การพัฒนาสารหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD 11 และเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304

The Development of Appropriate Lubrication for SUS 304 Stainless Steel Disk against SKD 11 Tool Steel Ball

ณัฐ โรจน์กิตติชัย (Nut Rodkittichai)[1] พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ (Pongpan Kaewtatip)[2]*
อนรรฆ ขันธะชวนะ (Anak Khantachawana)[2] วารุณี เปรมานนท์ (Varunee Premanond)[3]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองหาค่าความเสียดทานโดยใช้เครื่องไตรบอมิเตอร์ด้วยวิธีทดสอบแบบ ball-on-disk เพื่อให้ทราบอิทธิพลความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่น และ contact pressure ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยชิ้นงานจะถูกจำลองเป็นแผ่นจาน (disk) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม และแม่พิมพ์จะถูกจำลองเป็นบอลทำจากวัสดุเหล็กเครื่องมืองานเย็น เกรด SKD 11 (JIS) ชุบแข็งที่ 60±2 HRC โดยได้ศึกษาสารหล่อลื่นที่มีสารรับแรงกด Chlorine, Active Sulphur, Inactive Sulphur และ Phosphorus และทำการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารหล่อลื่นคือ 100 cSt และ 500 cSt ซึ่งทั้งหมดนี้จะทำการทดสอบในสภาวะที่มี contact pressure 638 MPa, 1377 MPa และ 1734 MPa ผลการทดสอบพบว่า ความหนืดของสารหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงจะทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าสารหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำ ในกรณีที่ไม่มีสารรับแรงกดผสมอยู่ สารรับแรงกด Chlorine, Active Sulphur และ Phosphorus สามารถช่วยให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นลดลง และเมื่อทำการเพิ่ม contact pressure เป็น 1377 MPa และ 1734 MPa ฟิล์มน้ำมันไม่สามารถแยกการสัมผัสระหว่างผิววัสดุทั้งสองได้ดีจึงทำให้ที่ contact pressure สูงมีการสัมผัสกันโดยตรงของเนื้อวัสดุบางส่วน ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น

Abstract

Physical simulation using tribometer has been carried out to determine the coefficient of friction. The influences of lubricant viscosity, additives in lubricants and contact pressure on the friction coefficient between a stainless steel disk and SKD 11 (JIS) cold work tool steel ball hardened to 60±2 HRC were explored. Lubricant viscosities of 100 cSt and 500 cSt were studied. Various amounts of extreme pressure type additives consisting of Chlorine, Active Sulphur, Inactive Sulphur and Phosphorus were investigated. Experiments were carried out at contact pressures of 638 MPa, 1377 MPa and 1734 MPa. The results show that low coefficients of friction can be obtained by using high viscosity lubricants in the case of no additives or with a sufficient amount of extreme pressure additives, consisting of Chlorine, Active Sulphur and Phosphorus at high contact pressure. Relative motion at high contact pressure introduces a high coefficient of friction due to the break down of the lubricant film under high pressure.

คำสำคัญ: สารหล่อลื่น เหล็กกล้าไร้สนิม ความเสียดทาน

Keywords: lubrication, stainless steel, friction

[1]*นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
[2]*อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
[3]*อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
**corresponding author, e-mail: gt_3s@hotmail.com*

บทนำ

งานปั้นขึ้นรูปโลหะจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และเครื่องใช้ในครัวเรือน กรรมวิธีหลักที่มีความสำคัญคือ งานลากขึ้นรูปลึก (deep drawing) งานตัด (blanking) งานพับ (bending) เป็นต้น จากข้างต้นหากชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตมีข้อบกพร่องเกิดขึ้น เช่น มีรอยขูดขีดบนชิ้นงานหรือมีรอยขูดขีดที่แม่พิมพ์ ซึ่งทำให้ต้องนำชิ้นงานและแม่พิมพ์มาทำการตกแต่งผิวให้เรียบร้อยเสียก่อน ไม่เช่นนั้นอาจทำให้มีผลกระทบต่อการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งอาจทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายจากสภาวะการแข่งขันทำให้ต้องลดต้นทุนที่เกิดขึ้น การควบคุมกลไกของความเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่จะลดต้นทุนในส่วนของแม่พิมพ์ เนื่องจากเป็นการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และยังเป็นการลดของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการผลิต นอกจากนี้ความเสียดทานยังส่งผลต่ออัตราการสึกหรอด้วย ทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส คือสารหล่อลื่น

สารหล่อลื่นมีหลายสภาวะ เช่น ก๊าซ ของเหลว กึ่งของเหลว และของแข็ง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลว คือน้ำมันหล่อลื่น โดยเมื่อแม่พิมพ์กับชิ้นงานเคลื่อนไหวเสียดสีกัน ย่อมทำให้เกิดความร้อนเกิดการสึกหรอ แต่ถ้ามีน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวกันอยู่ระหว่างผิวหน้าชิ้นงานทั้งสอง น้ำมันจะเป็นตัวกลางป้องกันไม่ให้ผิวหน้าชิ้นงานสัมผัสกันโดยตรง และช่วยลดการสึกหรอ (ประเสริฐ และขวัญชัย, 2541) โดยในสารหล่อลื่นจะมีสารรับแรงกด ประกอบไปด้วย Chlorine, Sulphur และ Phosphorus (ปนัดดา และคณะ, 2545) เพื่อให้เข้าใจถึงกลไกความเสียดทานของการหล่อลื่นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวัดค่าที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกทางไตรบอโลยี (Tribology) ในแง่ของความเสียดทานโดยการใช้เครื่องไตรบอมิเตอร์ที่จำลองกลไกการเสียดทานของพื้นผิวคู่สัมผัส โดยไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงกับแม่พิมพ์จริงที่มีราคาแพง

อุปกรณ์และวิธีวิจัย

ใช้เครื่อง Tribometer (ASTM G133-95) แบบ Ball-on-disk หลักการทำงานแสดงในรูปที่ 1 คือ ให้แรงกดวัตถุ (normal force, N) คงที่บนบอล ส่วนที่แผ่นจานหมุนติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงบิด แรงเสียดทาน (F) คำนวณได้จากแรงบิดคูณรัศมีการหมุนของบอลบนแผ่นจาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) สามารถคำนวณได้โดยตรงจากสมการที่ 1

$$\mu = \frac{F}{N} \qquad (1)$$

แผ่นจาน (disk) ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 (JIS) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. หนา 5-9 มม. ส่วนบอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD 11) ที่ชุบแข็งที่ระดับ 60±2 HRC โดยใช้สารหล่อลื่นที่เป็นน้ำมันแร่พื้นฐาน (base oil) ที่มีค่าความหนืดต่างกันคือ 100 cSt และ 500 cSt สารเพิ่มคุณภาพที่เป็นสารรับแรงกด 4 ชนิด คือ Chlorine, Active Sulphur, Inactive Sulphur และ Phosphorus ใช้แรงกด (normal load) 1, 10 และ 20 N ซึ่งทำให้เกิดแรงดันสัมผัส (contact pressure) ขนาด 638, 1377 และ 1734 MPa และความเร็วเชิงเส้นคงที่ตลอดการทดลอง 30 มม./วินาที ระยะทางในการหมุนคือ 350 เมตร

นำสารรับแรงกดทั้ง 4 ชนิดผสมลงในสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt แสดงดังตารางที่ 1 ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นที่ไม่มีสารเพิ่มคุณภาพ

ตัวอย่างรูปที่ได้จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นกับผิวคู่สัมผัสและระยะทางในการหมุน โดยในการหมุนช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะยังมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากการปรับผิวของผิวคู่สัมผัส ซึ่งในแต่ละสารหล่อลื่นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าคงที่ ที่ระยะทางแตกต่างกันและจะนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ระยะ 250 เมตร ถึง 350 เมตร ซึ่งเป็น

ระยะทางที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าคงที่ในทุกสารหล่อลื่นที่นำมาทดสอบ มาใช้ในการวิเคราะห์

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

อิทธิพลความหนืดของสารหล่อลื่นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ในการทดสอบใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) ที่ยังไม่ได้ทำการผสมสารรับแรงกดลงไปเพื่อดูเฉพาะอิทธิพลของความหนืดของสารหล่อลื่น ผลการทดสอบในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม กับเหล็กเครื่องมือเย็น สารหล่อลื่นที่มีความหนืด 500 cSt ช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt ที่ทุกค่า contact pressure เนื่องจากสารหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงการยืดตัวของสารหล่อลื่นมีมากกว่าสารหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำ ทำให้สารหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงสามารถแยกการสัมผัสระหว่างผิววัสดุทั้งสองได้ดีกว่าสารหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำจึงทำให้ได้ค่าความเสียดทานที่น้อยกว่า

ผลการทดสอบในรูปที่ 4-6 เมื่อทำการผสมสารรับแรงกดเข้าไปในสารหล่อลื่น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบไม่สามารถเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt ซึ่งแสดงว่าสารเพิ่มคุณภาพเข้ามามีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่าค่าความหนืดของสารหล่อลื่น

อิทธิพลของสารรับแรงกดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบในรูป 7 แสดงให้เห็นอิทธิพลของสารรับแรงกด Chlorine ที่เติมเข้าไปในสารหล่อลื่นความหนืด 100 cSt และ 500 cSt พบว่าที่ contact pressure 1377 MPa และ 1734 MPa เมื่อมีการเติมสารรับแรงกด Chlorine 0.5%.wt ผลที่ได้คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อเทียบกับสารหล่อลื่นที่ไม่ได้เติมสารรับแรงกดไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อทำการวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นที่มีสารรับแรงกด Chlorine 5%.wt จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่น้อยลงกว่าสารหล่อลื่นที่ไม่มีสารรับแรงกด และที่ contact pressure 638 MPa ส่วนผสมของ Chlorine ไม่มีส่วนช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในน้ำมันที่มีค่าความหนืด 500 cSt แต่ในน้ำมันที่มีความหนืด 100 cSt Chlorine มีส่วนช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นอิทธิพลของสารรับแรงกด Active Sulphur ที่เติมเข้าไปในสารหล่อลื่นความหนืด 100 cSt และ 500 cSt พบว่าที่ contact pressure 1377 MPa และ 1734 MPa สามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้เล็กน้อย ส่วนสารรับแรงกด Inactive Sulphur ที่ผสมอยู่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ดังผลการทดสอบในรูปที่ 9

ผลการทดสอบในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นอิทธิพลของสารรับแรงกด Phosphorus ที่เติมเข้าไปในสารหล่อลื่นความหนืด 100 cSt และ 500 cSt พบว่าที่ contact pressure 1377 MPa และ 1734 MPa สามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้เล็กน้อย

อิทธิพลของ contact pressure ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบในรูปที่ 11-14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า contact pressure ที่กระทำระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กเครื่องมืองานเย็น โดยค่า contact pressure 638 MPa จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำมาก เนื่องจากความหนาของฟิล์มน้ำมันยังสามารถที่จะแยกการสัมผัสระหว่างผิววัสดุทั้งสองได้ดี แต่เมื่อทำการเพิ่ม contact pressure เป็น 1377 MPa และ 1734 MPa ฟิล์มน้ำมันไม่สามารถแยกการสัมผัสระหว่างผิววัสดุทั้งสองได้ดีจึงทำให้มีการสัมผัสกันโดยตรงของเนื้อวัสดุบางส่วน ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้น

บทสรุป

- ค่าความหนืดของสารหล่อลื่นส่งผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กเครื่องมืองานเย็น โดยสารหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงจะให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่า สารหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำ ในกรณีที่ไม่มีสารรับแรงกดผสมอยู่

- สารหล่อลื่นที่มีการเติมสารรับแรงกด Chlorine สามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงได้มาก ส่วนสารหล่อลื่นที่มีการเติมสารรับแรงกด Active Sulphur และ Phosphorus สามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงได้เล็กน้อยในกรณี contact pressure สูง

- ค่า contact pressure มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กเครื่องมืองานเย็น โดยค่า contact pressure ต่ำจะส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำ และค่า contact pressure สูงก็จะส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูง

- สารหล่อลื่นที่เหมาะสมสำหรับผิวคู่สัมผัสระหว่าง SKD 11 และเล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 คือ สารหล่อลื่นความหนืด 100 cSt ที่มีสารรับแรงกด Chlorine ผสมอยู่ในปริมาณ 5%.wt ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดในทุกค่า contact pressure ที่ทำการทดลอง โดยที่ contact pressure 638 MPa, 1377 MPa และ 1734 MPa จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.012, 0.082 และ 0.083 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสารหล่อลื่นที่ไม่ได้ทำการเติมสารรับกดเข้าไปสามารถช่วยให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลง 62.5%, 22.12% และ 21.69% ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์ ผกามาศ แซ่หว่อง วารุณี เปรมานนท์ และสุรพล ราษฎร์นุ้ย. 2545. การสึกหรอ: ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

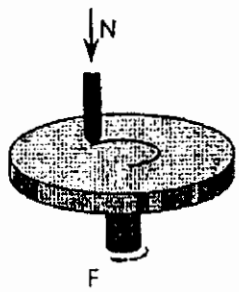
ประเสริฐ เทียนนิมิต ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร. 2541. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด.

ASTM G133-95, "Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear". p. 523-536.

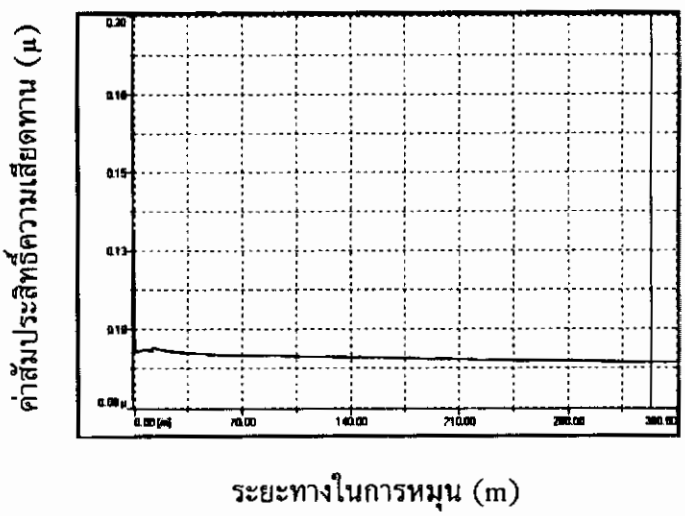
ตารางที่ 1 สารรับแรงกดที่ทำการผสมลงในสารหล่อลื่น 100 cSt และ 500 cSt

ชนิดสารรับแรงกด	สารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt		สารหล่อลื่นที่มีความหนืด 500 cSt	
Chlorine	0.5 %.wt	5 %.wt	0.5 %.wt	5 %.wt
Active Sulphur	0.38 %.wt	5.7 %.wt	0.38 %.wt	5.7 %.wt
Inactive Sulphur	0.425 %.wt	1.7 %.wt	0.425 %.wt	1.7 %.wt
Phosphorus	0.2125 %.wt	0.85 %.wt	0.2125 %.wt	0.85 %.wt

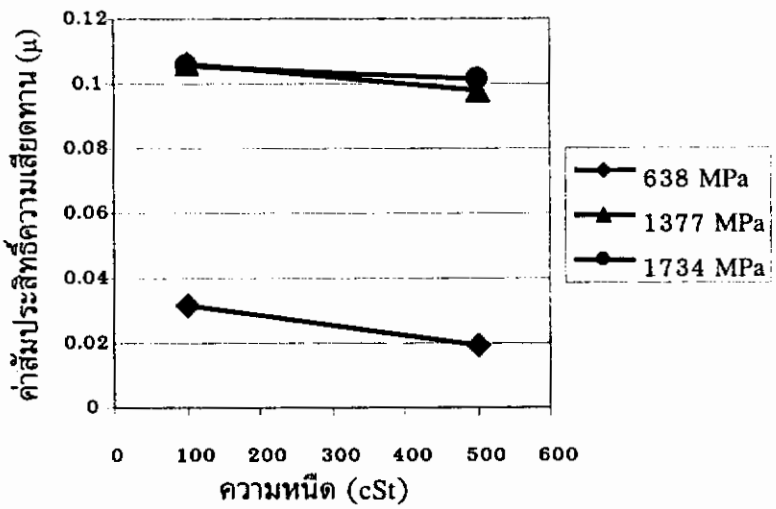
* หมายเหตุ สารหล่อลื่นทุกตัวจะทำการผสม fatty acid ในปริมาณ 5%.wt



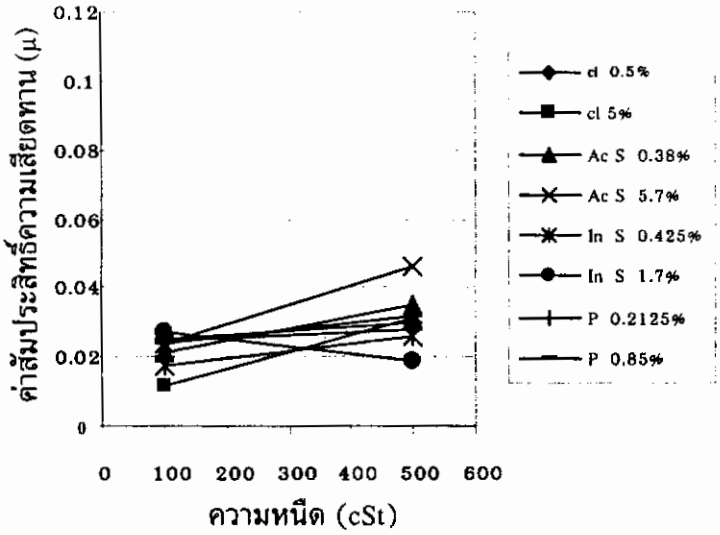
รูปที่ 1 หลักการทำงานของ Ball-on-disk



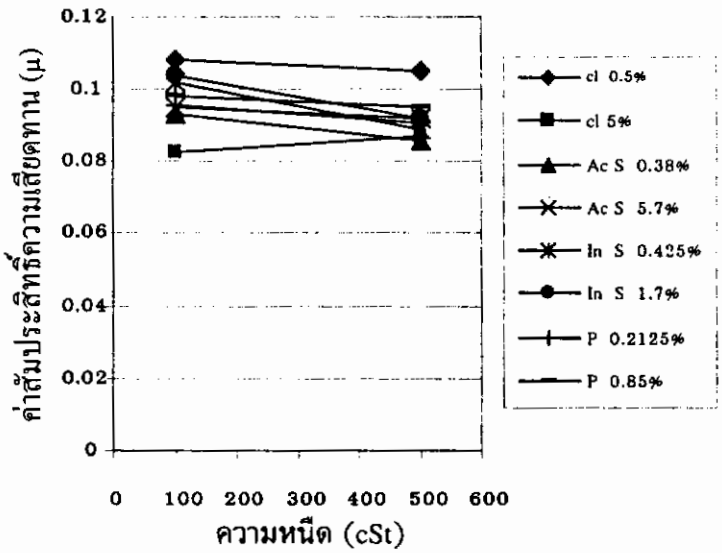
รูปที่ 2 ตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน



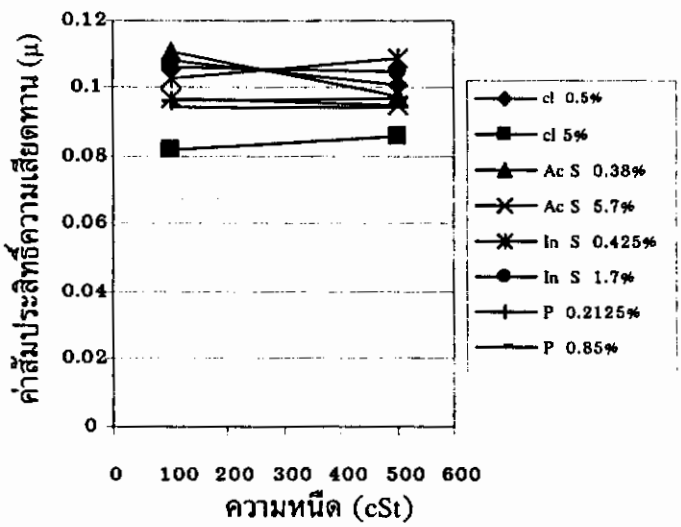
รูปที่ 3 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt ที่ไม่ได้ทำการผสมสารรับแรงกด



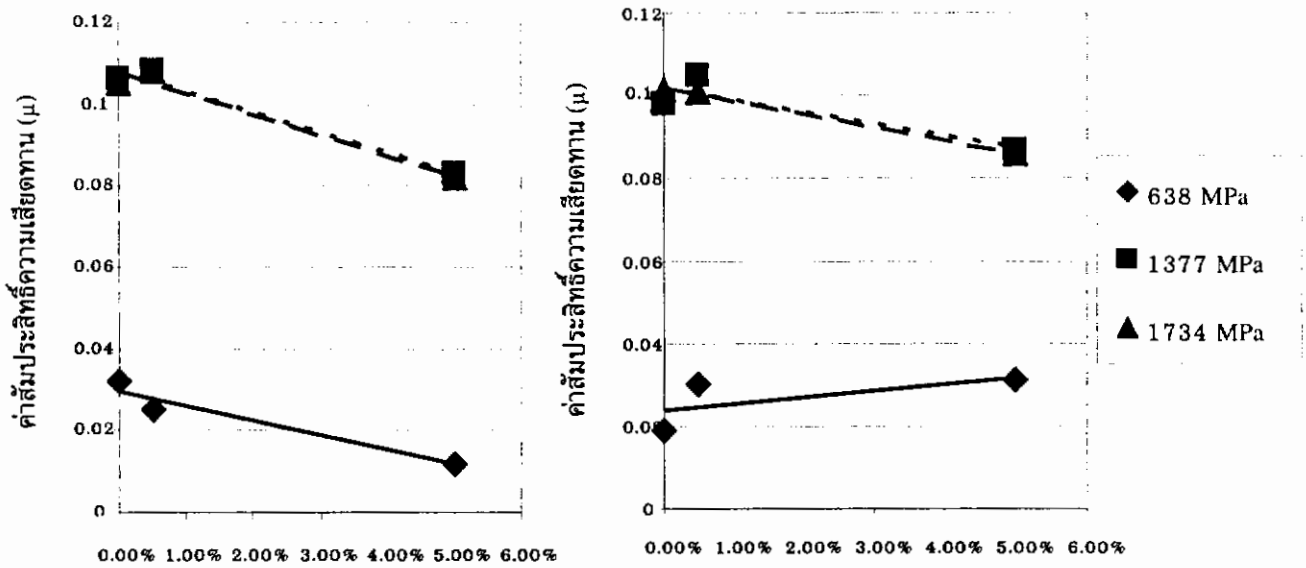
รูปที่ 4 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt ที่มีสารรับแรงกดผสมอยู่ ที่ contact pressure 638 MPa



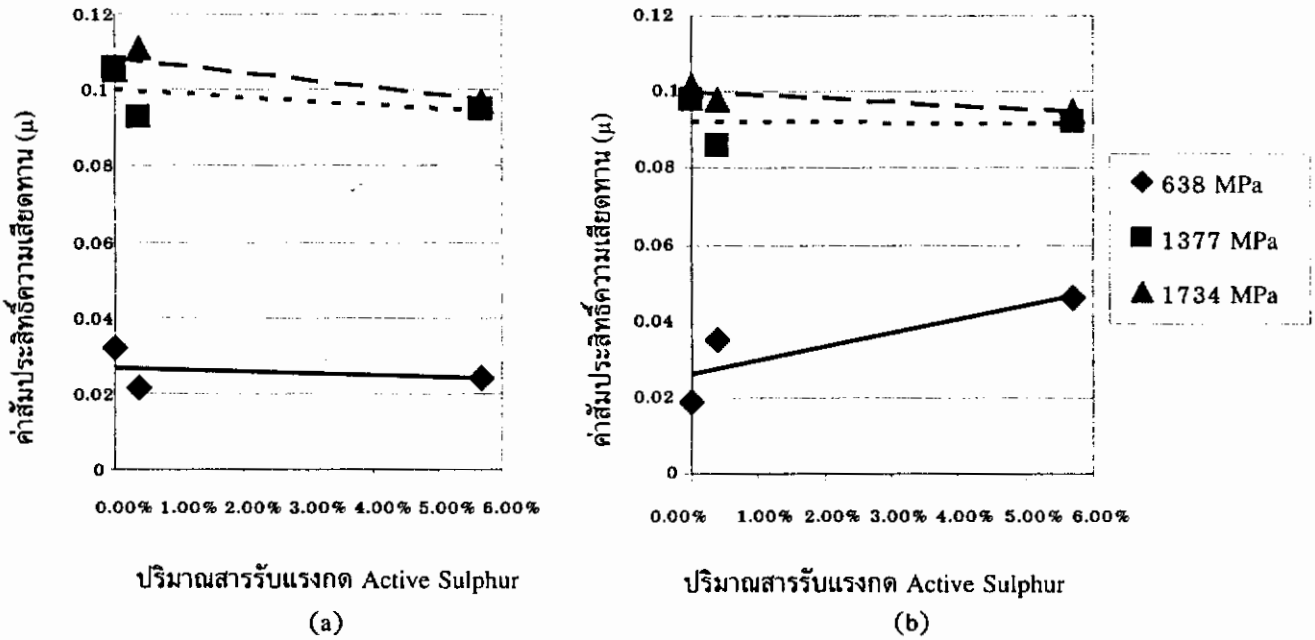
รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt ที่มีสารรับแรงกดผสมอยู่ ที่ contact pressure 1377 MPa



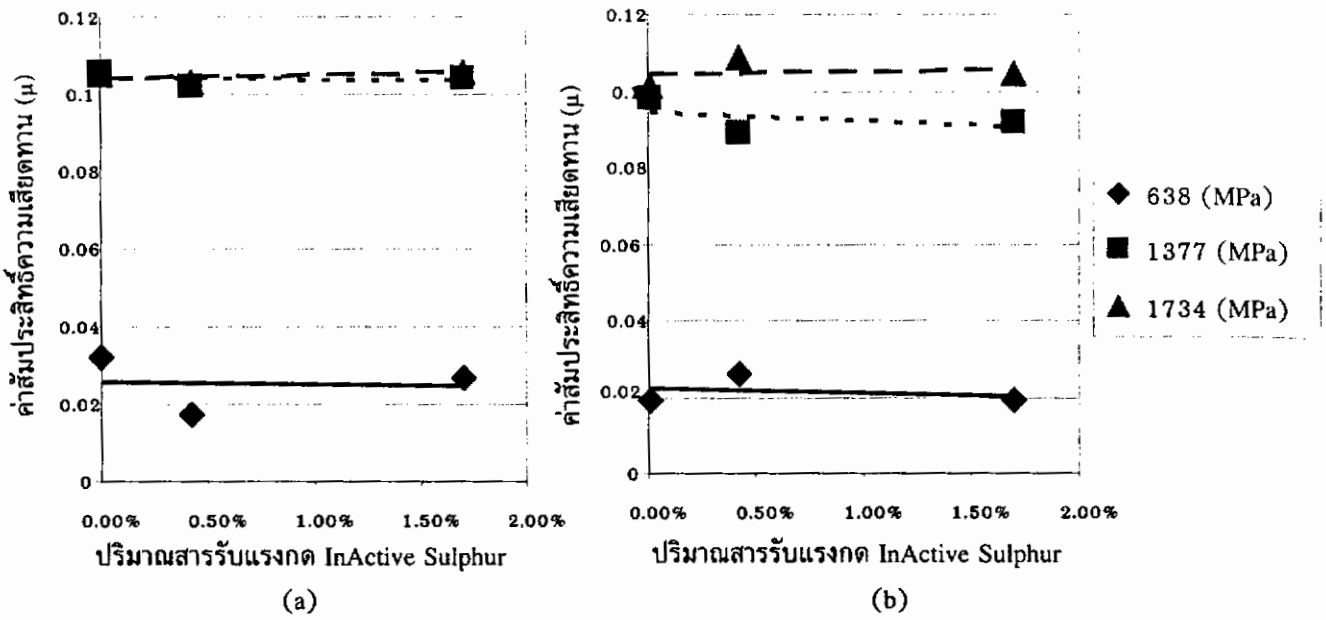
รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นที่มีความหนืด 100 cSt และ 500 cSt ที่มีสารรับแรงกดผสมอยู่ ที่ contact pressure 1734 MPa



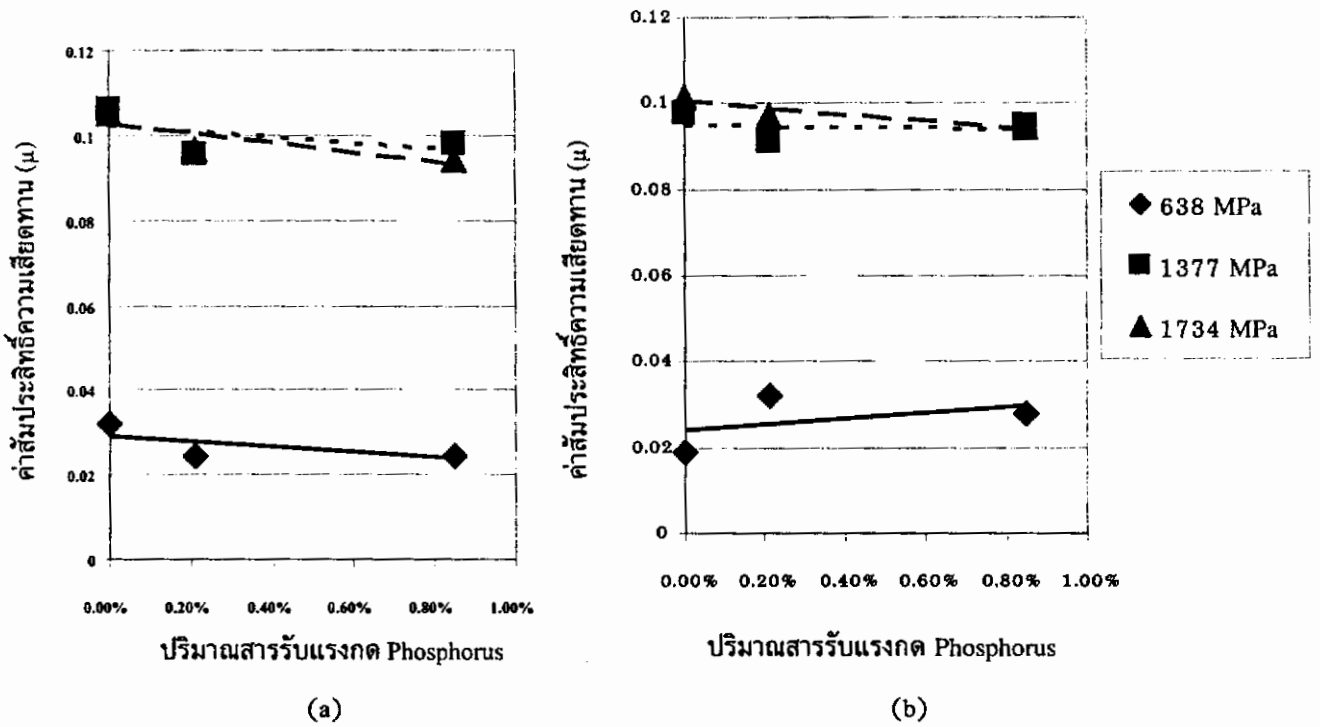
รูปที่ 7 อิทธิพลของปริมาณ Chlorine ในน้ำมันหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัสที่ contact pressure 638, 1377 และ 1734 MPa



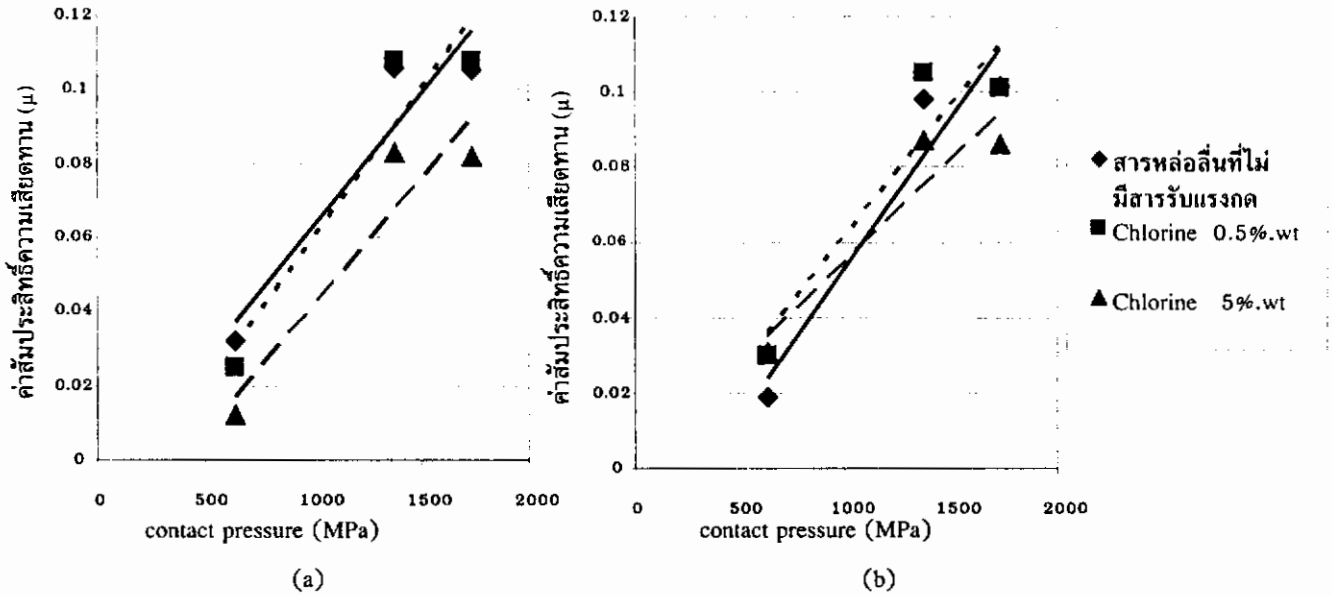
รูปที่ 8 อิทธิพลของปริมาณ Active Sulphur ในน้ำมันหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัสที่ contact pressure 638, 1377 และ 1734 MPa



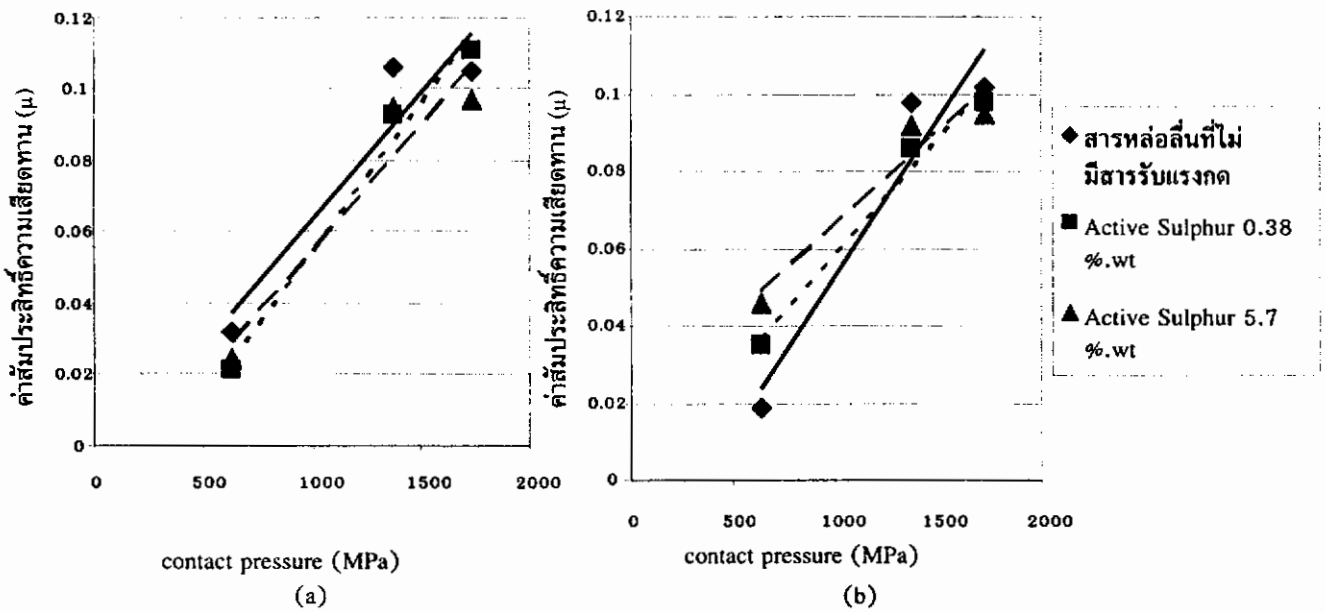
รูปที่ 9 อิทธิพลของปริมาณ Inactive Sulphur ในน้ำมันหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัสที่ contact pressure 638, 1377 และ 1734 MPa



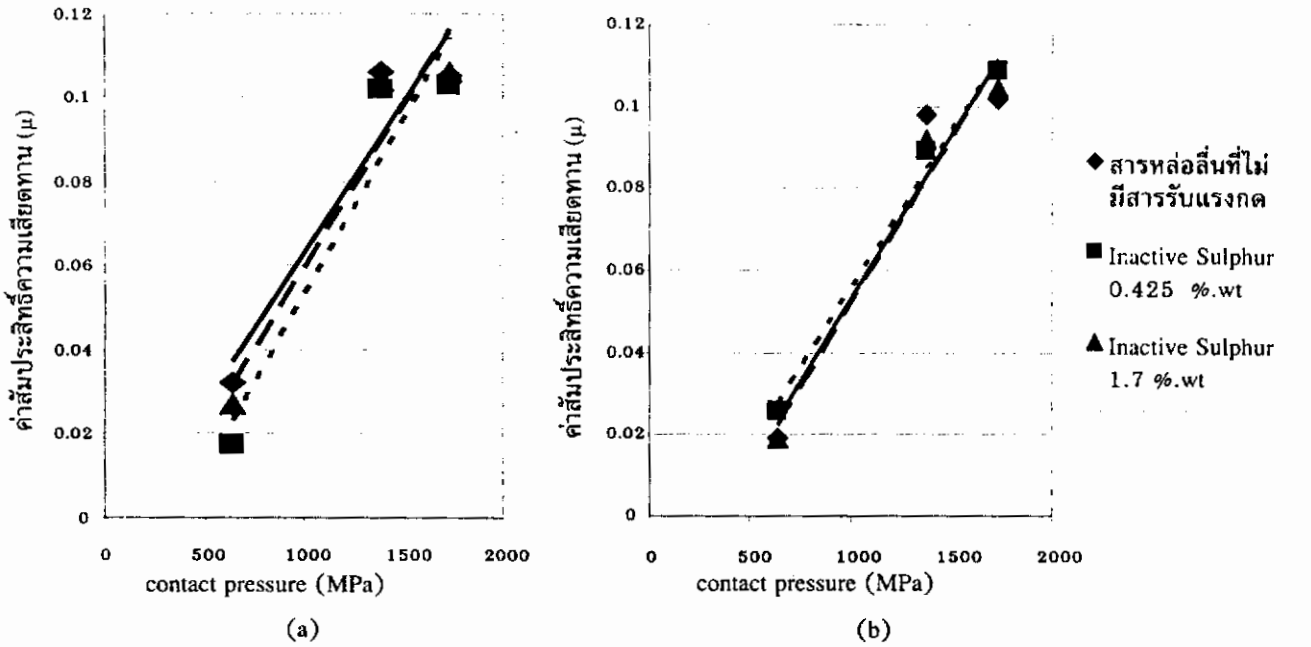
รูปที่ 10 อิทธิพลของปริมาณ Phosphorus ในน้ำมันหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวคู่สัมผัสที่ contact pressure 638, 1377 และ 1734 MPa



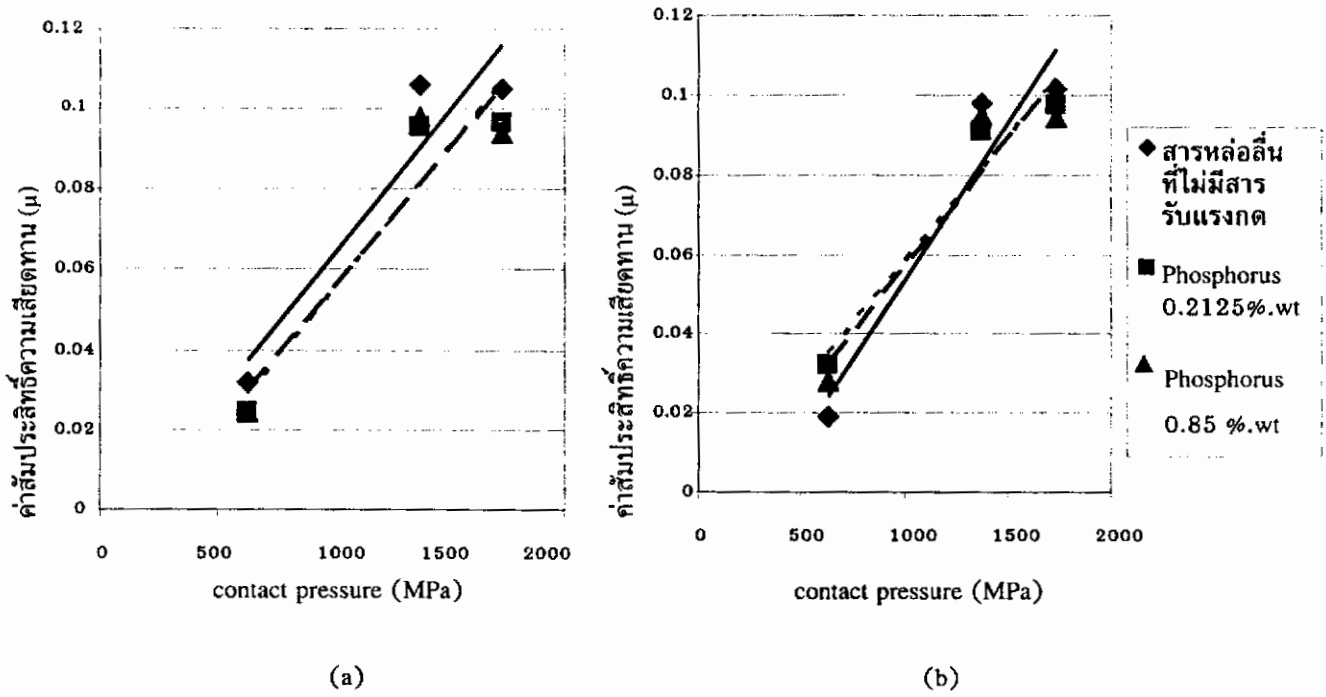
รูปที่ 11 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่ contact pressure ต่าง ๆ ที่มีสารรับแรงกด Chlorine



รูปที่ 12 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่ contact pressure ต่าง ๆ ที่มีสารรับแรงกด Active Sulphur



รูปที่ 13 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่ contact pressure ต่าง ๆ ที่มีสารรับแรงกด Inactive Sulphur



รูปที่ 14 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่น (a) ความหนืด 100 cSt (b) ความหนืด 500 cSt ที่ contact pressure ต่าง ๆ ที่มีสารรับแรงกด Phosphorus