

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

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กนกชาติ ทวีพันธุ์สถานต์

นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**บทคัดย่อ**

การทดลองนี้ศึกษาเกี่ยวกับการหล่อลื่นของฟิล์มน้ำมันระหว่างผนังกระบอกสูบ และแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซด์ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ผสมด้วยสาร P.I.B 0.3%, 1% และ 2% เพื่อทำให้มีคุณสมบัติเป็นของเหลวแบบ Non-newtonian โดยการประยุกต์สมการเรโนลด์และสมการพลังงานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที, เพิ่มโหลดเป็น 1, 2, 3 และ 4 Kg.m ตามลำดับ

จากกราฟแสดงผลการทดลองทำให้ทราบว่า จุดที่มีความดันของฟิล์มน้ำมันสูงที่สุดจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดและมีความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุดในขณะที่ความเร็วรอบและโหลดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ความหนืด, ความเสียดทาน และความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลงดังนั้นความสามารถในการรับโหลดจึงลดลงจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงส่งผลกระทบท่อสมรรถนะของน้ำมันหล่อลื่นโดยตรง จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของสาร P.I.B และที่ไม่มีส่วนผสมของสารดังกล่าว พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่เติมสาร P.I.B มีความหนาของฟิล์มน้ำมันและความดันของฟิล์มน้ำมันเพื่อรองรับโหลดมากกว่า

**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. In the experiment, the engine speed is varied to be

1000, 1500, 2000, 2500 and 3000 rpm. respectively, and the engine-load is added to be 1, 2, 3 and 4 Kg.m included no load.

The experimental results shows that at the maximum pressure and the maximum temperature occur at the minimum oil film thickness. When speed and load increase, the temperature increase gradually, and these effect to reduce viscosity, friction and the oil film thickness, so the load carrying capacity decrease. 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 thickness and pressure of lubricant with P.I.B additive oil film are more than of conventional oil film, Therefore it can carry higher load than conventional lubricant.

### บทนำ

ในเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์แหวนลูกสูบ และกระบอกสูบเป็นส่วนสำคัญที่เกิดการเสียดสี ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานแหวนลูกสูบจะเป็นตัวซีล (seal) กระบอกสูบเพื่อป้องกันน้ำมันไหลเข้าไปในกระบอกสูบ ขณะเกิดการเผาไหม้ นอกจากนี้แหวนลูกสูบ และกระบอกสูบยังเป็นส่วนสำคัญในการให้กำลังของเครื่องยนต์ และลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เพราะถ้าแหวนลูกสูบและกระบอกสูบเกิดการสึกหรอ ย่อมหมายถึงกำลังที่ส่งออกมาขณะที่เกิดการเผาไหม้จะลดลงนอกจากนี้ยังทำให้มีน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วน ซึมออกมาจากห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองอย่างไม่จำเป็นนอกจากนี้ยังทำให้เกิดควันพิษที่สร้างมลภาวะ และส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง การทดลองนี้จึงศึกษาถึงสมรรถนะของน้ำมันหล่อลื่นที่จะช่วยลดการสึกหรอของแหวนลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ โดยการเติมสาร P.I.B ลงไปในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น, มีความดันของฟิล์มน้ำมันและความหนาของฟิล์มน้ำมันเพื่อรองรับโหลดเพิ่มขึ้น

### ทฤษฎีการหล่อลื่นแบบนัวโตเนียน (Non-newtonian)

น้ำมันหล่อลื่นทุกชนิดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันดังกล่าวลดลง แต่เมื่อเติมสาร P.I.B (Polyisobutylene) เข้าไปจะทำให้มีน้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดเพิ่มขึ้น, มีคุณสมบัติเป็นของเหลวแบบนัวโตเนียน และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

ในขณะที่เครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์ทำงาน ภายในกระบอกสูบจะมีฟิล์มน้ำมันช่วยในการหล่อลื่น และช่วยป้องกันการสึกหรอระหว่างกระบอกสูบกับแหวนลูกสูบ ทำให้เกิดการกระจายความดันภายในฟิล์มน้ำมัน ซึ่งสามารถอธิบายโดยสมการต่อไปนี้

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นแบบนิวโตเนียน จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear strain rate ตามสมการ (1)

$$\tau + K\tau^3 = \mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1)$$

$\tau$  คือ shear stress.

$\mu$  คือ viscosity of fluid

$K$  คือ nonlinear coefficient of Non-newtonian fluid

$\frac{\partial u}{\partial x}$  คือ shear strain rate

สมการแสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมัน

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{12} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\delta h^6}{80} \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right)^3 \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{h^3}{12} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\delta h^6}{80} \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right)^3 \right\} = \frac{(u_1 - u_2)}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{h}{2} \frac{\partial (u_1 + u_2)}{\partial x} + V \quad (2)$$

ประยุกต์สมการ (2) ในการแสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ มอเตอร์ไซค์ ใน 1 มิติจะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{12} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\delta h^6}{80} \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right)^3 \right\} = \frac{(u_1 - u_2)}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + V \quad (3)$$

ความดันของฟิล์มน้ำมันแสดงตามนี้

$$P = P_0 + \delta P_1 \quad (4)$$

นำสมการ (4) แทนในสมการ (3) เมื่อ  $\delta = 0$  สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเป็นแบบ นิวโตเนียนจะได้สมการ (5)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{h^3}{12} \frac{\partial P_0}{\partial x} \right\} = \frac{(u_1 - u_2)}{2} \frac{\partial h}{\partial x} + V \quad (5)$$

และเมื่อ  $\delta$  ใดๆ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\delta b^3}{12} \frac{\partial p_1}{\partial x} + \frac{\delta b^5}{80} \left[ \left( \frac{\partial p_0}{\partial x} \right)^3 + 3\delta \left( \frac{\partial p_0}{\partial x} \right)^2 \left( \frac{\partial p_1}{\partial x} \right) + 3\delta^2 \left( \frac{\partial p_0}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial p_1}{\partial x} \right)^2 + \delta^3 \left( \frac{\partial p_1}{\partial x} \right)^3 \right] \right\} = 0 \quad (6)$$

$h$  คือความหนาของฟิล์มน้ำมัน

$\delta$  คือ nonlinear factor

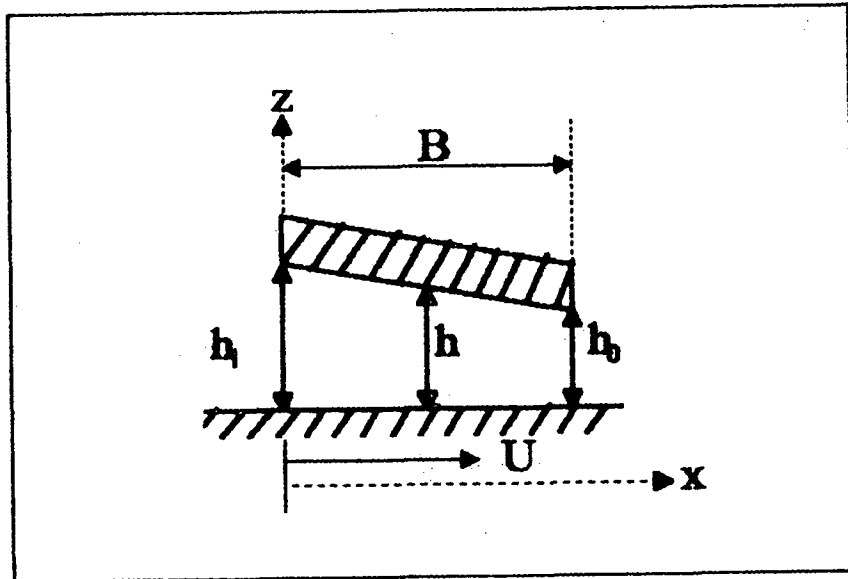
$U_1, U_2$  คือความเร็วของฟิล์มน้ำมันที่เข้าและออกจากแหวนลูกสูบตามลำดับ

$V$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มน้ำมันต่อเวลา

$P_0, P_1$  คือความดันย่อยของฟิล์มน้ำมัน

$P$  คือความดันของฟิล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์หาความหนาของฟิล์มน้ำมัน



รูปที่ 1 แสดงการหาความหนาของฟิล์มน้ำมัน

สมการแสดงความหนาของฟิล์มน้ำมัน

$$h = h_1 - \left( h_1 - h_0 \right) \frac{x}{B} \quad (7)$$

$h_1$  คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ทางเข้า

$h_0$  คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ทางออก

$h$  คือความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ต้องการหา

$B$  คือความกว้างของแหวนลูกสูบ

$X$  คือระยะทางบนกระบอกสูบ

สมการพลังของฟิล์มน้ำมันใน 1 มิติ

$$\rho C_V \left\{ \left( \frac{bV}{2} - \frac{b^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right\} = \frac{\mu V^2}{b} + \frac{b^3}{12\mu} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \right)^2 \quad (8)$$

$\rho$  คือความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่น

$C_V$  คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมันหล่อลื่น

$T$  คืออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น

วิธีการทดลอง

1 ติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 2, 3

2 ป้อนน้ำมันหล่อลื่นแบบธรรมดา และที่ผสมสาร P.I.B 0.3%, 1% และ 2% เข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์

3 เพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์มอเตอร์ไซค์เป็น 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm. ตามลำดับ พร้อมทั้งเพิ่มโหลดเป็น 1, 2, 3, และ 4 Kg.m

4 วัดการกระจายความดัน, อุณหภูมิ และความหนาของฟิล์มน้ำมันแล้วบันทึกผลการทดลอง

5 นำผลการทดลองที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงการกระจายความดัน, อุณหภูมิและความหนาของฟิล์ม โดยการเปรียบเทียบที่การเปลี่ยนแปลงโหลด, ส่วนผสมของสาร P.I.B และความเร็วรอบ

### ผลการทดลอง

รูปที่4, รูปที่5, รูปที่6 แสดงการกระจายความดัน, อุณหภูมิ, ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% โดยที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 3000 rpm. ในการทดลองนี้จะทดลองแบบไม่มีโหลดและมีโหลด โดยเปลี่ยนโหลดเป็น 1, 2, 3 และ 4 Kg.m ตามลำดับ จะทำให้ได้กราฟที่ซ้อนกันตามความแตกต่างกันของ โหลด

รูปที่7, รูปที่8, รูปที่9 แสดงการกระจายความดัน, อุณหภูมิ, ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่โหลด 4 Kg.m และเครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 3000 rpm. ในการทดลองใช้น้ำมันหล่อลื่นแบบธรรมดา และน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B 0.3%, 1% และ 2% แล้วนำผลที่ได้มาเขียนกราฟตามความแตกต่างของสาร P.I.B

รูปที่10, รูปที่11, รูปที่12 แสดงการกระจายความดัน, อุณหภูมิ, ความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% และมีโหลด 4 Kg.m โดยในการทดลองจะมีการเปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm. ตามลำดับ จะทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งซ้อนกันตามความแตกต่างกันของความเร็วรอบ

### สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากรูปที่ 4, 5 และ 6 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มโหลดมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นมีความดัน, อุณหภูมิสูงขึ้น และความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลง

จากรูปที่7, 8 และ 9 สรุปได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของสาร P.I.B มากจะสามารถสร้างความดันในฟิล์มน้ำมันได้สูง, มีอุณหภูมิสูงและความหนาของฟิล์มน้ำมันเพื่อรองรับโหลดสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของสาร P.I.B น้อย

จากรูปที่10, 11 และ 12 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ความดันในฟิล์ม น้ำมัน และอุณหภูมิสูงขึ้น และความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลง

จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าจุดที่เกิดความดันสูงสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุด และมีความหนาของฟิล์มน้ำมันต่ำสุด ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นที่ผสมสาร P.I.B สามารถช่วยป้องกันการสึกหรอและรับโหลดได้มากขึ้น, สืบเนื่องจากความหนาของฟิล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันอุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่โหลดและความเร็วรอบเท่ากัน เนื่องจากสาร P.I.B ที่ผสมเข้าไปทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดและแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยรักษาความหนืดได้ดีในขณะที่อุณหภูมิสูง เพราะความหนืดจะลดลงเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

## เอกสารอ้างอิง

- 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 the lubrication properties of the piston ring and cylinder of engine, and calculation of lubrication and power loss analysi sof piston-ring pack of a S195 diesel engine. " Lubrication Science v4 n4 Jul 1992 p263-276
- 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. ฮิโรมุ ฮาชิโมโตะ " ทฤษฎีการหล่อลื่น " (1993)
- 7 JAMES W. DALLY. ;WILLIAM F. RILEY . ;NENNETH G. MCCONNELL " Instrumentation for engineering measurements. " (1983)

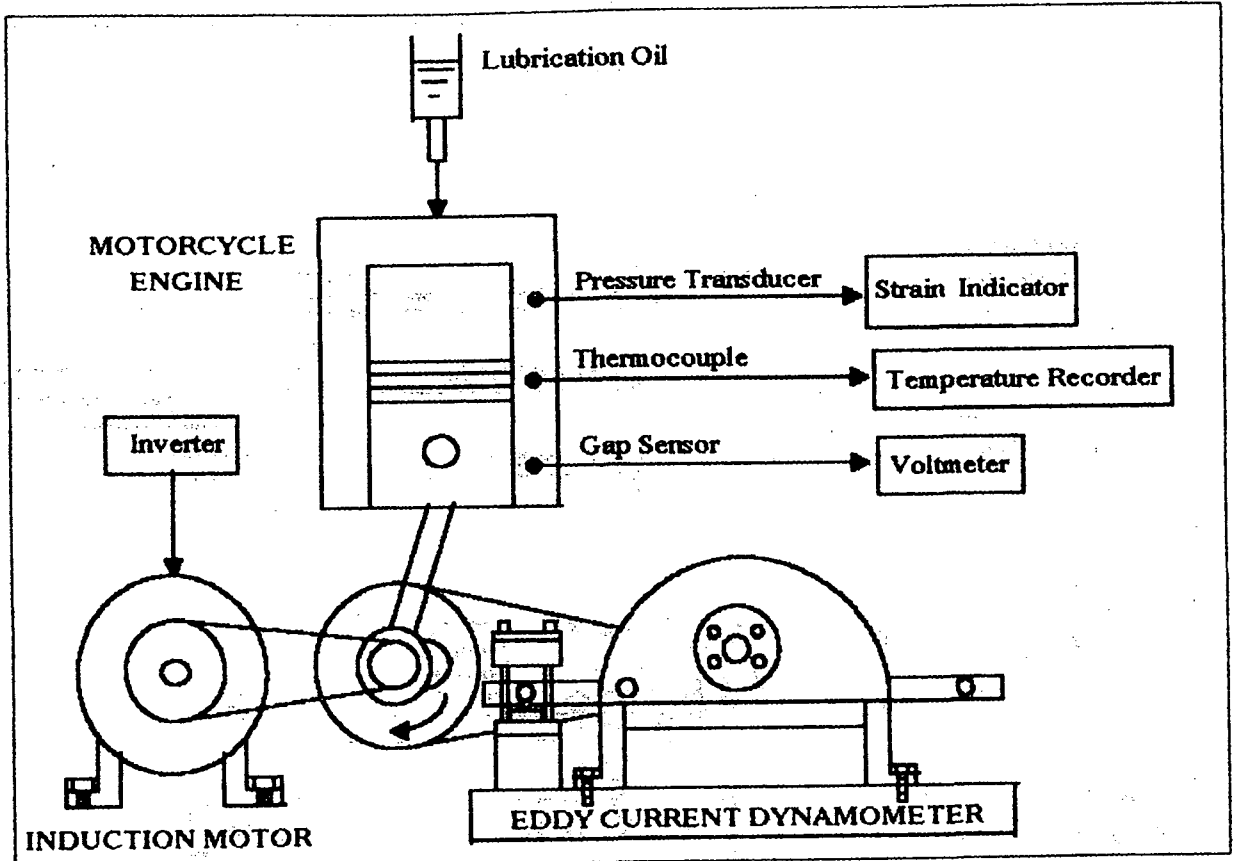


Fig.2 Experimental Setup

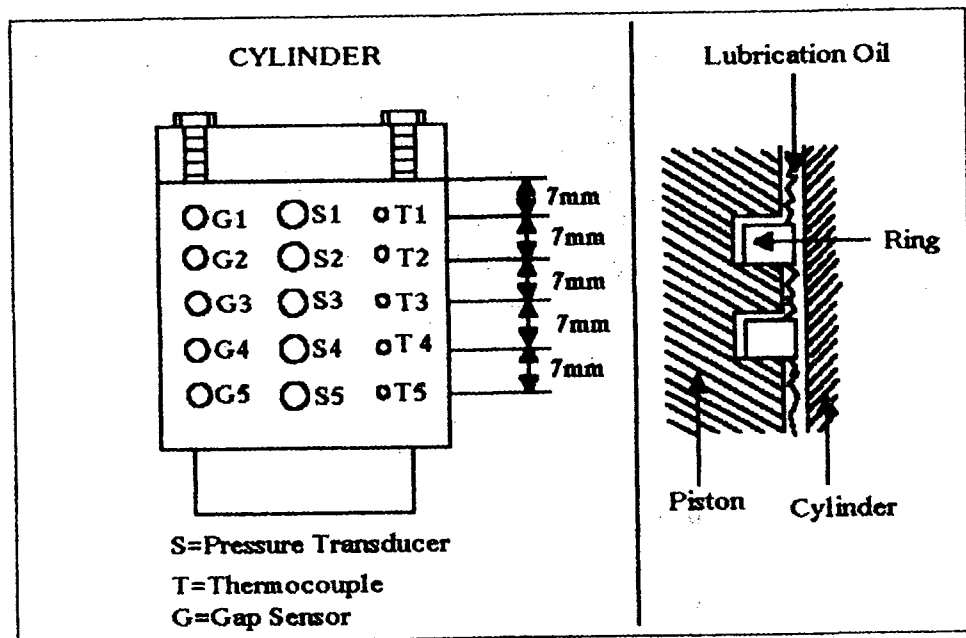


Fig.3 Installation of Pressure Transducers, Thermocouples and Gap Sensors



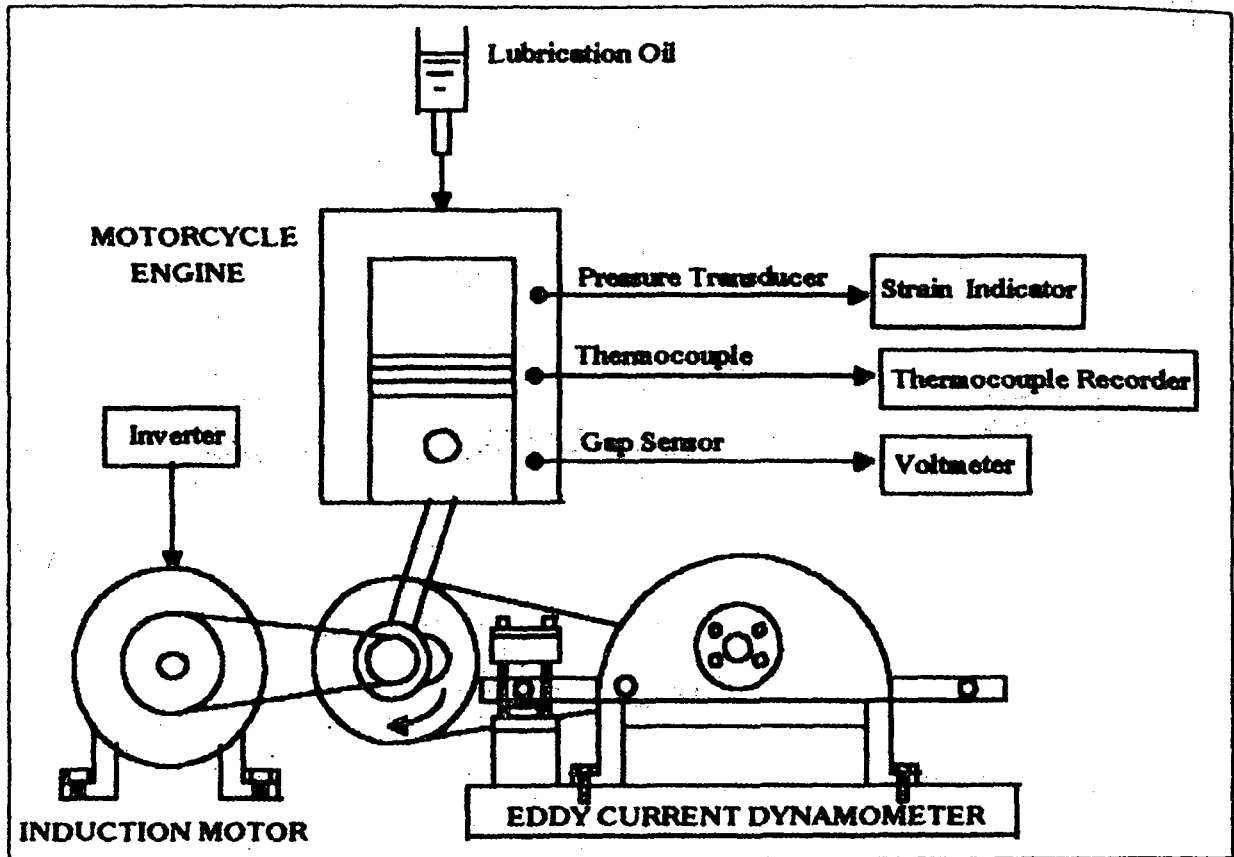


Fig.2 Experimental Setup

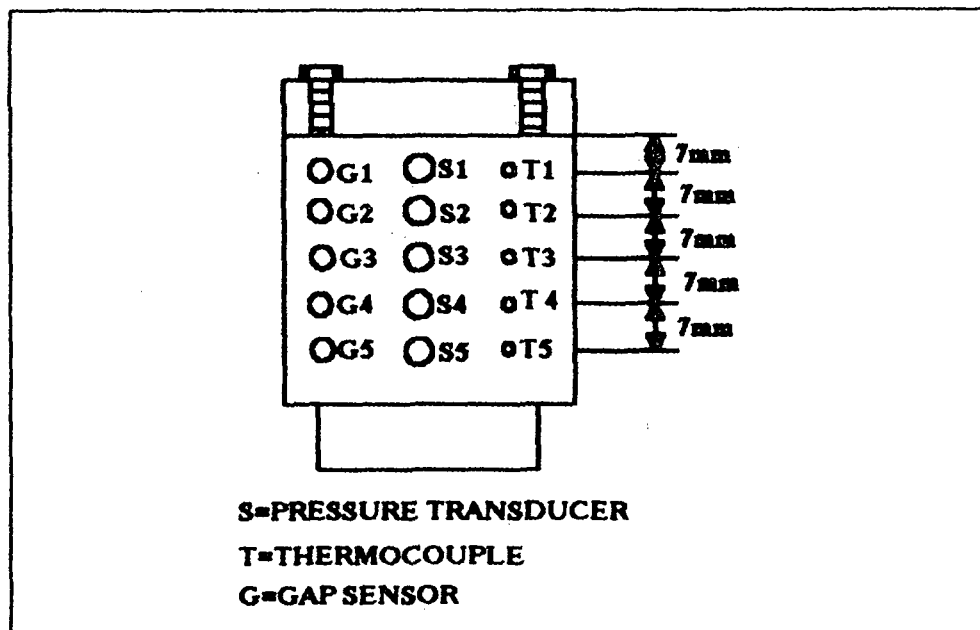
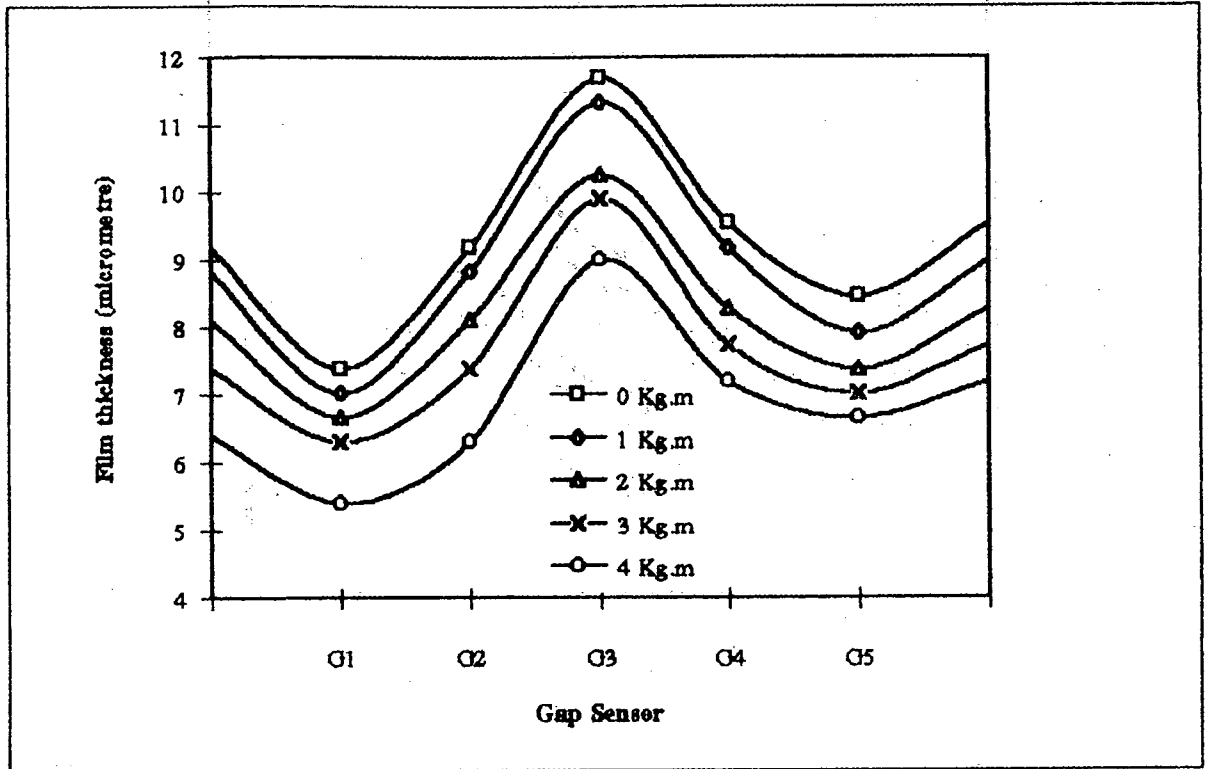
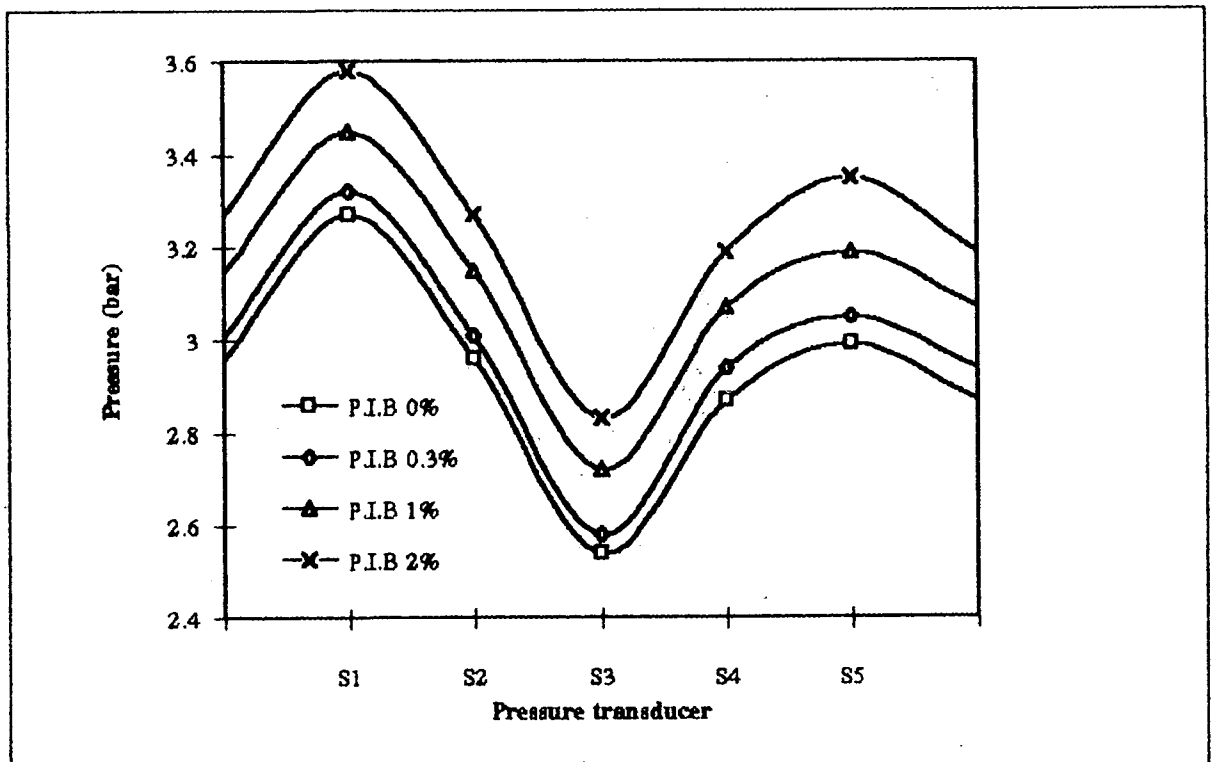


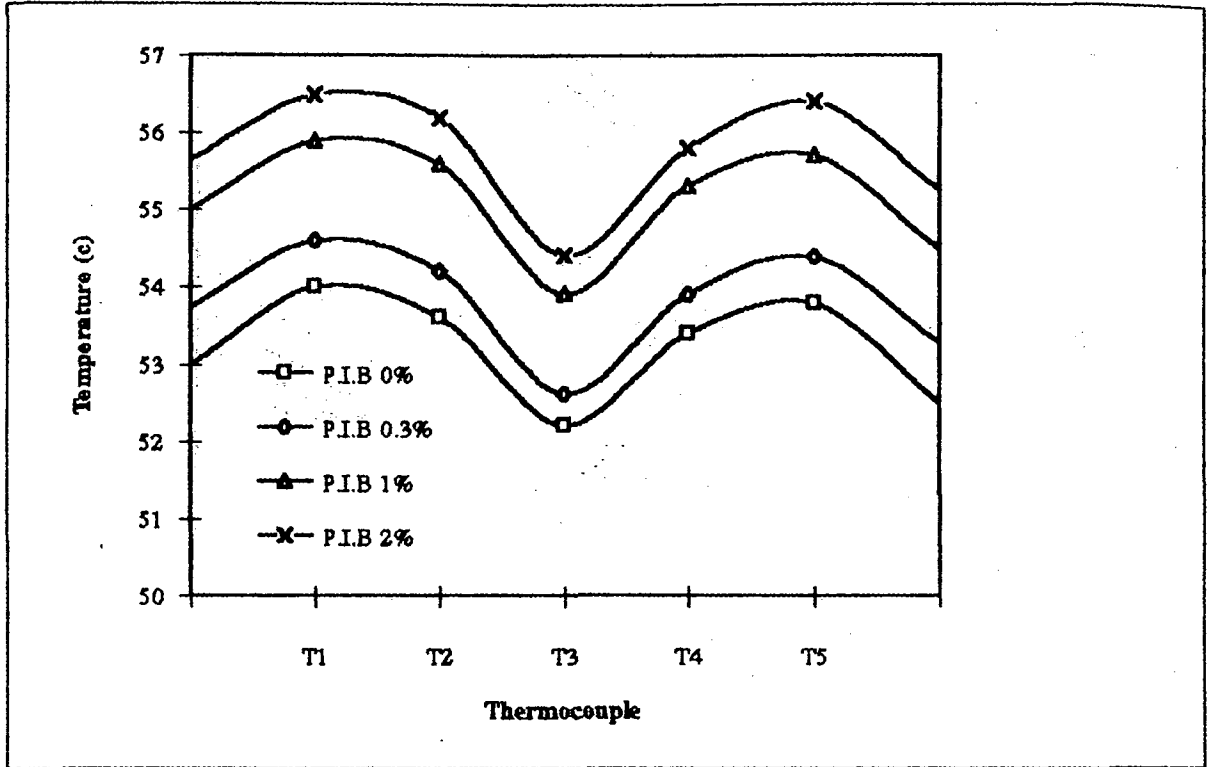
Fig.3 Installation of Pressure Transducers, Thermocouples and Gap Sensors



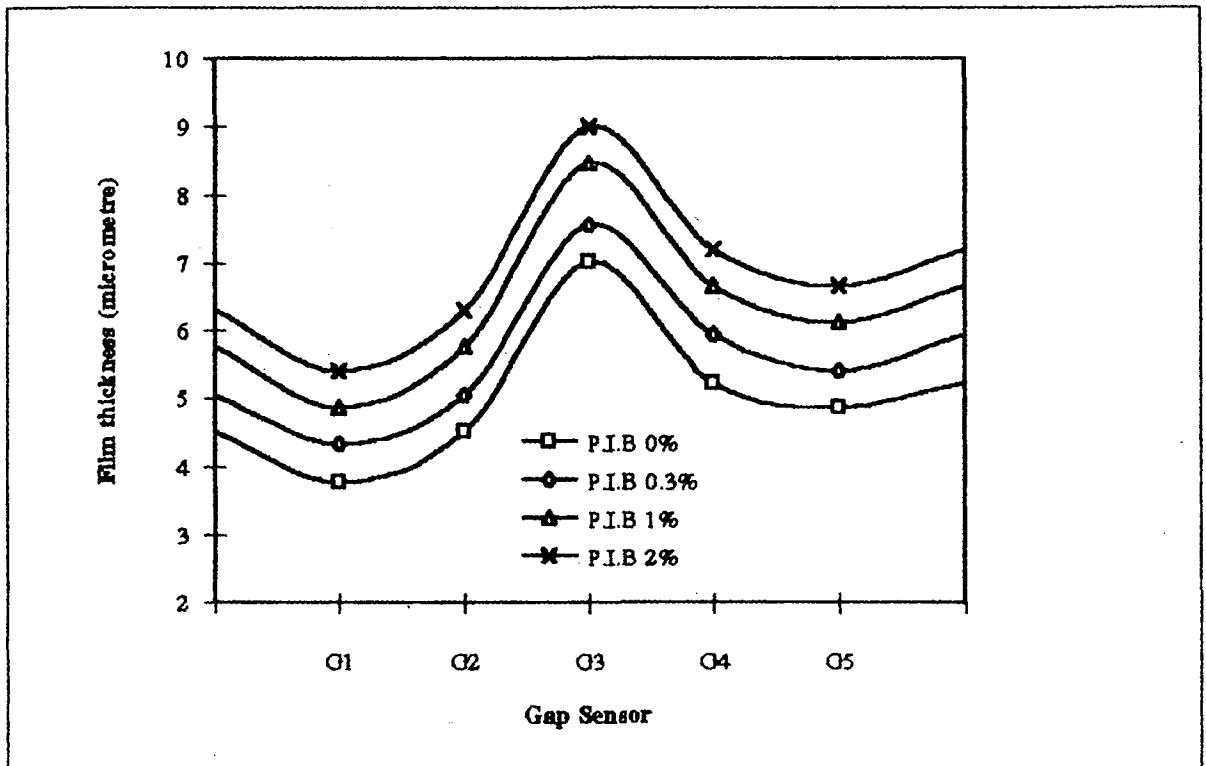
รูปที่ 6 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.



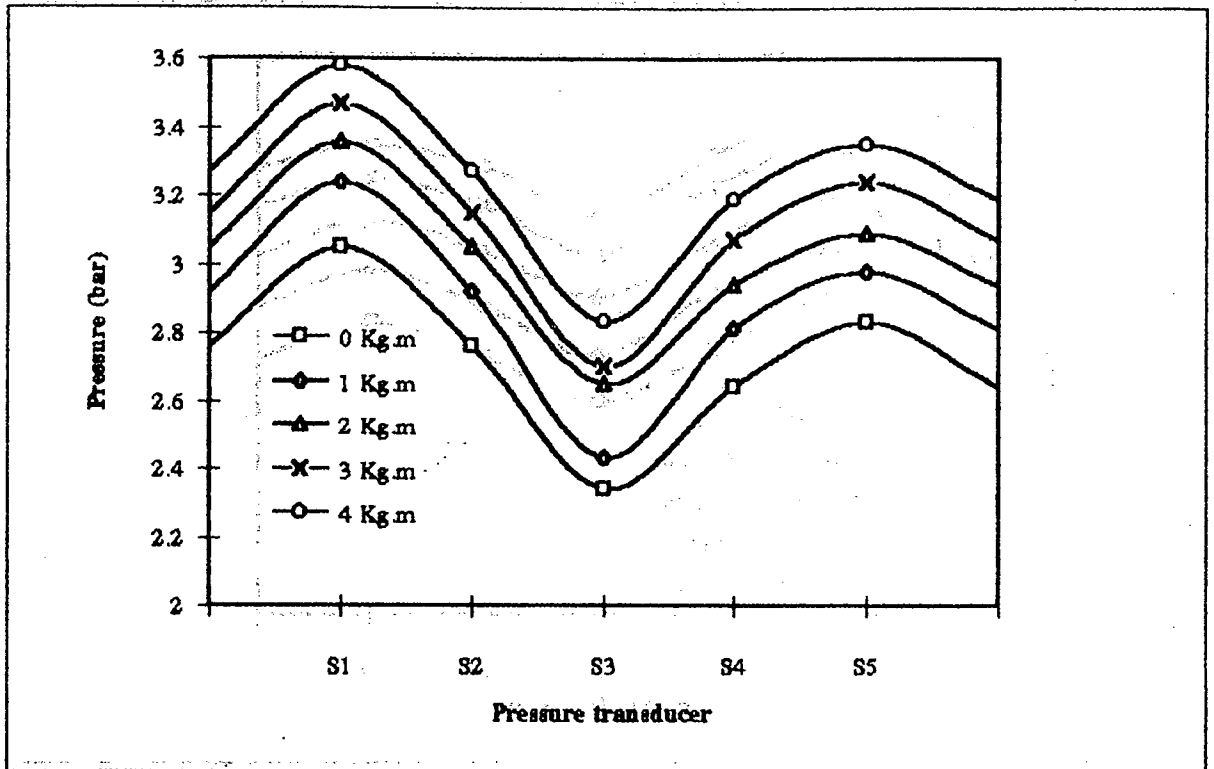
รูปที่ 7 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่โหลด 4 Kg.m และความเร็วรอบ 3000 rpm.



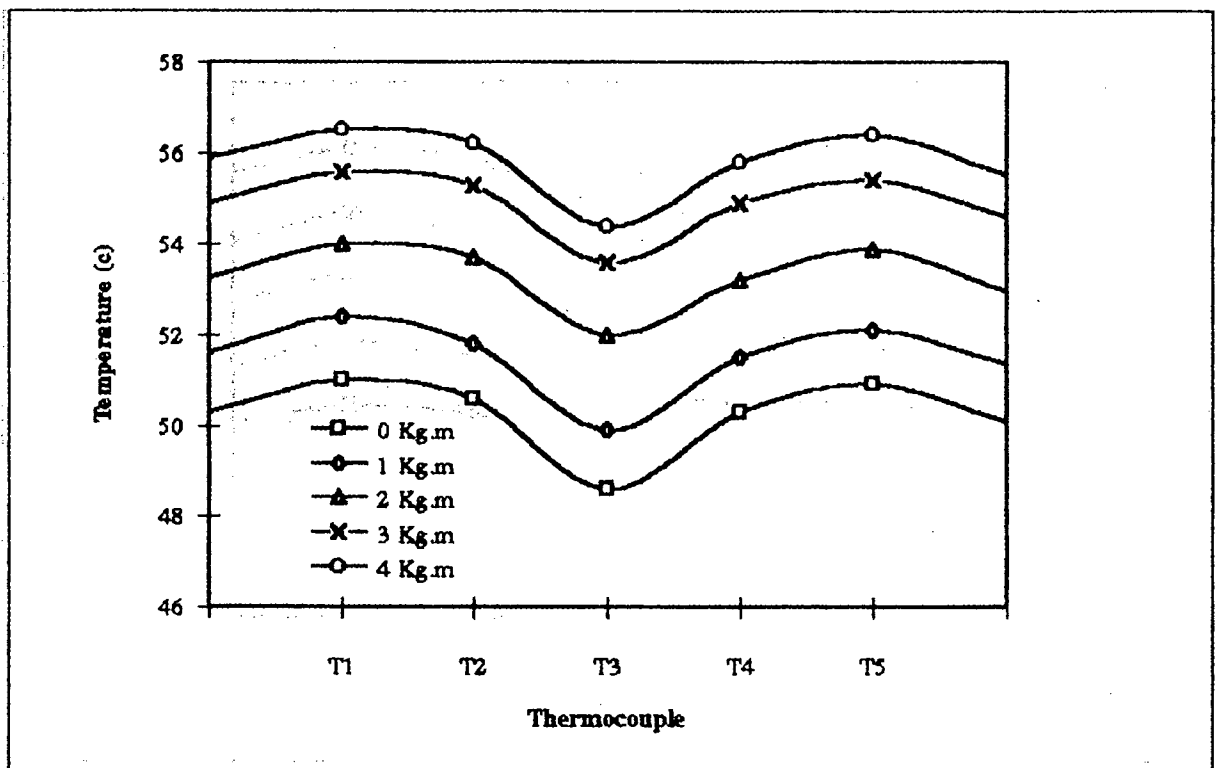
รูปที่ 8 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่โหลด 4 Kg.m และความเร็วรอบ 3000 rpm.



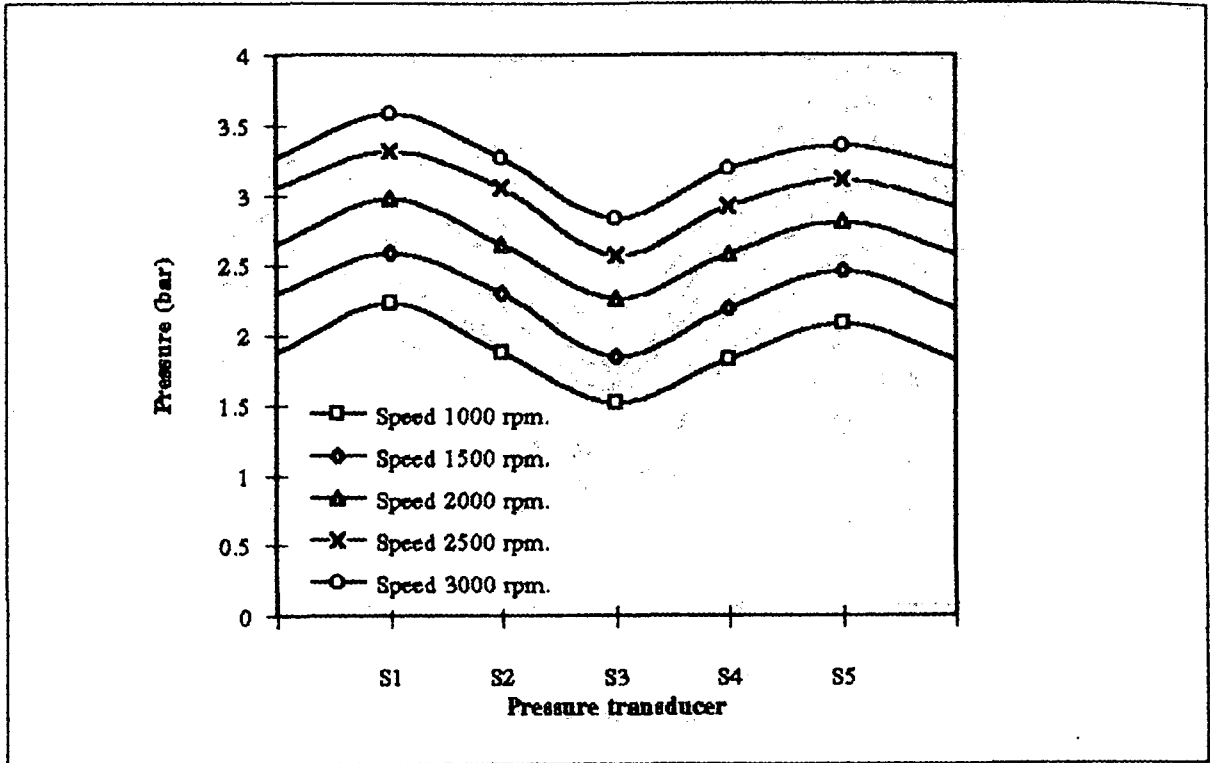
รูปที่ 9 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่โหลด 4 Kg.m และความเร็วรอบ 3000 rpm.



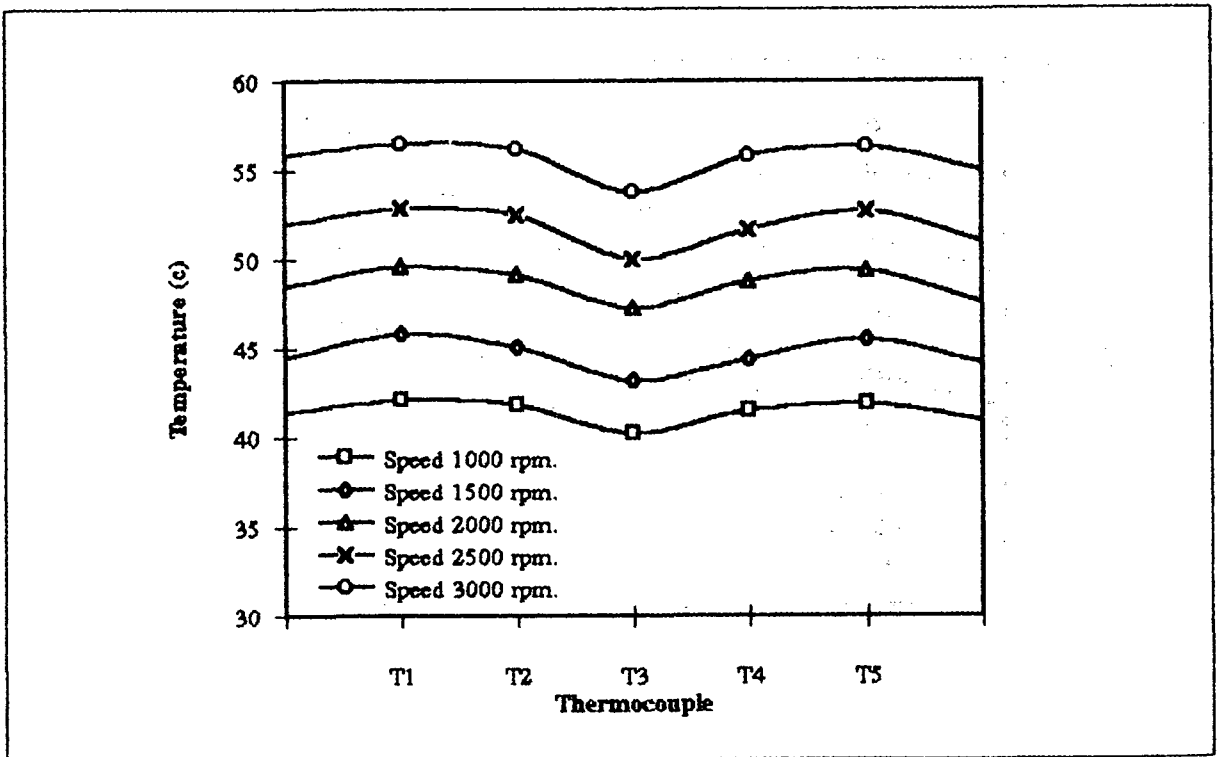
รูปที่ 4 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.



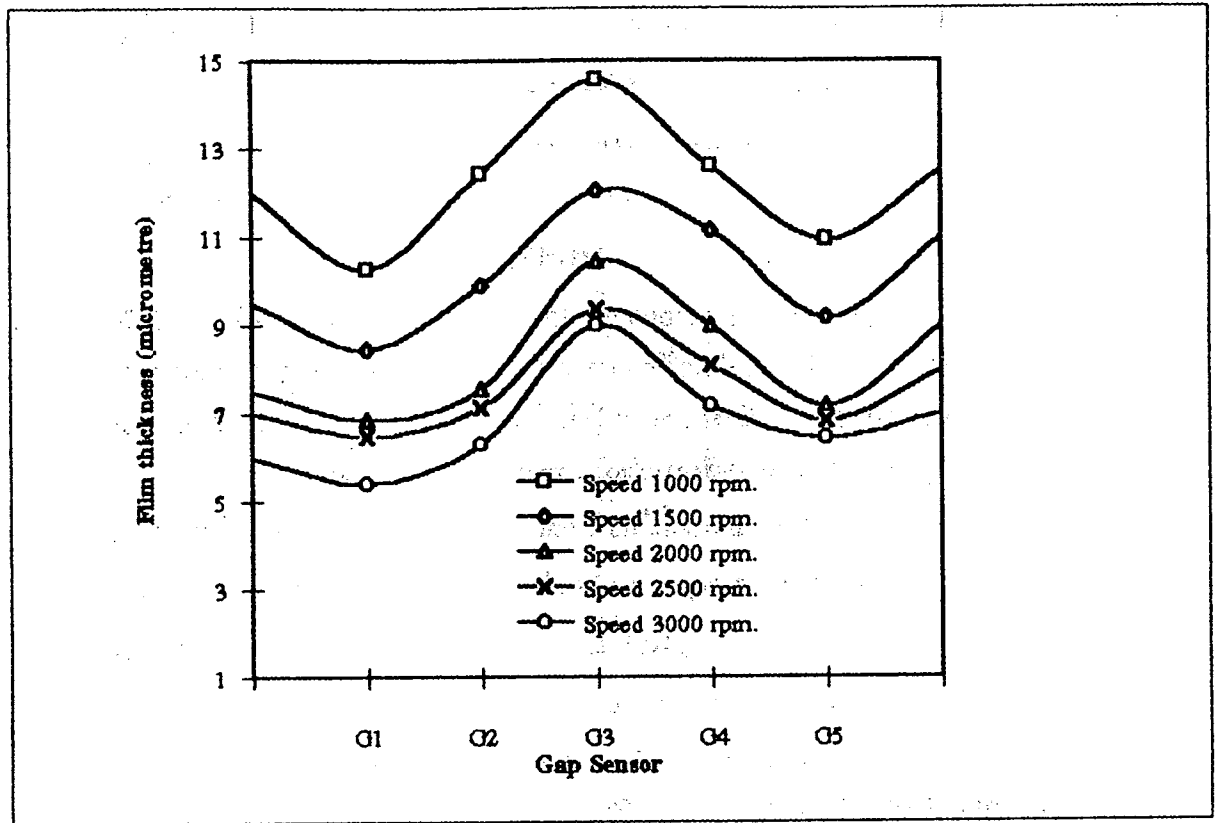
รูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm.



รูปที่ 10 แสดงการกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% และโหลด 4 Kg.m



รูปที่ 11 แสดงการกระจายอุณหภูมิของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% และโหลด 4 Kg.m



รูปที่ 12 แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มน้ำมันที่ผสมสาร P.I.B 2% และโหลด 4 Kg.m