

ปีการศึกษา 2535

การศึกษาพฤติกรรมของเจอร์นอลแมริง

โดย

นายพิรพงษ์	เยี่ยมเรือสัจดี	321218
นายสมเกียรติ	จิระโกนทัย	321359
นายอุทัย	พรหมวงษ์	321429

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมของเจอร์นอลแบร์ริง

ผู้จัดทำ

1. นายพิรพงษ์ เอี่ยมเชื้อสวัสดิ์
2. นายสมเกียรติ จิระโณทัย
3. นายอุทัย พรหมวงษ์



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. มงคล มงคลวงษ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาพฤติกรรมของเจอร์นอลแบร์ริง

พีรพงษ์ เอี่ยมเชื้อสวัสดิ์

สมเกียรติ จิระโณทัย

อุทัย พรหมวงษ์

ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ปรึกษา

ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมทางสถิตยศาสตร์ของเจอร์นอลแบร์ริงในลักษณะการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อพฤติกรรมของเจอร์นอลแบร์ริงโดยจะใช้แบร์ริงที่มีมุม 180 องศาและมีค่า $l/d = 1$ ในการทดลองได้ศึกษาถึงผลของความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นชนิด SAE10 SAE40 และผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ ที่สภาวะไหลแตกต่างกันโดยได้บันทึกผลจากการทดลองแล้วนำไปเขียนกราฟ การกระจายความดัน, การกระจายอุณหภูมิและทั้งนี้ได้วัดความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นเพื่อคำนวณหาค่า Minimum Film Thickness และ Attitude angle ทำให้สามารถเขียนกราฟระหว่างค่า Eccentricity ratio กับค่า Sommerfeld Number และกราฟระหว่าง Eccentricity ratio กับ Attitude angle ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงสมรรถนะของเจอร์นอลแบร์ริง

ในการทดลองนี้ได้พัฒนา Pressure Transducer ให้มีความแม่นยำ สำหรับวัดการกระจายความดัน การวัดการกระจายอุณหภูมิได้ใช้ Thermocouple ชนิด Type K (chomel Alumel) ส่วนการวัดความหนาของฟิล์มน้ำมันใช้ Gap Sensor รุ่น AEC - 5505

จากผลการทดลองทำให้ทราบถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อผลต่อพฤติกรรมทางสถิตยศาสตร์ของเจอร์นอลแบร์ริง

EXPERIMENTAL STUDIES ON CHARACTERISTIC OF JOURNAL BEARING

PEERAPONG EIAMCHAUSAWAD
SOMKIAT JIRANOTHAI
UTHAI PROMWONG
DR.MONGKHOL MONGKHOLWONGROJ ADVISOR

1992

Abstract

This thesis presents the study about static characteristic of journal bearing by experimental method. Objective is to study the effect of the parameters to journal bearing which have bearing angle 180 degree and $l/d = 1$. In experimental study the effect of viscosity of Newtonian lubricants(oil) SAE10 SAE40 by varying of motor speed and loads. Experimental results are presented in the form of pressure distribution and temperature distribution, and also measure lubricants (oil) film thickness to calculate minimum film thickness and attitude angle. It capable to plot graph of Eccentricity ratio with Sommerfeld number and Eccentricity ratio with Attitude angle which are illustrate the performance of journal bearing.

Pressure transducer is also developed with high precision for measuring pressure distribution. Measurement in temperature distribution use Thermocouple Type K (chromel and alumel) and measurement of lubricator(oil) film thickness use Gap Sensor.

From experimental results show the effect of parameters to static characteristic of journal bearing.

สารบัญ

หน้าที่

บทที่ 1	บทนำ	1
	ทฤษฎีของเจอร์นอลแบริง	
บทที่ 2	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	9
บทที่ 3	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	35
บทที่ 4	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	61
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เจอร์นอลแบร์ริงเป็นแบร์ริงซึ่งมีลักษณะเป็นปลอกหุ้มเพลลาไว้ ระหว่างผิวสัมผัสของเพลลา กับแบร์ริงจะเป็นสารหล่อลื่น การไหลของสารหล่อลื่นจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมของแบร์ริงชนิดนี้ ในการใช้งานเจอร์นอลแบร์ริงส่วนมากจะใช้สำหรับงานที่ต้องการรับภาระมาก ๆ และความรอบสูง เช่น ใช้ใน Gas Turbine เครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม หรือในเครื่องยนต์ ดังนั้นการศึกษาถึงพฤติกรรมของเจอร์นอลแบร์ริงจึงมีประโยชน์อย่างมาก

1.1 Reynold Lubrication Equation

พิจารณการไหลของของเหลวระหว่างผิวสัมผัสสองผิวที่เคลื่อนที่สัมผัสกันดังรูป 1.1 โดยมีข้อสมมุติฐานดังนี้

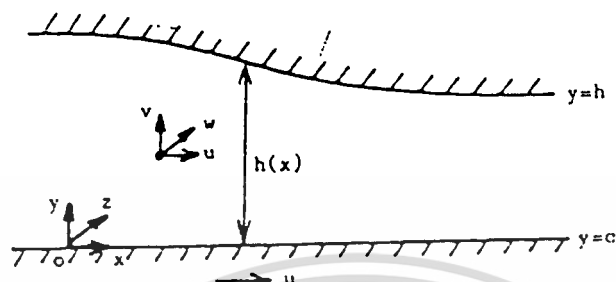
- (1) ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วงและแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า
- (2) ฟิล์มของเหลวบางมากดังนั้นจะไม่มี Pressure Variation ตามแกน y
- (3) ของเหลวเป็นแบบ Newtonian
- (4) การไหลของของเหลวเป็นแบบ Laminar
- (5) ไม่คิดค่า Compressibility
- (6) ไม่คิดค่า Fluid Inertia
- (7) ไม่มีการไหลของของเหลวที่ผิวสัมผัส
- (8) ความโค้งของผิวสัมผัสมีค่ามากกว่าความหนาของฟิล์มของเหลวมาก
- (9) ความหนืดของของเหลวจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ หรือเปลี่ยนตามตำแหน่ง คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

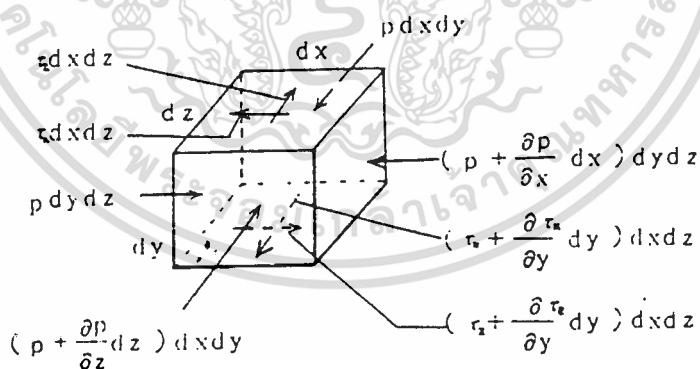
เมื่อคิดว่าฟิล์มของเหลวบางมากเราจะสมมติให้

$$\mu(\tau) = \mu(x, z) ; v = 0 \quad (1.1)$$



รูป 1.1

ภายใต้สมมติฐานดังกล่าวค่า Viscous Shear Stress และค่าแรงดันที่กระทำต่อ Control Volume จะเป็นดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคิดสมดุคยแรงในแนวแกน X

$$p \, dydz - (p + \partial p / \partial x \cdot dx) \, dydz = \tau_x dx dz - (\tau_x + \partial \tau_x / \partial y \cdot dy) \, dx dz$$

จากสมการข้างบนจะได้

$$\partial p / \partial x = \partial \tau_x / \partial y \quad (1.2a)$$

เช่นเดียวกันในแนวแกน z จะได้

$$\partial p / \partial z = \partial \tau_z / \partial y \quad (1.2b)$$

เมื่อของเหลวเป็น Newtonian Fluid

$$\tau_x = \mu \partial u / \partial y \quad (1.3)$$

$$\tau_z = \mu \partial w / \partial y$$

u และ w คือ องค์ประกอบของความเร็วของของเหลวตามแกน x และ z ตามลำดับ แทนค่าสมการ (1.3) ลงในสมการ (1.2a) และ (1.2b) จะได้

$$\partial^2 u / \partial y^2 = 1 / \mu \partial p / \partial x \quad (1.4)$$

$$\partial^2 w / \partial y^2 = 1 / \mu \partial p / \partial z$$

ตามสมมุติฐานข้อ (2) อินทิเกรตสมการ (1.4)

$$u = (1/2\mu) \frac{\partial p}{\partial x} * y^2 + C_1 y + C_2 \quad (1.5)$$

$$w = (1/2\mu) \frac{\partial p}{\partial z} * y^2 + C_3 y + C_4$$

ค่าคงที่ c_1, c_2, c_3, c_4 ได้จาก Boundary Condition ตามรูป 1.1 ดังนี้

$$u = U, w = 0 \text{ ที่ } y = 0$$

$$u = 0, w = 0 \text{ ที่ } y = h$$

แทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (1.5) จะได้

$$C_1 = (-h/2\mu * \frac{\partial p}{\partial x}) - U/h, \quad C_2 = U$$

$$C_3 = (-h/2\mu * \frac{\partial p}{\partial z}), \quad C_4 = 0$$

นำค่าคงที่ที่ได้แทนลงในสมการ (1.5)

$$u = (1/2\mu) \frac{\partial p}{\partial x} (y^2 - hy) + U(h-y)/h \quad (1.6a)$$

$$w = (1/2\mu) \frac{\partial p}{\partial z} (y^2 - hy) \quad (1.6b)$$

จากข้อสมมุติฐานว่าความหนาแน่นไม่เปลี่ยนแปลง จะได้สมการสมดุลของอัตราการใช้
ผ่าน Control Volume ดังนี้

$$u dy dz + v dx dz + w dx dy$$

$$= (u + \partial u / \partial x * dx) dy dz + (v + \partial v / \partial y * dy) dx dz + (w + \partial w / \partial z * dz) dx dy$$

จากสมการข้างบนจะได้

$$\partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial w / \partial z = 0 \quad (1.7)$$

อินทิเกรตสมการ (1.7) ตลอดความหนาของฟิล์มของเหลว

$$\int_0^h dv = - \int_0^h (\partial u / \partial x + \partial w / \partial z) dy$$

เนื่องจากเราสมมุติว่า $v = 0$ ดังนั้น

$$0 = \int_0^h (\partial u / \partial x + \partial w / \partial z) dy \quad (1.8)$$

แทนค่า u และ w ในสมการ (1.6) ลงในสมการ (1.8)

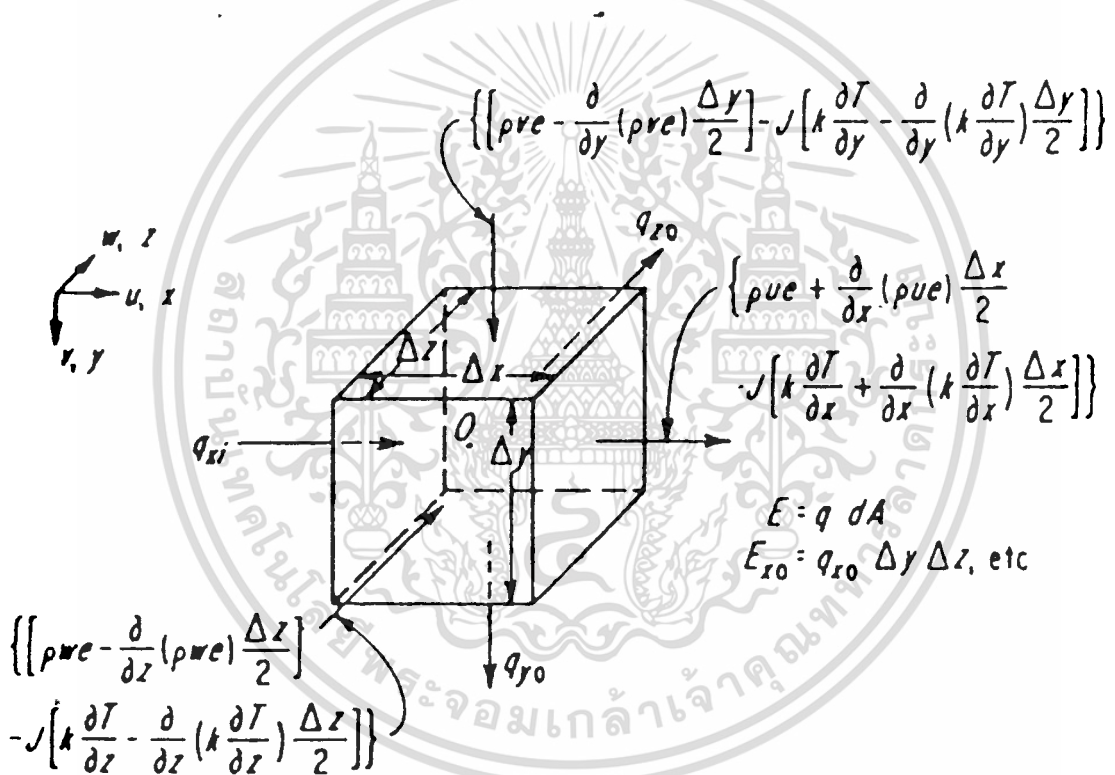
$$0 = \int_0^h \partial / \partial x [(1/2 \mu) \partial p / \partial x * (y^2 - hy) + U(h-y)/h] dy \\ + \int_0^h \partial / \partial z [(1/2 \mu) \partial p / \partial z * (y^2 - hy)] dy \quad (1.9)$$

จากการอินทิเกรตสมการข้างบนจะได้ The Reynold Lubrication equation

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} [h^3/\mu * \frac{\partial p}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial z} [h^3/\mu * \frac{\partial p}{\partial z}] \\ = 6U dh/dx + 6h du/dx + 12V \end{aligned} \quad (1.10)$$

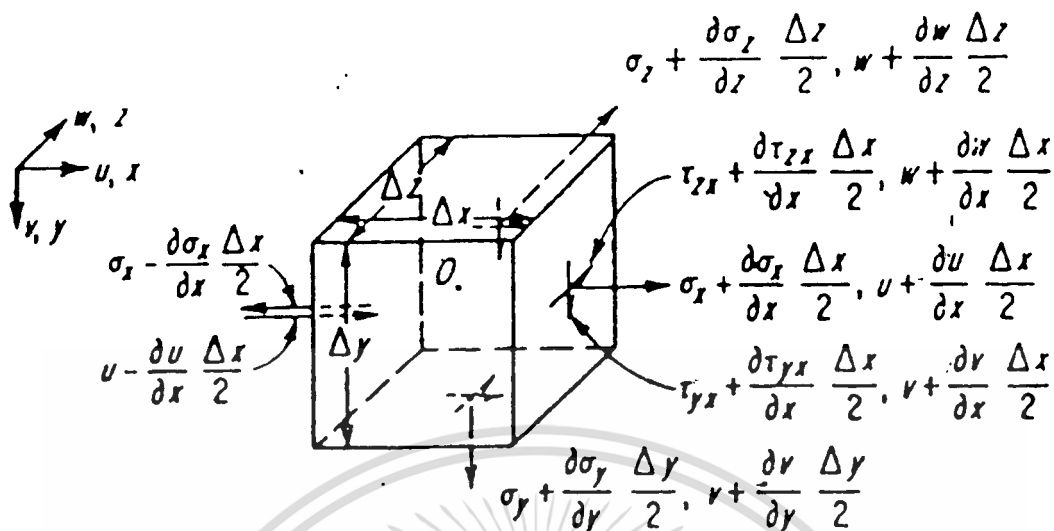
1.2 Energy equation

ในการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิ จะใช้หลักการคงที่ของพลังงานของ Control Volume เล็ก ๆ ของฟิล์มน้ำมันภายในสภาวะคงตัวปริมาณต่าง ๆ จะเป็นตามรูป 1.3.



(a) Transported Energy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) Mechanical Energy

รูป 1.3 งานและพลังงานต่าง ๆ ที่ถ่ายเทผ่าน Control Volume

สมการพลังงานเขียนได้ดังนี้

$$E_o - E_i = H_{do} - H_{db} \quad (1.11)$$

E_i = พลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่ Control Volume

E_o = พลังงานที่ออกจาก Control Volume

H_{do} = งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อ Control Volume

H_{db} = งานที่ทำโดย Control Volume ต่อ สิ่งแวดล้อม

ตามรูป 1.3a

$$\begin{aligned}
 E_o - E_i &= \{ [(\partial p_{ue}/\partial x) + (\partial p_{ve}/\partial y) + (\partial p_{we}/\partial z)] \\
 &\quad - J [\partial/\partial x (k\partial T/\partial x) + \partial/\partial y (k\partial T/\partial y) + \partial/\partial z (k\partial T/\partial z)] \} \Delta x \Delta y \Delta z
 \end{aligned} \tag{1.12}$$

คือ พลังงานภายในโดย

$$e = \frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} + J C_v T \tag{1.13}$$

และตามรูป 1.3b

$$\begin{aligned}
 H_{do} - H_{db} &= [\partial/\partial x (u\sigma_x + v\tau_{yx} + w\tau_{zx}) + \partial/\partial y (u\tau_{xy} + v\sigma_y + w\tau_{zy}) \\
 &\quad + \partial/\partial z (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\sigma_z)] \Delta x \Delta y \Delta z
 \end{aligned} \tag{1.14}$$

แทนค่าสมการ (1.12) และ (1.14) ในสมการ (1.11)

$$\begin{aligned}
 &\rho [u(\partial e/\partial x) + v(\partial e/\partial y) + w(\partial e/\partial z)] \\
 &\quad - J [\partial/\partial x (k\partial T/\partial x) + \partial/\partial y (k\partial T/\partial y) + \partial/\partial z (k\partial T/\partial z)] \\
 &= u (\partial\sigma_x/\partial x + \partial\tau_{xy}/\partial y + \partial\tau_{xz}/\partial z) + v (\partial\tau_{yz}/\partial x + \partial\sigma_y/\partial y + \partial\tau_{zy}/\partial z) \\
 &\quad + w (\partial\tau_{zx}/\partial x + \partial\tau_{zy}/\partial y + \partial\sigma_z/\partial z) + (\sigma_x \partial u/\partial x + \sigma_y \partial v/\partial y + \sigma_z \partial w/\partial y) \\
 &\quad + \tau_{xy} (\partial u/\partial y + \partial v/\partial x) + \tau_{yz} (\partial v/\partial z + \partial w/\partial y) + \tau_{zx} (\partial w/\partial x + \partial u/\partial z)
 \end{aligned} \tag{1.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อคิดว่าผลของแรงโน้มถ่วงต่อฟิล์มของเหลวมีค่าน้อยมากดังนั้น

$$\begin{aligned} \rho(u\partial u/\partial x + v\partial u/\partial y + w\partial u/\partial z) &= \partial\tau_{xx}/\partial x + \partial\tau_{xy}/\partial y + \partial\tau_{xz}/\partial z \\ \rho(u\partial v/\partial x + v\partial v/\partial y + w\partial v/\partial z) &= \partial\tau_{yz}/\partial x + \partial\tau_{yy}/\partial y + \partial\tau_{yz}/\partial z \\ \rho(u\partial w/\partial x + v\partial w/\partial y + w\partial w/\partial z) &= \partial\tau_{zx}/\partial x + \partial\tau_{zy}/\partial y + \partial\tau_{zz}/\partial z \end{aligned} \quad (1.16)$$

แทนค่าสมการ (1.13) และ (1.16) ลงในสมการ (1.15) จะได้

$$\begin{aligned} J\rho[u\partial(c_v T)/\partial x + v\partial(c_v T)/\partial y + w\partial(c_v T)/\partial z] + \rho [\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z] \\ = J \left[\frac{\partial}{\partial x} (k\partial T/\partial x) + \frac{\partial}{\partial y} (k\partial T/\partial y) + \frac{\partial}{\partial z} (k\partial T/\partial z) \right] + \Phi \end{aligned} \quad (1.17)$$

โดย Φ คือ Dissipation Energy ดังนั้น

$$\begin{aligned} \Phi = \mu \left[2(\partial u/\partial x)^2 + 2(\partial v/\partial y)^2 + 2(\partial w/\partial z)^2 - 2/3 (\partial u/\partial x + \partial v/\partial y + \partial w/\partial z)^2 \right. \\ \left. + (\partial u/\partial y + \partial v/\partial x)^2 + (\partial v/\partial z + \partial w/\partial y)^2 + (\partial w/\partial x + \partial u/\partial z)^2 \right] \end{aligned} \quad (1.18)$$

เมื่อคิดว่าฟิล์มของเหลวนั้นบางมาก ดังนั้น ค่า Specific Heat (C_v) ถือว่าคงที่ สมการ (1.17) จะลดรูปเป็น

$$\begin{aligned} \rho J c_v (u\partial T/\partial x + v\partial T/\partial y + w\partial T/\partial z) = J \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (k\partial T/\partial x) + \frac{\partial}{\partial y} (k\partial T/\partial y) \right. \\ \left. + \frac{\partial}{\partial z} (k\partial T/\partial z) \right\} + \mu \left\{ (\partial u/\partial y)^2 + (\partial w/\partial y)^2 \right\} \end{aligned} \quad (1.19)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับอุณหภูมินั้นจะได้มาจากการทดลองโดยจะอยู่ในรูปสมการ Exponential รูปสมการดังกล่าวมีรูปลักษณะดังนี้

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

α คือ ค่าคงที่

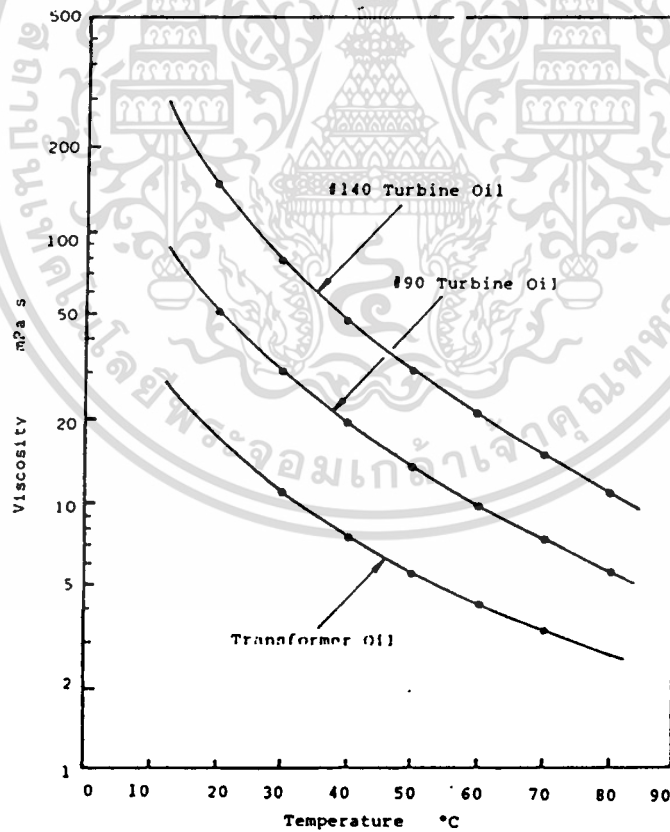
T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิง

เพื่อให้สอดคล้องกับสมการ Reynold จึงปรับปรุงสมการ Energy Equation โดยสมมติให้

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

ดังนั้น

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

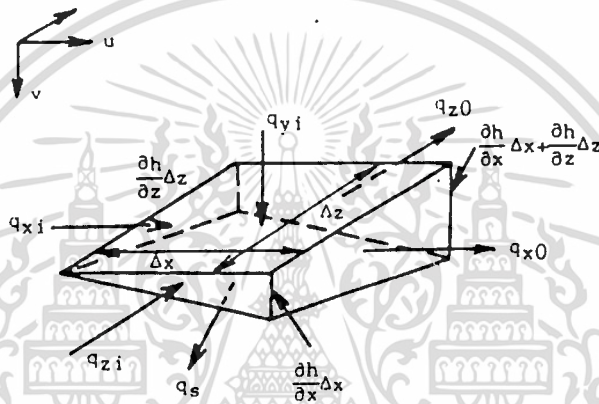


รูป 1.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้ข้อสมมุติข้างต้น อินทิเกรตสมการ (1.19) ตลอดความหนาของฟิล์มของเหลว

$$\begin{aligned} & \rho c_v \int_0^h (u \partial T / \partial x + v \partial T / \partial y + w \partial T / \partial z) dy \\ & - \int_0^h \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (k \partial T / \partial x) + \frac{\partial}{\partial z} (k \partial T / \partial z) \right\} dy \\ & - \int_0^h (k \partial T / \partial y \Big|_h - k \partial T / \partial y \Big|_0) = \mu \int_0^h \left\{ (\partial u / \partial y)^2 + (\partial w / \partial y)^2 \right\} dy \quad (1.20) \end{aligned}$$



รูป 1.5 แสดงการนำความร้อนที่ผิวสัมผัสเฉียง

จากรูป 1.5 พจน์การนำความร้อนจะเป็น

$$\begin{aligned} k \partial T / \partial y \Big|_h &= k \partial T / \partial x * \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_h + k \partial T / \partial z * \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_h + K_s (T - T_s) \\ k \partial T / \partial y \Big|_0 &= K_r (T - T_r) \end{aligned} \quad (1.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\int_0^h \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) \right\} dy = \frac{\partial}{\partial x} (kh \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (kh \frac{\partial T}{\partial z}) - k \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_h - k \frac{\partial T}{\partial z} \cdot \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_h \quad (1.22)$$

T_s และ T_r คือ อุณหภูมิที่แมริงและเพลตามลำดับ K_s และ K_r คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน บริเวณรอยต่อของของเหลวกับผิวของแมริงและเพลตามลำดับ แทนค่า u และ w ในสมการ 1.6 ใน Dissipation Energy Term จะได้

$$\begin{aligned} & \int_0^h \left\{ (\frac{\partial u}{\partial y})^2 + (\frac{\partial w}{\partial y})^2 \right\} dy \\ &= [u \frac{\partial u}{\partial y}]_0^h + [w \frac{\partial w}{\partial y}]_0^h - \int_0^h (u \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) dy - \int_0^h (w \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}) dy \\ &+ u \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_h - \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \int_0^h u dy - \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \int_0^h w dy \\ &= \frac{U^2}{h} + \frac{h^3}{12\mu} \left\{ (\frac{\partial p}{\partial x})^2 + (\frac{\partial p}{\partial z})^2 \right\} \end{aligned} \quad (1.23)$$

แทนค่าที่ได้จากสมการ (1.21) , (1.22) และ (1.23) ลงในสมการ (1.20)

$$\begin{aligned} & \rho \nu C_v \left\{ (h/2 - \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x}) \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right\} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} (kh \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (kh \frac{\partial T}{\partial z}) + K_s (T - T_s) + K_r (T - T_r) \\ &+ \mu \frac{U^2}{h} + \frac{h^3}{12\mu} \left\{ (\frac{\partial p}{\partial x})^2 + (\frac{\partial p}{\partial z})^2 \right\} \end{aligned} \quad (1.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคิดว่าความร้อนและงานต่าง ๆ จะถ่ายเทของเหลวเท่านั้น ซึ่งเสมือนว่าเพลลาและแมริงเป็นฉนวนความร้อน ดังนั้นสมการ (1.24) จะเปลี่ยนรูปเป็นสมการ Adiabatic Energy Equation ดังนี้

$$\rho_j c_v \left\{ (hU/2 - (h^3/12\mu) \frac{\partial p}{\partial x}) \frac{\partial T}{\partial x} - (h^3/12\mu) \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right\}$$

$$= \mu U^2/h + (h^3/12\mu) \left\{ \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (1.25)$$

1.3 การประยุกต์สมการ Reynold และสมการพลังงานกับเจอร์นอลแมริง

เจอร์นอลแมริงจะอาศัยแรงที่เกิดจากการไหลของของเหลวระหว่างผิวของเพลลากับแมริงแรงที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นตัวรับภาระที่เพลลา และป้องกันการการเสียดสีระหว่างผิวของเพลลากับแมริงด้วย ลักษณะของเจอร์นอลแมริงเป็นดังรูป



รูป 1.6 แสดงเจอร์นอลแมริง 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

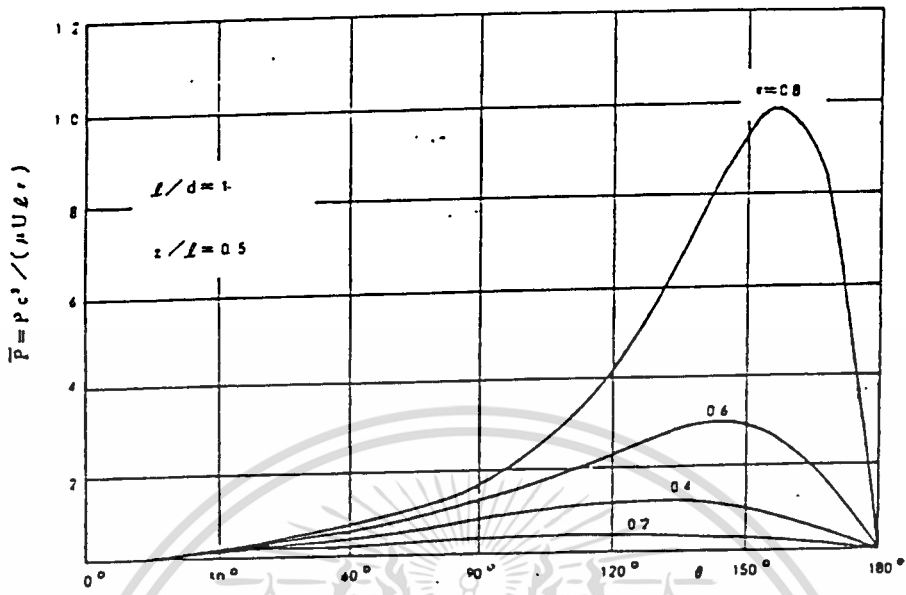
ขณะที่ระบบอยู่นิ่ง ผิวสัมผัสของเพลากับแบร์ริงจะสัมผัสกันพอดี เมื่อเพลาริมหมุนจะกวาดน้ำมันเกิดการไหลของน้ำมันซึ่งอยู่ระหว่างเพลากับแบร์ริงทำให้เกิดแรงเพลาก็เริ่มยกตัวขึ้น จนเกิดการสมดุล จุดที่มีการกวาดน้ำมันมากที่สุดจะมีความหนาของฟิล์มน้ำมันน้อยที่สุด เรียกว่า Minimum Film Thickness ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการรับภาระของเจอร์นอลแบร์ริง ถ้าพิจารณาการไหลของสารหล่อลื่นโดยแบ่งเจอร์นอลแบร์ริงเป็นสองส่วน ตามเส้นเชื่อมระหว่าง จุดที่ความหนาของฟิล์มน้ำมันมากที่สุดกับน้อยที่สุด จะเห็นว่าส่วนหนึ่งจะเป็นการไหลแบบอัดตัว อีกส่วนหนึ่งเป็นการไหลแบบขยายตัวของฟิล์มของเหลว ส่วนแรกจะมีความดันเป็นบวก อีกส่วนจะมีความดันเป็นลบ แต่ในทางปฏิบัติส่วนนี้จะถูกแทรกด้วยบรรยากาศ

ตามรูปเรานิยามค่า Eccentricity $e = obod$ และ Eccentricity Ratio

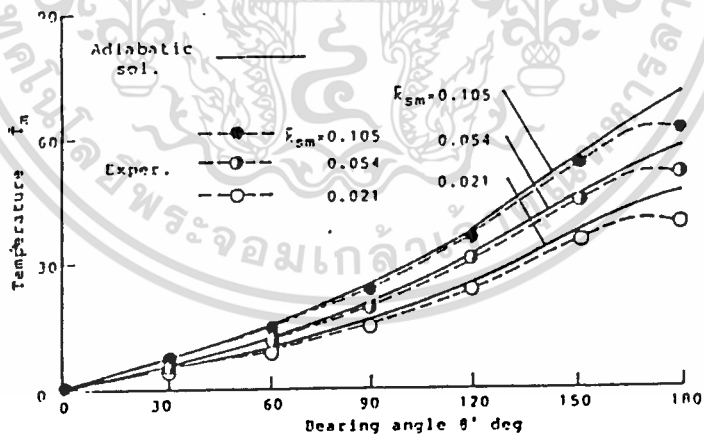
$\mathcal{E} = e/c$ ส่วนค่าความหนาของฟิล์มน้ำมัน จะได้จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned} h &= O_dC - O_dB = O_dA + O_bC - O_dB \\ &= (e \cos\theta + r + c) - r \\ &= c(1 + \mathcal{E} \cos\theta) \end{aligned}$$

แทนค่า $h = c(1 + \mathcal{E} \cos\theta)$ และ $x = r\theta$ ลงในสมการ (1.10) และจะได้สมการสำหรับ อธิบายการกระจายความดันและอุณหภูมิของเจอร์นอลแบร์ริง



รูป 1.7 แสดงการกระจายความดัน



รูป 1.8 แสดงการกระจายอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับองค์ประกอบของแรงเนื่องจาก Load ในแนวตั้งฉากและแนวสัมผัส กับเพลลา จะได้จากการอินทิเกรต Pressure Distribution

$$W \cos \alpha = - \int_0^L \int_0^\pi p \cos \theta r d\theta dz$$

$$W \sin \alpha = \int_0^L \int_0^\pi p \sin \theta r d\theta dz \quad (1.26)$$

ค่า Load Carrying Capacity คือ ปริมาณที่แสดงถึงความสามารถในการรับภาระ คำนวณได้จาก

$$W = \sqrt{(W \cos \alpha)^2 + (W \sin \alpha)^2} \quad (1.27)$$

ปริมาณที่สำคัญอีกค่าหนึ่ง คือ Sommerfeld Number เป็นค่าแสดงลักษณะของแบร์ริง

$$\text{Sommerfeld Number} = \mu d L N / W^* (r/c)^2 \quad (1.28)$$

สำหรับ α คือ Attitude Angle โดย

$$\tan \alpha = W \sin \alpha / W \cos \alpha \quad (1.29)$$

ค่า Viscous Shear Stress ที่ผิวของเพลลามีค่า

$$\tau = -\mu U/h - h/2r^* dp/d\theta \quad (1.30)$$

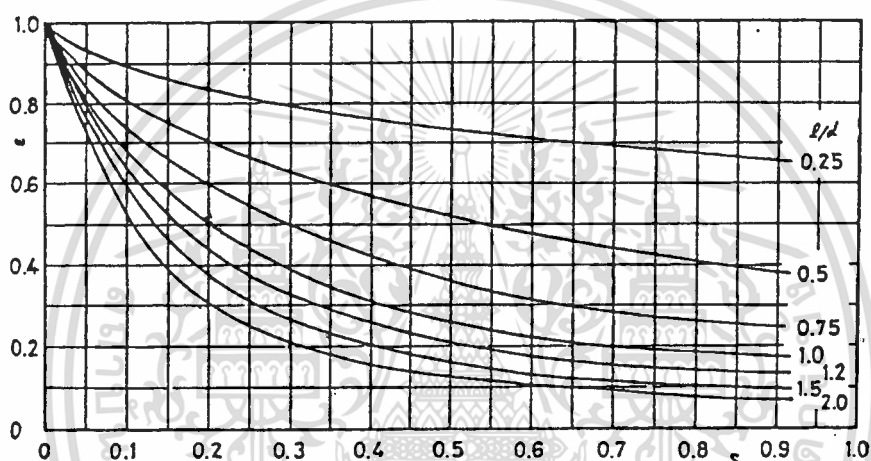
ดังนั้น ค่าแรงเสียดทานจะได้รับการอินทิเกรตสมการ (1.31) จะได้

$$F_f = \int_0^L \int_0^{2\pi} \mu U/h^* r d\theta + \int_0^L \int_0^\pi h/2r^* dp/d\theta r d\theta dz \quad (1.31)$$

จากสมการ (1.31) จะทำให้เราทราบถึงค่า Friction Coefficient โดย

$$f = F_f/W \quad (1.32)$$

รูปต่าง ๆ ต่อไปนี้จะเป็นรูปที่แสดงถึงสมรรถนะในการทำงานของ Journal Bearing

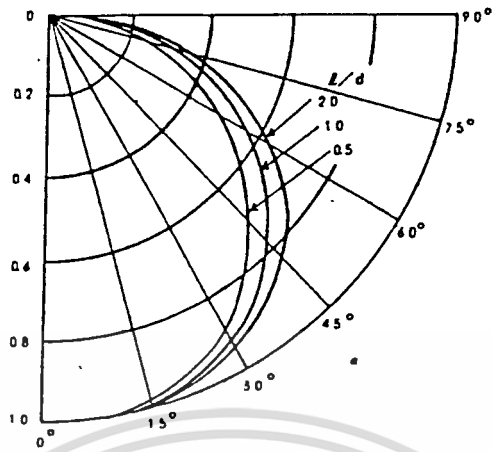


รูป 1.9 แสดงความสัมพันธ์ของ Eccentricity ratio กับ Sommerfeld number

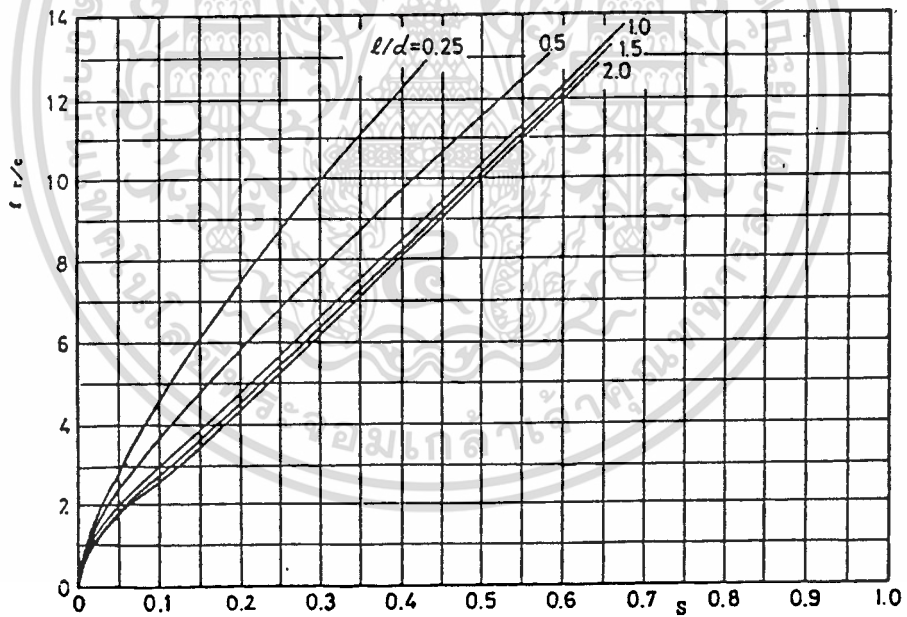
จากรูปจะเห็นว่าเมื่อเราใช้งานเจอร์แนลแบริงที่ S ต่ำ ๆ จะทำให้ ϵ เข้าใกล้ 1 นั่นคือเพลานั้นจะมีโอกาสสัมผัสกับแบริง เพราะความหนาของฟิล์มน้ำมันจะบางมาก ตามความสัมพันธ์

$$h_{\text{mim}} = C(1 - \epsilon)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Eccentricity ratio กับ Attitude angle



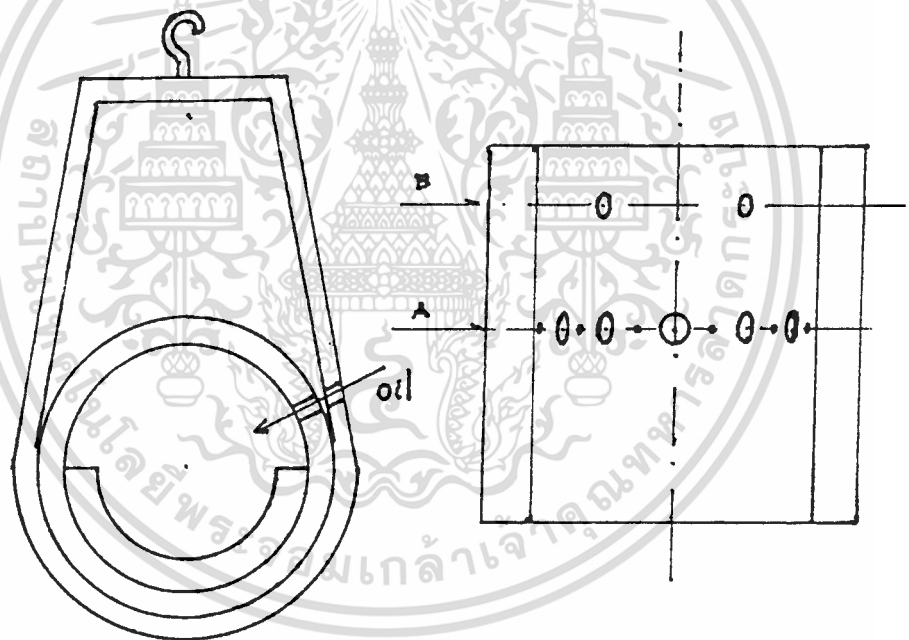
รูป 1.11 แสดงความสัมพันธ์ของ Friction coefficient กับ Sommerfeld number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

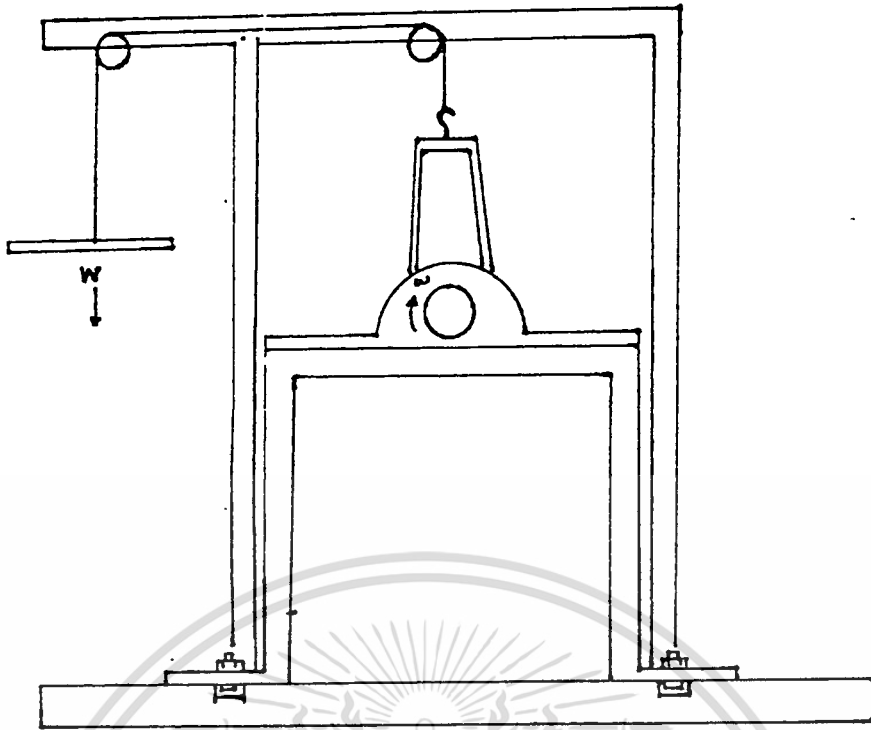
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เพลลา และแปรงที่จะนำมาทดสอบ ได้เลือกใช้เพลลาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สำหรับแปรงจะเป็นชนิดครึ่งวงกลมมีค่า $l/d = 1$ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 51.4 มิลลิเมตร ยาว 2 นิ้ว Clearance 0.7 มิลลิเมตร และต้องทำปลอกสำหรับแขนดันน้ำหนักดังแสดงในรูป 2.1 ตัวแปรงทำด้วยทองเหลืองและเจาะรูทำเกลียวบนตัวแปรง เพื่อใส่ Pressure Transducer จำนวน 5 ตัว แต่ละตัววางห่างกันตามแนวเส้นรอบวงที่จุดกึ่งกลางความยาวของแปรงโดยวางห่างกันตัวละ 30 องศา ส่วนรูสำหรับติดตั้ง Thermocouple จะถูกเจาะอยู่ระหว่างรูสำหรับวัดความดัน โดยมีขนาด 2 มิลลิเมตร และห่างกัน 30 องศา เช่นเดียวกันกับ Pressure Transducer



รูป 2.1 แสดงแปรงที่ใช้ในการทดลอง

2. เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือน จึงจัดอุปกรณ์บนฐานซึ่งทำเป็นชิ้นเดียวกันให้เป็น ริจิดบอดี้ (Rigid Body) และเจาะร่องเพื่อให้สามารถปรับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ได้ การจัดวางและวิธีถ่วงน้ำหนักจะเป็นดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงการจัดวางเครื่องและการถ่วงน้ำหนัก

3. การทดลองนี้จะใช้กำลังขับจาก 3 Phase Induction Motor ซึ่งการทำงานจะเป็นไปตามสมการ

$$N = (1 - S) 120 f/p \quad (2.1)$$

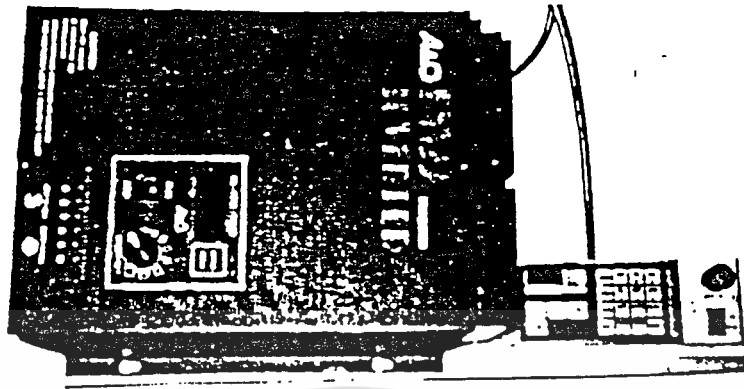
N = ความเร็วรอบ

S = ค่า Slip

f = ความถี่ของกระแสไฟฟ้า

p = จำนวน Pole

จากสมการจะสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงด้วยจึงใช้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าในการเปลี่ยนความเร็วรอบ ดังแสดง
ในรูป 2.3

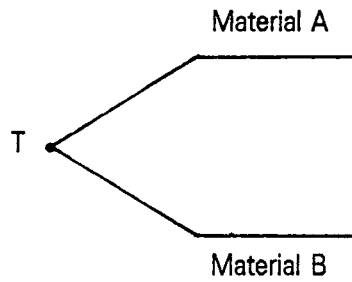


รูป 2.3 อุปกรณ์เปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์

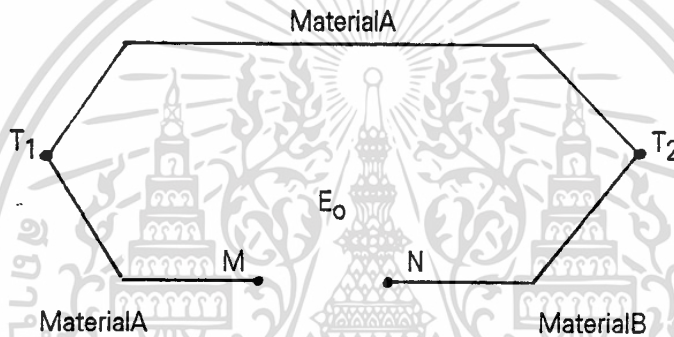
4. การป้อนน้ำมันเข้าสู่แบริ่งเพื่อการหล่อลื่นจะอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการปล่อยน้ำมันจากที่สูงผ่านท่อ ซึ่งมีปลายลักษณะแบนๆ เพื่อให้ น้ำมันไหลแผ่เข้าไปหล่อลื่นตลอดความยาวของแบริ่ง

5. การวัดอุณหภูมิ

อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิในการทดลองนี้ คือ เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งประกอบด้วยลวดตัวนำ 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติทางความร้อนต่างกัน นำมาเชื่อมต่อกันดังรูป 2.4 เมื่อให้ความร้อนที่จุดเชื่อม จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Thermoelectric ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้อิเล็กตรอนวิ่งข้ามจุดเชื่อมของลวดตัวนำ เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น โดยศักย์ไฟฟ้าของสารตัวนำที่รับอิเล็กตรอนเป็นลบ ขณะที่ศักย์ไฟฟ้าของสารตัวนำที่ให้อิเล็กตรอนเป็นบวก ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของกระแสอิเล็กตรอน เกิดขึ้น และขนาดของกระแสอิเล็กตรอน จะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิของจุดเชื่อมเทอร์โมคัปเปิล



รูป 2.4 แสดงเทอร์โมคัปเปิลเปิด



รูป 2.5 แสดงเทอร์โมคัปเปิลใช้งานจริง

ศักย์ไฟฟ้าจะวัดโดยการเพิ่มจุดเชื่อมอีกจุดหนึ่ง เข้าไปในวงจรไฟฟ้า ดังรูป 2.5 และวัดศักย์ E_0 โดยใช้ Voltmeter ที่เหมาะสม ศักย์ไฟฟ้า E_0 ที่คล่อมระหว่าง M - N สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

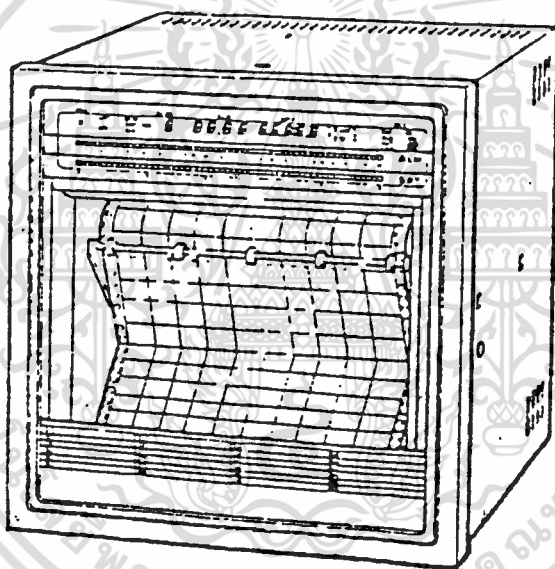
$$E_0 = C_1(T_1 - T_2) + C_2(T_1^2 - T_2^2) \quad (2.2)$$

เมื่อ C_1 และ C_2 คือ ค่าคงที่ของ Thermoelectric ที่ขึ้นอยู่กับ Junction T_1 และ T_2 ในทางปฏิบัติ Junction 1 ใช้กับตัว Unknown T_1 ขณะที่ Junction 2 ใช้กับจุดอ้างอิง T_2 เพราะว่าจุดอ้างอิง T_2 ทราบค่าจึงสามารถหาค่า T_1 ได้ โดยการวัดค่า E_0

ซึ่งเห็นได้ชัดจากสมการ 2.2 ว่าผลตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิล จะเป็น Non-linear Function ของ อุณหภูมิและยังขึ้นอยู่กับสารตัวนำที่นำมาประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิล

เนื่องจากวงจรของเทอร์โมคัปเปิล มีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_1 - T_2$) จึงจำเป็นที่ Junction อ่างอิง (T_2) จะต้องถูกรักษาไว้ให้คงที่ และถูกต้องตลอดเวลา

สำหรับในการทดลองนี้ สารโลหะตัวนำที่นำมาประกอบเป็นเทอร์โมคัปเปิล คือ Chromel และ Alumel ซึ่งมี Temperature Range อยู่ในช่วงระหว่าง -185 องศาเซลเซียส ถึง 1260 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างพอที่ใช้ในการทดลองนี้ในการทดลอง เราจะใช้ Thermocouple Recorder รุ่น 4176 สำหรับการอ่านค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส ดังรูป 2.6



รูป 2.6 แสดง Thermocouple Recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การวัดความดัน

ในการสร้างอุปกรณ์วัดความดัน จะใช้หลักการของการเกิด Strain ในแผ่นทองเหลืองกลม เมื่อได้รับความดันโดยมี Strain Gage เป็น SenSor ซึ่ง Strain Gage จะเป็นลักษณะของเส้นโลหะบาง ๆ ดังรูป 2.7 เมื่อแผ่นทองเหลืองได้รับความดันแล้วเกิด Strain ขึ้น Strain นี้จะถ่ายทอดสู่ Strain Gage ทำให้เส้นโลหะบาง ๆ เกิดการยืดตัวเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดและ ความยาว ความต้านทานของ Strain Gage จึงเปลี่ยนไป ในการใช้งานจะนำ Strain Gage ไปต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ Strain Gage จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ทำให้สามารถวัดความดันได้ ลักษณะการเกิด Strain บนวัตถุแผ่นกลมจะเป็นไปตามสมการ (2.3)

$$\epsilon_{rr} = \left[\frac{3P(1-\nu^2)}{8Et^2} \right] * (R^2 - 3r^2) \quad (2.3)$$

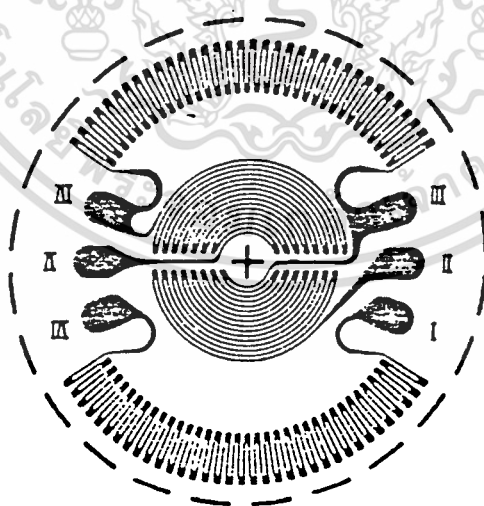
$$\epsilon_{\theta\theta} = \left[\frac{3P(1-\nu^2)}{8Et^2} \right] * (R^2 - r^2)$$

P = ความดัน

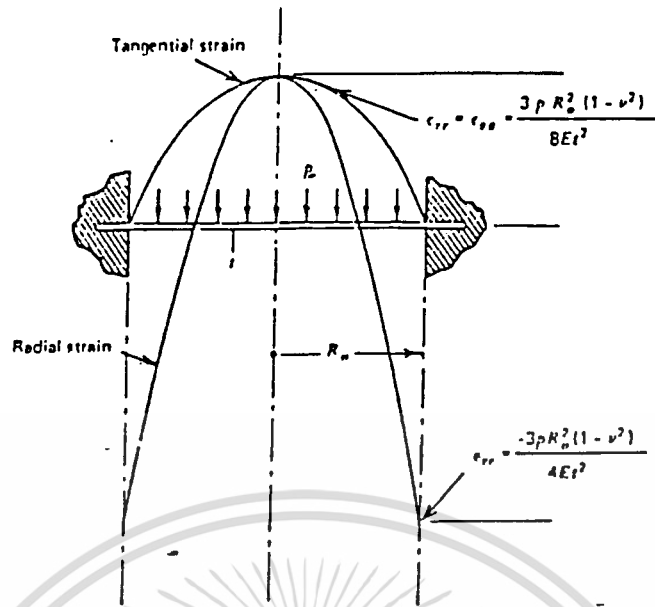
t = ความหนาของแผ่นกลมทองเหลือง

R₀ = รัศมีของแผ่นกลมทองเหลือง

r = ตำแหน่งบนแผ่นกลมตามแนวรัศมี



รูป 2.7 Strain Gage



รูป 2.8 แสดงการเกิด Strain บนแผ่นกลม

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับโวลเตจที่ได้จาก Strain Gage จะเป็นเส้นตรงเมื่อการแอ่นตัวที่จุดศูนย์กลางของแผ่นกลม (δ_c) น้อยกว่า $t/4$ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า δ_c กับความดันเป็นดังนี้

$$\delta_c = 3PR^4(1-\nu^2)/16t^3E \quad (2.4)$$

เมื่อ $\delta_c \leq t/4$ ดังนั้น

$$P_{\max} \leq 4/3 (t/R_o)^4 * E/1-\nu^2 \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) จะใช้สำหรับคำนวณหาความหนาของแผ่นกลมทองเหลืองโดย

$$P = 3 * 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$E = 90 * 10^9$$

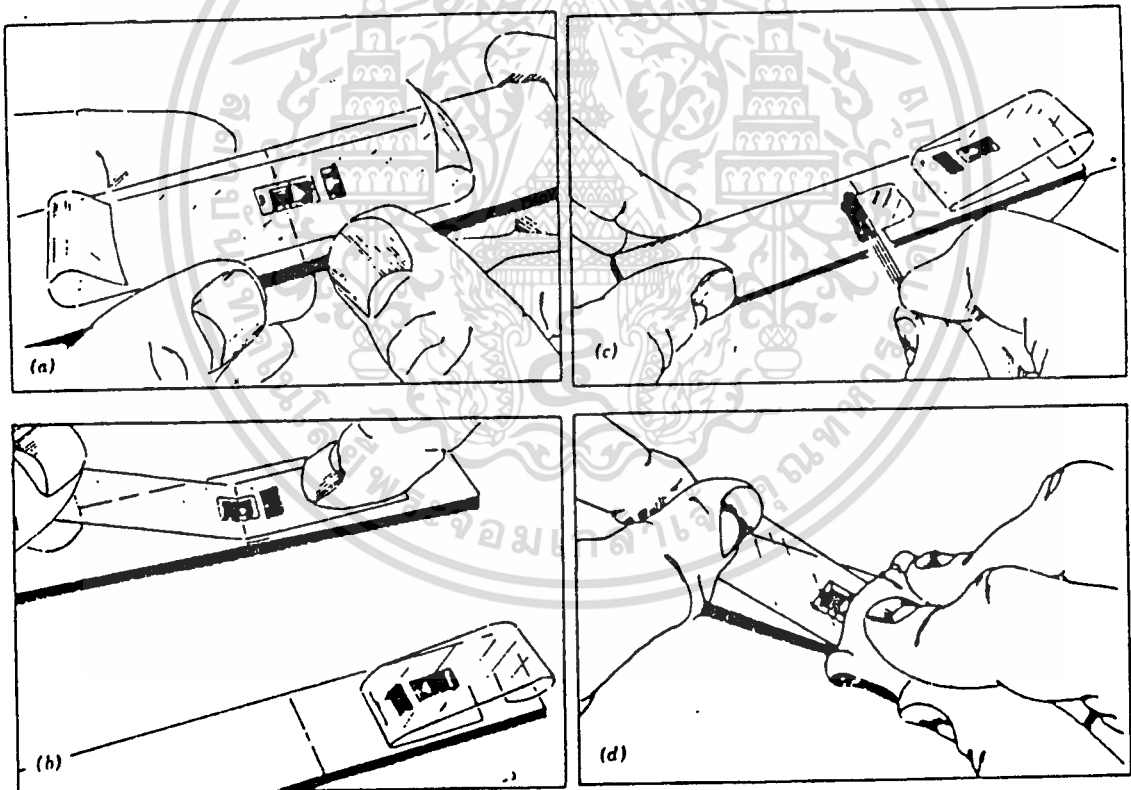
$$\nu = 0.28$$

$$R = 2.5 * 10^{-3}$$

$$3 * 10^5 = 4/3 * (\nu 2.5 * 10^{-3})^4 * 90 * 10^9 / (1 - (0.28)^2)$$

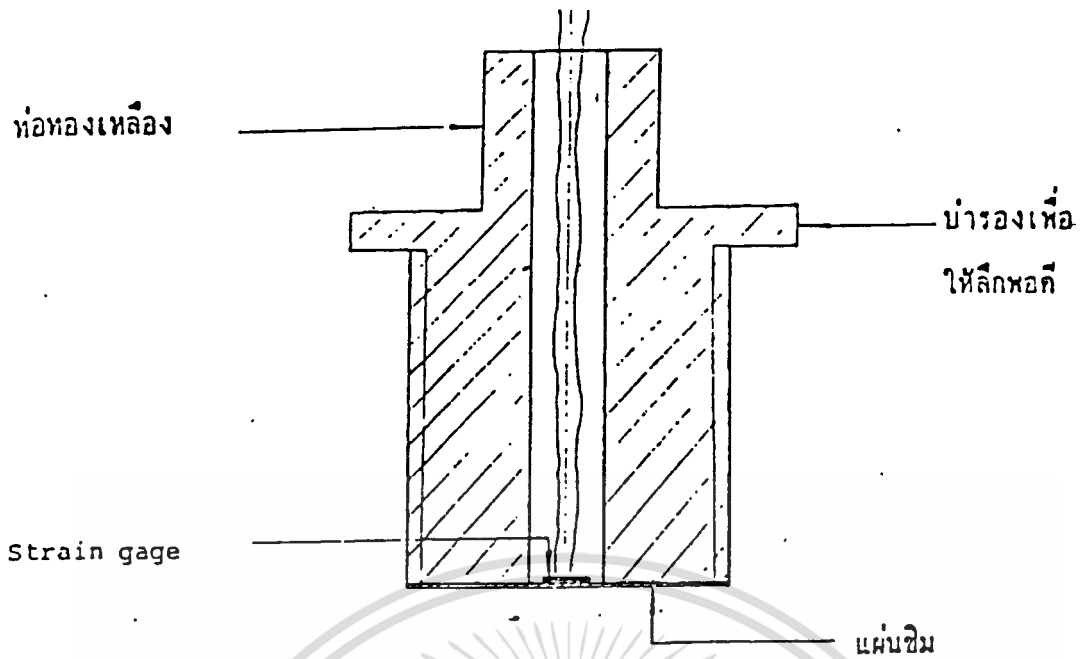
$$t = 0.1 \text{ mm}$$

เมื่อได้แผ่นทองเหลืองกลมตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำไปทำความสะอาด โดยการเช็ดด้วยอัลกอฮอล์ ต่อจากนั้นนำ Strain Gage ติดบนแผ่นทองเหลืองโดยใช้กาวอีพ็อกซี ตามขั้นตอนตามรูป 2.9 หลังจากติด Strain Gage บนแผ่นทองเหลืองแล้วนำแผ่นทองเหลืองที่ได้ไปติดบนโลหะทรงกระบอกด้วยกาวอีพ็อกซี ทรงกระบอกจะทำเกลียวสำหรับติดเข้าไปในเบริงดังรูป 2.10



รูป 2.9 แสดงการติด Strain Gage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.10 แสดง Pressure Transducer

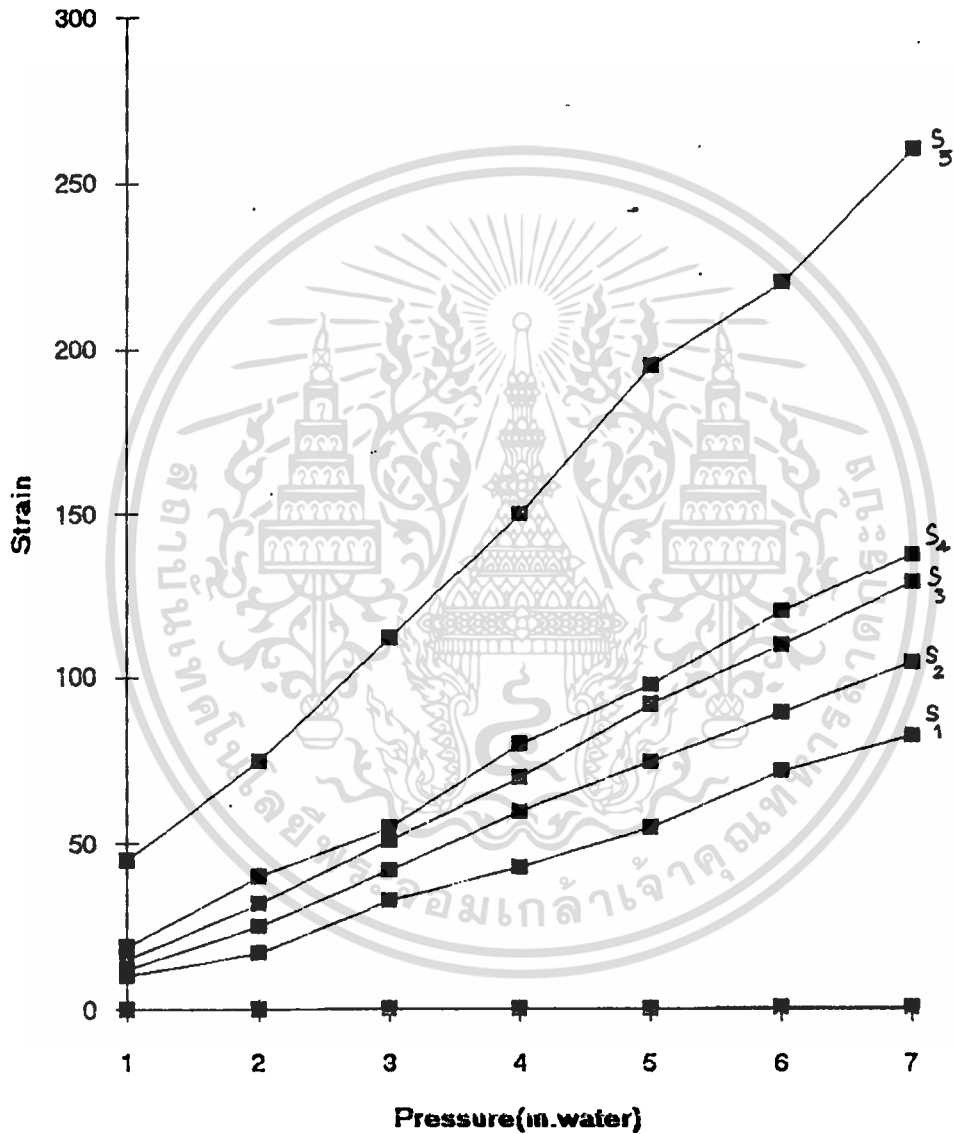
ก่อนการนำ Pressure Transducer ไปใช้ในการทดลองต้องนำ Pressure Transducer ไปทำการคาลิเบรทก่อนเพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความดันกับค่าของstrain ผลจากการคาลิเบรทจะเป็น ตาราง และ กราฟข้างล่างนี้

Pressure					Pressure (m.water)			
Gage		1	2	3	4	5	6	7
S1	Strain	10	17	33	43	55	72	83
	Pressure	0.098	0.196	0.294	0.392	0.49	0.588	0.686
S2	Strain	12	25	42	60	75	90	105
	Pressure	0.098	0.196	0.294	0.392	0.49	0.588	0.686
S3	Strain	15	32	51	70	92	110	129
	Pressure	0.098	0.196	0.294	0.392	0.49	0.588	0.686
S4	Strain	19	40	55	80	98	120	138
	Pressure	0.098	0.196	0.294	0.392	0.49	0.588	0.686
S5	Strain	45	75	112	150	195	220	260
	Pressure	0.098	0.196	0.294	0.392	0.49	0.588	0.686

ตาราง 2.1 ตารางผลจากการคาลิเบรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

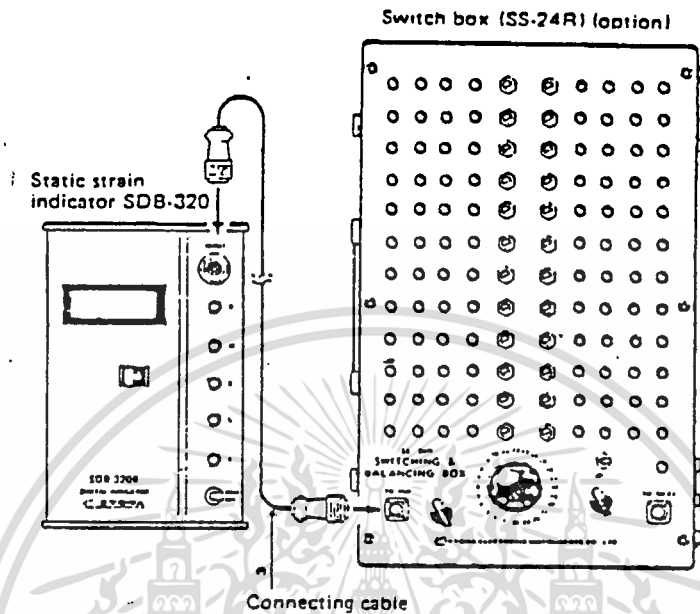
Calibrate curve



รูป 2.11 กราฟผลของการคาลิเบต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองได้ใช้อุปกรณ์สำหรับอ่านค่า strain ดังรูป(2.12)



รูป 2.12 แสดงอุปกรณ์วัดค่า strain

7. การวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน

เครื่องมือสำหรับวัดความหนาของฟิล์มน้ำมัน หรือ ระยะห่างระหว่างผิวของเพลากับแม่ริงคือ Gap Sensor ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดระยะการขีดแบบไม่ต้องสัมผัสกับพื้นผิวที่จะทำการวัดโดยใช้หลักการของการสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่มีความถี่สูง(high frequency eddy current loss) และเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการวัดการขีดทั้งทาง static และ dynamic ดังนั้นอุปกรณ์ชนิดนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

ส่วนประกอบ

1. ตัวแปลงสัญญาณ (convertor) AEC-5505
2. โพรบ (probe) PU-05
3. สายโพรบ (prob cable) PU-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเฉพาะ

VOLTAGE RANGE	0-2.0 mm
OUTPUT VOLTAGE	+5V (5 mV/m)
FREQUENCY RANGE	DC 20 kHz - 2dB
LINERITY	+ 0.5 %
อุณหภูมิขณะใช้งาน	convertor -10 c - +55 c probe -30 c -+120 c
อุณหภูมิคลาดเคลื่อน	convertor 0.1% / c prob 0.02%/ c
แหล่งจ่ายไฟ	+ -12V DC , 40mA

การติดตั้ง การเดินสาย และการใช้งาน**1. การติดตั้งโพรบ**

ติดตั้งโพรบในที่ที่ให้สัญญาณไฟฟ้า output ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงที่เป็นเชิงเส้นของสัญญาณตอบสนอง output

2. การเดินสายเชื่อมระหว่าง convertor กับ probe

ต่อโพรบกับหัวสัญญาณอินพุท ของ convertor ด้วยสายโพรบ PC-03

3. การเดินสายของสัญญาณ output

นำสัญญาณ output มาจากหัวสัญญาณ output และหัวไฟกราวด์ และป้อนให้แก่ โวลต์

มิเตอร์แบบดิจิตอล**4. การต่อกับแหล่งจ่ายไฟ**

ป้อน ไฟ +12 V จากเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง โดยต่อจากหัว + 12 V , -12 V และ 0V

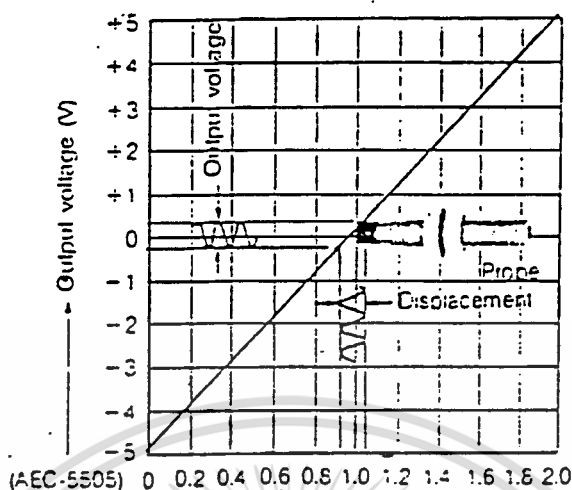
5. อุ่นเครื่อง

อุปกรณ์นี้ต้องการเวลาอุ่นเครื่องหลังจากเปิดสวิทช์สักครู่

ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุท

ผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุทของอุปกรณ์นี้ถูกปรับแต่งเพื่อที่จะให้ผลสอดคล้อง

คล้องกับวัสดุที่เป็นโลหะ ตามรูป 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงผลตอบสนองเมื่อวัตถุเป็นโลหะ

ผลตอบสนองโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับวัสดุ รูปร่าง และความหนาของวัตถุที่ใช้วัด gap-sensor สามารถปรับอัตราขยายได้ ซึ่งทำให้ปรับค่าผลตอบสนองของสัญญาณ output ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้

เมื่อผิวของวัตถุมีค่าเป็นสองเท่าของผิวหน้าโพรม จะไม่มีผลต่อผลตอบสนองแต่ประการใด

เมื่อผิวของวัตถุมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งหรือมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพื้นที่ของผิวหน้าโพรม ผลตอบสนองจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งหรือน้อยกว่านั้น

สำหรับวัสดุที่เป็นผงหรือมีส่วนประกอบหลายส่วนหรือเป็นสายที่รวมเข้าไว้ด้วยกันอาจให้ผลตอบสนองที่ไม่ดี หรือไม่ให้ผลตอบสนองเลย

วัตถุที่หนากว่า 1.0 mm จะไม่มีผลต่อผลตอบสนอง

สำหรับวัตถุทรงกระบอก ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3.5 ของโพรม ขึ้นไปผลตอบสนองจะคงเดิม

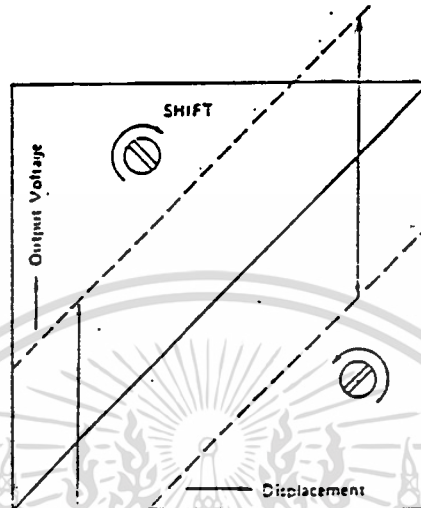
การปรับแต่งผลตอบสนองของสัญญาณ output

ผลตอบสนองของสัญญาณ เอาต์พุท จะถูกปรับโดยใช้วัตถุเป็นเหล็ก ผลตอบสนองของสัญญาณ เอาต์พุทขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้าของวัตถุที่ใช้ทำวัตถุเป้า สามารถปรับค่าได้เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้วัด

1. SHIFT

การปรับ SHIFT ของแรงดัน เอาดี้พุทสามารถทำได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ

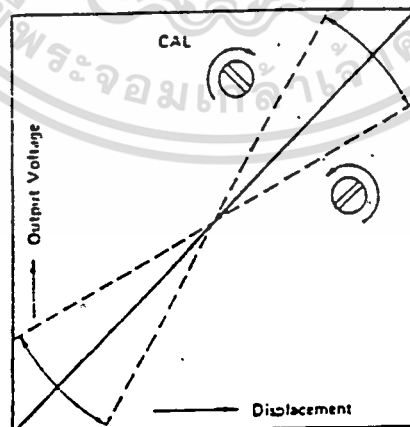
สนอง



รูปที่ 2.14 แสดงการปรับ SHIFT

2. CAL

ความไวของแรงดันเอาดี้พุทต่อการขจัดสามารถปรับค่าเป็นตรงข้ามได้

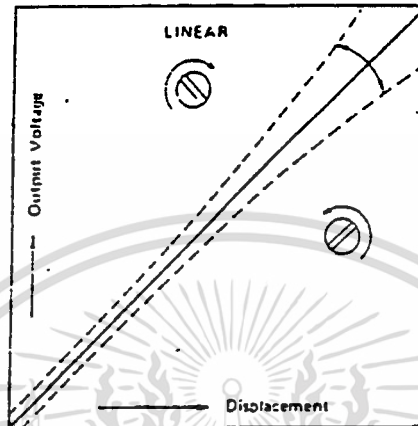


รูป 2.15 แสดงการปรับ CAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. LINEAR

ความเป็นเชิงเส้นของผลตอบสนองสามารถชดเชยได้แต่การชดเชยนี้เมื่อทำแล้วต้องมีการปรับ SHIFT และ CAL อีกครั้ง

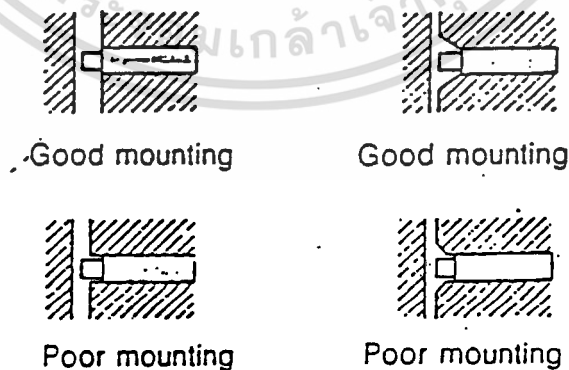


รูป 2.16 แสดงการปรับ LINEAR

ข้อแนะนำเพิ่มเติม

1. อย่าวางโลหะในบริเวณใกล้ ๆ กับวัตถุและไฟรบ
2. เมื่อไฟรบถูกติดตั้งในโลหะ ต้องระมัดระวังอย่าให้หัวของไฟรบถูกโลหะปิดไว้

ดังรูป (2.17)

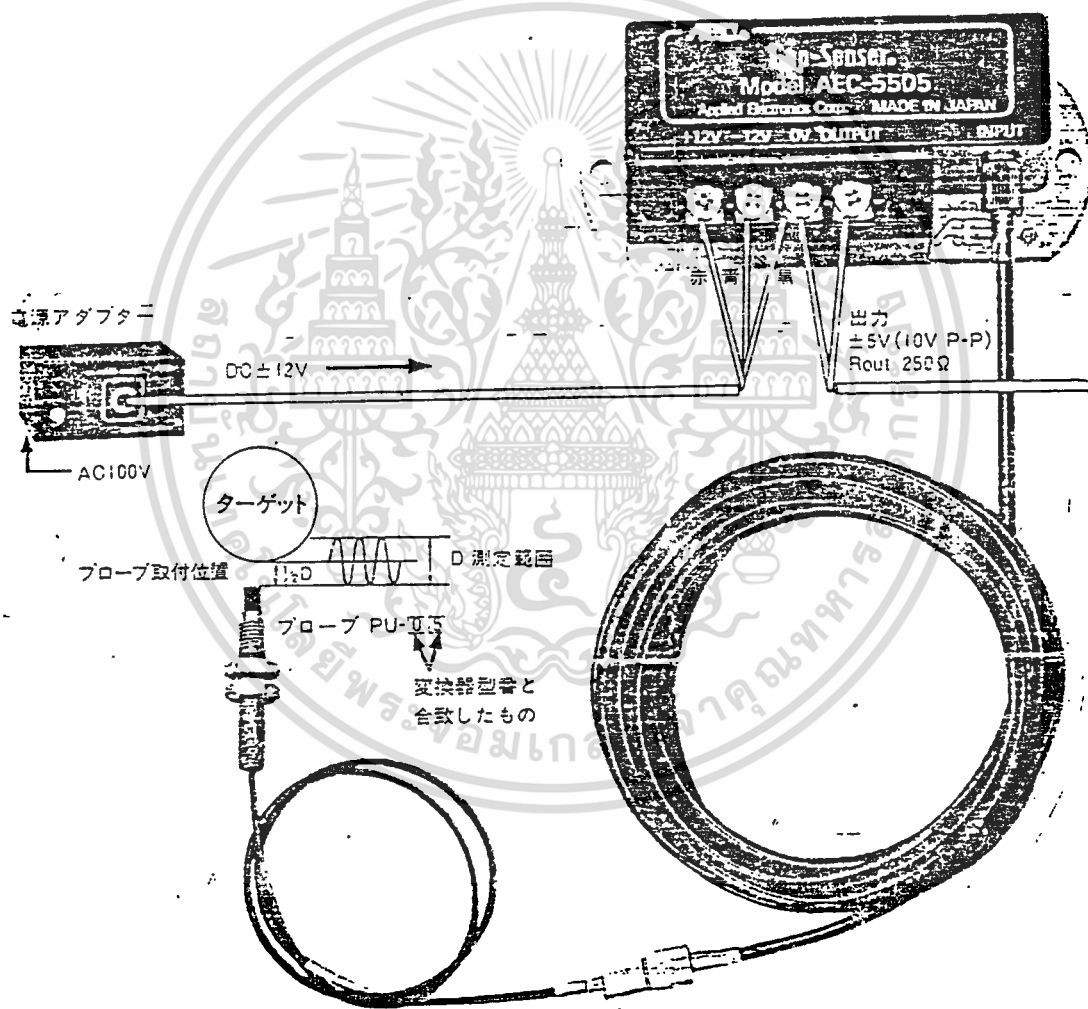


รูป 2.17 แสดงการติดตั้งไฟรบที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อโพรบหลายๆ อันถูกใช้พร้อมกันอย่าดึงเอาไว้ใกล้กัน
4. ตรวจสอบสายให้เรียบร้อยก่อนเปิดเครื่อง
5. อย่าลัดวงจรของสัญญาณเอาต์พุต
6. อย่าเพิ่มความยาวหรือตัดสายโพรบ
7. โพรบสามารถใช้ในน้ำ น้ำมัน และสนามแม่เหล็กได้

การต่อวงจรสำหรับ Gap Sensor เป็นดังรูป 2.18



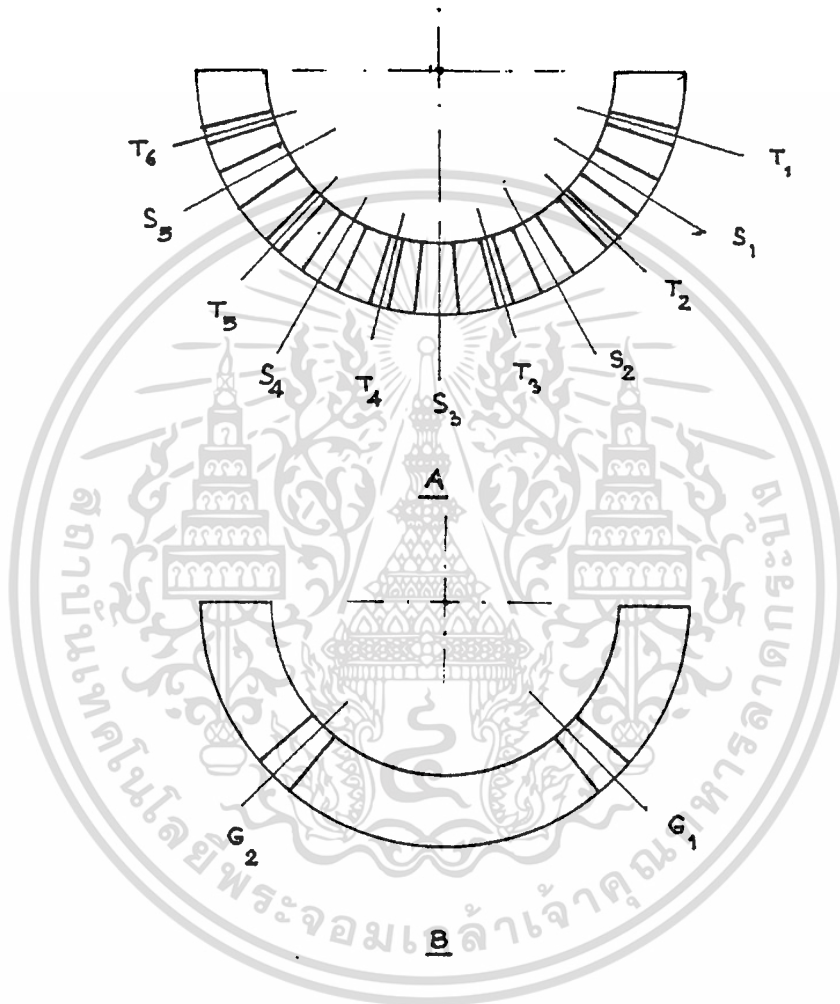
รูป 2.18 แสดงวงจรสำหรับ Gap Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

1. ติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ กับแบริ่งดังรูป 3.1



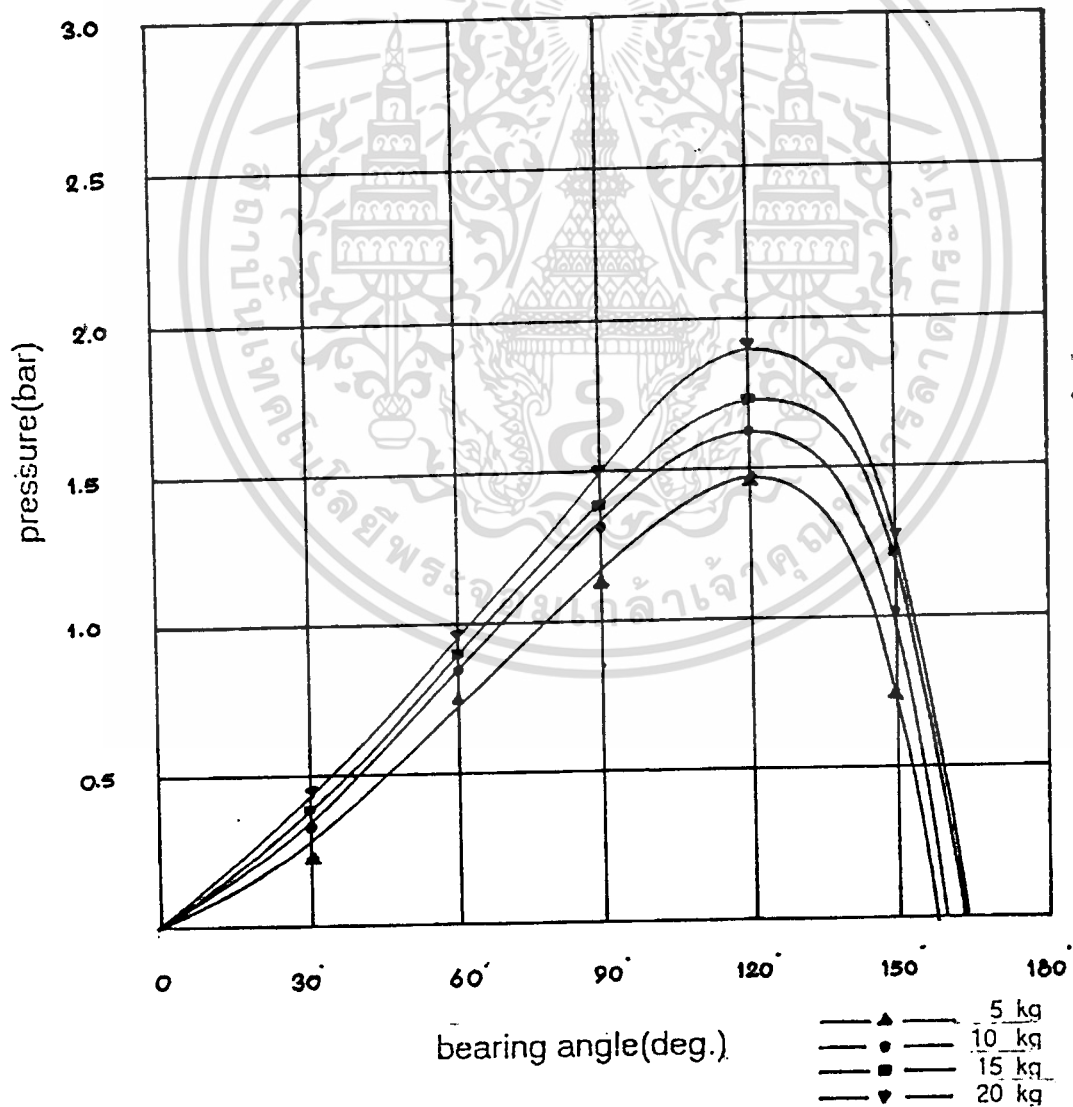
รูป 3.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปล่อน้ำมันจากถังเก็บซึ่งน้ำมันจะไหลลงมาเข้าที่เจอร์นอลแบร์ริงตามแรงโน้มถ่วงของโลก
3. เดินมอเตอร์ทดลองที่ความเร็วรอบ 600 rpm, 900 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm ตามลำดับ โดยการควบคุมความถี่ที่ตัว Vary Speed
4. ที่ความเร็วรอบหนึ่ง เช่นที่ 600 rpm ใส่ตุ้มน้ำหนัก 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg ตามลำดับ
5. วัดปริมาณต่าง ๆ คือ ความดัน, อุณหภูมิ, ความหนาของฟิล์มน้ำมัน แล้วบันทึกผลการทดลอง
6. จากผลการทดลองที่ได้นำไปเขียนกราฟ Pressure Distribution , Temperature Distribution, คำนวณค่า Minimum Film Thickness , eccentricity ratio , attitude angle , sommerfeld number
- 7 เขียนกราฟระหว่าง eccentricity ratio & sommerfeld number , eccentricity & attitude angle

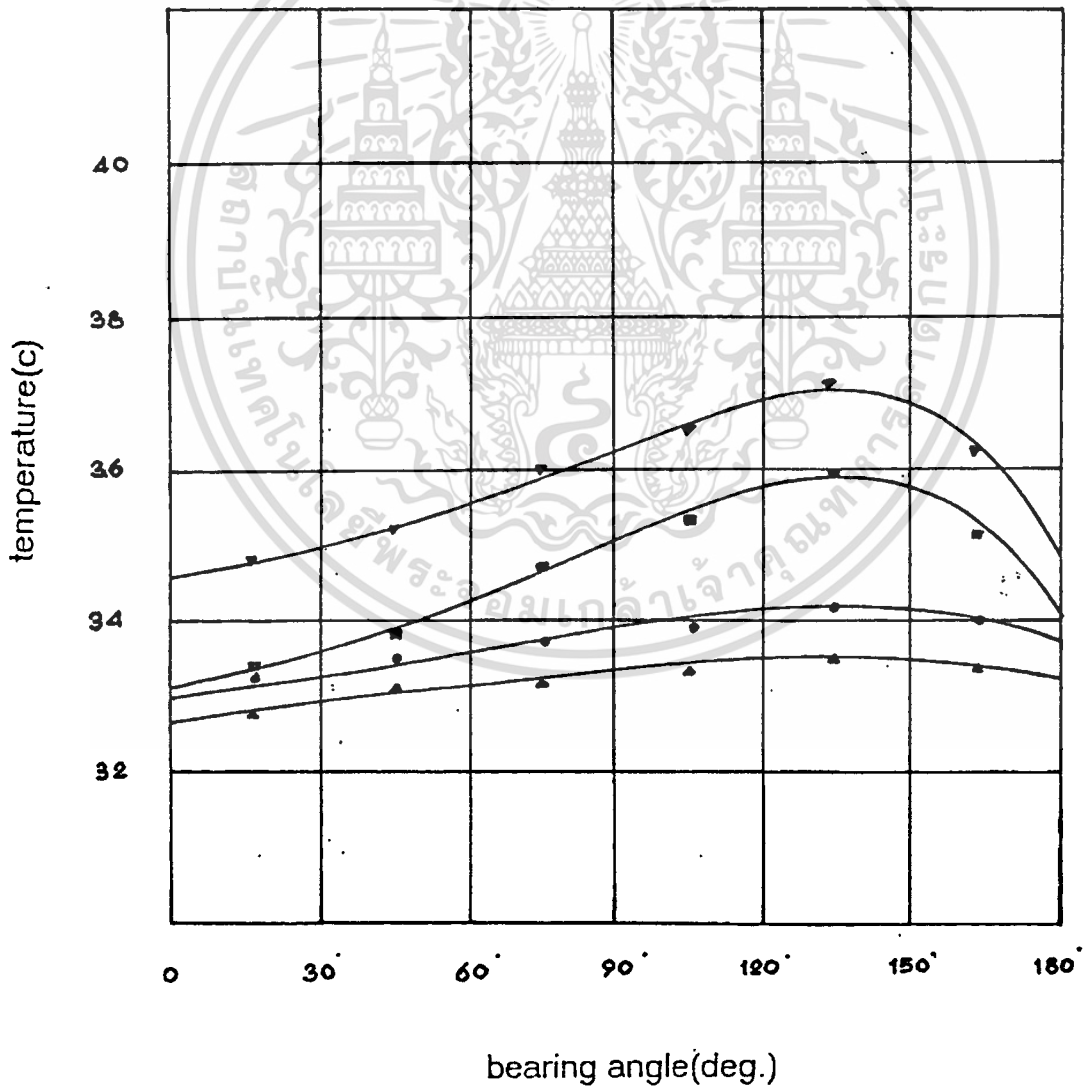
ตารางบันทึกผลและกราฟแสดงผลการทดลอง

SAE IO				
600 RPM				
Pressure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.25	0.32	0.37	0.42
S2	0.76	0.85	0.9	0.94
S3	0.85	1.32	1.37	1.51
S4	1.47	1.62	1.72	1.91
S5	0.76	1.03	1.24	1.27



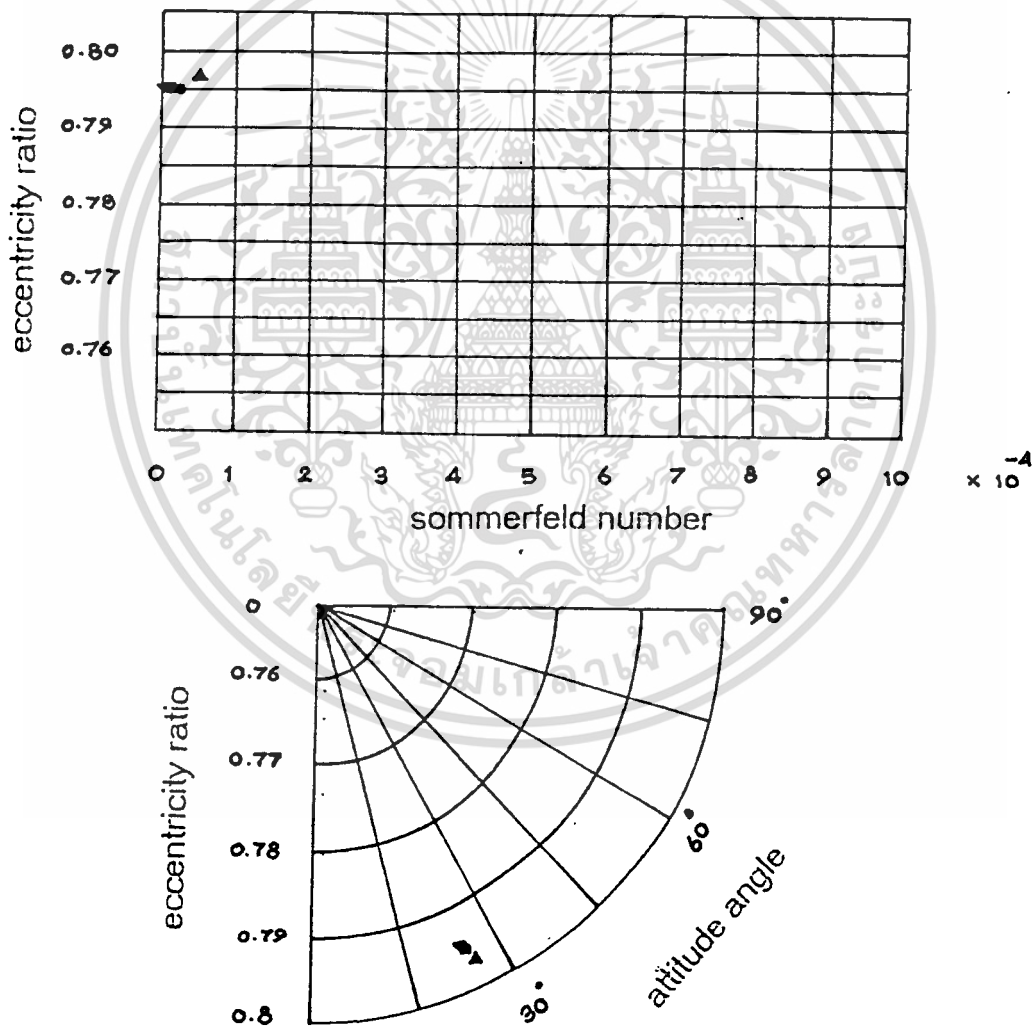
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE IO				
600 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	32.8	33	33.4	34.8
T2	33.1	33.5	33.8	35.2
T3	33.2	33.7	34.7	36
T4	33.3	33.9	35.4	36.5
T5	33.5	34.2	36	37.2
T6	33.4	34	35.2	36.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

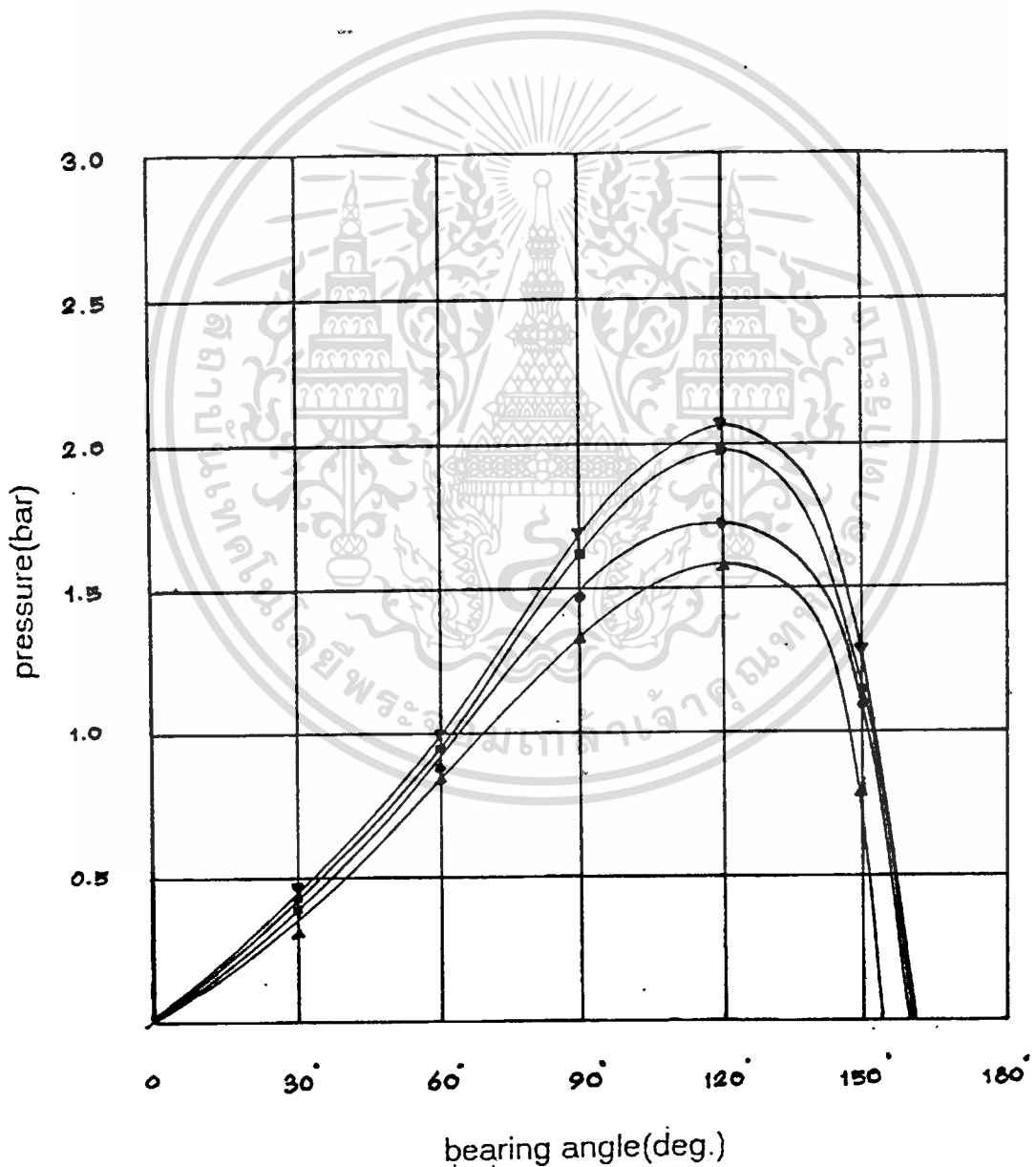
SAE10					
600 RPM					
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.308	-2.323	-2.328	-2.325
	G2	-4.038	-4.026	-4.026	-4.024
Film Thickness (m.m)	G1	0.5184	0.5154	0.5144	0.515
	G2	0.1724	0.1748	0.1748	0.1752
Eccentricity Ratio		0.797	0.795	0.796	0.795
Attitude Angle		26.008	25.635	25.54	25.58
Minimum Film Thickness (mm)		0.142	0.1435	0.1429	0.1435
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		0.485	0.242	0.161	0.121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE IO

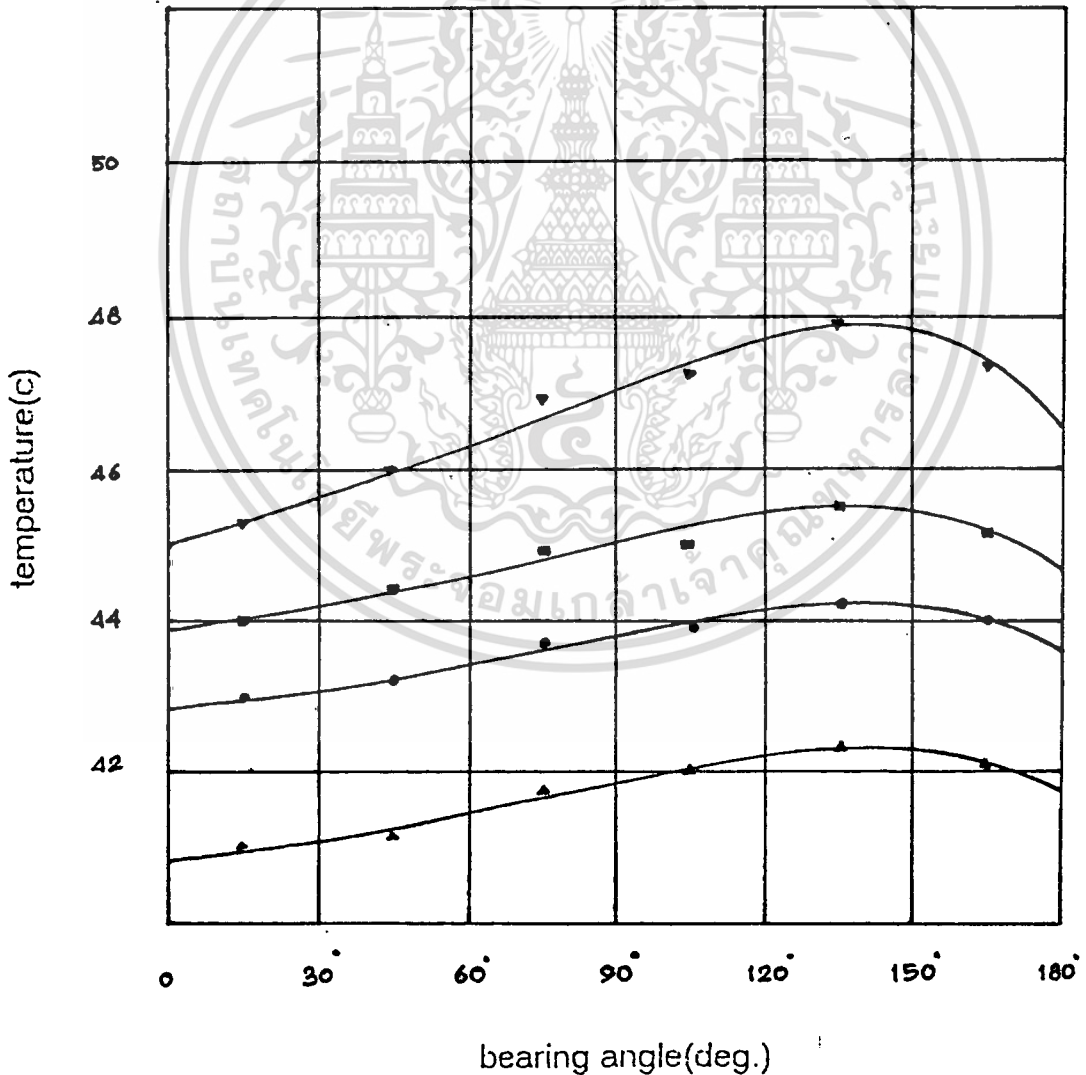
Pressure Gage	900 RPM			
	load			
	5	10	15	20
S1	0.33	0.37	0.4	0.45
S2	0.85	0.88	0.93	0.96
S3	1.34	1.48	1.63	1.7
S4	1.59	1.72	1.99	2.07
S5	0.84	1.1	1.15	1.25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAEIO

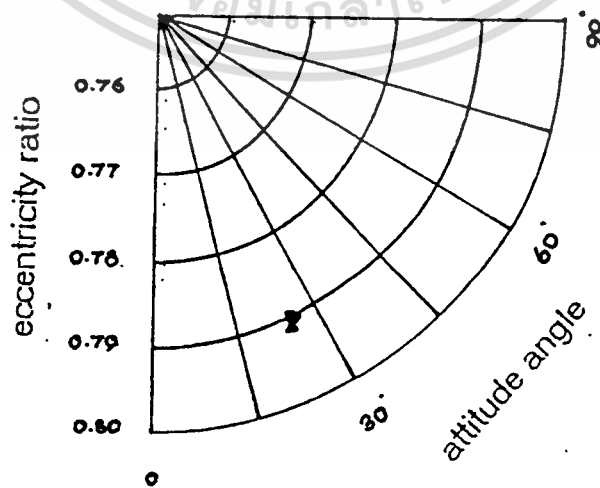
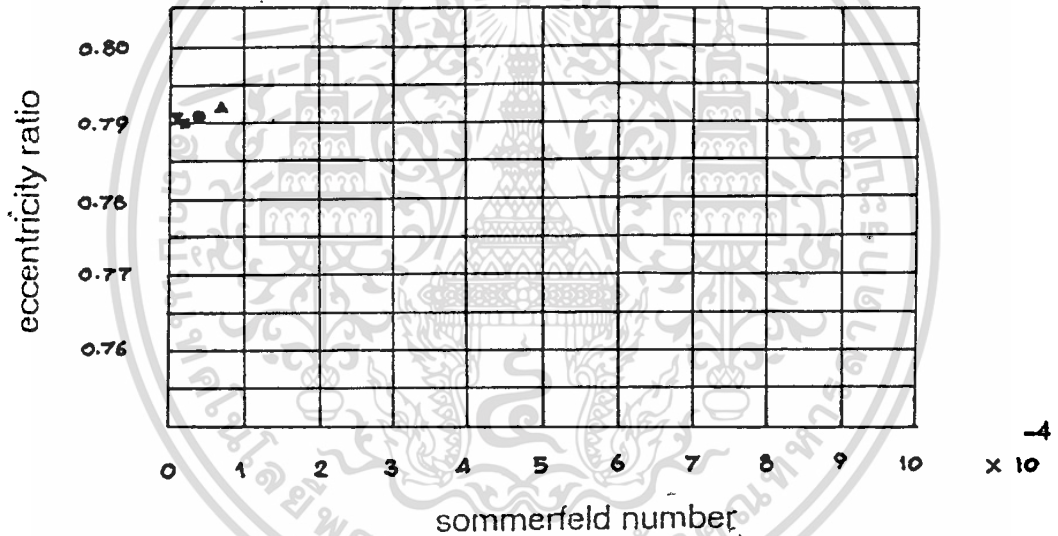
900 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	41	43	44	45.3
T2	41.2	43.2	44.4	46
T3	41.8	43.7	44.9	46.9
T4	42	43.9	45	47.2
T5	42.3	44.2	45.5	47.9
T6	42.1	42.1	45.2	47.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE10

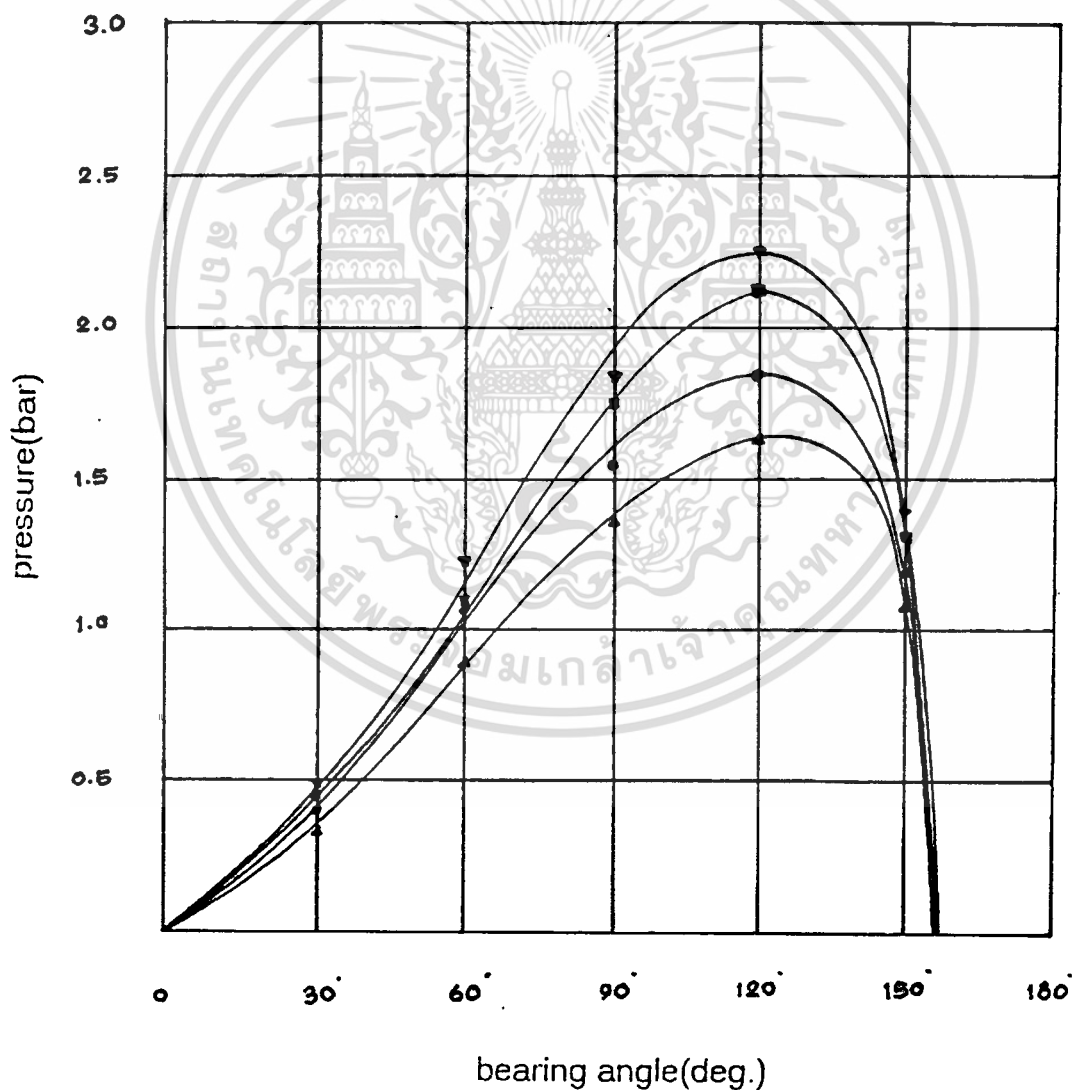
	900 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.317	-2.315	-2.31	-2.313
	G2	-4.018	-4.014	-4.013	-4.016
Film Thickness (mm)	G1	0.5166	0.517	0.518	0.5174
	G2	0.1764	0.1772	0.1774	0.1768
Eccentricity Ratio		0.7925	0.7912	0.79	0.7915
Attitude Angle		25.696	25.708	25.799	25.764
Minimum Film Thickness (mm)		0.1452	0.1461	0.1466	0.1458
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		0.727	0.363	0.242	0.182



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE IO

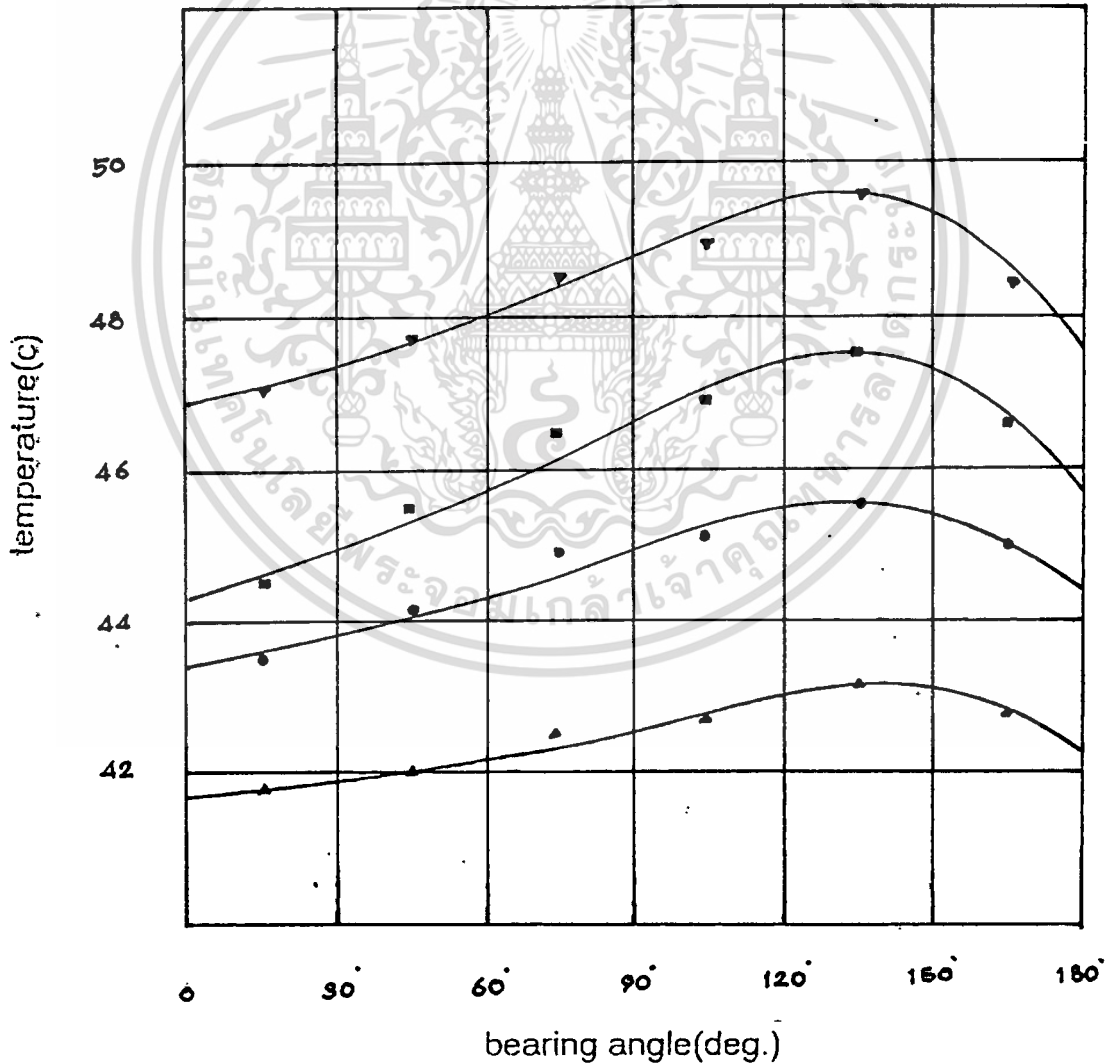
1200 RPM				
Pressure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.35	0.4	0.44	0.48
S2	0.91	1.07	1.1	1.22
S3	1.38	1.55	1.75	1.82
S4	1.65	1.85	2.12	2.25
S5	1.14	1.19	1.26	1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAEIO

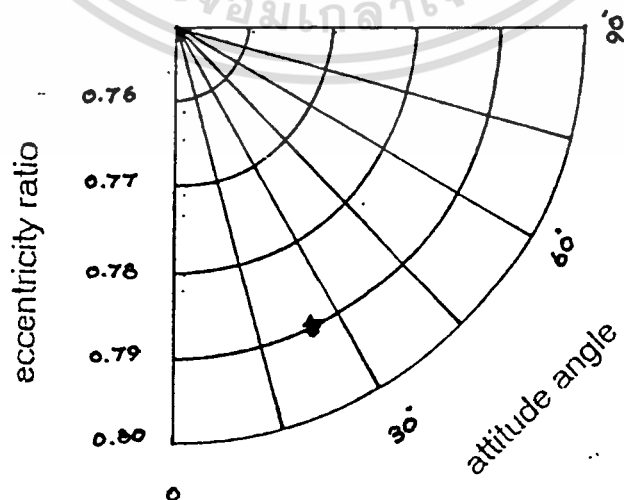
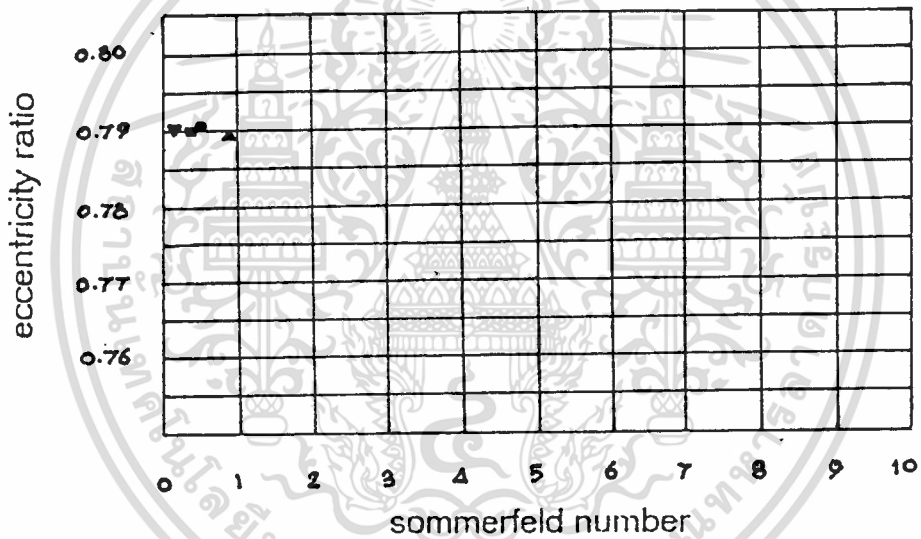
1200 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	41.8	43.6	44.8	47.1
T2	42	44.2	45.5	47.7
T3	42.5	44.9	46.5	48.5
T4	42.7	45.1	46.9	48.9
T5	43.2	45.5	47.5	49.6
T6	42.8	45	46.6	48.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE10

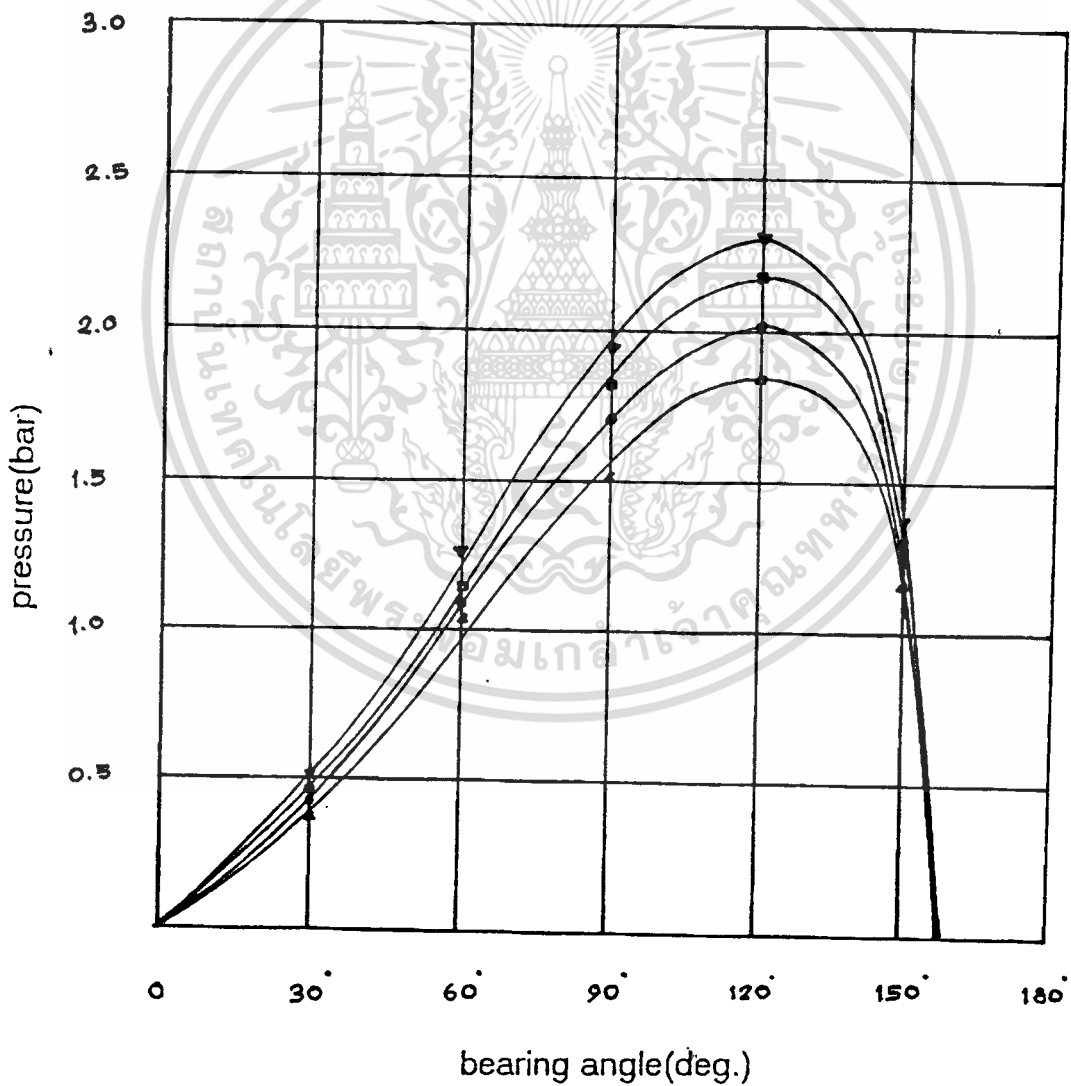
	1200 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.313	-2.32	-2.317	-2.313
	G2	-4.007	-4.013	-4.012	-4.01
Film Thickness (mm)	G1	0.5174	0.516	0.5166	0.5174
	G2	0.1786	0.1774	0.1776	0.178
Eccentricity Ratio		0.789	0.7915	0.7909	0.79
Attitude Angle		25.7	25.608	25.65	25.72
Minimum Film Thickness (mm)		0.1476	0.1459	0.146	0.147
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		0.969	0.485	0.323	0.242



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE IO

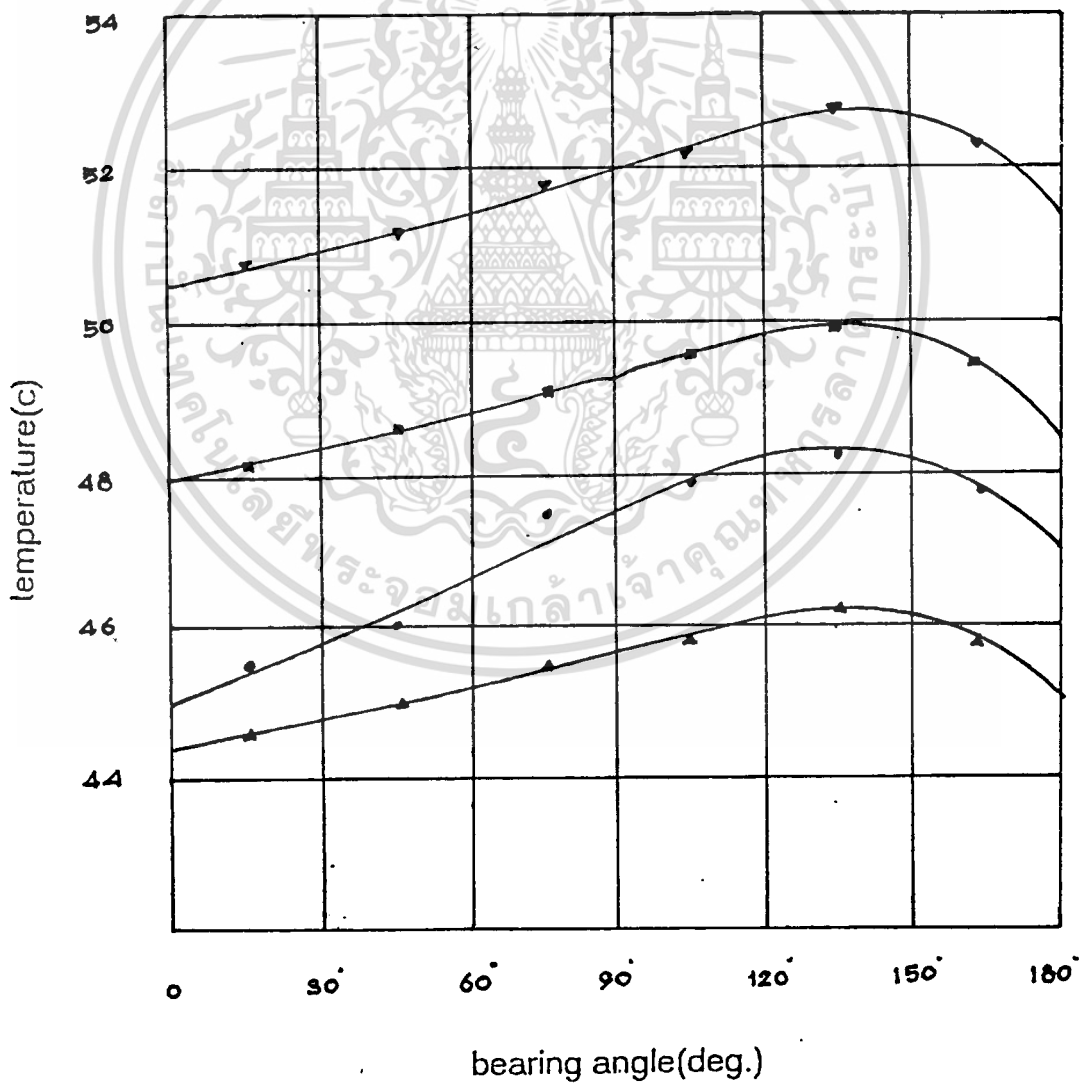
1400 RPM				
Pressure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.38	0.41	0.45	0.48
S2	1.05	1.08	1.13	1.27
S3	1.52	1.7	1.84	1.96
S4	1.85	2.02	2.18	2.3
S5	1.17	1.24	1.32	1.38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAEIO

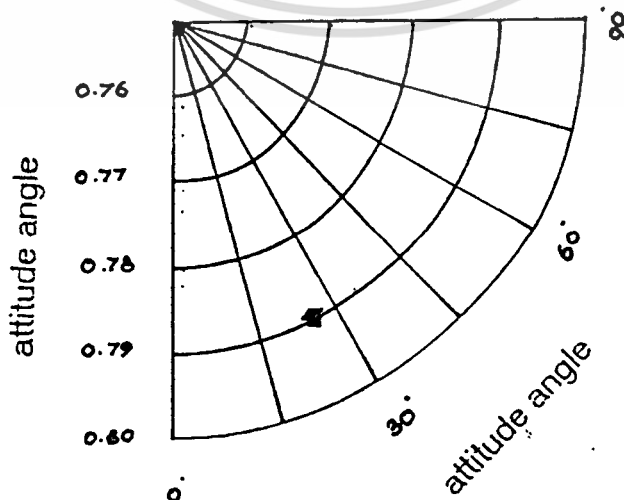
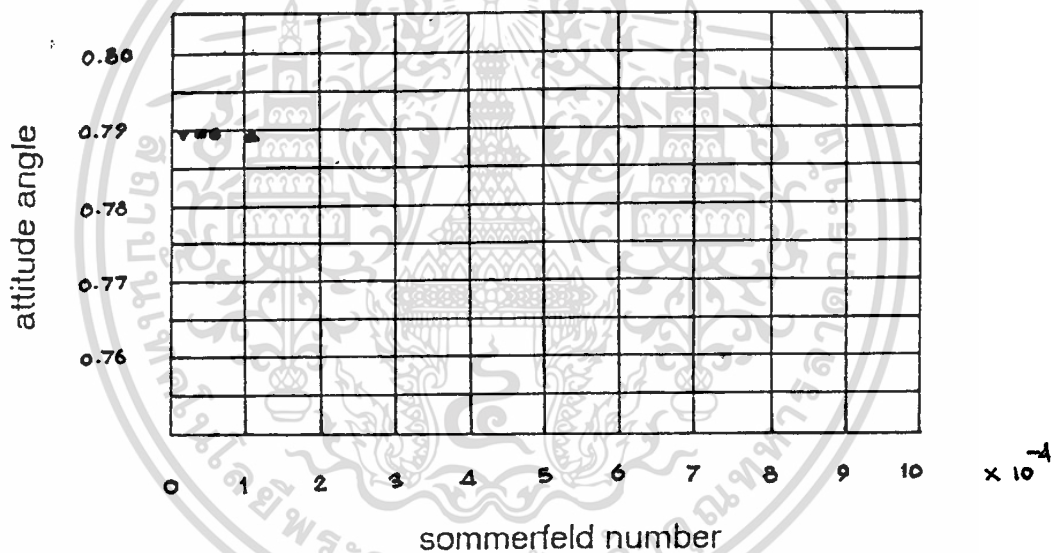
Thermocouple	1400 RPM			
	load			
	5	10	15	20
T1	44.6	45.5	48.1	50.8
T2	45	46	48.6	51.2
T3	45.5	47.5	49.1	51.8
T4	45.8	47.9	49.6	52.1
T5	46.2	48.2	49.9	52.8
T6	45.8	47.8	49.5	52.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE10

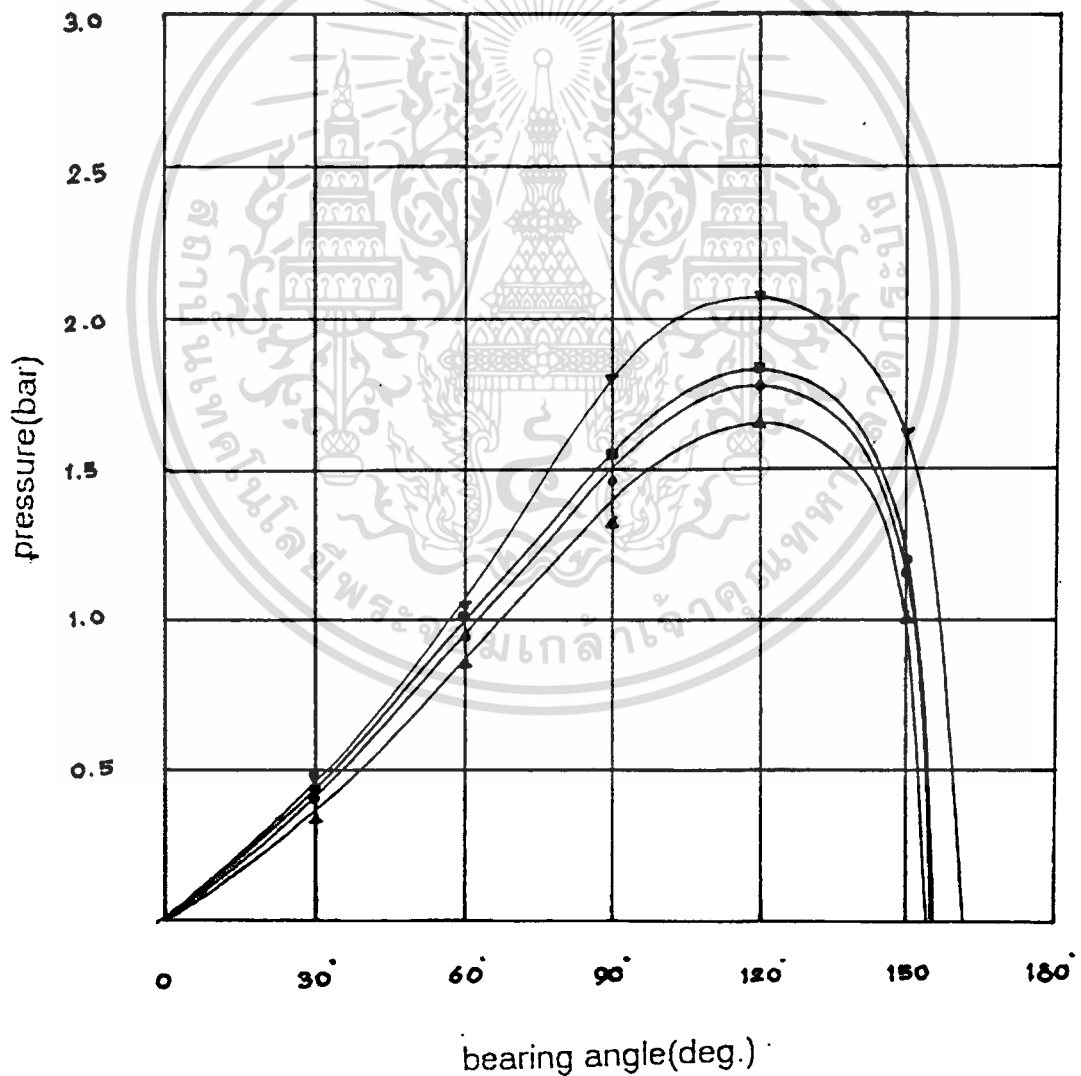
	1400 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.318	-2.317	-2.315	-2.311
	G2	-4.005	-4.008	-4.009	-4.006
Film Thickness (mm)	G1	0.5164	0.5166	0.517	0.5178
	G2	0.179	0.1784	0.1782	0.1788
Eccentricity Ratio		0.789	0.7898	0.7899	0.788
Attitude Angle		25.58	25.626	25.675	25.728
Minimum Film Thickness (mm)		0.1476	0.1471	0.147	0.1479
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		1.131	0.565	0.377	0.283



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

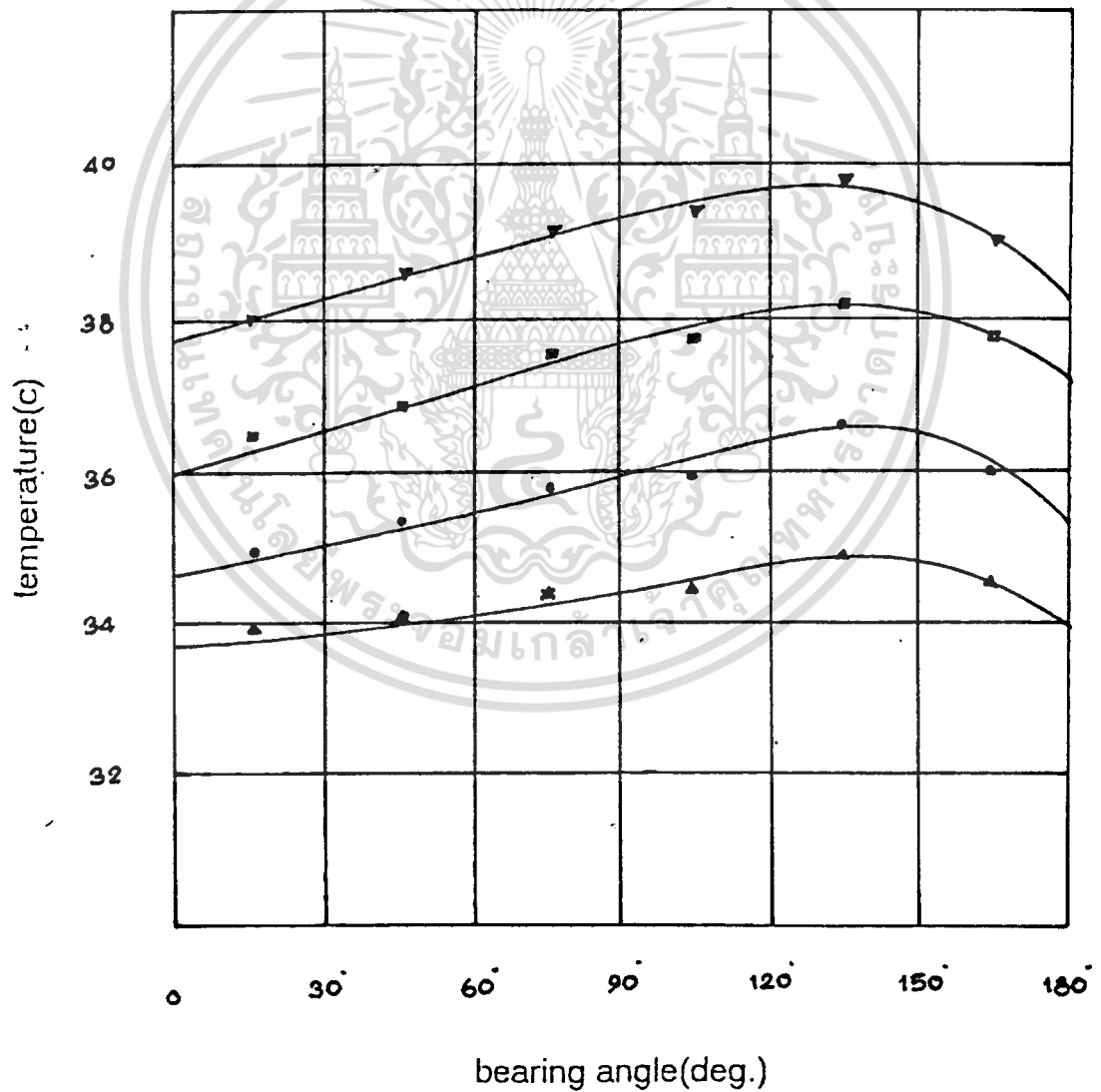
SAE 40

600 RPM				
Pressure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.35	0.4	0.44	0.48
S2	0.87	0.95	1.01	1.03
S3	1.34	1.47	1.54	1.84
S4	1.65	1.79	1.83	2.08
S5	1.03	1.18	1.2	1.66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

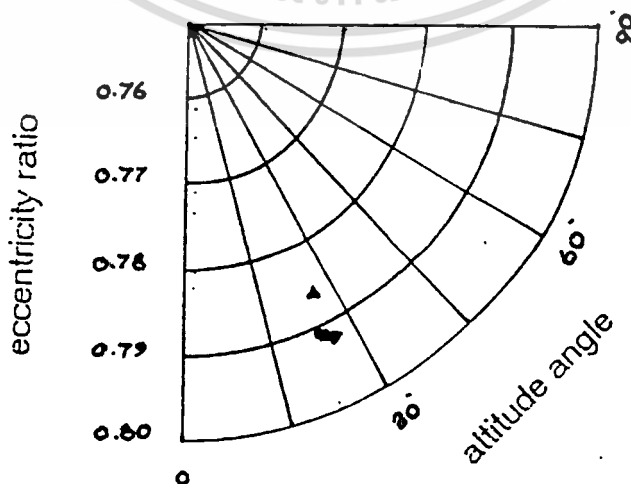
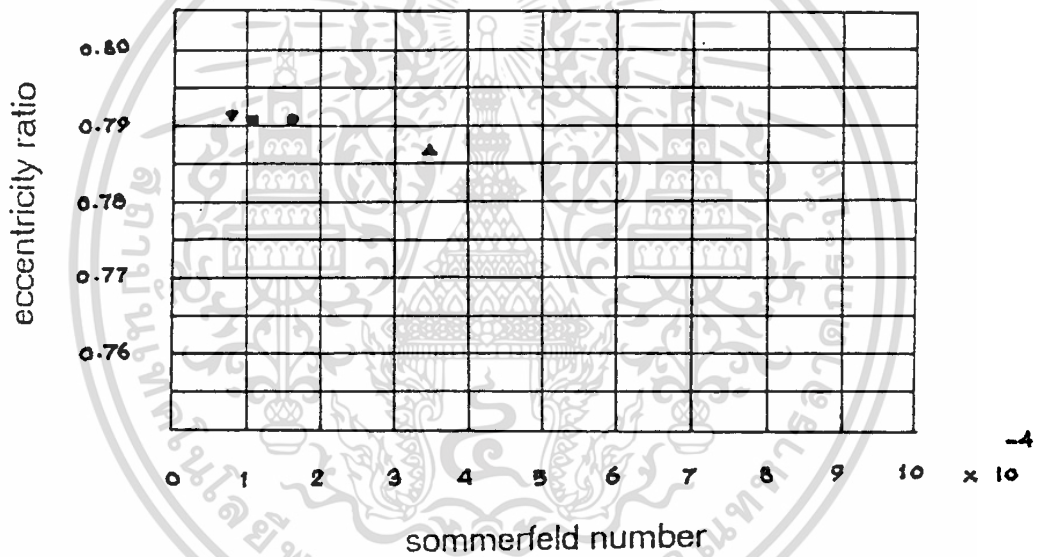
SAE40				
600 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	38	39.1	40.5	42
T2	38.1	39.4	40.9	42.6
T3	38.4	39.8	41.6	43.2
T4	38.5	39.9	41.7	43.4
T5	38.9	40.6	42.1	43.8
T6	38.6	40	42.8	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

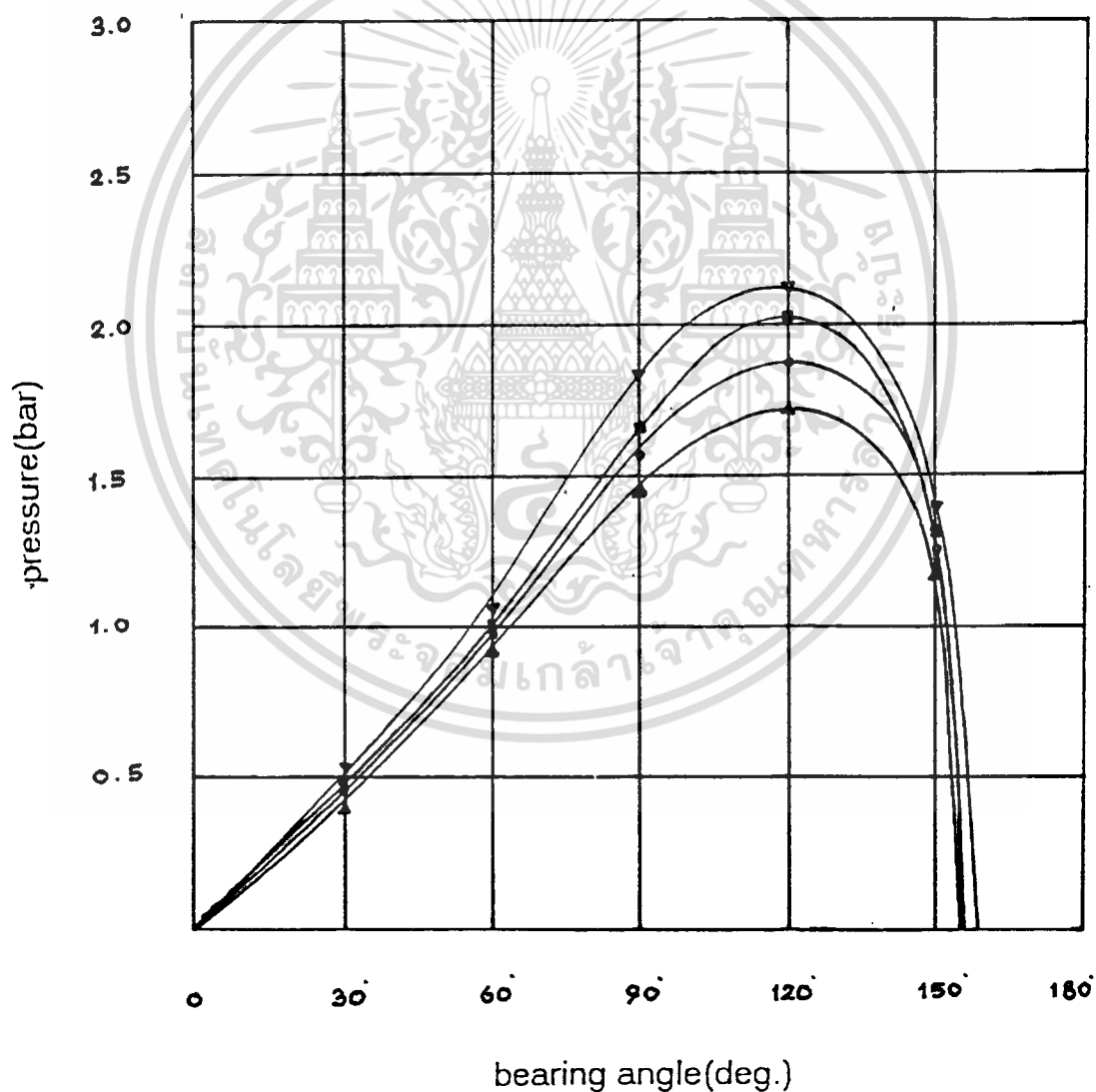
SAE40

	600 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (μV)	G1	-2.274	-2.3	-2.298	-2.295
	G2	-4.015	-4.018	-4.02	-4.025
Film Thickness (mm)	G1	0.5252	0.52	0.5204	0.521
	G2	0.177	0.1764	0.176	0.175
Eccentricity Ratio		0.787	0.791	0.791	0.792
Attitude Angle		26.519	26.03	26.077	26.17
Minimum Film Thickness (mm)		0.148	0.1464	0.1462	0.145
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		3.463	1.732	1.154	0.866



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

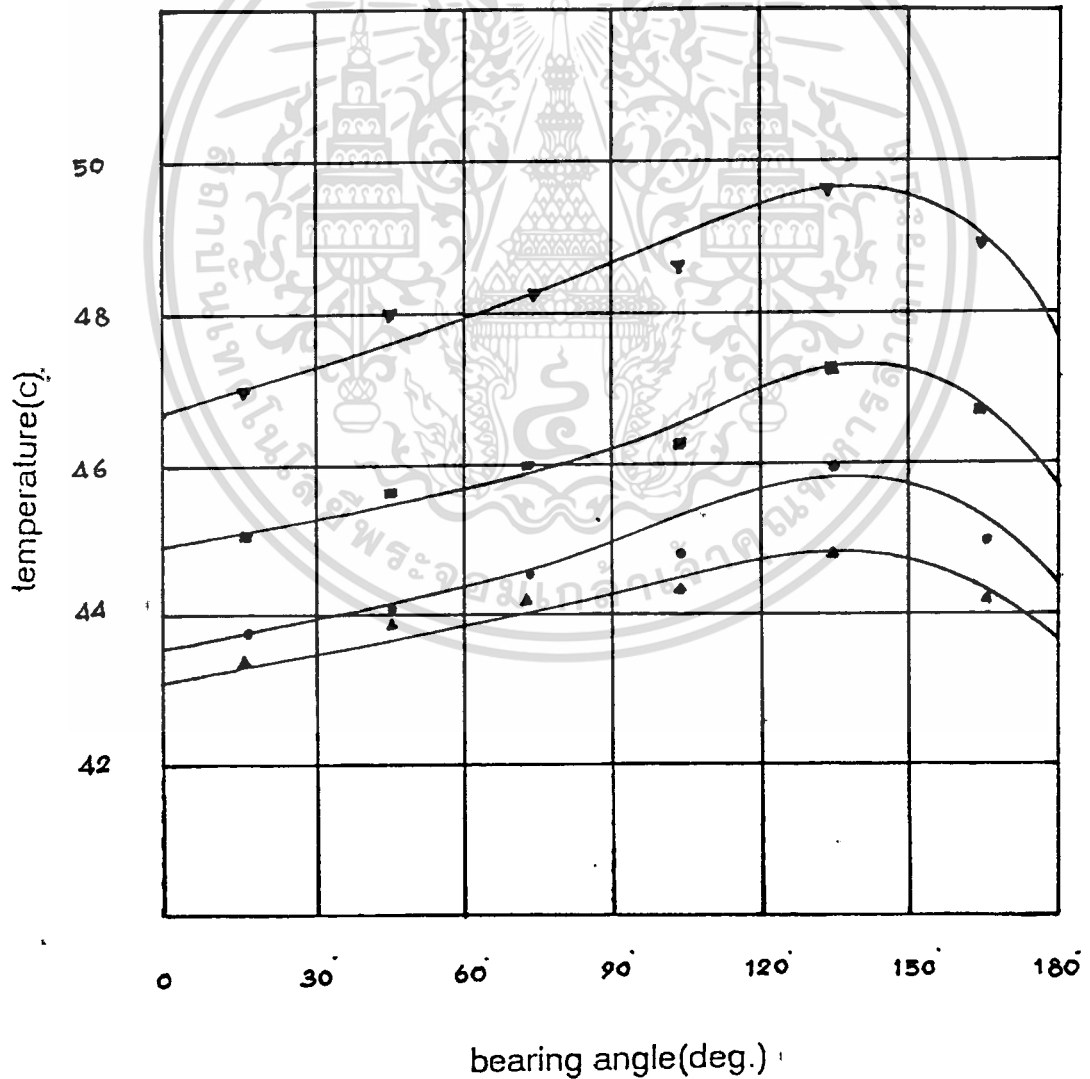
SAE 40				
900 RPM				
Pressure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.41	0.46	0.48	0.52
S2	0.92	0.96	1	1.05
S3	1.45	1.58	1.72	1.86
S4	1.7	1.87	2.04	2.13
S5	1.21	1.25	1.32	1.41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE 40

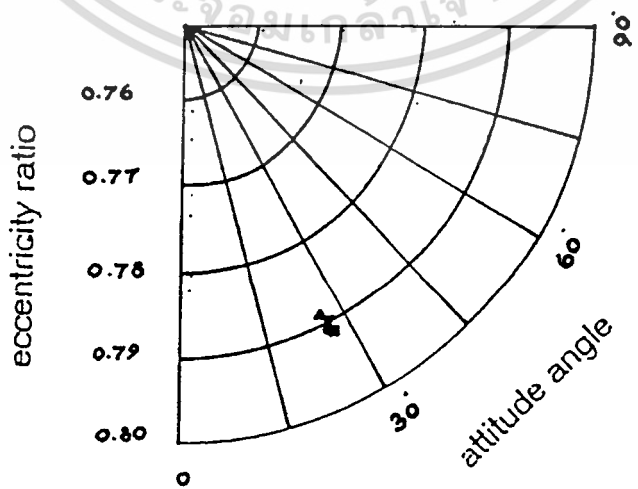
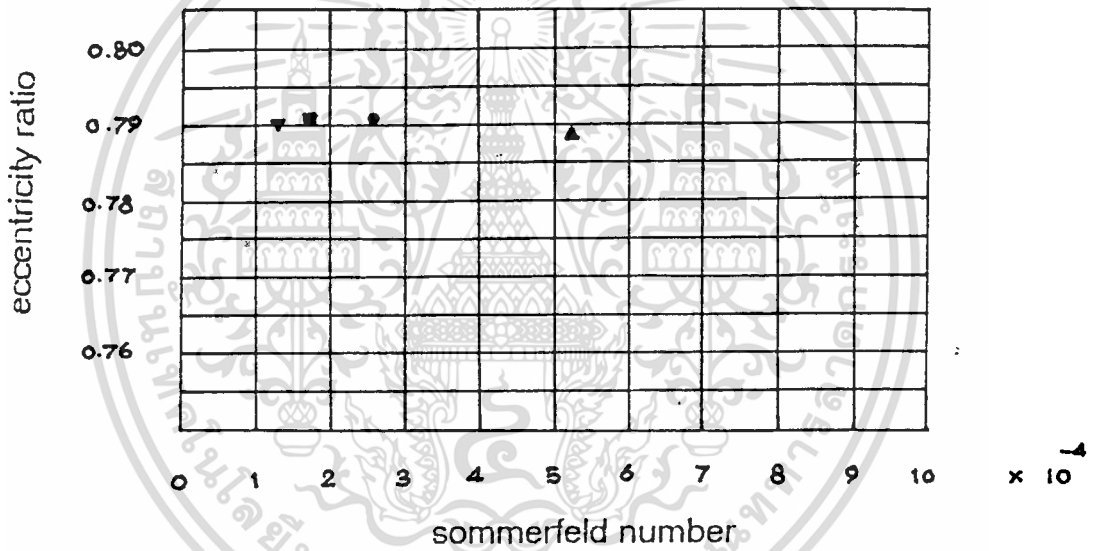
900 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	43.4	43.7	45	46.9
T2	43.9	44	45.6	48
T3	44.2	44.5	46	48.2
T4	44.3	44.7	46.2	48.5
T5	44.8	46	47.2	49.6
T6	44.2	44.9	46.7	48.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE40

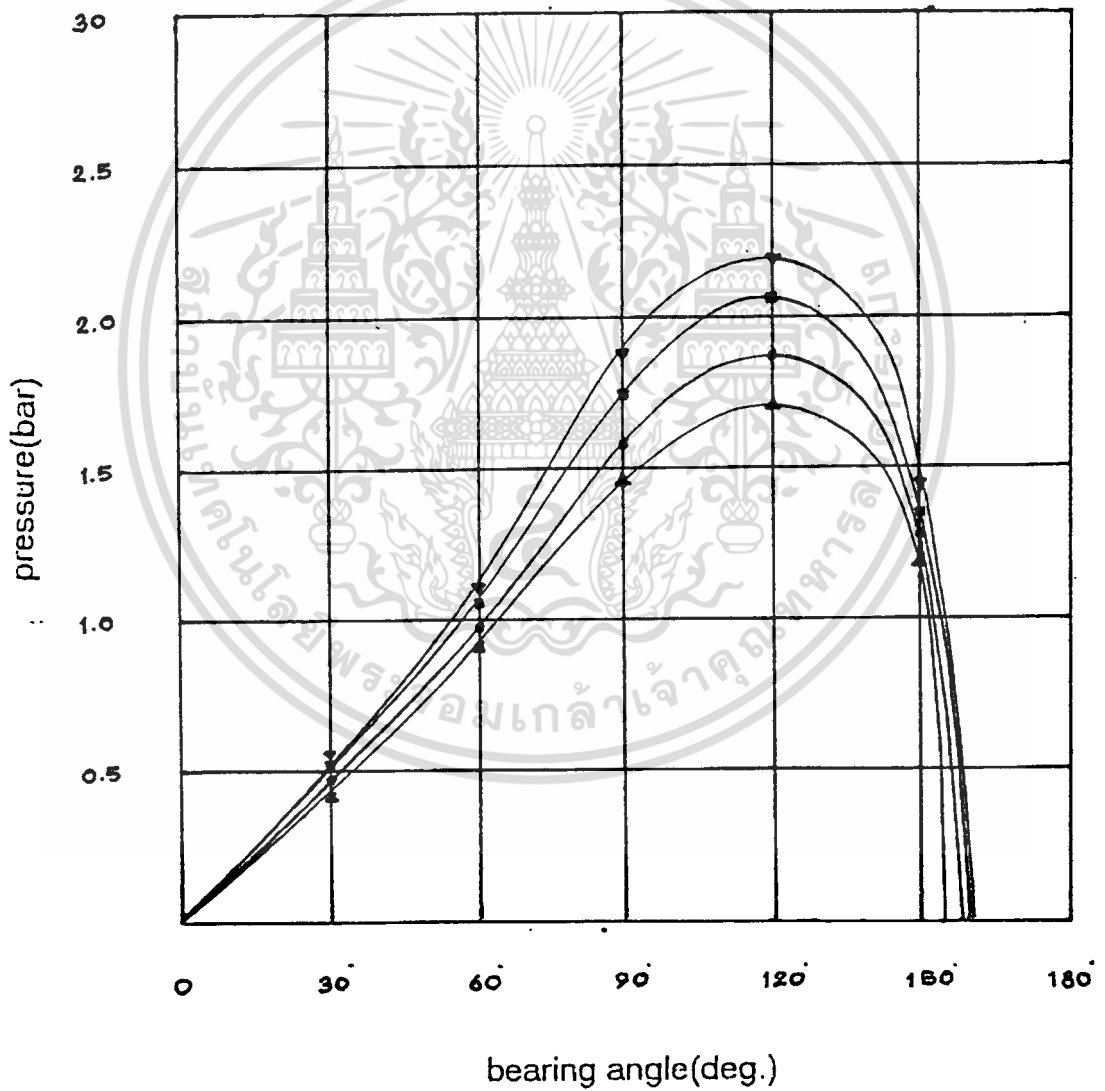
	900 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (μV)	G1	-2.303	-2.301	-2.297	-2.294
	G2	-4.012	-4.018	-4.02	-4.018
Film Thickness (mm)	G1	0.5194	0.5198	0.5206	0.5212
	G2	0.1776	0.1764	0.176	0.1764
Eccentricity Ratio		0.789	0.791	0.791	0.79
Attitude Angle		25.92	26.01	26.09	26.147
Minimum Film Thickness(mm)		0.147	0.1463	0.1461	0.1467
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		5.195	2.597	1.732	1.298



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE 40

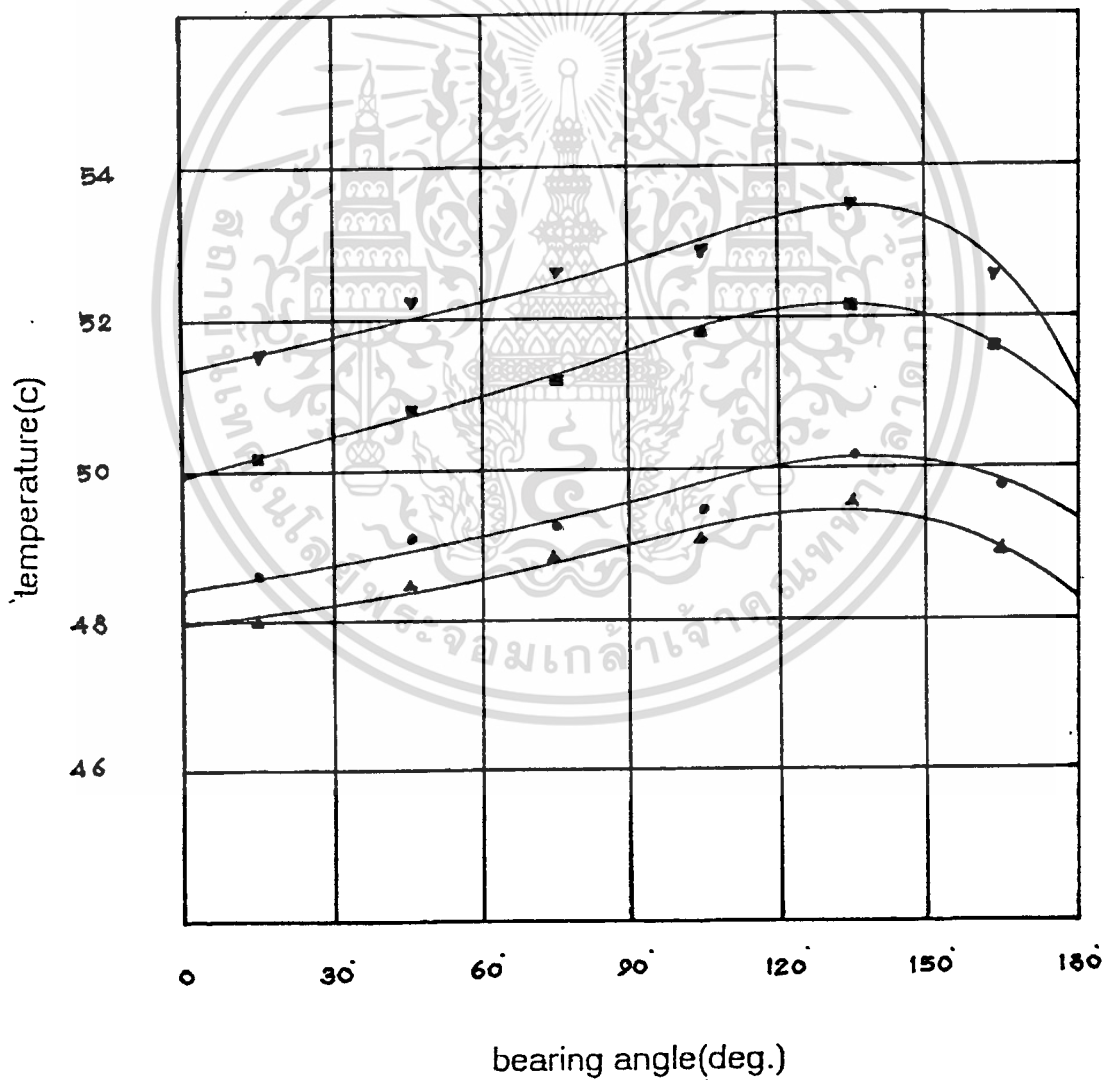
1200 RPM				
Préssure Gage	load			
	5	10	15	20
S1	0.43	0.47	0.52	0.56
S2	0.92	0.98	1.04	1.07
S3	1.44	1.59	1.76	1.85
S4	1.7	1.88	2.06	2.21
S5	1.24	1.27	1.34	1.42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE40

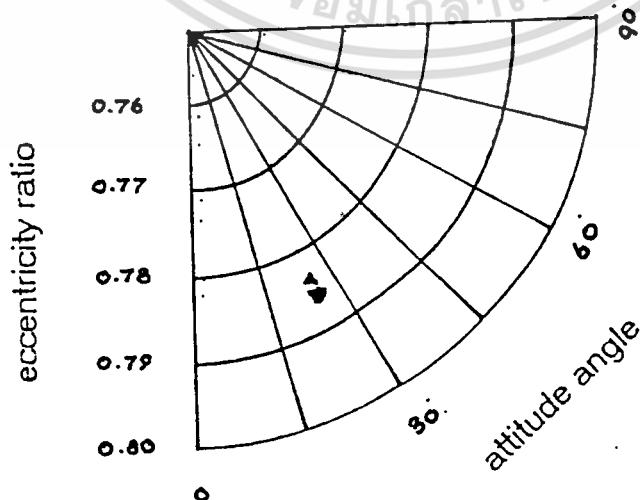
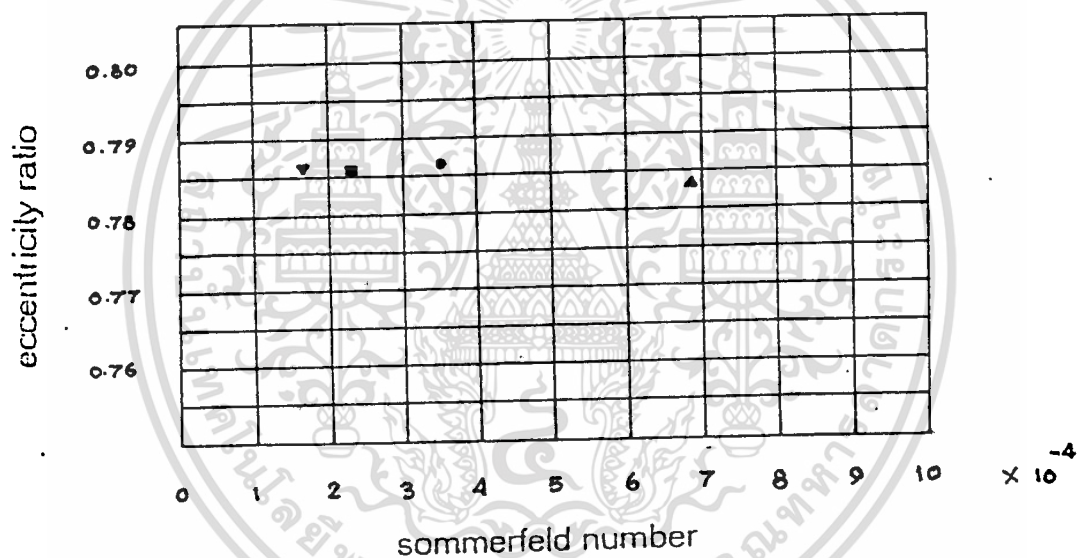
Thermocouple	1200 RPM			
	load			
	5	10	15	20
T1	48	48.6	50.1	51.5
T2	48.5	49.1	50.8	52.2
T3	48.8	49.2	51.2	52.6
T4	49	49.4	51.8	52.8
T5	49.6	50.1	52.1	53.5
T6	48.9	49.8	51.6	52.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE40

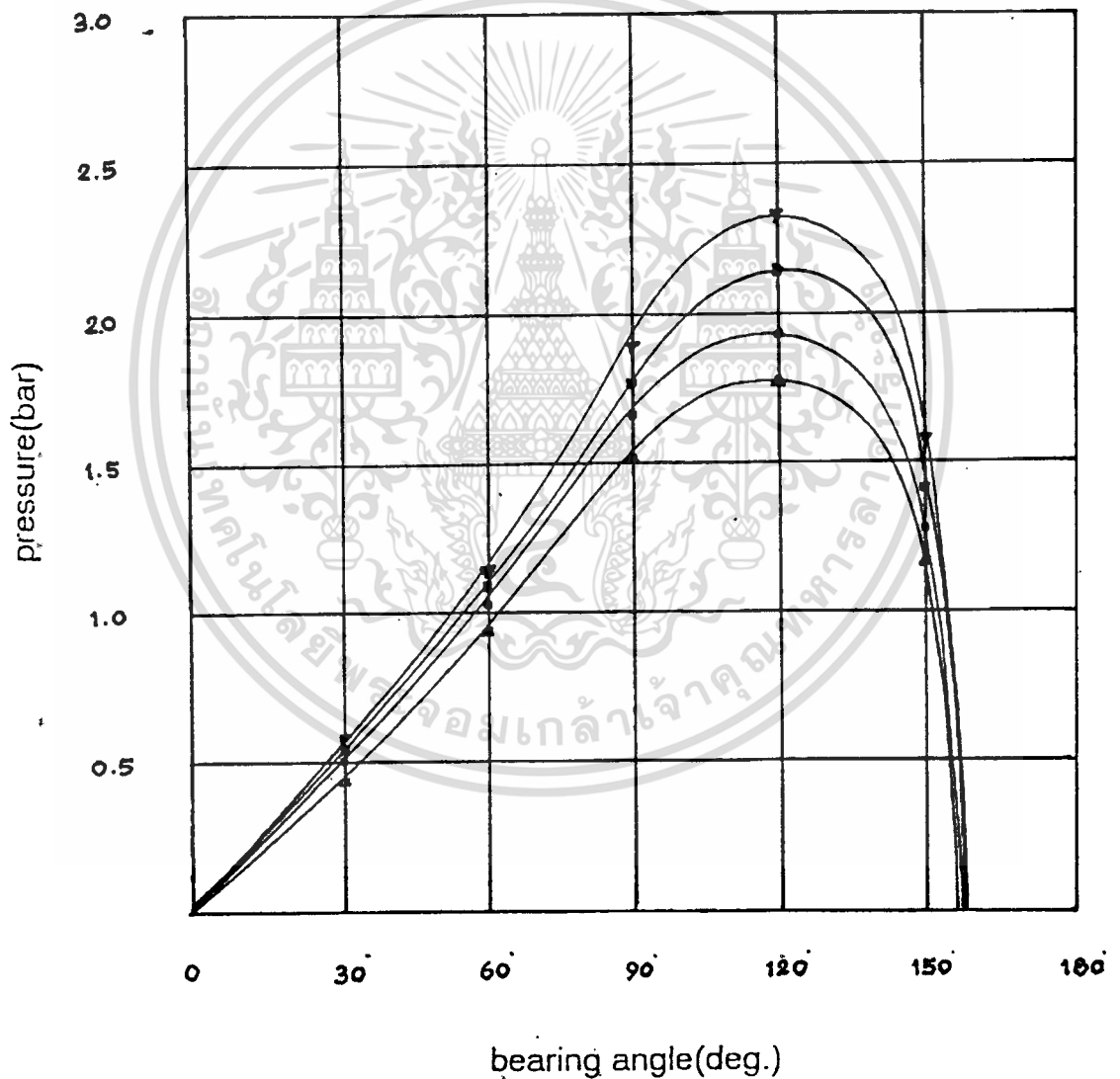
	1200 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.284	-2.286	-2.281	-2.276
	G2	-3.998	-4.011	-4.008	-4.007
Film Thickness (mm)	G1	0.5232	0.5228	0.5238	0.5248
	G2	0.1804	0.1778	0.1784	0.1786
Eccentricity Ratio		0.784	0.787	0.786	0.7857
Attitude Angle		26.206	26.26	26.33	26.42
Minimum Film Thickness(mm)		0.151	0.148	0.1494	0.1499
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		6.927	3.463	2.309	1.732



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE 40

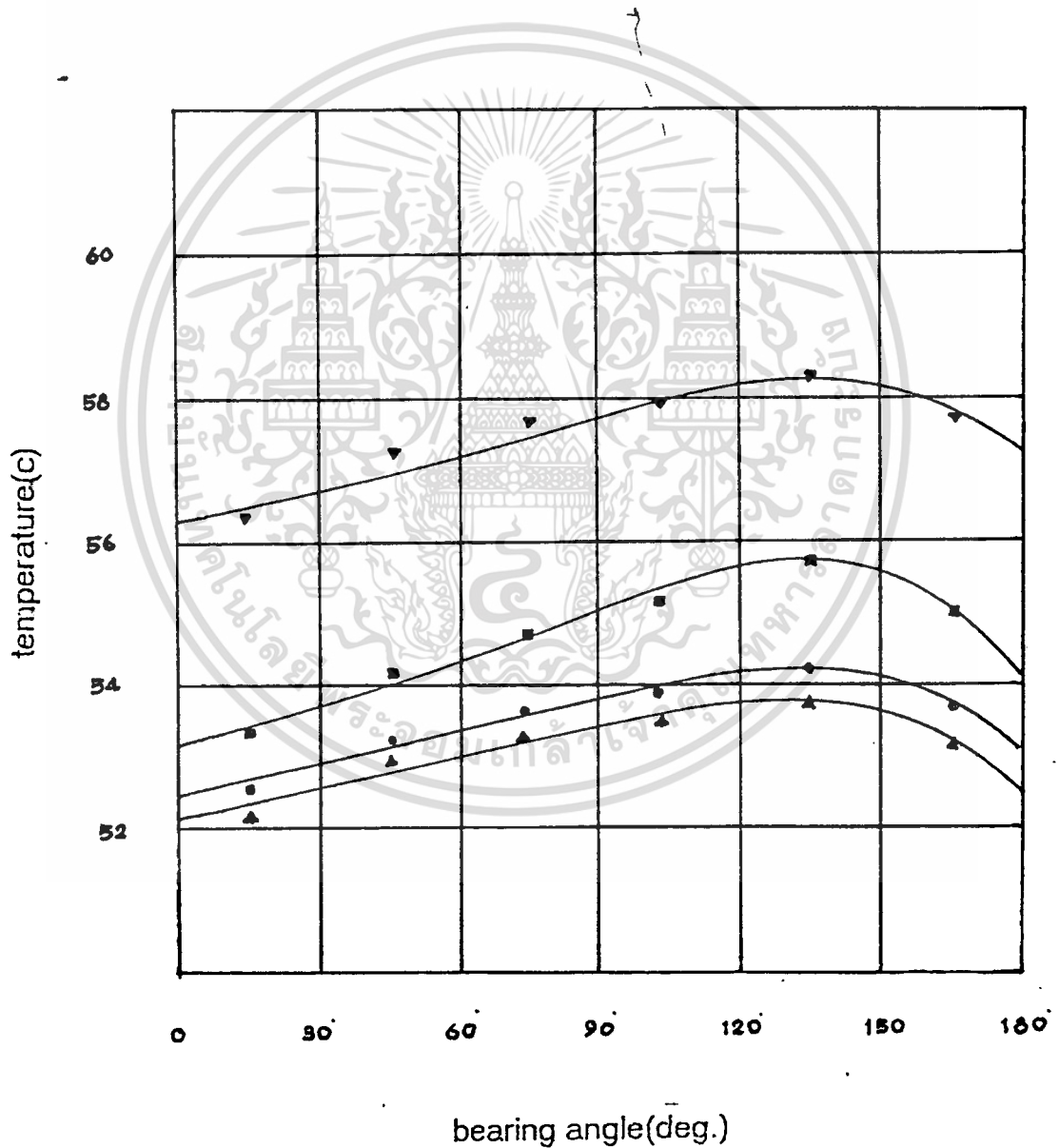
Pressure Gage	1400 RPM			
	load			
	5	10	15	20
S1	0.45	0.5	0.53	0.57
S2	0.96	1.04	1.06	1.08
S3	1.52	1.67	1.78	1.91
S4	1.77	1.93	2.15	2.32
S5	1.19	1.3	1.41	1.58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE 40

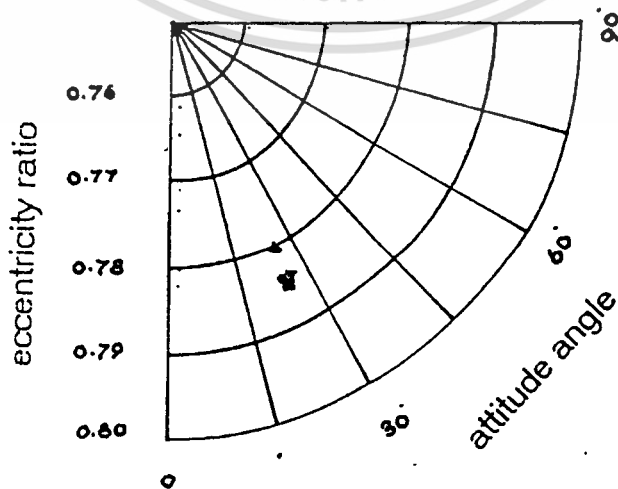
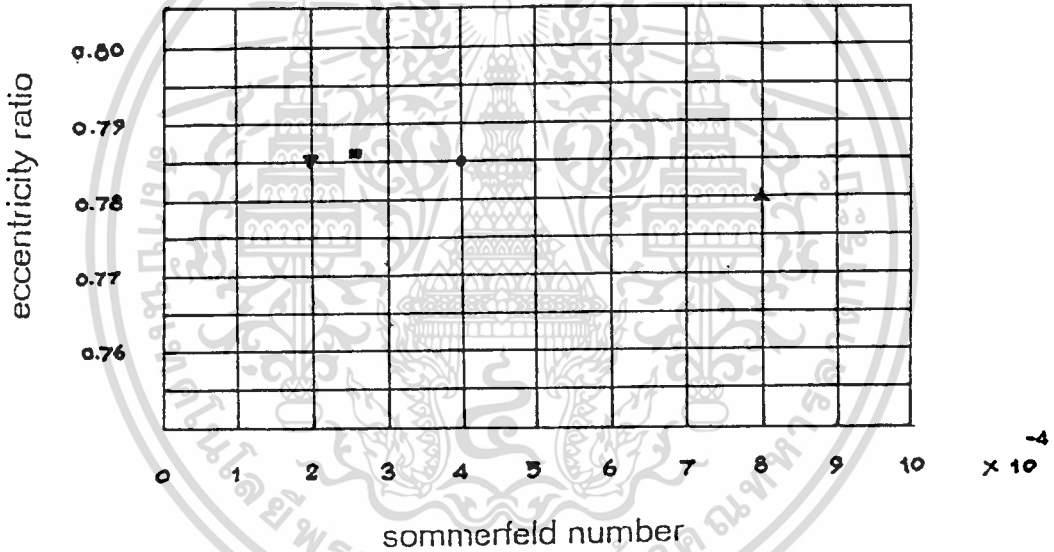
1400 RPM				
Thermocouple	load			
	5	10	15	20
T1	52.1	52.5	53.3	56.3
T2	53	53.2	54.2	57
T3	53.3	53.6	54.7	57.4
T4	53.4	53.8	55.2	57.9
T5	53.7	54.2	55.7	58.2
T6	53.1	53.7	55	57.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SAE40

	1400 RPM				
	Gap sensor	LOAD			
		5	10	15	20
Voltage (V)	G1	-2.274	-2.283	-2.282	-2.278
	G2	-3.988	-4.005	-4.008	-4.005
Film Thickness (mm)	G1	0.5252	0.5234	0.5236	0.5244
	G2	0.1824	0.179	0.1784	0.179
Eccentricity Ratio		0.78	0.7858	0.786	0.785
Attitude Angle		26.34	26.27	26.31	26.378
Minimum Film Thickness (mm)		0.1537	0.1498	0.1494	0.15
Sommerfeld number $\times 10^{-4}$		8.082	4.041	2.694	2.02



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากกราฟแสดงผลการทดลองจุดที่มีค่าความดันมากที่สุดจะใกล้เคียงกับจุดที่มีอุณหภูมิมากที่สุดและใกล้เคียงกับจุดที่มีความหนาของฟิล์มน้อยที่สุดด้วยซึ่งตามทฤษฎีควรจะเป็นจุดเดียวกัน จากการพิจารณา ผลของความหนืดที่มีต่อการทำงานของเจอร์นอลแบริงจะพบว่า การเพิ่มความหนืดจะทำให้เจอร์นอลแบริงสามารถสร้างความดันในฟิล์มน้ำมันเพื่อรองรับโหลดได้เพิ่มขึ้น

การเพิ่มความเร็วรอบที่สภาวะโหลดหนึ่งๆ เจอร์นอลแบริงสามารถเพิ่มความดันในฟิล์มน้ำมัน และความหนาของฟิล์มน้ำมันเพื่อรองรับโหลดได้เพิ่มขึ้น

การเพิ่มโหลดจะทำให้ความดันในฟิล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลงส่งผลทำให้ความสามารถในการรับโหลดลดลง

ในขณะที่ความเร็วรอบและโหลด หรืออย่างใดอย่างหนึ่งเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยมีผลให้ความหนืดของน้ำมันลดลง ดังนั้นความสามารถในการรับโหลดจึงลดลง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงจึงเป็นปัญหาต่อสมรรถนะของเจอร์นอลแบริง

จากผลการทดลองจะไม่ค่อยเห็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ชัดเจนคือค่า minimum film thickness , eccentricity ratio และค่า attitude angle นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก เพราะค่า sommerfeld ซึ่งเป็นค่าที่แสดงสภาวะการทำงานของเจอร์นอลแบริงนั้นมีค่าน้อยมาก ซึ่งจากการพิจารณาพบว่าสาเหตุมาจากค่าครีียว แรนต์ที่มากเกินไป ทำให้การเปลี่ยนความเร็วรอบหรือโหลดไม่มีผลเท่าที่ควร

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเกี่ยวกับเจอร์นอลแบริงต้องให้ความสำคัญละเอียดและความแม่นยำสูงดังนั้นเครื่องมือวัดต่างๆ ควรต้องมีการทดสอบเพื่อความถูกต้องให้มากที่สุด

บรรณานุกรม

INSTRUMENTATION FOR ENGINEERING MEASUREMENTS

James W. Dally

William F. Riley

Nenneth G. McConnell

New York Wiley 1983

ADVANCED LUBRICATION THEORY

Dr.Hiromu Hashimoto

Dr.Mongkol Mongkolwongroj

1993 JICA

ทฤษฎีการหล่อลื่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ศาสตราจารย์ ดร. ฮิโรมุ ฮาชิโมโตะ

1993 สจล. & JICA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างดี นั่นก็เพราะว่าได้รับความร่วมมือ
ความ ช่วยเหลือและการสนับสนุนอย่างดียิ่งจากบุคคลที่จะกล่าวถึงดังต่อไปนี้
ดร มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งให้คำปรึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติมา
โดยตลอด พี่มณฑา ช่วยเหลือในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง คุณณภัทร (พี่ปู)
ผู้ ที่คอยอำนวยความสะดวกในด้านคอมพิวเตอร์ นายสุรินทร์ (ยัง) ให้ความช่วยเหลือด้าน
คอมพิวเตอร์เช่นกัน นายนิติเทพและน้อง(หลิน) ให้ยืมเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ คุณ
ภาสกร (เปิ้ล) ให้การสนับสนุนด้านสิ้นทมาการ
ทางผู้จัดทำจึงขอขอบคุณบุคคลต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ