

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อใช้แทน น้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม (Used Diesel Motor Oil Quality Treatment for Reuse as Industrial Machinery Gear Lubricant)

สุรพล ราษฎร์นัย* นิพนธ์ ภู่อภิสิต* สุรินทร์ เหล่าสุขสถิตย์* และ มานิตย์ ธิมาทา**

*ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทร 02-9132500-24 ต่อ 8221 โทรสาร 02-5870029

**สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
19/1 ถ. เพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160 โทร 02-8074500-27 ต่อ 301 โทรสาร 02-8074528-30

Surapol Raadnui* Niphon Phooapisit* Surin Laosooksathit* and Manit Timata**

*Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut Institute of
Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand Tel : 02-9132500-24 Ext. 8221 Fax : 02-5870029

**Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University
Bangkok 10160, Thailand Tel : 02-8074500-27 Ext. 301 Fax 02-8074528-30

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยการกำจัด
สิ่งสกปรกแขวนลอยแล้วตรวจทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
และ การต้านทานการสึกหรอ (โดยเปลี่ยนค่าภาระ และ ความ
เร็วรอบ) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM แล้วผสมสารเพิ่ม
คุณภาพ คือซิงค์ไดอัลคิลไดธิโอฟอสเฟต (Zinc Dialkyl
Dithiophosphate:ZDDP) ในปริมาณ 0.10, 0.30, 0.50, 0.70,
0.90 และ 1.10 % โดยน้ำหนักแล้ววิเคราะห์ผลการทดสอบ
การต้านทานการสึกหรอ ด้วยวิธีการทางสถิติ และตรวจสอบ
ผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพก่อนและหลังผสมสาร
เพิ่มคุณภาพโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่น เฟืองทดของ
เครื่องจักรกล อุตสาหกรรมที่ยังไม่ได้ใช้งาน

ผลการวิจัยพบว่ายังมีสิ่งสกปรกแขวนลอยตกค้างอยู่โดย
มีขนาดของอนุภาคและปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่
16/13(ISO 4406) และมีค่าความหนืด ดัชนีความหนืด ความ
เป็นกรด – ด่าง (pH) ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN) ค่า
การกัดกร่อนการต้านทานการเกิดฟองและอุณหภูมิจุดวาบไฟ
เทียบเท่าน้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดที่ยังไม่ได้ใช้งาน(ใหม่) ส่วน
ความเข้มข้นของ“สี”ยังดำและมีน้ำผสมอยู่มากกว่า 0.10% ขณะที่

ที่สมรรถนะด้านทานการสึกหรอจะเทียบเท่าที่ความเร็วรอบ
5.88 และ 21.15 เมตร/นาที่ แต่ที่ความเร็วรอบ 45.15 และ
60.63 เมตร/นาที่ จะสึกหรอมากกว่าน้ำมันใหม่หลังจากผสม
สารเพิ่มคุณภาพแล้วพบว่าทุกส่วนผสม (0.10 ถึง 1.10%) ค่า
ความหนืด ดัชนีความหนืด ความเป็นกรด – ด่าง ค่าตัวเลข
รวมความเป็นด่างและการต้านทานการกัดกร่อนเปลี่ยนแปลง
เล็กน้อยแต่อยู่ในเกณฑ์เทียบเท่าน้ำมันใหม่อุณหภูมิ
จุดวาบไฟ การต้านทานการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลง ตาม
ปริมาณสารเพิ่มคุณภาพที่เพิ่มขึ้นแต่การต้านทานการเกิด
ฟองจะต่ำกว่าน้ำมันใหม่เมื่อผสมสารเพิ่มคุณภาพเกิน 0.50%
ในขณะที่สีและปริมาณน้ำในน้ำมันยังคงเดิมซึ่งผลการ
วิเคราะห์การต้านทานการสึกหรอซึ่งพิจารณาที่ความเร็วรอบ
5.88 และ 60.63 เมตร/นาที่ พบว่าสมรรถนะด้านทานการ
สึกหรอเทียบเท่ากับน้ำมันใหม่คือช่วง 0.90 ถึง 1.10% และ
การเปลี่ยนแปลงค่าภาระมีอิทธิพลต่อการสึกหรอมากกว่าการ
เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ

Abstract

Used motor oil reclamation is carried out, the
contaminants are removed from the samples.

The physical and anti-wear properties of the samples are measured as per ASTM standards. The Zinc Dialkyl Dithiophosphate (ZDDP) is then added to the treated oil samples. The ZDDP added are 0.10 to 1.10% by weight (0.20% each step). The changed physical and anti-wear properties of the oil samples are measured and compared with those from the specification of the unused oils.

From the experiment, the quantity and the particle size of the remaining contaminants are 16/13 (ISO 4406). The physical properties of the initially treated oil samples, including the viscosity, the viscosity index, the total base number (TBN) the corrosion resistance and the anti-foam properties, are similar to those of the unused oils. However, the colour of the treated samples is quite dark. It is found out that over 0.10% of water are in all treated samples. The tangential velocity of 5.88 and 21.15 m/min, the treated samples have an anti-wear properties similar to those of the unused oils. However, at the tangential velocity of 45.15 and 60.63 m/min, more wear are observed in the treated samples. After the ZDDP is added to the samples, it is found out that the physical properties of the samples, including the viscosity, the viscosity index, the pH, the TBN and the corrosive resistance, change slightly. However, these changes remain similar to those of the unused oils. It is also found out that the ZDDP has an effect on the flash point which those of the treated samples tends to decrease as the quantity of the ZDDP is increased. The anti-foam property of the treated oil samples is found to be decreasing from that of the unused oil. However, this reduction trend can only be observed when ZDDP is more than 0.50%. Note that the ZDDP has effect on the colour and the amount of water present in the samples. At the tangential velocity of 5.88 and 60.63 m/min, it is found out that in the range of 0.9 to 1.10% ZDDP improve the anti - wear properties.

1. บทนำ

จากสมมุติฐานเบื้องต้นน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์(น้ำมันเครื่อง)จะมีคุณสมบัติพื้นฐานและพิเศษที่ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดจึงคาดว่าน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานจากเครื่องยนต์มาแล้วอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปบ้าง แต่สภาพความเป็นน้ำมันปิโตรเลียมและคุณสมบัติบางอย่างยังคงอยู่พอที่จะปรับปรุงให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานในชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลในโรงงานที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษมากนัก ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils) และสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) ที่ต้องซื้อจากต่างประเทศทั้งยังลดปัญหาด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ดังนั้นจึงได้มีการพยายามนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกอย่างมีประสิทธิภาพ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อนำมาทดแทนน้ำมันหล่อลื่นในงานตัดโลหะโดยได้ข้อสรุปว่าองค์ประกอบทางเคมีของปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันเครื่องยนต์อาจเป็นส่วนช่วยในการลดอุณหภูมิและการเสียดทานของใบมีดในการตัดโลหะลง (K.S. MORTENSEN and REZA MOTAMEDY, 1974)

การศึกษาถึงความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วซึ่งมีองค์ประกอบของ ZDDP เป็นสารเพิ่มคุณภาพพบว่าอุณหภูมิใช้งานของเครื่องยนต์มีผลทำให้ ZDDP หลังการเสื่อมสภาพยังคงมีความสามารถที่จะช่วยต่อต้านการสึกหรอ (Antiwear) ได้อีกต่อไป (KOJI FUJITA, YASUO ESAKI and MASUHIKO KAWAMURA, 1983)

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. เก็บรวบรวมน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ซีเลที่ใช่แล้ว (ให้ชื่อย่อ U1) ประมาณ 200 ลิตร จากสถานีบริการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องโดยไม่ระบุหรือจำกัดยี่ห้อของเครื่องยนต์และรถยนต์แล้ววัดค่าความหนืดขั้นต้นเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพื้นฐานและ น้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดใหม่ (ให้ชื่อย่อ G1)

2. ทำการตกตะกอนสิ่งสกปรกแขวนลอย (Contaminants) ในน้ำมัน (ข้อ 1) ขั้นแรกโดยการให้ความร้อนประมาณ 60 – 70 °C เวลา 10 นาที แล้วปล่อยให้เย็นประมาณ 3 วัน

3. กรองน้ำมัน(ข้อ 2) ด้วยเครื่องกรองโดยการกรองหยาบที่สามารถกรองได้อย่างต่ำ 25 ไมครอน และกรองละเอียดด้วยเครื่องกรองที่กรองได้อย่างต่ำ 0.40 ไมครอน

4. ตรวจและทดสอบคุณสมบัติ ของน้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ผ่านการกรองละเอียด(ข้อ 3) ด้วยวิธีการตามมาตรฐานการตรวจสอบและทดสอบ (ASTM) หรือเทียบเท่า (ตามรายการในตารางที่1) เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เบอร์เอสเอ็น 500 (SN 500) เกรด SAE 85 และน้ำมันหล่อลื่นเพื่อทดใหม่ บีพี อีเนอร์โกล จีอาร์-เอ็กซ์ พี - 100 (BP ENERGOL GR-XP 100) เกรดความหนืด SAE 85 W หรือ ISO - VG 100

5. ผสมสารเพิ่มคุณภาพลงในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว (ข้อ 3) โดยการแบ่งกลุ่มตัวอย่างแล้วผสมในปริมาณต่างๆตามกำหนดคือ 0.10, 0.30, 0.50, 0.70, 0.90 และ 1.10% โดยน้ำหนัก ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง (ให้ชื่อย่อ UZ1 - UZ11 ตามอัตราส่วนผสม)

6. ตรวจและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ของน้ำมันตัวอย่างทั้งหมดตั้งรายการใน ตารางที่1แสดงผลเปรียบเทียบคุณสมบัติและทำการทดสอบการต้านทานการสึกหรอ โดยทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดของน้ำมันตัวอย่างทั้งหมด 8 ตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ผลด้วยวิธีการทางสถิติ

7. สรุปผลการวิจัย

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

โดยการนำค่าปริมาตรการสึกหรอของเม็ดลูกปืนทดสอบจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดทั้งหมดมาคำนวณหาค่าทางสถิติด้วยวิธีการตามรูปแบบของสมการการถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งมีหลายรูปแบบโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งจากการพิจารณาพบว่ารูปแบบของสมการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ สมการแบบคอมพาวนด์ (Compound) โดยมีรูปแบบสมการ

$$Y = b_0(b_1)^X \quad (1)$$

ความหมายของสัญลักษณ์ในสมการ

Y = ค่าคาดคะเนตัวแปรถดถอย (ปริมาตรการสึกหรอ)

b_0 = จุดตัดของเส้นถดถอยบนแกน Y

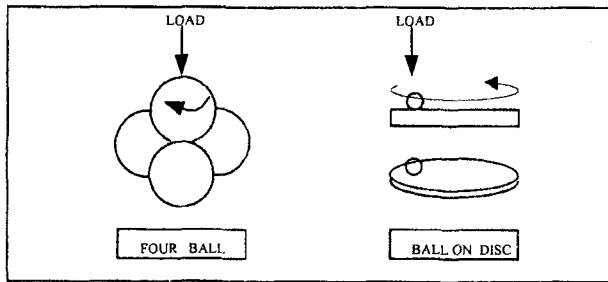
b_1 = สัมประสิทธิ์การถดถอยตัวที่ 1

X = ค่า ตัวแปรอิสระ (น้ำหนัก)

ตารางที่ 1 แสดงรายการตรวจ ทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่ใช้ อ้างอิงและเปรียบเทียบคุณภาพกับน้ำมันใหม่

ลำดับ	รายการตรวจสอบและทดสอบ	อ้างอิงตามมาตรฐานและการทดสอบ
1	ค่าความหนืด (Viscosity)	ASTM D 445
2	ดัชนีความหนืด (Viscosity Index)	ASTM D 2270
3	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (TAN หรือ TBN) และค่า pH	ASTM D 664
4	จุดวาบไฟ (Flash Point)	ASTM D 93
5	ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ASTM D 1500
6	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ณ อุณหภูมิ 100 °C เวลา 3 ชั่วโมง (Copper Strip Corrosion at 100 °C 3 Hours)	ASTM D 130
7	ทดสอบความสามารถในการต้านทานการเกิดฟอง (Test Method for Foaming Characteristics of Lubricating Oils)	ASTM D 892
8	ตรวจปริมาณน้ำในน้ำมัน (Crackle Test , %)	
9	ทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงกด (Measurement of Extreme Pressure Properties of Lubricating Fluids)	ASTM D 2783

ส่วนการทดสอบคุณสมบัติการต้านทานการสึกหรอซึ่งการทดสอบในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการเทียบเคียงจากวิธีทดสอบการต้านทานแรงกด มาตรฐานASTM D2783 โดยวิธีทดสอบการต้านทานการสึกหรอ “ Ball On Disc ” ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งใช้เม็ดลูกปืนทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. หมุนและกดลงไปในบนแผ่นทดสอบผิวเรียบ (ผิวเจียรนัย) โดยใช้ น้ำหนักต่างกันคือ 2, 4, 6 และ 8 กิโลกรัม ใช้ความเร็วในการหมุนของเม็ดลูกปืนทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 5.88, 21.15, 45.15 และ 60.63 เมตร/นาที โดยขณะที่ทดสอบจะหล่อลื่นด้วยน้ำมันแต่ละชนิดตลอดเวลาแต่ละช่วงความเร็วรอบและแต่ละค่าของน้ำหนักจะทำการทดสอบ 3 ครั้งแล้ววัดค่าการสึกหรอของเม็ดลูกปืนทดสอบโดยการวัดปริมาตรการสึกหรอไปเปรียบเทียบค่าการสึกหรอของเม็ดลูกปืนทดสอบระหว่างน้ำมันที่ใช้หล่อลื่นแต่ละชนิด



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของหลักการทดสอบการต้านทานการสึกหรอ

5. ผลการทดลอง

ผลการตรวจและทดสอบคุณสมบัติก่อนและหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพภาพซึ่งสรุปผลการตรวจและทดสอบค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 และสรุปผลการทดสอบการต้านทานการสึกหรอก่อนและหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันเครื่องใช้แล้วดังแสดงในตารางที่ 4

เนื่องจากผลการตรวจและทดสอบคุณสมบัติก่อนผสมสารเพิ่มคุณภาพซึ่งพิจารณาจากข้อมูลการสึกหรอพบว่าการสึกหรอเนื่องจากการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วมีการสึกหรอของเม็ดลูกปืนทดสอบมากกว่าใช้น้ำมันเพื่อทดใหม่ทุกระดับความเร็วรอบดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกหรอคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันเพื่อทดใหม่จึงต้องผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพการต้านทานการสึกหรอตามปริมาณที่กล่าวมาแล้ว

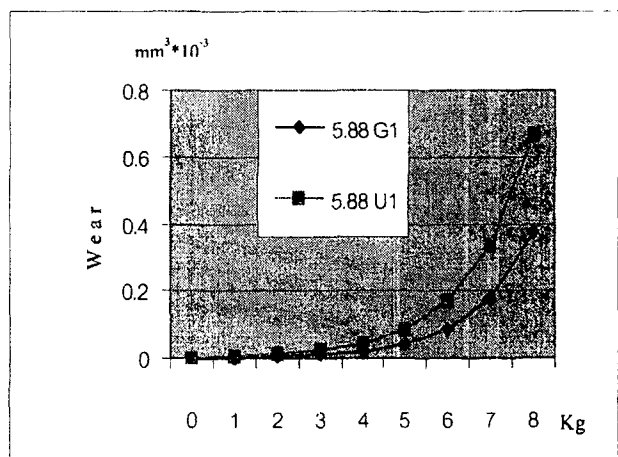
ผลการวิเคราะห์การต้านทานการสึกหรอด้วยวิธีทางสถิติ

จากข้อมูลปริมาตรการสึกหรอของเม็ดลูกปืนทดสอบจากการใช้น้ำมันทั้ง 8 ชนิด (ตารางที่ 4) โดยการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งคำนวณที่ความเร็วรอบต่ำและสูง คือ 5.88 และ 60.63 เมตร/นาทีกำหนดให้น้ำหนัก 2, 4, 6 และ 8 กิโลกรัม เป็นตัวแปรอิสระ

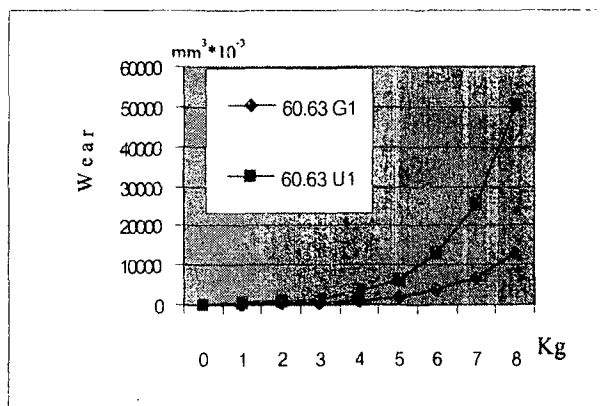
สมการพยากรณ์ที่ได้ จากการคำนวณแล้วแทนค่าตัวแปรอิสระ (น้ำหนัก) คือ 0 ถึง 8 กิโลกรัม ในสมการ การถดถอยของน้ำมันทั้ง 8 ตัวอย่างโดยการแทนค่าที่สมการความเร็วรอบต่ำและสูง เพื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพิจารณาถึงความแตกต่างของความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของน้ำมันใหม่และน้ำมันเครื่องใช้แล้วก่อนผสมสารเพิ่มคุณภาพดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 2 กับ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรของสมการเปรียบเทียบก่อนผสมสารเพิ่มคุณภาพ

ชนิดของน้ำมัน	GI				UI			
ความเร็วรอบ (เมตร/นาทีก)	5.88	21.15	45.15	60.63	5.88	21.15	45.15	60.63
ระดับความเรียบ (%)	92.30	68.40	68.30	90.20	94.40	91.80	71.00	73.90
b_0	0.001	0.009	1.180	82.72	0.003	0.031	3.225	213.54
b_1	2.094	1.511	2.756	1.880	1.964	1.869	3.155	1.9787



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างน้ำมันใหม่ และ น้ำมันเครื่องใช้แล้วก่อนผสมสารเพิ่มคุณภาพ (ที่ความเร็วรอบ 5.88 ม./นาทีก)



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่าง น้ำมันใหม่กับ น้ำมันเครื่องใช้แล้วก่อนผสมสารเพิ่มคุณภาพ (ที่ความเร็วรอบ 60.63 ม./นาทีก)

ตารางที่ 3 แสดงผลการตรวจสอบและ ทดสอบคุณสมบัติทาง
กายภาพก่อนและหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพ

ลำดับ	รายการตรวจและทดสอบ	อื่นๆ	SN 500	G1	U1	UZ1	ชนิดของน้ำมัน				
							UZ3	UZ5	UZ7	UZ9	UZ11
1	ค่าความหนืด (cSt)	ณ 40 °C	115-130	100-115	110-125	108-117	115-125	115-125	114-125	115-125	115-125
		ณ 100 °C	10-15	11-16	13-18	15-19	17-22	13-23	18-23	17-22	16-22
2	ดัชนีความหนืด	-	15	16	17	16	16.5	16.5	17	16.5	16
	ค่าความเป็นกรด - ค่า	pH.	7.1	6.25	6.35	6.42	6.41	6.45	6.45	6.48	6.52
3	(TAN หรือ TBN, mg KOH /g)	TBN	7.245	6.35	6.298	6.307	6.293	6.720	6.423	6.639	6.770
4	จุดวาบไฟ	-	260	200	202	201	198	200	195	196	190
5	ลักษณะที่ปรากฏ		0.5	L1.5	← สีดำสนิท →						
6	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ณ 100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	Sq 1	1b	1b	2b	2b	2b	2b	2b	2b	2b
7	ทดสอบความสามารถในการต้านทานการเกิดฟอง	Sq 2	10/0	40/0	5/0	5/0	5/0	5/0	5/0	5/0	5/0
		Sq 3	25/0	90/0	30/0	15/0	25/0	35/0	170/0	340/0	400/0
			400/0	45/0	5/0	5/0	10/0	5/0	5/0	20/0	20/0
8	ทดสอบปริมาณน้ำในน้ำมัน		130 °C	ไม่มี	ไม่มี	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10	>0.10

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติการต้านทานการ
สึกหรอก่อนและหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพ

ความเร็วรอบ (เมตร/นาที)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	SN 500	G1	ปริมาตรรอยสึกของลูกปืนทดสอบ (mm ³ *10 ⁻³), ชนิดของน้ำมัน						
				U1	UZ1	UZ3	UZ5	RZ7	UZ9	UZ11
5.88	2	0.0214	0.00458	0.01286	0.01937	0.01388	0.00964	0.02017	0.00812	0.00609
	4	0.0374	0.01544	0.05042	0.10945	0.04773	0.04049	0.03161	0.01205	0.00944
	6	0.284	0.08662	0.1997	0.19807	0.08095	0.10152	0.04974	0.03050	0.01860
	8	0.469	0.33828	0.69138	0.58933	0.53538	0.60379	0.33828	0.31524	0.10114
21.15	2	0.0831	0.03877	0.0981	0.10152	0.08560	0.01040	0.04686	0.03877	0.03532
	4	0.752	0.03343	0.60379	0.39552	0.20709	0.20709	0.15619	0.07838	0.08662
	6	1.792	0.07998	0.96114	0.72761	0.33734	0.44909	0.42503	0.12576	0.07838
	8	3.923	0.41062	5.3615	3.83420	1.84361	1.78702	1.11884	0.64571	0.42279
45.15	2	-	1.78702	5.4596	7.23912	2.71713	0.93253	1.20949	0.41062	0.12576
	4	-	681.476	3539.04	3735.79	2098.64	681.476	132.256	85.3989	0.83923
	6	-	816.441	5611.84	13777.4	4849.28	4700.624	3595.883	1377.023	97405.312
	8	-	1377.02	9892.45	8381.33	8082.93	7729.728	5219.801	3732.644	1621.983
60.63	2	-	187.880	339.144	1919.58	681.477	135.281	85.3989	6.2433	7.2297
	4	-	1767.78	10783.6	9063.68	5606.08	3595.88	1767.782	1738.322	1593.301
	6	-	5219.80	19121.1	16780.6	12882.9	10726.61	8888.357	6812.402	4610.908
	8	-	8588.02	31691.7	24690.4	14726.6	11162.68	9726.74	10053.96	9477.82

หมายเหตุ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ช่วงความเร็วรอบ 45.15
และ 60.63 เมตร/นาที ไม่มีสภาพการหล่อลื่นได้ดั่งนั้นการ
วิเคราะห์การสึกหรอจึงไม่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 5 แสดงค่าตัวแปรของสมการเปรียบเทียบหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพ (ที่ความเร็วรอบ 5.88 เมตร/นาทีก)

ชนิดของน้ำมัน	UZ1	UZ3	UZ5	UZ7	UZ9	UZ11
ระดับความเชื่อมั่น (%)	72.40	83.30	86.00	71.20	77.00	51.50
b_0	0.0164	0.0036	0.0023	0.0050	0.0016	0.0023
b_1	1.544	1.789	1.919	1.584	1.779	1.449

ตารางที่ 6 แสดงค่าตัวแปรของสมการเปรียบเทียบหลังผสมสารเพิ่มคุณภาพ (ที่ความเร็วรอบ 60.63 เมตร/นาทีก)

ชนิดของน้ำมัน	UZ1	UZ3	UZ5	UZ7	UZ9	UZ11
ระดับความเชื่อมั่น (%)	89.00	81.30	53.40	84.50	35.30	79.80
b_0	1145.15	4108.59	108.664	36.424	54.535	2.794
b_1	1.515	1.665	1.825	2.200	2.040	3.121

จะเห็นได้ว่ารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสมของน้ำมันแต่ละชนิดในการต้านทานการสึกหรอที่นำมาใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะ คือแบบ คอมปาวนด์ $Y = b_0 (b_1)^X$ ซึ่งสมการแต่ละชุดจะใช้พยากรณ์การสึกหรอได้เฉพาะแต่ละความเร็วรอบ และช่วงน้ำหนัก 0 ถึง 8 กก. เท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้คำนวณหาความแตกต่างของสมรรถนะน้ำมันแต่ละชนิดที่ความเร็วรอบต่ำและสูง คือ 5.88 และ 60.63 เมตร/นาทีก โดยการแทนค่าด้วยน้ำหนัก (ค่า X) ในสมการ คือ 1 ถึง 8 กิโลกรัม ซึ่งน้ำมันที่ให้สมรรถนะต้านทานการสึกหรอได้ใกล้เคียง (ทั้งจากการทดสอบและคำนวณ) กับน้ำมันหล่อลื่นเฟืองทดใหม่คือน้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ผสมสารเพิ่มคุณภาพในปริมาณ 0.90 และ 1.10% ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้ (ดังตารางที่ 7 และรูปที่ 4 กับ 5 ประกอบ)

ที่ความเร็วรอบ 5.88 เมตร/นาทีก มีรูปแบบสมการถดถอยของน้ำมันแต่ละชนิดดังนี้

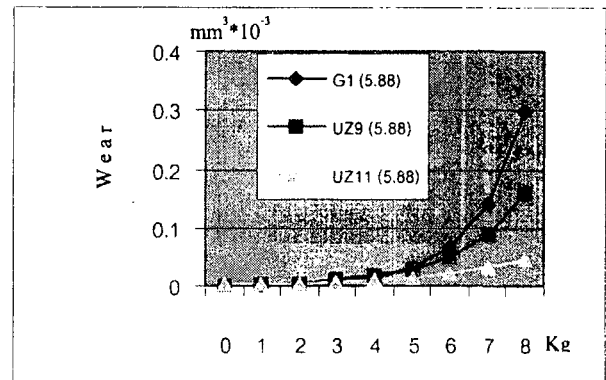
$$\begin{aligned} \text{น้ำมัน G1} & \quad Y = 0.0008 (2.094)^X \\ \text{น้ำมัน UZ9} & \quad Y = 0.0016 (1.779)^X \\ \text{น้ำมัน UZ11} & \quad Y = 0.0023 (1.449)^X \end{aligned}$$

ที่ความเร็วรอบ 60.63 เมตร/นาทีก มีรูปแบบสมการถดถอยของน้ำมันแต่ละชนิดดังนี้

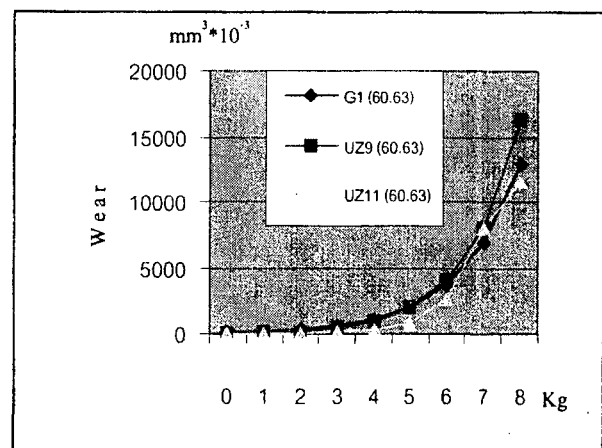
$$\begin{aligned} \text{น้ำมัน G1} & \quad Y = 82.725 (1.880)^X \\ \text{น้ำมัน UZ9} & \quad Y = 54.353 (2.040)^X \\ \text{น้ำมัน UZ11} & \quad Y = 2.7940 (3.121)^X \end{aligned}$$

ตารางที่ 7 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสมการถดถอยของน้ำมัน G1 UZ1 และ UZ11

น้ำหนักทดสอบ (กิโลกรัม)	ความเร็วรอบ (เมตร/นาที),			ชนิดของน้ำมันและค่าพยากรณ์(Y) (mm ³ ·10 ⁻¹)		
	5.88			60.63		
	G1	UZ9	UZ11	G1	UZ9	UZ11
0	0.0008	0.0016	0.0023	82.725	54.5348	2.794
1	0.0017	0.0029	0.0033	155.54	111.27	8.72
2	0.0035	0.0051	0.0048	292.45	227.02	27.21
3	0.0074	0.0090	0.0070	549.86	463.19	84.91
4	0.0154	0.0160	0.0101	1033.84	945.04	264.96
5	0.0322	0.0285	0.0147	1943.82	1928.16	826.83
6	0.0675	0.0507	0.0212	3654.78	3934.03	2580.21
7	0.1412	0.0902	0.0308	6871.72	8026.61	8051.80
8	0.2957	0.1605	0.0446	12920.20	16376.68	11589.09



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าพยากรณ์สมรรถนะต้านทานการสึกหรอของน้ำมัน G1 UZ9 และ UZ11 ที่ความเร็วรอบต่ำ (5.88 เมตร/นาทีก) จากการแทนค่าในสมการ



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าพยากรณ์สมรรถนะต้านทานการสึกหรอของน้ำมัน G1, UZ9 และ UZ11 ที่ความเร็วรอบสูง (60.63 เมตร/นาทีก) จากการแทนค่าในสมการ

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการตรวจสอบน้ำมันเครื่องใช้แล้วผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกแขวนลอยก่อนการผสมสารเพิ่มคุณภาพ พบว่ายังมีสิ่งสกปรกแขวนลอยหลงเหลืออยู่แต่มีขนาดและจำนวนของอนุภาคอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 16/13 (ISO 4406) และการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าค่าความหนืด ดัชนีความหนืด ความเป็นกรด – ด่าง (pH) ค่าตัวเลขรวม ความเป็นด่าง (TBN) ค่าการกัดกร่อน อุณหภูมิจุดวาบไฟ และความสามารถในการต้านทานการเกิดฟองมีคุณภาพเทียบเท่าน้ำมันใหม่ในขณะที่สีของน้ำมันยัง ดำ และมีปริมาณน้ำที่ผสมอยู่มากกว่า 0.10 % ซึ่งมากกว่าน้ำมันใหม่

ส่วนการทดสอบ การต้านทานการสึกหรอจะทดสอบโดยเปลี่ยนค่าน้ำหนักและความเร็วรอบหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบและวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า น้ำมันเครื่องใช้แล้วมีสมรรถนะที่ต่ำกว่าน้ำมันใหม่ทุกความเร็วรอบ โดยเฉพาะที่ 45.15 และ 60.63 เมตร / นาที ดังนั้น จึงต้องผสมสารเพิ่มคุณภาพในอัตราส่วนต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว

หลังจากผสมสารเพิ่มคุณภาพตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้ว ตรวจและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ พบว่าทุกส่วนผสม คือช่วงตั้งแต่ 0.10 ถึง 1.10 % ค่าความหนืด ดัชนีความหนืด ค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง และการต้านทานการกัดกร่อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่อยู่ในเกณฑ์เทียบเท่าน้ำมันใหม่ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่ออุณหภูมิจุดวาบไฟ คือมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารเพิ่มคุณภาพที่เพิ่มขึ้นแต่ในช่วงนี้ยังอยู่ในเกณฑ์เทียบเท่ากับน้ำมันใหม่และ ความสามารถในการต้านทานการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลงซึ่งจะต่ำกว่าน้ำมันใหม่เมื่อผสมสารเพิ่มคุณภาพมากกว่า 0.50 % ในขณะที่ “ สี ” และปริมาณน้ำที่ผสมในน้ำมันยังคงเดิม

ส่วนผลการทดสอบการต้านทานการสึกหรอของน้ำมันเครื่องใช้แล้วหลังจากผสมสารเพิ่มคุณภาพและทดสอบพบว่าพฤติกรรมการสึกหรอเป็นไปตามลำดับขั้นของทฤษฎีคือ ช่วงการสึกหรอแบบธรรมดาและช่วงการสึกหรอแบบรุนแรงที่ช่วงความเร็วรอบ 5.88 และ 21.15 เมตร/นาที จะสึกหรอแบบธรรมดา และที่ความเร็วรอบ 45.15 และ 60.63 เมตร/นาทีจะมีการสึกหรอแบบรุนแรงตามลำดับ และจากการทดสอบการต้านทานการสึกหรอและวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งการวิเคราะห์จะทำการแยกวิเคราะห์ในแต่ละความเร็วรอบซึ่งจะได้สมการการถดถอยที่เหมาะสมเป็นแบบคอมปาวนด์ $Y = b_0 (b_1)^x$ ที่

ใช้พยากรณ์การสึกหรอในการใช้น้ำมันหล่อลื่นของแต่ละชนิด (ปริมาณที่ผสมสารเพิ่มคุณภาพ) และเฉพาะที่ความเร็วรอบจากการทดสอบแทนค่าในสมการพบว่าน้ำมันเครื่องใช้แล้วจะมีสมรรถนะในการต้านทานการสึกหรอดีขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณสารเพิ่มคุณภาพ ที่เพิ่มขึ้นจนอยู่ในเกณฑ์เทียบเท่าน้ำมันใหม่ ที่ช่วงอัตราส่วนผสมตั้งแต่ 0.90 ถึง 1.10 % นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักมีอิทธิพลต่อการสึกหรอมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทไวท์กรุป จำกัด บริษัท บี.พี.จี. ลูบริแคนท์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี ตลอดจนการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย บริษัทน้ำมันศาลเท็กซ์(ไทย) จำกัด และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดลองต่างๆ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์เครื่องมือ และ บริษัท ไอ.ที.อาร์ คอนสตรัคชั่น จำกัด บริษัท พรีเมียร์ลูบริแคนท์ จำกัด ที่ให้โอกาสทำการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงศิริ แต่สมบัติ, “การวิเคราะห์การถดถอย” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กรุงเทพมหานคร. 2541.
- [2] สุรพล ราษฎร์นัย, “ระบบการหล่อลื่นเครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรม ” เอกสารประกอบการเรียน, สจพ. กรุงเทพมหานคร. 2539.
- [3] C.A. Biele and Anrovs, “The Lubrication Engineering- Manual.” 1st ed., United States Co, U.S.A. 1971.
- [4] G.W.Roper, and J. C. Ball, “ Review and Evaluation of Lubricated.” 1st ed London. 1995.
- [5] J.George Wills, “Lubrication Fundamentals”. Mobil oil Corporation, New York. 1980.
- [6] K.S. Motensen and Reza Motamedy “Used Crankcase oil as a fluid”. Technology Department Brigham Young University, Pravo Utah, U.S.A 1974.
- [7] R.M.Mortier and S.T.Orszulik, “Chemistry and Technology of Lubricants”. London. 1997.
- [8] Koiji Fujita, Yasuo Esaki and Msuhiko Kawamura “The Antiwear Property of Zinc Dialkyldithiophosphates in Used Engine Oils” Toyota Central Research and Development Laboratories Inc., Oaza, Japan. 1983.