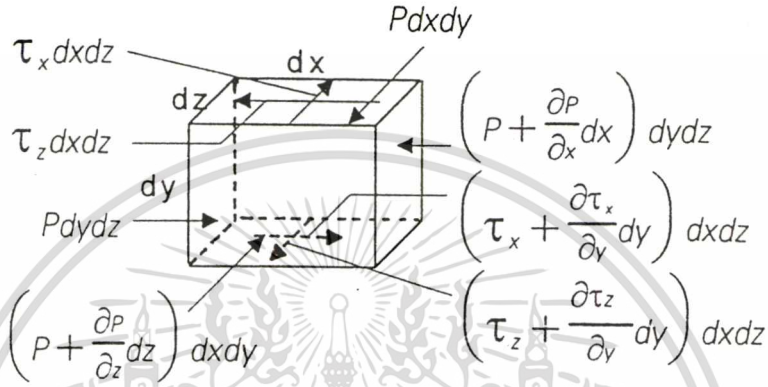
$$\mu = \mu\left(T\right) = \mu\left(x, z\right), \qquad V = 0 \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของฟิล์มของเหลวผ่านช่องว่างระหว่างพื้นผิวสัมผัสทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สมมติฐานดังกล่าวค่า Viscous shear stress และค่าแรงดันที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม จะเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการสมดุลย์แรงที่กระทำบนปริมาตรควบคุม

จากรูปที่ 2.2 เมื่อคิดสมดุลแรงในแนวแกน x

$$Pdydz-\left(P+\frac{\partial P}{\partial x}dx\right)dydz=\tau_x dxdz-\left(\tau_x+\frac{\partial \tau_x}{\partial y}dy\right)dxdz \qquad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) จะได้

$$\frac{\partial P}{\partial x}=\frac{\partial \tau_x}{\partial y} \qquad (2.2a)$$

คิดสมดุลแรงในแนวแกน z แบบเดียวกับที่คิดในแนวแกน x จะได้

$$\frac{\partial P}{\partial z}=\frac{\partial \tau_z}{\partial y} \qquad (2.2b)$$

เมื่อของเหลวมีคุณสมบัติเป็นแบบนิวโตเนี่ยน (Newtonian) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stresses และ velocity gradient ตามนี้

$$\tau_x=\mu\frac{\partial u}{\partial y} \qquad (2.3)$$

$$\tau_z=\mu\frac{\partial w}{\partial y}$$

u และ w คือองค์ประกอบของความเร็วของของเหลวตามแกน x และ z ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการ (2.3) ลงในสมการ (2.2a) และ (2.2b) จะได้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x}$$

(2.4)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu}\frac{\partial P}{\partial z}$$

ตามสมมติฐานข้อ 2 อินทิเกรตสมการ (2.4)

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

(2.5)

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

ค่าคงที่ C_1, C_2, C_3 และ C_4 ได้จากสภาวะขอบเขตตามรูปที่ 2.1 ดังนี้

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

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

แทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (2.5) จะได้

$$C_1 = \frac{-h}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{U}{h}, \qquad C_2 = U$$

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

นำค่าคงที่ ข้างต้นแทนลงในสมการ (2.5) จะได้

$$u = \frac{1}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\left(y^2 - hy\right) + U\left(\frac{h-y}{h}\right) \qquad (2.6a)$$

$$w = \frac{1}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial z}\left(y^2 - hy\right) \qquad (2.6b)$$

จากข้อสมมติฐานที่ว่าความหนาแน่นไม่เปลี่ยนแปลง จะได้สมการสมดุลของอัตราการไหลผ่านปริมาตรควบคุมดังนี้

$$udydz + vdxdz + wdxdy = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x}dx\right)dydz + \left(v + \frac{\partial v}{\partial y}dy\right)dxdz + \left(w + \frac{\partial w}{\partial z}\right)dxdy$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นจะได้

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (2.7)$$

อินทิเกรตสมการ (2.7) เทียบกับแกน y ตลอดความหนาของฟิล์มของเหลว

$$\int_0^h dv=-\int_0^h\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)dy$$

ที่ $v=0, \quad y=0$ และ $v=V, \quad y=h$ เพราะฉะนั้นด้านซ้ายของสมการข้างบนสามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$V=-\int_0^h\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial z}\right)dy \qquad (2.8)$$

แทนค่า u จากสมการ (2.6a) และ w จากสมการ (2.6b) ลงในสมการ (2.8)

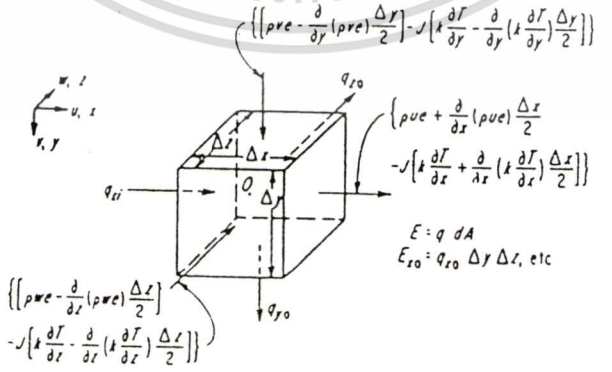
$$V=-\int_0^h\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{1}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\left(y^2-hy\right)+U\frac{(h-y)}{h}\right\}dy-\int_0^h\frac{\partial}{\partial z}\left\{\frac{1}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial z}\left(y^2-hy\right)\right\}dy \qquad (2.9)$$

อินทิเกตรสมการ (2.9) จะได้สมการเรโนด์ที่แสดงการกระจายแรงดันของฟิล์มของเหลวดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^3}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^3}{\mu}\frac{\partial P}{\partial z}\right)=6U\frac{dh}{dx}+6h\frac{dU}{dx}+12V \qquad (2.10)$$

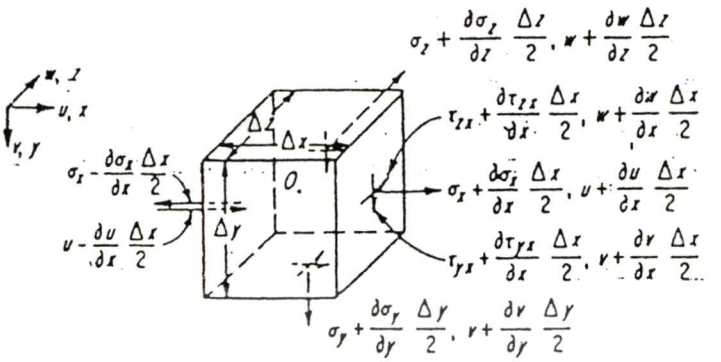
2.2 สมการพลังงาน (Energy equation)

ในการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิ จะใช้หลักการคงที่ของปริมาตรควบคุมเล็กๆ ของฟิล์มของเหลวภายใต้สภาวะคงตัว ปริมาณต่างๆ จะเป็นตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 (a) Transport energy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 (b) Mechanical energy

รูปที่ 2.3 แสดงพลังงาน และงานต่างๆ ที่ถ่ายทอดผ่านปริมาตรควบคุม

สมการพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$E_O - E_I = H_{do} - H_d \tag{2.11}$$

$E_i =$ พลังงานที่ถ่ายทอดสู่ปริมาตรควบคุม

$E_o =$ พลังงานที่ออกจากปริมาตรควบคุม

H_{do} งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อปริมาตรควบคุม

H_{db} งานที่ปริมาตรควบคุมกระทำต่อสิ่งแวดล้อม

จากรูปที่ 2.3 (a) จะได้

$$E_o - E_i = \left\{ \frac{\partial(\rho ue)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho ve)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho we)}{\partial z} \right\} \Delta x \Delta y \Delta z$$

$$- J\left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right) \right\} \Delta x \Delta y \Delta z \tag{2.12}$$

e คือพลังงานภายในโดยที่

$$e = \frac{u^2+v^2+w^2}{2} + JC_v T \tag{2.13}$$

และตามรูปที่ 2.3 (b) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_{do} - H_{db} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(u\sigma_z + v\tau_{yz} + w\tau_{zx} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(u\tau_{xy} + v\sigma_y + w\tau_{zy} \right) \right\} \Delta x \Delta y \Delta z$$
$$+ \left\{ \frac{\partial}{\partial z}\left(u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\sigma_z \right) \right\} \Delta x \Delta y \Delta z \qquad (2.14)$$

แทนค่าสมการ (2.12) และ (2.14) ในสมการ (2.11)

$$\rho\left\{ u\frac{\partial e}{\partial x} + v\frac{\partial e}{\partial y} + w\frac{\partial e}{\partial z} \right\} - J\left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z} \right) \right\} =$$
$$u\left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) + v\left(\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) + w\left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right) +$$
$$\left(\sigma_x \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma_y \frac{\partial v}{\partial y} + \sigma_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \tau_{xy}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \tau_{yz}\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \tau_{zx}\left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$
(2.15)

เมื่อคิดผลของแรงโน้มถ่วงต่อฟิล์มของเหลวบางๆ มีค่าน้อยมาก ดังนั้น

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial \sigma_z}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}$$
$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \qquad (2.16)$$
$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} \right) = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial}$$

แทนค่าสมการ (2.13) และ (2.16) ลงในสมการ (2.15) จะได้

$$J\rho\left\{ u\frac{\partial\left(c_v T\right)}{\partial x} + v\frac{\partial\left(c_v T\right)}{\partial y} + w\frac{\partial\left(c_v T\right)}{\partial z} \right\} + \rho\left\{ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right\} =$$
$$J\left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z} \right) \right\} + \varnothing \qquad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\varnothing$ คือการกระจายไปของพลังงาน (Dissipation energy) ดังนี้

$$\varnothing = \mu\left\{2\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 - \frac{2}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)^2\right\} +$$

$$\mu\left\{\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}\right)^2\right\} \qquad (2.18)$$

เมื่อคิดว่าฟิล์มของเหลวบางมาก ค่าความร้อนจำเพาะ (C_v) คงที่ สมการ (2.17) ลดรูปเป็น

$$\rho J C_v\left\{u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z}\right\} = J\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right\} +$$

$$\mu\left\{\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right\} \qquad (2.19)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับอุณหภูมิจะได้มาจากการทดลอง โดยจะอยู่ในรูปสมการเอ็กโพเนนเชียล (Exponential) ซึ่งมีลักษณะดังนี้

$$\mu = \mu_0 e^{-\alpha\left(T - T_0\right)}$$

α คือค่าคงที่

T_0 คืออุณหภูมิอ้างอิง

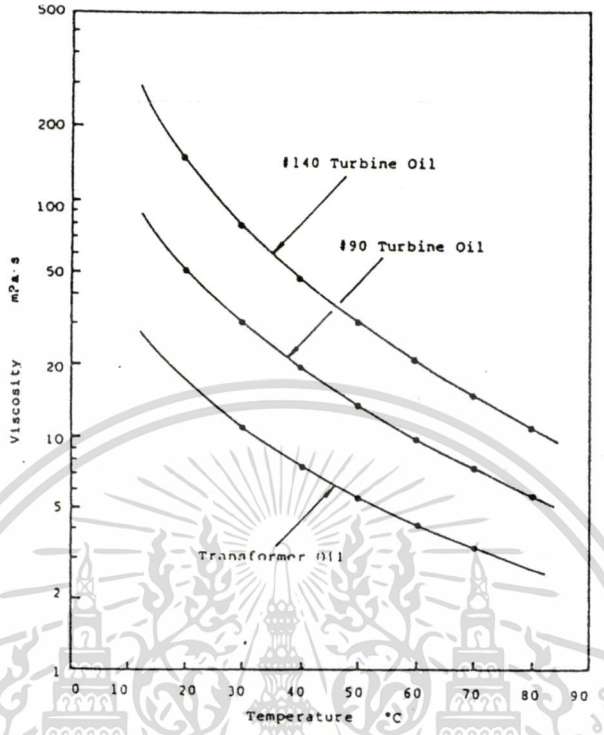
เพื่อให้สอดคล้องกับสมการเรโนด์ จึงปรับปรุงสมการพลังงาน (Energy equation) โดยสมมติให้

$$T = T(x,z), \qquad P(x,z), \qquad v = 0$$

ดังนั้น

$$\mu = \mu(x,z)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

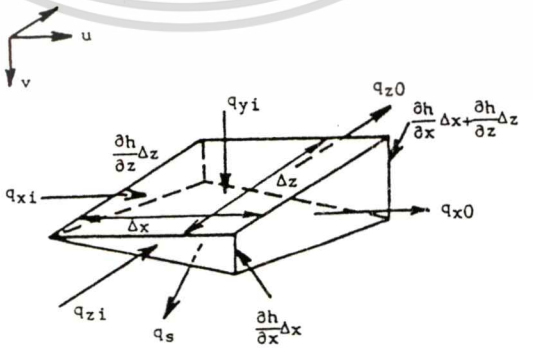


รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ออุณหภูมิ

ภายใต้ข้อสมมติฐานข้างต้น อินทิเกรตสมการ (2.19) ตลอดความหนาของฟิล์มของเหลว

$$\rho J C_v \int_0^h \left(u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} \right) dy - J\int_0^h \left\{ \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z} \right) \right\} \cdot$$

$$-J\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\bigg|_h - k\frac{\partial T}{\partial y}\bigg|_0 \right) = \mu\int_0^h \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} dy \qquad (2.20)$$



รูปที่ 2.5 แสดงการนำความร้อนที่ผิวสัมผัสเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 พจน์การนำความร้อนจะเป็นดังนี้

$$k\frac{\partial T}{\partial y}\Big/_{h} = k\frac{\partial T}{\partial x}\ \frac{\partial h}{\partial x}\Big/_{h} + k\frac{\partial T}{\partial z}\ \frac{\partial h}{\partial z}\Big/_{h} + k_c\left(T - T_c\right) \tag{2.21}$$

$$k\frac{\partial T}{\partial y}\Big/_{0} = k_r\left(T - T_r\right)$$

และ

$$\int_0^h \left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)\right\} dy = \frac{\partial}{\partial x}\left(kh\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(kh\frac{\partial T}{\partial z}\right) - k\frac{\partial T}{\partial x}\ \frac{\partial h}{\partial x}\Big/_{h} - k\frac{\partial T}{\partial z}\ \frac{\partial}{\partial z}\Big/_{h} \tag{2.22}$$

T_c และ T_r คืออุณหภูมิที่กระบอกสูบและแหวนลูกสูบตามลำดับ k_c และ k_r คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนบริเวณรอยต่อของเหลวกับผิวของกระบอกสูบและแหวนลูกสูบตามลำดับ แทนค่า u และ w ในสมการ (2.6a) และ (2.6b) ในเทอมการกระจายไปของพลังงาน (Dissipation energy) จะได้

$$-\int_0^h \left\{\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2\right\} dy = \left[u\frac{\partial u}{\partial y}\right]_0^h + \left[w\frac{\partial w}{\partial y}\right]_0^h - \int_0^h u\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}dy - \int_0^h w\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}dy$$

$$+U\frac{\partial u}{\partial y}\Big/_{h} - \frac{\partial P}{\mu\partial x}\int_0^h u dy - \frac{\partial P}{\mu\partial z}\int_0^h w dy = \frac{U^2}{h} + \frac{h^3}{12\mu^2}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial z}\right) \tag{2.23}$$

แทนค่าที่ได้จากสมการ (2.21), (2.22) และ (2.23) ลงในสมการ (2.20)

$$\rho J C_v\left\{\left(\frac{hU}{2} - \frac{h^3}{12\mu}\ \frac{\partial P}{\partial x}\right)\frac{\partial T}{\partial x} - \frac{h^3}{12\mu}\ \frac{\partial P}{\partial z}\ \frac{\partial T}{\partial z}\right\} = \frac{\partial}{\partial x}\left(hk\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(hk\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

$$+k_c\left(T - T_c\right) + k_r\left(T - T_r\right) + \frac{\mu U^2}{h} + \frac{h^3}{12\mu}\left\{\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)^2\right\} \tag{2.24}$$

สมมติให้ที่ผิวกระบอกสูบ และผิวแหวนลูกสูบมีฉนวนหุ้มอยู่ จะทำให้ความร้อนและงานต่างๆ ถ่ายทอดสู่ฟิล์มของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

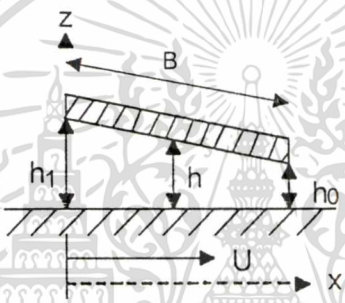
ดังนั้นสมการ (2.24) จะเปลี่ยนรูปเป็นสมการพลังงาน (energy equation) แบบแอเดียเบติ (Adiabatic) ดังนี้

$$\rho JC_v\left\{\left(\frac{hU}{2}-\frac{h^3}{12\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\right)\frac{\partial T}{\partial x}-\frac{h^3}{12\mu}\frac{\partial P}{\partial z}\frac{\partial T}{\partial z}\right\}=\frac{\mu U^2}{h}+\frac{h^3}{12\mu}\left\{\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)^2\right\} \quad (2.25)$$

ประยุกต์สมการ (2.25) ใช้กับฟิล์มน้ำมันในกระบอกสูบ คิดใน 1 มิติ

$$\rho JC_v\left\{\left(\frac{hU}{2}-\frac{h^3}{12\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\right)\frac{\partial T}{\partial x}\right\}=\frac{\mu U^2}{h}+\frac{h^3}{12\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 \quad (2.26)$$

2.3 การวิเคราะห์หาความหนาของฟิล์มน้ำมัน



รูปที่ 2.6 แสดงการหาความหนาของฟิล์มน้ำมัน

พิจารณาแหวนลูกสูบเอียงในรูปที่ 2.6 ที่ตำแหน่งใดๆ ในแนวแกน x ความหนาของฟิล์มน้ำมัน h จะเขียนได้ดังสมการ

$$h=h_1-\left(h_1-h_0\right)\frac{x}{B}$$

h คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ต้องการ

h_1 คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ทางเข้า

h_0 คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ทางออก

B คือความกว้างของแหวนลูกสูบ

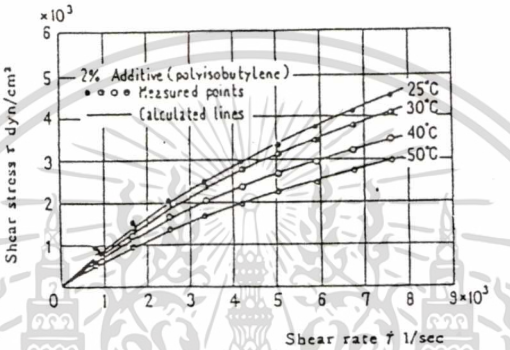
x ระยะใดๆ บนแหวนลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

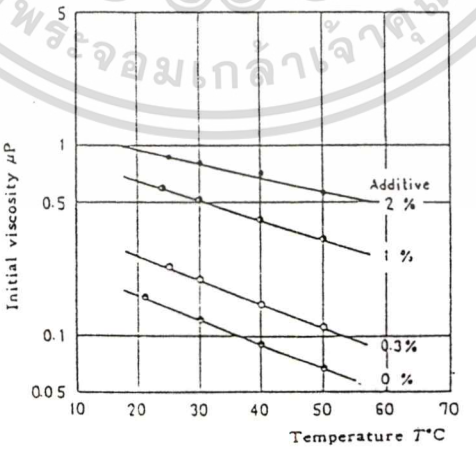
ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบนันนิวโตเนียน (Non-newtonian)

น้ำมันหล่อลื่นทุกชนิดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันดังกล่าวลดลง แต่เมื่อเติมสาร P.I.B (Polyisobutylene) เข้าไปจะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีลักษณะการไหลเหมือนกับ Pseudo-pastic fluid ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นโค้งการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร P.I.B 2%

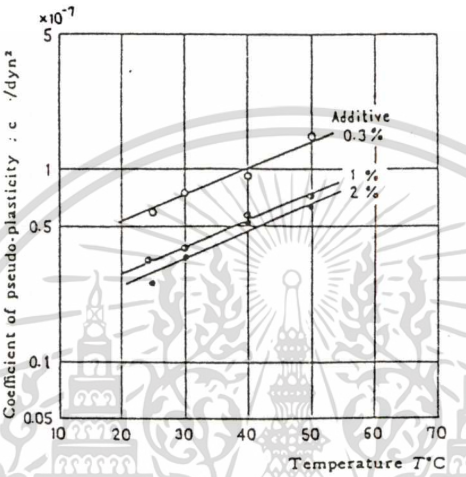
ลักษณะความหนืดเริ่มต้นของ Pseudo-plastic fluid ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.2 จากรูปพบว่าความหนืดลดลงต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และเมื่อเปรียบเทียบความชันของเส้นกราฟที่ผสมสาร P.I.B 0%,0.3%,1% และ 2% พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B มากจะมีความชันในการลดลงของความหนืดน้อยกว่าพวกที่ผสมสาร P.I.B น้อย



รูปที่ 3.2 แสดงการลดลงของความหนืดเริ่มต้นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธ์ของ Pseudo-plastic (nonlinear factor) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แสดงตามรูปที่ 3.3 จากรูปทำให้ทราบว่าสัมประสิทธิ์ของ Pseudo-plastic จะลดลงหรือเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับสาร P.I.B ด้วย สาร P.I.B มีผลทั้งความหนืดและ nonlinear ของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้ เมื่อความหนืดเริ่มต้นเพิ่มขึ้น , สัมประสิทธิ์ของ Pseudo-plastic จะลดลง



รูปที่ 3.3 แสดงสัมประสิทธิ์ของ Pseudo-plastic กับอุณหภูมิ

3.1การวิเคราะห์หาการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่มีคุณสมบัติเป็นแบบนันนิวโตเนี่ยน (Non-newtonian)

ในขณะที่เครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ทำงาน ภายในกระบอกสูบจะมีฟิล์มน้ำมันช่วยในการหล่อลื่น และช่วยป้องกันการสึกหรอระหว่างกระบอกสูบกับแหวนลูกสูบ ทำให้เกิดการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถอธิบายโดยสมการต่อไปนี้

จากรูปที่ 2.2 คิดสมดุลย์แรงในแนวแกน X และ Z จะความสัมพันธ์ตามนี้

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \qquad 3.1a)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial \tau_z}{\partial y} \qquad (3.1b)$$

จากรูปที่ 3.1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear strain rate ได้ดังนี้

$$\tau_x = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - k\tau_x^3 \qquad (3.2a)$$

$$\tau_z = \mu \frac{\partial w}{\partial y} - k\tau_z^3 \qquad (3.2b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$$\frac{\partial P}{\partial x} = f_x \quad , \quad \frac{\partial P}{\partial z} = f_z$$

ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (3.1a) และ (3.1b) ได้ใหม่เป็น

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial y} = f_x \tag{3.3a}$$

$$\frac{\partial \tau_z}{\partial y} = f_z \tag{3.3b}$$

อินทิเกรตสมการ (3.3a) จะได้

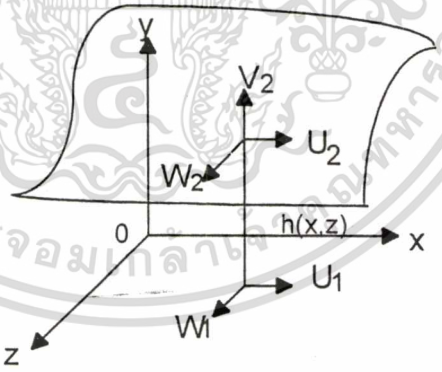
$$\tau_x = f_x y + c_x \tag{3.4}$$

เอาสมการ (3.4) แทนในสมการ (3.2a) จะได้

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\mu_x}\left\{ f_x y + c_x + k\left(f_x^3 y^3 + 3f_x^2 y^2 c_x + 3f_x y c_x^2 + c_x^3 \right) \right\} \tag{3.5}$$

อินทิเกรตสมการ (3.5) จะได้

$$u = \frac{1}{\mu}\left\{ \frac{f_x y^2}{2} + c_x y + \frac{k f_x^3 y^4}{4} + k c_x f_x^2 y^3 + \frac{3k f_x y^2 c_x^2}{2} + k c_x^3 y \right\} + c_{xx} \tag{3.6}$$



รูปที่ 3.4 แสดงระบบโคออร์ดิเนทของฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 ได้สภาวะขอบเขตดังนี้

$$u\left(y=0\right)=U_1 \quad , \quad u\left(y=h\right)=U_2$$
$$v\left(y=0\right)=0 \quad , \quad v\left(y=h\right)=V \qquad (3.7)$$
$$w\left(y=0\right)=0 \quad , \quad w\left(y=h\right)=0$$

ใช้สภาวะขอบเขตของสมการ (3.7) แทนลงในสมการ (3.6) ที่ $y=0$, $u=U_1$ จะได้

$$U_1=\frac{1}{\mu}\left[c_{xx}\right] \qquad (3.8a)$$

หรือ $$c_{xx}=\mu U_1 \qquad (3.8b)$$

ที่ $y=h,\quad u=U_2$ จะได้

$$U_2=\frac{1}{\mu}\left\{\frac{f_x h^2}{2}+c_x h+\frac{kf_x^3 h^4}{4}+kc_x f_x^2 h^3+\frac{3}{2}kf_x h^2 c_x^2+kc_x^3 h\right\}+c_{xx} \qquad (3.9)$$

เอาสมการ (3.8b) แทนในสมการ (3.9) จะได้

$$4khc_x^3+6kh^2 f_x c_x^2+4\left(h+kh^3 f_x^2\right)c_x+kh^4 f_x^3+2f_x h^2+4\mu\left(U_1-U_2\right)=0 \qquad (3.10)$$

หาค่า c_x จากสมการที่ (3.10) จะได้

$$c_x=-\frac{hf_x}{2}-\frac{\left(U_1-U_2\right)}{h\left[1+\frac{\delta h^2 f_x^2}{4}\right]} \qquad (3.10a)$$

โดยที่

$$\delta=k\left(\frac{\mu U_2}{h}\right)^2 \qquad . \qquad (3.10b)$$

k คือสัมประสิทธิ์ nonlinear ของของเหลวที่มีคุณสมบัติเป็นแบบนันนิวโตเนี่ยน

μ คือความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

h คือความหนาของฟิล์มน้ำมัน

u_1, u_2 คือความเร็วของฟิล์มน้ำมันที่ทางเข้าและทางออกของแหวนลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการ (3.8b) และ (3.10a) แทนในสมการ (3.6) จะได้

$$u=\frac{1}{2}\frac{\partial P}{\partial x}y\left(y-h\right)+\delta\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{3}\left(\frac{y^{4}}{4}-\frac{hy^{3}}{2}+\frac{3}{8}h^{2}y^{2}-\frac{h^{3}y}{8}\right)+\frac{U_{1}-U_{2}}{h\left[1+\delta\left(\frac{h}{2}\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{2}\right]}$$

$$\times\left\{-y+\delta\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^{2}\left(-y^{3}+\frac{3}{2}hy^{2}-\frac{3}{4}h^{2}y\right)\right\}+U_{1} \qquad (3.11)$$

อินทิเกรตสมการ (3.3b)

$$\tau_{z}=f_{z}y+c_{z} \qquad (3.12)$$

นำสมการ (3.12) แทนในสมการ (3.2b) จะได้

$$\frac{\partial w}{\partial y}=\frac{1}{\mu}\left\{f_{z}y+c_{z}+k\left(f_{z}^{3}y^{3}+3f_{z}^{2}y^{2}c_{z}+3f_{z}yc_{z}^{2}+c_{z}^{3}\right)\right\} \qquad (3.13)$$

อินทิเกรตสมการ (3.13)

$$w=\frac{1}{\mu}\left\{\frac{f_{z}y^{2}}{2}+c_{z}y+\frac{kf_{z}^{3}y^{4}}{4}+kc_{z}f_{z}^{2}y^{3}+\frac{3kf_{z}y^{2}c_{z}^{2}}{2}+kc_{z}^{3}y\right\}+c_{zz} \qquad (3.14)$$

จากสภาวะขอบเขตในสมการ (3.7) แทนลงในสมการ (3.14) ที่ $y=0$, $w=0$ จะได้

$$c_{zz}=0 \qquad (3.15)$$

ที่ $y=h$, $w=0$ จะได้

$$0=\frac{1}{\mu}\left\{\frac{f_{z}h^{2}}{2}+c_{z}h+\frac{kf_{z}^{3}h^{4}}{4}+kc_{z}f_{z}^{2}h^{3}+\frac{3}{2}kf_{z}h^{2}c_{z}^{2}+kc_{z}^{3}h\right\}+c_{zz} \qquad (3.16)$$

แทนค่าสมการ (3.15) ในสมการ (3.16)

$$4khc_{z}^{3}+6kh^{2}f_{z}c_{z}^{2}+4\left(h+kh^{3}f_{z}^{2}\right)c_{z}+kh^{4}f_{z}^{3}+2f_{x}h^{2}=0 \qquad (3.17)$$

หาค่า c_{z} จากสมการ (3.17) จะได้

$$c_{z}=-\frac{h}{2}f_{z} \qquad (3.17a)$$

นำค่าจากสมการ (3.15) และ (3.17a) แทนลงในสมการ (3.14) จะได้

$$w=\frac{1}{2}\frac{\partial P}{\partial z}y\left(y-h\right)+\delta\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)^{3}\left(\frac{y^{4}}{4}-\frac{hy^{3}}{2}+\frac{3}{8}h^{2}y^{2}-\frac{h^{3}y}{8}\right) \qquad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมดุลย์อัตราการไหลในปริมาตรควบคุม

$$udydz + vdxdz + wdxdy = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x}dx\right)dxdz + \left(v + \frac{\partial v}{\partial y}dy\right)dxdz + \left(w + \frac{\partial w}{\partial z}dz\right)dxdz \quad (3.19a)$$

จากสมการ (3.19a) จะได้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.19b)$$

อินทิเกรตสมการ (3.19b) เทียบกับแกน y ตลอดความหนาของฟิล์มน้ำมัน

$$\int_0^h dv = -\int_0^h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) dy \quad (3.20)$$

จากสภาวะขอบเขตในสมการ (3.7)

$v = 0$ ที่ $y = 0$, $v = V$ ที่ $y = h$

$$V = -\int_0^h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) dy \quad (3.21)$$

แทนค่า u และ w จากสมการ (3.11) และ (3.18) ลงในสมการ (3.21)

$$\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{h^3}{12}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\delta h^5}{80}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^3\right\} + \frac{\partial}{\partial z}\left\{\frac{h^3}{12}\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\delta h^5}{80}\left(\frac{\partial P}{\partial z}\right)^3\right\} = \frac{\left(U_1 - U_2\right)}{2}\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{h}{2}\frac{\partial\left(U_1 + U_2\right)}{\partial x} + V \quad (3.22)$$

3.2 การหาการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์

ประยุกต์สมการ (3.22) ในการแสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ ใน 1 มิติจะได้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{h^3}{12}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\delta h^5}{80}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^3\right\} = \frac{\left(U_1 - U_2\right)}{2}\frac{\partial h}{\partial x} + V \quad (3.23)$$

ความดันของฟิล์มน้ำมันแสดงตามนี้

$$P = P_0 + \delta P_1 \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการ (3.24) แทนในสมการ (3.23)

$$\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{h^3}{12}\frac{\partial\left(P_0+\delta P_1\right)}{\partial x}+\frac{\delta h^5}{80}\left(\frac{\partial\left[P_0+\delta P_1\right]}{\partial x}\right)^3\right\}=\frac{\left(U_1-U_2\right)}{2}\frac{\partial h}{\partial x}+V \qquad (3.25)$$

เมื่อ $\delta=0$ สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเป็นแบบนิวโตเนียนจะได้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{h^3}{12}\frac{\partial P_0}{\partial x}\right\}=\frac{\left(U_1-U_2\right)}{2}\frac{\partial h}{\partial x}+V \qquad (3.26)$$

และเมื่อ δ ใดๆ

$$\frac{\partial}{\partial x}\left\{\frac{\delta h^3}{12}\frac{\partial P_1}{\partial x}+\frac{\delta h^5}{80}\left[\left(\frac{\partial P_0}{\partial x}\right)^3+3\delta\left(\frac{\partial P_0}{\partial x}\right)^2\left(\frac{\partial P_1}{\partial x}\right)+3\delta^2\left(\frac{\partial P_0}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial P_1}{\partial x}\right)^2+\delta^3\left(\frac{\partial P_1}{\partial x}\right)\right]\right\}=0 \qquad (3.27)$$

P_0, P_1 คือความดันย่อยของฟิล์มน้ำมัน

V คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มน้ำมันต่อเวลา

δ คือค่า nonlinear factor

และนำสมการเหล่านี้มาเขียนโปรแกรม finite difference เพื่อหาค่า P0, P1 และค่า P ดังแสดงในภาคผนวก ข. โดยจะแทนค่า h ที่ได้จากการทดลองและค่า δ ที่ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของสาร P.I.B รวมทั้งความเร็วของฟิล์มน้ำมันเพื่อหาค่า P0 และ P1 จากนั้นนำมาหาค่า P ตามความสัมพันธ์ของสมการ (3.24)

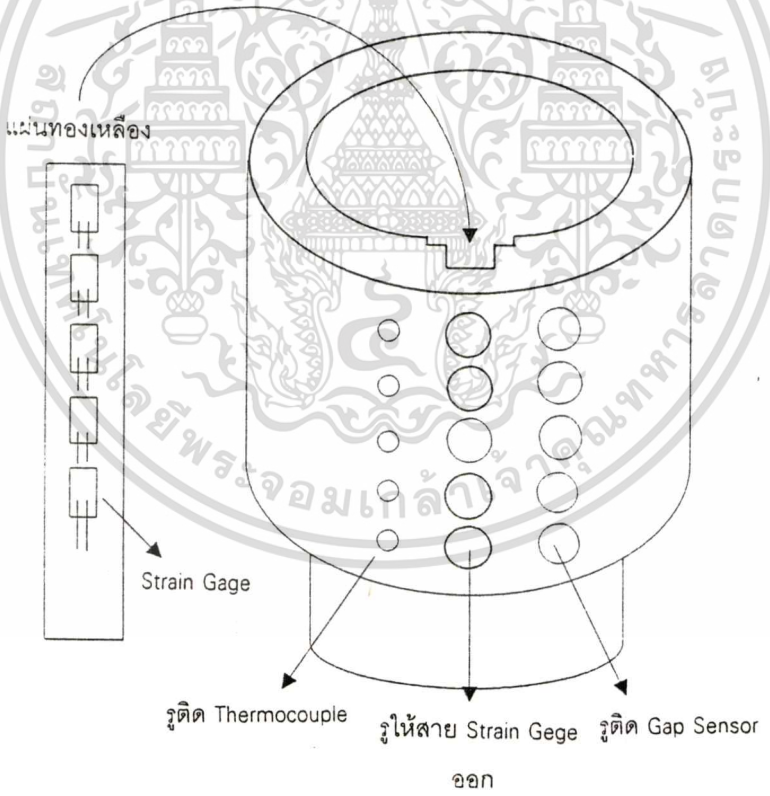
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

4.1 เครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์

ในการทดลองจะใช้เครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ขนาด 50 CC นำมาถอดกระบอกสูบออก และกลึงกระบอกสูบใหม่ใส่แทน เพื่อความสะดวกในการติดเครื่องมือ โดยจะเซาะร่องด้านในของกระบอกสูบให้มีลักษณะเป็นบ่าตามยาว เพื่อติดแผ่นทองเหลืองที่มี Strain Gage สำหรับวัดความดันติดอยู่ 5 ตัว มีระยะห่างกันประมาณ 7 mm และเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์ประมาณ 4 mm มีระยะห่างกัน 7 mm จำนวน 5 รู ด้านนอกกระบอกสูบ โดยให้รูตรงกับร่องทะลุเข้าไปด้านในเพื่อให้สายของ Strain Gage ออกมาได้ ต่อมาให้เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm มีระยะห่างและจำนวนเท่าเดิม ให้ขนานและอยู่ทางด้านซ้ายของรูเดิมเพื่อติดตั้ง Thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิ ส่วนทางด้านขวาเจาะรูขนาด 4 mm มีระยะห่างและจำนวนเท่าเดิมพร้อมทั้งทำเกลียว เพื่อติดตั้ง Gap Sensor สำหรับวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
036633

4.2 เครื่องเปลี่ยนความถี่ (Inverster)

เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนความถี่ให้กับ Induction motor, 3 เฟส, 380 โวลต์ เพื่อเพิ่มความเร็ว ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$N = \left(1 - s\right)\frac{120f}{p} \qquad (4.1)$$

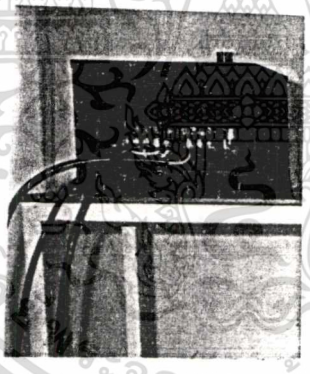
N คือ ความเร็วรอบ

s คือ ค่าการลื่นไถล (Slip)

f คือความถี่ของกระแสไฟฟ้า

p คือจำนวน Pole

จากสมการจะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงด้วยจึงใช้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟฟ้าในการเปลี่ยนความเร็วรอบ ดังแสดงตามรูปที่ 4.2



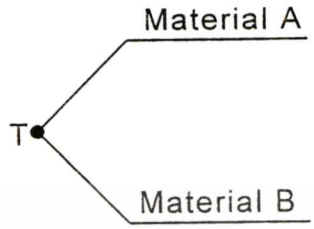
รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์เปลี่ยนความถี่

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

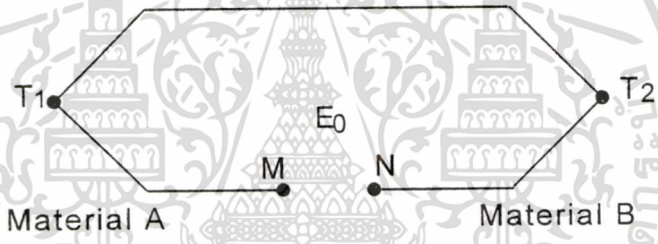
เครื่องวัดอุณหภูมิประกอบด้วยลวดตัวนำ 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติทางความร้อนต่างกัน นำมาเชื่อมต่อกัน ดังรูปที่ 4.3 เมื่อให้ความร้อนที่จุดเชื่อมจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Thermoelectric ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้อิเล็กตรอนวิ่งข้ามจุดเชื่อมของลวดตัวนำ เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น โดยศักย์ไฟฟ้าของสารตัวนำที่รับอิเล็กตรอนเป็นลบ ขณะที่ศักย์ไฟฟ้าของสารตัวนำที่ให้อิเล็กตรอนเป็นบวกดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของกระแสอิเล็กตรอนเกิดขึ้น และขนาดของกระแสอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเชื่อมเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 4.3 แสดงเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 4.4 แสดงเทอร์โมคัปเปิลใช้งานจริง

ศักย์ไฟฟ้าจะวัดโดยการเพิ่มจุดเชื่อมอีกจุดหนึ่ง เข้าไปในวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.4 และวัดศักย์ E_0 โดยใช้ Voltmeter ที่เหมาะสม ศักย์ไฟฟ้า E_0 ที่คล่อมระหว่าง M-N สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$E_0 = C_1\left(T_1 - T_2\right) + C_2\left(T_1^2 - T_2^2\right) \qquad (4.2)$$

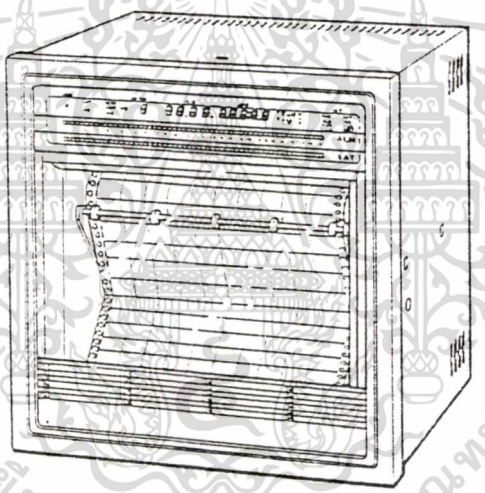
เมื่อ C_1 และ C_2 คือค่าคงที่ของ Thermoelectric ที่ขึ้นอยู่กับ Junction T_1 และ T_2 ในทางปฏิบัติ Junction 1 ใช้กับตัว Unknow T_1 ขณะที่ Junction 2 ใช้กับจุดอ้างอิง T_2 เพราะว่าจุดอ้างอิง T_2 ทราบค่า จึงสามารถหาค่า T_1 ได้ โดยการวัดค่า E_0

ซึ่งเห็นได้ชัดจากสมการ (4.2) ว่าผลตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็น Non-linear Function ของอุณหภูมิและยังขึ้นอยู่กับสารตัวนำที่นำมาประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวงจรของเทอร์โมคัปเปิล มีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ $\left(T_1 - T_2\right)$ จึงจำเป็นที่ Junction อ้างอิง T_2 จะต้องถูกรักษาไว้ให้คงที่และถูกต้องตลอดเวลา

สำหรับในการทดลองนี้สารโลหะที่นำมาประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิลคือ Chromei และ Alumel ซึ่งมี Temperature Rang อยู่ในช่วงระหว่าง -185 องศาเซลเซียส ถึง 1260 องศาเซลเซียลซึ่งเป็นช่วงที่กว้างพอที่ใช้ในการทดลองนี้ ในการทดลองเราจะใช้ Thermocouple Recorder รุ่น 4176 สำหรับการอ่านค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียล ดังรูปที่ 4.5

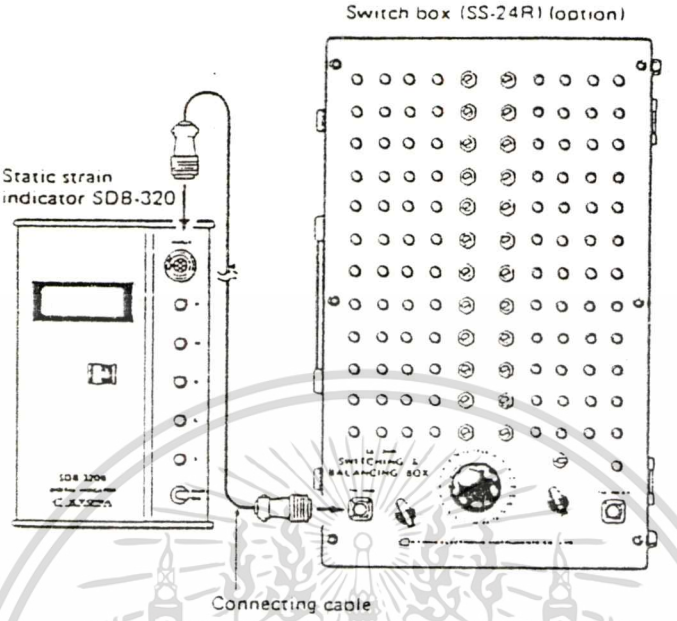


รูปที่ 4.5 แสดง Thermocouple Record

4.4 เครื่องวัดความดัน

ในการสร้างอุปกรณ์วัดความดัน จะใช้หลักการเกิด Strain ในแผ่นทองเหลือง เมื่อได้รับความดันโดยมี Strain Gage เป็น Sensor ซึ่ง Strain Gage จะเป็นลักษณะของเส้นโลหะบางๆ เมื่อแผ่นทองเหลืองได้รับความดันแล้วเกิด Strain ขึ้น Strain นี้จะถ่ายทอดสู่ Strain Gage ทำให้เส้นโลหะบางๆ เกิดการยืดตัวเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัด ความยาวและความต้านทานของ Strain Gage จึงเปลี่ยนไป ในการใช้งานจะนำ Strain Gage ไปต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิคส์ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ Strain Gage จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ทำให้สามารถวัดความดันได้ ดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



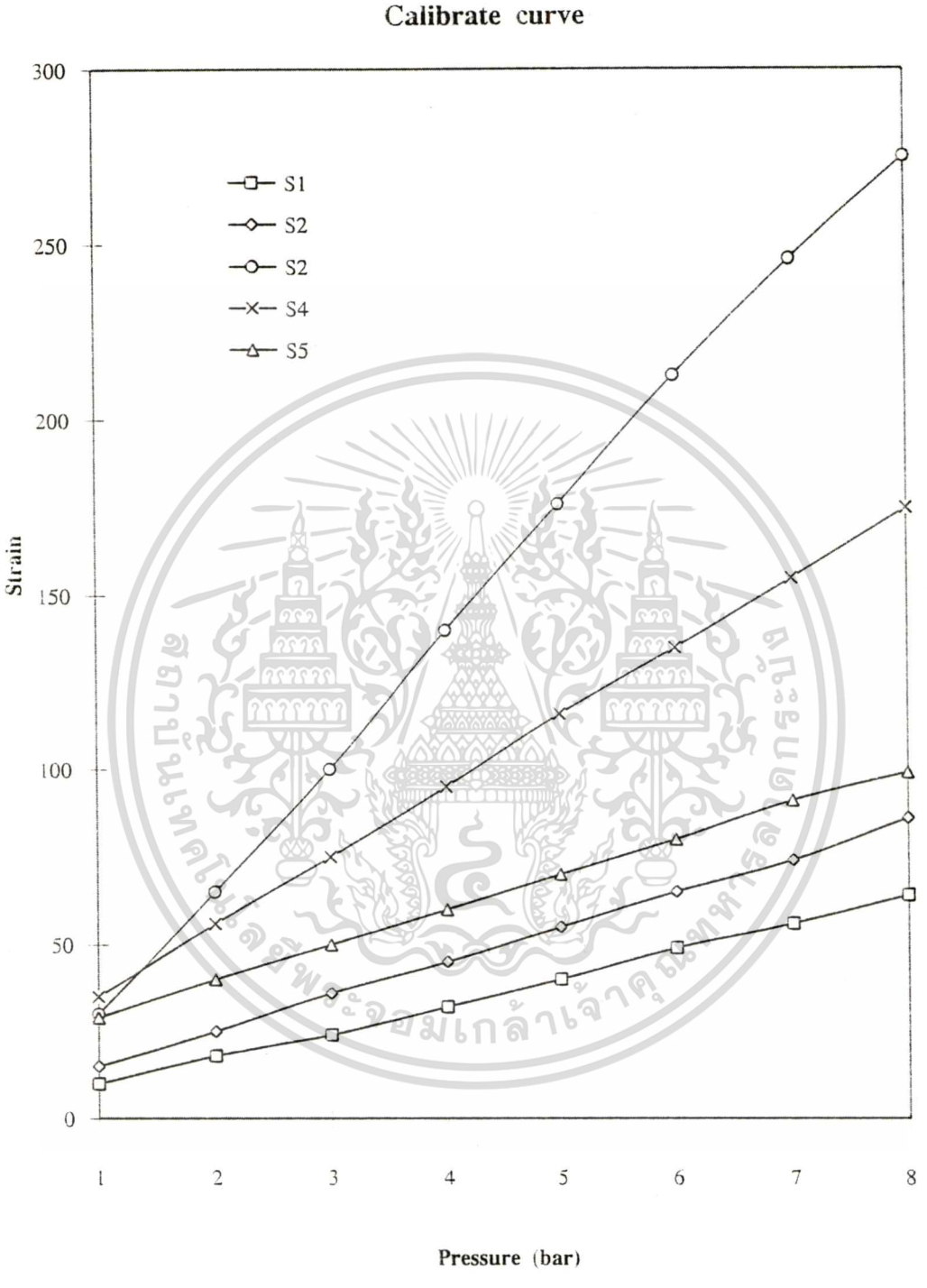
รูปที่ 4.6 แสดงอุปกรณ์วัดค่า Strain

ก่อนนำ Strain gage หรือ Pressure Transducer ไปใช้ในการทดลองต้องนำ Pressure Transducer ไปทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความดันกับค่าของ Strain ก่อนดังแสดงตามตาราง 4.1 และรูปที่ 4.7

Pressure (bar)		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
S1	Strain	10	18	24	32	40	49	56	64
S2	Strain	15	25	36	45	55	65	75	86
S3	Strain	30	65	100	135	170	205	238	275
S4	Strain	35	56	75	95	116	135	155	175
S5	Strain	29	40	50	60	70	80	91	99

ตาราง 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่า strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Strain กับค่าความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เครื่องวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน

เครื่องมือสำหรับวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน หรือระยะห่างระหว่างผิวของกระบอกสูบกับแหวนลูกสูบคือ Gap Sensor ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดระยะการขจัดแบบไม่ต้องสัมผัสกับพื้นผิวที่จะทำการวัดโดยใช้หลักการของการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่ความถี่สูง (high frequency eddy current loss) และเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสำหรับวัดการขจัดทั้งทาง static และ dynamic ดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

ส่วนประกอบ

1 ตัวแปลงสัญญาณ (convertor)	AEC-5505
2 โพรบ (probe)	PU-05
3 สายโพรบ	PU-30

ข้อมูลเฉพาะ

VOLTAGE RANGE	0-2.0 mm
OUT VOLTAGE	$\pm$5V (5MV/M)
FREQUENCY RANGE	DC 20 KH_z -2dB
LINERITY	$\pm$5%
อุณหภูมิขณะใช้งาน	convertor -10C - +55C
	probe -30C - +120C
อุณหภูมิคลาดเคลื่อน	convertor 0.1%/C
	Probe 0.02%/C
แหล่งจ่ายไฟ	$\pm$12V DC, 40mA

การติดตั้ง การเดินสายและการใช้งาน

1 การติดตั้งโพรบ

ติดตั้งโพรบในที่ที่ให้สัญญาณไฟฟ้า output ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงที่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณตอบสนอง output

2 การเดินสายเชื่อมระหว่าง convertor กับ probe

ต่อโพรบกับขั้วสัญญาณอินพุทของ convertor ด้วยสายโพรบ PC-03

3 การเดินสายของสัญญาณ output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสัญญาณ output มาจากขั้วสัญญาณ output และขั้วไฟกราวด์และป้อนให้แก่โวลต์มิเตอร์แบบดิจิตอล

4 การต่อแหล่งจ่ายไฟ

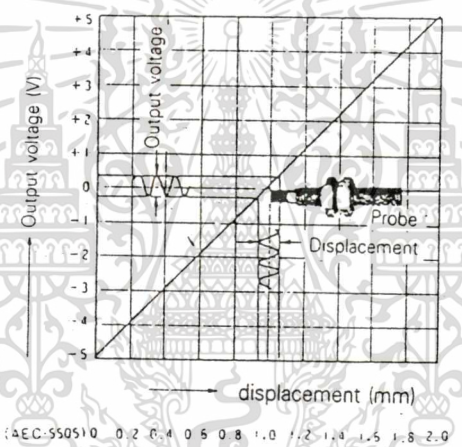
ป้อนไฟ ± 12V จากเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง โดยต่อจากขั้ว +12V, -12V และ 0V

5 อุ่นเครื่อง

อุปกรณ์นี้ต้องการเวลาอุ่นเครื่องหลังจากเปิดสวิทช์สักครู่

ผลตอบสนองของสัญญาณ output

ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุทของอุปกรณ์นี้ถูกปรับแต่ง เพื่อที่จะให้ผลสอดคล้องกับวัตถุที่เป็นโลหะตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองเมื่อวัตถุเป็นโลหะ

ผลตอบสนองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่างและความหนาของวัตถุที่ใช้วัด Gap Sensor สามารถปรับอัตราขยายได้ซึ่งทำให้ปรับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ output ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

เมื่อผิวของวัตถุมีค่าเป็นสองเท่าของผิวหน้าโพรบ จะไม่มีผลต่อผลตอบสนองแต่ประการใด

เมื่อผิวของวัตถุมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งหรือมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพื้นที่ของผิวหน้าโพรบผลตอบสนองจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่านั้น

สำหรับวัสดุที่เป็นผง หรือมีส่วนประกอบหลายส่วน หรือเป็นสายที่รวบเข้าไว้ด้วยกันอาจให้ผลตอบสนองที่ไม่ดี หรือไม่ให้ผลตอบสนองเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสิารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัตถุทรงกระบอก ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3.5 เท่าของโพรบ ขึ้นไปผลตอบสนองจะคงเดิม

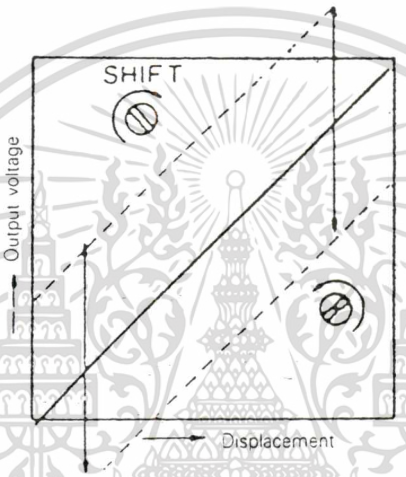
การปรับแต่งผลตอบสนองของสัญญาณ output

ผลตอบสนองของสัญญาณ output จะถูกปรับโดยใช้วัตถุเป็นเหล็กผลตอบสนองของสัญญาณ output ขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของวัตถุที่ใช้ทำวัตถุเป้า

สามารถปรับค่าได้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้วัด

1 SHIFT

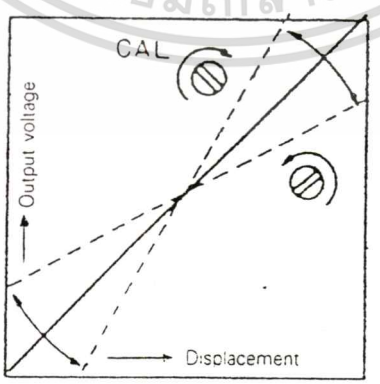
การปรับ SHIFT ของแรงดัน output สามารถทำได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง



รูปที่ 4.9 แสดงการปรับ SHIFT

2 CAL

ความไวของแรงดันต่อการขจัดสามารถปรับค่าเป็นตรงข้ามได้

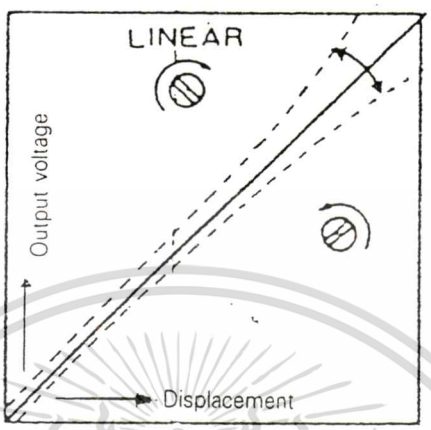


รูปที่ 4.10 แสดงการปรับ CAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 LINEAR

ความเป็นเชิงเส้นของผลตอบสนองสามารถชดเชยได้แต่การชดเชยนี้เมื่อทำแล้วต้องมีการปรับ SHIFT และ CAL อีกครั้ง

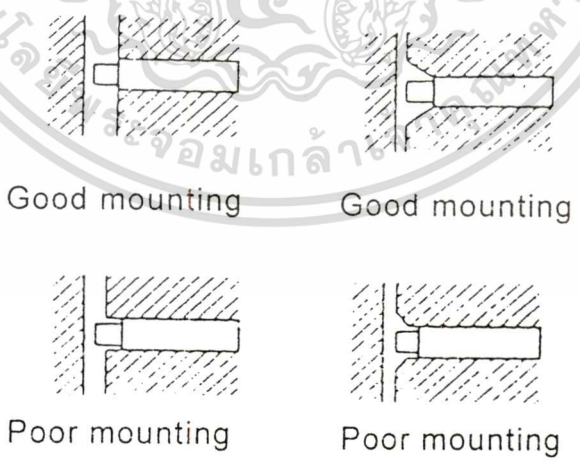


รูปที่ 4.11 แสดงการปรับ LINEAR

ข้อแนะนำเพิ่มเติม

1 อย่าวางโลหะในบริเวณใกล้ๆ กับวัตถุและโพรบ

2 เมื่อโพรบถูกติดตั้งในโลหะ ต้องระมัดระวังอย่าให้หัวของโพรบถูกโลหะปิดไว้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งโพรบที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 เมื่อโพรบหลายๆ อันถูกใช้พร้อมกันอย่าตั้งเอาไว้ใกล้กัน

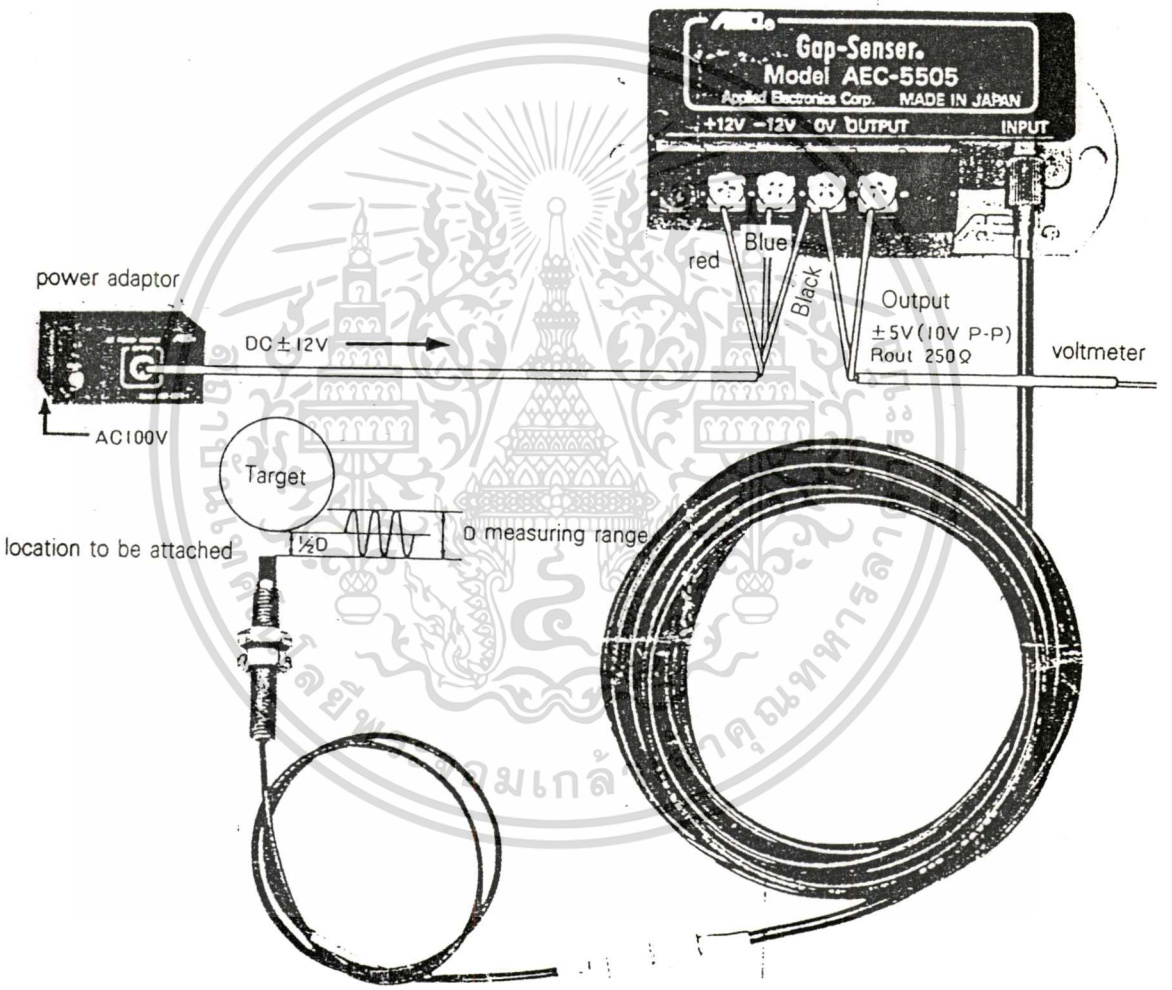
4 ตรวจสายให้เรียบร้อยก่อนเปิดเครื่อง

5 อย่าลัดวงจรของสัญญาณ output

6 อย่าเพิ่มความยาวหรือตัดสายโพรบ

7 โพรบสามารถใช้ในน้ำ น้ำมันและสนามแม่เหล็กได้

การต่อวงจรสำหรับ Gap Sensor เป็นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรสำหรับ Gap Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีการทดลอง

1 ติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

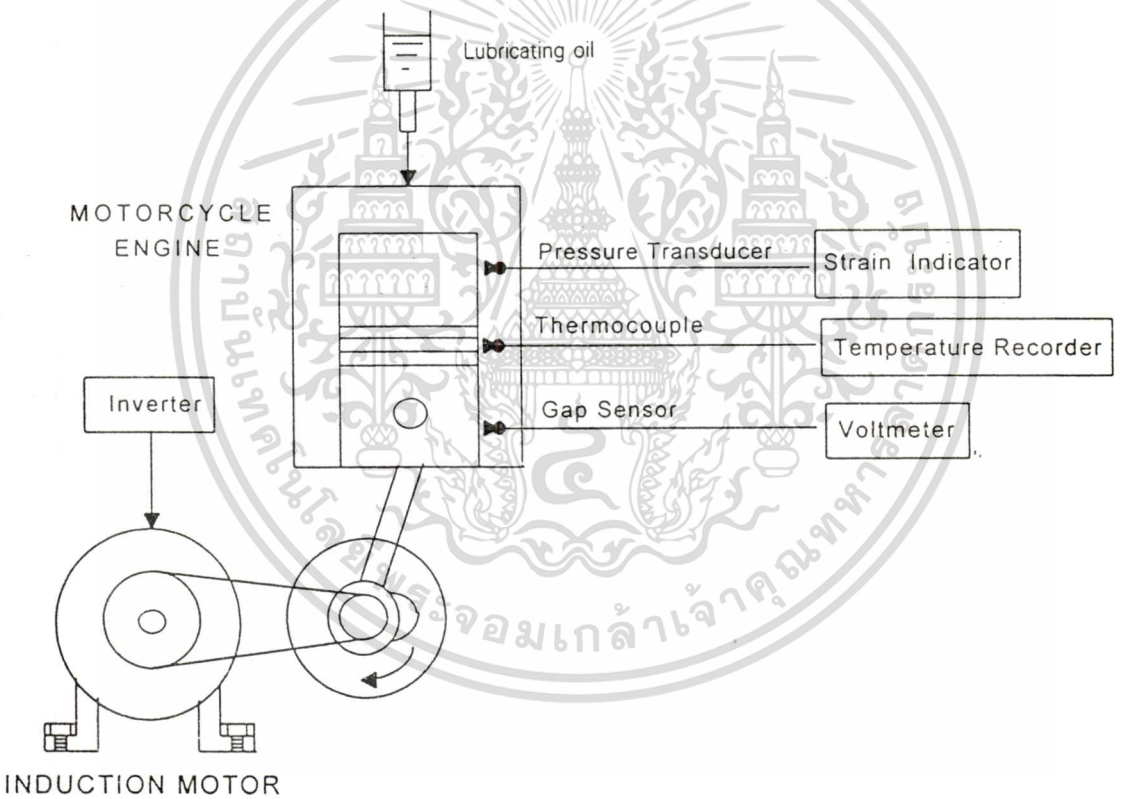
2 นำน้ำมัน Autolube มาผสมสาร P.I.B 0.3%, 1% และ 2%

3 ปล่อยน้ำมัน Autolube แบบธรรมดา และที่ผสมสาร P.I.B เข้าไปในกระบอกสูบโดยมี Valve ควบคุม

4 เดินเครื่องทดลองที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. , 1500 rpm. , 2000 rpm. , 2500 rpm. และ 3000 rpm. ตามลำดับ

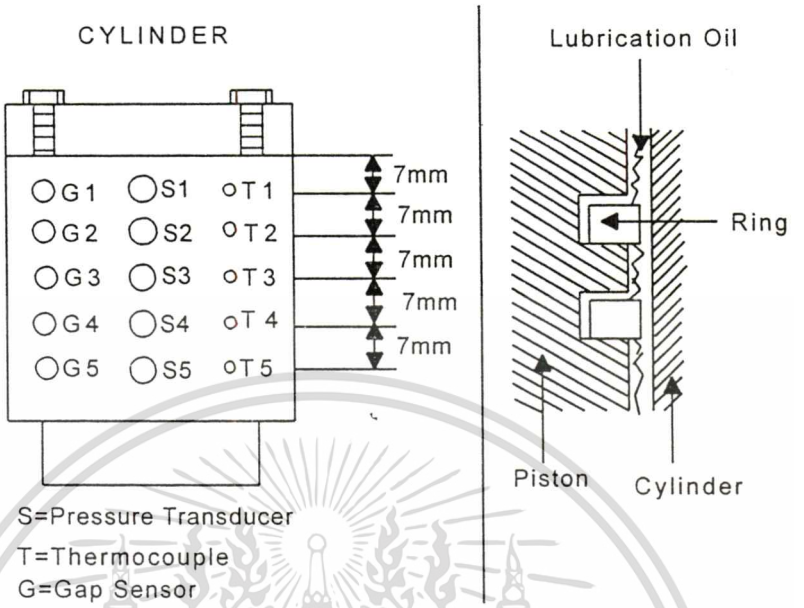
5 วัดค่าการกระจายความดัน อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันแล้วบันทึกผลการทดลอง

6 นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงการกระจายความดัน อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมัน



รูปที่ 5.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงการติดตั้ง Pressure Transducers, Thermocouples and Gap Sensors ที่กระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยการทดลองนี้ทำที่อุณหภูมิห้องไม่ได้มีการเผาไหม้จริงๆ

1 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายความดัน อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันที่กำหนดให้ความเร็วรอบคงที่ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำมัน Autolube ที่ผสมสาร P.I.B ที่ค่าต่างๆ (ตั้งแต่รูปที่ 6.1 ถึง รูปที่ 6.15)

จากรูปที่ 6.1-6.5 แสดงการกระจายความดัน, รูปที่ 6.6-6.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิ และรูปที่ 6.11-6.15 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน ทำให้ทราบว่าเมื่อเพิ่ม % ของสาร P.I.B ที่ผสมเข้าไปในน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้ความดัน, อุณหภูมิ และความหนาของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสาร P.I.B ที่ผสมเข้าไปทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดมากขึ้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิ,ความดันและความหนาของฟิล์มน้ำมันมากขึ้น โดยจะมากขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้จากรูปที่ 6.11 ที่ตำแหน่ง G1

P.I.B 0% h=11.7 micron, P.I.B 0.3% h=12.24 micron, P.I.B 1% h=13.14 micron, P.I.B 2% h=13.5 micron

เมื่อเติมสาร P.I.B 0.3% ความหนาของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น $\frac{12.24-11.7}{11.7} \times 100 = 4.61\%$

เมื่อเติมสาร P.I.B 1% ความหนาของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น $\frac{13.14-11.7}{11.7} \times 100 = 12.3\%$

เมื่อเติมสาร P.I.B 2% ความหนาของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น $\frac{13.5-11.7}{11.7} \times 100 = 15.38\%$

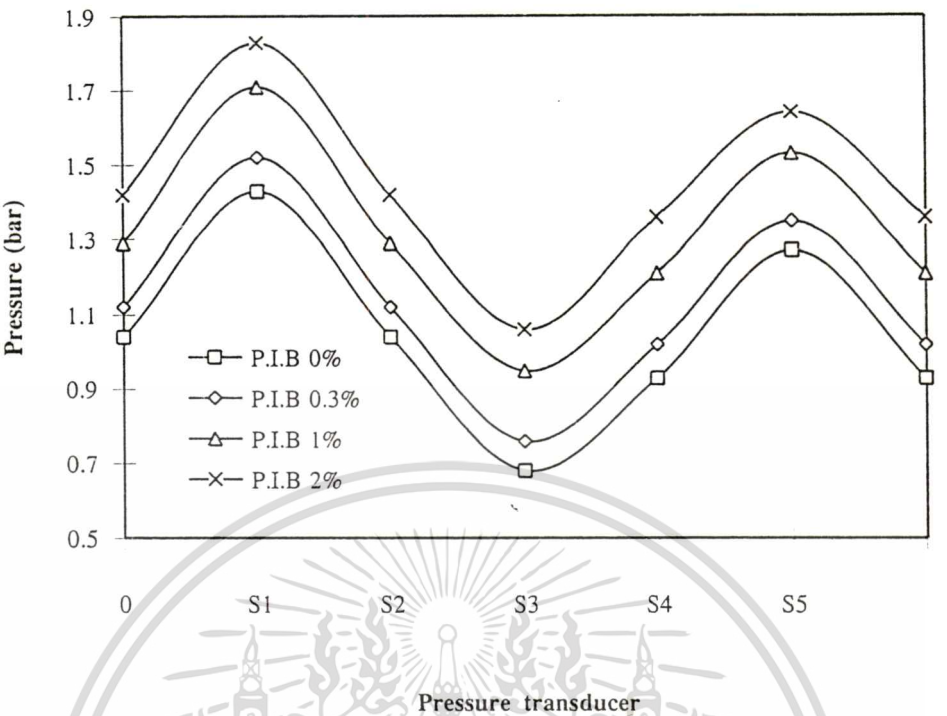
จากเปอร์เซ็นต์ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสาร P.I.B ที่เติมเข้าไปช่วยทำให้ฟิล์มน้ำมันมีความหนาในการป้องกันการเสียดสีเพิ่มขึ้น และการที่ใช้สาร P.I.B ในปริมาณที่น้อยเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณความดันในเทอมที่ order สูงๆ

2 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงการกระจายความดัน อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันที่กำหนดให้สาร P.I.B ที่ผสมคงที่ โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ (ตั้งแต่รูปที่ 6.16 ถึง 6.27)

จากรูปที่ 6.16-6.19 แสดงการกระจายความดัน และรูปที่ 6.20-6.23 แสดงการกระจายอุหภูมิของฟิล์มน้ำมัน ทำให้ทราบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ (speed) มากขึ้นจะส่งผลทำให้ความดัน และอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่วนรูปที่ 6.24-6.27 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันทำให้ทราบว่าเมื่อ ความเร็วรอบ (speed) เพิ่มขึ้นความหนาของฟิล์มน้ำมันจะลดลง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงดังผลการทดลองต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

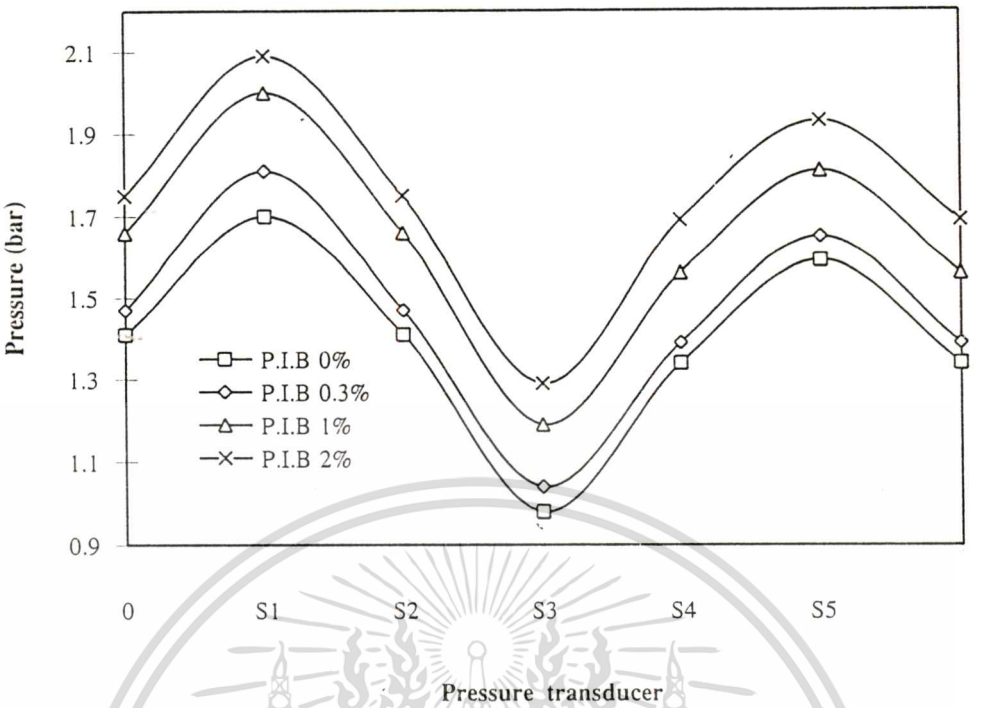


รูปที่ 6.1 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

PRESSURE TRANSDUCER		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
S1	Strain	25	26	29	31
	Pressure	1.43	1.52	1.71	1.83
S2	Strain	25	27	31	33
	Pressure	1.04	1.12	1.29	1.42
S3	Strain	43	49	62	65
	Pressure	0.68	0.76	0.95	1.06
S4	Strain	52	55	64	69
	Pressure	0.93	1.02	1.21	1.36
S5	Strain	45	47	51	53
	Pressure	1.27	1.35	1.53	1.64

ตาราง 6.1 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

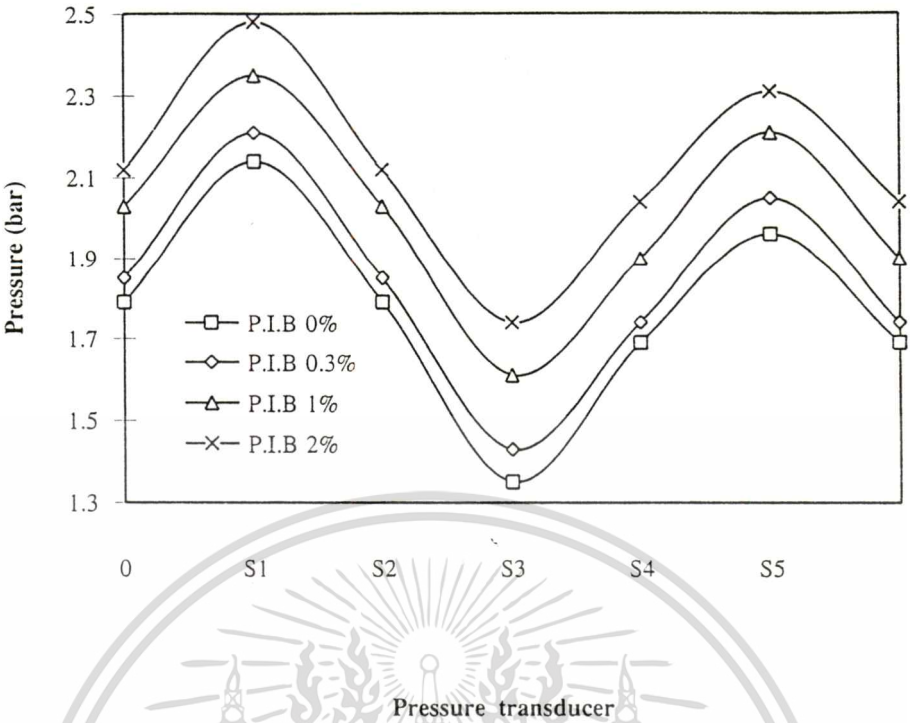


รูปที่ 6.2 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

PRESSURE TRANSDUCER		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
S1	Strain	28	23	33	34
	Pressure	1.7	1.81	2	2.09
S2	Strain	33	34	38	40
	Pressure	1.41	1.47	1.66	1.75
S3	Strain	54	65	79	85
	Pressure	0.98	1.04	1.19	1.29
S4	Strain	69	71	78	83
	Pressure	1.34	1.39	1.56	1.69
S5	Strain	52	53	56	58
	Pressure	1.59	1.65	1.81	1.93

ตาราง 6.2 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

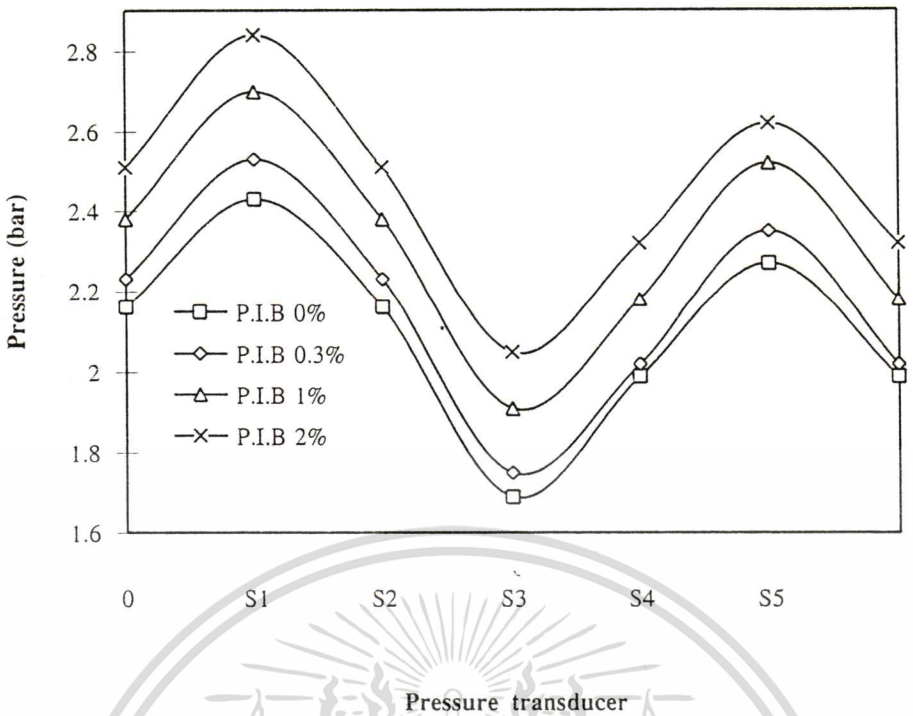


รูปที่ 6.3 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.

PRESSURE TRANSDUCER		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
S1	Strain	35	37	39	41
	Pressure	2.14	2.21	2.35	2.48
S2	Strain	41	42	45	47
	Pressure	1.79	1.85	2.03	2.12
S3	Strain	89	95	108	117
	Pressure	1.35	1.43	1.61	1.74
S4	Strain	83	85	91	95
	Pressure	1.69	1.74	1.9	2.04
S5	Strain	58	60	64	66
	Pressure	1.96	2.05	2.21	2.31

ตาราง 6.3 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

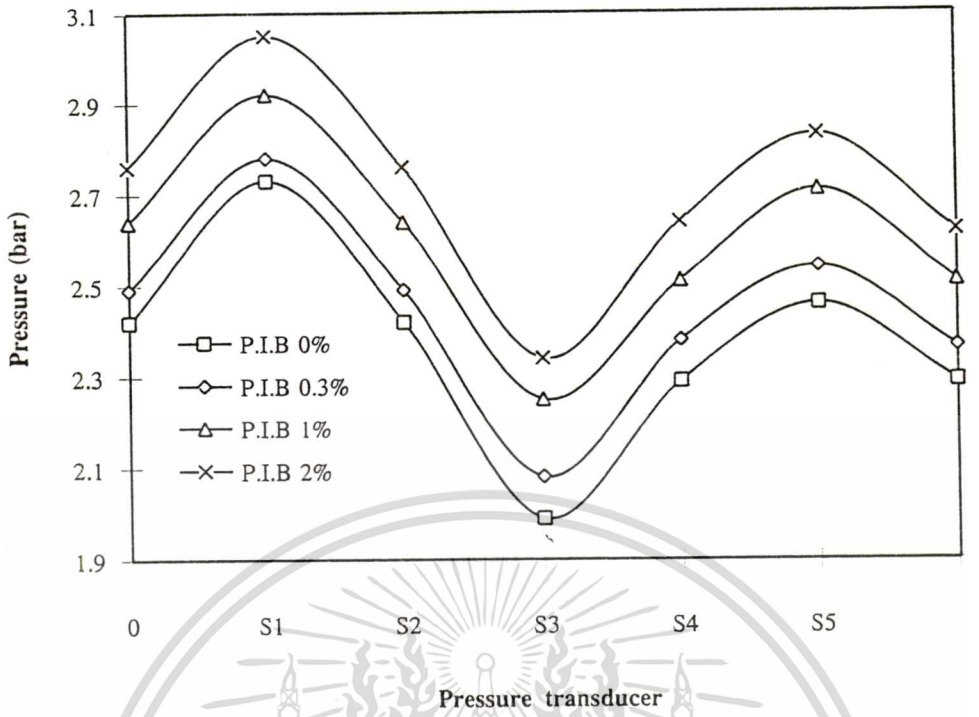


รูปที่ 6.4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

PRESSURE TRANSDUCER		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
S1	Strain	40	41	44	46
	Pressure	2.43	2.53	2.7	2.84
S2	Strain	48	49	53	55
	Pressure	2.16	2.23	2.38	2.51
S3	Strain	113	117	129	135
	Pressure	1.69	1.75	1.91	2.05
S4	Strain	95	95	102	108
	Pressure	1.99	2.02	2.18	2.32
S5	Strain	65	67	70	72
	Pressure	2.27	2.35	2.52	2.62

ตาราง 6.4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

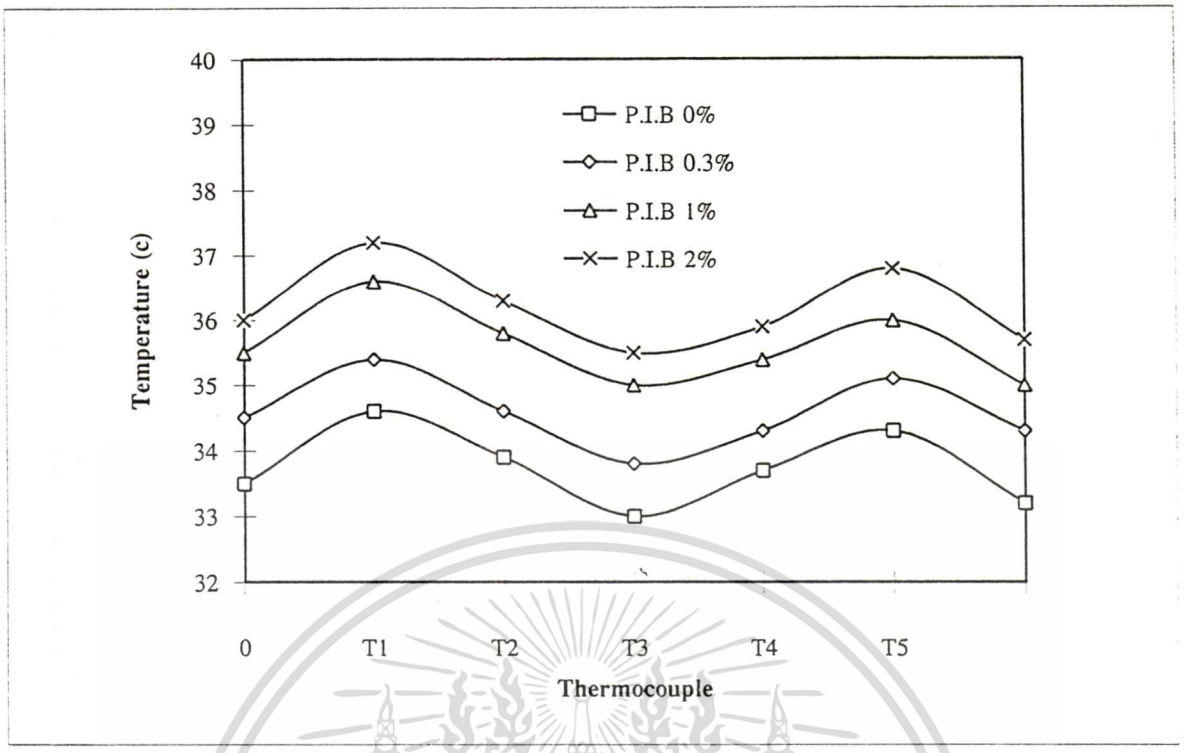


รูปที่ 6.5 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

PRESSURE TRANSDUCER		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
S1	Strain	44	45	47	49
	Pressure	2.73	2.78	2.92	3.05
S2	Strain	53	55	58	60
	Pressure	2.42	2.49	2.64	2.76
S3	Strain	134	135	153	159
	Pressure	1.99	2.08	2.25	2.34
S4	Strain	107	110	116	121
	Pressure	2.29	2.38	2.51	2.64
S5	Strain	69	71	74	76
	Pressure	2.46	2.54	2.71	2.83

ตาราง 6.5 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

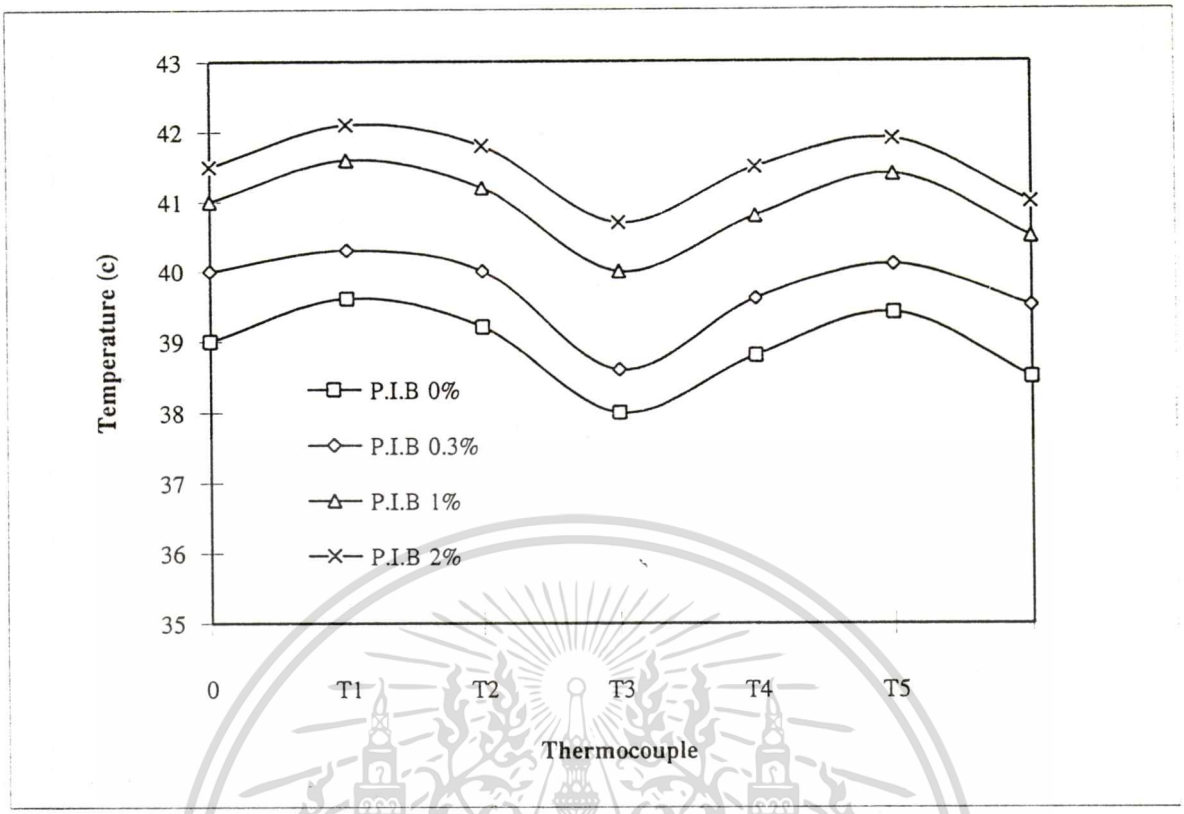


รูปที่ 6.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

THERMOCOUPLE	P.I.B			
	0%	0.3%	1%	2%
T1	34.6	35.4	36.6	37.2
T2	33.9	34.6	35.8	36.3
T3	33	33.8	35	35.5
T4	33.7	34.3	35.4	35.9
T5	34.3	35.1	36.3	36.8

ตาราง 6.6 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

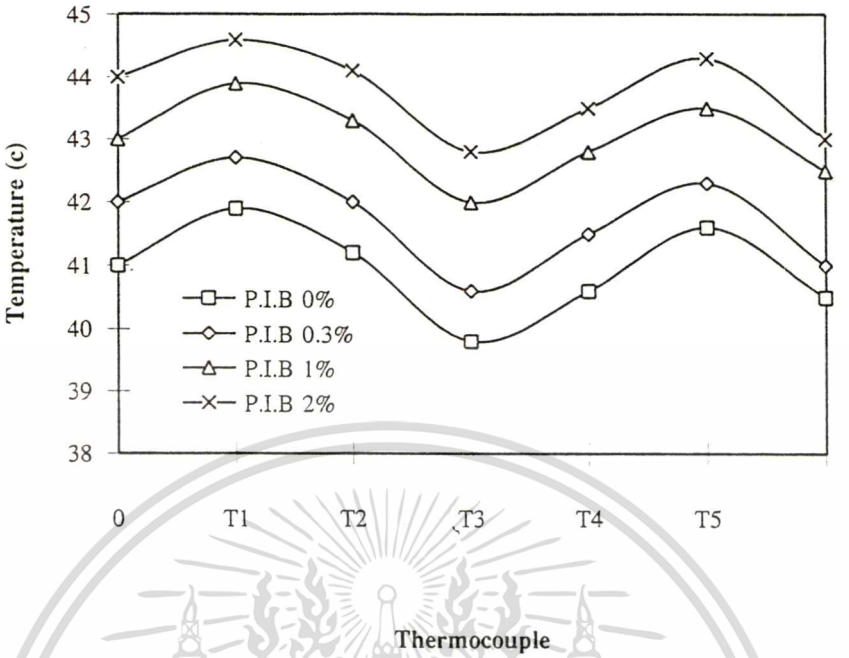


รูปที่ 6.7 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

THERMOCOUPLE	P.I.B			
	0%	0.3%	1%	2%
T1	38.1	38.8	39.9	40.6
T2	37.5	38.2	39.3	40
T3	36.2	37	38.2	39
T4	37.1	37.8	39.1	39.9
T5	37.8	38.6	39.5	40.2

ตาราง 6.7 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันมี่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

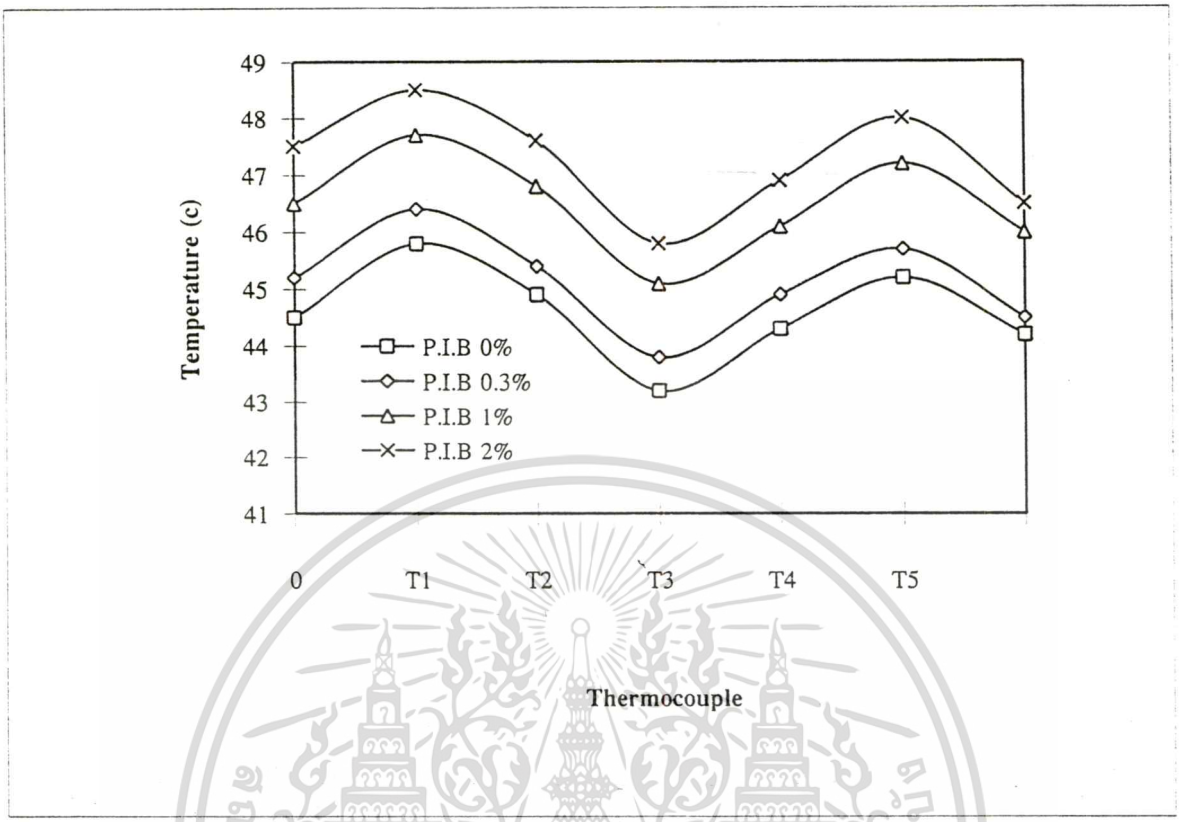


รูปที่ 6.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.

THERMOCOUPLE	P.I.B			
	0%	0.3%	1%	2%
T1	41.9	42.7	43.9	44.6
T2	41.2	42	43.3	44.1
T3	39.8	40.6	42	42.8
T4	40.6	41.5	42.8	43.5
T5	41.6	42.3	43.5	44.3

ตาราง 6.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรรอบ 2000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

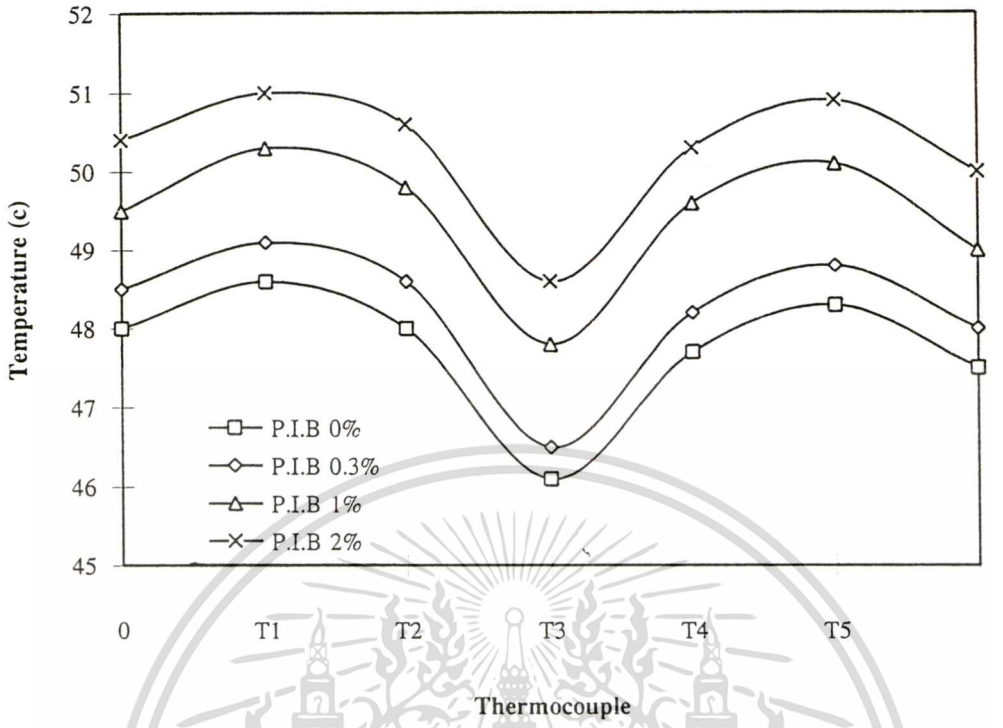


รูปที่ 6.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

THERMOCOUPLE	P.I.B			
	0%	0.3%	1%	2%
T1	45.8	46.4	47.7	48.5
T2	44.9	45.4	46.8	47.6
T3	43.2	43.8	45.1	45.8
T4	44.3	44.9	46.1	46.9
T5	45.2	45.7	47.2	48

ตาราง 6.9 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

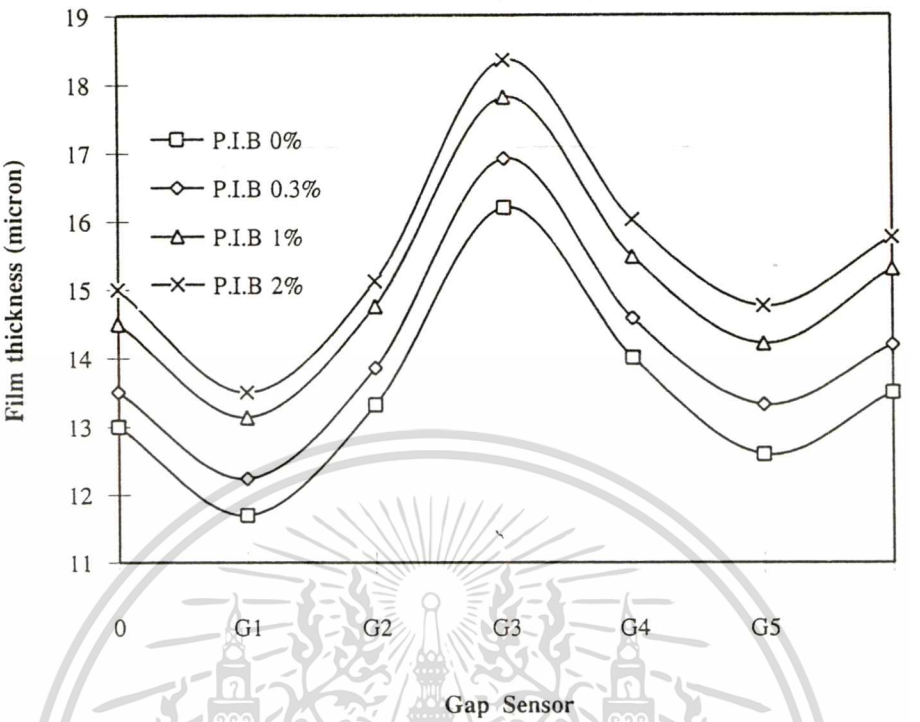


รูปที่ 6.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

THERMOCOUPLE	P.I.B			
	0%	0.3%	1%	2%
T1	48.6	49.1	50.3	51
T2	48	48.6	49.8	50.6
T3	46.1	46.5	47.8	48.6
T4	47.7	48.2	49.6	50.3
T5	48.3	48.8	50.1	50.9

ตาราง 6.10 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

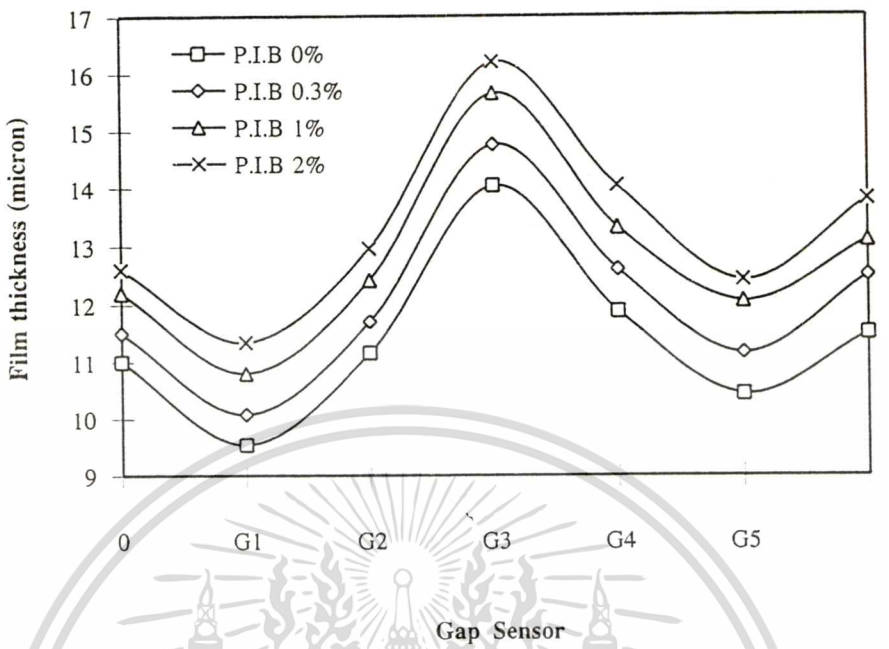


รูปที่ 6.11 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

GAP SENSOR		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
G1	Voltage	-4.935	-4.932	-4.927	-4.925
	Film thickness	11.7	12.24	13.14	13.5
G2	Voltage	-4.926	-4.923	-4.918	-4.916
	Film thickness	13.32	13.86	14.76	15.12
G3	Voltage	-4.91	-4.906	-4.901	-4.898
	Film thickness	16.2	16.92	17.82	18.36
G4	Voltage	-4.922	-4.919	-4.914	-4.911
	Film thickness	14.01	14.58	15.48	16.02
G5	Voltage	-4.93	-4.926	-4.921	-4.918
	Film thickness	12.6	13.32	14.22	14.76

ตาราง 6.11 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

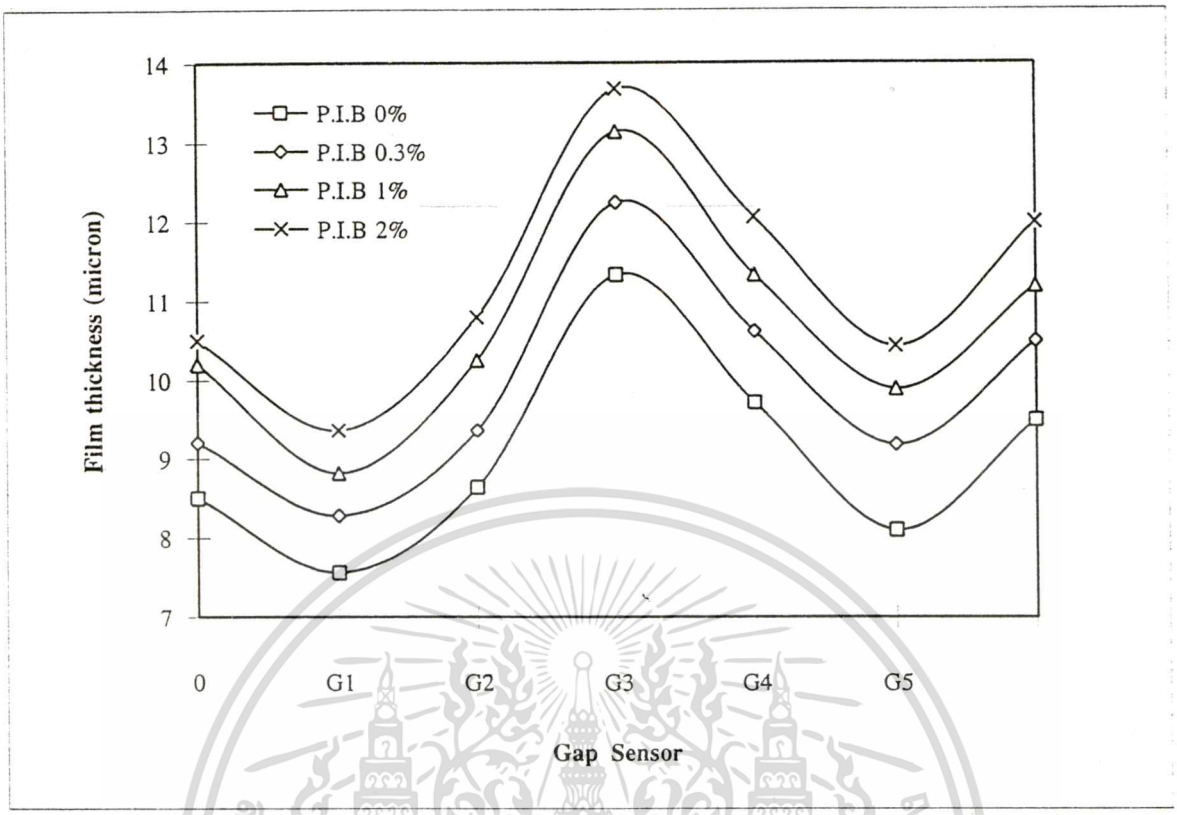


รูปที่ 6.12 แสดงการกระความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

GAP SENSOR		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
G1	Voltage	-4.947	-4.944	-4.94	-4.937
	Film thickness	9.54	10.08	10.8	11.34
G2	Voltage	-4.938	-4.935	-4.931	-4.928
	Film thickness	11.16	11.7	12.42	12.96
G3	Voltgge	-4.922	-4.918	-4.913	-4.91
	Film thickness	14.04	14.76	15.66	16.2
G4	Voltage	-4.934	-4.93	-4.926	-4.922
	Film thickness	11.88	12.6	13.32	14.04
G5	Voltage	-4.942	-4.938	-4.933	-4.931
	Film thickness	10.44	11.16	12.06	12.42

ตาราง 6.12 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

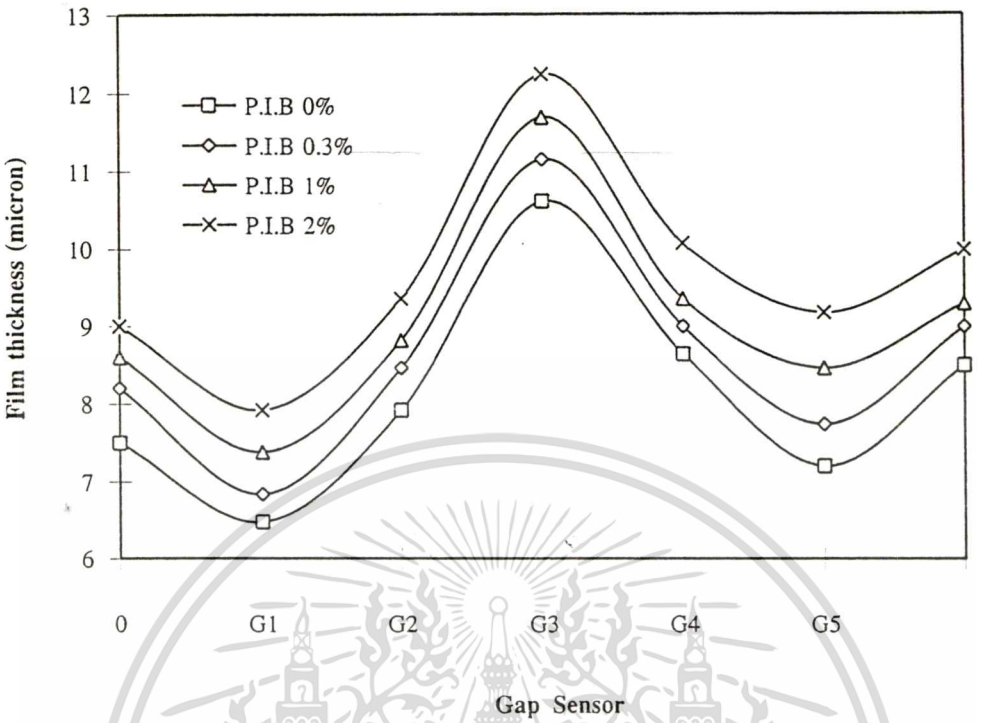


รูปที่ 6.13 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.

GAP SENSOR		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
G1	Voltage	-4.958	-4.954	-4.951	-4.948
	Film thickness	7.56	7.2	8.82	9.36
G2	Voltage	-4.952	-4.948	-4.943	-4.94
	Film thickness	8.64	9.36	10.26	10.8
G3	Voltage	-4.937	-4.932	-4.927	-4.924
	Film thickness	11.34	-12.24	13.14	13.68
G4	Voltage	-4.946	-4.941	-4.937	-4.933
	Film thickness	9.72	10.62	11.34	12.06
G5	Voltage	-4.955	-4.949	-4.945	-4.942
	Film thickness	8.1	9.18	9	10.44

ตาราง 6.13 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

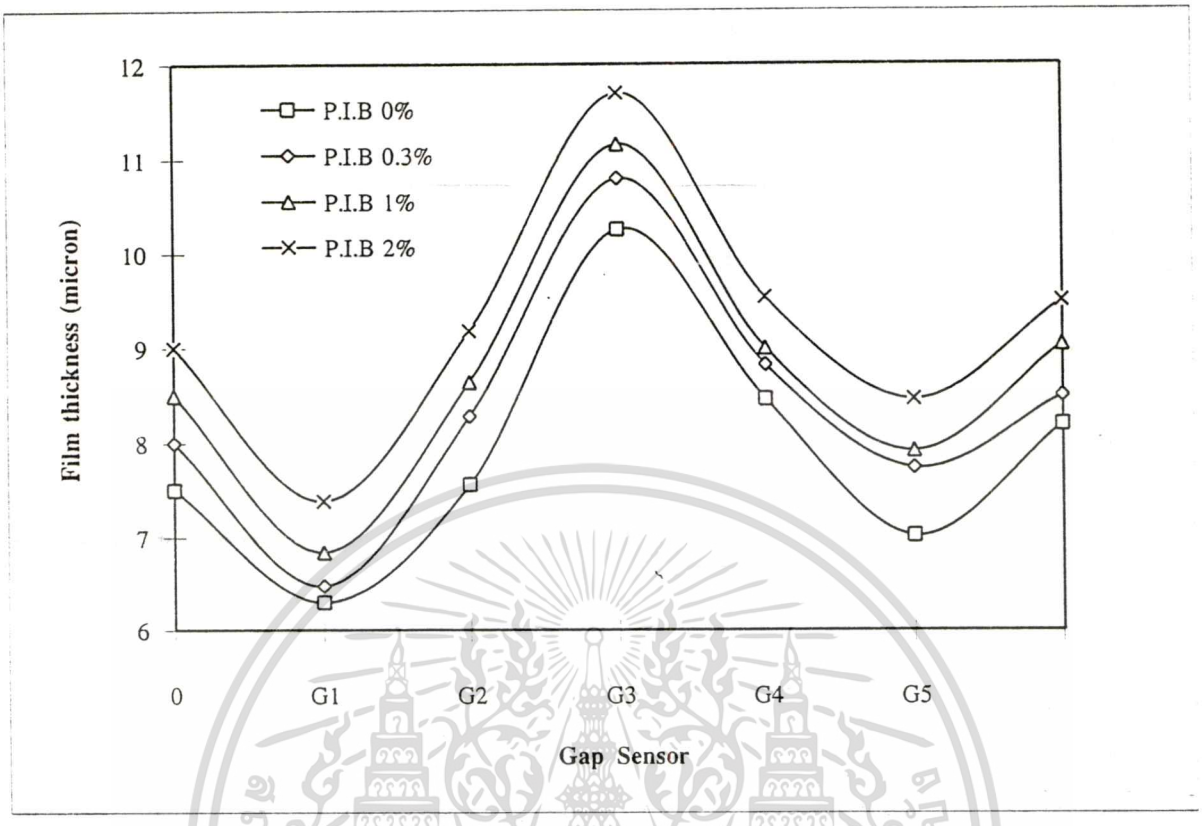


รูปที่ 6.14 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

GAP SENSOR		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
G1	Voltage	-4.964	-4.962	-4.959	-4.956
	Film thickness	6.48	6.84	7.38	7.92
G2	Voltage	-4.956	-4.953	-4.951	-4.948
	Film thickness	7.92	8.46	8.82	9.36
G3	Voltage	-4.941	-4.938	-4.935	-4.932
	Film thickness	10.62	11.16	11.7	12.24
G4	Voltage	-4.952	-4.95	-4.948	-4.944
	Film thick	8.64	9	9.36	10.08
G5	Voltage	-4.96	-4.957	-4.953	-4.949
	Film thickness	7.2	7.74	8.46	9.18

ตาราง 6.14 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

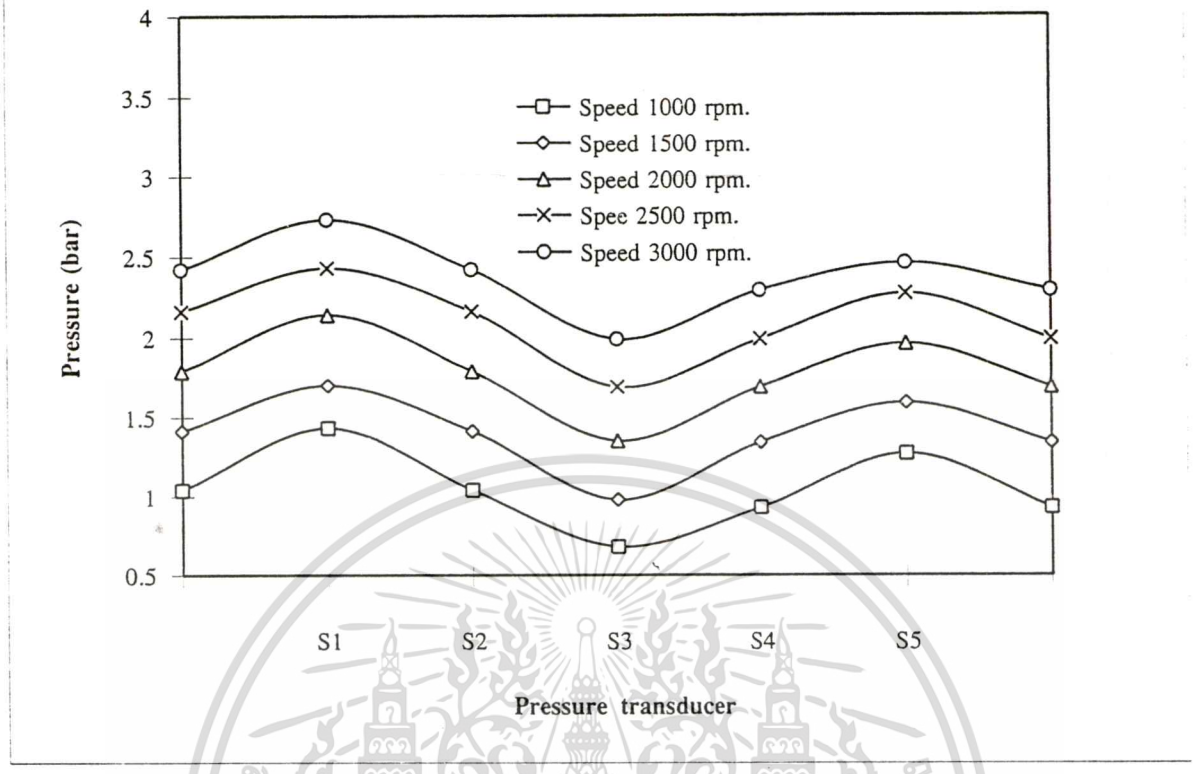


รูปที่ 6.15 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

GAP SENSOR		P.I.B			
		0%	0.3%	1%	2%
G1	Voltage	-4.965	-4.964	-4.962	-4.959
	Film thickness	6.3	6.48	6.84	7.38
G2	Voltage	-4.958	-4.954	-4.952	-4.949
	Film thickness	7.56	8.28	8.64	9.18
G3	Voltage	-4.943	-4.94	-4.938	-4.935
	Film thickness	10.26	10.8	11.16	11.7
G4	Voltage	-4.953	-4.951	-4.95	-4.947
	Film thickness	8.46	8.82	9	9.54
G5	Voltage	-4.961	-4.959	-4.956	-4.953
	Film thickness	7.02	7.38	7.92	8.46

ตาราง 6.15 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

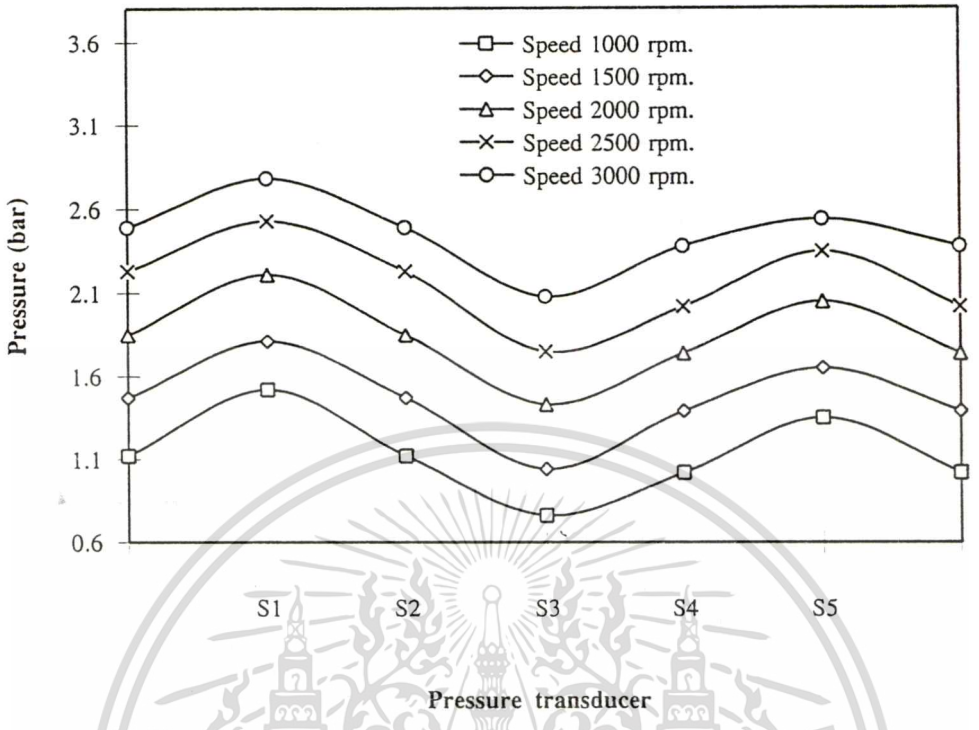


รูปที่ 6.16 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน

PRESSURE TRANSDUCER		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
S1	Strain	25	28	35	40	44
	Pressure	1.43	1.7	2.14	2.43	2.73
S2	Strain	25	33	41	48	53
	Pressure	1.04	1.41	1.79	2.16	2.42
S3	Strain	43	54	89	113	134
	Pressure	0.68	0.98	1.35	1.69	1.99
S4	Strain	52	69	83	95	107
	Pressure	0.93	1.34	1.69	1.99	2.29
S5	Strain	45	52	58	65	69
	Pressure	1.27	1.59	1.96	2.27	2.46

ตาราง 6.16 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

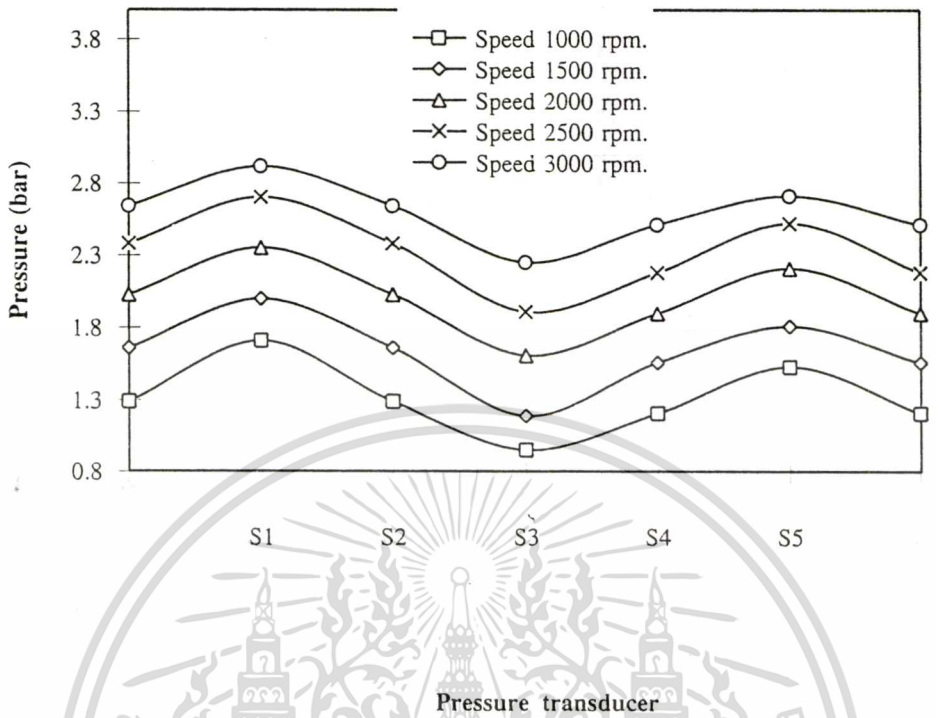


รูปที่ 6.17 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

PRESSURE TRANSDUCER		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
S1	Strain	26	30	37	41	45
	Pressure	1.52	1.81	2.21	2.53	2.78
S2	Strain	27	34	42	49	55
	Pressure	1.12	1.47	1.85	2.23	2.49
S3	Strain	49	65	95	117	135
	Pressure	0.76	1.04	1.43	1.75	2.08
S4	Strain	55	71	85	95	110
	Pressure	1.02	1.39	1.74	2.02	2.38
S5	Strain	47	53	60	67	71
	Pressure	1.35	1.65	2.05	2.35	2.54

ตาราง 6.17 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

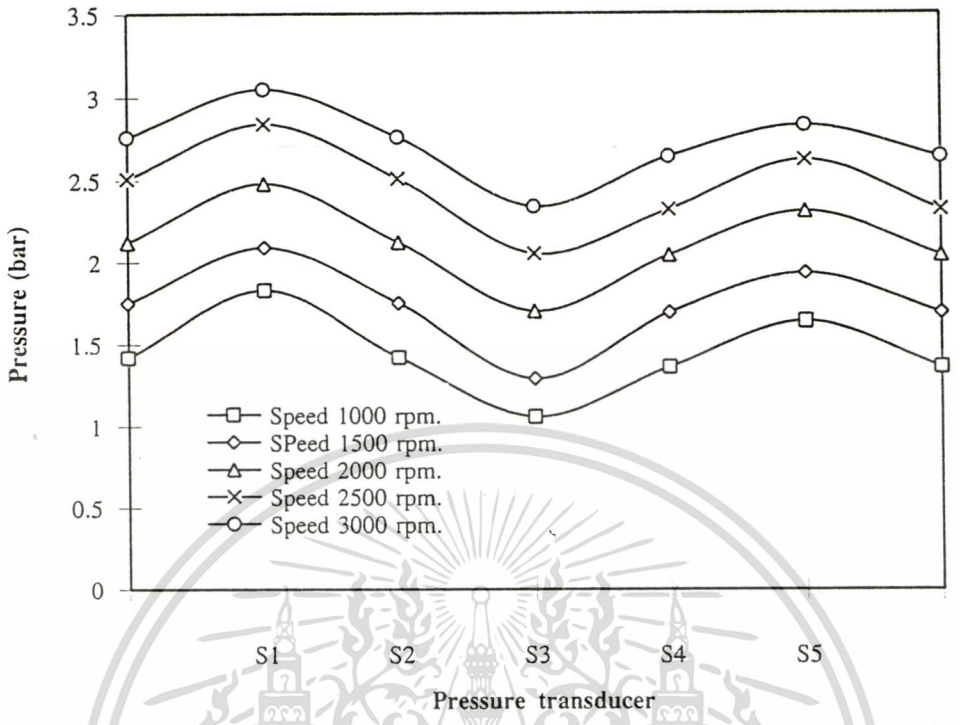


รูปที่ 6.18 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

PRESSURE TRANSDUCER		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
S1	Strain	29	33	39	44	47
	Pressure	1.71	2	2.35	2.7	2.92
S2	Strain	31	38	45	53	58
	Pressure	1.29	1.66	2.03	2.38	2.64
S3	Strain	62	79	108	129	153
	Pressure	0.95	1.19	1.61	1.91	2.25
S4	Strain	64	78	91	102	116
	Pressure	1.21	1.56	1.9	2.18	2.51
S5	Strain	51	56	64	70	74
	Pressure	1.53	1.81	2.21	2.52	2.71

ตาราง 6.18 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

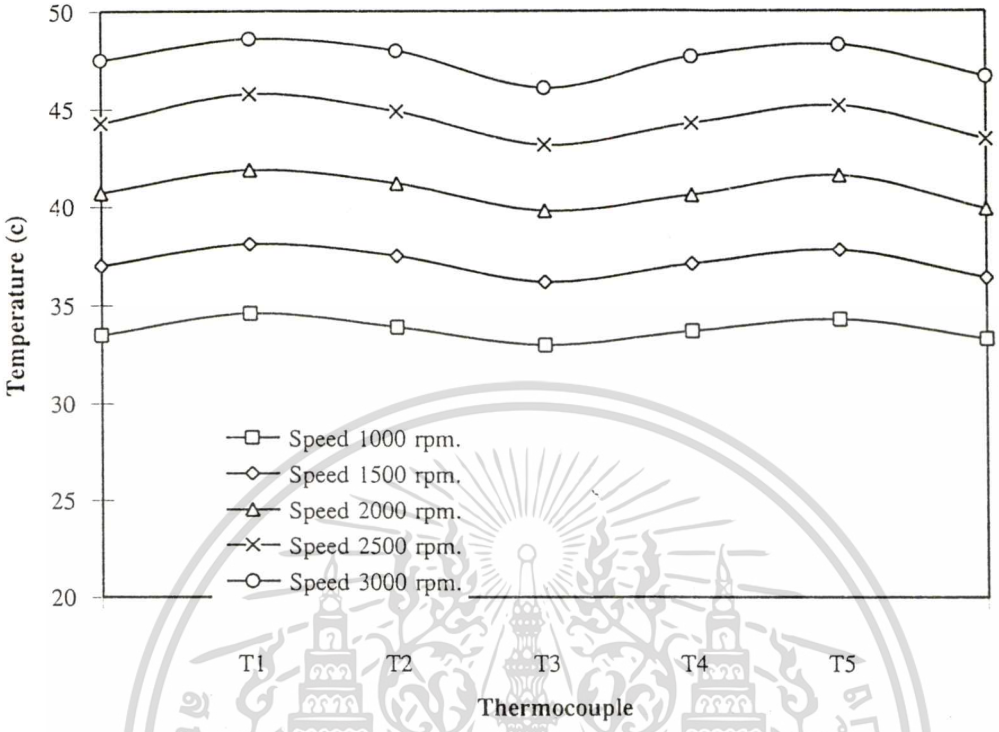


รูปที่ 6.19 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

PRESSURE TRANSDUCER		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
S1	Strain	31	34	41	46	49
	Pressure	1.83	2.09	2.48	2.84	3.05
S2	Strain	33	40	47	55	60
	Pressure	1.42	1.75	2.12	2.51	2.76
S3	Strain	65	85	117	135	159
	Pressure	1.06	1.29	1.74	2.05	2.34
S4	Strain	69	83	95	108	121
	Pressure	1.36	1.69	2.04	2.32	2.64
S5	Strain	53	58	66	72	76
	Pressure	1.64	1.93	2.31	2.62	2.83

ตาราง 6.19 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

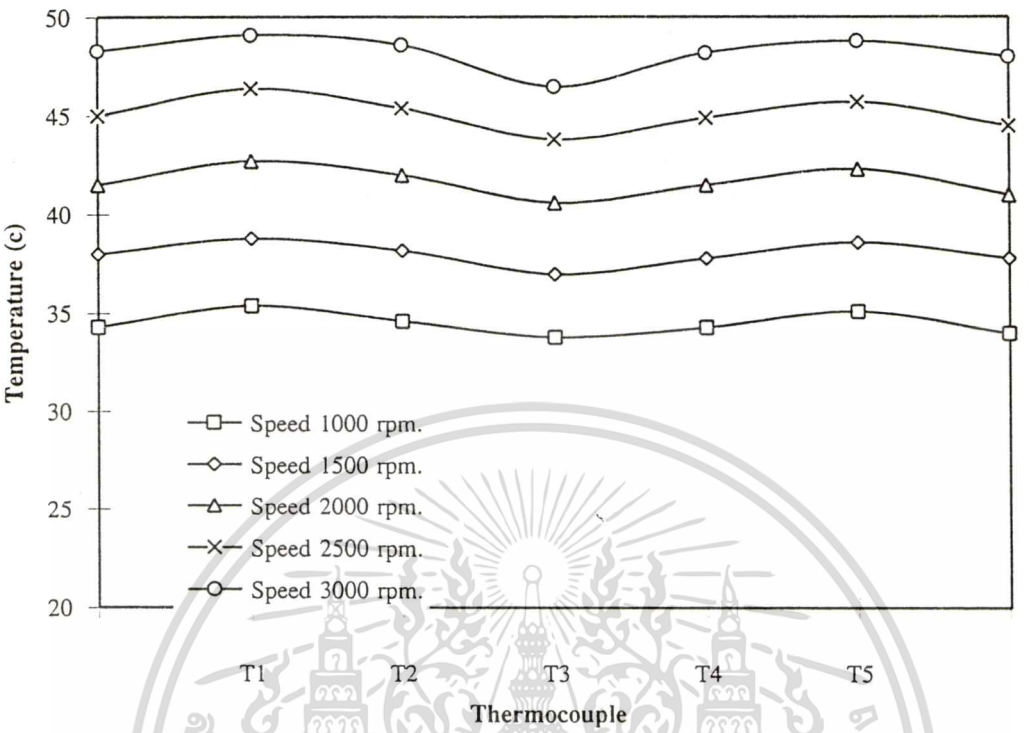


รูปที่ 6.20 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน

THERMOCOUPLE	SPEED				
	1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
T1	34.6	38.1	41.9	45.8	48.6
T2	33.9	37.5	41.2	44.9	48
T3	33	36.2	39.8	43.2	46.1
T4	33.7	37.1	40.6	44.3	47.7
T5	34.3	37.8	41.6	45.2	48.3

ตาราง 6.20 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

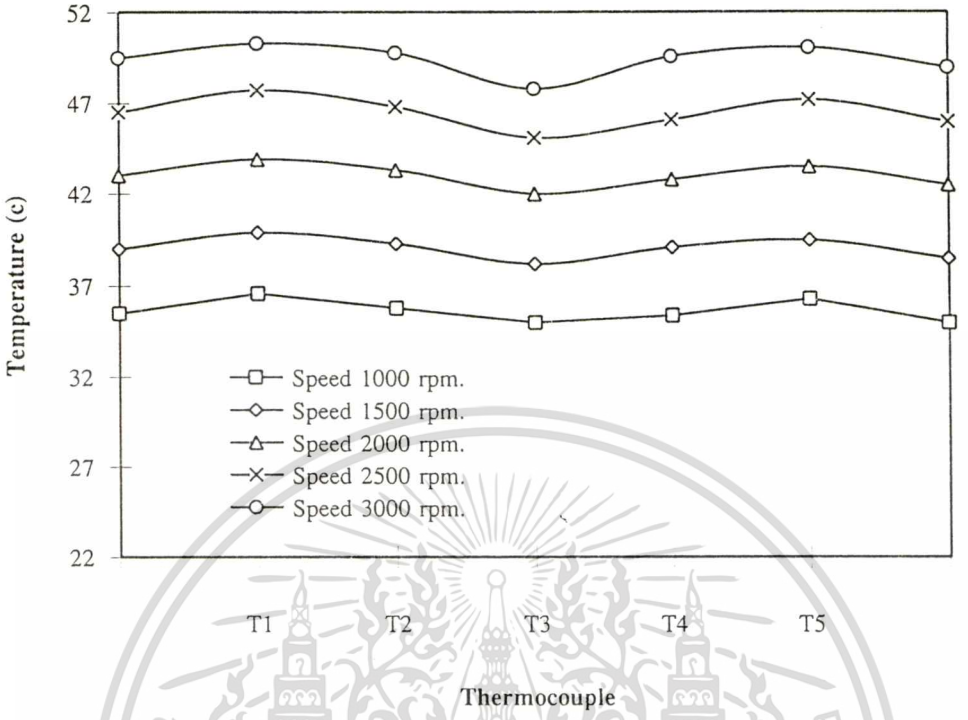


รูปที่ 6.21 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

THERMOCOUPLE	SPEED				
	1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
T1	35.4	38.8	42.7	46.4	49.1
T2	34.6	38.2	42	45.4	48.6
T3	33.8	37	40.6	43.8	46.5
T4	34.3	37.8	41.5	44.9	48.2
T5	35.1	38.6	42.3	45.7	48.8

ตาราง 6.21 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

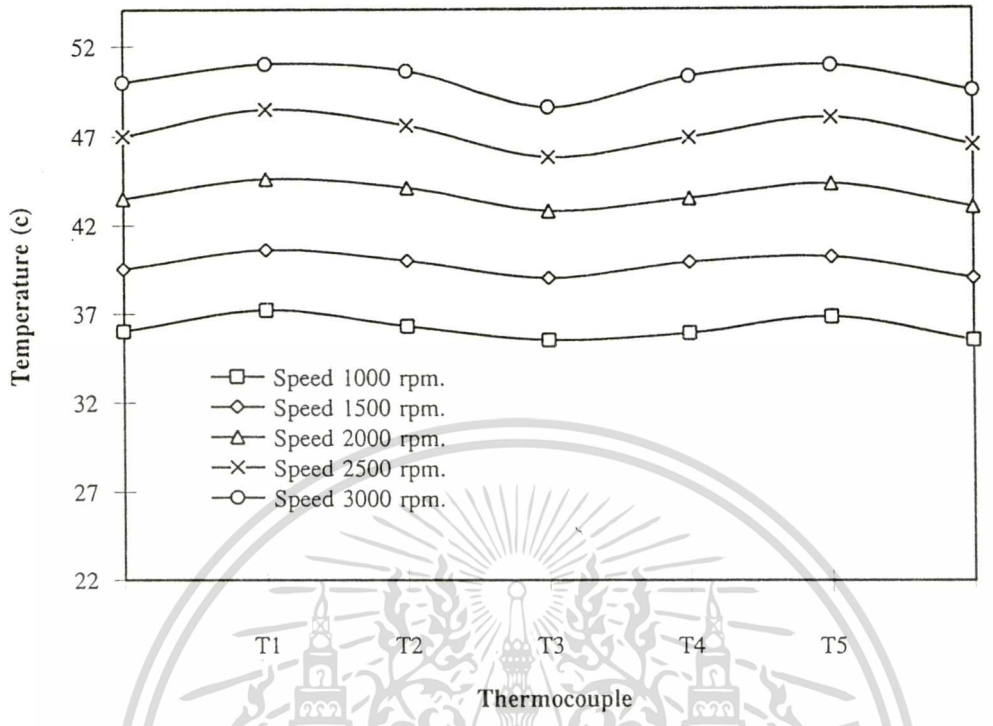


รูปที่ 6.22 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

THERMOCOUPLE	SPEED				
	1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
T1	36.6	39.9	43.9	47.7	50.3
T2	35.8	39.3	43.3	46.8	49.8
T3	35	38.2	42	45.1	47.8
T4	35.4	39.1	42.8	46.1	49.6
T5	36.3	39.5	43.5	47.2	50.1

ตาราง 6.22 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

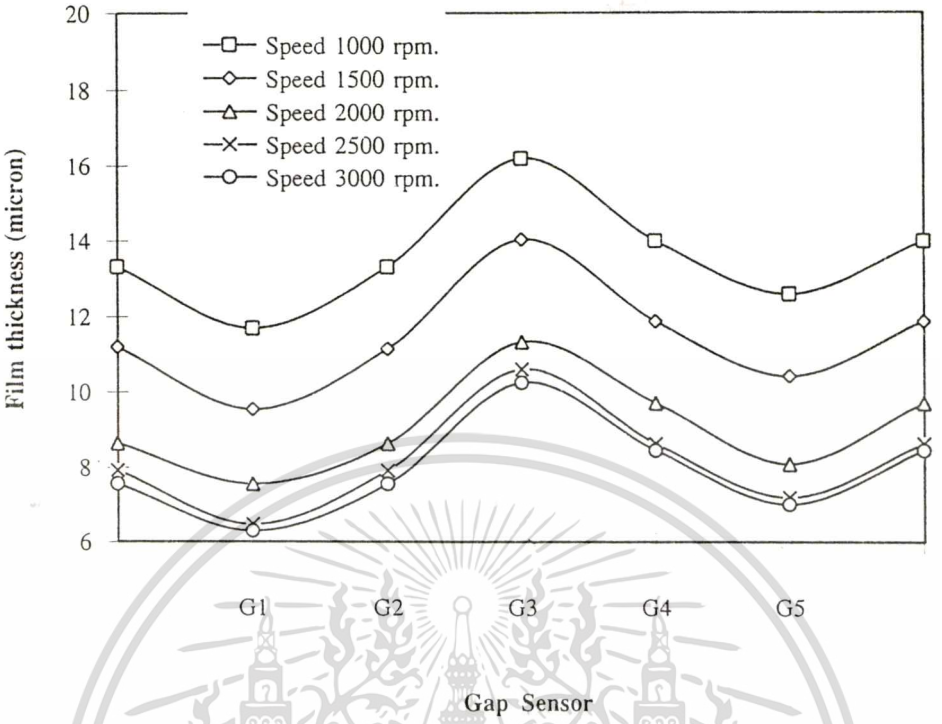


รูปที่ 6.23 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ ผสมสาร P.I.B 2%

THERMOCOUPLE	SPEED				
	1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
T1	37.2	40.6	44.6	48.5	51
T2	36.3	40	44.1	47.6	50.6
T3	35.5	39	42.8	45.8	48.6
T4	35.9	39.9	43.5	46.9	50.3
T5	36.8	40.2	44.3	48	50.9

ตาราง 6.23 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

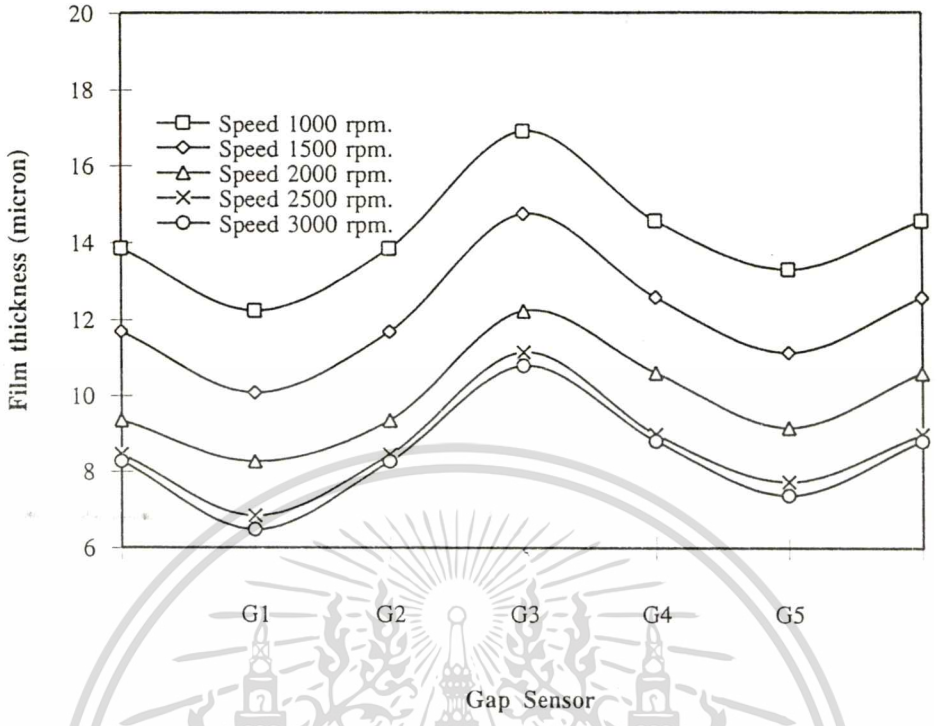


รูปที่ 6.24 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน

GAP SENSOR		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
G1	Voltage	-4.935	-4.947	-4.958	-4.964	-4.965
	Film thickness	11.7	9.54	7.56	6.48	6.3
G2	Voltage	-4.926	-4.938	-4.952	-4.956	-4.958
	Film thickness	13.32	11.16	8.64	7.92	7.56
G3	Voltage	-4.91	-4.922	-4.937	-4.941	-4.943
	Film thickness	16.2	14.04	11.34	10.62	10.26
G4	Voltage	-4.922	-4.934	-4.946	-4.952	-4.953
	Film thickness	14.01	11.88	9.72	8.64	8.46
G5	Voltage	-4.93	-4.942	-4.955	-4.96	-4.961
	Film thickness	12.6	10.44	8.1	7.2	7.02

ตาราง 6.24 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

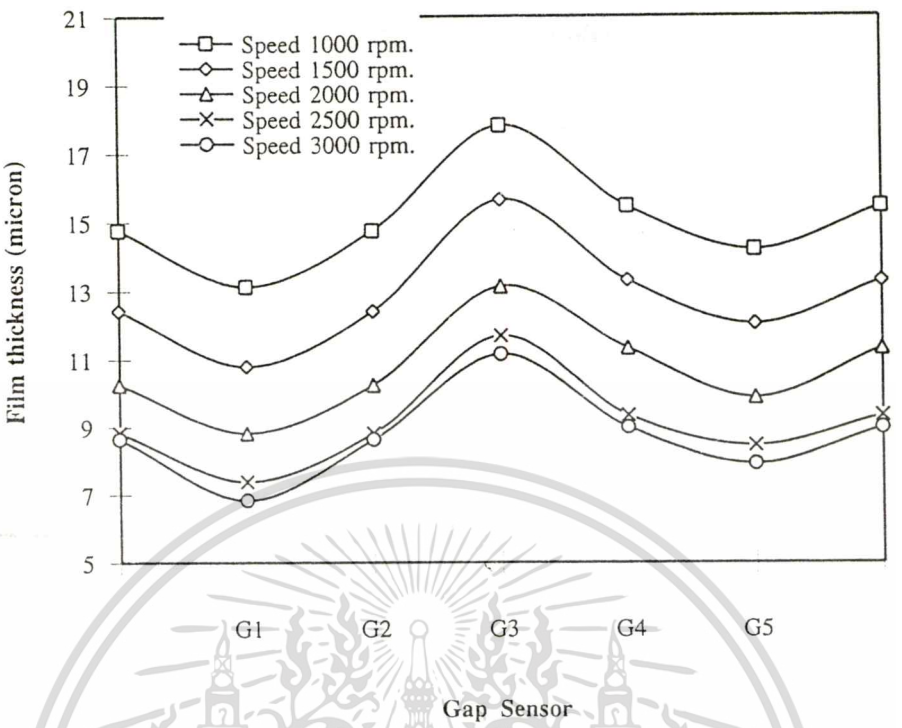


รูปที่ 6.25 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

GAP SENSOR		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
G1	Voltage	-4.932	-4.944	-4.954	-4.962	-4.964
	Film thickness	12.24	10.08	8.28	6.84	6.48
G2	Voltage	-4.923	-4.935	-4.948	-4.953	-4.954
	Film thickness	13.86	11.7	9.36	8.46	8.28
G3	Voltage	-4.906	-4.918	-4.932	-4.938	-4.94
	Film thickness	16.92	14.76	12.24	11.16	10.8
G4	Voltage	-4.919	-4.93	-4.941	-4.95	-4.951
	Film thickness	14.58	12.6	10.62	9	8.82
G5	Voltage	-4.926	-4.938	-4.949	-4.957	-4.959
	Film thickness	13.32	11.16	9.18	7.74	7.38

รูปที่ 6.25 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

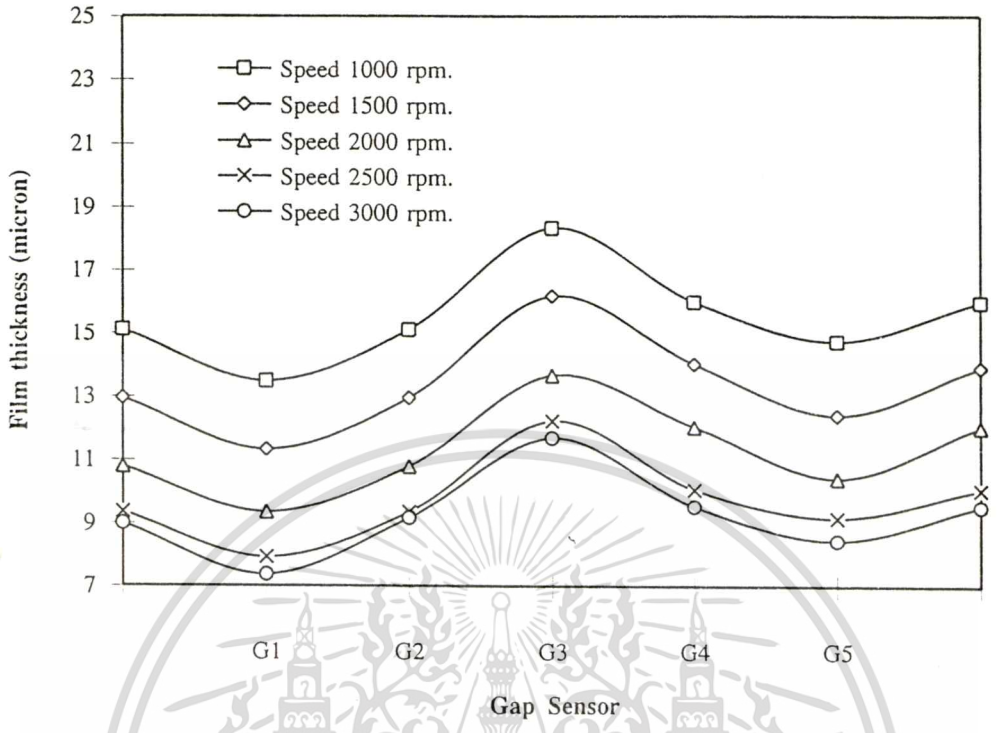


รูปที่ 6.26 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

GAP SENSOR		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
G1	Voltage	-4.927	-4.94	-4.951	-4.959	-4.962
	Film thickness	13.14	10.8	8.82	7.38	6.84
G2	Voltage	-4.918	-4.931	-4.943	-4.951	-4.952
	Film thickness	14.76	12.42	10.26	8.82	8.64
G3	Voltage	-4.901	-4.913	-4.927	-4.935	-4.938
	Film thickness	17.82	15.66	13.14	11.7	11.16
G4	Voltage	-4.914	-4.926	-4.937	-4.948	-4.95
	Film thickness	15.48	13.32	11.34	9.36	9
G5	Voltage	-4.921	-4.933	-4.945	-4.953	-4.95
	Film thickness	14.22	12.06	9.9	8.46	7.92

ตาราง 6.26 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.27 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

GAP SENSOR		SPEED				
		1000 rpm.	1500 rpm.	2000 rpm.	2500 rpm.	3000 rpm.
G1	Voltage	-4.925	-4.937	-4.948	-4.956	-4.959
	Film thickness	13.5	11.34	9.36	7.92	7.38
G2	Voltage	-4.916	-4.928	-4.94	-4.948	-4.949
	Film thickness	15.12	12.96	10.8	9.36	9.18
G3	Voltage	-4.898	-4.91	-4.924	-4.932	-4.935
	Film thickness	18.36	16.2	13.68	12.24	11.7
G4	Voltage	-4.911	-4.922	-4.933	-4.944	-4.947
	Film thickness	16.02	14.04	12.06	10.08	9.54
G5	Voltage	-4.918	-4.931	-4.942	-4.949	-4.953
	Film thickness	14.76	12.42	10.44	9.18	8.46

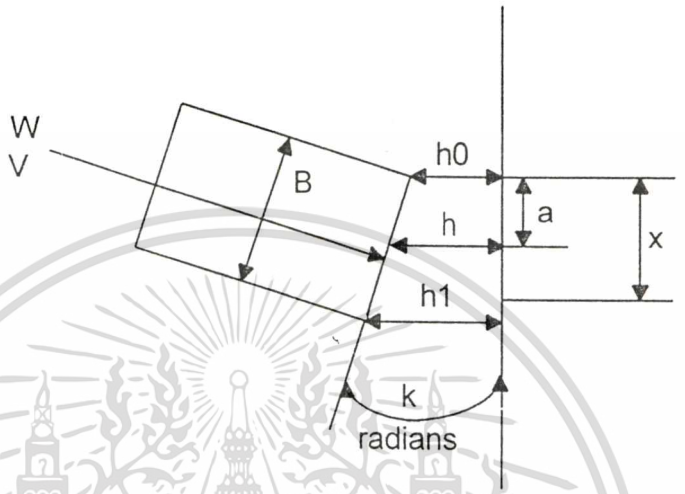
ตาราง 6.27 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับทฤษฎี

7.1 Squeeze Film ของ Flat faced ring



รูปที่ 7.1 แสดงการหาความหนาของฟิล์มน้ำมัน

ความเร็วในการไหลของฟิล์มน้ำมันที่จุด x $= \frac{V(x-a)}{h_0+kx}$ $x \geq a$ (7.1a)

$= \frac{-V(a-x)}{h_0+kx}$ $x < a$ (7.1b)

$$\frac{dp}{dx} = \frac{-12\mu V(x-a)}{(h_0+kx)^3}$$

$$p = -12\mu V \int_B^x \frac{x-a}{(h_0+kx)^3}dx \quad \text{หรือ} \quad -12\mu V \int_0^x \frac{x-a}{(h_0+kx)^3}dx$$

เมื่อ x=a

solve $$\int_B^a \frac{x-a}{(h_0+kx)^3}dx = \int_0^a \frac{x-a}{(h_0+kx)^3}dx$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{k^2}\left[\frac{h_0+ak}{2(h_0+kx)^2}-\frac{1}{h_0+kx}\right]=\frac{1}{k^2}\left[\frac{h_0+ak}{2(h_0+kx)^2}-\frac{1}{h_0+kx}\right]$$

จาก $$a=\frac{h_0B}{2h_0+Bk} \qquad (7.2)$$

และ $$p=\frac{12\mu V}{k^2}\left[\frac{1}{h_0+kx}-\frac{h_0(h_0+kB)}{(2h_0+kB)(h_0+kx)^2}-\frac{1}{2h_0+kB}\right] \qquad (7.3)$$

a คือระยะจากขอบแหวนจนถึงจุดที่เกิดความดันสูงสุด

k คือมุมที่แหวนลูกสูบกระทำกับกระบอกสูบ

V คือความเร็วของฟิล์มน้ำมันในแนวตั้งฉากกับกระบอกสูบ

W โหลดรวมที่กระทำต่อฟิล์มน้ำมันตามเส้นรอบวงของกระบอกสูบ

x คือระยะจากขอบแหวนจนถึงจุดที่เกิดโหลดรวม

การหาผลทางทฤษฎี

เริ่มจากการสมมติค่า h_0 และค่า k เข้าไปแทนในสมการ (7.2) เพื่อหาค่า a และนำค่า a ที่ได้หาค่า h และค่า h_1 นำค่า h ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า h จากการทดลองตรงจุดที่ต้องการ เมื่อได้ค่า h ที่ใกล้เคียงให้นำค่าต่างๆ มาแทนในสมการ (7.3) เพื่อหาค่าความดันของฟิล์มน้ำมันในแต่ละจุดและนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบทำให้ได้กราฟที่แสดงการกระจายความหนาและความความดันของฟิล์มน้ำมันที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลการทดลอง คือจุดที่เกิดความดันสูงสุดจะมีค่าความหนาของฟิล์มน้ำมันต่ำสุด

จากสมการ (7.2) จะเห็นว่าค่า K และค่า h0 มีผลโดยตรงต่อตำแหน่งที่เกิดความดันสูงสุดบนแหวนลูกสูบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความดันที่เกิดขึ้น และจากสมการ (7.3) ทำให้ทราบว่าค่าความดันขึ้นอยู่กับความหนืดและความเร็วของฟิล์มน้ำมันเพราะเมื่อเติมสาร P.I.B หรือเพิ่มความเร็วรอบก็จะทำให้ความดันของฟิล์มน้ำมันมีค่ามากขึ้น และจากการวิเคราะห์ความดันที่เกิดขึ้นที่ TDC และ BDC มีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นทั้งที่มีค่าความเร็วของฟิล์มน้ำมันน้อยกว่าช่วงตรงกลางกระบอกสูบเพราะว่าช่วงดังกล่าวมีการหมุนกลับของเพลาข้อเหวี่ยงทำให้เกิดการบิดตัวของแหวนลูกสูบและมีมุมเอียงมากกว่าปกติจึงทำให้ความดันเพิ่มขึ้นตามเหตุผลของสมการ (7.2) และ (7.3)

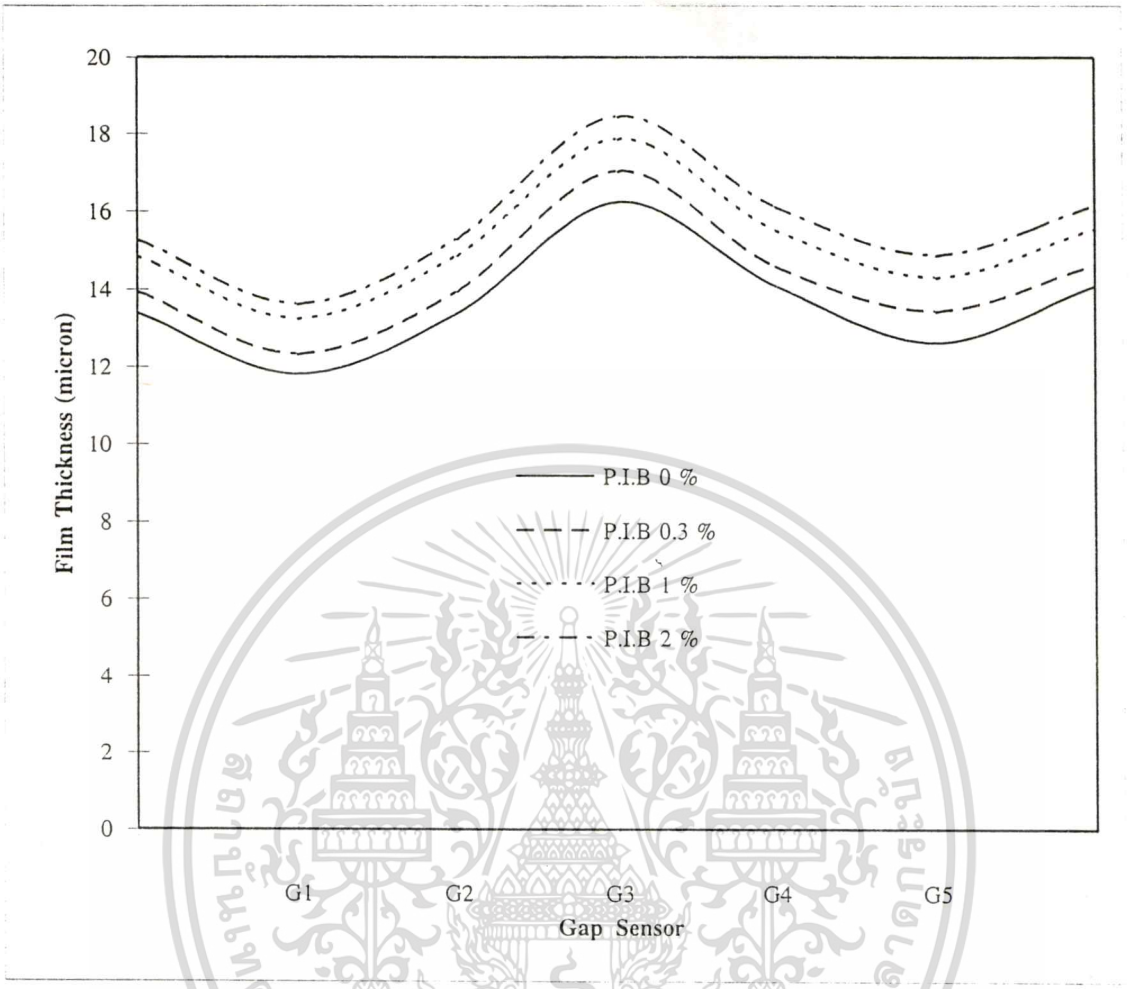
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความหนาและความดันของฟิล์มน้ำที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ที่ผสมสาร P.I.B ที่อัตราส่วนต่างๆ

ผลจากการทดลอง (P.I.B 0%)			ผลจากการคำนวณ (P.I.B 0%)	
G1	h=11.7	p=1.43	h=11.81	p=1.32
G2	h=13.32	p=1.04	h=13.39	p=0.96
G3	h=16.2	p=0.68	h=16.26	p=0.59
G4	h=14.01	p=0.93	h=14.12	p=0.81
G5	h=12.6	p=1.27	h=12.64	p=1.17
ผลจากการทดลอง (P.I.B 0.3%)			ผลจากการทดลอง (P.I.B 0.3%)	
G1	h=12.24	p=1.52	h=12.31	p=1.44
G2	h=13.86	p=1.12	h=13.92	p=1.02
G3	h=16.92	p=0.76	h=17.03	p=0.7
G4	h=14.58	p=1.02	h=14.61	p=0.93
G5	h= 13.32	p=1.35	h=13.44	p=1.29
ผลจากการทดลอง (P.I.B 1%)			ผลจากการคำนวณ (P.I.B 1%)	
G1	h=13.14	p=1.71	h=13.23	p=1.59
G2	h=14.76	p=1.29	h=14.84	p=1.21
G3	h=17.82	p=0.95	h=17.85	p=0.82
G4	h=15.48	p=1.21	h=15.54	p=1.13
G5	h=14.22	p=1.53	h=14.31	p=1.43
ผลจากการทดลอง (P.I.B 2%)			ผลจากการคำนวณ (P.I.B 2%)	
G1	h=13.5	p= 1.83	h=13.61	p=1.71
G2	h=15.12	p= 1.42	h=15.27	p=1.31
G3	h=18.36	p=1.06	h=18.43	p=0.95
G4	h=16.02	p=1.36	h=16.14	p=1.29
G5	h=14.76	p=1.64	h=14.88	p=1.58

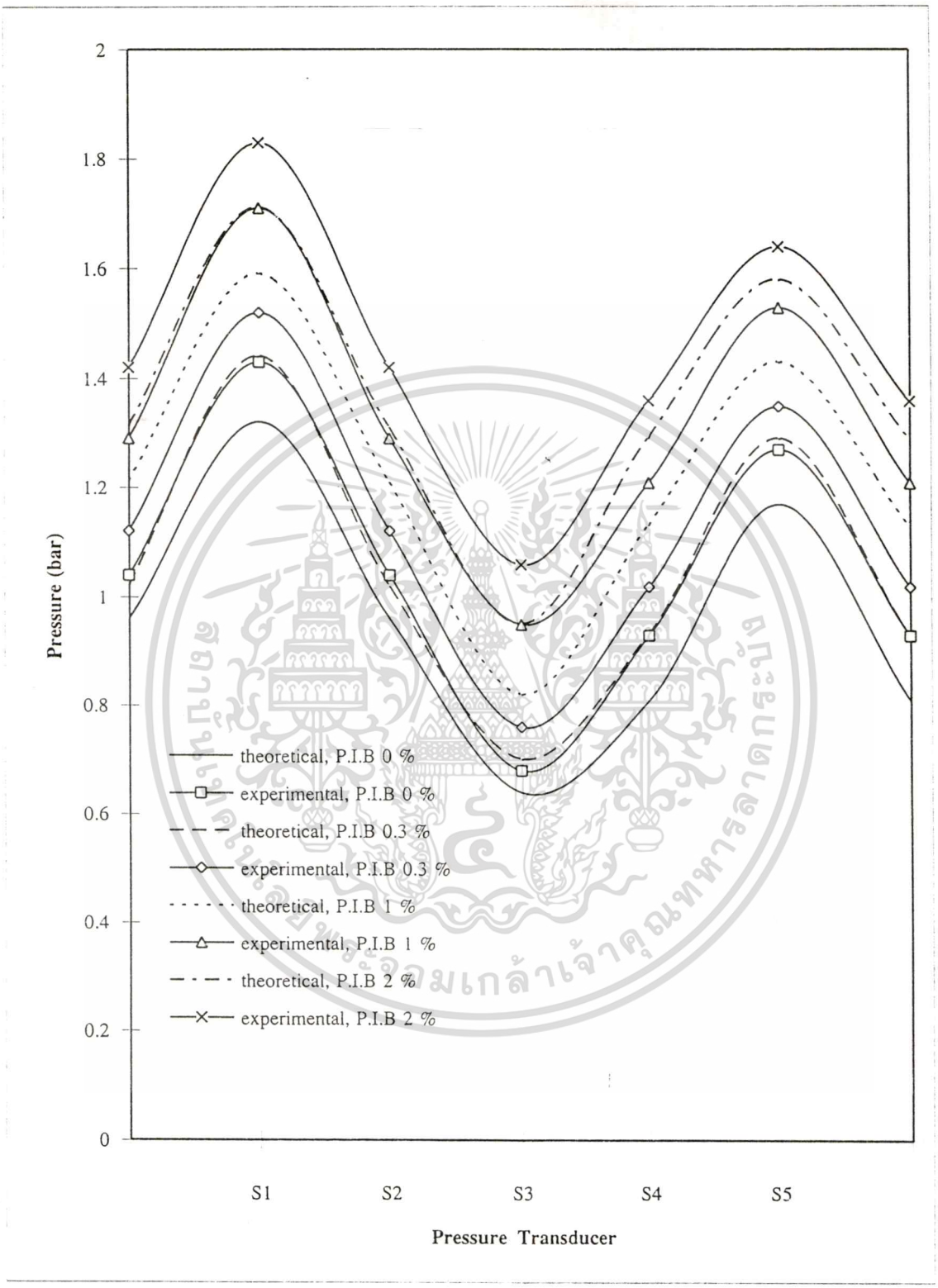
นำค่าทั้งหมดไปพ๊อตกราฟจะได้ตามรูปที่ 7.2 และ 7.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันตามทฤษฎี ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0 %, 0.3 %, 1 % และ 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0 %, 0.3 %, 1 % และ 2 % ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการหาความหนาและความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบต่างๆ ผสมสาร P.I.B 0.3%

	ผลจากการทดลอง (1000 rpm.)		ผลจากการคำนวณ (1000 rpm.)	
G1	h=12.24	p=1.52	h=12.30	p=1.48
G2	h=13.86	p=1.12	h=13.92	p=1.05
G3	h=16.92	p=0.76	h=16.97	p=0.69
G4	h=14.58	p=1.02	h=14.63	p=0.97
G5	h= 13.32	p= 1.35	h= 13.41	p=1.31
	ผลจากการทดลอง (1500 rpm.)		ผลจากการคำนวณ (1500 rpm.)	
G1	h=10.08	p=1.81	h= 10.18	p=1.74
G2	h=11.7	p=1.47	h=11.79	p=1.41
G3	h=14.76	p=1.04	h=14.83	p=0.98
G4	h=12.6	p=1.39	h=12.69	p=1.34
G5	h=11.16	p=1.65	h=11.22	p=1.59
	ผลจากการทดลอง (2000 rpm.)		ผลจากการคำนวณ (2000 rpm.)	
G1	h=8.28	p=2.21	h=8.34	p=2.17
G2	h=9.36	p=1.85	h=9.41	p=1.79
G3	h=12.24	p=1.43	h=12.32	p=1.38
G4	h=10.62	p=1.74	h=10.69	p=1.65
G5	h=9.18	p=2.05	h=9.24	p=1.96
	ผลจากการทดลอง (2500 rpm.)		ผลจากการคำนวณ (2500 rpm.)	
G1	h=6.84	p=2.53	h=7.02	p=2.45
G2	h=8.46	p=2.23	h=8.57	p=2.12
G3	h=11.16	p=1.75	h=11.25	p=1.69
G4	h=9.0	p=2.02	h=9.12	p=1.95
G5	h=7.74	p=2.35	h=7.81	p=2.31

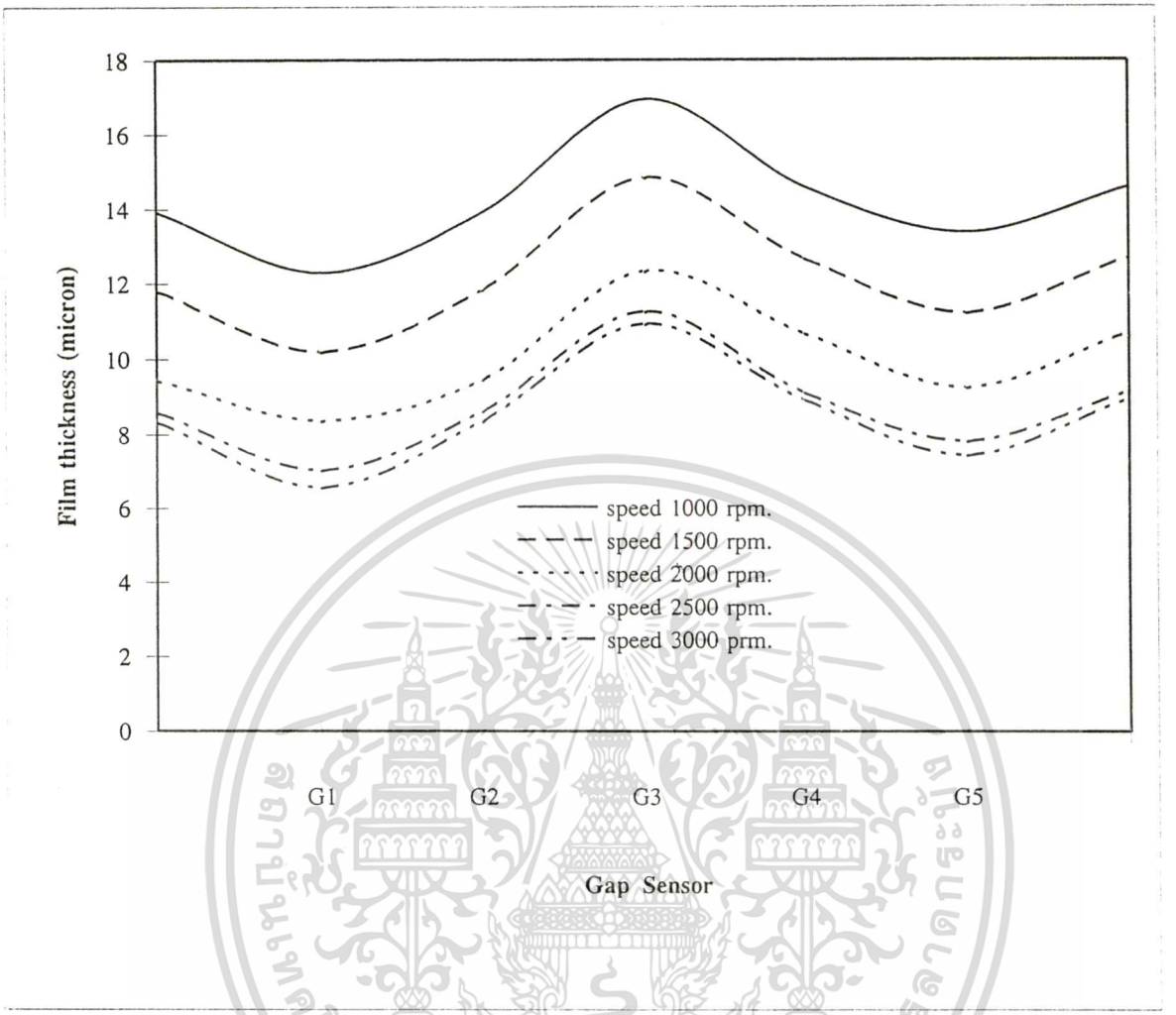
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลจากการทดลอง (3000 rpm.)		ผลจากการคำนวณ (3000 rpm.)	
G1	h=6.48	p=2.78	h=6.55	p=2.68
G2	h=8.28	p=2.49	h=8.32	p=2.38
G3	h=10.8	p=2.08	h=10.92	p=1.98
G4	h=8.82	p=2.38	h=8.92	p=2.31
G5	h=7.38	p= 2.54	h=7.43	p=2.49

นำค่าทั้งหมดไปพ๊อตกราฟจะได้ตามรูปที่ 7.4 และ 7.5

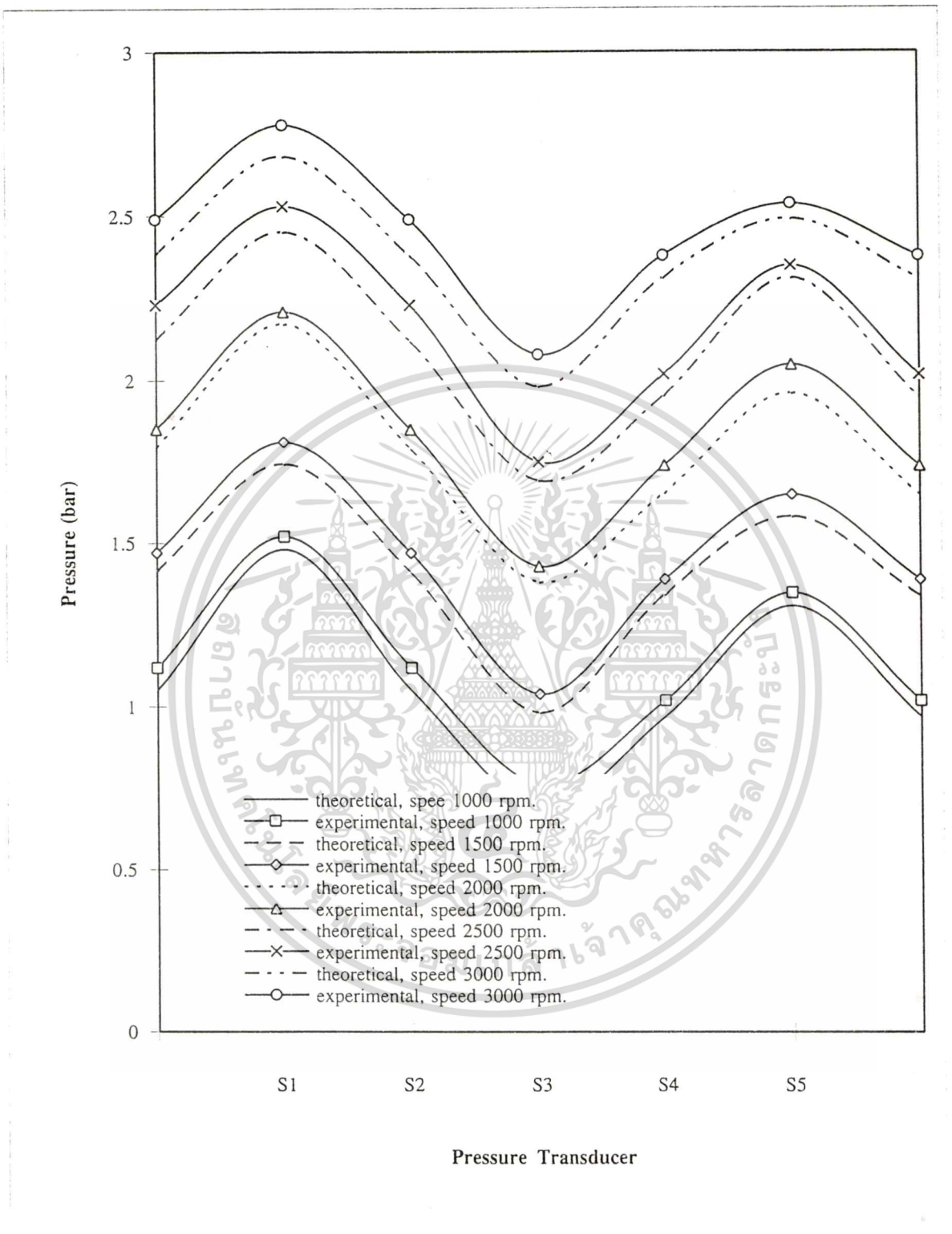
จากการพิจารณารูปกราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบความดันที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีพบว่ามีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันคือที่บริเวณ TDC และ BDC จะมีความดันสูงกว่าบริเวณอื่นตามเหตุผลที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันตามทฤษฎี ที่ความเร็วรอบ 1000, 1500, 2000,2500 และ 3000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000,1500, 2000,2500 และ 3000 rpm., ผสมสาร P.I.B 0.3 % ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับทฤษฎี โดยใช้โปรแกรมในภาคผนวก ข.

หาความดัน P_0 และ P_1 โดยการแทนค่า h ที่ได้จากการทดลองและค่า δ ที่เปอร์เซ็นต์ของสาร P.I.B ต่างๆ พร้อมทั้งความเร็วของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบต่างๆ เพื่อหาค่า P_0 และ P_1 แล้วนำมาพ็อตกราฟเปรียบเทียบกันระหว่าง P_0 และ P_1 และนำค่าความดันทั้งสองมาหาค่าความดัน P ตามความสัมพันธ์ $P = P_0 + \delta P_1$ โดยที่ δ มีค่าดังนี้

	δ
P.I.B 0 %	0
P.I.B 0.3 %	0.18
P.I.B 1 %	0.58
P.I.B 2 %	1.13

จากรูปที่แสดงการเปรียบเทียบความดันจากการทดลองกับทฤษฎีพบว่ามีลักษณะคล้ายกัน แต่ในความเป็นจริงควรมีค่าเท่ากันพอดีทั้งนี้เนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง คือ Pressure Transducer,Thermocouple และ Gap sensor ควรอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันแต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถทำได้จึงติดไว้ในตำแหน่งใกล้เคียงกันจึงทำให้ค่าที่วัดออกมามีความคาดเคลื่อนไปบ้าง และจากการสังเกตพบว่าค่าตัวแปร δ, h และความเร็วรอบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันในฟิล์มน้ำมันและยังพบว่านอกจากสาร P.I.B ที่เติมเข้าไปจะทำให้ความหนืดของฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นแล้วยังมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความดันย่อย P1 อีกด้วย

แสดงการคำนวณการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 r.p.m

P.I.B 0 %

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0	11.7	1.38	-	1.38	1.43
S2	0	13.32	0.95	-	0.95	1.04
S3	0	16.2	0.61	-	0.61	0.68
S4	0	14.01	0.87	-	0.87	0.93
S5	0	12.6	1.20	-	1.20	1.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P.I.B 0.3 %

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.18	12.24	1.41	0.37	1.48	1.52
S2	0.18	13.86	1.05	0.27	1.10	1.12
S3	0.18	16.92	0.67	0.18	0.71	0.76
S4	0.18	14.58	0.93	0.24	0.98	1.02
S5	0.18	13.32	1.24	0.32	1.30	1.35

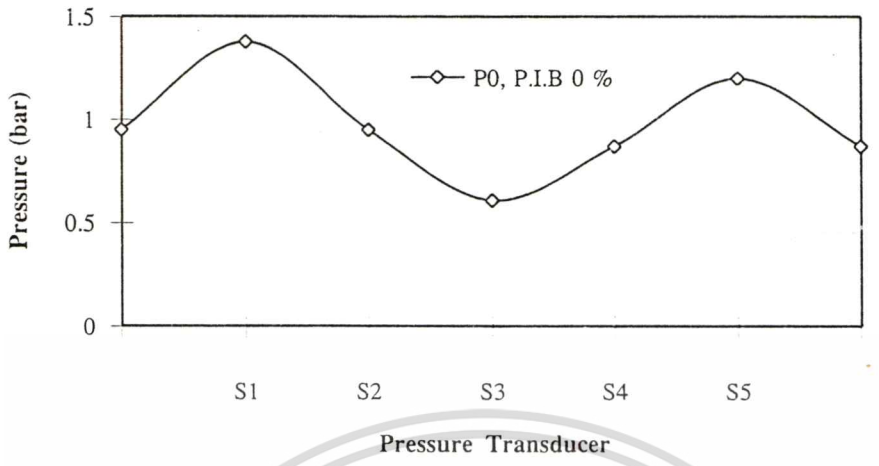
P.I.B 1 %

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	13.14	1.28	0.67	1.67	1.71
S2	0.58	14.76	0.93	0.48	1.21	1.29
S3	0.58	17.82	0.65	0.42	0.90	0.95
S4	0.58	15.48	0.90	0.46	1.17	1.21
S5	0.58	14.22	1.14	0.59	1.48	1.53

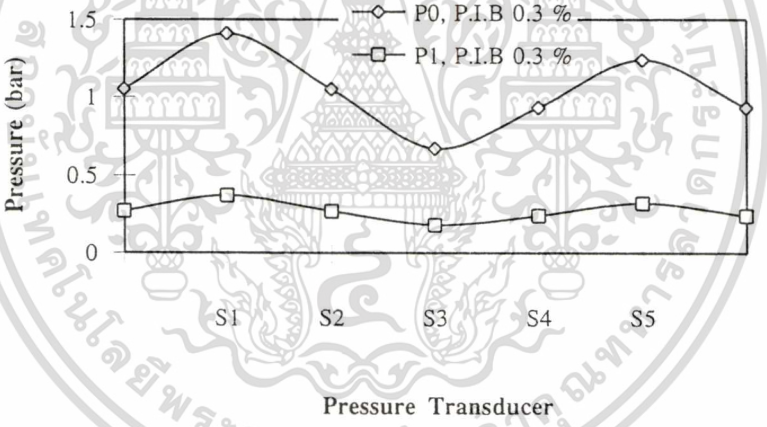
P.I.B 2%

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	13.50	0.87	0.80	1.78	1.83
S2	1.13	15.12	0.68	0.61	1.37	1.42
S3	1.13	18.36	0.47	0.43	0.96	1.06
S4	1.13	16.02	0.64	0.58	1.31	1.36
S5	1.13	14.76	0.78	0.71	1.59	1.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

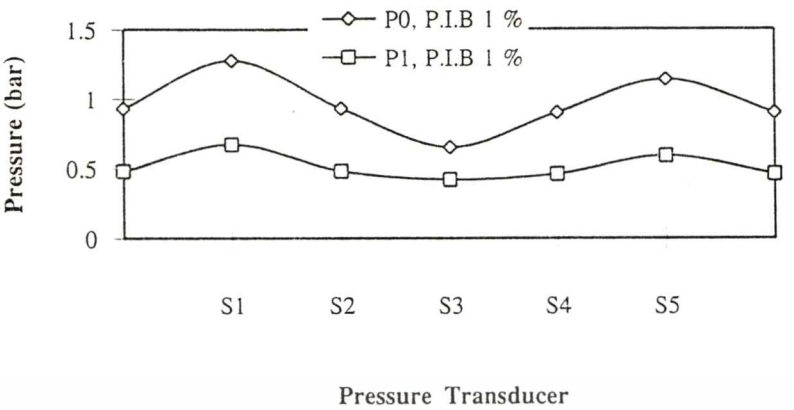


รูปที่ 7.6 แสดงการกระจายความดัน P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0 %

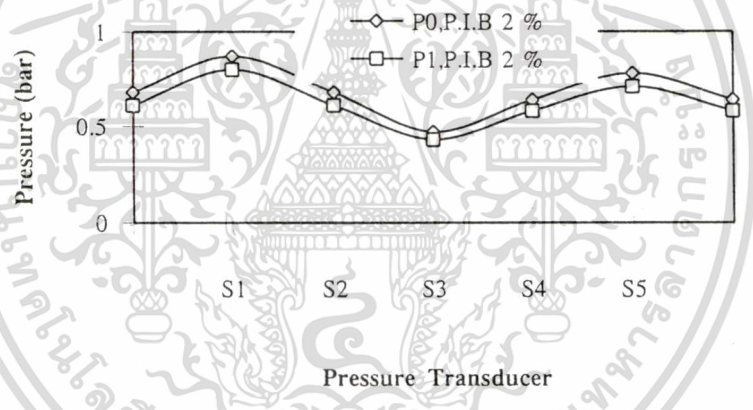


รูปที่ 7.7 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

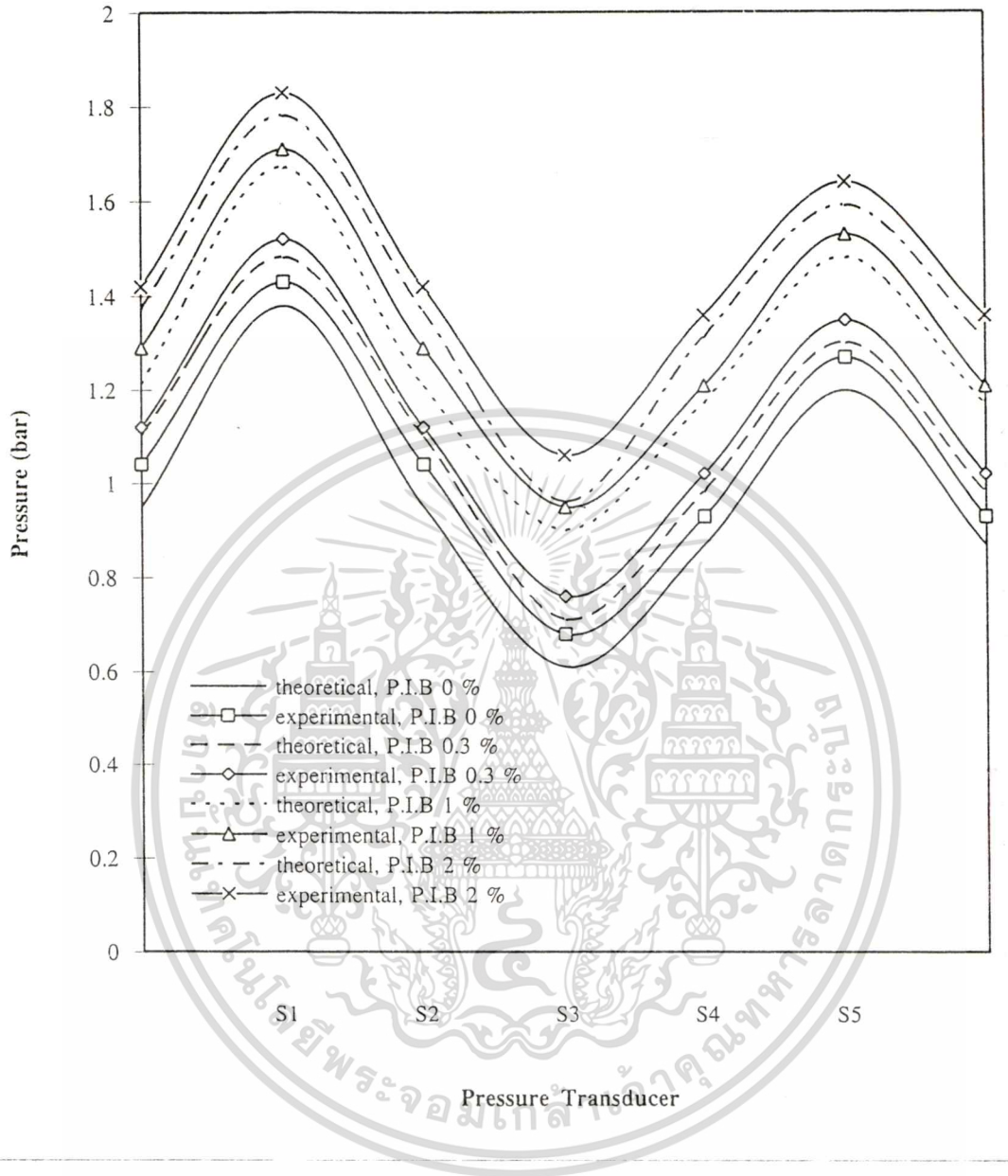


รูปที่ 7.8 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 1 %



รูปที่ 7.9 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0 %, 0.3 %, 1 %, และ 2 % ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 0.3%

ความเร็วรอบ 1000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.18	12.24	1.41	0.37	1.48	1.52
S2	0.18	13.86	1.05	0.27	1.10	1.12
S3	0.18	16.92	0.67	0.18	0.71	0.76
S4	0.18	14.58	0.93	0.24	0.98	1.02
S5	0.18	13.32	1.24	0.32	1.30	1.35

ความเร็วรอบ 1500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.18	10.8	1.64	0.43	1.72	1.81
S2	0.18	11.7	1.33	0.35	1.39	1.47
S3	0.18	14.76	0.91	0.24	0.95	1.04
S4	0.18	12.6	1.27	0.33	1.33	1.39
S5	0.18	11.16	1.51	0.40	1.58	1.65

ความเร็วรอบ 2000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P=P_0+\delta P_1$	P(ทดลอง)
S1	0.18	8.28	2.05	0.53	2.14	2.21
S2	0.18	9.36	1.67	0.45	1.78	1.85
S3	0.18	12.24	1.30	0.34	1.36	1.43
S4	0.18	10.62	1.61	0.42	1.69	1.74
S5	0.18	9.18	1.88	0.49	1.97	2.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

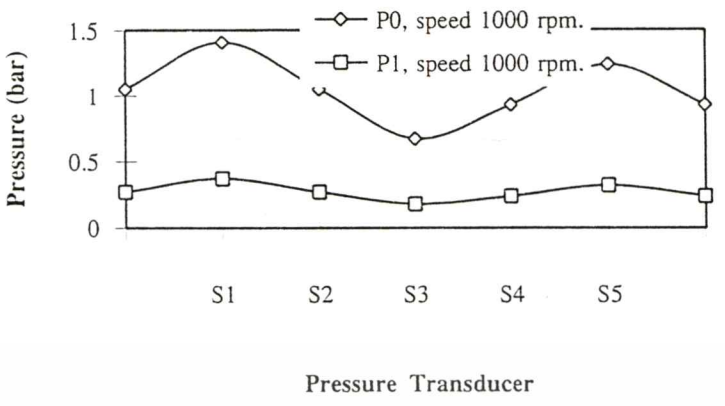
ความเร็วรอบ 2500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.18	6.84	2.36	0.62	2.48	2.53
S2	0.18	8.46	2.10	0.54	2.19	2.23
S3	0.18	11.16	1.59	0.41	1.67	1.75
S4	0.18	9.00	1.85	0.48	1.94	2.02
S5	0.18	7.74	2.20	0.57	2.30	2.35

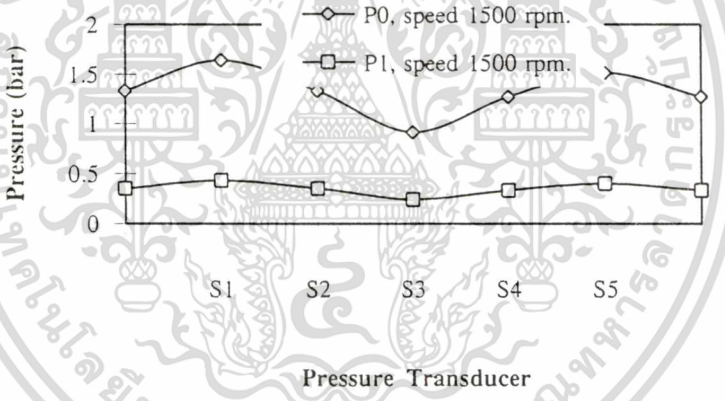
ความเร็วรอบ 3000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.18	6.48	2.59	0.67	2.71	2.78
S2	0.18	8.28	2.31	0.60	2.42	2.49
S3	0.18	10.80	1.91	0.49	1.99	2.08
S4	0.18	8.82	2.21	0.57	2.31	2.38
S5	0.18	7.38	2.37	0.62	2.49	2.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

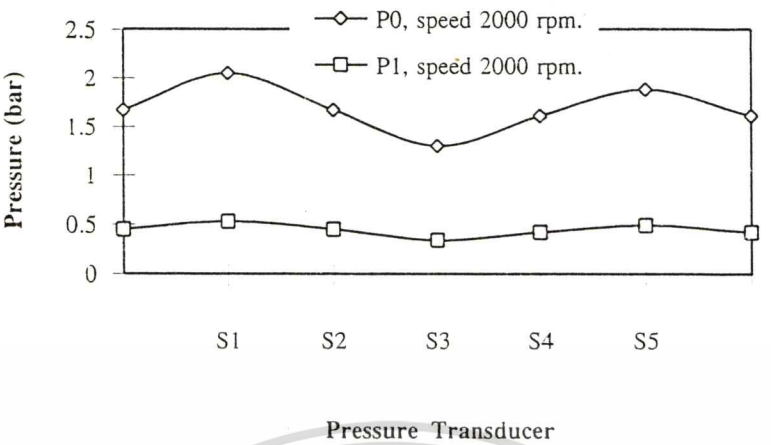


รูปที่ 7.11 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 0.3 %

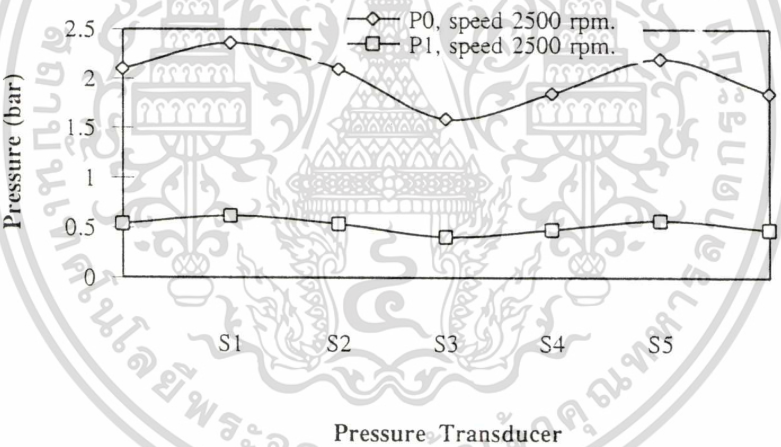


รูปที่ 7.12 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm,ผสมสาร P.I.B 0.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

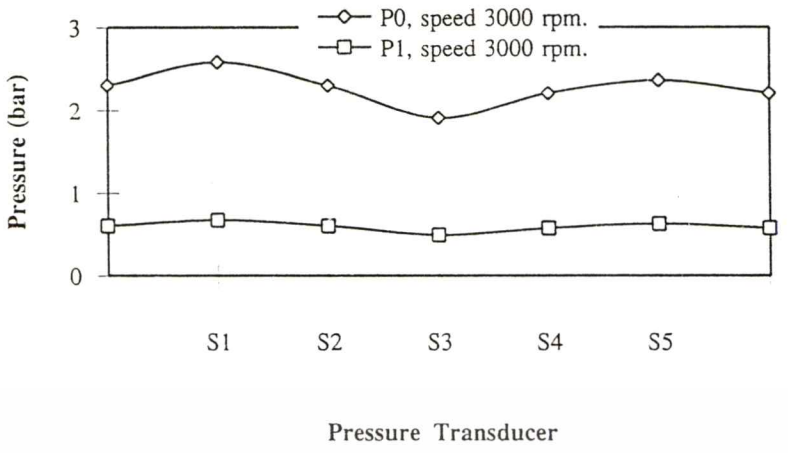


รูปที่ 7.13 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3 %

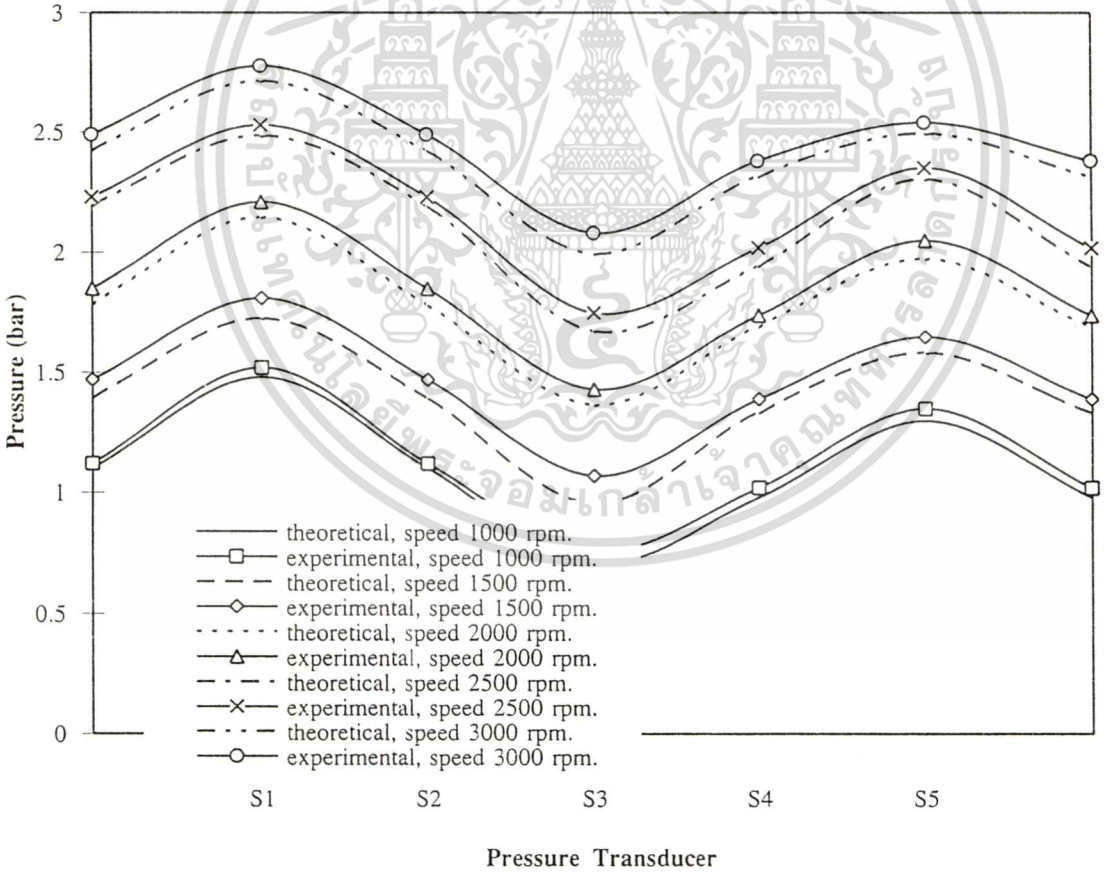


รูปที่ 7.14 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.15 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3 %



รูปที่ 7.16 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000,1500 2000,2500 และ 3000 rpm.,ผสมสาร P.I.B 0.3 % ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 1%

ความเร็วรอบ 1000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	13.14	1.27	0.67	1.66	1.71
S2	0.58	14.76	0.88	0.46	1.15	1.29
S3	0.58	17.82	0.68	0.36	0.89	0.95
S4	0.58	15.48	0.85	0.44	1.11	1.21
S5	0.58	14.22	1.13	0.59	1.47	1.53

ความเร็วรอบ 1500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	10.8	1.48	0.77	1.93	2.00
S2	0.58	12.42	1.22	0.64	1.59	1.66
S3	0.58	15.66	0.87	0.45	1.13	1.19
S4	0.58	13.32	1.15	0.59	1.49	1.56
S5	0.58	12.06	1.37	0.71	1.78	1.81

ความเร็วรอบ 2000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	8.82	1.76	0.92	2.29	2.35
S2	0.58	10.26	1.51	0.79	1.97	2.03
S3	0.58	13.14	1.19	0.63	1.56	1.61
S4	0.58	11.34	1.41	0.74	1.84	1.90
S5	0.58	9.90	1.64	0.85	2.13	2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

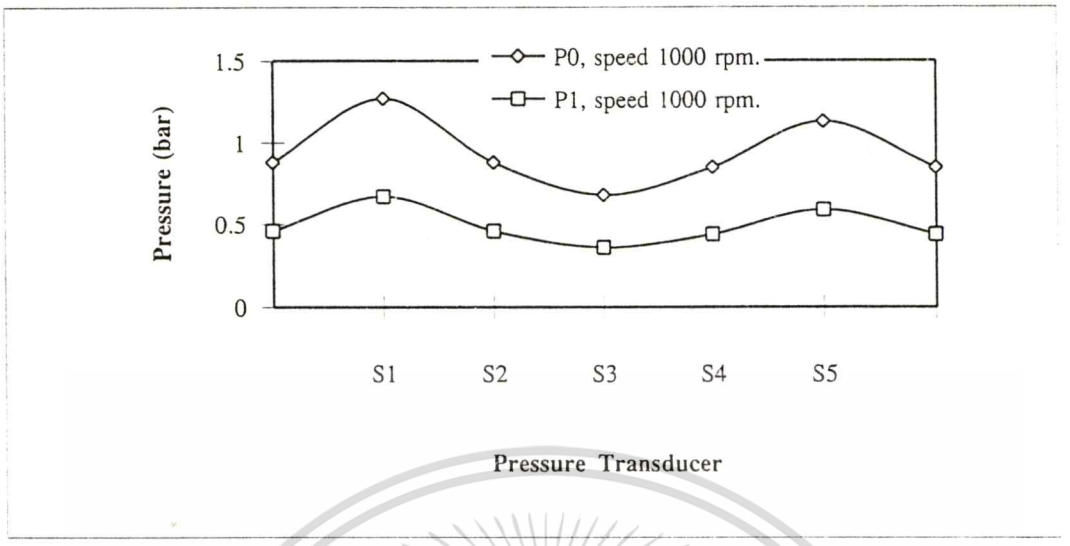
ความเร็วรอบ 2500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	7.38	2.05	1.01	2.64	2.70
S2	0.58	8.82	1.77	0.93	2.31	2.38
S3	0.58	11.70	1.41	0.74	1.84	1.91
S4	0.58	9.36	1.61	0.84	2.10	2.18
S5	0.58	8.46	1.90	0.98	2.47	2.52

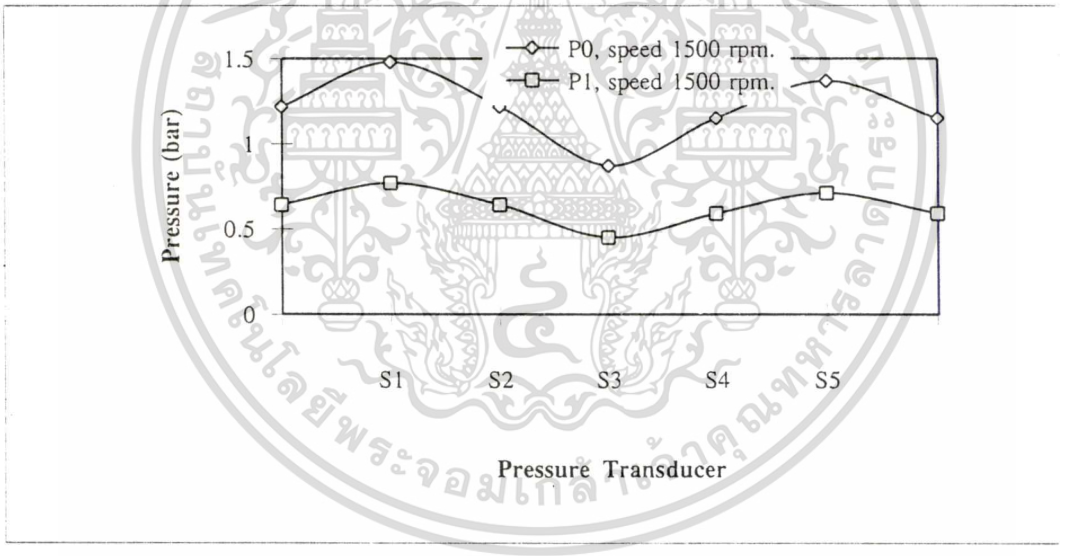
ความเร็วรอบ 3000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	0.58	6.84	2.20	1.15	2.87	2.92
S2	0.58	8.64	1.98	1.00	2.58	2.64
S3	0.58	11.16	1.66	0.87	2.16	2.25
S4	0.58	9.00	1.88	0.98	2.45	2.51
S5	0.58	7.92	2.00	1.10	2.64	2.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

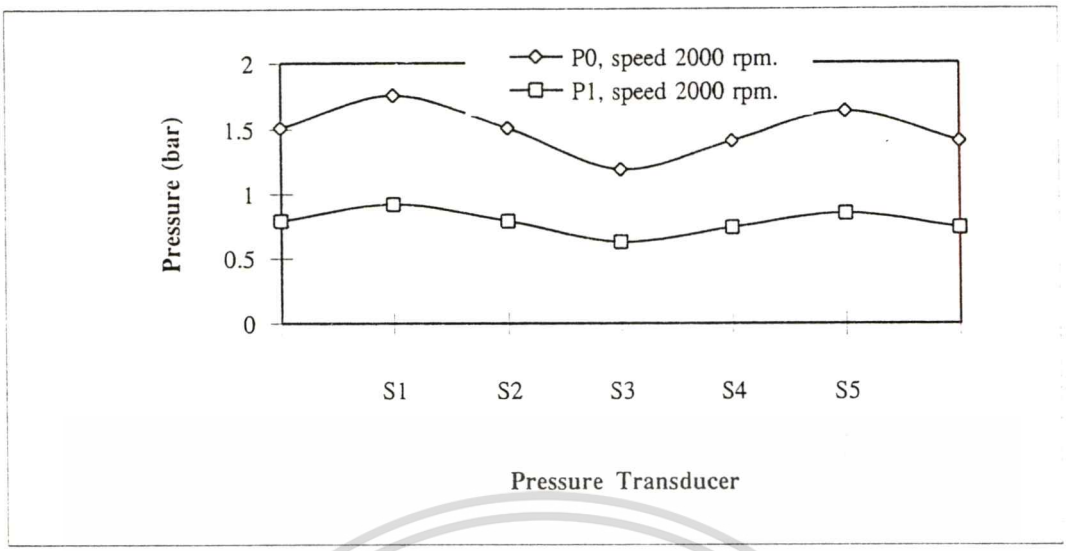


รูปที่ 7.17 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 1%

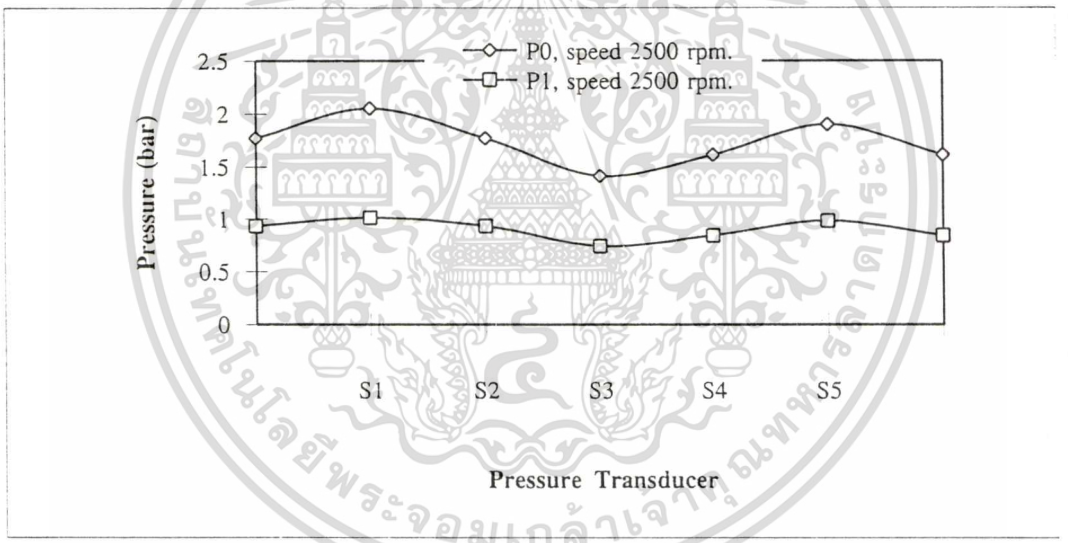


รูปที่ 7.18 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm. ผสมสาร P.I.B 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

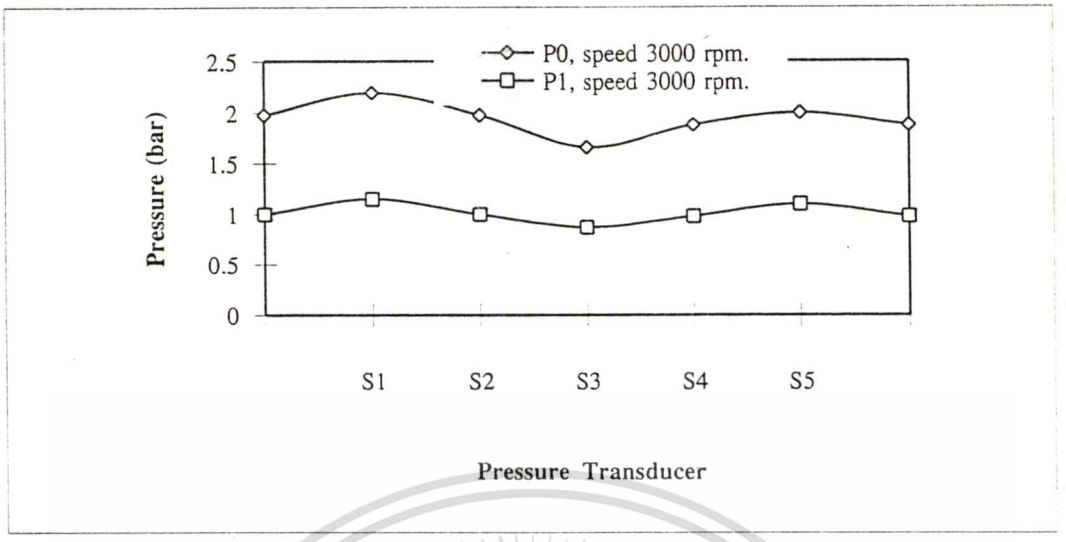


รูปที่ 7.19 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm. ผสมสาร P.I.B 1%

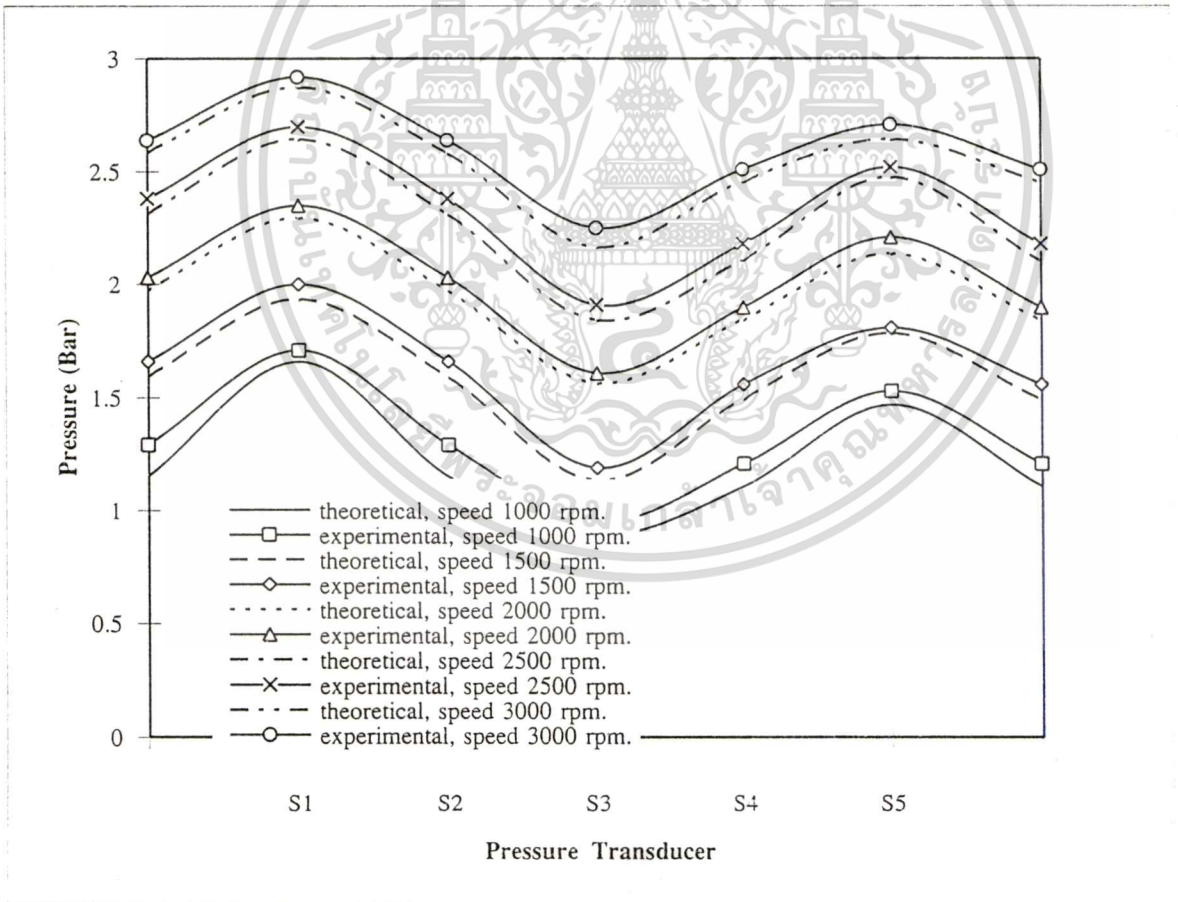


รูปที่ 7.20 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm.ผสมสาร P.I.B 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.21 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.ผสมสาร P.I.B 1%



รูปที่ 7.22 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000,1500 2000,2500 และ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 1% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการคำนวณการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2%

ความเร็วรอบ 1000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	13.5	0.86	0.78	1.75	1.83
S2	1.13	15.12	0.67	0.61	1.36	1.42
S3	1.13	18.36	0.45	0.42	0.93	1.06
S4	1.13	16.02	0.64	0.58	1.30	1.36
S5	1.13	14.76	0.77	0.71	1.58	1.64

ความเร็วรอบ 1500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	11.34	0.95	0.86	1.92	2.09
S2	1.13	12.96	0.83	0.75	1.68	1.75
S3	1.13	16.20	0.60	0.55	1.23	1.29
S4	1.13	14.04	0.80	0.72	1.62	1.69
S5	1.13	12.42	0.93	0.84	1.88	1.93

ความเร็วรอบ 2000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	9.36	1.18	1.08	2.41	2.24
S2	1.13	10.80	0.98	0.9	2.00	2.12
S3	1.13	13.68	0.83	0.75	1.68	1.74
S4	1.13	12.06	0.95	0.86	1.93	2.04
S5	1.13	10.44	1.11	1.01	2.26	2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

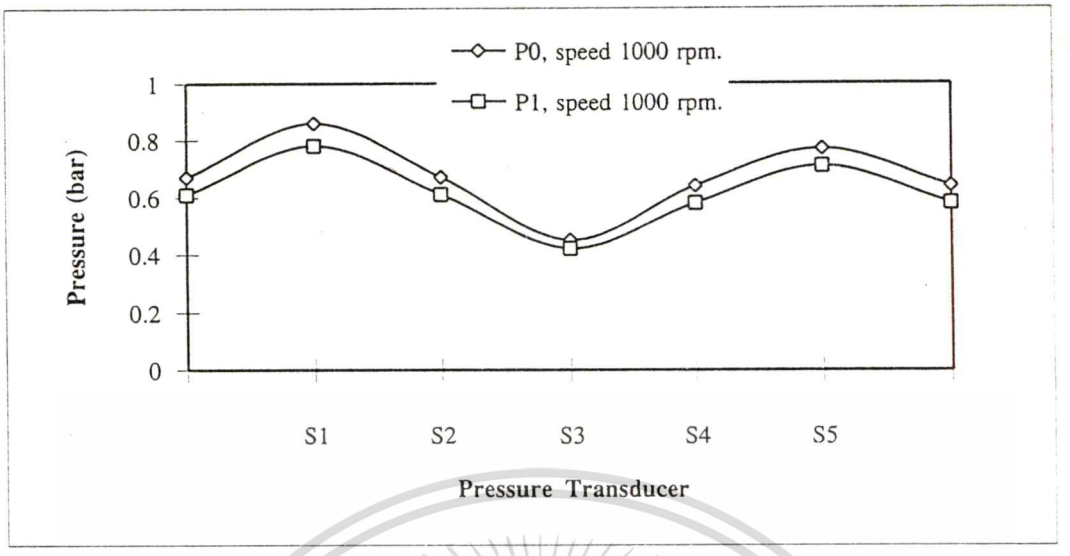
ความเร็วรอบ 2500 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	7.92	1.36	1.25	2.78	2.84
S2	1.13	9.36	1.21	1.11	2.47	2.51
S3	1.13	12.34	0.95	0.86	1.93	2.05
S4	1.13	10.08	1.11	1.00	2.24	2.32
S5	1.13	9.18	1.26	1.15	2.56	2.62

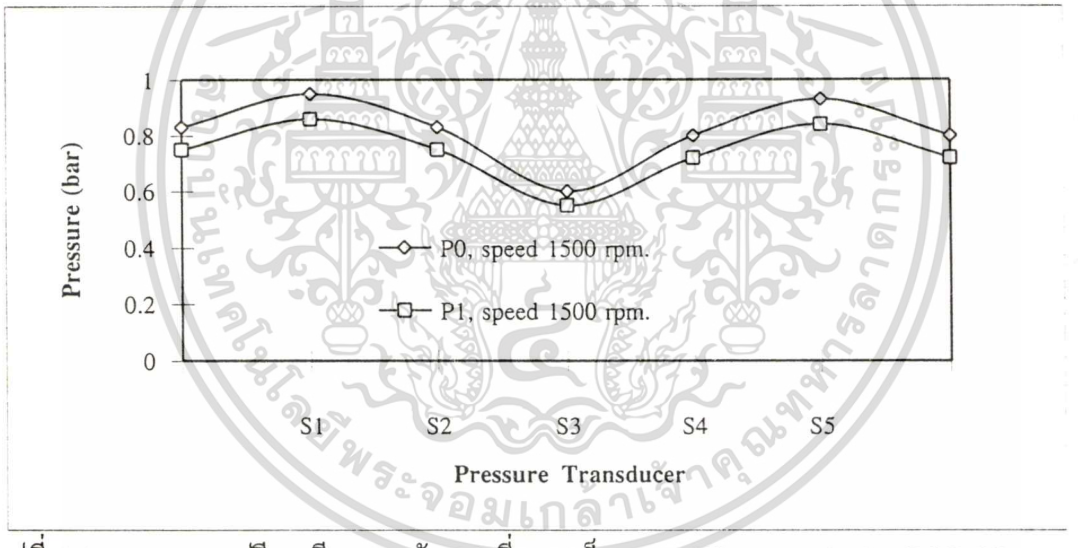
ความเร็วรอบ 3000 rpm.

	δ	h	P_0	P_1	$P = P_0 + \delta P_1$	P (ทดลอง)
S1	1.13	7.38	1.14	1.32	2.94	3.05
S2	1.13	9.18	1.32	1.21	2.69	2.76
S3	1.13	11.7	1.12	1.02	2.28	2.34
S4	1.13	9.54	1.27	1.15	2.57	2.64
S5	1.13	8.46	1.36	1.24	2.77	2.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

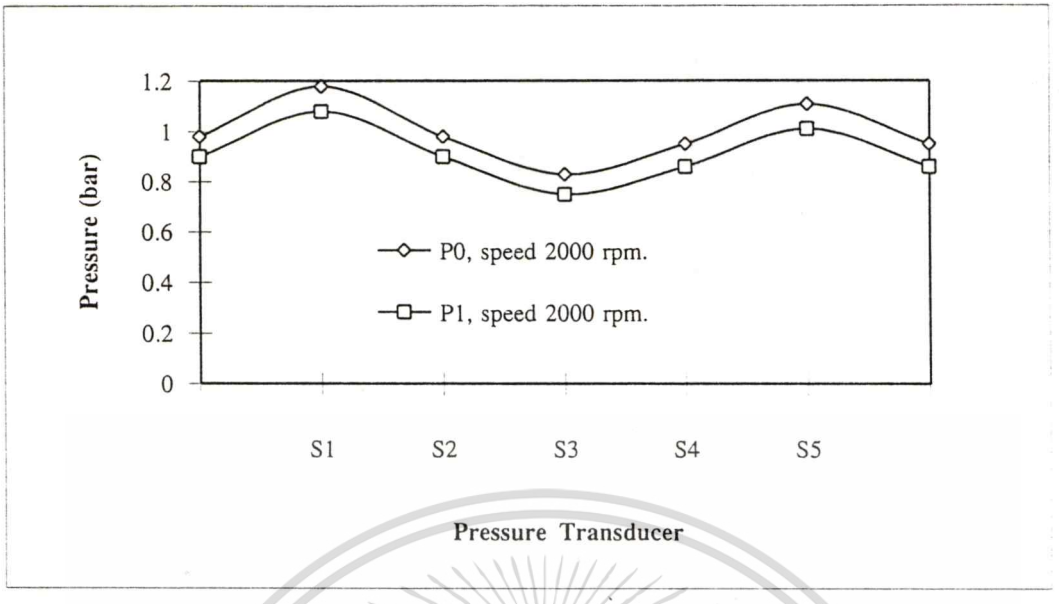


รูปที่ 7.23 แสดงการเปรียบเทียบ P0 กับ P1 ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm. ผสมสาร P.I.B 2%

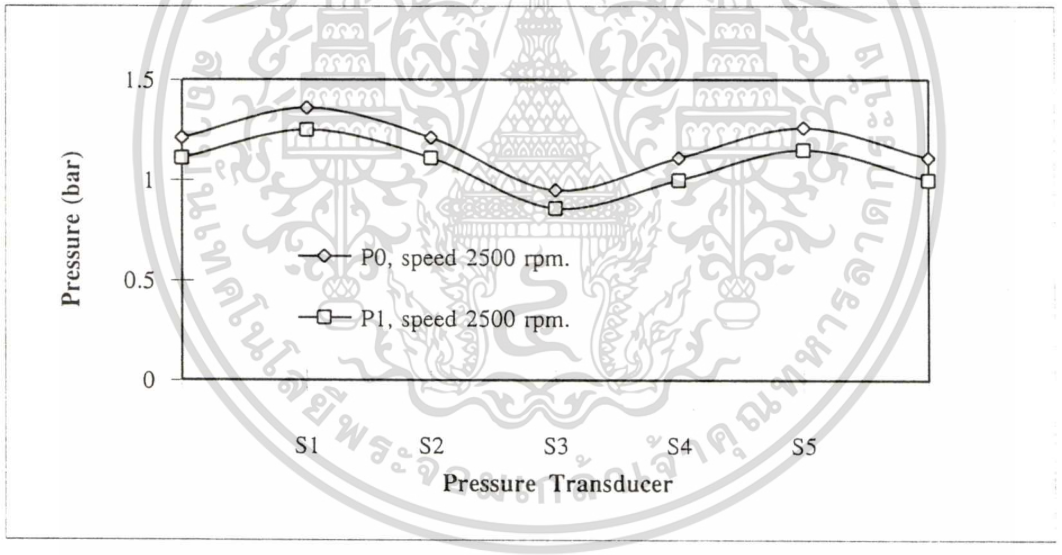


รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm. ผสมสาร P.I.B 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

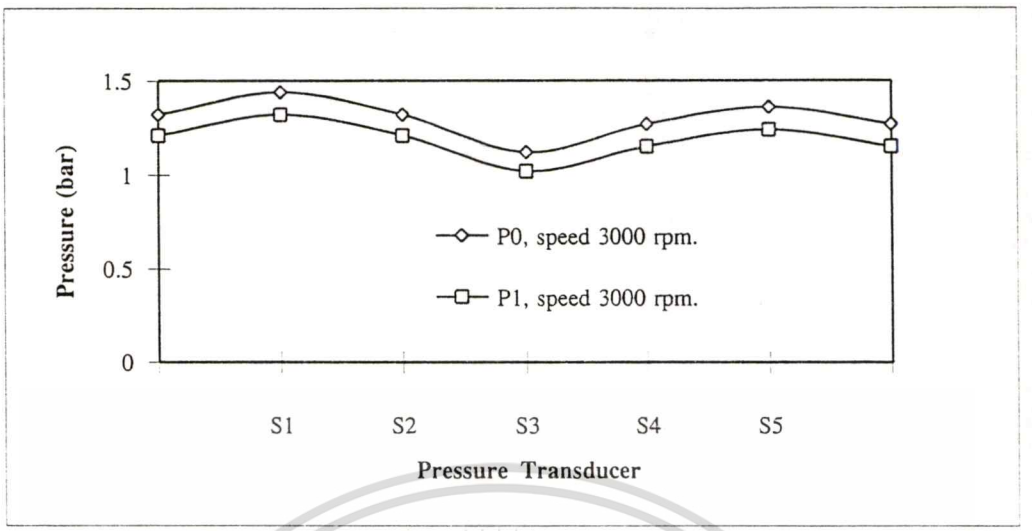


รูปที่ 7.25 แสดงการเปรียบเทียบ P1 กับ P0 ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm. ผสมสาร P.I.B 2%

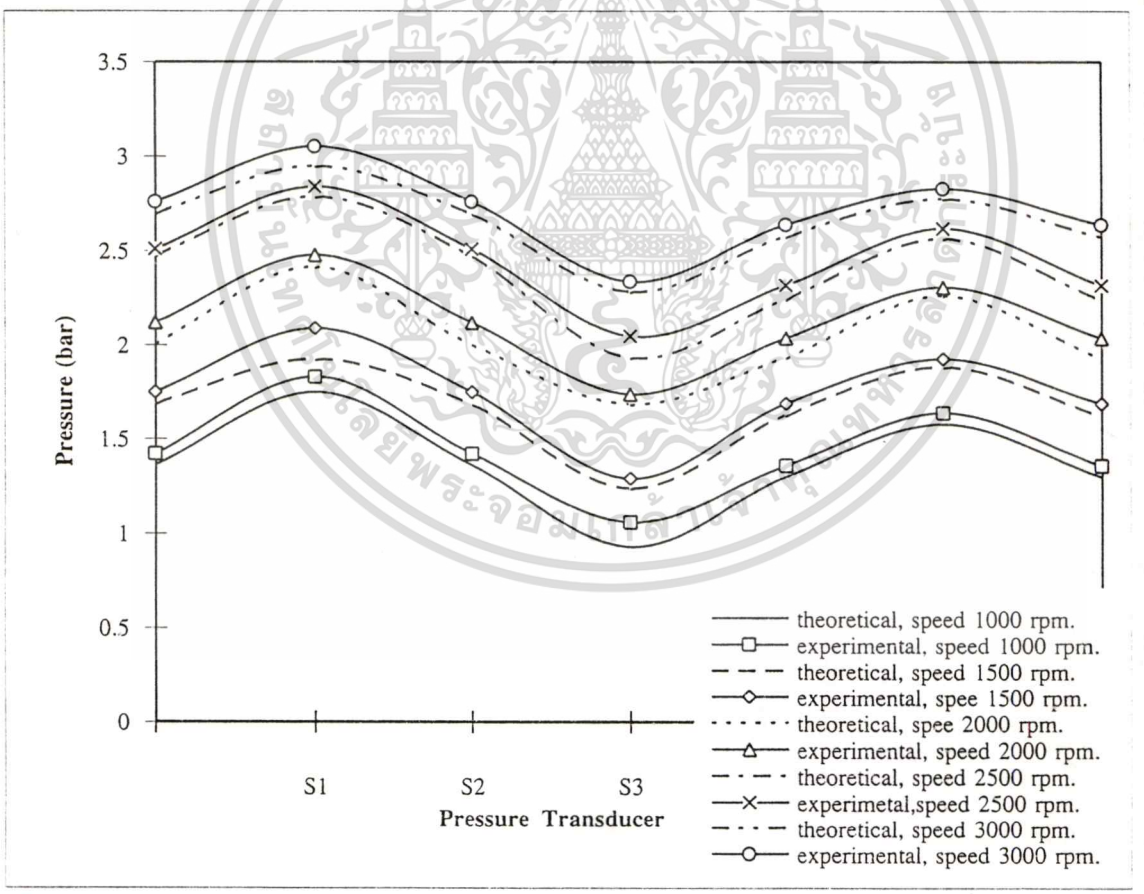


รูปที่ 7.26 แสดงการเปรียบเทียบ P0 กับ P1 ที่ความเร็วรอบ 2500 rpm. ผสสาร P.I.B 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.27 แสดงการเปรียบเทียบ P0 กับ P1 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 2%



รูปที่ 7.28 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ความเร็วรอบ 1000,1500 2000,2500 และ 3000 rpm. ผสมสาร P.I.B 2% ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

1 จากกราฟแสดงผลการทดลองของน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมและไม่ผสมสาร P.I.B (polyisobutylene) พบว่าจุดที่เกิดความดันสูงสุด จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดและมีค่าความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุดซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

2 ในการทดลองได้มีการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความดัน อุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันสูงขึ้นส่วนความหนาของฟิล์มน้ำมันจะลดลง

3 จากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ความเร็วรอบเท่ากันของน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B และที่ไม่ได้ผสมสารดังกล่าวพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B จะมีค่าความดัน, อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันมากกว่าและเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B ด้วยกันพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B มากที่สุดจะมีค่าความดัน, อุณหภูมิและความหนาของฟิล์มน้ำมันสูงที่สุด

4 น้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B สามารถช่วยป้องกันการเสียดสีได้มากขึ้นสังเกตจากความหนาของฟิล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกันที่ความเร็วรอบเท่ากัน เนื่องจากสาร P.I.B ที่ผสมเข้าไปทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดและแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยรักษาความหนืดได้ดีในขณะที่อุณหภูมิสูงเพราะความหนืดจะลดลงเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

5 จากการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากผลการทดลองกับที่ได้จากทฤษฎีพบว่ามีลักษณะคล้ายกันคือที่ TDC และ BDC จะมีความดันและอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันสูง ส่วนความหนาของฟิล์มน้ำมันมีค่าน้อยและเมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปลต่างๆ กราฟที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงเช่นกัน

การที่บริเวณ TDC และ BDC มีค่าความดันของฟิล์มน้ำมันมากกว่าบริเวณช่วงตรงกลางกระบอกสูบทั้งที่มีความเร็วของฟิล์มน้ำมันน้อยกว่าเพราะบริเวณ TDC และ BDC มีการหมุนกลับของเพลาข้อเหวี่ยงจึงทำให้เกิดการเอียงของแหวนลูกสูบมากกว่าปกติส่งผลให้เกิดการไหลของฟิล์มน้ำมันทำให้เกิดความดันตามสมการในบทที่ 7 และจากการที่ค่าความดันจากการทดลองและค่าจากการคำนวณมีความแตกต่างกันเพราะการติดตั้งเครื่องมือในการทดลองซึ่งจริงๆ แล้ว Pressure Transducer Thermocouple และ Gap Sensor ควรติดที่ตำแหน่งเดียวกันแต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ จึงติดไว้บริเวณใกล้เคียงกันจึงทำให้ค่าที่อ่านออกมามีความผิดพลาดไปบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Dr.Hiromu Hashimoto, Dr.Mongkol Mongkolwongrojn "" Advanced lubrication theory "" (1993)

[2] Michail, S.K . ;Barber, G.C "" Effects of roughness on piston ring lubrication part 1 : model development. "" S T L E Tribology Transactions v38 n1 1994. p 19-26

[3] Gui, C. L. ; Liu, K. "" Effect of surface roughness on lubrication properties of the piston ring and cylinder of engine, and calculation of lubrication and power loss analysis of piston-ring pack of a S195 diesel engine. "" lubrication science v4 n4 Jul 1992 p263-275

[4] Keribar, Rifat; Dursunkaya, Zafer "" Comprehensive model of piston skirt lubrication. "" Engine Tribology SEA Special Publication n 919 1992. p 11-19

[5] The tribology group, The combustion group, and The automobile division of The institution of mechanical engineers. "" Piston ring scuffing "" (1975)

[6] ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์, ดร.ฮิโรมู ฮาชิโมโตะ " ทฤษฎีการหล่อลื่น " (1993)

[7] James W. Dally. ; William F. Riley. ; Nenneth G. Mcconnell " Instrumentation for engineering measurements." (1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ

a คือระยะจากขอบแหวนถึงจุดที่เกิดความดันสูงสุด

B คือความยาวของกระบอกสูบ

C_v คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของฟิล์มน้ำมัน

h คือค่าความหนาของฟิล์มน้ำมัน

h_1, h_0 คือค่าความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ทางเข้าและออกจากแหวนลูกสูบ

J คือ mechaical equivalent of heat

k คือค่าสัมประสิทธิ์ nonlinear ของน้ำมันหล่อลื่นที่คุณสมบัติเป็นแบบนันนิวโตเนี่ยน

k_c k_r คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนบริเวณรอยต่อของของเหลวกับผิวของกระบอกสูบและแหวนลูกสูบ

P คือค่าความดันของฟิล์มน้ำมัน

P_0, P_1 คือค่าความดันย่อยของฟิล์มน้ำมัน

T คืออุณหภูมิ

T_0 คืออุณหภูมิที่จุดอ้างอิง

T_c, T_r คืออุณหภูมิที่กระบอกสูบและแหวนลูกสูบตามลำดับ

u, v, w คือส่วนประกอบของความเร็วในระบบโคออร์ดิเนท

x คือระยะจากขอบแหวนจนถึงจุดที่เกิดโหลดรวม

U_1, U_2 คือความเร็วของฟิล์มน้ำมันที่ทางเข้าและออกจากแหวนลูกสูบ

α คือค่าคงที่

δ คือค่า nonlinear factor

μ คือค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

ρ คือค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่น

σ คือค่าความหยาบของผิวกระบอกสูบและแหวนลูกสูบ

τ คือค่าความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมแสดงการคำนวณหากราฟการกระจายความหนา,ความดันและอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมัน

```
Program Film_Thickness_Distribution;
{$r+,I+}
uses dos,crt,graph;
Var
  T,P,h1,h,Delta_h,X,seta:real;
  int_tmp,i:integer;
  grDriver,grMode :integer;
  ErrCode :integer;
procedure input;
begin
  write('   Enter h1     : ');
  readln(h1);
  write('   Enter Delta h : ');
  readln(Delta_h);
  write('   Enter X      : ');
  readln(X);
 end;
procedure Initialize;
begin
grDriver := detect;
InitGraph(grDriver,grMode,'');
ErrCode:=Graphresult;
if ErrCode = grOk then
begin { Do Graphics }
    Setbkcolor(7);
    SetfillStyle(1,8);
    Bar(10,10,GetmaxX-10,GetMaxY-10);
    SetFillStyle(1,15);
    Bar(2,2,GetMaxX-2,7);
    Bar(2,2,7,GetMaxY-2);
    Bar(GetMaxX-7,2,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Bar(2,GetMaxY-7,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Setcolor(13);
    SettextStyle(6,0,3);
    OutTextXY(190,13,'Graph for Calculation Program');
    Setcolor(12);
    SettextStyle(2,0,7);
    OutTextXY(130,40,'Show only h at i=1,1<seta<180 degree');
    Setcolor(9);
    Line(120,60,120,420);  {Vertical}
    Line(120,270,500,270); {Horizontal}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Setcolor(14);
    SetTextStyle(7,1,2);
    OutTextXY(60,250,'h');
    Setcolor(10);
    SetTextStyle(1,0,1);
{    OutTextXY(470,273,'360'); }
    OutTextXY(470,283,'180');
    SetTextStyle(7,0,2);
    OutTextXY(530,255,'Seta');
 end
 else
    Writeln('Graphics error: ',GraphErrorMsg(ErrCode));
end;

 Procedure  Answers;
  begin
  seta:=0;
  for i:=1  to 360 do
   begin
    h:=h1-(Pi*Seta/180)/180*Delta_h*cos(Pi*Seta/180)+X*sin(Pi*seta/180);
    setcolor(11);
    setTextStyle(2,0,1);
    int_tmp:=round(h)*10;
    OutTextXY(120+round(seta)*2,256-round(int_tmp),'.');
    seta:=seta+0.5;
   end;
 end;
 {main Program}
begin
  Clrscr;
  Input;
  Initialize;
  Answers;
  readln;
  closegraph;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program Pressure_Distribution;
{$r+,I+}
uses dos,crt,graph;
const j_max = 100;
var P_para,P_para_b_i,P_para_2:array[1..j_max] of real;
   G_seta,GZ,delta_seta,delta_z,lamda,L,D:real;
   const1_1,const1_2,const2_1,const2_2,const3,Term_A,Term_B,Term_B_2:real;
   i_run,j_run,k,m,count_i:integer;
   report1,report2,report3,report4,report5:text;
   grDriver,grMode : integer;
   ErrCode:integer;
   X,h1,delta_h,delta_U,non_f,const4,P_1,r,DeltaZ_3,DeltaP0_3 : real;
   P_para_3,P_para_4:array[0..j_max] of real;
{----------------Functions-----------------}
function ha(z:integer;X,h1,delta_a:real):real;
var ha_v :real;
begin
    ha_v:=(z-0.5)*delta_a;
    ha:=h1-(ha_v*pi/180)/180*(cos(ha_v*pi/180))+(X*sin(ha_v*pi/180));
end;
function ha_3(ha_t:real):real;
begin
2    ha_3:=ha_t*ha_t*ha_t;
end;
{+++++++++++++++}
function hb(z:integer;X,h1,delta_b:real):real;
var hb_v:real;
begin
    hb_v:=(z+0.5)*delta_b;
    hb:=h1-(hb_v*pi/180)/180*(cos(hb_v*pi/180))+(X*sin(hb_v*pi/180));
end;
function hb_3(hb_t:real):real;
begin
    hb_3:=hb_t*hb_t*hb_t;
end;
{+++++++++++++++++}
function he(z:integer;X,h1,delta_e:real):real;
var he_v:real;
begin
    he_v:=z*delta_e;2
    he:=h1-(he_v*pi/180)/180*(cos(he_v*pi/180))+(X*sin(he_v*pi/180));
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function he_3(he_t:real):real;
begin
   he_3:=he_t*he_t*he_t;
end;
{++++++++++++++++++}
function hf(z:integer;X,h1,delta_f:real):real;
var hf_v:real;
begin
   hf_v:=z*delta_f;
   hf:=h1-(hf_v*pi/180)/180*(cos(hf_v*pi/180))+(X*sin(hf_v*pi/180));
end;
function hf_5(hf_t:real):real;
begin
    hf_5:=hf_t*hf_t*hf_t*hf_t*hf_t;
2end;
{------------------------}


{------------------------}
{++++++++++++++++++}
function sub1_Term_A:real;
begin
 Sub1_Term_A:=(he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const1_1+
(he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta)))*const1_2);
end;
function sub1_Term_B:real;
begin
 Sub1_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_1*P_para_b_i[j_run];
end;
function Sub2_Term_B:real;
var Temp_sub2_b:real;
begin
   if j_run=1
     then Temp_sub2_b:=P_para_b_i[j_run]
    else Temp_sub2_b:=0;
    Sub2_Term_B:=((he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta)))*const2_1*Temp_sub2_b);
end;

function Sub3_Term_B:real;
begin
    Sub3_Term_B:=const3*(hb(i_run,X,h1,delta_seta)-ha(i_run,X,h1,delta_seta));
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function Sub4_Term_B:real;
begin
   Sub4_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_2*P_para_b_i[j_run];
end;
function  Sub5_Term_B:real;
begin
   Sub5_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_2*P_para_b_i[j_run];
end;
function Sub3_term_B_2:real;
begin
    Sub3_Term_B_2:=((hf_5(hf(i_run,X,h1,delta_seta)))/80);
end;


{-------------------procedure----------------------}
procedure init_para;
var ll:1..j_max;
begin
   for ll:=1 to j_max do
     begin
       P_para[ll]:=0;
       P_para_b_i[ll]:=0;
     end;
   const1_1:=0;
   const1_2:=0;
   const2_1:=0;
   const2_2:=0;
   const3:=0;
   count_i:=0;
   assign(report1,'sravin1.txt');
   assign(report2,'sravin2.txt');
   assign(report3,'sravin3.txt');
   assign(report4,'sravin4.txt');
   assign(report5,'Plot.txt');
   rewrite(report1);
   rewrite(report2);
   rewrite(report3);
   rewrite(report4);
   rewrite(report5);
   writeln(report1,'***************Result of Calculation***************');
   writeln(report2,'***************Result of Calculation***************');
   writeln(report3,'***************Result of Calculation***************');
   writeln(report4,'***************Result of Calculation***************');
   writeln(report5,'******************Plotting Value*******************');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    writeln(report1);
    writeln(report2);
    writeln(report3);
    writeln(report4);
    writeln(report5);
end;
{------------}
procedure In_data;
begin
{    g_seta:=0.0001; gz:=0.0001; e:=0.5; delta_seta:=0.5; delta_z:=0.01; lamda:=1;}
    writeln;
    writeln(' ************* Please enter parameter for compile *********');
    writeln;
    write('       Enter Radial    : ');
    readln(r);
    write('       Enter  X        :');
    readln(X);
    write('       Enter h1        : ');
    readln(h1);
    write('       Enter Delta_h   : ');
    readln(delta_h);
    write('       Enter Delta_U   : ');
    readln(delta_U);
    write('       Enter Delta_seta: ');
    readln(delta_seta);
    write('       Enter Delta_z   : ');
    readln(delta_z);
    write('       Enter non_factor: ');
    readln(non_f);
end;
{---------------------}
procedure Initialize;
begin
grDriver := detect;
InitGraph(grDriver,grMode,'');
ErrCode:=Graphresult;
if ErrCode = grOk then
begin { Do Graphics }
    Setbkcolor(7);
    SetfillStyle(1,8);
    Bar(10,10,GetmaxX-10,GetMaxY-10);
    SetFillStyle(1,15);
    Bar(2,2,GetMaxX-2,7);
    Bar(2,2,7,GetMaxY-2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Bar(GetMaxX-7,2,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Bar(2,GetMaxY-7,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Setcolor(13);
    SettextStyle(6,0,3);
    OutTextXY(190,13,'Graph for Calculation Program');
    Setcolor(12);
    SettextStyle(2,0,7);
    OutTextXY(130,40,'Show only Pi at j=1,1<seta<360 degree');
    Setcolor(9);
    Line(120,60,120,420);  {Vertical}
    Line(120,270,500,270); {Horizontal}
    Setcolor(14);
    SetTextStyle(7,1,2);
    OutTextXY(60,250,'Pi');
    Setcolor(10);
    SetTextStyle(2,0,5);
    OutTextXY(470,273,'360');
    OutTextXY(290,273,'180');
    SetTextStyle(7,0,2);
    OutTextXY(530,255,'Seta');
  end
  else
    Writeln('Graphics error: ',GraphErrorMsg(ErrCode));
end;
{----------}
procedure Cal_const;
begin
    const1_1:=(1/(6*r*r*delta_seta*delta_seta));
    const1_2:=(1/(6*delta_z*delta_z));
    const2_1:=(1/(12*r*r*delta_seta*delta_seta));
    const2_2:=(1/(12*delta_z*delta_z));
    const3:=delta_U/(2*r*delta_seta);
end;
{----------}
procedure Transfer;
begin
    for m:= 1 to 100 do
    begin
      P_para_b_i[m]:=P_para[m];
      P_para[m]:=0;
    end;
end;
{-------------}
procedure Compile_Answer1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
var int_tmp,int_tmp_2,int_tmp_3:integer;
  str_tmp1,str_tmp2,str_tmp3:string;
begin
   P_para_3[0]:=0;
   for i_run:=1 to 360 do
   begin
     for j_run:= 1 to 1 do
     begin
       Term_A       :=Sub1_Term_A;
       Term_B       :=Sub1_Term_B+Sub2_Term_B-Sub3_Term_B;
       P_para[j_run]  :=Term_B/Term_A;
       DeltaP0_3     :=P_para[j_run]*P_para[j_run]*P_para[j_run];
       DeltaZ_3      :=delta_z*delta_z*delta_z;
       Term_B_2:=Sub1_Term_B+Sub2_Term_B+Sub3_Term_B_
        2/(r*r*r*r)*deltaP0_3/DeltaZ_3+Sub3_Term_B_2*deltaP0_3/DeltaZ_3;
       P_para_2[j_run]:=Term_B_2/Term_A;
       P_para_3[i_run]:=P_para_2[j_run];
       P_para_4[j_run]:=P_para_3[i_run-1]+(P_para_2[j_run]-P_para_3[i_run-1]);
       P_1          :=(P_para[j_run]+non_f*P_para_4[j_run])*-1;

       case i_run of
        1..45 :begin
               writeln(report1,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
              end;
        46..90:begin
               writeln(report2,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
              end;
       91..135:begin
               writeln(report3,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
              end;
       136..180:begin
               writeln(report4,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
              end;
       end;
       if j_run=1 then
       begin
         Setcolor(11);
         SetTextStyle(2,0,1);
         int_tmp:=round(p_para[j_run]*10000000);
         int_tmp_2:=round(P_para_2[j_run]*10000000);
         int_tmp_3:=round(P_1*100000000);
{          OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp/5)),'.');}
         Setcolor(7);

{          OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp_2/5)),'.');}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp_3/5)),'.');
            writeln(report5,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
          end;
{          SetFillStyle(1,15);
          Bar(65,430,170,450);
          Setcolor(5);
          SetTextStyle(2,0,5);
          int_tmp:=round(P_para[j_run]*10000000);
          str(i_run,str_tmp1);
          str(j_run,str_tmp2);
          str(int_tmp,str_tmp3);
          OutTextXY(70,430,'P'+str_tmp1+','+str_tmp2+'='+str_tmp3);}
        end;
        Transfer;
    8end;
end;
{-----------------------------------}
(* Main program *)
begin
   clrscr;
   Init_para;
   In_data;
   Cal_const;
   Initialize;
   Compile_Answer1;
   readln;
   Closegraph;
{   clrscr;}
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program Temperature_Distribution;
{$r+,I+}
uses dos,crt,graph;
const j_max = 100;
var P_para,P_para_b_i,P_para_2:array[1..j_max] of real;
   T_para,T_para_b_i,T_para_1,T_para_2,T_new:array[1..j_max] of real;
   G_seta,GZ,delta_seta,delta_z,lamda,L,D:real;
   const1_1,const1_2,const2_1,const2_2,const3,Term_A,Term_B,Term_B_2:real;
   i_run,j_run,k,m,count_i:integer;
   report1,report2,report3,report4,report5:text;
   grDriver,grMode : integer;
   ErrCode:integer;
   X,h1,delta_h,delta_U,non_f,const4,P_1,r,DeltaZ_3,DeltaP0_3 : real;
   P_para_3,P_para_4:array[0..j_max] of real;
   j,CV,U,V,TTerm_A,TTerm_B:real;
{----------------Functions----------------}
function ha(z:integer;X,h1,delta_a:real):real;
var ha_v :real;
begin
    ha_v:=(z-0.5)*delta_a;
    ha:=h1-(ha_v*pi/180)/180*(cos(ha_v*pi/180))+(X*sin(ha_v*pi/180));
end;
function ha_3(ha_t:real):real;
begin
    ha_3:=ha_t*ha_t*ha_t;
end;
{+++++++++++++++++}
function hb(z:integer;X,h1,delta_b:real):real;
var hb_v:real;
begin
    hb_v:=(z+0.5)*delta_b;
    hb:=h1-(hb_v*pi/180)/180*(cos(hb_v*pi/180))+(X*sin(hb_v*pi/180));
end;
function hb_3(hb_t:real):real;
begin
    hb_3:=hb_t*hb_t*hb_t;
end;
{+++++++++++++++++}
function he(z:integer;X,h1,delta_e:real):real;
var he_v:real;
begin
    he_v:=z*delta_e;
    he:=h1-(he_v*pi/180)/180*(cos(he_v*pi/180))+(X*sin(he_v*pi/180));
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
function he_3(he_t:real):real;
begin
   he_3:=he_t*he_t*he_t;
end;
{++++++++++++++++++}
function hf(z:integer;X,h1,delta_f:real):real;
var hf_v:real;
begin
   hf_v:=z*delta_f;
   hf:=h1-(hf_v*pi/180)/180*(cos(hf_v*pi/180))+(X*sin(hf_v*pi/180));
end;
function hf_5(hf_t:real):real;
begin
    hf_5:=hf_t*hf_t*hf_t*hf_t*hf_t;
end;
{------------------------}


{------------------------}
{++++++++++++++++++}
function sub1_Term_A:real;
begin
 Sub1_Term_A:=(he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const1_1+
(he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta)))*const1_2);
end;
function sub1_Term_B:real;
begin
 Sub1_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_1*P_para_b_i[j_run];
end;
function Sub2_Term_B:real;
var Temp_sub2_b:real;
begin
   if j_run=1
     then Temp_sub2_b:=P_para_b_i[j_run]
    else Temp_sub2_b:=0;
    Sub2_Term_B:=((he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta)))*const2_1*Temp_sub2_b);
end;

function Sub3_Term_B:real;
begin
    Sub3_Term_B:=const3*(hb(i_run,X,h1,delta_seta)-ha(i_run,X,h1,delta_seta));
end;
function Sub4_Term_B:real;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Sub4_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_2*P_para_b_i[j_run];
end;
function  Sub5_Term_B:real;
begin
    Sub5_Term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*const2_2*P_para_b_i[j_run];
end;
function Sub3_term_B_2:real;
begin
     Sub3_Term_B_2:=((hf_5(hf(i_run,X,h1,delta_seta)))/80);
end;
{-------------Sub_Temp-----------------}
function Tsub1_term_A:real;
begin
 Tsub1_term_A:=((he(i_run,X,h1,delta_seta)*U/2)-he_
3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*P_1/(12*V))*r/delta_seta;
end;
function Tsub2_term_A:real;
begin
 Tsub2_term_A:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*P_1/(12*V*delta_z);
end;
function Tsub1_term_B:real;
begin
Tsub1_term_B:=((he(i_run,X,h1,delta_seta)*U/2)-he_
3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*P_1/(12*V))*r/delta_seta*T_para_b_i[j_run];
end;
function Tsub2_term_B:real;
begin
 Tsub2_term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*
P_1/(12*V*delta_z)*T_para_b_i[j_run];
end;
function Tsub3_term_B:real;
begin
 Tsub3_term_B:=V*U*U/(D*j*CV*he(i_run,X,h1,delta_seta));
end;
function Tsub4_term_B:real;
begin
  Tsub4_term_B:=he_3(he(i_run,X,h1,delta_seta))*P_1*P_1/(6*D*j*CV*V);
end;
{-------------------procedure----------------------}
procedure init_para;
var ll:1..j_max;
begin
    for ll:=1 to j_max do
      begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        P_para[ll]:=0;
        P_para_b_i[ll]:=0;
      end;
    const1_1:=0;
    const1_2:=0;
    const2_1:=0;
    const2_2:=0;
    const3:=0;
    count_i:=0;
    assign(report1,'sravin1.txt');
    assign(report2,'sravin2.txt');
    assign(report3,'sravin3.txt');
    assign(report4,'sravin4.txt');
    assign(report5,'Plot.txt');
    rewrite(report1);
    rewrite(report2);
    rewrite(report3);
    rewrite(report4);
    rewrite(report5);
    writeln(report1,'***************Result of Calculation*****************');
    writeln(report2,'***************Result of Calculation*****************');
    writeln(report3,'***************Result of Calculation*****************');
    writeln(report4,'***************Result of Calculation*****************');
    writeln(report5,'*******************Plotting Value*********************');
    writeln(report1);
    writeln(report2);
    writeln(report3);
    writeln(report4);
    writeln(report5);
end;
{------------}
procedure In_data;
begin
{    g_seta:=0.0001; gz:=0.0001; e:=0.5; delta_seta:=0.5; delta_z:=0.01; lamda:=1;}
    writeln;
    writeln(' ************* Please enter parameter for compile *********');
    writeln;
    write('      Enter Radial    : ');
    readln(r);
    write('      Enter  X        :');
    readln(X);
    write('      Enter h1        : ');
    readln(h1);
    write('      Enter Delta_h   : ');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    readln(delta_h);
    write('      Enter Delta_U   : ');
    readln(delta_U);
    write('      Enter Delta_seta: ');
    readln(delta_seta);
    write('      Enter Delta_z   : ');
    readln(delta_z);
    write('      Enter non_factor: ');
    readln(non_f);
    write('      Enter Density   : ');
    readln(D);
    write('      Enter Machanical equivalent of heat : ');
    readln(J);
    write('      Enter Specific heat : ');
    readln(CV);
    write('      Enter Velocity  :');
    readln(U);
    write('      Enter Vicosity: ');
    readln(V);
end;
{--------------------}
procedure Initialize;
begin
grDriver := detect;
InitGraph(grDriver,grMode,'');
ErrCode:=Graphresult;
if ErrCode = grOk then
begin { Do Graphics }
    Setbkcolor(7);
    SetfillStyle(1,8);
    Bar(10,10,GetmaxX-10,GetMaxY-10);
    SetFillStyle(1,15);
    Bar(2,2,GetMaxX-2,7);
    Bar(2,2,7,GetMaxY-2);
    Bar(GetMaxX-7,2,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Bar(2,GetMaxY-7,GetMaxX-2,GetMaxY-2);
    Setcolor(13);
    SettextStyle(6,0,3);
    OutTextXY(190,13,'Graph for Calculation Program');
    Setcolor(12);
    SettextStyle(2,0,7);
    OutTextXY(130,40,'Show only Pi at j=1,1<seta<360 degree');
    Setcolor(9);
    Line(120,60,120,420);  {Vertical}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{              OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp_2/5)),'.');}


{               OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp_3/5)),'.');}
               OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp_4/5)),'.');
              writeln(report5,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
           end;
{           SetFillStyle(1,15);
           Bar(65,430,170,450);
           Setcolor(5);
           SetTextStyle(2,0,5);
           int_tmp:=round(P_para[j_run]*10000000);
           str(i_run,str_tmp1);
           str(j_run,str_tmp2);
           str(int_tmp,str_tmp3);
           OutTextXY(70,430,'T'+str_tmp1+','+str_tmp2+'='+str_tmp3);}
        end;
        Transfer;
     end;
end;
{---------------------------------}
(* Main program *)
begin
   clrscr;
   Init_para;
   In_data;
   Cal_const;
   Initialize;
   Compile_Answer1;
   readln;
   Closegraph;
{   clrscr;}
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin


        Term_A       :=Sub1_Term_A;
        Term_B       :=Sub1_Term_B+Sub2_Term_B-Sub3_Term_B;
        P_para[j_run]  :=Term_B/Term_A;
        DeltaP0_3    :=P_para[j_run]*P_para[j_run]*P_para[j_run];
        DeltaZ_3     :=delta_z*delta_z*delta_z;
        Term_B_2:=Sub1_Term_B+Sub2_Term_B+Sub3_Term_B
_2/(r*r*r*r)*deltaP0_3/DeltaZ_3+Sub3_Term_B_2*deltaP0_3/DeltaZ_3;
        P_para_2[j_run]:=Term_B_2/Term_A;

        P_para_3[i_run]:=P_para_2[j_run];
        P_para_4[j_run]:=P_para_3[i_run-1]+(P_para_2[j_run]-P_para_3[i_run-1]);
        P_1          :=(P_para[j_run]+non_f*P_para_4[j_run])*-1;
       {--Temperature-----------------------------}
        TTerm_A      :=Tsub1_term_A-Tsub2_term_A;
        TTerm_B      :=Tsub1_term_B-Tsub2_term_B+Tsub3_term_B+Tsub4_term_B;
        T_para[j_run]  :=TTerm_B/TTerm_A;
        T_para_1[i_run]:=T_para_2[j_run];
        T_new[j_run]:=T_para_1[i_run-1]+(T_para[j_run]-T_para_1[i_run-1]);
        case i_run of
          1..45 :begin
                 writeln(report1,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
                end;
         46..90:begin
                 writeln(report2,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
                end;
        91..135:begin
                 writeln(report3,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
                end;
        136..180:begin
                 writeln(report4,'P',i_run,',',j_run,'=',P_para[j_run]);
                end;
        end;
        if j_run=1 then
        begin
           Setcolor(11);
           SetTextStyle(2,0,1);
           int_tmp:=round(p_para[j_run]*10000000);
           int_tmp_2:=round(P_para_2[j_run]*10000000);
           int_tmp_3:=round(P_1*100000000);
           int_tmp_4:=round(T_new[j_run]*100000000);
{           OutTextXY(120+i_run,265-(round(int_tmp/5)),'.');}
           Setcolor(7);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Line(120,270,500,270); {Horizontal}
    Setcolor(14);
    SetTextStyle(7,1,2);
    OutTextXY(60,250,'Pi');
    Setcolor(10);
    SetTextStyle(2,0,5);
    OutTextXY(470,273,'360');
    OutTextXY(290,273,'180');
    SetTextStyle(7,0,2);
    OutTextXY(530,255,'Seta');
 end
 else
    Writeln('Graphics error: ',GraphErrorMsg(ErrCode));
end;
{----------}
procedure Cal_const;
begin
    const1_1:=(1/(6*r*r*delta_seta*delta_seta));
    const1_2:=(1/(6*delta_z*delta_z));
    const2_1:=(1/(12*r*r*delta_seta*delta_seta));
    const2_2:=(1/(12*delta_z*delta_z));
    const3:=delta_U/(2*r*delta_seta);
end;
{----------}
procedure Transfer;
begin
    for m:= 1 to 100 do
    begin
       P_para_b_i[m]:=P_para[m];
       P_para[m]:=0;
       T_para_b_i[m]:=T_para[m];
       T_para[m]:=0;
    end;
end;
{-------------}
procedure Compile_Answer1;
var int_tmp,int_tmp_2,int_tmp_3,int_tmp_4:integer;
   str_tmp1,str_tmp2,str_tmp3:string;
begin
    P_para_3[0]:=0;
    for i_run:=1 to 360 do
    begin
       for j_run:= 1 to 1 do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายกนกชาติ ทวีพันธุ์สานต์
วัน เดือน ปี เกิด	วันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2512
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2535
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	การศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของสเตปปิ้งมอเตอร์, การศึกษาสมรรถนะการหล่อลื่นระหว่างแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์
อาชีพปัจจุบัน	เป็นวิศวกรเครื่องกล บริษัทเซ้าท์เอเซียเทคโนโลยี่ จำกัด (SEATEC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้